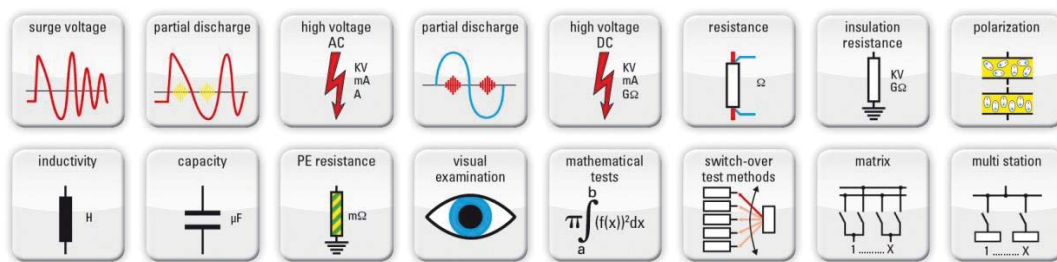
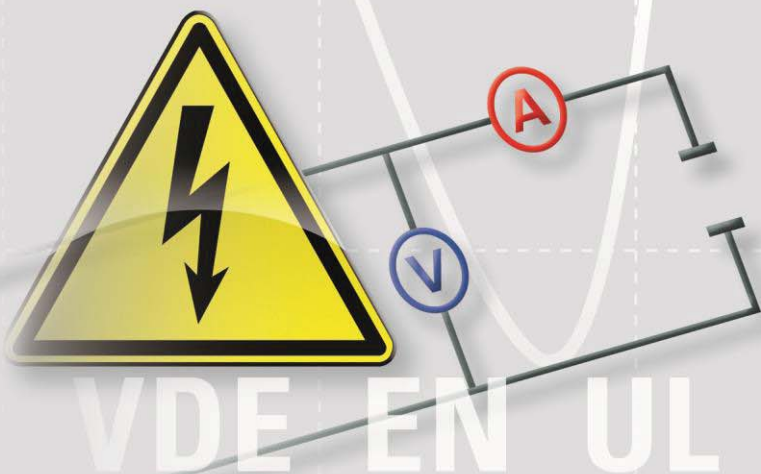


# Podręcznik diagnostyki uzwojeń

## Elementarz podstawowych metod i przyrządów pomiarowych dla inżyniera



Wydanie 1.1





## Prawa autorskie

Prawa autorskie do tego podręcznika pozostają w posiadaniu firmy Schleich GmbH. Niniejszy podręcznik jest dodatkiem do instrukcji obsługi przeznaczonym wyłącznie do wglądu dla obsługi testera i osób nadzorujących ich pracę. Zawiera treści i ilustracje techniczne, które nie mogą być kopiowane, ani w całości, ani częściowo, dystrybuowane osobom trzecim lub też wykorzystywane w celach konkursowych bez zezwolenia.

## Należy zawsze przeprowadzać testy zgodnie z aktualnie obowiązującymi normami VDE- (niemiecki odpowiednik SEP), EN-, PN-EN lub UL.

Wyjaśnienia zawarte w niniejszym podręczniku stanowią treść czysto informacyjną i nie są części żadnej normy.

Nie zostały postawione żadne formalne roszczenia prawne dotyczące kompletności lub poprawności treści zawartych w tym podręczniku.



## ZAGROŻENIA

### Testery opisane w tej publikacji pracują pod napięciem niebezpiecznym dla życia!

Niewłaściwe użycie może doprowadzić do śmierci na skutek porażenia elektrycznego!

Należy uważnie przeczytać instrukcję na temat bezpieczeństwa, aby zapobiec wypadkom.

Należy zawsze przechowywać instrukcję obsługi testera oraz niniejszy podręcznik razem z testerem!



## Definicje / Glosariusz

GO = wynik testu jest pozytywny

NO GO = wynik testu jest negatywny

DUT = urządzenie obecnie testowane

Device = produkt, który zostanie przetestowany

Surge – test napięciem udarowym

IR – test rezystancji izolacji

HVDC – test wysokonapięciowy DC

HVAC – test wysokonapięciowy AC

PI/DAR – Współczynnik polaryzacji/absorpcji

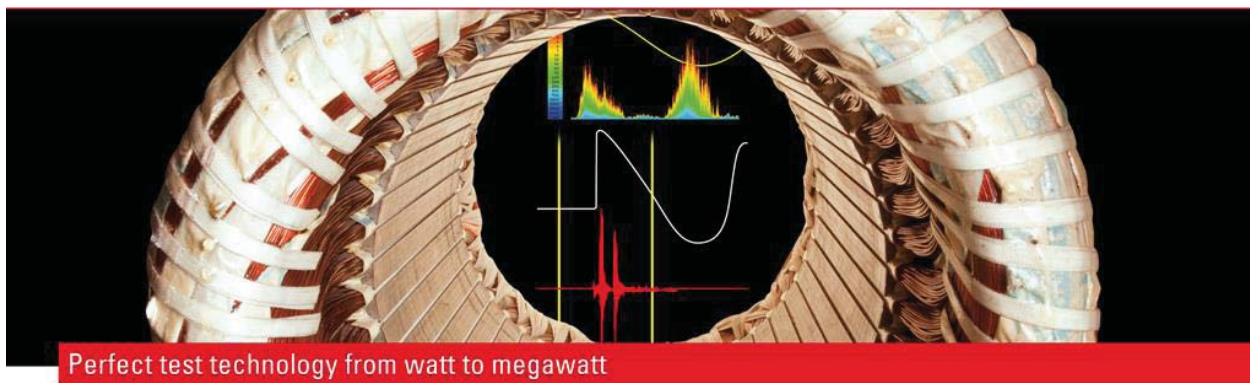




# 1

## Spis Treści





# 1. Spis Treści

## 1 Spis treści

### 2 Dla Twojego Bezpieczeństwa

- 2.1 Symbole ostrzegawcze
- 2.2 Czerwona lampa ostrzegawcza
- 2.3 Osłona ochronna

### 3 Informacje Ogólne

- 3.2.1 MotorAnalyzer2
- 3.2.2 MTC2
- 3.2.3 MTC3
- 3.3 Struktura wewnętrzna izolacji uzwojeń
  - 3.3.1 Izolacja wewnętrzna
  - 3.3.2 Izolacja zewnętrzna
- 3.4 Schemat zastępczy uzwojenia

### 4 Test Surge

- 4.1 Wyjaśnienie zjawiska udaru napięciowego Surge
- 4.2 Metodyka testu Surge
- 4.3 Czy test Surge może uszkodzić testowane uzwojenie?
- 4.4 Weryfikacja badanego elementu za pomocą testu Surge
  - 4.4.1 Porównanie tłumienia drgań pomiędzy wszystkim trzema fazami
  - 4.4.2 Porównanie tłumienia drgań dla różnych poziomów napięcia
    - 4.4.2.1 Pomiary  $U_{min}/U_{max}$
    - 4.4.2.2 Pomiary „Peak to Peak”
  - 4.4.3 Porównanie z uzwojeniem referencyjnym
- 4.5 Metody porównawcze testu Surge - obliczenia porównawcze
  - 4.5.1 Korelacja (patent firmy Schleich)
  - 4.5.2 Error Area Ratio
  - 4.5.3 Różnica powierzchni
  - 4.5.4 Pasma tolerancji
- 4.6 Typowe uszkodzenia uzwojeń
  - 4.6.1 Rodzaje połączeń
  - 4.6.2 Przerwa galwaniczna
  - 4.6.3 Zwarcie
  - 4.6.4 Zwarcia międzyzwojowe
  - 4.6.5 Zwarcia międzyzwojowe zależne od poziomu przyłożonego napięcia
  - 4.6.6 Zwarcia międzyfazowe
  - 4.6.7 Zwarcia międzyfazowe zależne od poziomu przyłożonego napięcia
  - 4.6.8 Niewłaściwa ilość zwojów w cewce
  - 4.6.9 Niepoprawne połączenie grup cewek w uzwojeniu
  - 4.6.10 Odwrócona polaryzacja faz (kontrafaza)
  - 4.6.11 Zwarcie do obudowy
  - 4.6.12 Źle umiejscowiony zwój cewki
- 4.7 Poziom napięcia probierczego
- 4.8 Czynniki wpływające na test Surge
  - 4.8.1 Pojemność
  - 4.8.2 Rezystancja
  - 4.8.3 Indukcyjności przewodów pomiarowych
- 4.9 Rozładowanie DUT

### 5 Pomiar wyładowań niezupełnych podczas testu Surge

- 5.1 Kilka słów na temat pomiaru wyładowań niezupełnych
- 5.2 Czym charakteryzuje się pomiar wyładowań niezupełnych?
- 5.3 Pomiar wyładowań niezupełnych w silnikach zasilanych z przetwornicy częstotliwości (pot. falownik)
- 5.4 Pomiar wyładowań niezupełnych podczas testu Surge
- 5.5 Metodologia pomiaru wyładowań niezupełnych
  - 5.5.1 Pomiar impulsów prądowych
  - 5.5.2 Pomiar pola elektromagnetycznego w.cz.
  - 5.5.3 Porównanie obu metod pomiarowych
- 5.6 Jednostka pomiarowa [pC]
- 5.7 Prezentacja graficzna wyładowań niezupełnych
- 5.8 Metody ewaluacji
  - 5.8.1 Pomiar napięcia inicjacji/wygaszania według normy (IEC TS 61934)
  - 5.8.2 Pomiar napięcia inicjacji
  - 5.8.3 Pomiar wyładowań niezupełnych dla wybranego poziomu napięcia
- 5.9 Wnioski

## 6 Test wysokiego napięcia AC (prąd przemienny)

- 6.1 Informacje na temat testu AC
- 6.2 Poziom napięcia probierczego podczas testu HV AC
- 6.3 Jaki rodzaj napięcia jest wyświetlany?
- 6.4 Rozładowanie DUT
- 6.5 Rampa napięciowa i kształt napięcia
- 6.6 Test separacyjny czy nieseparacyjny?
- 6.7 Prąd jako kryterium oceny
- 6.8 Standardowe limity prądu upływu podczas testu wysokim napięciem
- 6.9 Która wartość prądu jest wyświetlana i analizowana?
- 6.10 Zwarcie / przeciążenie
- 6.11 Tryb „burn”
- 6.12 Testowanie bez środków ochrony przeciwporażeniowej przed dotykem bezpośrednim
  - 6.12.1 Ograniczenie nadmiarowo-prądowe do maks. 3mA
  - 6.12.2 Energia wyładowania ograniczona do maks. 350mJ
- 6.13 Sprawdzanie ciągłości połączeń
- 6.14 Test wysokiego napięcia AC Online
- 6.15 Przykładowe aplikacje dla testu wysokim napięciem
  - 6.15.1 Test wykonywany ręcznie
  - 6.15.2 Test wykonywany automatycznie
- 6.16 Zestaw kalibracyjny „black box”
  - 6.16.1 Zestaw kalibracyjny „black box” ± limit tolerancji pomiarowej
  - 6.16.2 Zestaw kalibracyjny „black box” test pozytywny/negatywny
- 6.17 Test wysokiego napięcia powyżej 10 kV

## 7 Pomiar wyładowań niezupełnych podczas testu wysokim napięciem AC

- 7.1 Kilka słów na temat pomiaru wyładowań niezupełnych
- 7.2 Czym charakteryzuje się pomiar wyładowań niezupełnych?
- 7.3 Pomiar wyładowań niezupełnych podczas testu wysokim napięciem AC
- 7.4 Pomiar wyładowań niezupełnych w silnikach zasilanych z przetwornicy częstotliwości (pot. falownik)
- 7.5 Metodologia pomiaru wyładowań niezupełnych
  - 7.5.1 Pomiar impulsów prądowych
  - 7.5.2 Pomiar pola elektromagnetycznego w.cz.
  - 7.5.3 Porównanie obu metod pomiarowych
- 7.6 Jednostka pomiarowa [pC]
- 7.7 Napięcie inicjacji/wygaszania wyładowań niezupełnych
- 7.8 Prezentacja graficzna wyładowań niezupełnych
- 7.9 Wnioski

## 8 Test Wysokim napięciem DC (prąd stały)

- 8.1 Informacje na temat testu wysokim napięciem DC
- 8.2 Poziom napięcia probierczego podczas testu HV DC
- 8.3 Jaki rodzaj napięcia jest wyświetlany?
- 8.4 Sposób generowania napięcia DC
- 8.5 Rozładowanie DUT
- 8.6 Rampa napięciowa i kształt napięcia
- 8.7 Test separacyjny czy nieseparacyjny?
- 8.8 Próba wysokim napięciem DC na obiektach o charakterze pojemnościowym
- 8.9 Prąd jako kryterium oceny
- 8.10 Rezystancja izolacji jako kryterium oceny
- 8.11 Standardowe limity prądu upływu podczas testu wysokim napięciem
- 8.12 Która wartość prądu jest wyświetlana i analizowana?
- 8.13 Zwarcie / Przeciążenie
- 8.14 Tryb „burn”
- 8.15 Testowanie bez środków ochrony przeciwporażeniowej przed dotykem bezpośrednim
  - 8.15.1 Ograniczenie nadmiarowo-prądowe do maks. 12mA DC
  - 8.15.2 Energia wyładowania ograniczona do maks. 350mJ

- 8.16 Test wysokiego napięcia AC Online
- 8.17 Sprawdzanie ciągłości połączeń na obiektach o wysokiej rezystancji
- 8.18 Przykładowe aplikację dla testu wysokim napięciem
  - 8.18.1 Test wykonywany ręcznie
- 8.19 Zestaw kalibracyjny „black box”
  - 8.19.1 Zestaw kalibracyjny „black box” -  $\pm$  limit tolerancji pomiarowej
  - 8.19.2 Zestaw kalibracyjny „black box” - test pozytywny/negatywny

## 9 Normatywny test rezystancji izolacji

- 9.1 Informacje na temat testu rezystancji izolacji
- 9.2 Typowe wartości dopuszczalne podczas testu rezystancji izolacji
- 9.3 Wpływ temperatury na pomiar rezystancji izolacji
- 9.4 Jaka wartość jest mierzona i wyświetlana?
- 9.5 Test rezystancji izolacji na obiekcie o charakterze pojemnościowym
- 9.6 Sprawdzanie ciągłości połączeń na obiektach o wysokiej rezystancji
- 9.7 Test rezystancji izolacji Online
- 9.8 Błędy podczas testu rezystancji izolacji spowodowane kondensacją
- 9.9 Przykładowe aplikację dla testu rezystancji izolacji
  - 9.9.1 Test ręczny na obiektach o klasie ochronności II
  - 9.9.2 Test automatyczny
- 9.10 Zestaw kalibracyjny „black box”
  - 9.10.1 Zestaw kalibracyjny „black box” -  $\pm$  limit tolerancji pomiarowej
  - 9.10.2 Zestaw kalibracyjny „black box” - test pozytywny/negatywny

## 10 Pomiar współczynnika polaryzacji dielektryka

- 10.1 Wyjaśnienie zjawiska polaryzacji
- 10.2 Pomiar współczynnika polaryzacji PI
- 10.3 Długoterminowy pomiar współczynnika polaryzacji PI
- 10.4 Możliwe błędy podczas testu PI
  - 10.4.1 Test PI wykonywany na częściowo spolaryzowanej izolacji
  - 10.4.2 Test PI wykonywany na izolatorze o rezystancji większej niż 5G $\Omega$

## 11 Test w sekwencji krokowej

- 11.1 Objasnienia dot. testu w sekwencji krokowej
  - 11.1.1 Test krokowy bez rampy
  - 11.1.2 Test krokowy z rampą

## 12 Test rezystancji

- 12.1 Objasnienia dot. testu rezystancji
- 12.2 Pomiar w technologii 4-przewodowej
- 12.3 Zaciski Kelvina do testu rezystancji w technologii 4-przewodowej
- 12.4 Ewaluacja wyników rezystancji
- 12.5 Wpływ temperatury na test rezystancji
  - 12.5.1 Wzór konwersji dla miedzi i aluminium
  - 12.5.2 Wzór konwersji dla czujnika temperatury
- 12.6 Pomiar rezystancji silnika
- 12.7 Odłączanie zacisków pomiarowych podczas pomiaru rezystancji
- 12.8 Przykładowe aplikacje
  - 12.8.1 Zaciski Kelvina dla testowania stojanów
  - 12.8.2 Panel zaciskowy dla stojanów
  - 12.8.3 Adaptery tabliczki zaciskowej silnika

## 13 Test rezystancji przewodu ochronnego PE

- 13.1 Objasnienia dot. testu rezystancji przewodu ochronnego PE
- 13.2 Pomiar w technologii 4-przewodowej
- 13.3 Typowe wartości dopuszczalne dla pomiaru rezystancji przewodu ochronnego PE
- 13.4 Które wartości są mierzone i poddawane ewaluacji?
- 13.5 Jak zareaguje tester w momencie przekroczenia limitu?
- 13.6 Spadek napięcia na przewodach pomiarowych
  - 13.6.1 Określenie maksymalnej mierzalnej rezystancji
  - 13.6.2 Określenie rezystancji przewodu pomiarowego
- 13.7 Sprawdzanie ciągłości połączeń podczas testu
- 13.8 Pomiar zwiniętych przewodów
- 13.9 Test przy skręconych przewodach pomiarowych
- 13.10 Rezystancja sondy pomiarowej
- 13.11 Przykładowe aplikacje testu PE
  - 13.11.1 Test PE wykonywany ręcznie
  - 13.11.2 Test PE wykonywany automatycznie
- 13.12 Zestaw kalibracyjny „black box”
  - 13.12.1 Zestaw kalibracyjny „black box” -  $\pm$  limit tolerancji pomiarowej
  - 13.12.2 Zestaw kalibracyjny „black box” - test pozytywny/negatywny

## 14 Kierunek wirowania pola magnetycznego

- 14.1 Objasnienia dot. pomiaru kierunku wir. pola magnetycznego

## 15 Test wizualny

- 15.1 Objasnienia dot. testu wizualnego



**16 Test matematyczny (obliczeniowy)**

- 16.1 Objaśnienia dot. testu matematycznego
- 16.2 Przykład: Pomiar temperatury - NTC
- 16.3 Przykład: Pomiar temp. czujnikiem rezystancyjnym PT100
- 16.4 Przykład: Temperatura miedzianego drutu nawojowego
- 16.5 Przykład: Wartość minimalna, maksymalna, średnia & pasmo rozrzutu

**17 Przełączanie metod pomiarowych, matryce przełączające, multitestery**

- 17.1 Opis ogólny
- 17.2 Przełączanie metod pomiarowych
- 17.3 Przełącznice
  - 17.3.1 Zasada działania przełącznicy dwuprzewodowej
  - 17.3.2 Zasada działania przełącznicy czteroprzewodowej
- 17.4 Systemy wielostanowiskowe
- 17.5 Mechatronika

**18 Kalibracja**

- 18.1 Standardowa kalibracja
- 18.2 Wsparcie techniczne online
- 18.3 Kalibracja zdalna

**2**

---

**Dla Twojego Bezpieczeństwa**

## 2 Dla Twojego Bezpieczeństwa

### 2.1 Symbole ostrzegawcze

Następujące symbole zostały wprowadzone w testerach Schleich w celu zapewnienia bezpiecznej eksploatacji i konserwacji przyrządów. Należy uważnie przeczytać opis każdego symbolu.



Ten symbol sygnalizuje pracę przy wysokim napięciu (powyżej 1000V). Zetknięcie z odsłoniętymi przewodami lub podzespołami testowanego silnika może spowodować poważne w skutkach obrażenia a nawet śmierć. W przypadku gdy kontakt z badanym elementem jest wymagany (np. podczas przestawiania, przesuwania DUT) należy upewnić się czy wysokie napięcie na pewno zostało odłączone, a testowany element odpowiednio rozładowany.



Ten symbol wskazuje na prawdopodobne uszkodzenie lub niebezpieczeństwo dla obsługi, które może się pojawić w najbliższym czasie jeśli zostanie zignorowane.



**UWAGA!**

Ten symbol sygnalizuje potencjalnie niebezpieczną sytuację, która może doprowadzić do zniszczenia samego testera lub/oraz innych urządzeń jeśli zostanie zignorowana.



**Generalnie rzecz ujmując ZAWSZE trzeba liczyć się z ryzykiem porażenia prądem podczas przeprowadzania testu elektrycznego. Dlatego też zalecana jest szczególna ostrożność w trakcie użytkowania testera. Operator musi posiadać odpowiednią wiedzę o zagrożeniach lub być o nich poinformowany przez właściciela urządzenia.**



Ten symbol znajduje się obok przypisów w podręczniku, które są szczególnie ważne. Symbol jest stosowany aby upewnić się, że dyrektywy, rozporządzenia i notatki traktujące o bezpieczeństwie zostały przeczytane i przyswojone przez personel obsługujący tester ze szczególną uwagą i pieczołowitością. Ma to na celu uniknięcie potencjalnych zagrożeń podczas pracy z testerem i zmniejszenia ryzyka uszkodzenia testera lub/oraz innych urządzeń. Ponadto symbol ten stosowany jest również w celu wskazania istotnych informacji dodatkowych.

Symbol odnosi się do informacji „know how” zawartych w tym podręczniku.

### 2.2 Czerwona lampa ostrzegawcza



Czerwona lampa ostrzegawcza zapala się gdy napięcie probiercze jest podłączane do DUT. Jeżeli obiekt badany musi zostać rozładowany po teście, lampa ostrzegawcza będzie świecić się do momentu aż napięcie spadnie to bezpiecznego poziomu.

Zielona lampa ostrzegawcza sygnalizuje zerowy poziom napięcia.

### 2.3 Osłona ochronna



Tester wyposażony w osłonę ochronną musi posiadać system bezpieczeństwa interlock. Test może zostać przeprowadzony dopiero po szczelny zamknięciu osłony. W przypadku podniesienia osłony podczas testu, napięcie probiercze zostanie natychmiast odłączone. Dlatego też testery wyposażone w osłonę ochronną zwykle nie wymagają stosowania dodatkowego środka ochrony w postaci lampy ostrzegawczej. Na życzenie klienta możliwe jest też zastosowanie obu rozwiązań.

---

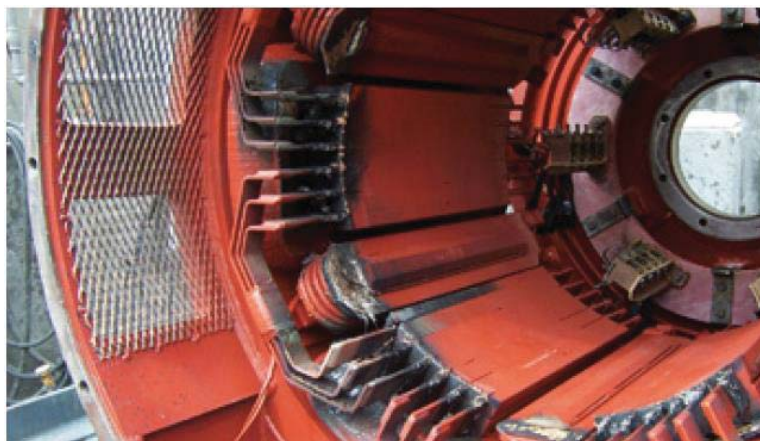
## **Informacje Ogólne**

## 3. Informacje Ogólne

### 3.1 Przykładowe zastosowania testerów

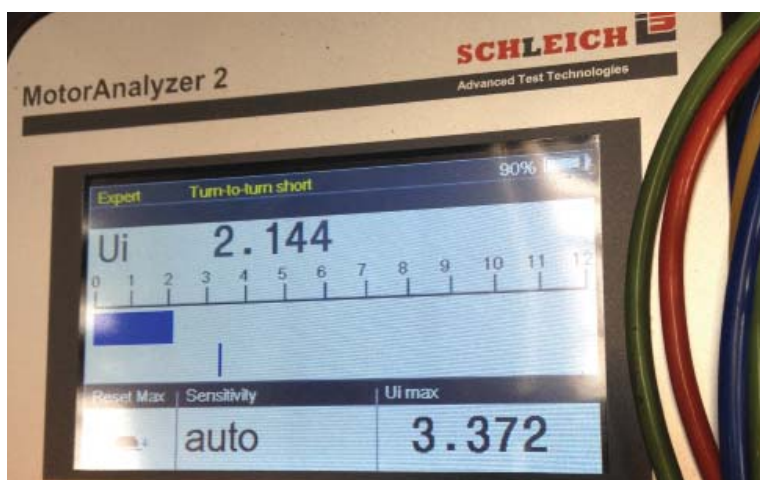
#### Testowanie napędów trakcyjnych

- testowanie stojanów
- testowanie wirników



#### Testowanie urządzeń zasilanych prądem stałym

- testowanie wirników
- wykrywanie strumienia (pola) magnetycznego rozproszenia





## E-Mobilność

- Testowanie wirników urządzeń synchronicznych obcowzbudnych
- Testowanie stojanów urządzeń synchronicznych
- Testowanie stojanów urządzeń indukcyjnych
- Testowanie silników maszyn synchronicznych
- Testowanie silników maszyn indukcyjnych
- Testowanie przetworników położenia kątownego (resolver)
- Testowanie enkoderów



## 3.2 Testery uzwojeń silników elektrycznych firmy Schleich

### 3.2.1 MotorAnalyzer2



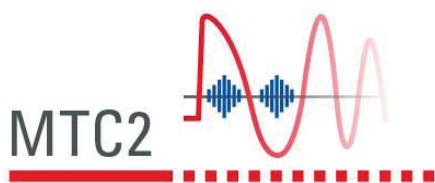
Istnieje kilka ważnych powodów które sprawiają, że MotorAnalyzer2 jest wyjątkową pozycją w asortymencie dostępnych na rynku urządzeń do diagnostyki silników elektrycznych i uzwojeń. Najważniejszą zaletą MotorAnalyzer2 jest możliwość wykonywania testów według 15 różnych metod pomiarowych za pomocą jednego, prostego w obsłudze, lekkiego i poręcznego testera. Z drugiej strony połączenie różnorodności metod pomiarowych, ekstremalnie kompaktowych rozmiarów, jak i niezależnego zasilania bateryjnego czyni MotorAnalyzer2 idealnym narzędziem do pracy w terenie, zwłaszcza w trudnych warunkach przyłączeniowych.

W przypadku testowania silników trójfazowych wyprowadzenia poszczególnych uzwojeń zostają podłączone do testera za pomocą chwytaków (zacisków) Kelvina. Taka konfiguracja pozwala na przeprowadzenie testów w technologii czteroprzewodowej, co jest zalecane przy pomiarach niskich rezystancji. Po prawidłowym podłączeniu, MotorAnalyzer2 rozpoczyna w pełni automatyczny proces pomiarowy, wykonując po kolei każdy test m.in. test udarowy Surge, pomiar rezystancji, pomiar indukcyjności itd. Ponadto nie ma potrzeby aby pracownik zmieniał położenie zacisków pomiarowych w trakcie sekwencji pomiarowej gdyż wszystkie przełączenia realizowane są wewnątrz testera za pomocą wbudowanej matrycy przełączającej. W końcowej fazie testów badany silnik zostaje poddany próbie wysokonapięciowej. Sekwencja testów nie trwa długo a wyniki przedstawiają rzetelną analizę jakościową produktu.

Jako dodatek do powyżej przedstawionych testów MotorAnalyzer2 umożliwia również ustalenie pozycji szczotek na komutatorze w przypadku silników DC oraz zlokalizowanie zwarcí międzyzwojowych za pomocą sondy indukcyjnej.

Walizka transportowa jest wykonana z lekkich ale wytrzymałych materiałów, co więcej jest w pełni wodoodporna. Wewnętrzna kubatura walizki została podzielona na miejsce dla testera oraz podobnej wielkości wgłębienie dla przewodów i chwytaków pomiarowych. W związku z tym operator może w każdym momencie łatwo odszukać potrzebne mu narzędzia w walizce. Rzeczą wartą uwagi są również diody LED umieszczone obok gniazd pomiarowych, które sygnalizują w trakcie testu aktywne przewody pomiarowe.

### 3.2.2 MTC2



Testery klasy MTC2 używa się do testowania uzwojeń w następujących maszynach i elementach: alternatorach, uzwojenia stojanów w silnikach trój- i jedno- fazowych, transformatorach, twornikach, ogólnie pojętych silnikach elektrycznych.

Testery te pozwalają na wykonanie testów zarówno w trybie automatycznym jak i ręcznym. Tryb ręczny idealnie nadaje się podczas prac serwisowych oraz przeglądów technicznych. Możliwe jest również przeprowadzenie testów pół automatycznych. Dla mniej doświadczonych pracowników zaleca się przeprowadzanie testów w trybie automatycznym, taki test zapewnia nie budzącą wątpliwości ocenę testowanego silnika z czytelną listą błędów jakie zarejestrowano.

Dzięki funkcji testów automatycznych testery serii MTC2 dobrze sprawdzają się jako element kontroli jakości na linii produkcyjnej. Tester umożliwia przeprowadzanie testów sekwencyjnych w prosty i łatwy sposób.

### 3.2.3 MTC3



Testery klasy MTC3 to profesjonalne systemy diagnostyczne, które wykorzystują opatentowaną przez firmę Schleich metodę pomiarową udarem napięciowym Surge. MTC3 wykonuje bardzo złożone sekwencje testowe mające na celu wykrycie wady w izolacji elektrycznej testowanych silników.

Po podłączeniu DUT tester przystępuje do analizy wykonując kolejne testy, przełączanie pomiędzy przewodami pomiarowymi oraz kolejnymi etapami sekwencji pomiarowej odbywają się automatycznie. Wyniki z każdego testu mogą być analizowane przez operatora na bieżąco na ekranie wyświetlacza, a po przeprowadzenia całej sekwencji testowej urządzenie prezentuje raport pomiarowy z wyraźnie zaznaczonym wynikiem próby: POZYTYWNA lub NEGATYWNA.

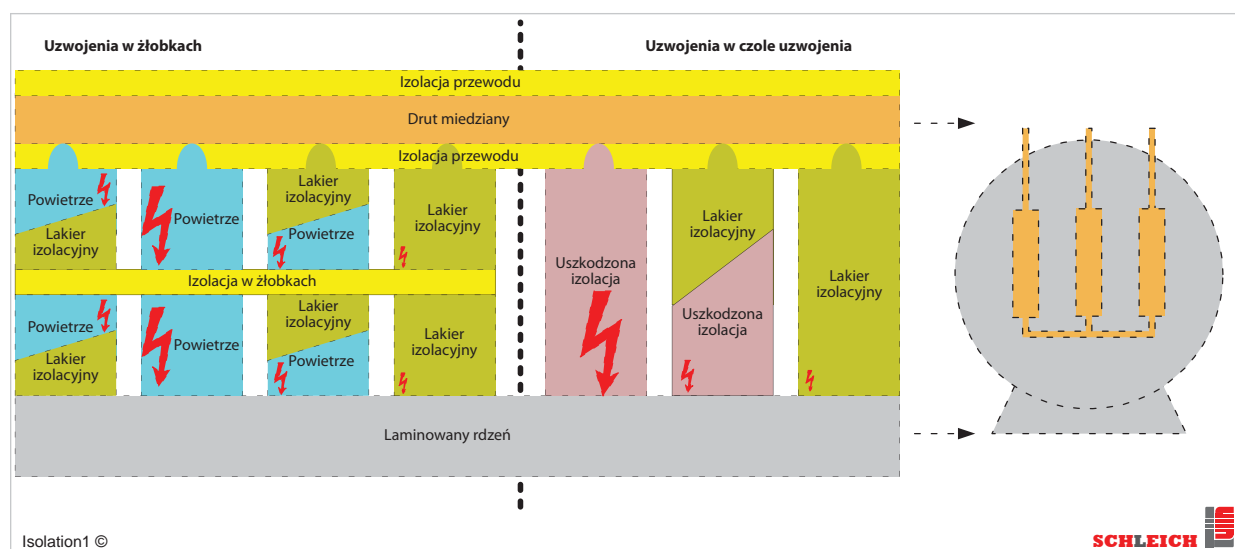
Wcześniej pomiary, nastawy pomiarowe oraz raporty będą zapisywane na dysku twardym komputera klasy PC, zintegrowanego z testerem. Posługując się oprogramowaniem Microsoft® operator może, w przyjaznym i znanym dla niego środowisku programowym, przeglądać, drukować i wysyłać raporty z wcześniejszych pomiarów. Oprogramowanie posiada również szerokie możliwości konfiguracji. Istnieje też możliwość integracji z lokalną siecią LAN.

MTC3 umożliwia również przeprowadzanie licznych analiz statystycznych z puli kontrolowanych produktów. Ta funkcja jest szczególnie przydatna podczas dokumentowania kontroli jakościowej. Tester pozwala na wygenerowanie danych statystycznych na wcześniej wybraną formatkę i wydrukowanie gotowego dokumentu wprost do klienta.

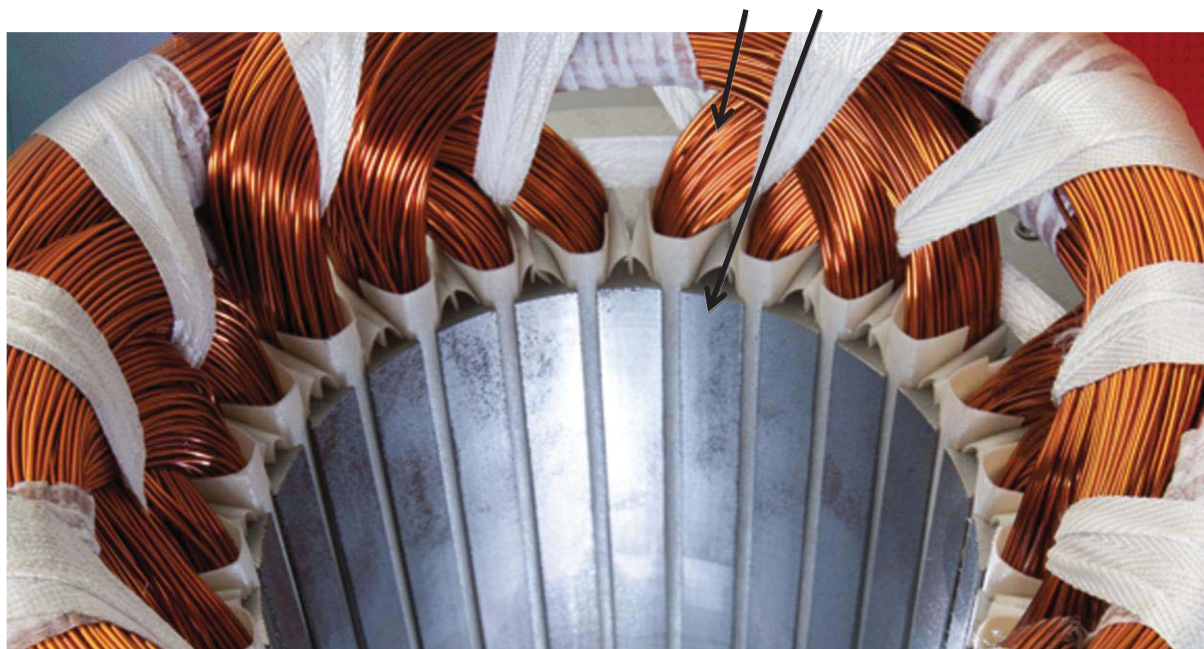


### 3.3 Struktura wewnętrzna izolacji uzwojeń

Izolacja uzwojeń w połączeniu z laminowanym rdzeniem stanowi skomplikowaną strukturę izolacyjną. Pomiędzy miedzianymi żyłami a rdzeniem występuje cały szereg różnego rodzaju izolacji o odmiennych właściwościach i parametrach. Na stan izolacji ma wpływ zabrudzenie, wilgoć czy rodzaj wypełnienia np. żywicą izolacyjną. Zwykle zwarcia występują w bardzo ograniczonych punktach gdzie stan materiału izolacyjnego jest w tym miejscu gorszy niż w pozostałej części. Dlatego też często spotyka się sytuacje, zwykle w silnikach używanych, w której stan izolacji różni się znacząco w zależności od miejsca pomiaru.

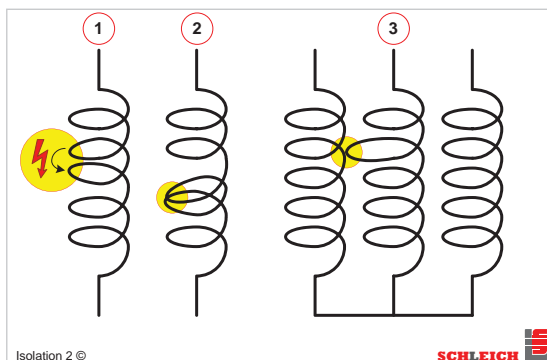


W celu łatwiejszego zrozumienia poszczególnych metod pomiarowych podzieliliśmy izolację na wewnętrzną oraz zewnętrzną.



### 3.3.1 Izolacja wewnętrzna

Izolacja wewnętrzna to izolacja pomiędzy kolejnymi zwojami cewki. Diagnostyka tego typu uszkodzeń jest bardzo istotna z punktu widzenia kontroli jakości produktu. Pojęcie izolacji wewnętrznej odnosi się do sąsiednich zwojów faz 1 i 2 jak i do zwarcí występujących pomiędzy uzwojeniami faz połączonych w gwiazdę.



Pomiar izolacji wewnętrznej to skomplikowany technicznie proces i może być zrealizowany jedynie za pomocą testu udarowego Surge. Tylko za pomocą tego opatentowanego przez firmę Schleich pomiaru udaje się wykryć uszkodzenie izolacji pomiędzy kolejnymi zwojami cewki.

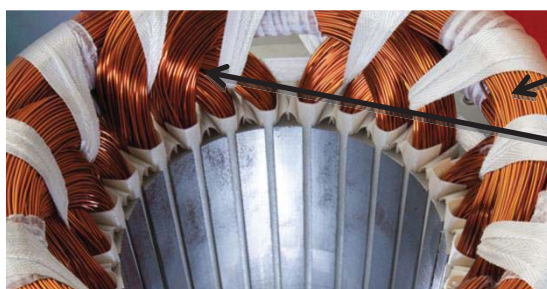
Ilustracja przedstawia 3 typowe miejsca uszkodzenia izolacji.

Zaznaczony na żółto obszar w cewkach 1 i 2 ilustruje uszkodzenie izolacji pomiędzy uzwojeniami tej samej cewki.

Żółty obszar na rysunku oznaczonym nr 3 przedstawia uszkodzenie izolacji pomiędzy uzwojeniami dwóch faz połączonych w gwiazdę.

#### Standardowe metody pomiarowe używane do wykrywania tego typu uszkodzeń:

- Test udarem napięciowym Surge
- Pomiar wyładowań niezupełnych w połączeniu z testem Surge



Potencjalne miejsce uszkodzenia izolacji wewnętrznej pomiędzy uzwojeniami tej samej cewki.

Potencjalne miejsce uszkodzenia izolacji wewnętrznej pomiędzy uzwojeniami dwóch oddzielnych faz.

#### Typowe uszkodzenia:

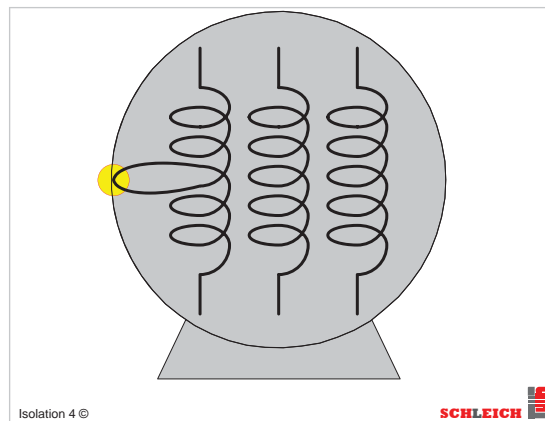
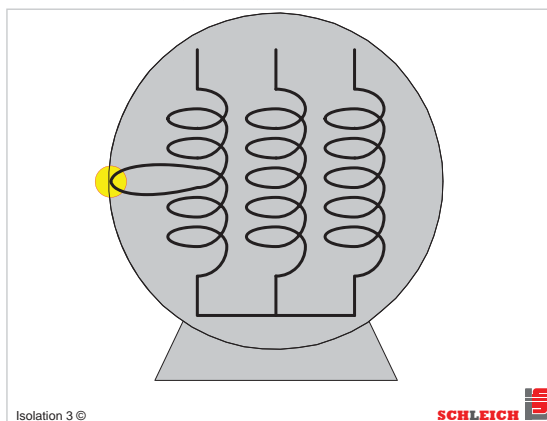
- zwarcia międzyzwojowe
- zwarcia międzyzwojowe zależne od poziomu przyłożonego napięcia.
- zwarcia międzyfazowe przy połączeniu w Y lub  $\Delta$ .
- zwarcia międzyfazowe przy połączeniu w Y lub  $\Delta$  zależne od poziomu przyłożonego napięcia
- brakujące lub częściowo przesunięte koszulki izolacyjne pomiędzy kolejnymi fazami.

### 3.3.2 Izolacja zewnętrzna

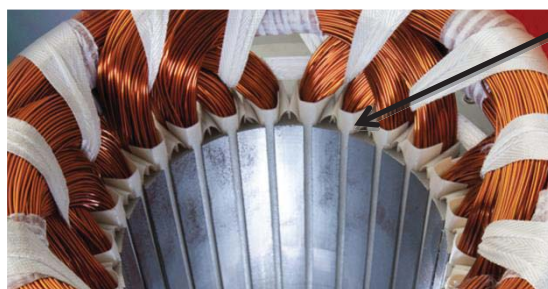
Termin „izolacja zewnętrzna” odnosi się do izolacji pomiędzy uzwojeniami a laminowanym rdzeniem.

Celem wykrycia tego rodzaju uszkodzeń izolacji, niezbędne jest przetestowanie uzwojeń, które mogą mieć kontakt galwaniczny z rdzeniem magnetycznym silnika w całości lub częściowo.

Pomiar tego typu uszkodzeń izolacji jest istotny dla bezpieczeństwa użytkownika końcowego! Produkt, który nie przeszedł testu pomyślnie nie może zostać wprowadzony na rynek z uwagi na ryzyko dla użytkownika.



Opis obowiązkowych testów związanych z bezpieczeństwem znajduje się w normach krajowych oraz zagranicznych np. IEC 60060-3



Potencjalne miejsce uszkodzenia izolacji zewnętrznej

#### Standardowe metody pomiarowe używane do wykrywania tego typu uszkodzeń:

- Test wysokonapięciowy AC
- Test wysokonapięciowy DC
- Test rezystancji izolacji
- Pomiar wyładowań niezupełnych, w połączeniu z testem wysokonapięciowym prądu przemiennego

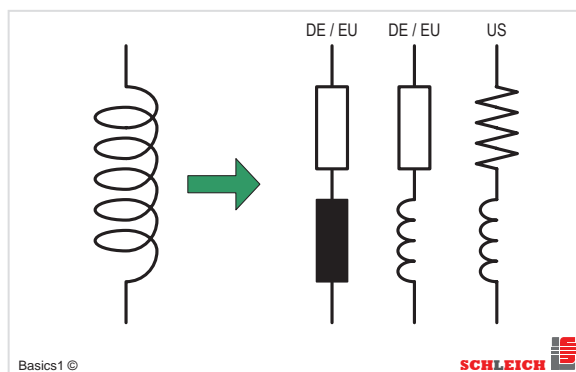
#### Typowe uszkodzenia:

- zwarcie do obudowy
- zwarcie do obudowy zależne od poziomu napięcia
- brakująca lub wadliwa izolacja w żłobkach



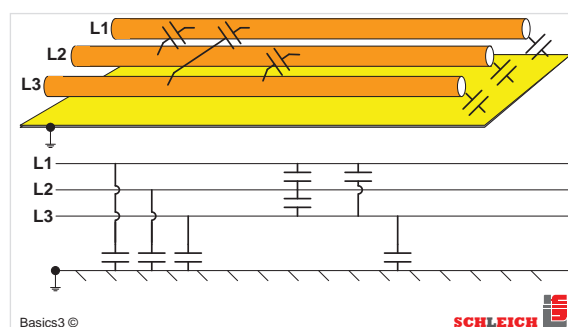
### 3.4 Schemat zastępczy uzwojenia

Często używa się schematów zastępczych testowanego uzwojenia, dla lepszego zrozumienia metodologii pomiarowej. Postępując się schematem mamy możliwość odwzorować rzeczywiste parametry uzwojenia. Za pośrednictwem schematów zastępczych łatwiej jest też zrozumieć istotę problemu i zmiany pojawiające się okresowo podczas testów.

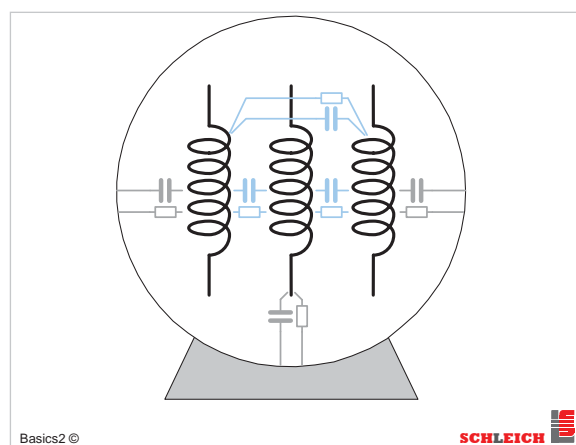


Główne parametry uzwojenia to jego indukcyjność oraz rezystancja. Ilustracja obok przedstawia symbole używane na schematach elektrycznych. I chociaż ich funkcja jest taka sama, symbole te różnią się w innych częściach świata i należy mieć to na uwadze.

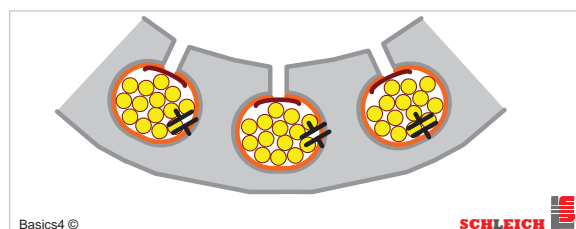
Budowa silnika ma duże znaczenie dla powstawania parametrów pasywnych (takich jak pojemność czy rezystancja) np. na rysunku poniżej pomiędzy trzema zaprezentowanymi uzwojeniami występuje pojemność i rezystancja pasywna, czy wiesz dlaczego?



Dwie odizolowane od siebie metalowe powierzchnie tworzą pojemność o pewnej wartości. Im większa powierzchnia tych metalowych okładzin i/ oraz im mniejsza odległość między nimi, tym większa pojemność pasywna. Tak więc dwa odizolowane od siebie uzwojenia w silniku działają jak kondensator i mogą wytwarzać pomiędzy sobą pole elektryczne.



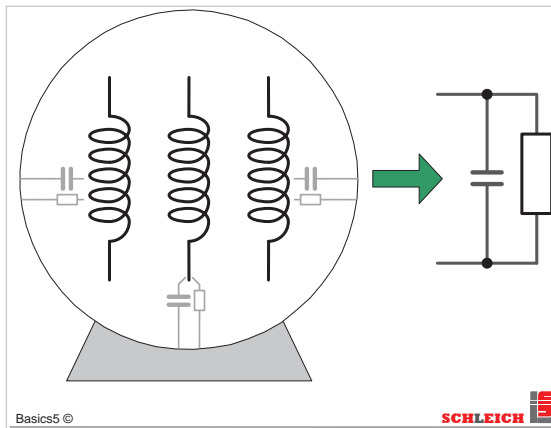
Ilustracja obrazuje pojemności pasywnie pomiędzy uzwojeniami oraz pomiędzy uzwojeniami i korpusem silnika.



Symbol rezystancji zostały umieszczone odpowiednio przy każdej pojemności.

Pojemności pomiędzy uzwojeniami i korpusem silnika są względnie wysokie. Dzieje się tak ponieważ zwoje drutu nawojowego są gęsto umieszczone w żłobkach. Dodając to tego małą odległość do laminowanego rdzenia uzyskujemy znaczną pojemność pasywną.

Schemat zastępczy dla izolacji pomiędzy uzwojeniami i obudową silnika wygląda następująco:



Wszystkie pojemności i rezystancje są dodawane do jednej sumarycznej wartości pojemności i do jednej wspólnej wartości rezystancji. Takie uproszczenie jest możliwe tylko gdy wszystkie uzwojenia są ze sobą zmostkowane i jeżeli wartości pojemności i rezystancji zmostkowanych uzwojeń do obudowy są nam znane.



# 4

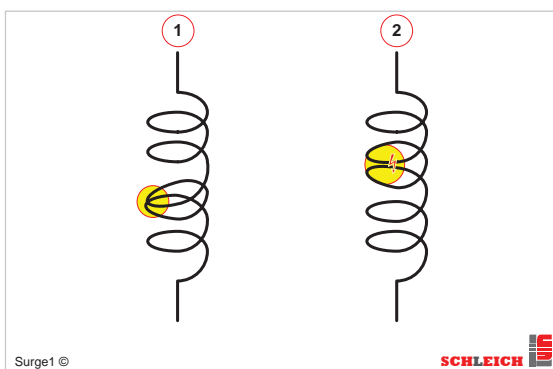
## Test Surge



## 4. Test Surge

### 4.1 Wyjaśnienie zjawiska udaru napięciowego Surge

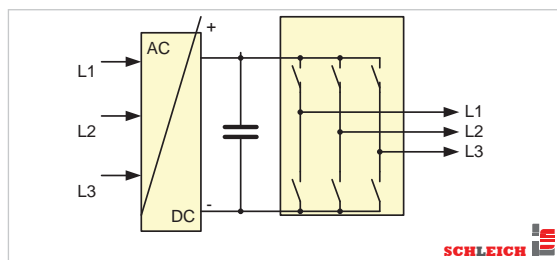
Testy Surge przeprowadza się w celu wykrycia zwarcia międzyzwojowych. Test Surge idealnie nadaje się do sprawdzania stanu izolacji pomiędzy zwojami badanego uzwojenia. Należy tutaj zaznaczyć, że test udarem napięciowym Surge to jedyna na chwilę obecną sprawdzona metoda pomiarowa pozwalająca na rzetelną i dokładną ocenę stanu izolacji wewnątrz uzwojenia.



Uszkodzenia pomiędzy zwojami mogą być niezależne od przyłączonego napięcia i wynikać z degradacji izolacji rys.1, lub też możliwość wystąpienia zwarcia może rosnąć proporcjonalnie do zwiększającego się napięcia w uzwojeniu rys.2. W przypadku sytuacji opisanej na rysunku nr 1 z reguły istnieje galwaniczne połączenie wadliwych zwojów. W przypadku sytuacji przedstawionej pod nr 2 zwiększający się poziom napięcia wywołuje różnicę potencjałów pomiędzy uzwojeniami co w konsekwencji skutkuje powstaniem łuku elektrycznego oraz dalszym zwięgleniem już uszkodzonej izolacji. W tym tkwi atut metody pomiarowej Surge, żaden inny test nie jest w stanie wykryć tego rodzaju uszkodzeń izolacji. Chociaż konwencjonalna metoda pomiaru indukcyjności jest w stanie wykazać zwarcie poprzez połączenie uzwojeń rys.1 (ponieważ indukcyjność cewki zmienia się pod wpływem powstałego uszkodzenia), to nie sprawdza się w sytuacji przedstawionej na rysunku pod nr 2.

**Dlaczego wykrycie uszkodzeń zależnych od przyłożonego napięcia w uzwojeniu jest tak ważne?**

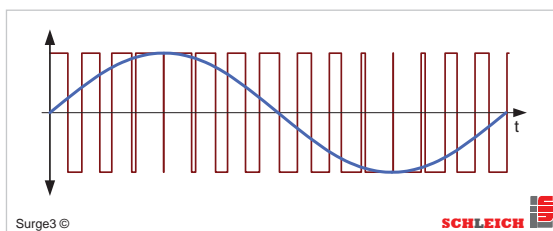
Wynika to z faktu, że obecnie coraz więcej silników zasilanych jest przez przetwornice częstotliwości (pot. falownik), celem regulacji prędkości obrotowej. Faktycznie przetwornice częstotliwości są wygodnymi i niemal idealnymi urządzeniami, ale pamiętajmy, że ich użycie pociąga za sobą ogromną wadę, mianowicie na wyjściu falownika nie występuje czysta sinusoida. Kształt napięcia jest często daleki od sinusoidy, a swoim kształtem napięcie przypomina bardziej przebieg prostokątny.



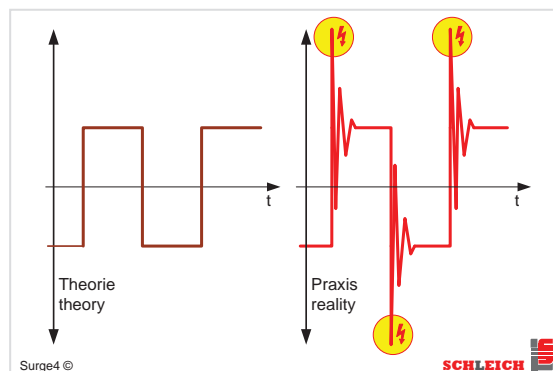
Aby zmienić prędkość obrotową silnika, częstotliwość napięcia silnika również musi ulegać zmianie. Tą zależność wykorzystujemy używając falownik.

Aby to osiągnąć na falownik jedno lub trójfazowy podawana jest napięcie DC, które jest następnie wygładzane i podawane na kondensator wewnątrz falownika. Następnie napięcie DC ponownie ulega transformacji na AC przez 6 szybkich, półprzewodnikowych przełączników. Z tego powodu w pierwszej kolejności powstają przebiegi prostokątne, ale nie sinusoidalne.

Za pomocą odpowiednich algorytmów przełączania falownik jest w stanie odtworzyć przebieg sinusoidalny, ale pamiętajmy że tylko do pewnego stopnia odpowiada on rzeczywistemu kształtowi sinusoidy. Cały proces dokonuje się za pomocą tak zwanej modulacji szerokości impulsów (PWM). Poniższy rysunek ilustruje PWM na przykładzie pojedynczej fazy.



Nakładając na siebie różne cykle pracy przełączników otrzymujemy odwzorowany przebieg sinusoidalny. W teorii taki system powinien działać bez zarzutu. Jednak w praktyce połączenie zasilanie silnika z falownika może nastręczyć problemów z izolacją uzwojeń. Powodem jest szybkość przełączania napięcia przez switch'e wewnątrz falownika. Zbyt szybkie kluczowanie powoduje groźne dla izolacji przepięcia (szczytowe wartości chwilowe) napięcia, które zwykle osiągają poziom znacznie przewyższający poziom nominalny. Skutkuje to powstaniem różnicy potencjałów pomiędzy uzwojeniami i degradacją izolacji nie dostosowanej do tak wysokiego napięcia.



I chociaż przepięcia można skutecznie tłumić używając odpowiedniego rodzaju filtra na wyjściu falownika, to owo rozwiązanie nie jest szeroko stosowane ze względu na wysokie koszty zakupu filtra często przewyższające cenę samego silnika.

**Niewątpliwie główną zaletą testów udarem napięciowym Surge jest możliwość odtworzenia, przez odwzorowywanie pików napięciowych, rzeczywistych warunków jakie występują w uzwojeniach silnika podczas pracy z falownikiem. Co więcej pozwala to na wykonanie testów i dobranie odpowiedniego falownika, który wywołuje najmniejsze szkody w izolacji uzwojeń danego silnika.**





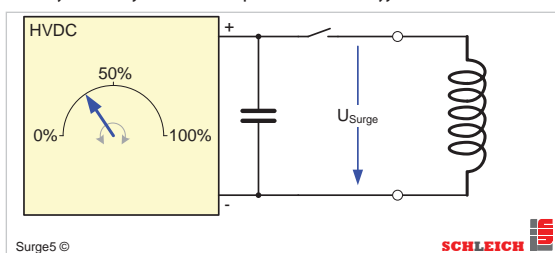
## 4.2 Metodyka testu Surge

Metoda pomiarowa bazuje na zjawisku drgań tłumionych i polega na wygenerowaniu impulsu napięciowego o wysokiej amplitudzie przez gwałtowne rozładowanie napięcia na kondensatorze probierczym przy użyciu elektronicznego przełącznika.

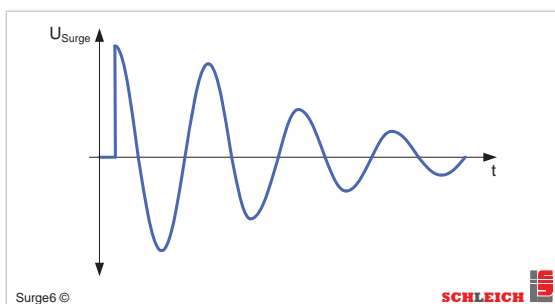
Poniższy schemat ilustruje zasadę działania testu Surge. Kondensator, przełącznik elektroniczny oraz woltomierz są zainstalowane wewnątrz testera natomiast po prawej stronie znajduje się badane uzwojenie.

Zasada działania: Elektroniczny przełącznik zwiiera naładowany kondensator z badanym uzwojeniem. Szybkie przełączenie skutkuje powstaniem gwałtownego wzrostu napięcia na uzwojeniu. Nazwa impulsu Surge wywodzi się z języka angielskiego, gdzie w polskim tłumaczeniu została określona jako udar napięciowy Surge, bądź zjawisko fali rozmytej.

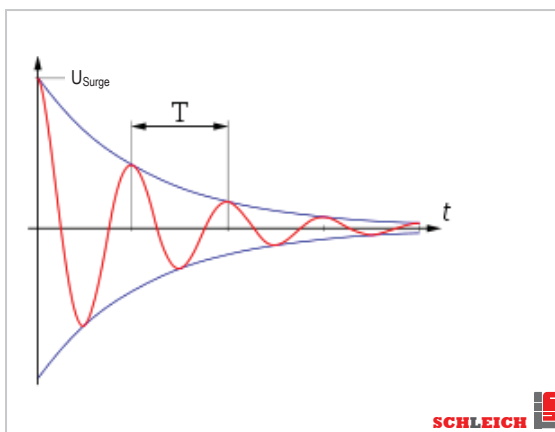
Co więcej kształt napięcia generowany przez kondensator probierczy podczas testu Surge w dużym stopniu odwzorowuje wahania napięcia, wynikające z zastosowania metody modulacji szerokości impulsu (PWM) na wyjściu falownika.



Poniższy układ, składający się z cewki i kondensatora, działa jak typowy obwód rezonansowy LC. Kondensator naładowany przez źródło wysokiego napięcia dostarcza energię do obwodu rezonansowego. W wyniku czego występują typowe drgania rezonansowe.



Oscylacja przypomina swoim kształtem wygaszającą się sinusoidę. Drgania narastają, jako że naładowany kondensator, w połączeniu z cewką tworzą równoległy obwód rezonansowy. Termin „równoległy obwód rezonansowy” wynika z faktu, że kondensator jest podłączony równolegle z cewką po zwarcie przełącznika.



Energia w obwodzie LC oscyluje teraz pomiędzy kondensatorem i cewką. Oczywiście, proces ten nie może trwać nieskończenie, ze względu na straty, które występują w każdym rzeczywistym obwodzie rezonansowym. Zatem amplituda oscylacji z każdym okresem zmniejsza się, a po pewnym czasie zanika całkowicie. Ten rodzaj zanikającego napięcia nazywany jest drganiami tłumionymi.

Każda oscylacja sinusoidalna posiada inny kształt, który silnie zależy od kondensatora probierczego (C) oraz indukcyjności testowanego uzwojenia.

Parametry:

- Poziom napięcia wejściowego ( $U_{\text{Surge}}$ )
- Szybkość tłumienia drgań
- Częstotliwość ( $f$ ) lub długość okresu ( $T$ )

Te parametry są unikatowe dla każdego uzwojenia podobnie jak odciski palców dla ludzi.

Kształt charakterystyki tłumienia drgań może być również użyty do porównania uzwojeń z tej samej serii produkcyjnej.





### 4.3 Czy test Surge może uszkodzić testowane uzwojenie?



To pytanie jest często zadawane.

Aby na nie odpowiedzieć, należy podzielić uzwojenia na te, które są już w użyciu przez dłuższy czas i na nowe uzwojenia wprost z linii produkcyjnej.

Nowe uzwojenia:

Wspólnie z naszymi klientami oraz ośrodkami badawczymi przeprowadziliśmy liczne badania dotyczące tej kwestii. Po pomiarach możemy wyraźnie podkreślić, że testy Surge, jeśli są prawidłowo wykonywane, nie powoduje wcześniejszego uszkodzenia uzwojenia. Jednak należy stwierdzić, że odpowiedź na to pytanie jest również zależna od poziomu napięcia i czasu testu! Jeśli poziom napięcia wyraźnie przekracza limit opisany w normie lub jeśli badanie trwa kilka godzin, może to doprowadzić do uszkodzenia. Ale zazwyczaj taka sytuacja nie występuje w praktyce.

Napięcie udarowe Surge utrzymuje się przez bardzo krótki okres czasu. W zależności od uzwojenia, okres drgań wynosi od 10 mikrosekund do 1ms. Tak szybki impuls nie jest w stanie spowodować trwałego uszkodzenia badanego elementu. Dotyczy to również teoretycznej sytuacji, w której napięcie testowe utrzymywałoby się na badanym uzwojeniu przez czas 100 okresów, ponieważ czas trwania całego testu jest nadal byłby zbyt krótki. Konwencjonalne testy wysokim napięciem przemiennym (AC) często trwają około 1 sekundę.



Tak więc porównując te dwie metody, prawdopodobieństwo uszkodzenia uzwojenia jest bardziej możliwe podczas standardowych testów AC.

Stare uzwojenia:

Izolacja uzwojeń używanych może być osłabiona. Dlatego ważne jest, aby postępować ostrożnie podczas testu.

Zalecane jest, aby ściśle przestrzegać instrukcji i nie przekraczać maksymalnego napięcia probierczego. Więcej informacji na ten temat znajdziesz w rozdziale 4.7.

### 4.4 Weryfikacja badanego elementu za pomocą testu Surge

Test Surge to test porównawczy. Za pomocą pojedynczego impulsu Surge nie jesteśmy w stanie sprawdzić czy dane uzwojenie jest wykonane poprawnie. Jedyne przez porównanie dwóch charakterystyk tłumienia możemy odpowiedzieć na pytanie czy izolacja w danym uzwojeniu jest wystarczająca.

W gruncie rzeczy istnieją trzy różne metody porównawcze.

W dalszej części podręcznika, każda z metod zostanie szczegółowo opisana.

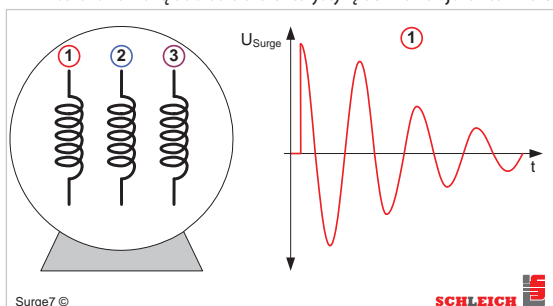
- Porównanie tłumienia drgań pomiędzy wszystkim trzema fazami (phase to phase)
- Porównanie tłumienia drgań dla różnych poziomów napięcia (peak to peak)
- Porównanie z uzwojeniem referencyjnym



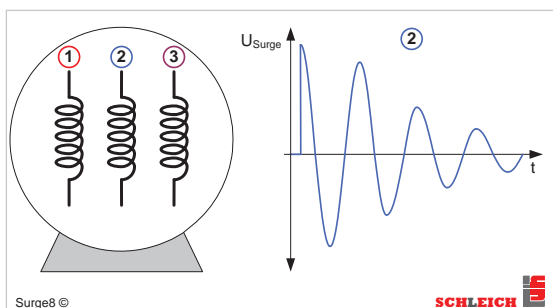
#### 4.4.1 Porównanie tłumienia drgań pomiędzy wszystkim trzema fazami

Aby szybko i sprawnie ocenić izolację wszystkich trzech fazach podczas naprawy lub konserwacji, należy podać napięcie probiercze sukcesywnie na każde uzwojenie.

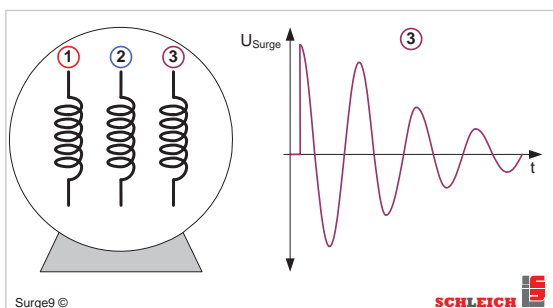
Jeżeli izolacja nie jest uszkodzona wszystkie trzy wykresy powinny być identyczne lub niemal identyczne. W tych warunkach uzwojenia powinny przedstawiać bardzo zbliżoną do siebie charakterystykę tłumienia i jeżeli ten warunek został spełniony można przyjąć, że badane elementy przeszły test pomyślnie.



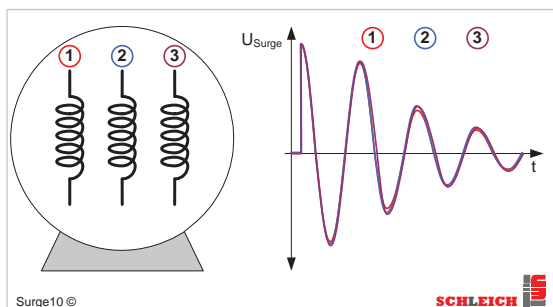
Charakterystyka tłumienia drgań na uzwojeniu nr 1



Charakterystyka tłumienia drgań na uzwojeniu nr 2



Charakterystyka tłumienia drgań na uzwojeniu nr 3



Porównanie charakterystyk wszystkich trzech faz

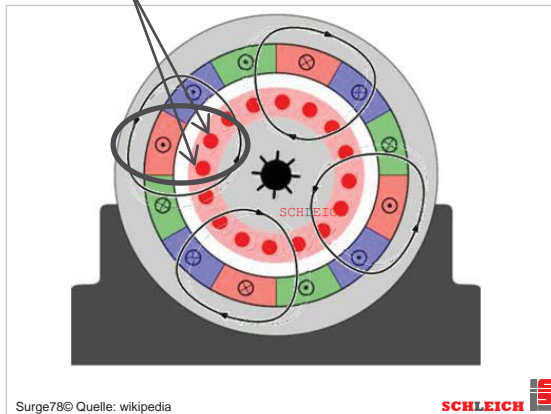


#### 4.4.2 Porównanie tłumienia drgań dla różnych poziomów napięcia

W praktyce podczas napraw i prac konserwacyjnych często zdarza się, że kontrola jakości izolacji musi zostać wykonana na całkowicie zmontowanym silniku. W zasadzie równie dobrze i w tym przypadku można zweryfikować klasę izolację porównując charakterystyki tłumienia drgań wszystkich trzech faz. Jednakże, w niektórych przypadkach może to prowadzić do zafałszowania wyników, ponieważ uzwojenia wirnika i stojana oddziałują względem siebie i mogą wprowadzać znaczny błąd pomiarowy.

Przyczyna: Sprężenie magnetyczne pomiędzy wirnikiem i stojanem zależy od położenia kąтового wirnika i często nie rozkłada się tak samo dla każdej fazy. Ze względu na nierówne sprężenie pomiędzy wirnikiem i stojanem charakterystyka tłumienia drgań każdej z faz może się w dużej mierze różnić.

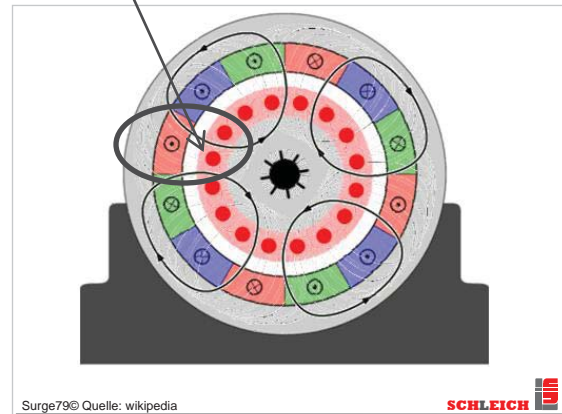
W tym przypadku dwa uzwojenia wirnika sprzęgają się z uzwojeniami stojana



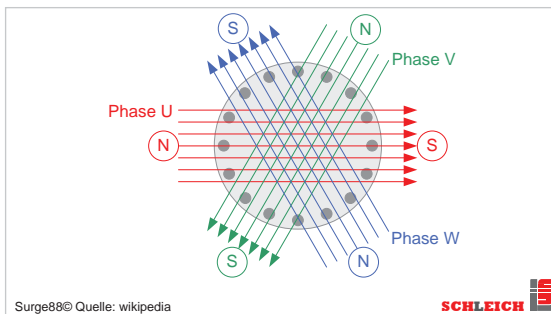
Surge79 © Quelle: wikipedia



W tym przypadku jedno uzwojenie wirnika sprzęga się z uzwojeniami stojana



Surge79 © Quelle: wikipedia

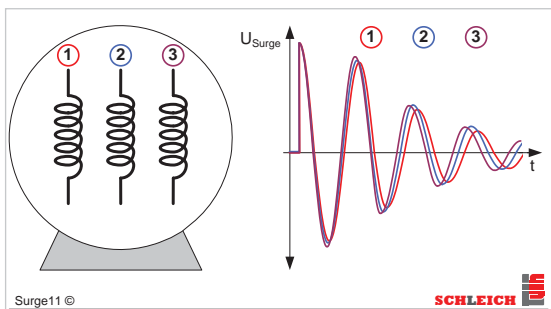


Surge88 © Quelle: wikipedia



Zdjęcie obok ilustruje sytuacji opisaną powyżej. Na rysunku możemy zauważyć rozkład sił pola magnetycznego podczas testu Surge dla faz U, V, W włącznie z wirnikiem. Należy sobie uświadomić, że napięcie probiercze podczas testu Surge wytwarza pole magnetyczne w ten sam sposób co napięcie przemienne zasilające silnik podczas pracy.

Wyraźnie widać, że sprężenie pomiędzy wirnikiem i polem magnetycznym badanych uzwojeń jest zależne od położenia kąтового wirnika. Pole magnetyczne wytworzone podczas testu Surge sprzęga się do różnej liczby uzwojeń wirnika w zależności od testowanej fazy i położenia wirnika. Z tej przyczyny charakterystyki tłumienia każdej z testowanych faz są różne.



Surge11 ©

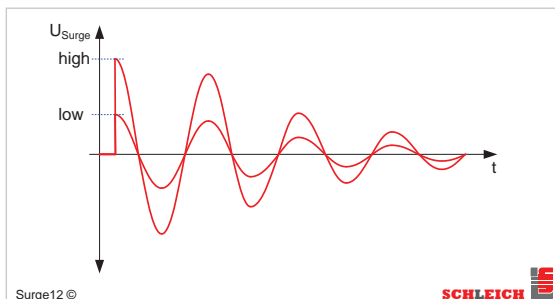


Może to doprowadzić do dużych rozbieżności pomiędzy wynikami testu Surge dla każdej z faz. Jednakże w tym przypadku nie musi to być wina wadliwej izolacji uzwojeń a jedynie sprężenia pomiędzy uzwojeniami wirnika i stojana. Z tej racji została opracowana inna metoda pomiarowa, która pozwala na bardziej powtarzalne i rzetelne wyniki pomiaru zmontowanego silnika.



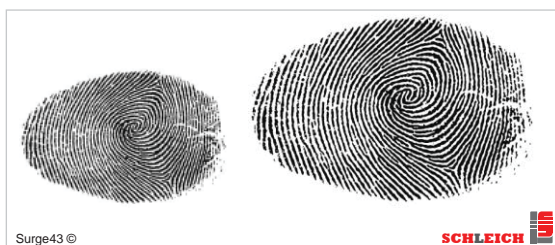
### 4.4.2.1 Pomiary Umin/Umax

Ta metoda porównawcza w 3-fazowym uzwojeniu nie jest oparta na porównaniu pomiędzy trzema uzwojeniami, ale na porównaniu jednego i tego samego uzwojenia. W nawiązaniu do wyżej wymienionego problemu z położeniem kątowym wirnika, ta metoda pomiarowa ogranicza do zera wpływ położenia wirnika w stojanie. Jeśli położenie wirnika nie zmienia się w trakcie testu, sprzężenie magnetyczne między stojanem i wirnikiem pozostaje takie same dla testowanej fazy.



W tym przypadku zakłada się, że przebieg Surge zmierzony dla niskiego poziomu napięcia, może różnić się tylko amplitudą w porównaniu z przebiegiem Surge dla wyższego poziomu napięcia. Wszystkie inne parametry, jak na przykład kształt sinusoidy napięcia i częstotliwość pozostają takie same.

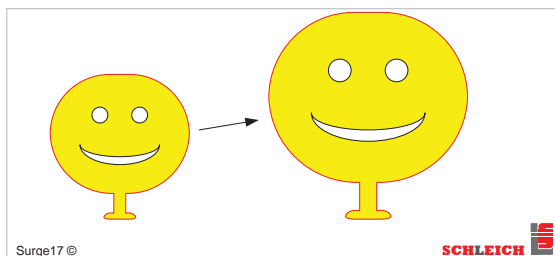
Dla nie uszkodzonego uzwojenia kształt przebiegu nie zmieni się. Jednak jeśli uzwojenie posiada defekty w izolacji ujawniające się przy wyższym napięciu, kształt przebiegów na wykresie będzie się znacząco od siebie różnił.



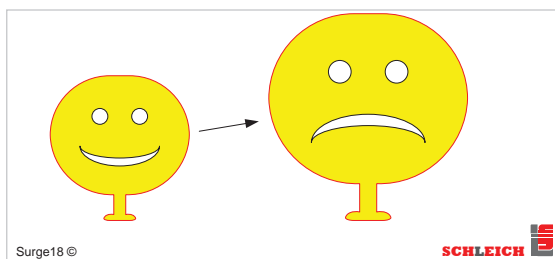
Najlepiej tą metodę obrazują dwa odciski palców. Choć ich kształt jest identyczny, to różnią się wielkością. Tak właśnie wygląda zależność pomiędzy przebiegiem o wyższej i niższej amplitudzie napięcia.

Porównanie obu pomiarów może zostać wykonane przez operatora lub automatycznie przy użyciu testera. Do automatycznego zestawienia obydwu przebiegów tester wykorzystuje algorytmy oparte na korelacji, jest to metoda opatentowana przez firmę Schleich. Automatyczna ewaluacja znacznie przyspiesza cały test, zwłaszcza, że wykorzystując tą metodę pomiarowa do oceny jakości izolacji wystarczą tylko dwa pomiary. Niestety używając metodę Umin/Umax nie jesteśmy w stanie dokładnie oszacować przy jakiej wartości napięcia probierczego wystąpiło zwarcie.

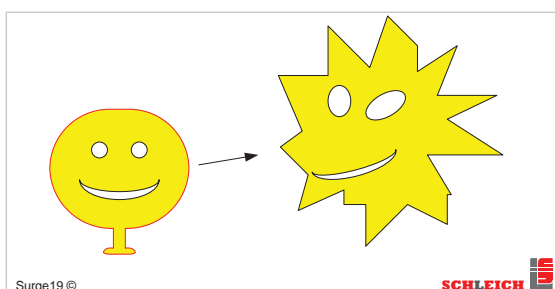
Na przykład, pierwszy pomiar może być przeprowadzony przy 600 V, a drugi z maksymalnym dopuszczalnym napięciem pomiarowym dla tego uzwojenia.



Ilustracja umieszczona obok przedstawia metodę porównawczą Umin/Umax w inny sposób. Wyobraź sobie, że nie w pełni nadmuchany balon umieszczony po lewej stronie obrazka symbolizuje test Surge przy niskiej wartości napięcia. Natomiast w pełni nadmuchany balon po prawej stronie to test przy wysokiej wartości napięcia. Obydwa balony różnią się tylko wielkością (amplitudą), pomimo tego kształt twarzy (fala i częstotliwość sinusoidy) się nie zmienia.



Ta ilustracja przedstawia sytuację, które z praktycznego punktu widzenia nie istnieje.



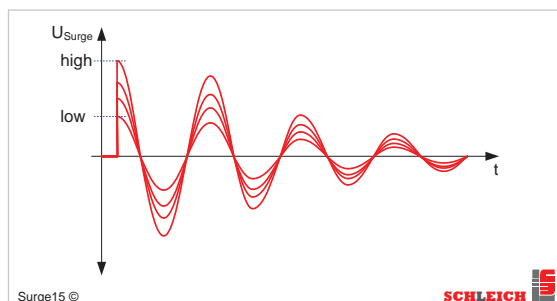
Możliwe jest jednakże, uszkodzenie balonu w skutek nadmiernego ciśnienia. Podobne zjawisko występuje w uzwojeniu silnika. Gdy napięcie wzrasta poza bezpieczny poziom izolacja zostaje uszkodzona i następuje wyładowanie zupełne (zwarcie).



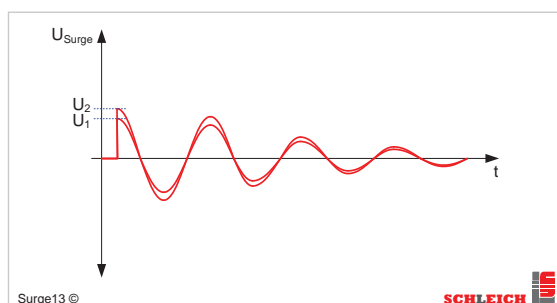


#### 4.4.2.2 Pomiary „Peak to Peak”

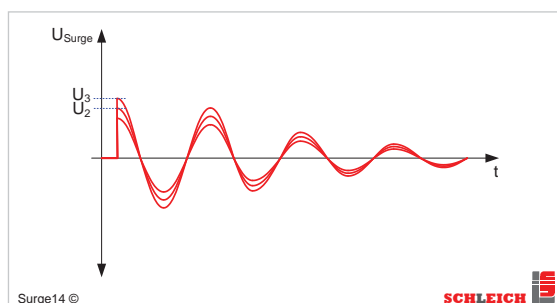
Ta metoda porównawcza bazuje na porównaniu przebiegów napięcia o różnej amplitudzie w pojedynczym uzwojeniu. Ogranicza to wpływ pozycji kątowej wirnika na wynik pomiaru. Jeśli położenie wirnika nie zmienia się w trakcie testu, sprzężenie magnetyczne między stojanem i wirnikiem pozostaje takie same.



Analogicznie do poprzedniej metody i w tym przypadku zakłada się, że przebieg Surge zmierzony dla niskiego poziomu napięcia, może różnić się tylko amplitudą w porównaniu z przebiegiem Surge dla wyższego poziomu napięcia. Wszystkie inne parametry, jak na przykład kształt sinusoidy i częstotliwość pozostają takie same.



Dla nie uszkodzonego uzwojenia kształt przebiegu nie zmienia się. Jednak jeśli uzwojenie posiada defekty w izolacji ujawniające się przy wyższym napięciu, kształt przebiegów na wykresie będzie się znacząco od siebie różnił.



Zasada tego pomiaru polega na sekwencyjnym zwiększaniu napięcia pomiarowego i porównywaniu z poprzednim wynikiem. Różnice w wartości napięcia (pomiędzy kolejnym krokiem pomiarowym) nie są zbyt wielkie. Jeżeli rozbieżność obydwu sinusoid (pomiędzy  $U_1$  i  $U_2$ ) mieści się w normie, wynik testu jest pozytywny.

Z każdym kolejnym krokiem pomiarowym napięcie jest zwiększane. Jeżeli odchylenie pomiędzy analizowanymi przebiegami jest w granicach normy, wynik testu jest pozytywny. Jeżeli w pierwszym kroku pomiarowym nie zaobserwowano znacznego odkształcenia można uznać uzwojenie za poprawne.

Sekwencja pomiarowa jest w pełni automatyczna. Zaczynając od najniższego poziomu napięcia, tester firmy Schleich będzie sukcesywnie zwiększał jego poziom w kolejnych krokach pomiarowych. Sekwencja zakończy się po osiągnięciu założonego poziomu napięcia lub w chwili wystąpienia zwarcia.

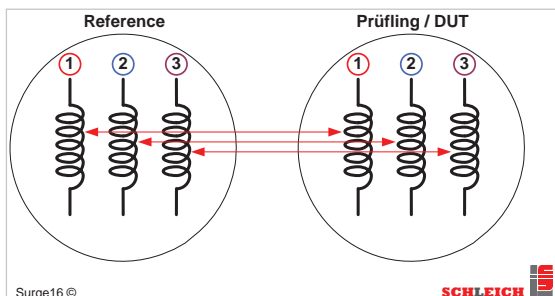
Pomiary „Peak to Peak” można z powodzeniem przeprowadzać na wszystkich trzech fazach równocześnie. Procedura rozpoczyna się od testowania kolejno każdego z uzwojeń przez stopniowe zwiększanie napięcia od poziomu minimalnego do ustalonej wartości granicznej.



### 4.4.3 Porównanie z uzwojeniem referencyjnym

Porównanie wyników testu Surge z poprzednimi na sztuce referencyjnej to typowe podejście na produkcji.

Wiele uzwojeń tej samej klasy jest produkowanych masowo. Dlatego też, niektóre uzwojenie o bardzo dobrych właściwościach izolacji mogą służyć jako wzór dla kolejnych sztuk produkcyjnych.



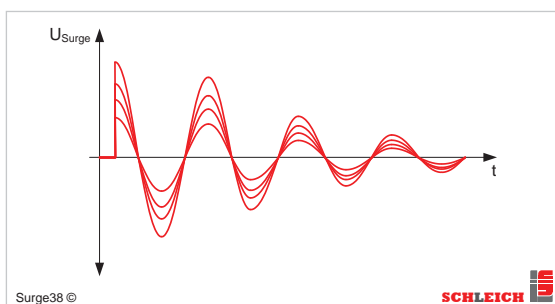
## 4.5 Metody porównawcze testu Surge - obliczenia porównawcze

Metoda pomiarowa udarem napięciowym Surge to test porównawczy. Jeden pojedynczy pomiar nie pozwoli ocenić jakości uzwojenia.

### 4.5.1 Korelacja (opatentowane przez firmę Schleich)

Korelacja oferuje łatwą możliwość porównania ze sobą kilku przebiegów matematycznie. Rozwiązania oparte na korelacji są stosowane w wielu inżynierskich i laboratoryjnych urządzeniach. Korelacja służy do wykrywania istotnych parametrów sygnału i porównywania tych parametrów pomiędzy dwoma sygnałami. Porównanie opiera się na ustaleniu stopnia zbieżności pomiędzy dwoma przebiegami impulsowymi Surge.

Odchylenie istotnych parametrów pomiędzy dwoma przebiegami podawane jest w procentach. Dzięki temu operator testera ma możliwość określenia górnej granicy odchyłki w procentach. Jeśli ustalony limit zostanie przekroczony, wynik testu Surge zostanie zakwalifikowany jako negatywny. Zwykle dopuszczalna odchyłka mieści się w zakresie 5-15%.



Kolejną zaletą metody korelacji jest to, że obliczenie stopnia zbieżności jest niezależne od poziomu napięcia. Tak więc, za pomocą korelacji możliwe jest porównanie ze sobą przebiegów o dowolnej amplitudzie napięcia.

Pomimo że, amplitudy są wyraźnie różne, porównywane parametry (częstotliwość, współczynnik tłumienia) pozostają takie same.

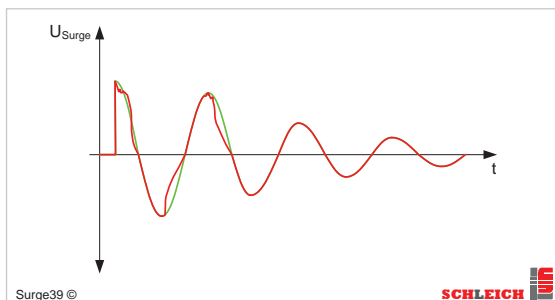


Może to być również wyjaśnione za pomocą rysunku z dwoma odciskami palców. Obydwa odciski są identyczne, lecz ten po prawej stronie jest powiększony.

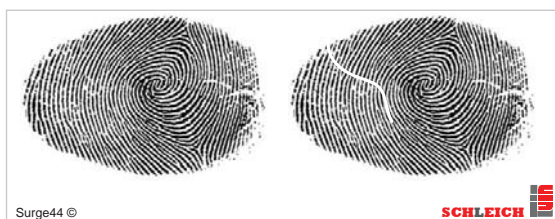
Podstawowy związek pomiędzy dwoma odciskami jest utrzymany w 100%. Dokładnie w ten sam sposób działa korelacja przy porównywaniu dwóch przebiegów impulsowych Surge o różnych poziomach napięcia. Z tym oczywiście warunkiem, że pomiary są przeprowadzane na tej samej cewce lub na dwóch identycznych cewkach.



Możliwość ręcznego ustawienia w procentach marginesu błędu dla korelacji jest bardzo pomocne przy analizie przebiegów o minimalnym odchyleniu.

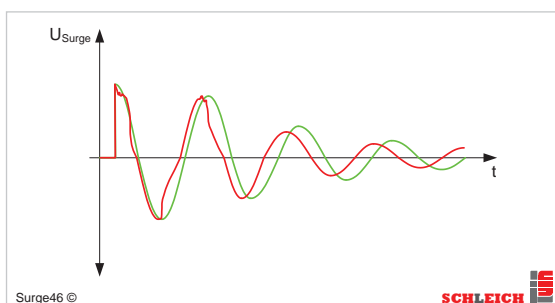


Przy produkcji cewek często występują nieznaczne odchylenia, które jednak mieszczą się w przyjętej granicy błędu. Z tego powodu, nie jest pożądana wysoka dokładność analizy.

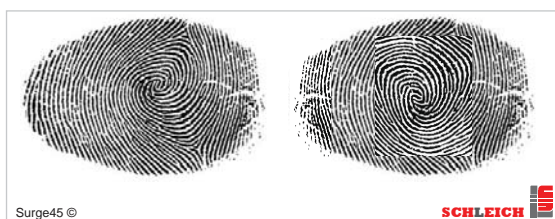


Można to łatwo wyjaśnić na przykładzie odcisków palców. Odcisk po prawej stronie jest nieco zniekształcony. Możemy przyjąć, że zniekształcenie czy też blizna powstała na skutek kontuzji. Jednakże porównując obydwa odciski ze sobą wyraźnie widać, że poza drobnymi różnicami odciski są identyczne.

Jeśli jednak dewiacja jest duża, obliczanie korelacji pozwala na szybkie wykrycie błędu.



Jak widać na sąsiednim zdjęciu obydwa przebiegi wykazują silne odchylenie od siebie. Odchylenie wyrażone procentowo jest wysokie, co prowadzi do przekroczenia przyjętego limitu.

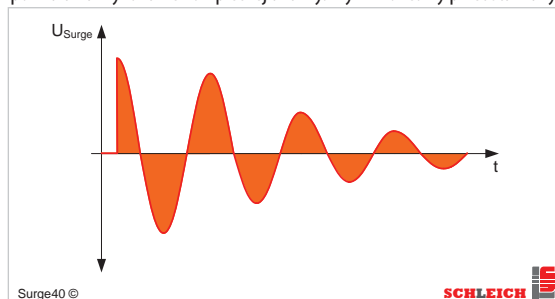


Na przykładzie odcisków palców. Chociaż obydwa odciski posiadają pewne pokrewieństwo, różnice są widoczne gołym okiem.

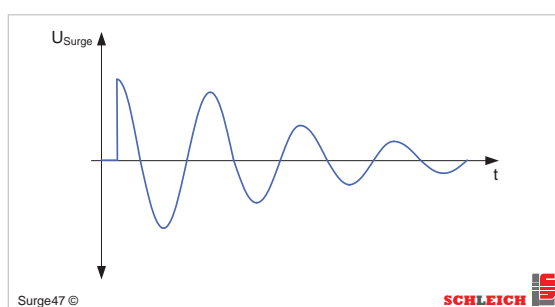


## 4.5.2 Error Area Ratio

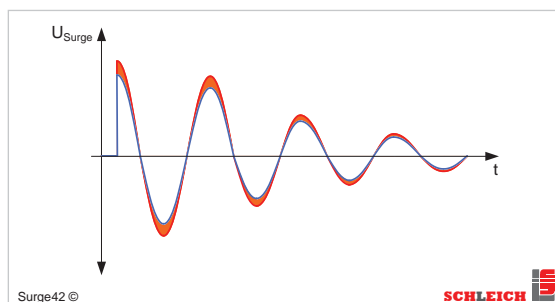
Zakreślone pole to przedstawiona graficznie powierzchnia różnicy pomiędzy dwoma sygnałami poddanymi analizie (dwa przebiegi Surge). Sam termin EAR (z ang. Error Area Ratio) odnosi się do różnicy, pomiędzy dwoma sygnałami umieszczonymi na wykresie (pomarańczowe pole). Obliczanie EAR jest wymagane przez normy obowiązujące w Stanach Zjednoczonych. Aczkolwiek aby wyznaczyć EAR niezbędne jest przeprowadzenie dwóch pomiarów, pomiar jednego sygnału nie pozwala na wykonanie kompletnej analizy. Wynik końcowy przedstawiany jest w skali procentowej.



Na tym przykładowym wykresie sygnał referencyjny został oznaczony na czerwono. Pomarańczowe pole pomiędzy sygnałem referencyjnym i zerem to pole sygnału referencyjnego (Aref).



Załóżmy, że ta niebieska sinusoida to porównywany przebieg. Po nałożeniu na siebie dwóch sygnałów (niebieskiego i czerwonego) tester metodą EAR obliczy pole różnicy i zaznaczy tę powierzchnie na wykresie.



Zakreślony obszar ilustruje odchyłkę pomiędzy sygnałami (Adiff). Zasadniczo, procedura ta jest dobrze dostosowana do wykrywania rozbieżności między dwoma przebiegami Surge. Niestety ma tę wadę, że nawet najmniejsza aberracja pomiędzy sygnałami prezentowana jest na wykresie jako błąd.

Współczynnik EAR po każdym teście jest przedstawiany również w skali procentowej, rezultat to stosunek powierzchni sygnału badanego do powierzchni sygnału referencyjnego. W sytuacji gdy przebiegi są identyczne wynik wynosi 100%.

$$EAR = \frac{|Adiff| * 100\%}{|Aref|}$$

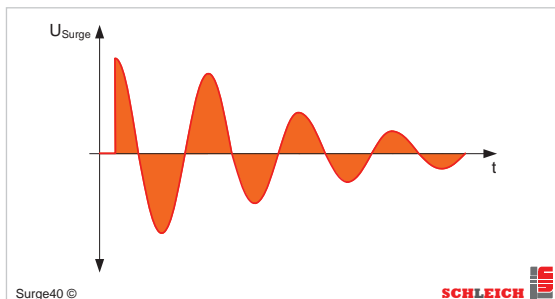
Adiff - powierzchnia korelacji ujemnej  
Aref - powierzchnia korelacji dodatniej

Na końcowy wynik składa się suma wszystkich powierzchni różnicy w każdym okresie.

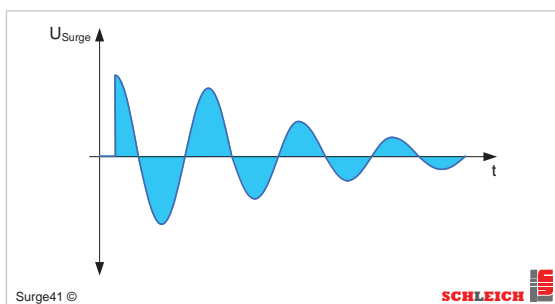


### 4.5.3 Powierzchnia różnicy

Powierzchnia różnicy jest wynikiem odjęcia od siebie powierzchni dwóch przebiegów które na siebie nachodzą. Wynik prowadzi do określenia procentowej odchyłki pomiędzy dwoma sygnałami. Z tego powodu wymagane jest przeprowadzenie dwóch pomiarów, używając metod porównawczych pomiar jednego sygnału nie pozwala na wykonanie kompletnej analizy.



Na tym przykładowym wykresie sygnał referencyjny został oznaczony na czerwono. Pomarańczowe pole pomiędzy sygnałem referencyjnym i zerem to pole sygnału referencyjnego (Aref).



Niebieski sygnał to przebieg Surge badanego uzwojenia. Następnie pole sygnału badanego (Ablue) zostanie porównane z sygnałem referencyjnym. Powierzchnia zaznaczona na niebiesko pomiędzy sygnałem badanym a zerem to pole sygnału badanego.

Wartość różnicy po każdym teście jest przedstawiana również w skali procentowej, rezultat to stosunek powierzchni sygnału badanego do powierzchni sygnału referencyjnego. W sytuacji gdy przebiegi są identyczne wynik wynosi 100%.

$$EDiffAR = \frac{|| Aref | - | Ablue ||}{| Aref |} * 100\%$$

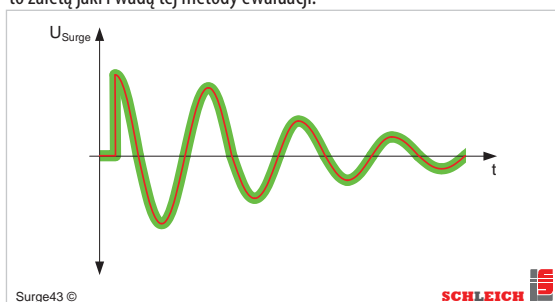
Ablue = pole sygnału badanego

Aref = pole sygnału referencyjnego

Na końcowy wynik składa się suma wszystkich powierzchni różnicy w każdym okresie.

### 4.5.4 Pasma tolerancji

Pasma tolerancji to najbardziej podstawowa metoda oceny. Przyjęcie wyłącznie tej metody jako niepodważalnego kryterium nie jest właściwe, ponieważ pomniejsze dewiacje i zakłócenia sygnału mogą doprowadzić do odrzucenia poprawnego egzemplarza. Wązka szerokość pasma wydaje się wiarygodny kryterium oceny jednak jest to zaletą jak i wadą tej metody ewaluacji.



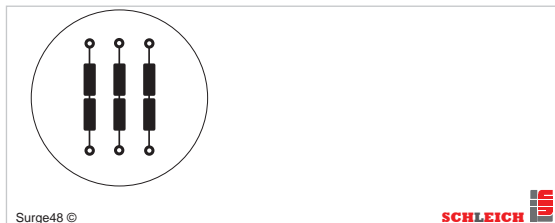
Praktyka wskazuje, że podczas wykonywania wielu testów na tym samym egzemplarzu wynik był zależny od chwilowej wartości zakłóceń, które miały wpływ na negatywny wynik testu. Gdy zakłócenia były mniejsze test kończył się wynikiem pozytywnym.





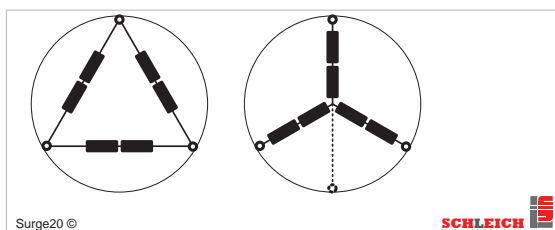
## 4.6. Typowe uszkodzenia uzwojeń

Poniższe ilustracje przedstawiają najczęściej spotykane uszkodzenia izolacji silników indukcyjnych. Generalnie uzwojenia kolejnych z faz mogą być ze sobą skojarzone (połączone) lub nieskojarzone (niepołączone). Z reguły łatwiej jest wykryć uszkodzenia w uzwojeniach nieskojarzonych ze sobą. Dzieje się tak dlatego, że testując dwie fazy jednocześnie, bardzo trudno jest ustalić, w której występuje zwarcie.



Ilustracja przedstawia nieskojarzone ze sobą uzwojenia stojana trójfazowego. W tym przypadku na tabliczce zaciskowej silnika znajdziemy 6 przyłączy.

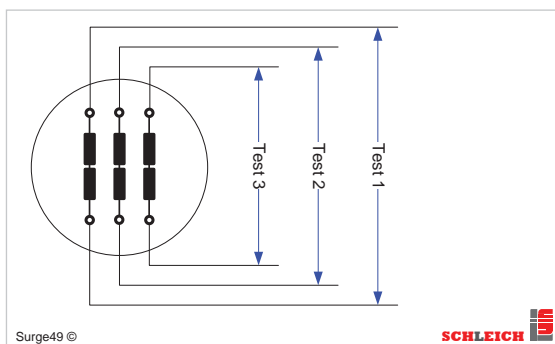
Glosariusz: Uzwojenie nie połączone ze sobą na stałe określa się jako nie skojarzone.



Ilustracja przedstawia połączenie uzwojeń stojana/silnika w trójkąt oraz w gwiazdę. W tym wypadku zazwyczaj do tabliczki zaciskowej wyprowadzone są 3 przyłącza. Zdarza się też, że do tabliczki wyprowadzone jest czwarte połączenie tzw. punkt gwiazdowy.

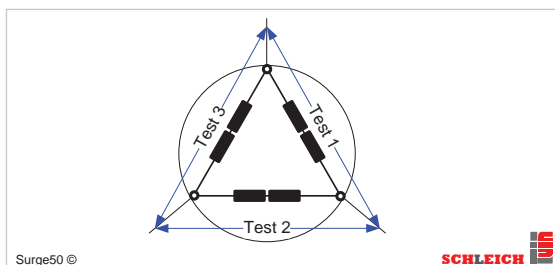
Glosariusz: Uzwojenia połączone ze sobą na stałe określa się jako skojarzone.

### 4.6.1. Rodzaje połączeń



Dla uzwojeń nieskojarzonych stojana trójfazowego możliwe jest wykonanie trzech testów Surge, oddzielnie dla każdej fazy (test 1...3). Dużą zaletą tego rozwiązania jest możliwość przetestowania indywidualnie każdego z uzwojeń. Dzięki tej sposobności tester „widzi” tylko jedną fazę podczas pomiaru co znacznie zawęża zakres pomiaru.

Aby wykonać test w sekwencji automatycznej tester musi być wyposażony w 6 chwytaków pomiarowych. Po podłączeniu zacisków tester automatycznie przełącza napięcie probiercze pomiędzy kolejnymi fazami, następuje zwiększenie napięcia i procedura powtarza się aż do osiągnięcia założonego limitu.

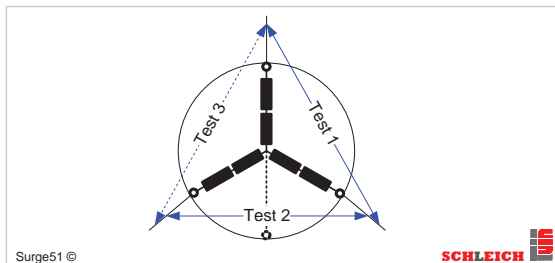


Sytuacja przedstawia się zgoła inaczej podczas testu uzwojeń skojarzonych na stałe (gwiazda/trójkąt). Zwłaszcza w przypadku połączenia w trójkąt wszystkie trzy fazy są mierzone w czasie jednego cyklu pomiarowego. Oznacza to tyle, że dla połączenia w trójkąt tester „widzi” wszystkie trzy fazy, przez co zdiagnozowanie, w której fazie i w jakim miejscu wystąpiło zwarcie lub uszkodzenie jest utrudnione.

Dla uzwojeń stojana połączonych w trójkąt możliwe jest wykonanie trzech testów Surge, osobno na każdej fazie (test 1...3). Aby wykonać test w automatycznej sekwencji pomiarowej wymagane są 3 chwytaki pomiarowe.

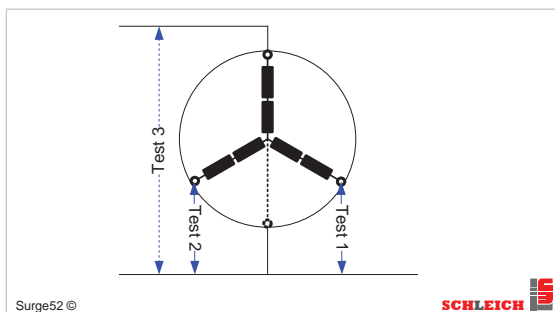


Podczas pomiarów stojana/silnika o uzwojeniach skojarzonych w gwiazdę (bez wyprowadzonego punktu gwiazdowego) testujemy dwie fazy połączone szeregowo. Dlatego też tester „widzi” więcej niż jedną fazę w czasie pomiaru i występuje spora trudność w zdiagnozowaniu, w którym uzwojenie znajduje się uszkodzenie.

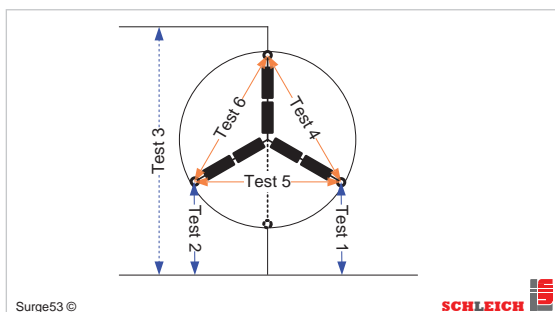


Dla uzwojeń stojana połączonych w gwiazdę możliwe jest wykonanie trzech testów Surge, pomiędzy każdą z faz (test 1...3). Aby wykonać test w automatycznej sekwencji pomiarowej wymagane są 3 chwytaki pomiarowe.

Sporo zaletą jest dostęp do punktu gwiazdowego. W tym przypadku każda z faz może zostać przetestowana osobno, idąc tokiem myślenia opisanym powyżej tester „widzi” każdą z faz oddzielnie. Z tego powodu analiza, w której fazie nastąpiło zwarcie jest o wiele łatwiejsza do wykonania.



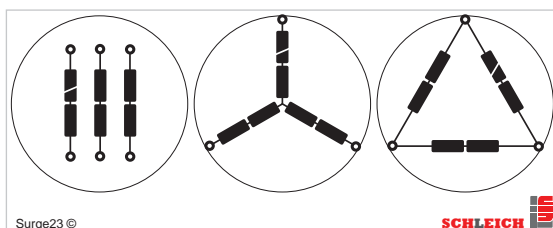
Dla uzwojeń stojana połączonych w gwiazdę możliwe jest wykonanie trzech testów Surge, pomiędzy każdą z faz i pkt. gwiazdowym (test 1...3). Aby wykonać test w automatycznej sekwencji pomiarowej wymagane są 4 chwytaki pomiarowe. Warto tutaj zaznaczyć, że tester MTC2 został specjalnie zaprojektowany do pomiarów z połączeniem gwiazdowym i w tym zakresie góruje nad urządzeniami konkurencyjnymi.



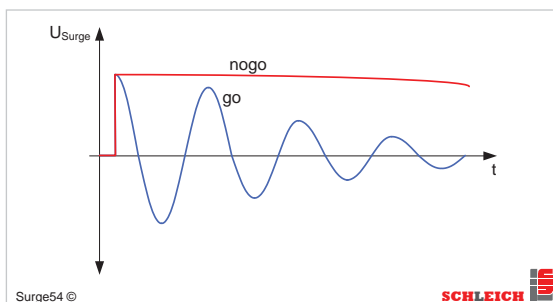
Tester umożliwia przeprowadzenie automatycznej sekwencji pomiarowej po podłączeniu chwytaków do wyprowadzeń uzwojeń na tabliczce zaciskowej silnika. Matryca zainstalowana wewnątrz testera pozwala na automatyczne przełączanie napięcia probierczego pomiędzy testowanymi połączeniami. Test nie ogranicza się tylko do sprawdzenia uzwojeń pomiędzy fazami i punktem gwiazdowym ale również pomiędzy każdą z faz.



## 4.6.2 Przerwa galwaniczna



Przerwa jest uszkodzeniem łatwym do wykrycia. Nie ma znaczenia czy badana jest pojedyncza cewka czy też są to uzwojenia stojana połączone w trójkąt, uszkodzenie jest rozpoznawane przez tester natychmiast.

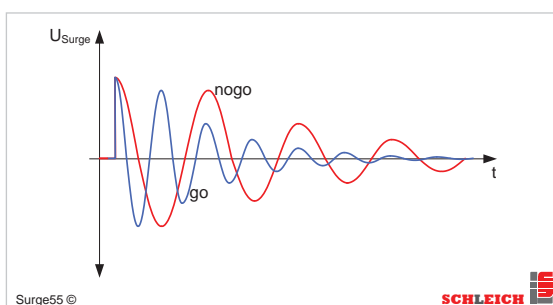


### Połączenie w gwiazdę i pojedyncze uzwojenie:

W przypadku przerwy sygnał nie oscyluje. Napięcie rośnie do określonej wartości, a następnie utrzymuje się na prawie identycznym poziomie jak pokazano na sąsiednim wykresie.

Wykrywanie uszkodzenia dla połączenia w gwiazdę:

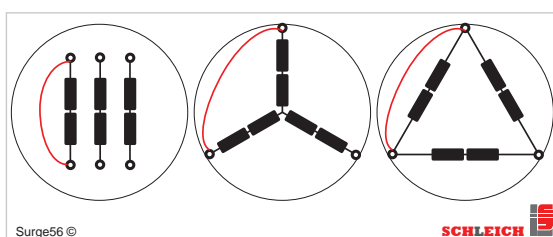
Podczas dwóch pomiarów napięcie utrzymywało się na stałym poziomie tymczasem podczas trzeciego pomiaru napięcie oscylowało. Wniosek: uszkodzona jest jedna z faz, w której napięcie nie oscylowało.



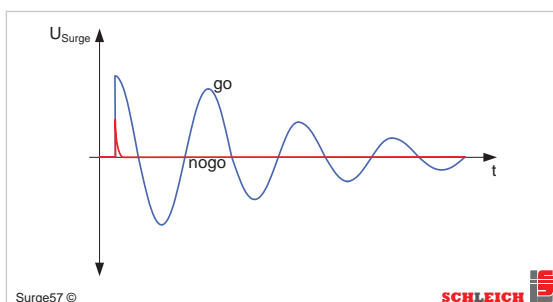
Wykrywanie uszkodzenia dla połączenia w trójkąt:

Podczas dwóch pomiarów sygnał oscyluje z częstotliwością dwa razy większą niż w czasie trzeciego pomiaru. W trakcie trzeciego pomiaru dwie fazy są połączone szeregowo. Uszkodzenie jest w tej fazie, która oscyluje z częstotliwością o połowę mniejszą.

## 4.6.3 Zwarcie



Zwarcie to rodzaj uszkodzenia, który jest łatwy do wykrycia. W przypadku testu pojedynczej cewki, lub też dla połączenia w trójkąt lub gwiazdę uszkodzenie jest natychmiast identyfikowane.



Wykrywanie uszkodzenia dla połączenia w gwiazdę, trójkąt oraz dla pojedynczej cewki.

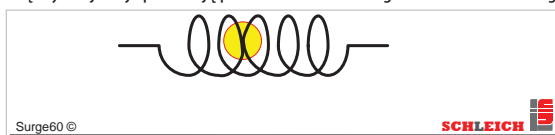
Jeżeli w uzwojeniu występuje zwarcie sygnał nie oscyluje. Wartość napięcia wzrasta przez krótki okres czasu a następnie napięcie utrzymuje się na poziomie 0V. Spowodowane jest to wytraceniem się energii zgromadzonej przez kondensator w wyniku przepływu prądu zwarciowego.

Uwaga: Teoretycznie zwarcia nie powinien towarzyszyć wzrost napięcia. Jednak w praktyce, biorąc pod uwagę wartości rezystancji i impedancji w torze pomiarowym, kondensator nie jest zupełnie zwarty.

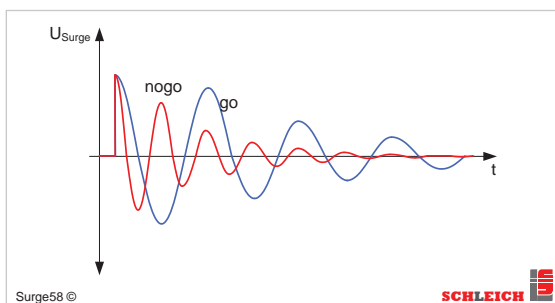


## 4.6.4 Zwarcia międzyzwojowe

Zwarcia międzyzwojowe to trwałe połączenia galwaniczne powstałe pomiędzy jednym lub więcej zwojów cewki. Zwarcia międzyzwojowe wynikają z degradacji izolacji międzyzwojowej i powodują powstanie dodatkowego obwodu zwarciovego w uszkodzonej fazie silnika.

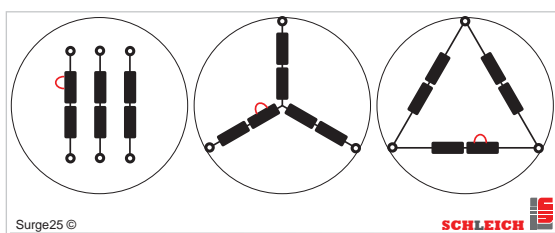


Zwarcia międzyzwojowe silnie wpływają na kształt sinusoidy napięcia probierczego. Częstotliwość oscylacji może również wzrosnąć.

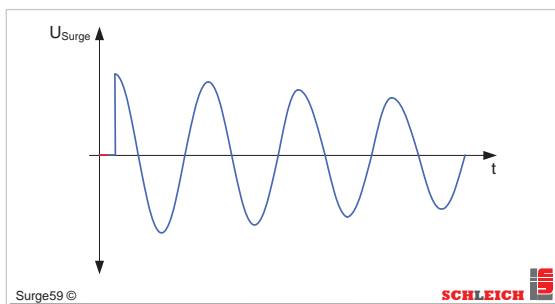


Silne tłumienie sygnału można wytłumaczyć faktem, że duża część energii jest pochłaniana w wyniku przepływu prądu zwarciovego.

Następujące ilustracje prezentują zwarcia międzyzwojowe pojedyncze i wielokrotne (pomiędzy wieloma zwojami). Podczas zwarcć pojedynczych w uzwojeniu silnika indukcyjnego wartości prądów fazowych ulegają nieznacznym zmianom co w konsekwencji wpływa marginalnie na kształt impulsu Surge.



Wpływ zwarcć międzyzwojowych na kształt impulsu Surge jest zależny w dużej mierze od liczby zwojów w uzwojeniu silnika. Jeżeli, na przykład, silnik posiada 280 zwojów przypadających na jedno uzwojenie wykrycie zwarcia w pojedynczym uzwojeniu jest bardzo problematyczne, jednakże osiągalne w warunkach laboratoryjnych. Jeżeli jednak silnik posiada 40 zwojów na fazę wykrycie pojedynczego uszkodzenia nie stanowi problemu.

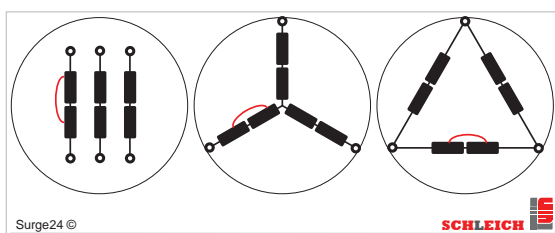


Wyjątek: cewka powietrzna

Kształt sinusoidy impulsu może być również odkształcony przez rodzaj zastosowanego rdzenia w silniku. Duże znaczenie ma fakt czy cewka posiada rdzeń wykonany z płyt elektrotechnicznych, żelaza czy jest to cewka powietrzna. Ze względu na straty remagnetyzacyjne (histerezyowe) żelazo powoduje silne tłumienie impulsu Surge.

Sytuacje wygląda jednak inaczej dla cewki bezrdzeniowej gdzie tłumienność impulsu Surge jest niska. W tym przypadku oscylacja trwa bardzo długo i jej kształt jest bardziej wyraźny (wykres obok). Dzięki temu łatwiej jest zauważyć pojedyncze zwarcie np. w uzwojeniu bezrdzeniowym z 350 zwojami.

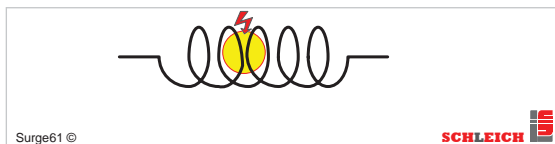
Jeżeli zwarcie występuje na wielu zwojach jednocześnie uszkodzenie jest bardzo zauważalne. W tym przypadku amplituda napięcia szybko zanika a częstotliwość zwykle wzrasta.





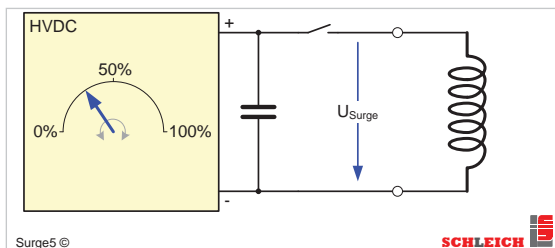
## 4.6.5 Zwarcia międzyzwojowe zależne od poziomu przyłożonego napięcia

Zwarcia międzyzwojowe zależne od poziomu przyłożonego napięcia to uszkodzenia, które występują w przypadku gdy uszkodzone zwoje nie są ze sobą zupełnie zwarte. Zwarcia międzyzwojowe wynikają z degradacji izolacji międzyzwojowej i powstania szczeliny powietrznej pomiędzy odsonionymi drutami uzwojenia.



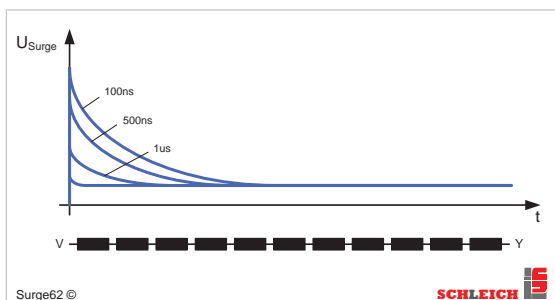
Zwarcie może wystąpić jedynie w sytuacji gdy w miejscu uszkodzenia występuje duża różnica potencjałów pomiędzy niez izolowanymi zwojami. Wyładowanie elektryczne następuje w momencie kiedy napięcie jest dostatecznie wysokie, aby przebić warstwę powietrza.

Tylko za pomocą napięcia Surge, możliwe jest wytworzenie różnicy potencjałów pomiędzy pojedynczymi zwojami przez krótki okres czasu.



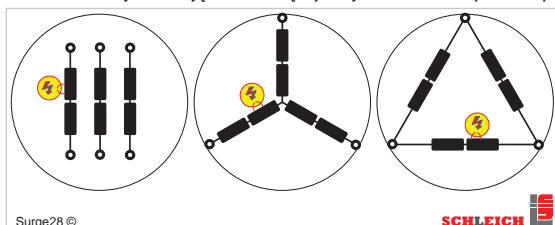
Panuje obiegowa opinia, że napięcie udarowe Surge rozkłada się liniowo wzdłuż testowanego uzwojenia. Przykładowo założmy, że badana cewka składa się z 10 zwojów a poziom napięcia udarowego Surge wynosi 1000 V. Zgodnie z powyższym twierdzeniem napięcie rozłoży się liniowo co daje 100 V na każdym ze zwojów. Zasadniczo ta teoria jest prawdziwa nie należy jednak bagatelizować dużego wzrostu napięcia w początkowej fazie testu, na który wpływ mają czynniki w.cz (słowo kluczowe: transformata Fouriera).

Wysoka częstotliwość spada na pierwszych zwojach uzwojenia. Wynikiem jest nieliniowy rozkład napięcia, zależny od czasu narastania impulsów Surge, na początku uzwojenia. Pomijając początkowy wzrost, napięcie na dalszych zwojach wykazuje charakter liniowy.

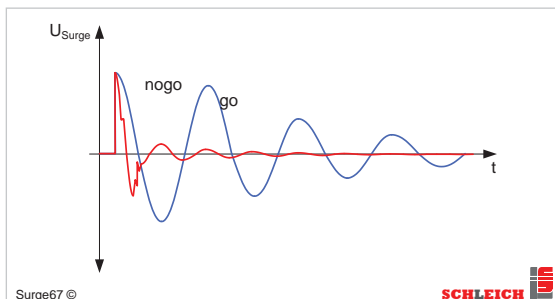


Przedstawione zjawisko należy rozważać głównie w odniesieniu do pracy z falownikiem. W silnikach indukcyjnych zasilanych przez falownik występuje identyczne zjawisko, również pierwsze zwoje cewki są narażone na wysoki skok napięcia. Właśnie z tego powodu test Surge jest wysoce rekomendowany, jako obecnie najlepsza metoda pomiarowa, dla silników indukcyjnych zasilanych przez przetwornicę częstotliwości.

Poniższe ilustracje obrazują zwarcia międzyzwojowe zależne od poziomu przyłożonego napięcia



Aż do momentu wystąpienia zwarcia wykres przedstawia regularną sinusoidę. Wszystko wydaje się być w porządku, jednak gdy zwarcie nastąpi oscylacja załamuje się i rozpada stosunkowo szybko. Załamanie sinusoidy jest spowodowane wytraceniem się dużej ilości energii podczas wyładowania.

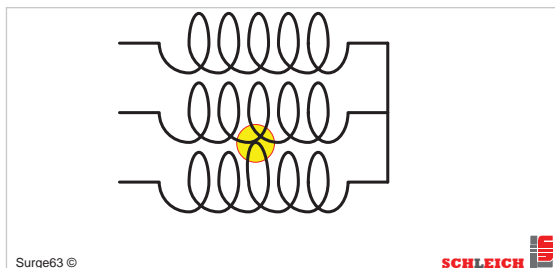






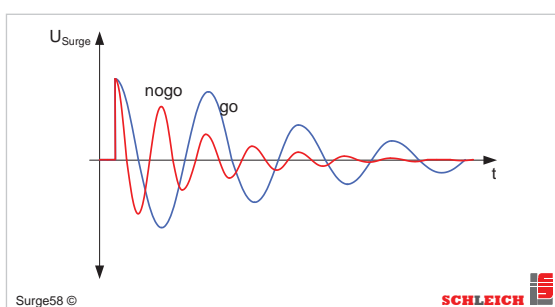
## 4.6.6 Zwarcia międzyfazowe

Zwarcia międzyfazowe to trwałe połączenia galwaniczne powstałe pomiędzy jednym lub więcej uzwojeń. Zwarcia międzyfazowe wynikają z degradacji izolacji i powodują powstanie dodatkowego obwodu zwarciego pomiędzy uszkodzonymi fazami silnika.



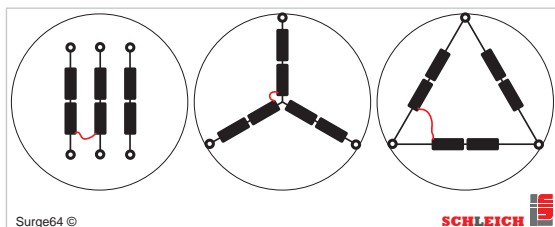
Po bliższym przyjrzeniu się pobliskiemu wykresowi możemy zauważyć, że zwarcia międzyfazowe są bardzo podobne do zwarcć międzyzwojowych wielokrotnych. Z tego powodu metody pomiaru pozostają niemal takie same.

Zwarcia międzyfazowe silnie oddziałują na kształt sinusoidy napięcia probierczego. Częstotliwość oscylacji może również wzrosnąć.



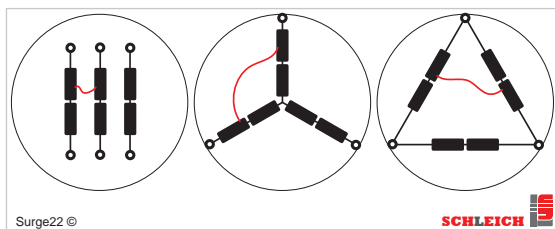
Silne tłumienie sygnału można wytłumaczyć faktem, że duża część energii jest pochłaniana w wyniku przepływu prądu zwarciego.

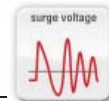
Następujące ilustracje prezentują zwarcia międzyfazowe pomiędzy pojedynczymi lub wieloma zwojami.



Wpływ zwarcć międzyfazowych na kształt przebiegu Surge jest zależny w dużej mierze od liczby zwojów w uzwojeniu silnika. Jeżeli, na przykład, faza silnika posiada 120 zwojów (razem 240 zwojów w obu fazach) wykrycie zwarcia pomiędzy fazami silnika jest bardzo problematyczne, jednakże osiągalne w warunkach laboratoryjnych. Jeżeli jednak silnik posiada 30 zwojów na fazę (razem 60 zwojów w obu fazach) wykrycie pojedynczego uszkodzenia nie stanowi problemu.

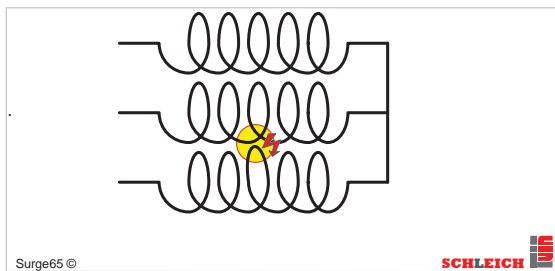
Jeżeli zwarcie międzyfazowe występuje na wielu zwojach jednocześnie uszkodzenie jest bardzo zauważalne. W tym przypadku amplituda napięcia szybko zanika a częstotliwość zwykle wzrasta.





## 4.6.5 Zwarcia międzyzwojowe zależne od poziomu przyłożonego napięcia

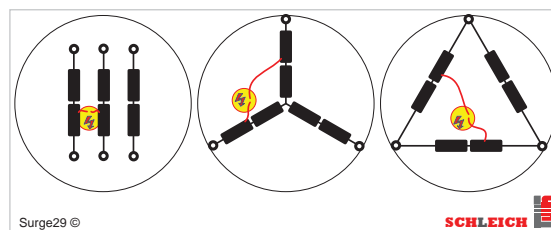
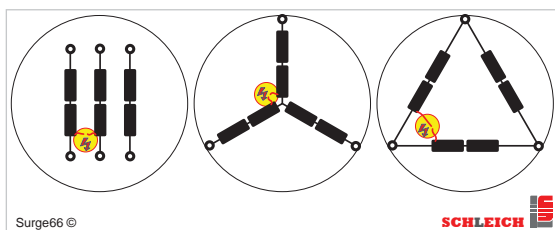
Zwarcia międzyfazowe zależne od poziomu przyłożonego napięcia to uszkodzenia, które występują w przypadku gdy uszkodzone fazy nie są ze sobą zupełnie zwarte. Zwarcia międzyfazowe wynikają z degradacji izolacji międzyfazowej i powstania szczeliny powietrznej pomiędzy odstępionymi drutami uzwojeń.



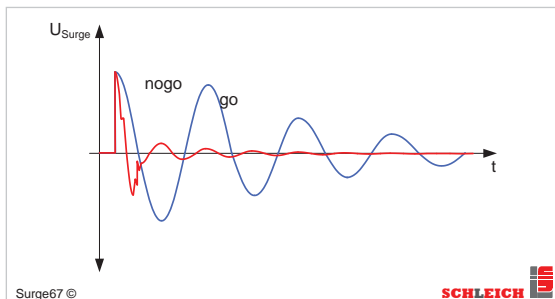
Zwarcie może wystąpić jedynie w sytuacji gdy w miejscu uszkodzenia występuje duża różnica potencjałów pomiędzy nieizolowanymi zwojami faz silnika. Wyładowanie elektryczne następuje w momencie kiedy napięcie jest dostatecznie wysokie, aby przebić warstwę powietrza.

Po przyjrzeniu się powyższemu wykresowi możemy zauważyć, że zwarcia międzyfazowe zależne od poziomu napięcia są bardzo podobne do zwarcień międzyzwojowych wielokrotnych zależnych od poziomu napięcia. Z tego powodu metody pomiaru pozostają niemal takie same.

Poniższe ilustracje przedstawiają przykładowe miejsca występowania zwarcień międzyfazowych zależnych od poziomu przyłożonego napięcia.



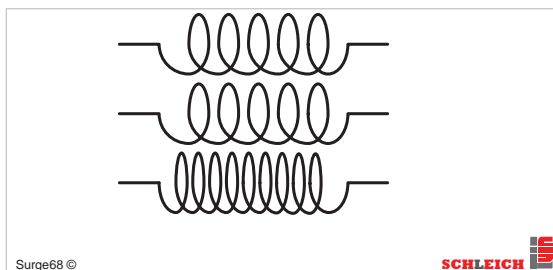
Aż do momentu wystąpienia zwarcia wykres przedstawia regularną sinusoidę. Wszystko wydaje się być w porządku, jednak gdy zwarcie nastąpi oscylacja załamuje się i rozpada stosunkowo szybko. Załamanie sinusoidy jest spowodowane wytraceniem się dużej ilości energii podczas wyładowania.





## 4.6.8 Niewłaściwa ilość zwojów w cewce

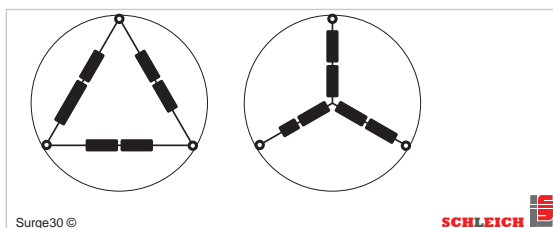
Niewłaściwa ilość zwojów jest łatwa do wykrycia. Gdy testowana cewka posiada inną ilość zwojów w stosunku do cewki referencyjnej, częstotliwość impulsów Surge także będzie inna.



W przypadku zmniejszonej liczby zwojów indukcyjność cewki spada a częstotliwość oscylacji wzrasta.  
W przypadku zwiększonej liczby zwojów indukcyjność cewki wzrasta a częstotliwość oscylacji maleje.

Dokładność pomiaru jest silnie uzależniona od liczby zwojów badanej cewki i ilości błędnych zwojów w cewce. Na przykład, jeżeli badana cewka posiada 200 zwojów detekcja zaburzenia jest bardzo trudna. Jednakże jeżeli całkowita liczba zwojów w cewce to 40, wykrycie zaburzenia jest relatywnie łatwe.

Poniższe ilustracje ukazują uzwojenia o niewłaściwej liczbie zwojów

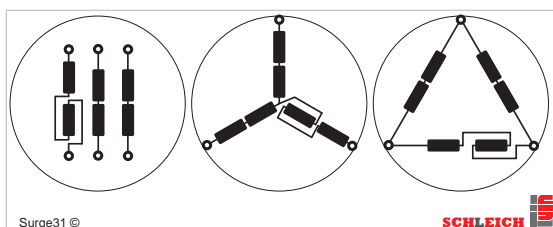


## 4.6.9 Niepoprawne połączenie grup cewek w uzwojeniu

W przypadku błędnego połączenia grup cewek w uzwojeniu, części z nich będzie odwrócona. Błędne połączenie cewek nie zawsze prowadzi do zmiany kierunku wirowania pola magnetycznego. Zależy to przede wszystkim od ilości i indukcyjności źle połączonych cewek oraz całkowitej liczby cewek w uzwojeniu.

Błąd jest sygnalizowany przez duże odkształcenie napięcia Surge badanego uzwojenia względem sztuki referencyjnej. Na odkształcenie wpływa zmiana pola magnetycznego spowodowana odwróceniem biegunów magnetycznych wewnątrz testowanego uzwojenia. Przebieg Surge może być odkształcony w funkcji częstotliwości jak i napięcia.

Poniższe ilustracje obrazują problem niepoprawnych połączeń zezwojów w uzwojeniu



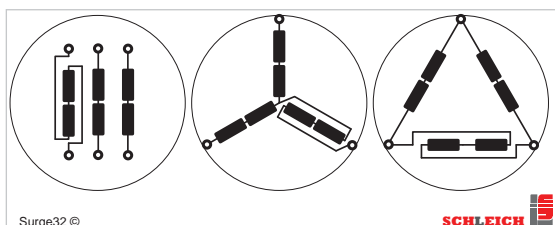


#### 4.6.10 Odwrócona polaryzacja faz (kontrafaza)

W tym przypadku całe uzwojenie fazowe silnika jest błędnie spolaryzowane. Powoduje to zmianę kierunku obrotów wirnika. Tą pomyłkę można zwykle znaleźć w uzwojeniach skojarzonych, natomiast nie jest widoczna w uzwojeniach nieskojarzonych.

Błąd jest sygnalizowany przez duże odkształcenie napięcia Surge na badanym uzwojeniu względem sztuki referencyjnej. Na odkształcenie wpływa zmiana pola magnetycznego spowodowana odwróceniem biegunów magnetycznych testowanego uzwojenia. Przebieg Surge może być odkształcony w funkcji częstotliwości jak i napięcia.

Poniższe ilustracje obrazują problem niepoprawnych połączeń fazowych silnika



#### 4.6.11 Zwarcie do obudowy



W gruncie rzeczy podstawowym założeniem testu Surge nie jest pomiar izolacji pomiędzy uzwojeniami a obudową silnika/stojana. Test Surge w głównej mierze jest skierowany do pomiaru izolacji międzyzwojowej i międzyfazowej.

Aczkolwiek stosując się do pewnych zasad jest też możliwe sprawdzenie wytrzymałości izolacji pomiędzy uzwojeniami i obudową silnika/stojana. Jednak należy zauważyć, że tego typu testy wykonywane metodą Surge nie są ekwiwalentne z klasycznym testem metodą wysokonapięciową AC. Według normy test Surge nie jest odpowiednią metodą do badania tej części izolacji silnika.

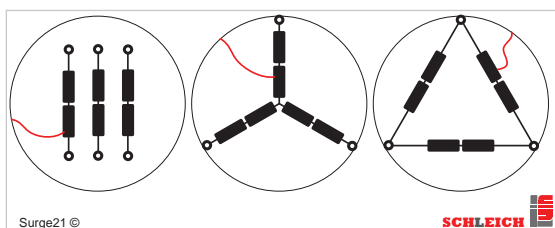
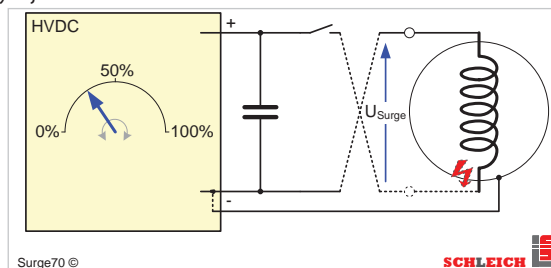
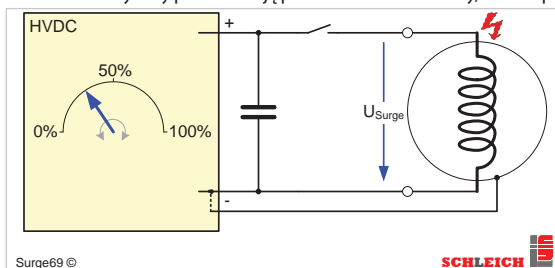
Test wykonywany jest przy użyciu dodatkowego przewodu. Poza klemami pomiarowymi umieszczanymi na uzwojeniach silnika, dodatkowy przewód pomiarowy umieszczany jest na obudowie silnika. Kłema pomiarowa podłączona do obudowy działa jako dodatkowa masa.

Podczas pomiaru napięcie probiercze Surge jest automatycznie przełączane pomiędzy kolejnymi uzwojeniami a obudową. Dlatego, jeżeli izolacja obudowy jest uszkodzona, zwarcie może wystąpić pomiędzy testowanym uzwojeniem a obudową silnika.

Co więcej testując zwarcia do obudowy należy wziąć pod uwagę spadki napięć na uzwojeniach. A ponieważ spadki napięć na uzwojeniach silnika nie są równe wynik będzie różny dla każdego z uzwojeń. Dlatego też test Surge nie jest rekomendowany przez gremia normatywne jako odpowiedni dla tej części izolacji!

Podczas pomiarów zwarcie do obudowy wymagane jest, aby odwrócić polaryzację przewodów pomiarowych. Zwiększa to wiarygodność pomiaru ponieważ jak pamiętamy z poprzedniego rozdziału napięcie Surge nie rozkłada się liniowo wzdłuż całej cewki i największe skoki napięcia występują na pierwszych zwojach testowanego uzwojenia. Zmiana polaryzacji może odbywać się w sposób automatyczny przez wewnętrzną przełącznicę lub ręcznie zmieniając klemy pomiarowe, zależy to od wersji testera.

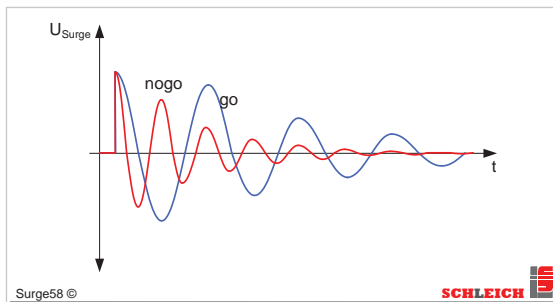
Poniższe dwa wykresy przedstawiają pomiar zwarcie do obudowy, dla obu polaryzacji.



Sąsiednia ilustracja przedstawia prawdopodobne miejsca zwarcie pomiędzy testowanym uzwojeniem a obudową. Proszę zwrócić uwagę że większość wyładowań przedstawionych na obrazku występuje na końcach uzwojenia. Bez zmiany polaryzacji prawdopodobnie nie udałoby się wykryć tych uszkodzeń.



Zwarcia do obudowy mogą wpływać na amplitudę i częstotliwość napięcia probierczego. Sytuacja podobna jak w przypadku zwarc międzyzwojowych.



Wykres ukazuje wpływ zwarc do obudowy o charakterze stałym (połączenie galwaniczne) na kształt napięcia probierczego.



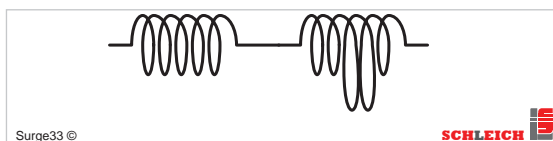
Wykres ukazuje wpływ zwarc do obudowy zależnych od przyłożonego napięcia, na kształt napięcia probierczego. W tym przypadku dopiero w chwili przerwania szczeliny powietrznej następuje wyładowanie i zanik napięcia.



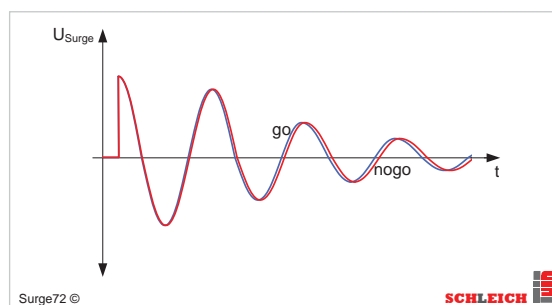
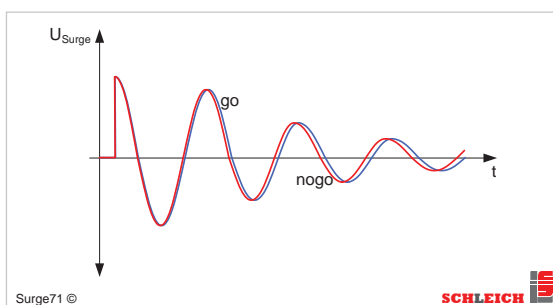
Pomiar izolacji korpusu silnika metodą Surge nie jest pomiarem zgodnym z normą VDE/EN/PN-EN. Normy VDE/EN/PN-EN wymagają przeprowadzenia testu wysokonapięciowego AC. Zobacz również rozdział 6 poświęcony testom wysokonapięciowym AC.

#### 4.6.12 Źle umiejscowiony zwój cewki

Ten błąd mam miejsce stosunkowo rzadko. Występuje gdy kilka zwojów badanej cewki zostało umieszczonych w żłobkach innego uzwojenia. Zdarza się to przy automatycznym jak i ręcznym uzwojaniu silników.



Błąd tego typu w niewielkim stopniu wpływa na amplitudę napięcia probierczego. Może za to oddziaływać na częstotliwość przebiegu.







## 4.7 Poziom napięcia probierczego

Określenie poziomu napięcia probierczego jest bardzo ważnym czynnikiem pomiaru.

Pierwszym kryterium jest rodzaj silnika jaki będzie testowany. Należy zastosować inne napięcie dla nowych silników prosto z linii produkcyjnej oraz inne dla używanych silników testowanych na potrzeby konserwacji i utrzymania.

Napięcie znamionowe badanego obiektu służy jako podstawa dla określenia maksymalnego dopuszczalnego napięcia pomiarowego. Z tego powodu stosowana metoda obliczeniowa jest podobna do tej używanej podczas wyznaczania maksymalnego napięcia pomiarowego dla próby wysokonapięciowej AC.

Napięcie pomiarowe dla testów HV AC wyznacza się ze wzoru:

$$U_{\text{test HVAC}} = 2x U_{\text{nom}} + 1000V$$

$U_{\text{test HVAC}}$  - maksymalne napięcie testowe podczas próby wysokonapięciowej AC

$U_{\text{nom}}$  - znamionowe napięcie zasilania silnika

Aby określić maksymalną poziom napięcia Surge, wartość napięcia testu HVAC przemnażana jest przez współczynnik 1,5 i 2.

Trzeba tu odróżnić uzwojenia nowe i zużyte. Dla nowych uzwojeń wartość napięcia jest wyższa niż dla używanych. Bazując na tych wytycznych ustala się poziom napięcia

Surge dla:

Nowych uzwojeń:

$$U_{\text{Test Surge max}} = U_{\text{Test HVAC}} * 2$$

Uzwojeń używanych:

$$U_{\text{Test Surge max}} = U_{\text{Test HVAC}} * 1,5$$

Przykład: W celu ustalenia wartości napięcia testowego Surge dla silnika zasilanego nominalnie napięciem 400 V należy posłużyć się równaniem:  
 $2 x U_{\text{nom}} + 1000V = 2 x 400 V + 1000 V = 1800 V$ .

Silnik nowy  $U_{\text{test Surge max}} = 1800V x 2 = 3600V$

Silnik używany  $U_{\text{test Surge max}} = 1800V x 1,5 = 2700V$



W przypadku silników używanych nie należy rozpoczynać testu od maksymalnego poziomu napięcia.

Zaleca się rozpocząć test od małych wartości napięcia (500V) i zwiększać jego poziom aż do osiągnięcia wartości maksymalnej.

Nie zaleca się natomiast zwiększania napięcia po widocznym odkształceniu impulsu Surge. Zwiększenie napięcia może spowodować uszkodzenie izolacji uzwojeń silnika. Po przerwaniu testu operator powinien zbadać przyczynę odkształcenia (sprawdzić rodzaj uszkodzenia) i dopiero w dalszej kolejności podjąć decyzję o ewentualnej kontynuacji testu (dalszego zwiększenia napięcia) lub o jego zakończeniu.



## 4.8 Czynniki wpływające na test Surge

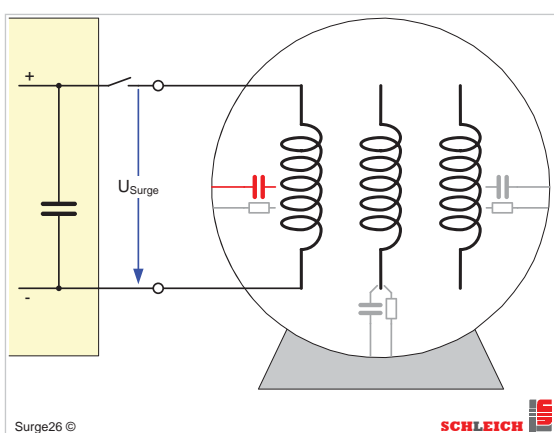
Istnieją 3 możliwe czynniki, które mogą wpływać na wynik pomiaru:

- Pojemność własna DUT (pomiędzy uzwojeniami i korpusem silnika)
- Rezystancja na zaciskach i przewodach pomiarowych
- Indukcyjności przewodów pomiarowych

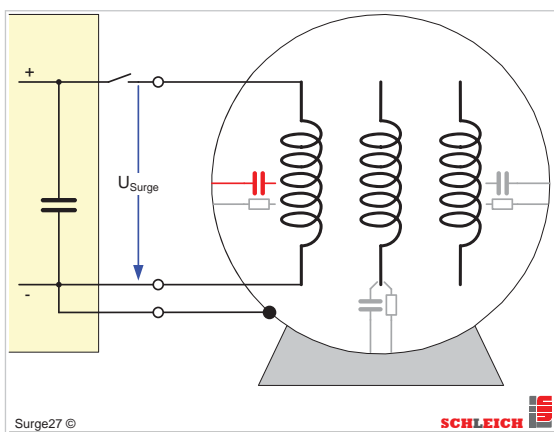
### 4.8.11 Pojemność

Pojemność między testowanym uzwojeniami i obudową silnika/stojan ma znaczący wpływ na test Surge.

Pojemność wpływa na poziom napięcia probierczego i częstotliwości drgań. Pojemność ma duży wpływ, ponieważ podczas testu stanowi część obwodu rezonansowego.



Na sąsiednim schemacie pojemność pasozytnicza obudowy jest zaznaczona na czerwono. Praktycznie można przyjąć, że pojemność obudowy jest podłączona równolegle do kondensatora probierczego. Rysunek przedstawia sytuację kiedy kondensator nie jest zwarty, dlatego pojemność obudowy nie odgrywa tutaj znaczącej roli.

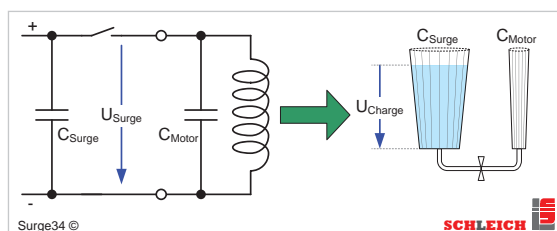


Na sąsiednim schemacie pojemność pasozytnicza obudowy jest zaznaczona na czerwono. Praktycznie można przyjąć, że pojemność obudowy jest podłączona równolegle do kondensatora probierczego. Rysunek przedstawia sytuację kiedy kondensator jest zwarty, a pojemność obudowy ma wyraźny wpływ na wynik pomiaru.

#### Wpływ pojemności pasozytnicznych na poziom napięcia probierczego

Wpływ pojemności obudowy silnika/stojana na poziom napięcia probierczego jest jednoznaczny.

Efekt pojemności pasozytnicznych jest widoczny dopiero po podłączeniu napięcia testowego. Podczas testu, naładowany kondensator probierczy oddaje część swojej energii ładując nienaładowane pojemności pasozytniczne obudowy zaraz po zwarceniu przełącznika. Prowadzi to do obniżenia napięcia probierczego.



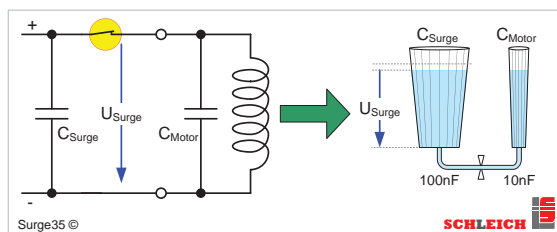
Grafika ilustruje sytuację w, której pojemność obudowy ( $C_{Motor}$ ) pobiera część energii z kondensatora probierczego.

Tuż przed rozpoczęciem testu, kondensator po stronie probierczej jest ładowany do odpowiedniego poziomu napięcia ( $C_{Surge}$ ). Na ilustracji obrazuje to pojemnik wypełniony niebieskim płynem.

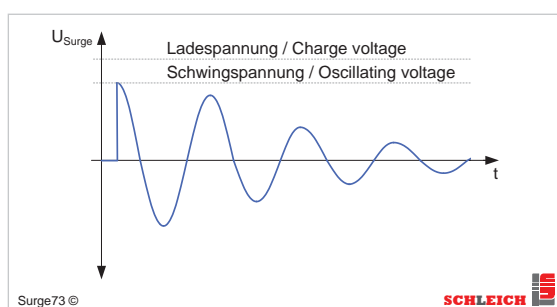
Podłączenie do badanego obiektu nie zostało jeszcze ustanowione - zawór pomiędzy pojemnikami jest zamknięty.



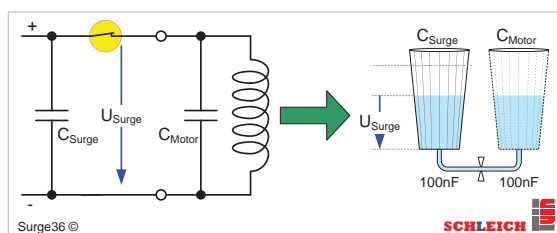
Test Surge rozpoczyna się przez zamknięcie obwodu za pomocą elektronicznego przełącznika. W tej sytuacji naładowany kondensator probierczy zwiera się równoległe do pojemności pasytywnej obudowy.



Na rysunku jest to przedstawione przez otwarcie zaworu. Niebieski płyn (napięcie na C\_Surge) przelewa się bezpośrednio do mniejszego pojemnika (C\_Motor). Ciecz w obu pojemnikach wyrównuje się, kosztem dużego pojemnika. To samo dzieje się z poziomem napięcia zgromadzonym pomiędzy okładzinami kondensatora probierczego. Naładowany kondensator Surge (C\_Surge) przenosi część swojego ładunku do pojemności pasytywnej obudowy (C silnik). W konsekwencji poziom napięcia na kondensatorze Surge automatycznie zmniejsza się, co odpowiada spadkowi niebieskiego płynu w dużym pojemniku.



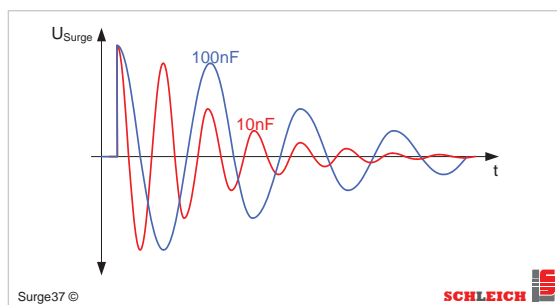
Ostatecznie skutkuje to tym, że kondensator Surge (C\_Surge), np. naładowany do poziomu napięcia 2000V, musi oddać część swego ładunku do pojemności obudowy, a tym samym napięcie probiercze spada do 1800 V. Tak więc sinusoida napięcia probierczego oscyluje z obniżonym napięciem początkowym.



Obniżanie napięcia jest bezpośrednio związane z wartością pojemności pasytywnej. Spadek napięcia jest mniejszy w przypadku małych pojemności pasytywnej. Rysunek obok pokazuje przykład, w którym obie pojemności się równoważą. Oznacza to, że napięcie testowe jest zmniejszone o połowę. Na przykład, amplituda napięcia oscyluje na poziomie 1000 V, choć napięcie na kondensatorze probierczym wynosi 2000 V.

### Wpływ pojemności pasytywnej na częstotliwość drgań.

Wpływ pojemności obudowy silnika/stojana na częstotliwość napięcia Surge jest jednoznaczna.



Ze względu na równoległe połączenie obu pojemności częstotliwość drgań jest automatycznie zredukowana. Im większa pojemność silnika tym silniejsze jest jej oddziaływanie na częstotliwość drgań.

Częstotliwość drgań można obliczyć ze wzoru:

$$f = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L * C}}$$

Wyraźnie widać, że częstotliwość ściśle zależy od pojemności.



## 4.8.2 Rezystancja



Rezystancja przewodów oraz klem pomiarowych ma znikomy wpływ na wartość napięcia.

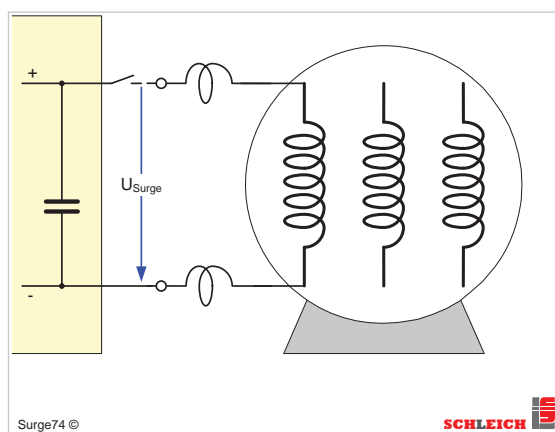
Jednak to stwierdzenie ma zastosowanie wyłącznie, gdy rezystancja jest niewielka. Wartości na poziomie  $1\Omega$  są bardzo małe i nie wpływają na pomiary.

Z reguły przewody pomiarowe powinny mieć jak najmniejszą długość. Zbyt długie przewody pomiarowe mogą mieć niekorzystny wpływ na wynik pomiaru.

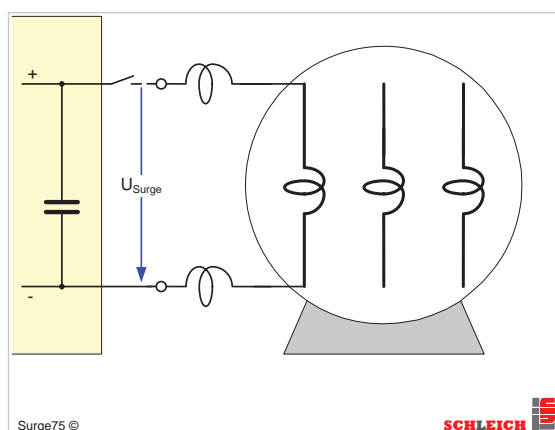
## 4.8.3 Indukcyjności przewodów pomiarowych

Wpływu indukcyjności przewodów pomiarowych nie należy lekceważyć!

Wpływ tych indukcyjności jest stosunkowo duży, jeśli indukcyjność własna obiektu badanego jest niska.



Schemat obok przedstawia sytuację, w której wpływ przewodów pomiarowych nie jest krytyczny na wynik pomiaru, ponieważ indukcyjności własna DUT jest relatywnie duża w porównaniu do indukcyjności samych przewodów.



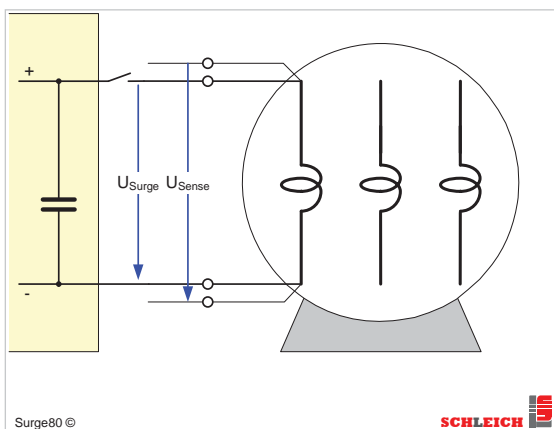
Schemat obok przedstawia sytuację, w której wpływ przewodów pomiarowych jest znaczący na wynik pomiaru, ponieważ indukcyjności własna DUT jest porównywalna do indukcyjności przewodów.



Z reguły przewody pomiarowe powinny mieć jak najmniejszą długość. Zbyt długie przewody pomiarowe mogą mieć niekorzystny wpływ na wynik pomiaru.



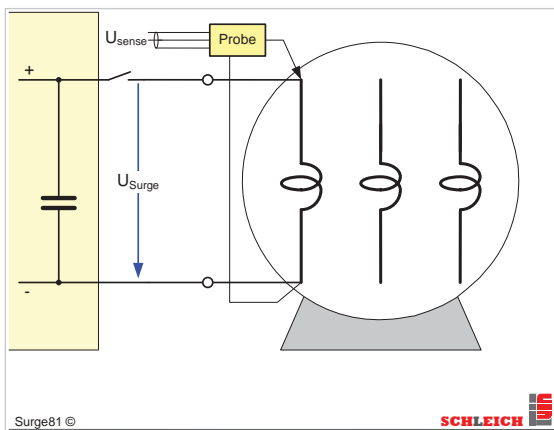
Jeżeli tester mierzy napięcie bezpośrednio na uzwojeniu zamiast  $U_{Surge}$ , możliwe jest przeprowadzenie dodatkowego testu Surge tzw. Sense Voltage Measurement. Taką funkcję posiadają tylko wybrane testery Schleich.



Pomiar wykonywany jest metodą 4 przewodową. Dzięki czemu napięcie jest mierzone bezpośrednio na uzwojeniu.

**UWAGA:** Nie stosuje się tej metody gdy czas narastania napięcia Surge jest mniejszy niż 300ns. Przy zbyt krótkim czasie narastania wynik pomiaru może być zafałszowany.

Jeżeli jednak wymagany jest pomiar napięcia na uzwojeniu przy czasie narastania krótszym niż 300ns, należy podłączyć zewnętrzną sondę napięciową.



Za pomocą specjalnej sondy bez potencjałowej możliwy jest pomiar napięcia bezpośrednio na uzwojeniu.



## 4.9 Rozładowanie DUT

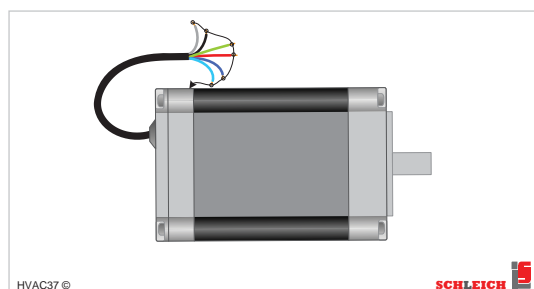
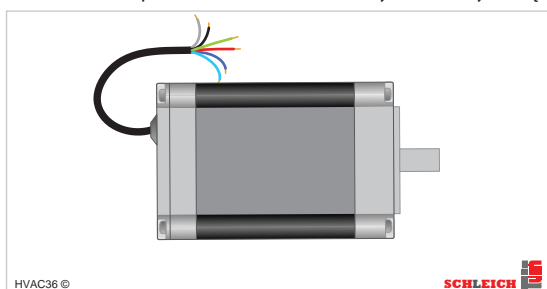


Po wykonaniu testu Surge obiekt badany należy rozładować.

W celu uniknięcia niebezpieczeństwa pochodzącego od napięć szczytkowych, rozładowanie DUT po wykonaniu testu jest obowiązkowe. Najprostszym sposobem jest złączenie ze sobą końcówek przewodów zasilających DUT.



**UWAGA!** Może to spowodować uszkodzenie niektórych testowanych urządzeń.



Rozładowanie niebieskiego przewodu, który był poddany testom.

**UWAGA!** Najlepiej byłoby rozładować wszystkie przewody. Czasami zdarza się, że również na nietestowanych przewodach pojawia się napięcie szczytkowe sprzężone przez pojemności pasozytne.

Podczas automatycznej sekwencji pomiarowej rozładowanie DUT następuje samoczynnie.

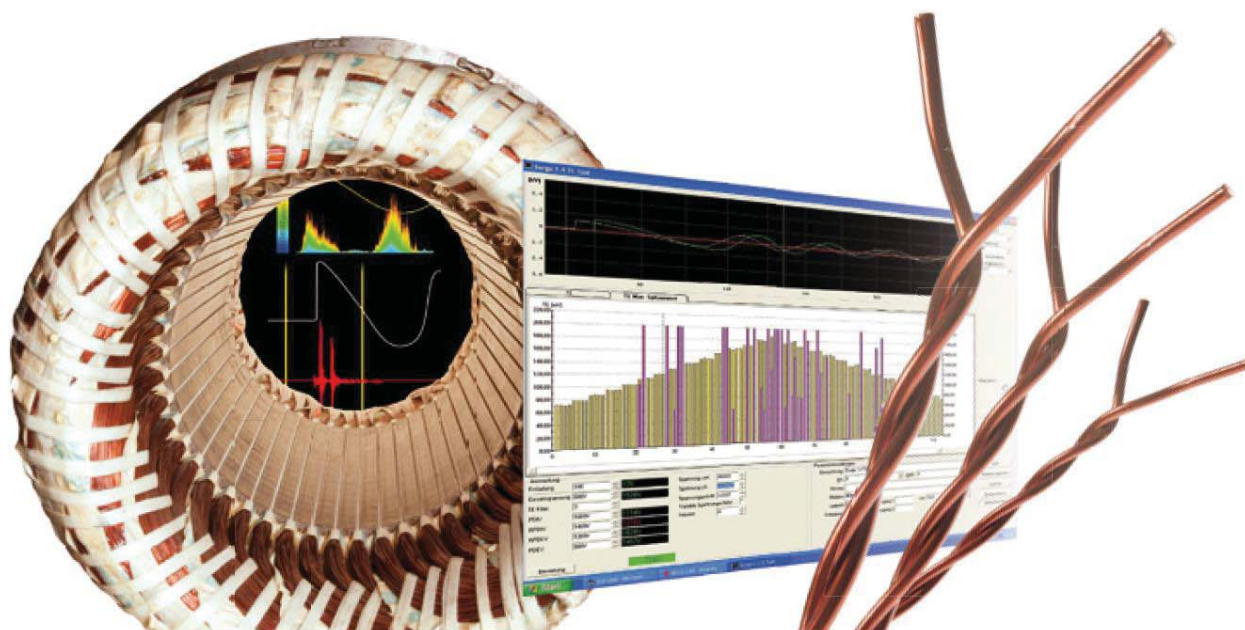
---

## Pomiar wyładowań niezupełnych podczas testu Surge





## 5. Pomiar wyładowań niezupełnych podczas testu Surge

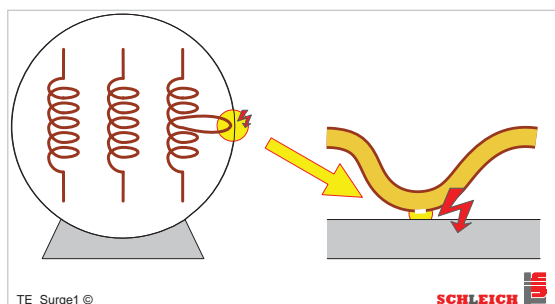


### 5.1 Kilka słów na temat pomiaru wyładowań niezupełnych

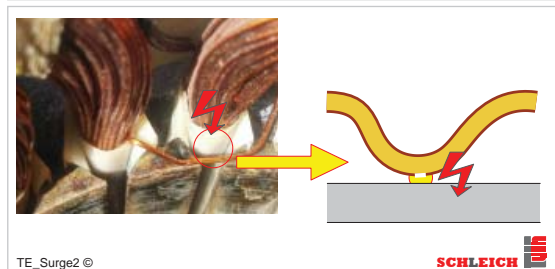
W ciągu ostatnich kilku lat pomiar wyładowań niezupełnych stał się bardzo istotny dla oceny izolacji silników elektrycznych. Jest to szczególnie ważne ze względu na rosnącą popularność przetwornic częstotliwości zapewniających płynną regulację prędkości obrotowej silnika. Nasze doświadczenie pokazuje, że wiele osób zajmujących się diagnostyką silników posiada pewną wiedzę na temat wyładowań niezupełnych, ale tylko niewielki odsetek z nich można nazwać w tej dziedzinie ekspertami. Ten rozdział jest poświęcony zagadnieniu wyładowań niezupełnych i mamy nadzieję, że pozwoli „rzucić światło” na tego typu pomiary. Pragniemy też zauważyć, że nie jest to praca naukowa, a ogólny opis metody badawczej i jej zastosowań.

### 5.2 Czym charakteryzuje się pomiar wyładowań niezupełnych?

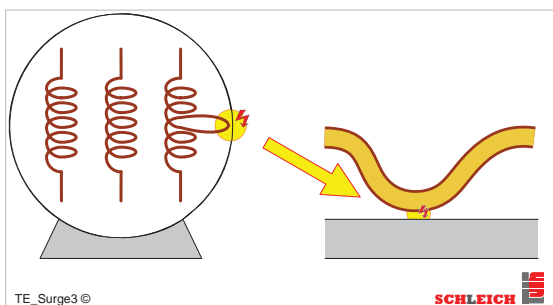
Z klasycznego testu wysokiego napięcia AC wiemy jak wygląda „wyładowanie pełne”. Wysoka różnica potencjałów oddziałuje na izolację elektryczną co prowadzi do jej osłabienia, degradacji i w konsekwencji wystąpienia zwarcia (wyładowania pełnego) np. pomiędzy uszkodzonym uzwojeniem i korpusem silnika.



Uszkodzony przewód blisko rdzenia



Uszkodzony przewód blisko rdzenia



TE\_Surge3 ©



Ale co się stanie , jeśli przewód nie jest uszkodzony? Na początku nie stanie się nic! Obecnie druty miedziane mają tak wysoką jakość , że ich izolacja jest w stanie wytrzymać duże różnice potencjałów przez długi okres czasu. Dlatego klasyczne testy wysokonapięciowe lub testy Surge nie są w stanie wykryć ich postępującej degradacji.

W takich przypadkach wyładowania zupełne nie występują, jednak zmiany w wewnętrznej strukturze materiału izolacyjnego cały czas postępują. Analizując termin „wyładowanie niepełne” należy uświadomić sobie, że ten rodzaj wyładowania ograniczony jest jedynie do małej części na powierzchni lub w objętości dielektryka.

Silniki elektryczne są zazwyczaj oceniane w następujący sposób: „Silnik nie może wykazywać zwarc w izolacji oraz nadmiernego prądu upływu” Odpowiedź na pytanie „Jaka wartość prądu upływu stanowi limit” nie jest prosta. Normy krajowe i międzynarodowe nie dostarczają żadnych informacji na ten temat. Co więcej w dokumentach normatywnych nie jest ujęty nawet zakres w jakim prądy upływu są kwalifikowane jako dostatecznie niskie. Jest to spowodowane głównie tym, że prądy upływu głównie zależą od typu i rozmiaru badanej maszyny i nie mogą zostać określone ogólnie dla całej grupy urządzeń (zobacz rozdział poświęcony wpływowi pojemności pasywnych na pomiar Surge). Tak więc wysoki prąd upływu na maszynowej maszynie (np. generatorze w elektrowni) może być całkowicie akceptowalny, gdy ten sam prąd na mniejszej maszynie jest niedopuszczalny.

Maksymalny dopuszczalny prąd upływu podczas testu HV można określić za pomocą pomiarów porównawczych w fazie produkcyjnej. Jednak z drugiej strony bardzo trudno jest określić limit prądu upływu dla silników używanych, zwłaszcza podczas pomiarów serwisowych i konserwacyjnych. Często się zdarza, że doświadczony pomiarowiec potrafi „zauważyć” zbyt wysoki prąd upływu nasłuchując trzaski podczas próby wysoki napięciem. Jednak nie jest w stanie podać szczegółowych informacji na jego temat.

**W takich przypadkach tylko pomiar wyładowań niepełnych jest w stanie pomóc!**

Poniżej typowe miejsca uszkodzeń spowodowane aktywnością wyładowań niepełnych:



Surge83 ©



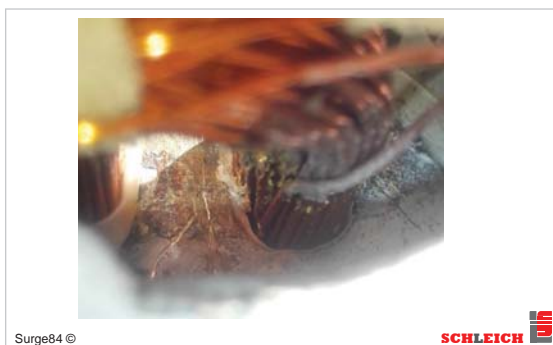
**Uszkodzenie izolacji pomiędzy uzwojeniem i rdzeniem**



Surge82 ©



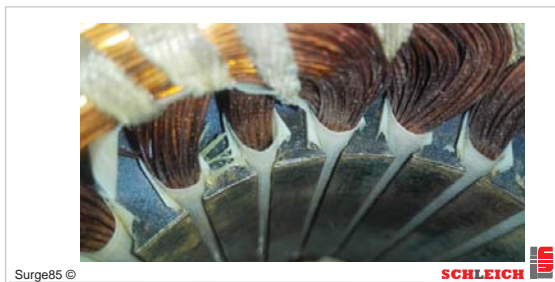
**Uszkodzenie izolacji pomiędzy uzwojeniem i rdzeniem**



Surge84 ©

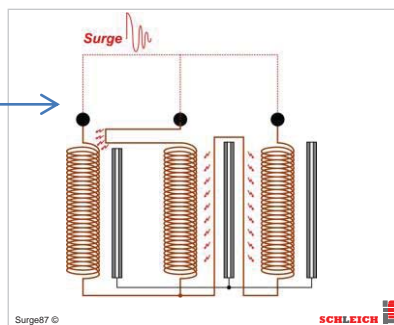
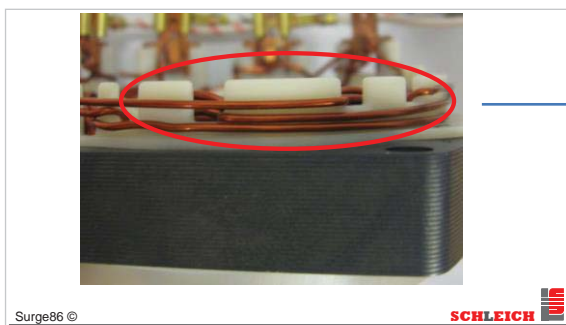


**Uszkodzenie izolacji pomiędzy uzwojeniem i rdzeniem**



**Uszkodzenie izolacji międzyfazowej - spowodowane przesunięciem separatora**

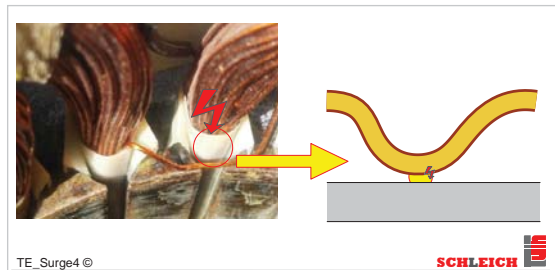
**Uszkodzenie izolacji międzyfazowej - ilustracja przedstawia wyładowania niezupełne pomiędzy wyprowadzeniami uzwojeń.**



Rejestrując wyładowania niezupełne operator jest w stanie wykryć uszkodzenia w wewnętrznej strukturze izolacji nie narażając ją na jej całkowite zniszczenie (jak to się dzieje podczas testu wysokim napięciem AC/DC).

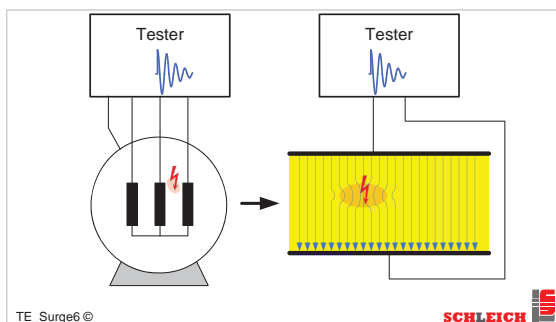
**Jak i gdzie występują wyładowania niezupełne?**

Wyładowania niezupełne występują wszędzie gdzie izolacja narażona jest na wysoką różnicę potencjałów, zwłaszcza pomiędzy zwojami oraz zwojami i korpusem silnika.



Wyładowania niezupełne zwykle pojawiają się w małych szczelinach powietrznych, w obszarach, w których przewody mają kontakt ze sobą, w uszkodzonej żywicy izolacyjnej lub też w pęcherzykach powietrza wewnątrz materiału izolacyjnego.

W nowych silnikach tego rodzaju osłabienie izolacji występuje z powodu zastosowania niskiej jakości materiału izolacyjnego. Częstym błędem produkcyjnym jest niewłaściwe ułożenie koszulki izolacyjnej w żłobku lub jej brak. W starszych silnikach uszkodzenia wynikają z powodu degradacji wewnętrznej struktury dielektryka w skutek aktywności wyładowań niezupełnych, np. wykruszona żywica izolacyjna.

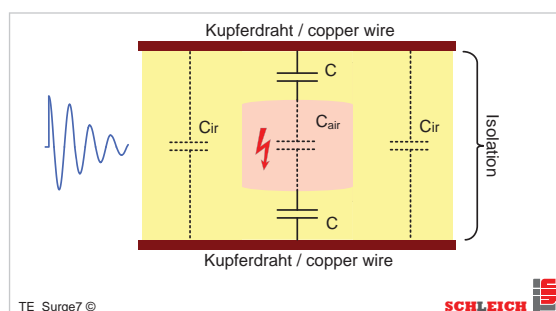


Rysunek obok przedstawia wyładowanie niepełne w miejscu szczególnie narażonym na uszkodzenie (pomarańczowy obszar) np. przez brak koszulki izolacyjnej w łożku stojana.

W konsekwencji „słabe ogniwo” zaczyna nie wytrzymywać różnicy napięć, co sprzyja powstawaniu wyładowań niepełnych.

Aczkolwiek izolacja ulega osłabieniu na skutek pojawienia się wyładowań niepełnych, nie powoduje to jeszcze jej zupełnego przerwania i wystąpienia zwarcia.

Poniższa ilustracja przedstawia typową wewnętrzną strukturę dielektryka. Test Surge w tym przypadku wykonywany jest pomiędzy uzwojeniami oraz pomiędzy uzwojeniami i rdzeniem stojana/wirnika.



Poniższy schemat zastępczy przedstawia zjawisko powstawania wyładowań niepełnych. Przewody elektryczne są oddzielone od siebie materiałem izolacyjnym. W przypadku idealnej izolacji jej struktura miałaby charakter jednorodny, bez wewnętrznych defektów, uszkodzeń i braków. W tym przypadku izolację można porównać do jednej dużej pojemności (Cir). Jednakże ze względu na defekty wewnątrz izolacji, (Cir) dielektryk należy postrzegać jako sumę mniejszych pojemności (Cair) skupionych w mikroskopijnych szczelinach, w których wysokie pole elektryczne prowadzi do powstania lokalnych wyładowań elektrycznych o małej mocy (Cair). Na schemacie przykładowa pojemność szczeliny została umieszczona w różowym kwadracie.

Ten postępujący proces nieuchronnie wpłynie na jakość izolacji pogarszając jej parametry. Gdy wyładowania niepełne osiągną zbyt wysoki poziom uszkodzona część izolacji będzie tak duże, że doprowadzi to zwarcia i awarii całego silnika.

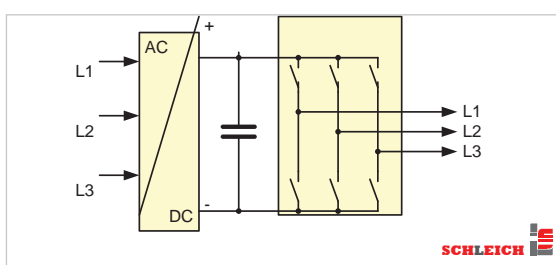
Tak więc wyznacznikiem dobrej jakości izolacji jest jak najniższy poziom wyładowań niepełnych. Zwykle jest to tylko kwestią czasu gdy nawet relatywnie niski poziom wyładowań niepełnych doprowadzi do zniszczenia silnika/generatora.

Wyładowania niepełne są dynamicznym, nieliniowym zjawiskiem fizycznym. Przy podwyższonym napięciu ich pojawienie się jest pewne. Pytanie jakie trzeba zadać to przy jakim napięciu należy je testować. Odpowiedź jest powiązana z napięciem zasilania testowanego silnika oraz z jego zastosowaniem. Należy mieć to na uwadze dobierając napięcie probiercze.

### 5.3 Pomiar wyładowań niepełnych w silnikach zasilanych z przetwornicy częstotliwości

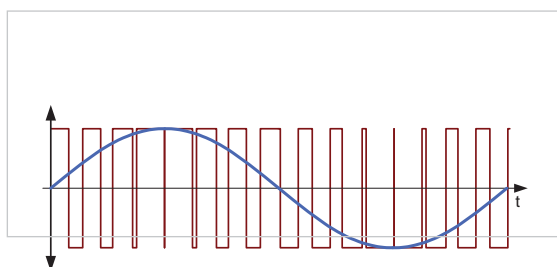
Silniki elektryczne zasilane z przetwornicy częstotliwości muszą być testowane z podwyższonym napięciem. Dlaczego? Nie jest to jednak takie oczywiste, a odpowiedź tkwi w zasadzie działania falownika. Tak więc pytanie brzmi: Jak wysokie napięcia mogą pojawić się na wyjściu falownika? Zanim jednak odpowiemy, przyjrzyjmy się bliżej przetwornicy częstotliwości.

W przetwornicy zasilanej jedno lub trójfazowo napięcie przemiennie jest początkowo prostowane, a następnie wygładzane i magazynowane w odpowiednio dużych pojemnościach. Naładowana pojemność wewnątrz przetwornicy jest zwykle oznaczana jako układ pośredni prądu ciągłego. Teoretyczny maksymalny poziom prądu ciągłego w obwodzie pośrednim falownika jest obliczany z wartości skutecznej napięcia wejściowego przemnożonej przez  $\sqrt{2}$ . Tak więc wartość napięcia stałego odpowiada maksymalnej wartości skutecznej napięcia wejściowego.



Prąd stały jest następnie ponownie przetwarzany na prąd przemienny za pomocą 6 półprzewodnikowych przełączników. Układ działa podobnie jak impulsator.

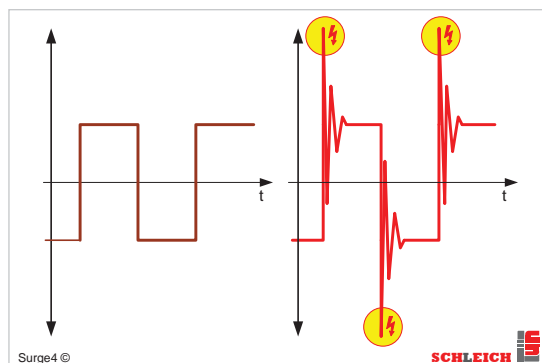
Szczerze mówiąc przetwornice częstotliwości są urządzeniami niemal idealnymi, jednak ich użycie pociąga za sobą ogromną wadę, mianowicie duże odkształcenie napięcia na wyjściu. Kształt napięcia jest daleki od sinusoidy, bardziej przypomina przebieg prostokątny. Za pomocą odpowiednich algorytmów przełączania falownik jest w stanie odtworzyć sinusoidę, jednak tylko do pewnego stopnia. Dokonuje się tego za pomocą tak zwanej modulacji szerokości impulsów (PWM). Poniższy rysunek pokazuje, PWM na przykładzie pojedynczej fazy.



Surge3 ©



Poprzez zmianę cykli pracy przełączników półprzewodnikowych sinus fali jest praktycznie odtworzony. W teorii działa to dobrze. Jednak w praktyce może to wpływać negatywnie na izolację silnika. Powodem tego jest to, że przełączniki półprzewodnikowe przełączają tak szybko, że prowadzi to do wysokich skoków napięcia na wyjściu falownika. Te chwilowe skoki napięcia są często większe niż wartość napięcia zasilania silnika. Ostatecznie doprowadza to do szybkiego starzenia się izolacji uzwojeń.

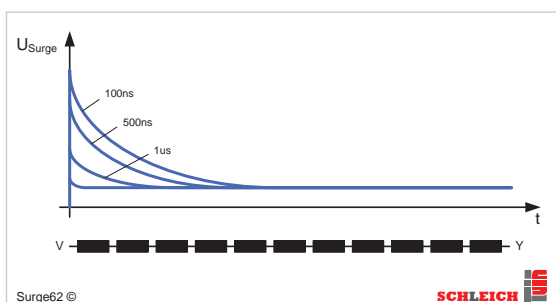


Surge4 ©



Chociaż przepięcia mogą być skutecznie tłumione za pomocą odpowiednich filtrów sinusoidalnych na wyjściu falownika, nie są one powszechnie stosowane ze względu na duże koszty zakupu.

Wartość szczytowa (przepięcie) napięcia spada na pierwszych zwojach cewki. Wynikiem jest preliminarny nieliniowy rozkład napięcia, który w głównej mierze zależy od czasu narastania impulsu. Pomijając początkowy wzrost napięcia na dalszych zwojach wykazuje charakter liniowy.

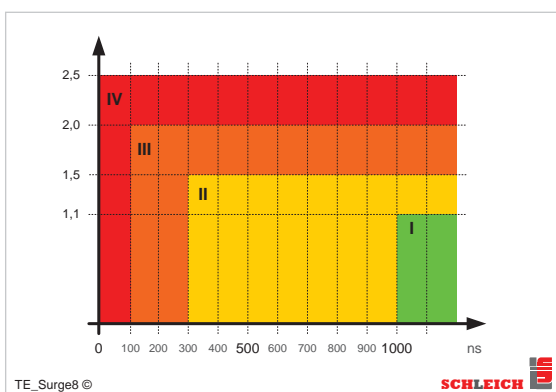


Surge62 ©



Przedstawione zjawisko należy rozważyć głównie w odniesieniu do pracy z falownikiem. W silnikach indukcyjnych zasilanych przez falownik występuje identyczne zjawisko, również pierwsze zwoje cewki są najbardziej narażone na przepięcia z falownika. Właśnie z tego powodu test Surge (ponieważ odtwarza ten efekt) jest wysoce rekomendowany, jako obecnie najlepsza metoda pomiarowa, dla silników indukcyjnych zasilanych przez przetwornicę częstotliwości.

Poniższy wykres przedstawia zależność pomiędzy czasem narastania a chwilową szczytową wartością napięcia.



TE\_Surge8 ©



Pojawiającą się wartość szczytową należy rozpatrywać jako współczynnik. Mnożąc ten współczynnik przez napięcie obwodu pośredniego UDC otrzymujemy wartość bezwzględną przepięcia. W zależności od czasu narastania określono cztery zakresy przepięciowe.

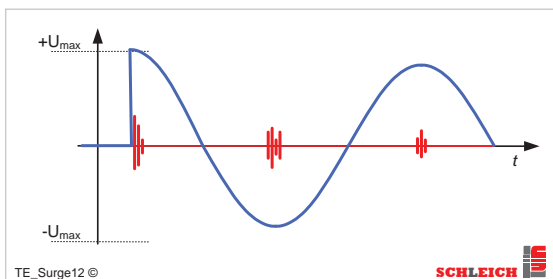




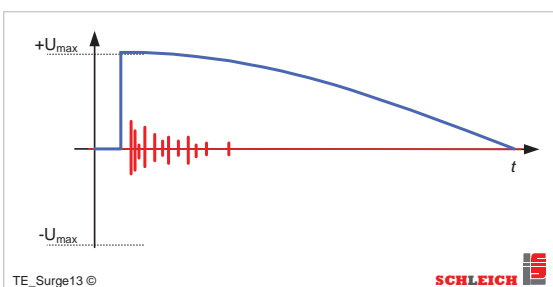
## 5.4 Pomiar wyładowań niezupełnych podczas testu Surge

Chociaż test Surge jest wysoce skuteczną metodą badania izolacji międzyzwojowej, jej możliwości nie są nieograniczone. Test Surge jest szczególnie przydatny, gdy izolacja miedzianych przewodów jest już w dużym stopniu uszkodzona lub zupełnie zniszczona. Jednakże w przypadku gdy izolacja międzyzwojowa nie została jeszcze przerwana, stosując wyłącznie test Surge nie jesteśmy w stanie wykryć postępującej degradacji wewnątrz izolatora.

Ażeby wykonać kompleksową diagnozę stanu izolacji wymagany jest pomiar wyładowań niezupełnych. Pomiar wyładowań niezupełnych dostarcza uzupełniających informacji na temat stanu wewnętrznej struktury izolatora. Należy jednak pamiętać, że obydwa testy są ze sobą związane.

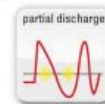


Wyładowania niezupełne pojawiają się pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego, tak więc bez napięcia Surge pomiar wyładowań niezupełnych byłby niemożliwy.



Alternatywnie pomiar wyładowań niezupełnych można też wykonać podczas testu HVAC (patrz rozdział 5). Obydwa testy stanowią wymaganą podstawę do pomiaru wyładowań niezupełnych.

Test Surge „sprawdza”, przede wszystkim, „słabe punkty” w izolacji międzyzwojowej. Takie jest założenie tego testu. Jednakże posługując się testem Surge nie jesteśmy w stanie zmierzyć poziomu wyładowań niezupełnych w izolacji międzyfazowej oraz w izolacji pomiędzy uzwojeniami i korpusem silnika. Do pomiaru wyładowań niezupełnych w izolacji międzyfazowej należy użyć testu HVAC. Aby rozszerzyć obszar analizy zaleca się pomiar wyładowań niezupełnych za pomocą obydwu metod (Surge oraz HV).



## 5.5 Metodologia pomiaru wyładowań niezupełnych

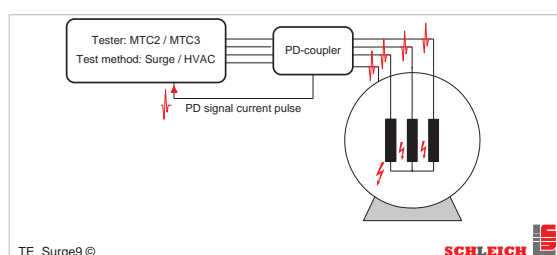
Istnieją dwie metody pomiaru wyładowań niezupełnych:

- Pomiar impulsów prądowych
- Pomiar pola elektromagnetycznego w.cz.

### 5.5.1 Pomiar impulsów prądowych

W jaki powtarzalny i dokładny sposób, można zmierzyć mikro wyładowanie powstające wewnątrz dielektryka? Zasadniczo odpowiedź zawarta jest w charakterystyce samego zjawiska. Jeżeli jakaś pojemność została rozładowana na skutek wyładowania, i nadal znajduje się pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego, natychmiast dochodzi do efektu ponownego ładowania. Tak więc mierząc ten efekt można udowodnić występowanie wyładowań niezupełnych. Impuls ładowania trwa tylko kilka nanosekund. Jest to krótkotrwały, wysokiej częstotliwości impuls prądowy.

Dlatego potrzebna jest specjalistyczna aparatura pomiarowa, która jest przystosowana do pomiaru szybkich impulsów prądowych.



Rysunek przedstawia pomiar wyładowań niezupełnych na uzwojeniach silnika/generatora przy użyciu sprzęgacza wysokiej częstotliwości impulsów prądowych. Sprzęgacz może zostać umieszczony wewnątrz testera lub znajdować się w torze pomiarowym jak o urządzenie peryferyjne, zewnętrzne. Wybór rozwiązania należy do klienta.



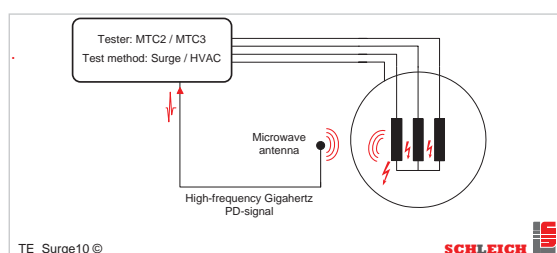
Zdjęcie przedstawia zewnętrzny sprzęgacz wyładowań niezupełnych. Przewody pomiarowe z testera (w tym przypadku testera MTC2) doprowadzane są przez sprzęgacz do zacisków badanego silnika.



Bardzo ważna w tym przypadku jest długość przewodów pomiarowych. Zaleca się, aby tester oraz sprzęgacz znajdowały się jak najbliżej DUT w celu zmniejszenia długości przewodów pomiarowych. Maksymalną czułość układu można osiągnąć przy możliwie najkrótszych przewodach pomiarowych.

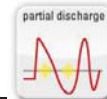
### 5.5.2 Pomiar pola elektromagnetycznego w.cz.

Równoległe do impulsów prądowych wyładowania niezupełne generują pole elektromagnetyczne. Można to porównać do iskrzenia. Wyładowania generują sygnał o wysokiej częstotliwości w bardzo szerokim paśmie, który w zasadzie można zmierzyć przy użyciu zwykłego radia FM.



Pomiar wyładowań niezupełnych uzwojenia stojana przy użyciu anteny pomiarowej.





### 5.5.3 Porównanie obu metod pomiarowych



Firma Schleich używała obydwu metod pomiarowych przez wiele lat. Obie metody posiadają swoje wady i zalety. Nie można jednoznacznie stwierdzić, że jedna metoda pomiarowa jest lepsza od drugiej.

Wadą metody impulsów prądowych jest to, że wpływ zakłóceń zewnętrznych jest stosunkowo wysoki. Przez co zakłócenie może zostać zinterpretowane jako sygnał użyteczny. W pewnych warunkach wpływ zakłóceń może spowodować zafałszowanie wyników. Chociaż ten negatywny efekt można zmniejszyć za pomocą specjalnych filtrów, to nie da się go wyeliminować zupełnie. Zaletą jest możliwość pomiaru wyładowań niezupełnych na całkowicie zmontowanym silniku.

Pomiar fali elektromagnetycznej ma tą zaletę, że zewnętrzne zakłócenia nie mają tak wielkiego wpływu na wynik pomiaru. Oczywiście impuls nie może być mierzony w zakresach użytkowych np. paśmie częstotliwości stosowanych przez nadajniki radiowe, urządzenia radiowe, sieci WLAN lub telefonie komórkową. Z tego powodu aparatura pomiarowa Schleich stosuje zakres nie wykorzystywany komercyjnie. Niedogodność pomiaru za pomocą anteny wynika z faktu, że fale elektromagnetyczne generowane wewnątrz silnika są silnie tłumione, ponieważ obudowa silnika działa jak klatka Faradaya.

Z tych powodów zalecamy pomiar za pomocą obydwu metod. Najwyższą dokładność pomiarową można osiągnąć wykorzystując obydwie metody pomiarowe.

## 5.6 Jednostka pomiarowa [pC]

Jednostką wyładowań niezupełnych jest pC (piko kulomb). Wzór na ładunek wzn:

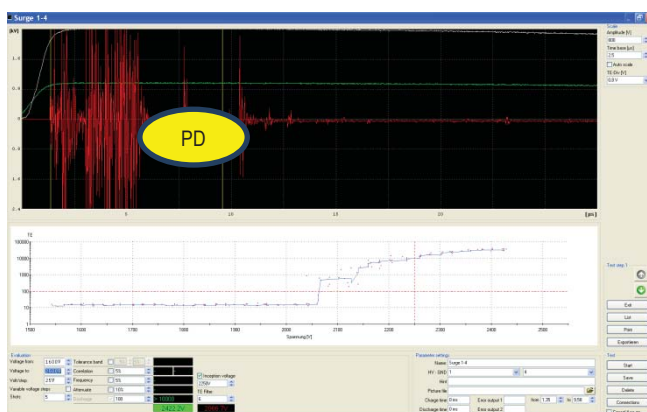
$$Q = C * U.$$

Jak przedstawiono na powyższym wzorze ładunek elektryczny jest wynikiem pojemności i napięcia, gdzie 1 kulomb jest równy iloczynowi jednego farada i jednego wolta. Pomiar wyładowań niezupełnych zazwyczaj odbywa się w zakresie od około 1pC do około kilku 1000pC. 1pC, to bardzo, bardzo mały ładunek. Mnożąc napięcie 1V i pojemność 1pF otrzymujemy ładunek o wartości 1pC.

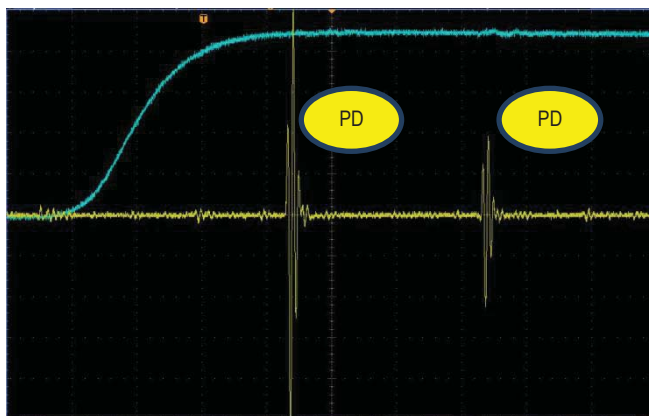
W rzeczywistości, do testowania uzwojeń, nie ma potrzeby korzystania z urządzeń pomiarowych wskazujących wynik w pC! Zazwyczaj wystarczająca jest informacja czy wyładowania niezupełne w ogóle się pojawiają. Ponadto, najważniejszymi danymi do określenia stanu izolacji są napięcia inicjacji i wygasania wyładowań niezupełnych, a nie dokładna wartość ich ładunku. Dlatego firma Schleich nie oferuje testerów wskazujących wartość wyładowań w pC.

## 5.7 Prezentacja graficzna wyładowań niezupełnych

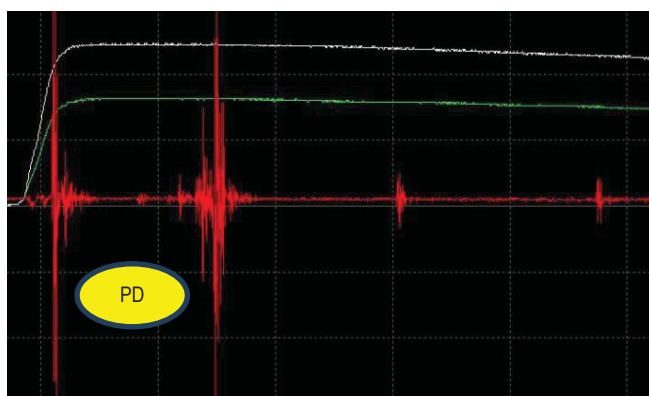
Pomiar wyładowań niezupełnych został wprowadzony w testerach SCHLEICH już na początku 2000 roku. Wielu znanych producentów silników z powodzeniem stosuje tą metodę.



**Pomiar wyładowań niezupełnych z automatyczną detekcją napięcia inicjacji/wygasania**



Detekcja wyładowań niezupełnych metodą Surge o czasie narastania 150ns za pomocą sprzęgacza impulsów prądowych



Detekcja wyładowań niezupełnych metodą Surge o czasie narastania 150ns za pomocą anteny RF

Testery MTC2 i MTC3 charakteryzują się następującymi parametrami:

- Test Surge o czasie narastania impulsu 70 ... 200 nanosekund, zgodnie z normami krajowymi i międzynarodowymi
- Precyzyjna regulacja napięcia Surge
- Odsprzęganie pojemnościowe impulsów wyładowań niezupełnych
- Odsprzęganie indukcyjne impulsów wyładowań niezupełnych
- Pomiar w zakresie wysokiej częstotliwości za pomocą anteny pomiarowej
- Automatykna detekcja wartości progowych wyładowań niezupełnych (inicjacji i wygasania)
- Automatykne detekcja wartości szczytowej wyładowań niezupełnych
- Automatykne wyznaczanie sumy wartości wyładowań niezupełnych

## 5.8 Metody ewaluacji

Istnieją trzy metody ewaluacji zmierzonych wyników:

- Pomiar napięcia inicjacji/wygasania według normy (IEC TS 61934)
- Pomiar napięcia inicjacji
- Pomiar wyładowań niezupełnych dla wybranego poziomu napięcia

Pomiar napięcia inicjacji/wygasania wyładowań niezupełnych zgodnie z normą IEC TS 61934 jest metodą szeroko stosowaną w laboratoriach wysokich napięć. Jednakże proces pomiarowy jest dość długi i dlatego ta metoda nie znajduje zastosowania na linii produkcyjnej. Testery Schleich wykonują pomiar w pełni zgodny z normą IEC TS 61934, automatyczna procedura pomiarowa wykonuje dodatkowy pomiar poziomu tła elektromagnetycznego podczas każdego testu.

Na produkcji powszechną praktyką stał się pomiar wyładowań niezupełnych tylko dla wybranego poziomu napięcia. Jeżeli DUT charakteryzuje się nadmierną ilością wyładowań niezupełnych dla przyjętego poziomu napięcia silnik jest kierowany na bardziej szczegółowe testy. Testy mają na celu ustalenie przyczyny występowania wyładowań oraz ich eliminację.



## 5.8.1 Pomiar napięcia inicjacji/wygaszania według normy (IEC TS 61934)

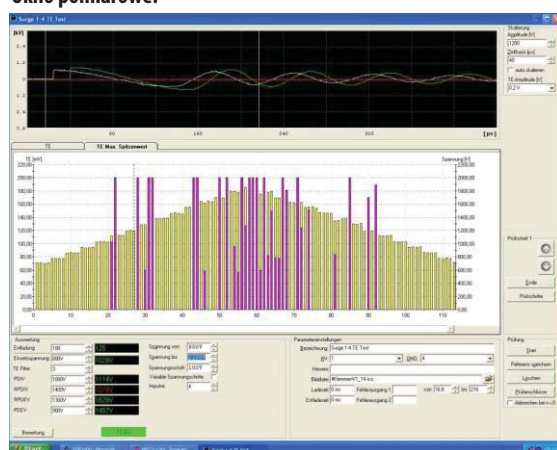
Z punktu widzenia oceny jakości izolacji najważniejsze są napięcia inicjacji oraz wygaszania wyładowań niezupełnych. Dlatego napięcie Surge, zaczynając od niskiej wartości, jest systematycznie zwiększane do wartości maksymalnej, a następnie ponownie spada. Napięcie inicjacji (PDIV - Partial Discharge Inception Voltage) oraz wygaszania PDEV (PDEV - Partial Discharge Extinction Voltage) jest wyświetlane przez tester po zakończeniu testu.

Procedurę pomiarową szczegółowo opisano w normie IEC TS 61934.

### Istotne parametry:

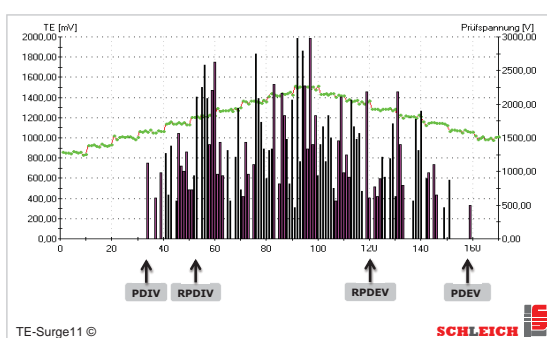
- PDIV: napięcie inicjacji wyładowań niezupełnych
- RPDIV: powtarzalne napięcie inicjacji wyładowań niezupełnych
- RPDEV: powtarzalne napięcie wygaszania wyładowań niezupełnych
- PDEV: napięcie wygaszania wyładowań niezupełnych

### Okno pomiarowe:



Przykładowa automatyczna sekwencja pomiarowa z opisem parametrów/procesów:

- Napięcie początkowe: 1500V
- Ilość impulsów Surge/krok pomiarowy: 10
- Krok pomiarowy: 100V
- Sekwencja pomiarowa: Napięcie jest zwiększone w krokach co 100V
- PDIV = Jeśli podczas 1 z 10 impulsów zarejestrowano WNZ
- RPDIV = Jeśli podczas 5 z 10 impulsów zarejestrowano WNZ
- Wartość maks. napięcia probierczego = wzrost napięcia stopniowo w krokach 100V, aż podczas 10 z 10 impulsów zarejestrowano WNZ Następnie napięcie spada stopniowo w krokach co 100V
- RPDEV = Jeśli podczas 5 z 10 impulsów nie zarejestrowano WNZ
- PDEV = Jeśli podczas 10 z 10 impulsów nie zarejestrowano WNZ



Dobra, nienaruszona izolacja charakteryzuje się wysokim napięciem inicjacji wyładowań niezupełnych. Zasadniczo przyjmuje się zasadę „im wyżej, tym lepiej”. Napięcie inicjacji wyładowań powinno przewyższać maksymalne napięcie robocze. Wartości referencyjne napięć znajdują się w normach.

Zdjęcie obok przedstawia pomiar wyładowań niezupełnych (napięć inicjacji i wygaszania)

Zielona linia pokazuje rosące napięcie udarowe Surge.

### Przykładowe wyniki pomiaru:

- PDIV : 1584V
- RPDIV : 1707V
- RPEV : 1690V
- PDEV : 1522V



## 5.8.2 Pomiar napięcia inicjacji

W tej metodzie pomiarowej napięcie Surge zaczynając od poziomu wyjściowego jest stopniowo zwiększane do ustawionej wartości maksymalnej. Istnieją następujące możliwości parametryzacji:

- Napięcie początkowe
- Napięcie końcowe
- Ilość impulsów Surge na krok pomiarowy
- Ilość kroków pomiarowych
- Maks. dopuszczalna ilość wyładowań niezupełnych

Okno pomiarowe:



## 5.8.3 Pomiar wyładowań niezupełnych dla wybranego poziomu napięcia

Test wykonywany jest przy napięciu probierczym zdefiniowanym uprzednio przez użytkownika. Dla wybranego poziomu napięcia obiekt badany nie może wykazywać wyładowań niezupełnych! Wartość napięcia probierczego powinna zostać ustalona przez użytkownika tak, aby nie przekraczała napięcia inicjacji wyładowań niezupełnych (PDIV). Wartość PDIV musi być wcześniej określona na sztuce referencyjnej cechującej się dobrymi parametrami izolacji. Zalecane jest ustawienie napięcia probierczego nieznacznie poniżej wartości PDIV.



## 5.9 Wnioski

W oparciu o wieloletnie i bogate doświadczenia z ogólnosiwiatowymi producentami silników elektrycznych firma Schleich gorąco rekomenduje metodę wyładowań niezupełnych. Te innowacyjne badanie znajduje zastosowanie od weryfikacji wad produkcyjnych po statystyczną kontrolę starzenia się izolacji w już eksploatowanych silnikach. Pomiar wyładowań niezupełnych stanowi wartą uwagi alternatywę dla działań kontroli jakości, sekcji utrzymania ruchu oraz ekip remontowych. Nasz know-how, w tym zakresie, sięga silników i generatorów o mocy od 100 KM do 6 MW.

Pomiar impulsów prądowych okazał się bardzo udaną metodą w stosunku do pomiaru pola elektromagnetycznego. Dużą zaletą metody impulsów prądowych jest możliwość wykonanie pomiaru na całkowicie zmontowanym silniku. Dodatkowo zastosowanie metody impulsów prądowych zwalnia operatora z obowiązku czasochłonnego pozycjonowania anteny.

Ponadto SCHLEICH opiera swoją metodę pomiarową wyładowań niezupełnych na zaaprobowanej międzynarodowo kombinacji pomiaru wyładowań niezupełnych podczas testu wysokonapięciowego AC oraz testu Surge. Cały test, jak również przełączanie napięcia probierczego pomiędzy zaciskami pomiarowymi odbywa się w pełni automatycznie. Schleich oferuje pomiar wyładowań niezupełnych nawet do 50kV.

Wszystkie testery Schleich są projektowane i produkowane w firmie Schleich, zlecenie montażu pobocznym przedsiębiorstwom nie jest nawet brane pod uwagę. Wytwórca posiada ponad 25 lat doświadczenie w testowaniu i produkcji wysokiej jakości aparatury pomiarowej. Wszystkie testery są produkowane w Niemczech, w fabryce znajdującej się w Hemer.

Testery SCHLEICH są w pełni zgodne z niemiecką normą VDE 530-18-41 (IEC60034-18-41) oraz międzynarodową IEC TS 61934.

## 5.10 Literatura

Bibliografia:

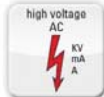
- [1] Paper No. PCIC-2004-27: „PARTIAL DISCHARGE INCEPTION TESTING ON LOW VOLTAGE MOTORS”; IEEE; 2004
- [2] IEC/TS 60034-18-41 ed1.0: „Rotating electrical machines - Part 18-41: Qualification and type tests for Type I electrical insulation systems used in rotating electrical machines fed from voltage inverters”; 2006
- [3] IEC/TS 60034-18-42 ed1.0: Rotating electrical machines - Part 18-42: Qualification and acceptance tests for partial discharge resistant electrical insulation systems (Type II) used in rotating electrical machines fed from voltage converters”; 2008
- [4] IEC/TS 60034-27: Off-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines”; 2006
- [5] IEC/TS 61934 ed2.0: „Electrical insulating materials and systems - Electrical measurement of partial discharges (PD) under short rise time and repetitive voltage pulses”; 2011
- [6] VDE 530-18-41: „Drehende elektrische Maschinen Teil 18-41: Qualifizierung und Qualitätsprüfungen für teilentladungsfreie elektrische Isoliersysteme (Typ I) in drehenden elektrischen Maschinen, die von Spannungsumrichtern gespeist werden”; 2011
- [7] VDE 530-18-42: „Drehende elektrische Maschinen Teil 18-42: Qualifizierungs- und Abnahmeprüfungen teilentladungsresistenter Isoliersysteme (Typ II) von drehenden elektrischen Maschinen, die von Spannungsumrichtern gespeist werden”; 2011
- [8] VDE 530-27: „Drehende elektrische Maschinen Teil 27: Off-Line Teilentladungsmessungen an der Statorwicklungsisolierung drehender elektrischer Maschinen”; 2011
- [9] R.H.Rehder - W.J.Jackson – B.J.Moore; Designing Refiner Motors to Withstand Switching Voltage Transients
- [10] M.Tozzi – A. Cavallani – G.C. Montanari; Monitoring Off-Line and On-Line PD Under Impulsive Voltage on Induction Motors – Part 1: Standard Procedure”; 2010
- [11] M.Tozzi – A. Cavallani – G.C. Montanari; Monitoring Off-line and On-line PD Under Impulsive Voltage on Induction Motors – Part 2: Testing”; 2010



---

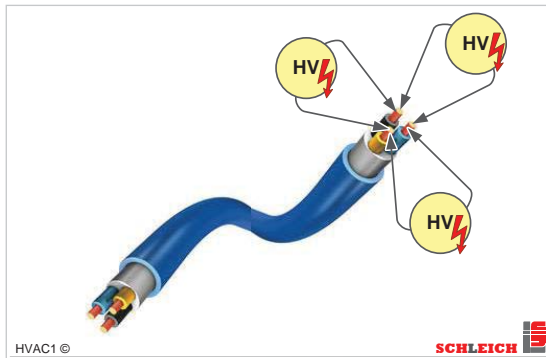
## **Test Wysokim napięciem AC**





# 6. Test wysokiego napięcia AC (prąd przemienny)

## 6.1 Informacje na temat testu wysokim napięciem AC

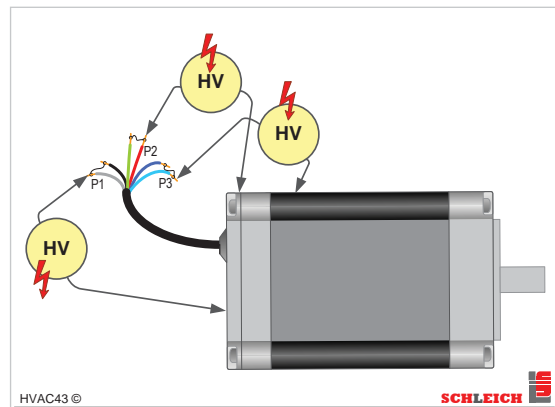
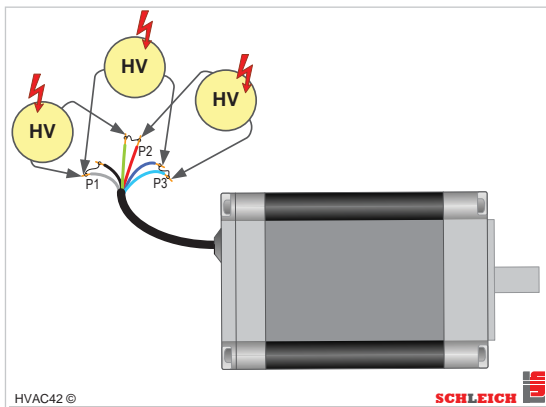


Próbie wysokim napięciem wykonuje się na urządzeniach o klasie ochronności I i II. Urządzenia klasy I posiadają przyłącze do przewodu ochronnego PE lub przewodu neutralno-ochronnego PEN. Urządzenia klasy II posiadają wzmocnioną izolację zapewniającą ochronę przed dotykiem bezpośrednim oraz pośrednim. Urządzenia klasy II nie posiadają przewodu ochronnego.

Urządzenie II klasy ochronności są oznaczone tym symbolem. □

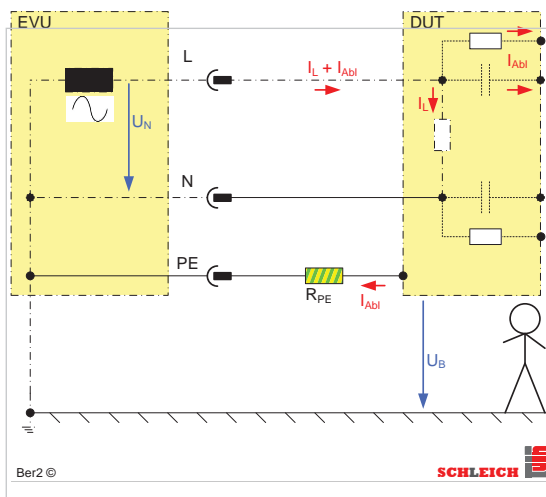
Test ma na celu weryfikację wytrzymałości elektrycznej izolacji na napięcie próby, którego wartość jest określona przez odpowiednie normy. Podczas testu mierzone są prądy upływu, które mogą pojawić się pomiędzy przewodami zasilającymi lub przewodem fazowym i przewodem ochronnym.

Sąsiednie zdjęcia ilustrują test wysokiego napięcia przeprowadzany międzyfazowo oraz pomiędzy przewodem fazowym i obudową.

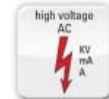


Jeżeli wartość rezystancji izolacji jest zbyt niska (w tym przypadku przewód PE prawdopodobnie również jest uszkodzony) na odsłoniętych, metalowych częściach obudowy może pojawić się niebezpiecznie wysoki prąd dotykowy. Prąd dotykowy to prąd płynący od metalowych części na obudowie, na których utrzymuje się napięcie, przez osobę porażoną do potencjału Ziemi.

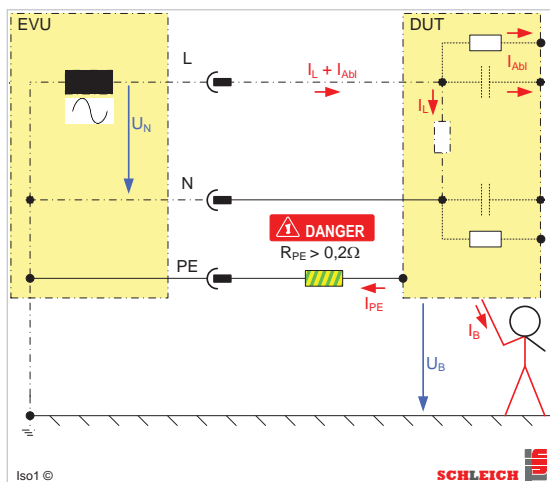
Szczególnie w urządzeniach o klasie ochronności II istnieje wysokie niebezpieczeństwo porażenia ze względu na brak przewodu PE.



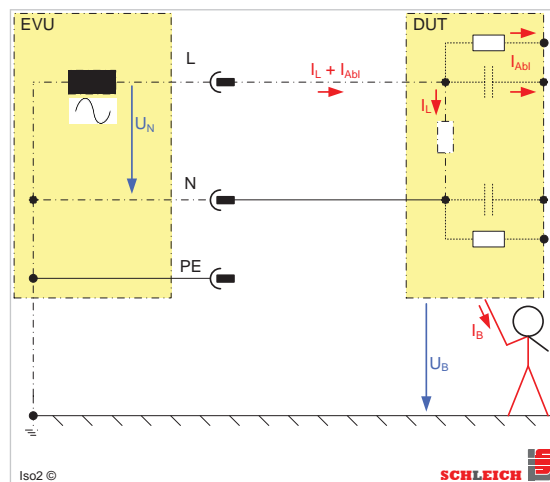
- Definicje**
- EVU: dostawca energii elektrycznej (elektrownia)
  - DUT: urządzenie poddane testom (obiekt testowy)
  - IL: prąd fazowy
  - IABL: prąd upływu
  - UN: napięcie sieci
  - RPE: rezystancja żyły PE
  - UB: ewentualnie występujące napięcie dotykowe



Jeśli ciągłość przewodu PE nie jest zachowana, na obudowie urządzenia może pojawić się niebezpiecznie wysokie napięcie. W przypadku dotknięcia znajdujących się pod napięciem metalowych części obudowy może nastąpić porażenie elektryczne. Owe porażenie jest skutkiem przepływu prądu przez porażoną osobę do potencjału Ziemi.



Ilustracja obrazuje sytuację, w której występują niebezpiecznie wysokie prądy upływu na urządzeniu o klasie ochronności I ze względu na zbyt wysoką rezystancję przewodu PE.



Ilustracja przedstawia sytuację, w której występują niebezpiecznie wysokie prądy upływu na urządzeniu o klasie ochronności II.

## 6.2 Poziom napięcia probierczego podczas testu HV AC

Poziom napięcia probierczego jest definiowany przez określone normy. Wykonując test ustaw wartość zadaną zgodnie z obowiązującymi normami. Test wysokiego napięcia jest w zasadzie wykonywany w tych samych punktach co test rezystancji izolacji. Jednakże, w przeciwieństwie do testu rezystancji izolacji, próbę wysokim napięciem przeprowadza się przy znacznie wyższych poziomach napięć.



Napięcie probiercze jest podłączane do izolacji w celu określenia jej wytrzymałości elektrycznej.

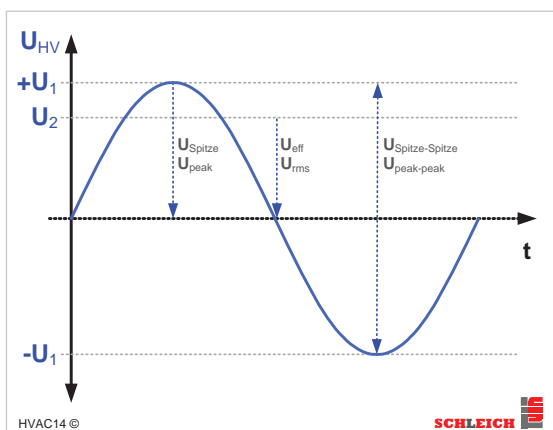
Istnieją różne normy i przepisy dla różnych testerów. Poziom napięcia probierczego jest określony w tych przepisach.

Generalnie rzecz ujmując możemy podać następujące informacje:

W wielu przypadkach zakres napięcia waha się w granicach 1000 ... 1800 VAC. Wartość ta jest wartością skuteczną!

## 6.3 Jaki rodzaj napięcia jest wyświetlany?

Podczas testu wysokiego napięcia wyświetlana jest wartość skuteczna ( $U_2$ ).



W sieci wolnej od harmonicznych, zależność pomiędzy wartością skuteczną i szczytową jest stała. Posługując się następującym wzorem można wyliczyć wartość skuteczną dla przebiegów nieodkształconych:  $U_1 = U_2 * \sqrt{2}$ .

Ze względu jednak na odkształcenie przebiegu przez harmoniczne nie jest już to możliwe. Podczas testu wysokiego napięcia składowe harmoniczne z sieci oddziałują na kształt napięcia probierczego. Na przykład w przypadku testera 50kV są indukowane w uzwojeniu wtórnym transformatora probierczego, tak więc zależność dla przebiegów nieodkształconych ( $\sqrt{2}$ ) nie jest zachowana.

W niektórych aplikacjach kluczowy jest wpływ wartości szczytowej na wytrzymałość izolacji. Dlatego też testery firmy Schleich posiadają możliwość przełączania wartości mierzonej pomiędzy wartością skuteczną (RMS) i szczytową (PEAK).



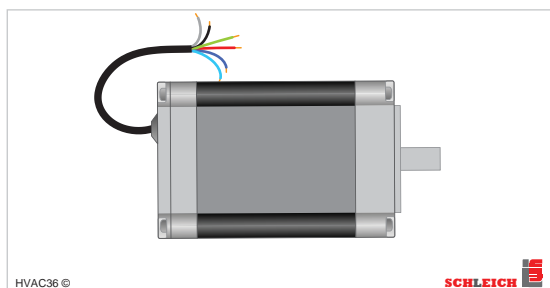
## 6.4 Rozładowanie DUT



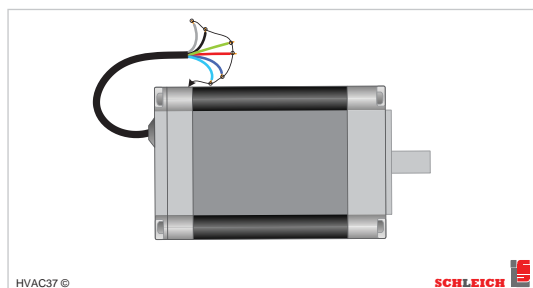
Przedmiot badań powinien zostać elektrycznie rozładowany po próbie wysokiego napięcia AC. Większość badanych urządzeń posiada pojemność własną, która jest ciągle ładowana podczas testu zgodnie z częstotliwością napięcia probierczego AC. Jeżeli test jest przeprowadzany przy użyciu sond pomiarowych, które zostaną odłączone pod napięciem, wtedy na obiekcie badanym może utrzymywać się napięcie szczytkowe. Jeśli sondy zostaną odłączone podczas gdy sinus przechodzi przez wartość szczytową napięcie szczytkowe wyniesie  $U_{Res} = U_{HV} * \sqrt{2}$ !



W celu uniknięcia niebezpieczeństwa pochodzącego od napięć szczytkowych, rozładowanie DUT po wykonaniu testu jest obowiązkowe. Najprostszym sposobem jest złączenie ze sobą dwóch końców przewodów zasilających DUT. UWAGA! Może to spowodować uszkodzenie w niektórych testowanych urządzeniach.

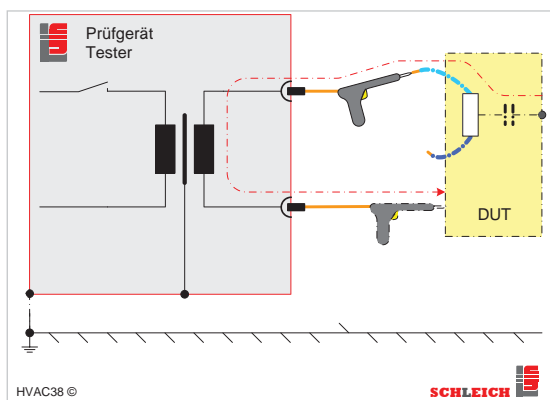


Rozładowanie niebieskiego przewodu, który był poddany testom.



UWAGA! Najlepszym rozwiązaniem jest rozładowanie wszystkich przewodów. Czasami zdarza się, że również na nietestowanych przewodach pojawia się napięcie szczytkowe sprzężone przez pojemności pasozytne.

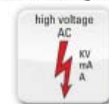
Bezpieczniej jest odłączyć sondy pomiarowe gdy nie utrzymuje się już na nich napięcie. Rozładowanie DUT wykonywane jest poprzez wewnętrzną rezystancję uzwojeń transformatora. Z tego powodu po wykonaniu testu zaleca się pozostawić sondy podłączone na czas potrzebny do rozładowania badanego obiektu.



Ponadto tester posiada wbudowany woltomierz, który mierzy poziom napięcia szczytkowego po teście. Czerwona lampka ostrzegawcza będzie się świecić tak długo, aż poziom napięcia nie spadnie do bezpiecznego poziomu.

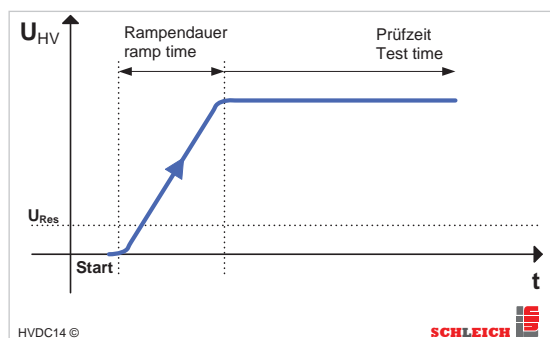


W automatycznych systemach pomiarowych rozładowanie DUT jest częścią sekwencji pomiarowej. Strona wtórna transformatora probierczego pozostaje podłączona do obiektu badanego, aż napięcie osiągnie bezpieczny poziom. Styki przekaźników DUT są rozwierane dopiero po rozładowaniu.

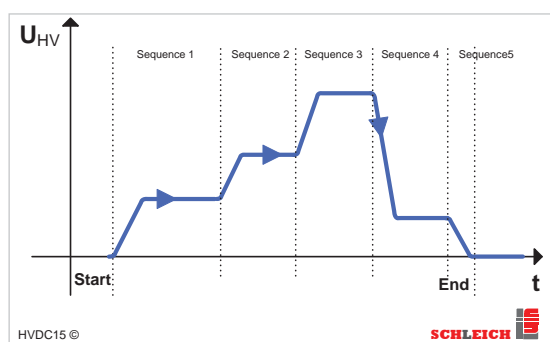


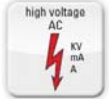
## 6.5 Rampa napięciowa i kształt napięcia

Zaleca się, aby nie załączać napięcia w sposób skokowy, natychmiastowy do badanego urządzenia, lecz zwiększać napięcie liniowo w formie rampy. Prawie wszystkie testy firmy Schleich umożliwiają wykonywanie testu w taki sposób.



Co więcej testery pozwalają także na łączenie ze sobą pojedynczych ramp w bardziej złożone sekwencje pomiarowe.





## 6.6 Test separacyjny czy nieseparacyjny?

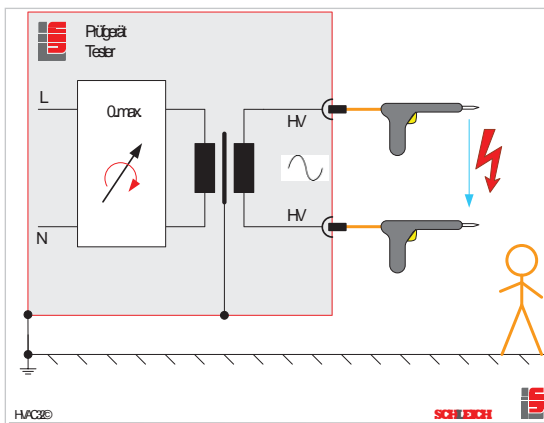


Czy test powinien być separacyjny czy też nie, zależy od regulacji bezpieczeństwa zawartej w normie lub też od aplikacji.

Większość testów do 6kV to testy bezpieczne (separacyjne). W dodatku jeden biegun wysokiego napięcia jest zwarty z masą. Firma SCHLEICH dostarcza testery bezpieczne nawet do 12kV.

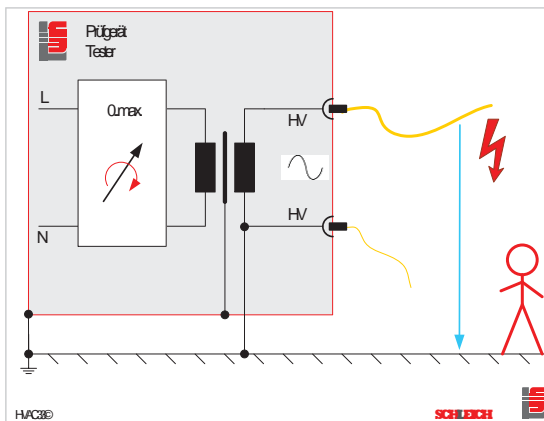


Test separacyjny jest bezpieczniejszy od zwykłego testu wysokiego napięcia. W tym znaczeniu transformator probierczy spełnia też rolę transformatora separacyjnego. Dzięki temu zwiększa się ochrona przed porażeniem osoby obsługującej tester. Jednak pomimo zastosowanych zabezpieczeń należy pamiętać, że wysokie napięcie z prądem powyżej 3mA AC jest NIEBEZPIECZNE dla życia!



Zdjęcie przedstawia test separacyjny wysokiego napięcia z 2 sondami HV (tzw. pistoletami). Jeśli dodatni biegun wysokiego napięcia zostanie przypadkowo dotknięty, teoretycznie istnieje pewna doza ochrony przed porażeniem. Jednakże w zależności od ustawionego poziomu napięcia w układzie mogą pojawić się upływności o charakterze pojemnościowym, które stanowią zagrożenie dla operatora

Dlatego zawsze pamiętaj, aby pod żadnym pozorem nie dotykać przewodów zasilanych wysokim napięciem!

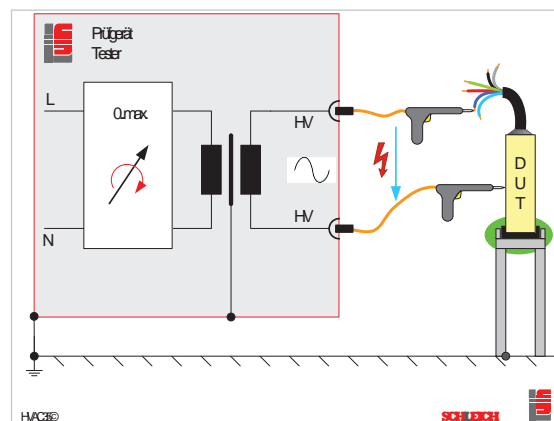
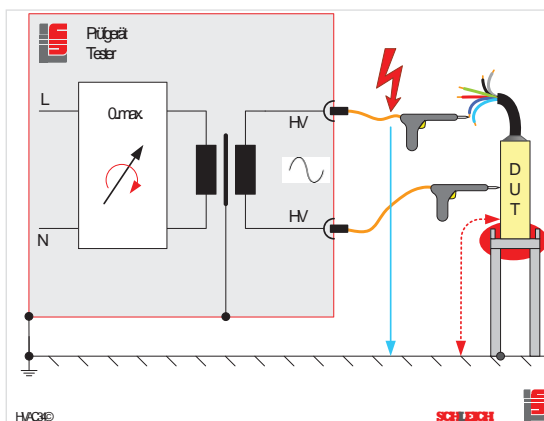


Zdjęcie przedstawia nieseparacyjny test wysokiego napięcia. Zagrożenie jest oczywiste.



Uwaga: W przypadku testów separacyjnych na linii produkcyjnej (z metalową posadzką) stosuje się układ, w którym jedna z sond pomiarowych jest przykładana do metalowej obudowy badanego obiektu, a druga do przewodów zasilających.

Należy jednak pamiętać, że badane urządzenie stoi na metalowej, przewodzącej podłodze (miejmy nadzieję) uziemionej. Stanowi to potencjalne zagrożenie! Z tego powodu wysoce wskazane jest, aby testowane urządzenie umieścić na izolowanej podkładce. Redukuje to niebezpieczeństwo związane z pojawieniem się potencjału w miejscach niedozwolonych z punktu widzenia bezpieczeństwa!



Podczas testu nie należy dotykać obiektu badanego i przewodów pomiarowych!

Podczas testu należy przestrzegać przepisów bezpieczeństwa!

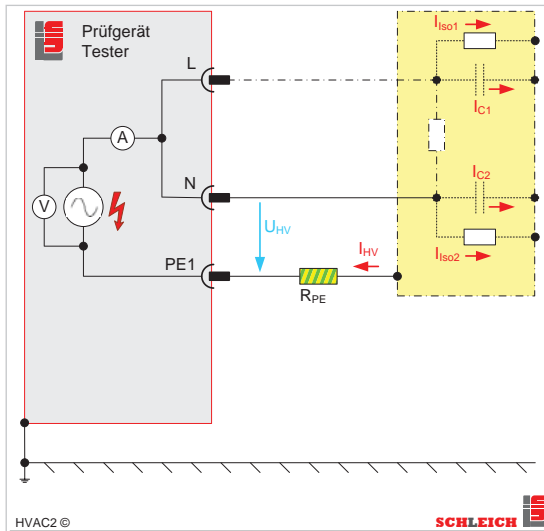


## 6.7 Prąd jako kryterium oceny



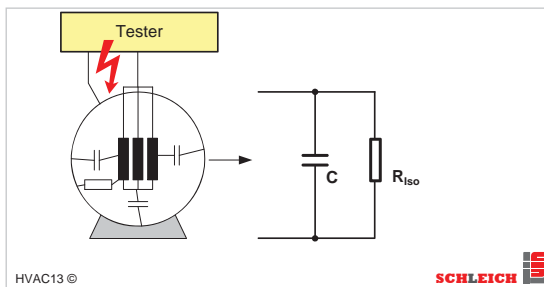
Wymagane napięcie probiercze dla danej aplikacji jest regulowane przez odpowiednie normy. Nastawiona wartość napięcia musi odpowiadać wartością zdefiniowanym w normach.

Wygenerowane napięcie wymusza przepływ prądu przez rezystancję izolacji. Prąd ten jest następnie mierzony. W rezultacie wartość natężenia prądu stanowi kryterium wytrzymałości izolacyjnej.

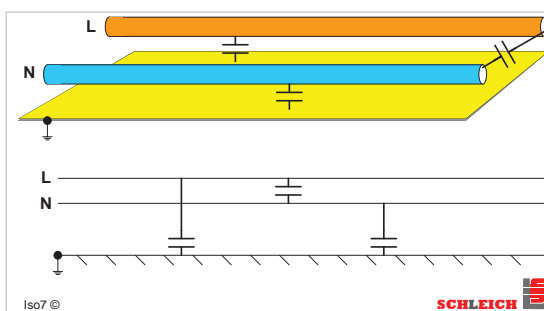


Jeżeli, jak pokazano na rysunku, przewody są ze sobą zmostkowane, całkowity prąd upływu do PE jest wynikiem wszystkich podłączonych równolegle rezystancji i pojemności. Gdy test wykonywany jest napięciem przemiennym pojemność izolacji znacznie wpływa na test.

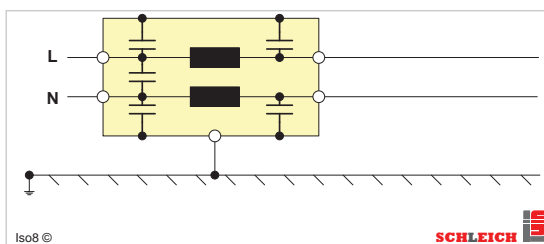
Pojemność pasożytnicza izolacji często jest pokaźna, co skutkuje wysoką wartością pojemnościowego prądu upływu. Składowa bierna upływu (pojemnościowa) jest w tym przypadku znacznie wyższa od składowej czynnej. Dlatego też podczas testu AC mierzony prąd I<sub>HV</sub> to suma geometryczna (wektorowa) składowej czynnej (upływności w materiale izolacyjnym) i biernej (prąd absorpcji, pojemnościowy).



Zwłaszcza testując silniki elektryczne, można przyjąć błędną hipotezę, że do wygenerowania wysokiego napięcia niezbędny jest wysoki prąd, natomiast ten duży prąd jest powodowany dużą pojemnością DUT.



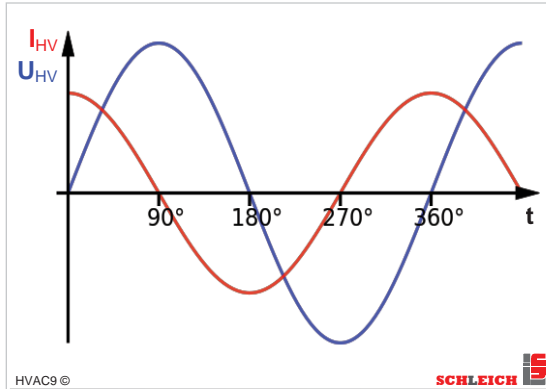
Pojemności występują pomiędzy izolowanymi, metalowymi elementami silnika. Im większa jest powierzchnia (np. korpus, przekrój przewodów itp.) lub/oraz im mniejsza jest odległość pomiędzy nimi, tym większy ładunek elektryczny mogą zgromadzić. Gabaryty silnika znacząco wpływają na prąd upływu.



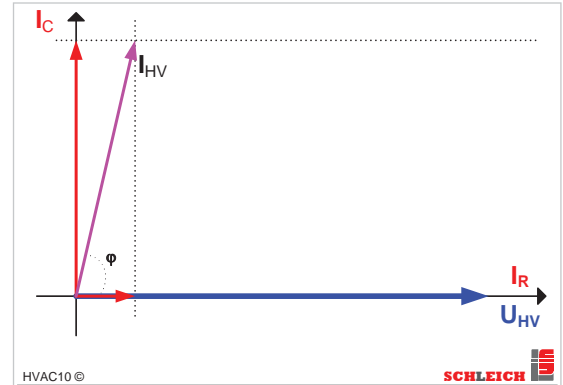
Testowany obiekt może być również wyposażony w sieciowy filtr pasywny, który służy do tłumienia zaburzeń EMI z sieci. Takie filtry zawsze posiadają elementy pojemnościowe (kondensatory) sprzęgające zaburzenia pomiędzy fazami oraz między fazami a ziemią (PE).



Sumaryczny prąd upływu jest przesunięty fazowo względem wysokiego napięcia. Składowa pojemnościowa wyraźnie odkształca prąd. W zależności od wartości pojemności prąd może być przesunięty w fazie nawet o 90°.



Powyższy wykres obrazuje bardzo wyraźnie, jak bardzo może być przesunięty prąd pojemnościowy względem napięcia.



Wykres przedstawia kąt fazowy pomiędzy prądem i napięciem.



Niektóre testery Schleich są w stanie zmierzyć kąt fazowy pomiędzy napięciem i prądem. W oparciu o wyznaczony kąt i wartość prądu tester określa składową pojemnościową ( $I_C$ ) i rezystancyjną ( $I_R$ ) prądu upływu. Jest ona przedstawiana na wyświetlaczu. W zależności od ustawień testera ograniczenie prądowe może bazować na wartości sumarycznej ( $I_{HV}$ ) lub składowych ( $I_C$  lub  $I_R$ ).

Jeśli jest to akceptowane i zgodnie z przyjętymi przepisami, test może być również wykonywany prądem stałym DC. Podczas testu prądem stałym, po naładowaniu pojemności izolacji, pojemnościowa składowa bierna zanika i charakter prądu upływu jest czysto rezystancyjny.

## 6.8 Standardowe limity prądu upływu podczas testu wysokim napięciem

Wymagane napięcie probiercze dla danej aplikacji jest regulowane przez odpowiednie normy. Nastawiona wartość napięcia musi odpowiadać wartością zdefiniowanym w normach.

Wartość prądu upływu zależy od przyłożonego napięcia, zastosowanej izolacji czy też wielkości i kształtu badanego urządzenia. Zatem wynika z tego, iż prąd upływu zależy od badanego produktu. W niektórych urządzeniach będzie niski a w innych zupełnie na odwrót, jednakże obydwa produkty mogą przejść test pozytywnie. Tak więc nie ma jasnej i klarownej odpowiedzi w dokumentach normatywnych na temat dozwolonego prądu granicznego.

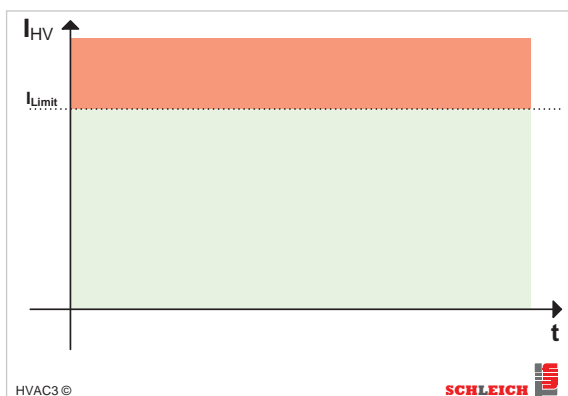
Wartość graniczna jest zwykle ustalana na podstawie testów wykonanych na sztukach próbnych. Następnie limit ustala się na podstawie uzyskanych wyników + rezerwa.



**UWAGA** - jest to tylko proponowana wartość! Wykonując test upewnij się czy przyjęta wartość graniczna prądu jest zgodna z obowiązującymi normami! Wszystkie wartości zmierzonego prądu pomiędzy zerem i wartością graniczną i limit (włącznie) należy uznać jako prawidłowe. Wartość graniczna nie może zostać przekroczona podczas trwania całego pomiaru. Czas pomiaru to zwykle 1 sekunda.



**UWAGA** - jest to tylko proponowana wartość! Wykonując test upewnij się czy czas pomiaru jest zgodny z obowiązującymi normami!

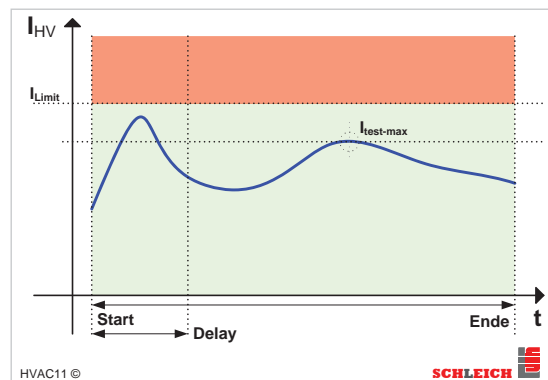
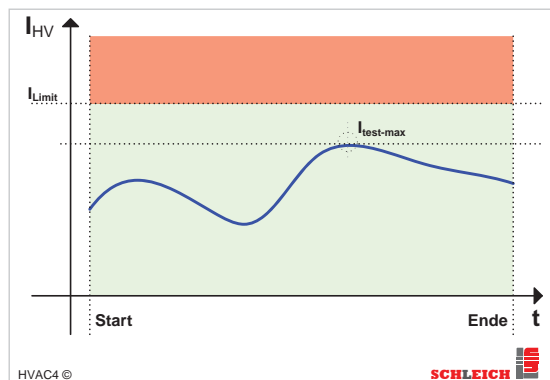






## 6.9 Która wartość prądu jest wyświetlana i analizowana?

Jeżeli zmierzony prąd fluktuuje podczas testu, analizowana jest najwyższa zmierzona wartość w trakcie trwania całego testu. Oznacza to, że analizowany jest najgorszy możliwy przypadek jaki pojawił się podczas pomiaru. Prąd ten musi być niższy lub równy maksymalnej dozwolonej wartości ( $I_{\text{limit}}$ ).

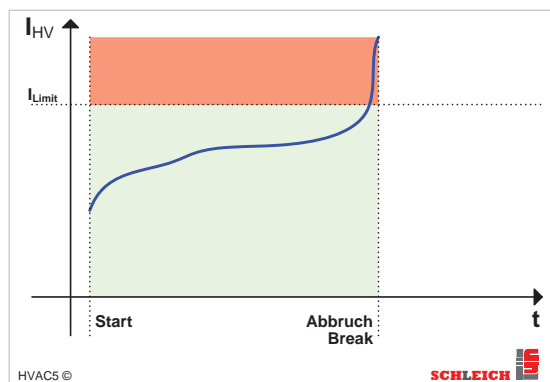


Testery firmy Schleich pozwalają również na wprowadzenie opóźnienia pomiarowego. Dzięki tej opcji chwilowe wyższe prądy, które płyną w początkowej fazie testu, na skutek polaryzacji (absorpcji) dielektryk lub ładowania pojemności, nie wpływają na wynik pomiaru.

## 6.10 Zwarcie / przeciążenie

Jeśli prąd przekroczy wartość graniczną, przy próbie wysokiego napięcia, test jest natychmiast automatycznie przerwany. Zabezpieczenia nadmiarowo-prądowe są nieaktywne podczas trybu „burn”.

W zależności od przyjętych założeń ustala się odpowiedni limit prądowy oraz tryb pomiarowy.





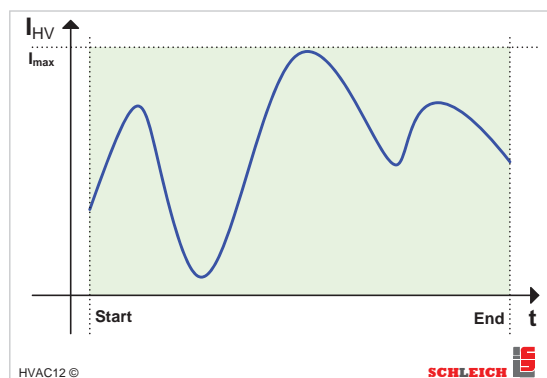
## 6.11 Tryb „burn”

Tryb „burn” służy do lokalizacji uszkodzeń w badanym obiekcie. Ze względu na fakt, że testery SCHLEICH są wyposażone w zabezpieczenie nadmiarowo-prądowe, które natychmiast przerywa test w przypadku przeciążenia, trudno jest zlokalizować błysk światła w miejscu uszkodzenia. W takim przypadku operator może posłużyć się trybem „burn”.



Tester nie przerwie pomiaru w momencie wystąpienia zwarcia. Dzięki czemu w miejscu uszkodzenia najprawdopodobniej pojawi się iskra lub płomień. Umożliwia to wykrycie miejsca uszkodzenia jednak jest to metoda destrukcyjna dla badanego urządzenia.

**UWAGA!** Podczas tego testu wysokie napięcie nie zostanie odłączone w przypadku porażenia! Należy mieć to na uwadze uruchamiając tryb „burn”!





## 6.12 Testowanie bez środków ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem bezpośrednim

Testy pod wysokim napięciem zwykle wiążą się z zastosowaniem specjalnej ochrony przed porażeniem elektrycznym. Jednakże jest to dość uciążliwe i czasochłonne dla operatorów. Jednak pod pewnymi warunkami można wykonywać testy HV bez środków ochrony przed dotykiem bezpośrednim.

Te warunki to:

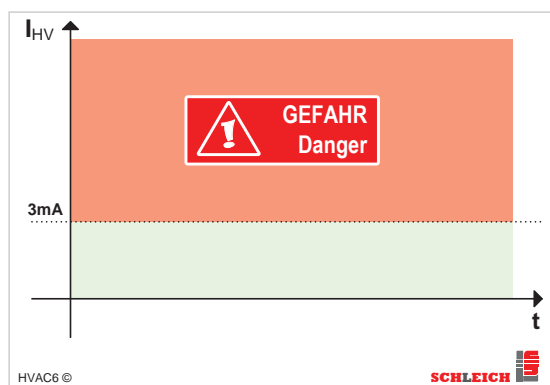
- Ograniczenie nadmiarowo-prądowe do maks. 3mA
- Energia wyładowania ograniczona do maks. 350mJ

Chociaż jest to możliwe, trzeba pamiętać, że zawsze występuje śmiertelne niebezpieczeństwo na skutek uszkodzenia zabezpieczeń. Należy to traktować jako alternatywę, którą można wykorzystać jedynie w szczególnych przypadkach.

### 6.12.1 Ograniczenie nadmiarowo-prądowe do maks. 3mA

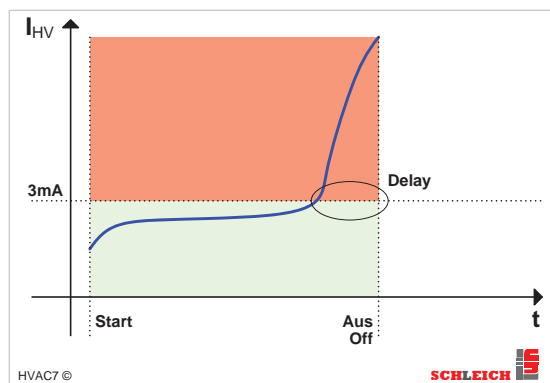


Zgodnie z przepisami norm międzynarodowych oraz „Accident Prevention & Insurance Association”; podczas obsługi systemów pomiarowych należy przestrzegać bardzo surowych zasad dotyczących bezpieczeństwa pracy.



Przepisy mówią, że każdy prąd przemienny powyżej 3mA może być śmiertelny!

Tak więc elementy przewodzące, przez które pod wpływem przyłożonego wysokiego napięcia płynie prąd większy niż 3mA, muszą być zabezpieczone przed kontaktem bezpośrednim lub należy używać przy kontakcie z nimi bezpiecznych sond wysokonapięciowych.



Wynika z tego, iż każdy tester wysokiego napięcia np. o wydajności prądowej źródła powyżej 100mA nigdy nie może być postrzegany jako bezpieczny, pomimo działający zabezpieczeń nadmiarowo-prądowych do 3mA! Należy również podkreślić, że czas odłączenia wysokiego napięcia po przekroczeniu limitu trwa kilka milisekund (patrz czas opóźnienia na wykresie obok), a wartość prądu w tym przedziale czasowym może przybrać niebezpiecznie wysokie wartości.



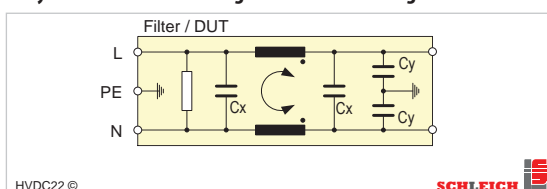
## 6.12.2 Energia wyładowania ograniczona do maks. 350mJ



Zawsze należy mieć na uwadze fakt, że energia zgromadzona w badanym obiekcie nie może przekraczać 350mJ. Termin „Bezpieczne” oznacza, że oba warunki, czyli maksymalny prąd ograniczony do 3mA oraz maksymalna energia ograniczona do 350m zostały spełnione.

Co oznacza 350mJ? Dżul (ang. Joule) to jednostka energii. Energia elektryczna jest wyliczana ze wzoru  $Q = \frac{1}{2} * C * U^2$ .

### Przykład 1: Obliczanie energii dla filtra sieciowego



Badanie powinno być wykonane pomiędzy L i N (zmostkowane ze sobą) do PE.

Pojemność każdego z kondensatorów Cy wynosi 22nF.  
Pojemność każdego z kondensatorów Cx wynosi 100nF.

Ten rodzaju filtra jest zwykle testowany napięciem 1800V AC. Obliczenie wartości szczytowej AC -  $1800V * \sqrt{2} = 2700V$  DC.

Mostkując L i N łączymy równolegle ze sobą kondensatory Y (Cy).

$$C_{total} = 22nF + 22nF = 44nF$$

$$Q = \frac{1}{2} * 44nF * 2700V * 2700V = 160mJ$$

Energia zgromadzona w filtrze po odłączeniu wysokiego napięcia wynosi 160mJ i jak już wiadomo znajduje się poniżej dopuszczalnego limitu. Jednak zalecane jest rozładowanie obiektu po teście. Większość testerów Schleich wykonuje automatyczne rozładowanie DUT po każdym teście. Dopiero gdy napięcie szczytkowe spadnie do bezpiecznego poziomu procedura pomiarowa jest zakończona.

Test wysokiego napięcia wykonuje się również pomiędzy L i N. Kondensatory X zwykle posiadają pojemność ok. 100nF.

Całkowita pojemność w tym przypadku wyniesie -  $C_{total} = 100nF + 100nF + 11nF = 211nF$ . (11nF jest wynikiem szeregowego połączenia obydwu kondensatorów 22nF).

Energia elektryczna wyniesie wtedy  $Q = \frac{1}{2} * 211nF * 1450V * 1450V = 222mJ$ .

Energia zgromadzona w filtrze po odłączeniu wysokiego napięcia wynosi 222mJ i jak już wiadomo znajduje się poniżej dopuszczalnego limitu. Jednak zalecane jest rozładowanie obiektu po teście. Większość testerów Schleich wykonuje automatyczne rozładowanie DUT po każdym teście. Dopiero gdy napięcie szczytkowe spadnie do bezpiecznego poziomu procedura pomiarowa jest zakończona.

Ponadto rezystancja jest również zainstalowana wewnątrz filtra, równolegle do kondensatorów. Dlaczego? Takie rezystory rozładowcze stosuje się w celu rozładowania napięcia zgromadzonego w filtrze. Ponadto zapewniają spadek napięcia do poziomu szczytkowego w czasie określonym przez normy.



Co więcej, w przykładzie założyliśmy maksymalną pojemność każdego kondensatora Y na 22nF, co jest dozwolone dla urządzeń klasy ochronności I z maksymalnym prądem upływu 3,5 mA.

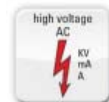
Można to matematycznie sprawdzić:

Zaczynamy od obliczenia reaktancji pojemnościowej kondensatorów, ze wzoru:  $X_c = 1 / (2 * \pi * f * C)$

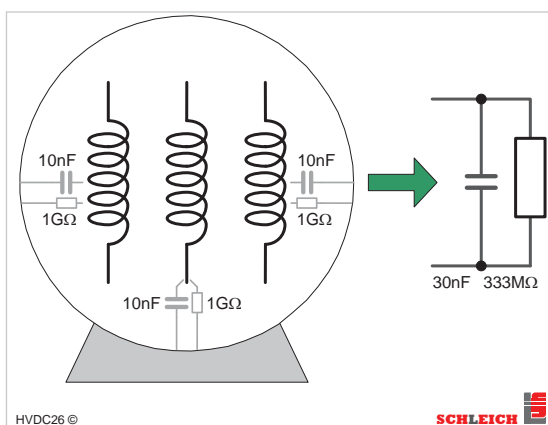
Czyli dla powyższych kondensatorów pracujących przy częstotliwości sieciowej 50Hz wyniesie:  $X_c = 1 / (2 * \pi * 50Hz * 44nF) = 72.34k\Omega$ .

Dla napięcia sieciowego skutkować to będzie prądem upływu o wartości:  $I = 230V / 72.34k\Omega = 3.1mA$ .

Tak więc w tym przypadku wymóg prądu upływu do maks. 3,5mA został spełniony.



**Przykład 2: Obliczanie energii dla stojana**



Badanie powinno być wykonane pomiędzy L1, L2, L3 (zmostkowane ze sobą) do PE.  
 Pojemność pojedynczego C wynosi ok. 10nF/każdy w przykładzie.  
 Rezystancji pojedynczego rezystora wynosi ok. 1GΩ/każdy.

Napięcie znamionowe silnika wynosi 400V.  
 Ten rodzaj silnika jest zwykle testowany napięciem 1800VAC. Po przeliczeniu wartość szczytowa napięcia wyniesie ok.  $1800V \cdot \sqrt{2} = 2700V$  DC.  
 Wszystkie trzy kondensatory w przykładzie są łączone równoległe przez mostkowanie faz L1, L2, L3.  
 $C_{total} = 10nF + 10nF + 10nF = 30nF$   
 $Q = \frac{1}{2} \cdot 30nF \cdot 2700V \cdot 2700V = 109mJ$

Energia zgromadzona w stojanie po odłączeniu wysokiego napięcia wynosi 109mJ i jak już wiadomo znajduje się poniżej dopuszczalnego limitu. Jednak zalecane jest rozładowanie obiektu po teście. Większość testerów Schleich wykonuje automatyczne rozładowanie DUT po każdym teście. Dopiero gdy napięcie szczytkowe spadnie do bezpiecznego poziomu procedura pomiarowa jest zakończona.



**Obliczanie prądu upływu:**

Zaczynamy od obliczenia reaktancji pojemnościowej kondensatorów, ze wzoru:  $X_c = 1 / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C)$   
 Czyli dla powyższych kondensatorów pracujących przy częstotliwości sieciowej 50Hz wyniesie:  $X_c = 1 / (2 \cdot \pi \cdot 50Hz \cdot 44nF) = 106,103K\Omega$ .  
 Do tego włączona jest rezystancja izolacji o wartości 333MΩ.  
 Z tego wynika, że całkowita wartość rezystancji wyniesie 106,069 KΩ.  
 Jak widać powyżej, wysoka rezystancja izolacji w porównaniu do reaktancji pojemności może być pominięta w obliczeniach.  
 Dla napięcia 1800V prąd upływu będzie wynosił:  $I = 1800V / 106,069K\Omega = 16,9mA$ .



## 6.13 Sprawdzanie ciągłości połączeń

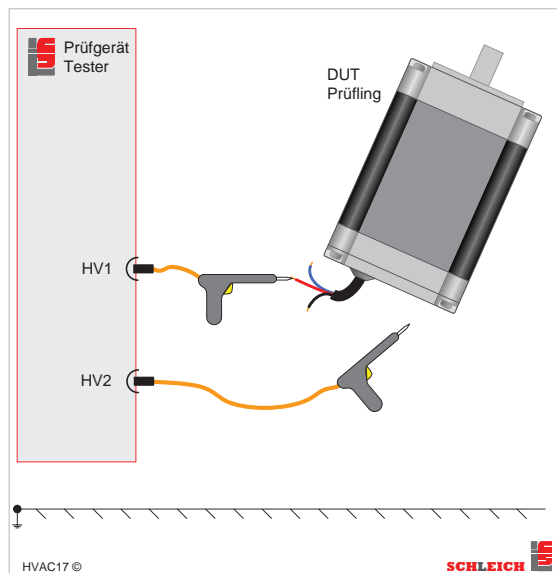


Jak możesz się upewnić, że test został wykonany prawidłowo?

Jest to całkiem proste podczas pomiaru rezystancji przewodu PE. Jeżeli prąd płynący do PE jest zbyt niski lub nie płynie w ogóle oznacza to, że rezystancja nie jest skrajnie niska, a przez to wynik testu negatywny.

Dla testu wysokim napięciem wygląda to zupełnie inaczej.

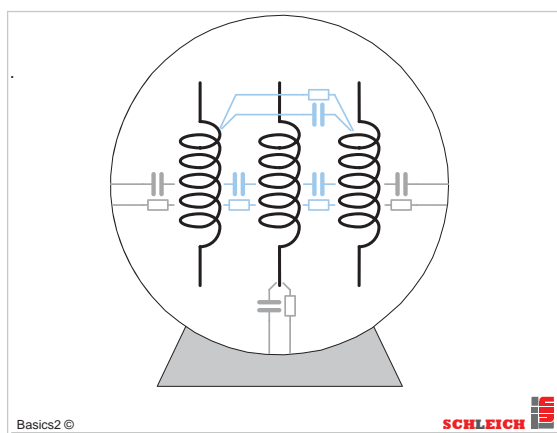
Jeżeli, któryś z przewodów pomiarowych nie zostanie podłączony prawidłowo wynik pomiaru nadal będzie pozytywny, chociaż testowany obiekt może być uszkodzony!



Podczas testów wykonywanych ręcznie operator może kontrolować stan przewodów pomiarowych oraz ich prawidłowe podłączenie.

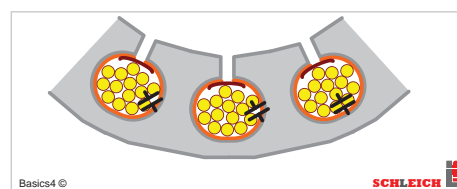
Jednakże gdy przewody są podłączane automatycznie, muszą zostać podjęte odpowiednie środki zapobiegawcze, aby upewnić się, że test został wykonany prawidłowo.

Test wykonywany automatycznie z łączeniem przewodów przez manipulator lub inne urządzenie jest szczególnie problematyczny, pomimo wysokiej dokładności i precyzji tych maszyn. W przypadku gdy sondy pomiarowe będą uszkodzone, wynik testu nadal będzie pozytywny na skutek zerowego prądu upływu - taka sytuacja jest realna!

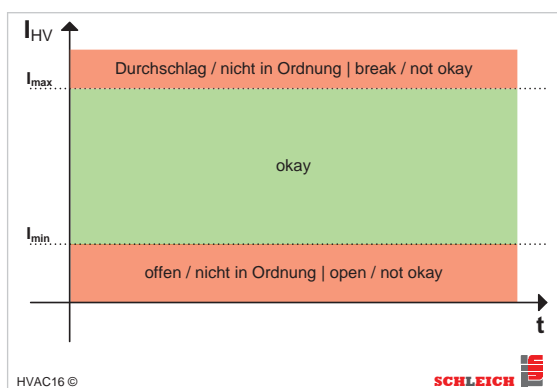


Zwykle badany obiekt charakteryzuje się pewną pojemnością proporcjonalną do jego budowy i wielkości. Powoduje to przepływ prądu upływu podczas testu pojemnościowego.

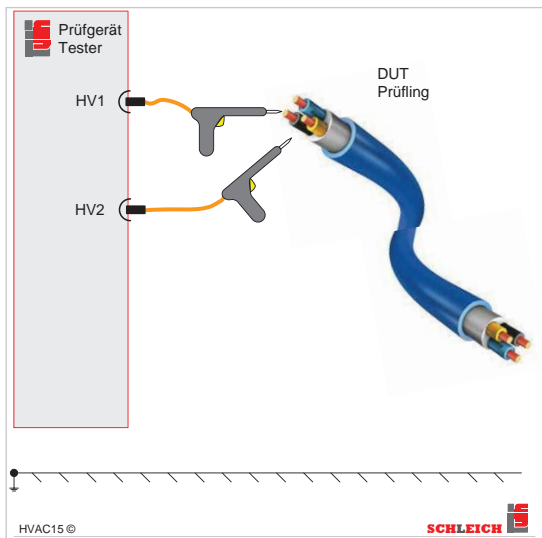
Grafika obok przedstawia pojemności pomiędzy uzwojeniami oraz pomiędzy uzwojeniami i obudową. Równolegle do każdej pojemności występuje rezystancja izolacji.



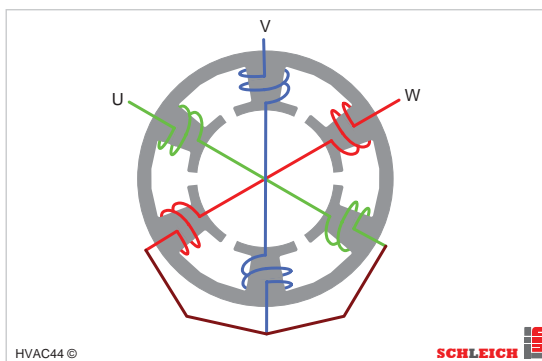
Pojemności pomiędzy uzwojeniami i obudową silnika są stosunkowo duże. Jest to spowodowane tym, że zwoje są umieszczane bardzo gęsto w każdym ze żłobków. Tak więc odległość do laminowanego rdzenia jest stosunkowo niska.



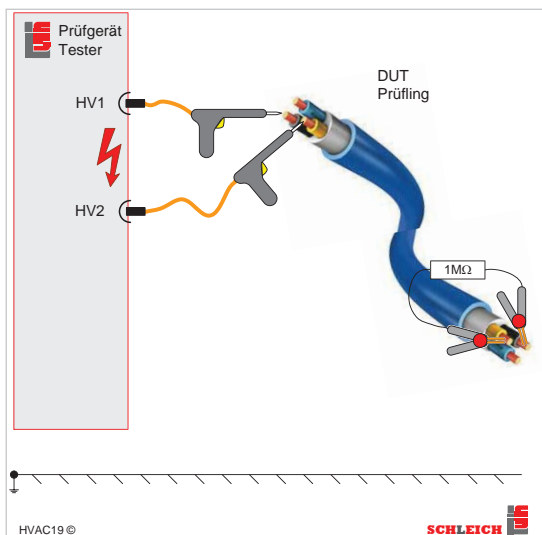
W takim wypadku minimalny prąd pojemnościowy jaki zwykle płynie podczas testu jest gwarancją tego, że przewody zostały podłączone prawidłowo. W takich przypadkach, dla celów kontrolnych, możesz ustawić odpowiednie pasmo tolerancji. Jeśli mierzona wartość nie mieści się w paśmie wynik testu jest negatywny.



W przypadkach gdy pojemność jest niska i przez to prąd upływu jest znikomy lub nie płynie w ogóle należy zastosować inną metodę.



Dotyczy to w szczególności małych silników i / lub silników bezszczotkowych.



W celu wykonania próby wysokim napięciem także w obiektach o małej pojemności należy podłączyć dodatkowy rezystor na czas testu.

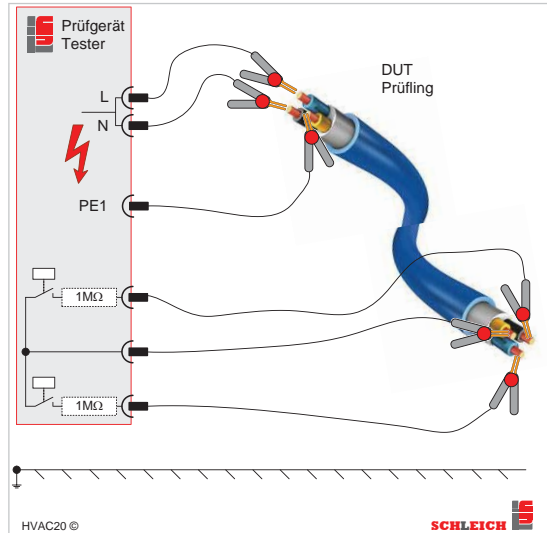
Zastosowanie rezystora spowoduje przepływ prądu upływu o określonej wartości. Wartość rezystancji można ustawić w testerze. Jeśli minimalny próg prądu zostanie przekroczony można przyjąć, że przewody są podłączone. Jeśli mierzona wartość nie mieści się w paśmie wynik testu jest negatywny.





Jednakże, czasami wykonywanie testu z dodatkową rezystancją jest niemożliwe ze względu na wysokie wymagania postawione w normach. W branżach takich jak medycyna czy lotnictwo i kosmonautyka nawet minimalny prąd upływu może stanowić zagrożenia dlatego też zastosowanie dodatkowych rezystorów podczas testu nie jest możliwe.

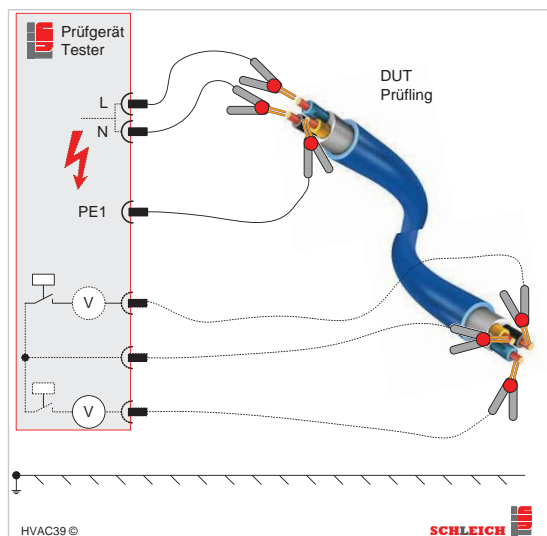
W takich przypadkach należy wykonać dwa pomiary. Pierwszy kontrolny, aby sprawdzić prawidłowe podłączenie przewodów przy użyciu dodatkowych rezystorów. Następnie po upewnieniu się, że wszystko jest w porządku wykonuje się pomiar właściwy. W tym celu tester automatycznie odłącza dwie 1MΩ rezystancje i mierzy rzeczywisty prąd upływu jaki płynie przez DUT.



Należy się też upewnić, czy rezystancje odniesienia nie zostały podłączone bezpośrednio do miejsca przyłączenia zacisków pomiarowych. W takim przypadku pomiar nie miałby sensu. Rezystory należy podłączyć po drugiej stronie DUT. Tylko w takim przypadku prąd pomiarowy przepływa przez badane urządzenie.

Rezystancje są włączane/odłączane automatycznie przez przełącznik wewnątrz testera.

Do tego testu tester musi być wyposażony w opcjonalne przewody oraz elementy, które nie wchodzi w skład wyposażenia standardowego.



Drugim sposobem jest pomiar napięcia, alternatywnie do prądu upływu z dodatkowymi rezystorami.

Podczas tego testu do DUT podawane jest napięcie, a w tym samym czasie układ woltomierzy odczytuje wartość napięcia na drugim końcu DUT. W tym przypadku również istotne jest aby nie podłączać zacisków woltomierzy do zacisków zasilających. Niektórzy operatorzy nazywają ten pomiar testem wysokiego napięcia metodą 4-przewodową. Dwa przewody podają napięcie, a kolejne dwa mierzą napięcie w innym miejscu.

Napięcie jest wyświetlane, gdy czas pomiaru dobiegnie końca.

Do tego testu tester musi być wyposażony w opcjonalne przewody oraz elementy, które nie wchodzi w skład wyposażenia standardowego.



## 6.14 Test wysokiego napięcia AC Online



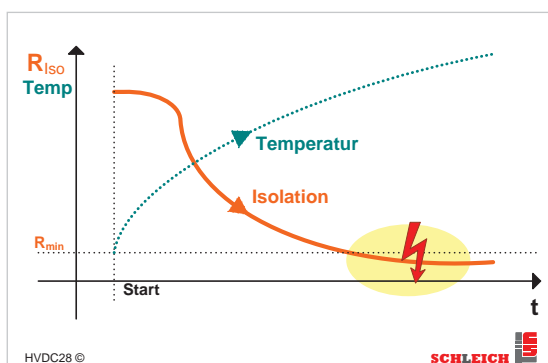
Test wysokiego napięcia można też wykonać w warunkach gdy temperatura uzwojeń osiągnie swoją znamionową temperaturę pracy. UWAGA! Ten rodzaj testu HV może być wykonany tylko przez testery przystosowane do tego celu!

### Co oznacza termin „test wysokiego napięcia AC Online”?

Oznacza to, że podczas tego testu badane urządzenie jest zasilane napięciem znamionowym, roboczym. Zatem obiekt badany działa, funkcjonuje podczas gdy tester wykonuje test izolacji rezystancji do PE. Dlatego też nazwa testu zawiera słowo „online”, co oznacza test pod napięciem zasilającym. W angielskiej literaturze funkcjonuje też pojęcie „warm high voltage test” co podkreśla fakt, że uzwojenia są nagrzane do temperatury pracy. Niemniej jednak obydwa terminy znaczą to samo.

UWAGA! Podczas testów wysokim napięciem nie należy podłączać silnika do sieci energetycznej! DUT jest zasilane napięciem roboczym oraz wysokim napięciem wyłącznie za pośrednictwem testera!

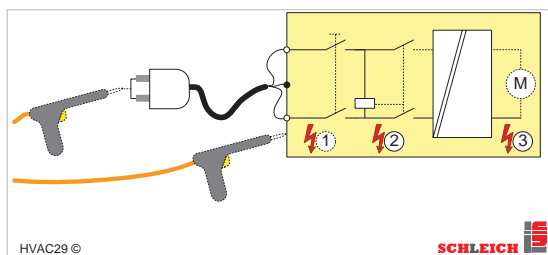
### Dla jakich aplikacji stosuje się ten rodzaj testu?



1. Istnieją urządzenia, których rezystancja izolacji zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury. Rezystancję izolacji DUT może wynosić 2GΩ „na zimno”, a po rozgrzaniu już tylko 5MΩ!

Typowym przykładem jest grzejnik rurowy. Ten rodzaj grzejników jest szeroko stosowany w podgrzewaczach, ekspresach do kawy lub do ogrzewania wody w pralkach.

2. Istnieją też urządzenia, w których części użytkowe rozszerzają się pod wpływem temperatury. Dlatego też, prądy upływu mogą rosnąć i zmieniać się pod wpływem rozszerzania się części przewodzących, aż w końcu przekroczą limit postawiony w normie.

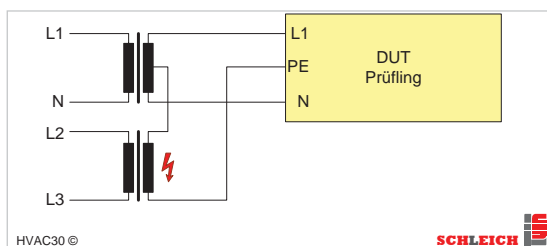


3. Wreszcie są też urządzenia o dość skomplikowanej budowie, jak na przykład pralki, z wieloma wewnętrznymi obwodami. W takim przypadku, wykonując test wysokiego napięcia z zewnątrz, nie uda się przetestować wszystkich elementów wewnętrznych pralki, a w najlepszym przypadku tylko obwody wejściowe. Styki instalacji grzewczych, silników itp. pozostaną otwarte i przez co nie zostaną poddane testom. Dokładnie taka sytuacja została przedstawiona na pobliskim schemacie.

1. Test jest wykonywany do tego punktu bez podjęcia dodatkowych kroków
2. Test może zostać wykonany do tego punktu tylko po włączeniu głównego włącznika.
3. Test w tym miejscu nie może być wykonany, ponieważ napięcie sieci jest odłączone. Układy elektroniczne wewnątrz pralki rozłączają silnik przez co nie uda się sprawdzić rezystancji izolacji w tym punkcie! W takiej sytuacji jedynym sposobem, aby przeprowadzić test jest zasilenie pralki napięciem roboczym.

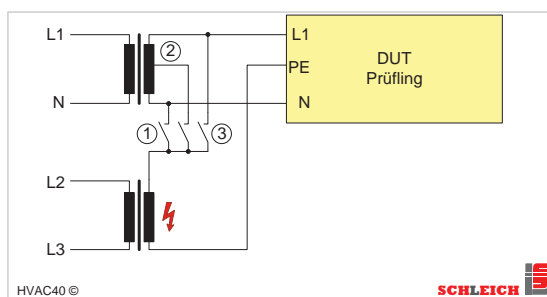


Test wysokiego napięcia online jest oczywiście możliwy tylko, gdy urządzenie jest odłączone od sieci. W przeciwnym razie wysokie napięcie wróciłoby do sieci. Transformator separacyjny zapewnia separację galwaniczną.



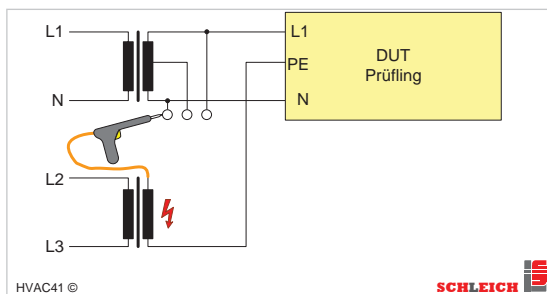
**Test 1-fazowy**

Aby uniknąć sytuacji, w której wysokie napięcie będzie narażało DUT tylko częściowo, jeden z biegunów należy podłączyć do punktu wspólnego uzwojenia wtórnego transformatora, co jest też wymogiem postawionym w normie. W takiej sytuacji wysokie napięcie do PE nakłada się na napięcie robocze. Przebiegi sinusoidalne napięcia wysokiego i roboczego dodają się i odejmują nawzajem. Jest to spowodowane przesunięciem fazowym obydwu przebiegów. Z tego powodu norma określa, aby napięcie robocze zasilalo fazę L1 a wysokie napięcie fazę L2 i L3.



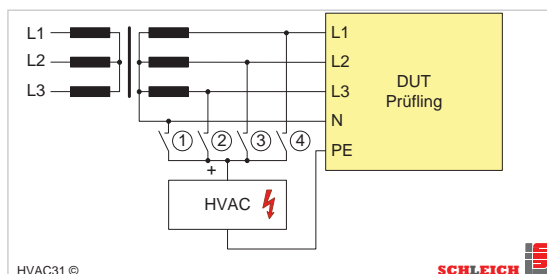
**Test 1-fazowy**

Alternatywnie punkt przyłączenia wysokiego napięcia może być przełączany przez program testowy sterujący pracą przekaźnika.



**Test 1-fazowy**

Jest też możliwość przeprowadzenia testu online ręcznie. Potrzebna do tego będzie specjalna listwa z wyprowadzonymi przyłączami. Po przyłożeniu sondy do odpowiedniego gniazda obwód zostanie zamknięty.



**Test 3-fazowy**

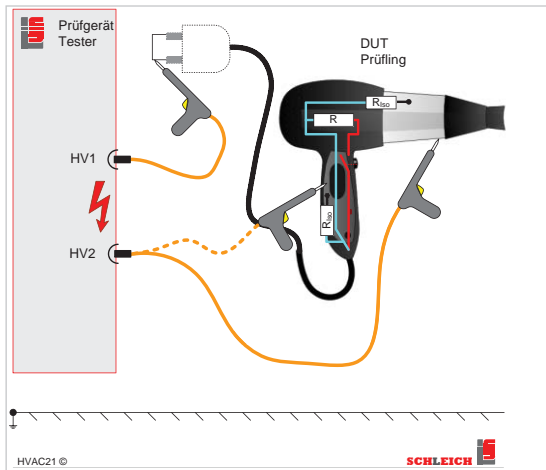
Wysokie napięcie podłączane jest w czterech krokach pomiarowych do N, L1, L2 i L3. PE stanowi przeciwny biegun.

## 6.15 Przykładowe aplikacje dla testu wysokim napięciem

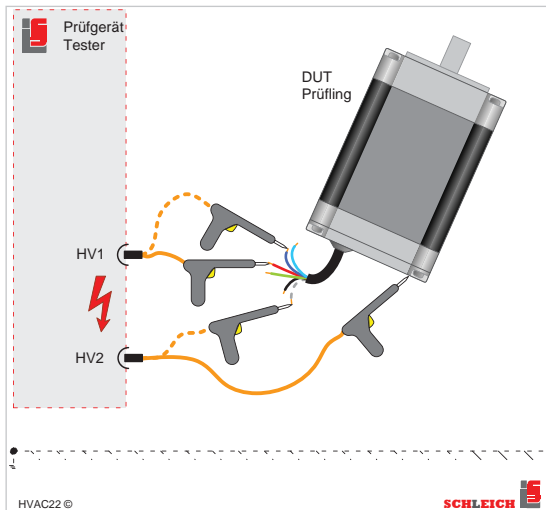
### 6.15.1 Test wykonywany ręcznie

Test wysokiego napięcia jest zwykle wykonywany za pomocą bezpiecznych sond pomiarowych.

Podczas gdy jedną z sond wysokiego napięcia umieszcza się na zmostkowanych przewodach L + N, za pomocą drugiej sondy operator sprawdza wszystkie dostępne metalowe części na obudowie DUT.

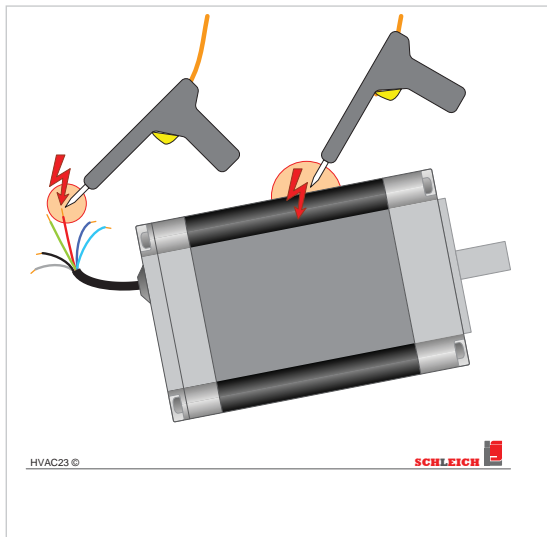


Kolejnym typowym przykładem jest silnik elektryczny. W tym przypadku wszystkie fazy testuje się do korpusu oraz osobno pomiędzy każdą z faz.





Proszę zauważyć, że wykonując test ręcznie występuje potencjalnie groźna sytuacja, w której DUT może zostać poważnie uszkodzone. Mianowicie podczas zbliżania sond pomiarowych pod napięciem mogą wystąpić niebezpieczne dla testowanego urządzenia przepięcia. Kilka dziesiątych milimetra przed kontaktem sondy z DUT zaczyna się iskrzenie. W połączeniu z pojemnościami lub indukcyjnościami DUT może to doprowadzić do powstania przepięć.



Przepięcia swoją wartością znacznie przewyższają napięcie robocze, tak więc przedmiot badań może zostać uszkodzony. Lepiej jest podłączyć sondy pomiarowe do badanego obiektu już na samym początku, a następnie rozpocząć test za pomocą przełącznika nożnego.

Zalety:

1. Brak przepięć
2. Czas pomiaru jest powtarzalny. Test trwa nie dłużej ani nie krócej niż było to wcześniej zaprogramowane w testerze.



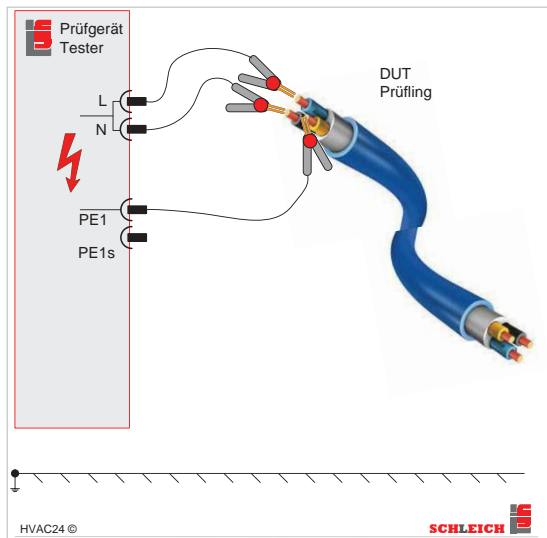
Test ręczny zawsze wiąże się z problemem bezpiecznego rozładowania DUT. Po odłączeniu wysokiego napięcia pistolety należy trzymać (nie odsuwając ich) tak długo, aż napięcie spadnie do bezpiecznej wartości. Gwarantuje to prawidłowe rozładowanie urządzenia.

Zaleca się też zwarcie testowanych przewodów po wykonaniu testu, aby mieć pewność, że badany obiekt jest w pełni rozładowany. (Patrz rozdział 6.4 Rozładowanie DUT!)



## 6.15.2 Test wykonywany automatycznie

Wykonując test wysokiego napięcia przewody fazowy i neutralny są automatycznie ze sobą mostkowane, po czym następuje test pomiędzy przewodami L/N i PE. Test może być też wykonany indywidualnie dla każdego przewodu z osobną tj. pomiędzy L i PE oraz N i PE. Tester umożliwia również przeprowadzenie testu pomiędzy L i N.



Po teście następuje automatyczne rozładowanie DUT.



## 6.16 Zestaw kalibracyjny „black box” - $\pm$ limit tolerancji pomiarowej

Niezwykle ważne jest, aby testy bezpieczeństwa wykonywane były w sposób wiarygodny. Błąd pomiarowy należy ograniczyć do minimum.

### Kiedy może się zdarzyć taka awaria?

Błąd może np. wystąpić kiedy styki badanego urządzenia są uszkodzone lub przewód zasilający DUT jest przerwany.

Testery SCHLEICH wykrywają takie błędy automatycznie. Jednakże, należy wykonywać regularną kalibrację sprzętu, aby mieć pewność, że wszystko działa prawidłowo. Takie pomiary kalibracyjne nazywane są testem black box lub też dummy test.

Black box zbudowany jest z precyzyjnych rezystorów o wysokiej stabilności, które służą do sprawdzenia obwodów pomiarowych kalibrowanego urządzenia.

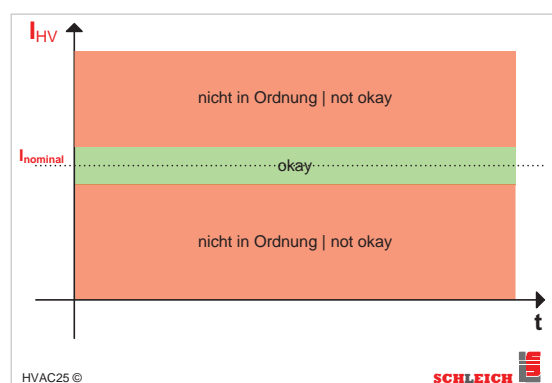
Do kalibracji testu wysokiego napięcia oraz rezystancji izolacji często wykorzystuje się rezystancję odniesienia 2M $\Omega$ . Każdy black box posiada osobny dokument kalibracyjny potwierdzający jego parametry. Znajduje się tam również informacja o dokładnej wartości rezystancji kalibratora, dzięki czemu łatwo można porównać wartość zmierzoną z wartością odniesienia.

Poniższe zdjęcia przedstawiają przykładowe black boxy. Na zdjęciach znajdują się modułowe black boxy do testów rezystancji PE, wysokiego napięcia i izolacji rezystancji.



### 6.16.1 Zestaw kalibracyjny „black box” - $\pm$ limit tolerancji pomiarowej

Podczas pomiaru kalibracyjnego wartość rezystancji musi być mierzona z bardzo dużą dokładnością w wąskim zakresie tolerancji!



W przypadku, gdy limit zostanie przekroczony tester zostanie automatycznie zablokowany, aby uniemożliwić wykonywanie dalszych testów. Dopiero po usunięciu przyczyny awarii i ponownej kalibracji blokada zostanie zniesiona.

Niektórzy klienci nie akceptują tej metody pomiaru. Wymagają aby zostały dostarczone dwa osobne kalibratory, jeden dla wyniku pozytywnego oraz drugi dla wyniku negatywnego.





## 6.16.2 Zestaw kalibracyjny „black box” - test pozytywny/negatywny

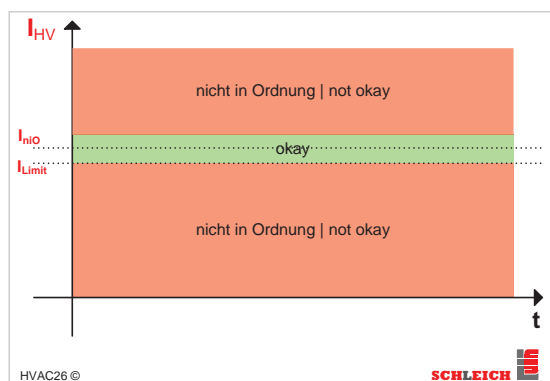
Ten rodzaj kalibracji jest podzielony na dwa etapy.

W pierwszym etapie tester powinien wyświetlić wynik negatywny. W drugim wynik pozytywny.

Służy do tego specjalny black box zbudowany z dwóch osobnych rezystorów. Obie rezystancje mogą być zabudowane w jednej obudowie lub też znajdować się w dwóch osobnych obudowach. Jeżeli tester nie wyświetli prawidłowych wyników uruchomi się tryb blokady, która może być zdjęta dopiero przez ponowny, poprawny pomiar podczas kolejnej kalibracji.

### 1. Wynik negatywny

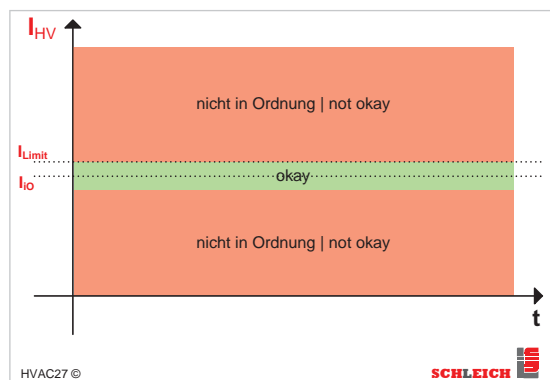
Przed testem należy określić limit prądów upływu np. 2mA. Badaną rezystancję podłącza się do testera, co spowoduje przepływ prądu nieco powyżej limitu.



Jeżeli tester działa poprawnie, wykryje zbyt wysoki prąd i wyświetli wynik negatywny. Jednakże wartość graniczna dla prądu nie może być zbyt wysoka! W przeciwnym wypadku zwarcie w przewodzie zasilającym lub uszkodzenie styków może nie zostać wykryte.

### 2. Wynik pozytywny

Badaną rezystancję podłącza się do testera, co spowoduje przepływ prądu nieco poniżej limitu.



Jeżeli tester działa poprawnie wyświetli wynik pozytywny. Jednakże wartość graniczna dla prądu nie może być zbyt niska! W przeciwnym razie przerwa w przewodzie zasilającym lub uszkodzenie styków może nie zostać wykryte.



## 6.17 Test wysokiego napięcia powyżej 10 kV

Podczas testów wysokim napięciem powyżej 10kV często stosuje się zewnętrzny transformator probierczy HV. Tego rodzaju transformatory są izolowane specjalnym olejem izolacyjnym, jak np. Shell Diala D. Ten olej nie musi być wymieniany. Transformator musi być podłączony do przewodu PE (przekrój przewodu co najmniej 4mm<sup>2</sup>). Testowane urządzenie jest bezpośrednio podłączone do transformatora.

Transformator wysokiego napięcia oraz obiekt badany muszą znajdować się w zamkniętej stacji testowej zabezpieczonej przed dostępem z zewnątrz.

Ze względów bezpieczeństwa należy zachować następujące odległości (0.20m / 10 KV):



- 10kV w odległości co najmniej 0,20 m
- 30kV w odległości co najmniej 0,60 m
- 60kV w odległości co najmniej 1,20 m

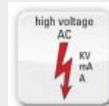
Drzwi lub pokrywy ochronne w stacji testowej muszą być wyposażone w system blokad i kontroli dostępu podłączonych do testera.

Przycisk bezpieczeństwa może zostać zamontowany opcjonalnie na panelu sterowniczym testera. Tester powinien zostać wyposażony w lampy ostrzegawcze.

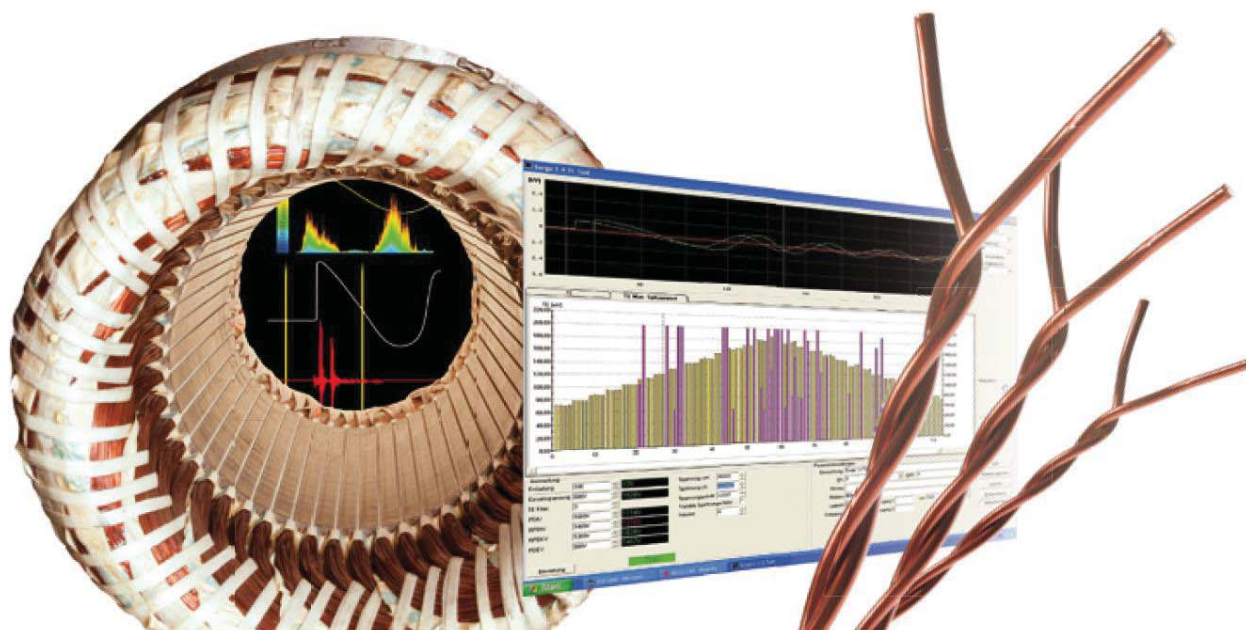
Więcej informacji można znaleźć w normie PN-EN 50191 „Instalacja i eksploatacja elektrycznych stanowisk badawczych”.

---

## **Pomiar wyładowań niezupełnych podczas testu wysokim napięciem AC**



# 7. Pomiar wyładowań niepełnych podczas testu wysokim napięciem AC

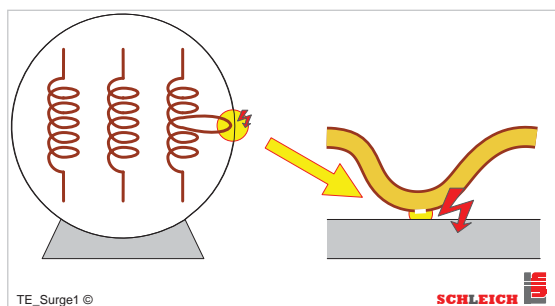


## 7.1 Kilka słów na temat pomiaru wyładowań niepełnych

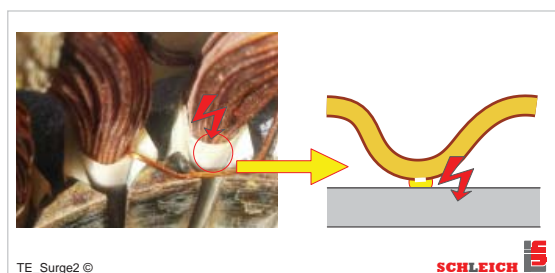
W ciągu ostatnich kilku lat pomiar wyładowań niepełnych stał się bardzo istotny dla oceny izolacji silników elektrycznych. Jest to szczególnie ważne ze względu na rosnącą popularność przetwornic częstotliwości zapewniających płynną regulację prędkości obrotowej silnika. Nasze doświadczenie pokazuje, że wiele osób zajmujących się diagnostyką silników posiada pewną wiedzę na temat wyładowań niepełnych, ale tylko niewielki odsetek z nich można nazwać w tej dziedzinie ekspertami. Ten rozdział jest poświęcony zagadnieniu wyładowań niepełnych i mamy nadzieję, że pozwoli „rzucić światło” na tego typu pomiary. Pragniemy też zauważyć, że nie jest to praca naukowa, a ogólny opis metody badawczej i jej zastosowań.

## 7.2 Czym charakteryzuje się pomiar wyładowań niepełnych?

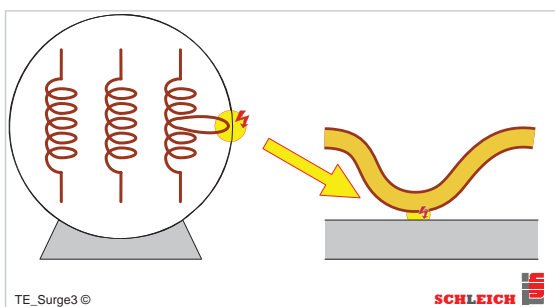
Z klasycznego testu wysokiego napięcia AC wiemy jak wygląda „wyładowanie pełne”. Wysoka różnica potencjałów oddziałuje na izolację elektryczną co prowadzi do jej osłabienia, degradacji i w konsekwencji wystąpienia zwarcia (wyładowania pełnego) np. pomiędzy uszkodzonym uzwojeniem i korpusem silnika.



Uszkodzony przewód blisko rdzenia



Uszkodzony przewód blisko rdzenia



Ale co się stanie, jeśli przewód nie jest uszkodzony? Na początku nie stanie się nic!

Obecnie druty miedziane mają tak wysoką jakość, że ich izolacja jest w stanie wytrzymać duże różnice potencjałów przez długi okres czasu. Dlatego klasyczne testy wysokonapięciowe lub testy Surge nie są w stanie wykryć ich postępującej degradacji.

W takich przypadkach wyładowania zupełnie nie występują, jednak zmiany w wewnętrznej strukturze materiału izolacyjnego cały czas postępują. Analizując termin „wyładowanie niepełne” należy uświadomić sobie, że ten rodzaj wyładowania ograniczony jest jedynie do małej części na powierzchni lub w objętości dielektryka.

Silniki elektryczne są zazwyczaj oceniane w następujący sposób: „Silnik nie może wykazywać zwarcia w izolacji oraz nadmiernego prądu upływu”. Odpowiedź na pytanie „Jaka wartość prądu upływu stanowi limit” nie jest prosta. Normy krajowe i międzynarodowe nie dostarczają żadnych informacji na ten temat. Co więcej w dokumentach normatywnych nie jest ujęty nawet zakres w jakim prądy upływu są kwalifikowane jako dostatecznie niskie. Jest to spowodowane głównie tym, że prądy upływu zależą od typu i rozmiaru badanej maszyny i nie mogą zostać określone ogólnie dla całej grupy urządzeń (zobacz rozdział poświęcony wpływowi pojemności pasywnych na pomiar Surge). Tak więc wysoki prąd upływu na maszynowej maszynie (np. generatorze w elektrowni) może być całkowicie akceptowalny, gdy ten sam prąd na mniejszej maszynie jest niedopuszczalny.

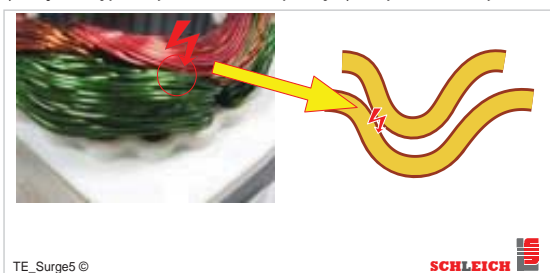
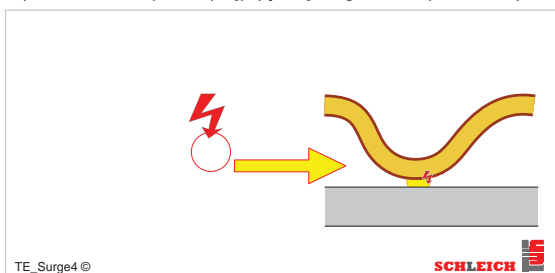
Maksymalny dopuszczalny prąd upływu podczas testu HV można określić za pomocą pomiarów porównawczych w fazie produkcyjnej. Jednak z drugiej strony bardzo trudno jest określić limit prądu upływu dla silników używanych, zwłaszcza podczas pomiarów serwisowych i konserwacyjnych. Często się zdarza, że doświadczony pomiarowiec potrafi „zauważyć” zbyt wysoki prąd upływu nasłuchując trzaski podczas próby wysoki napięciem. Jednak nie jest w stanie podać szczegółowych informacji na jego temat.

**W takich przypadkach tylko pomiar wyładowań niepełnych jest w stanie pomóc!**

Rejestrując wyładowania niepełne operator jest w stanie wykryć uszkodzenia w wewnętrznej strukturze izolacji nie narażając ją na jej na pełne zniszczenie (jak to się dzieje podczas testu wysokim napięciem AC/DC).

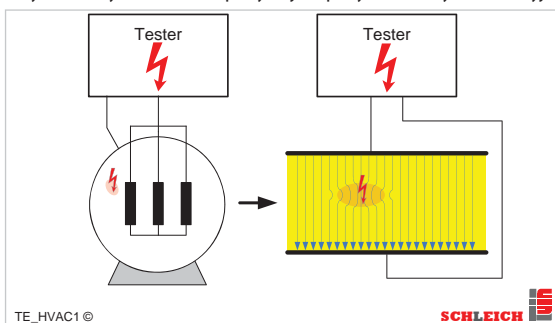
**Jak i gdzie występują wyładowania niepełne?**

Wyładowania niepełne występują wszędzie gdzie izolacja narażona jest na wysoką różnicę potencjałów, zwłaszcza pomiędzy zwojami oraz zwojami i korpusem silnika.



Wyładowania niepełne zwykle pojawiają się w małych szczelinach powietrznych, w obszarach, w których przewody mają kontakt ze sobą, w uszkodzonej żywic izolacyjnej lub też w pęcherzykach powietrza wewnątrz materiału izolacyjnego.

W nowych silnikach tego rodzaju osłabienie izolacji występują z powodu zastosowania niskiej jakości materiału izolacyjnego. Częstym błędem produkcyjnym jest niewłaściwie ułożenie separatora międzyfazowego lub jego brak. W starszych silnikach uszkodzenia wynikają z powodu degradacji wewnętrznej struktury izolacji w skutek aktywności wyładowań niepełnych, jak np. wykruszona żywica izolacyjna.



Rysunek obok przedstawia wyładowanie niepełne w miejscu szczególnie narażonym na uszkodzenie (pomarańczowy obszar) np. przez brak koszulki izolacyjnej w żłobku stojana.

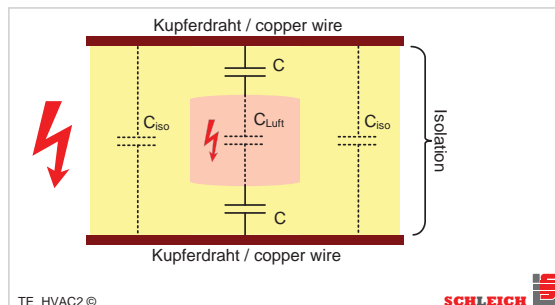
W konsekwencji „słabe ogniwo” zaczyna nie wytrzymywać różnicy napięć, co sprzyja powstawaniu wyładowań niepełnych.

Aczkolwiek izolacja ulega osłabieniu na skutek pojawienia się wyładowań niepełnych, nie powoduje to jeszcze jej pełnego przerwania i wystąpienia zwarcia.

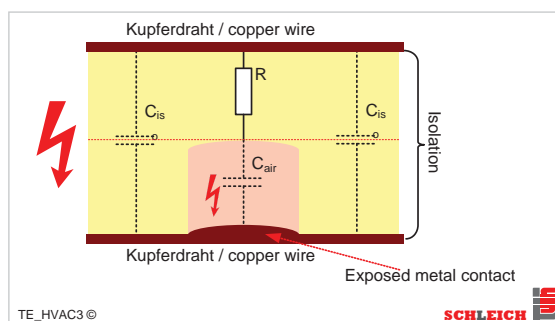


Poniższa ilustracja przedstawia typową wewnętrzną strukturę dielektryka. Test HVAC w tym przypadku wykonywany jest pomiędzy uzwojeniami oraz pomiędzy uzwojeniami i rdzeniem stojana/wirnika.

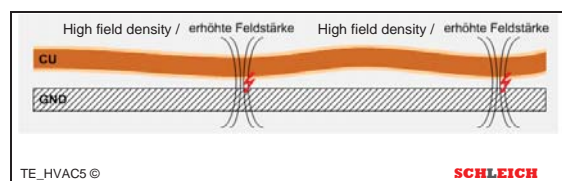
Poniższy schemat zastępczy przedstawia zjawisko powstawania wyładowań niezupełnych.



Przewody elektryczne są oddzielone od siebie materiałem izolacyjnym. W przypadku idealnej izolacji jej struktura miałaby charakter jednorodny, bez wewnętrznych defektów, uszkodzeń i braków. W tym przypadku izolację można porównać do jednej dużej pojemności ( $C_{ir}$ ). Jednakże ze względu na defekty wewnątrz izolacji, ( $C_{ir}$ ) dielektryk należy postrzegać jako sumę mniejszych pojemności ( $C_{air}$ ) skupionych w mikroskopijnych szczelinach, w których wysokie pole elektryczne prowadzi do powstania lokalnych wyładowań elektrycznych o małej mocy ( $C_{air}$ ). Na schemacie przykładowa pojemność szczeliny została umieszczona w różowym kwadracie.



Konsekwencją pojawienia się wyładowań niezupełnych jest powolna i postępująca degradacja funkcjonalnych części izolacji. W myśl powiedzenia „kropla drąży skałę” wyładowania będą systematycznie pogarszać stan izolacji i powiększać swój zakres występowania. Ten postępujący proces nieuchronnie wpłynie na jakość izolacji pogarszając jej parametry. Gdy wyładowania niezupełne osiągną zbyt wysoki poziom uszkodzona część izolacji będzie tak duża, że w konsekwencji doprowadzi to do zwarcia i awarii całego silnika.



Tak więc wyznacznikiem dobrej jakości izolacji jest jak najniższy poziom wyładowań niezupełnych. Zwykle jest to tylko kwestią czasu gdy nawet relatywnie niski poziom wyładowań niezupełnych doprowadzi do zniszczenia silnika/generatora.

Wyładowania niezupełne są dynamicznym, nieliniowym zjawiskiem fizycznym. Przy podwyższonym napięciu ich pojawienie się jest pewne. Pytanie brzmi: przy jakim napięciu należy je testować. Odpowiedź jest powiązana z napięciem zasilania przy jakim pracuje testowany silnik oraz z jego zastosowaniem. Należy mieć to na uwadze dobierając napięcie probiercze.

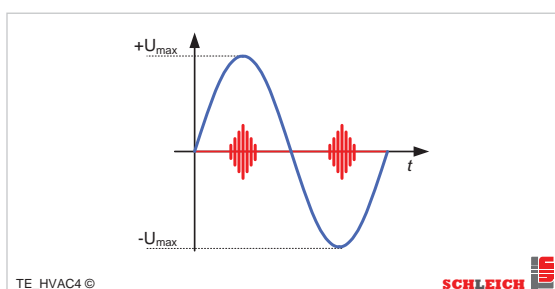


## 7.3 Pomiar wyładowań niepełnych podczas testu wysokim napięciem AC

Chociaż test wysokonapięciowy jest wysoce skuteczną metodą badania izolacji uzwojeń, jej możliwości nie są nieograniczone. Test HV jest szczególnie przydatny, gdy izolacja miedzianych przewodów jest już uszkodzona lub w dużym stopniu zniszczona. Jednakże w przypadku gdy izolacja międzyzwojowa lub międzyfazowa nie jest zupełnie przerwana, stosując wyłącznie test HV nie jesteśmy w stanie wykryć uszkodzenia.

Ażby wykonać kompleksową diagnozę stanu izolacji wymagany jest pomiar wyładowań niepełnych. Pomiar wyładowań niepełnych dostarcza uzupełniających informacji na temat stanu wewnętrznej struktury izolatora. Należy jednak pamiętać, że obydwa testy są ze sobą związane. Wyładowania niepełne pojawiają się pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego, tak więc bez wysokiego napięcia AC pomiar wyładowań niepełnych nie byłby możliwy.

Alternatywnie pomiar wyładowań niepełnych można wykonać podczas testu Surge (patrz rozdział 5). Obydwa testy stanowią wymaganą podstawę do pomiaru wyładowań niepełnych.



Wyładowania niepełne występują w chwili gdy napięcie osiąga najwyższy poziom. Dla sinusoidy są to napięcia międzyszczytowe.

Test HV „sprawdza”, przede wszystkim, „słabe punkty” w izolacji międzyfazowej oraz w izolacji pomiędzy uzwojeniami i korpusem. Takie jest założenie tego testu. Jednakże postępując się testem HV nie jesteśmy w stanie zmierzyć poziomu wyładowań niepełnych w izolacji międzyzwojowej. Do pomiaru wyładowań niepełnych w izolacji międzyzwojowej należy użyć testu Surge. Aby rozszerzyć obszar analizy zaleca się pomiar wyładowań niepełnych za pomocą obydwu metod (Surge oraz HV).



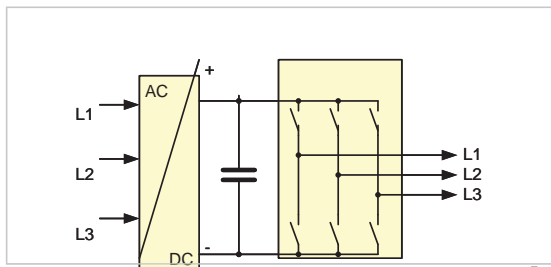


## 7.4 Pomiar wyładowań niepełnych w silnikach zasilanych z przetwornicy częstotliwości

Izolacja urządzenia elektrycznego, które jest bezpośrednio podłączone do trójfazowej sieci elektrycznej, bez przetwornicy częstotliwości nie jest w dużym stopniu narażona na zniszczenie. Jedynym zagrożeniem mogą być szybkie stany przejściowe spowodowane np. podczas włączania/wyłączania urządzenia. Dlatego dla tej aplikacji testy wysokonapięciowe, pod kątem występowania wyładowań niepełnych, nie mają większego sensu.

Przepisy jasno określają, aby podczas pomiaru wyładowań niepełnych wszystkie wysokonapięciowe maszyny elektryczne były narażone napięciem probierczym adekwatnym do znamionowych parametrów zasilana testowanego urządzenia. Izolacja elektryczna zastosowana w tych urządzeniach jest dostosowana do wysokiego napięcia roboczego. Z tego powodu napięcie probiercze musi być odpowiednio wyższe.

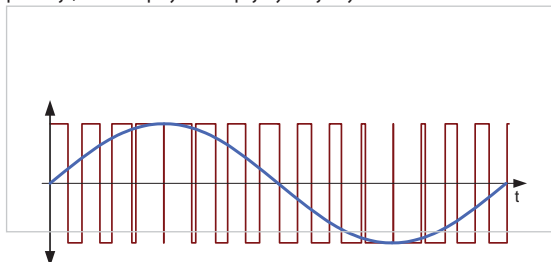
Silniki elektryczne zasilane z przetwornicy częstotliwości muszą być testowane z podwyższonym napięciem. Dlaczego? Nie jest to jednak takie oczywiste, a odpowiedź tkwi w zasadzie działania falownika. Tak więc pytanie brzmi: Jak wysokie napięcia mogą pojawić się na wyjściu falownika? Zanim jednak odpowiemy, przyjrzyjmy się bliżej przetwornicy częstotliwości.



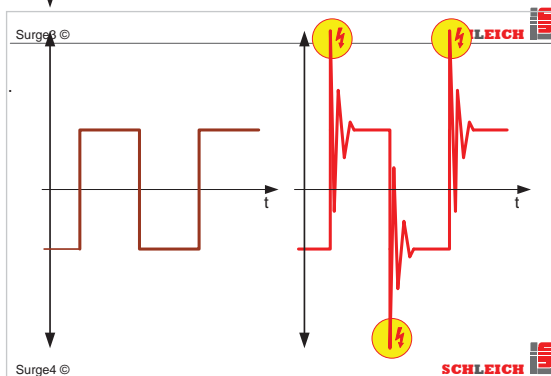
W przetwornicy zasilanej jedno lub trójfazowo napięcie przemiennie jest początkowo prostowane, a następnie wygładzane i magazynowane w odpowiednio dużych pojemnościach. Naładowana pojemność wewnątrz przetwornicy jest zwykle oznaczana jako układ pośredni prądu ciągłego. Teoretyczny maksymalny poziom prądu ciągłego w obwodzie pośrednim falownika jest obliczany z wartości skutecznej napięcia wejściowego pomnożonej przez  $\sqrt{2}$ . Tak więc wartość napięcia stałego odpowiada maksymalnej wartości skutecznej napięcia wejściowego.

Prąd stały jest następnie ponownie przetwarzany na prąd przemienny za pomocą 6 półprzewodnikowych przełączników. Układ działa podobnie jak impulsator.

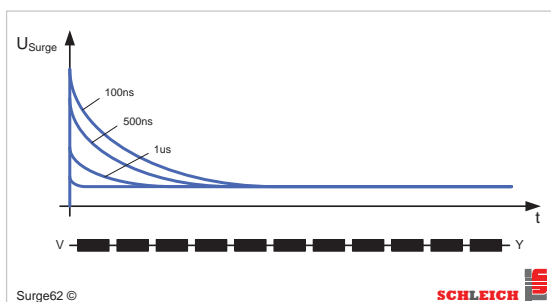
Szczerze mówiąc przetwornice częstotliwości są urządzeniami niemal idealnymi, jednak ich użycie pociąga za sobą ogromną wadę, mianowicie duże odkształcenie napięcia na wyjściu. Kształt napięcia jest daleki od sinusoidy, bardziej przypomina przebieg prostokątny. Za pomocą odpowiednich algorytmów przełączania falownik jest w stanie odtworzyć sinusoidę, jednak tylko do pewnego stopnia. Dokonuje się tego za pomocą tak zwanej modulacji szerokości impulsów (PWM). Poniższy rysunek pokazuje, PWM na przykładzie pojedynczej fazy.



Poprzez zmianę cykli pracy półprzewodnikowych przełączników sinus fali jest praktycznie odtworzony. W teorii działa to dobrze. Jednak w praktyce może wpływać negatywnie na izolację silnika. Powodem tego jest to, że przełączniki półprzewodnikowe kluczują tak szybko, że prowadzi to do wysokich skoków napięcia na wyjściu falownika. Te chwilowe skoki napięcia są często większe niż nominalna wartość napięcia roboczego silnika. Ostatecznie doprowadza to do szybszego starzenia się izolacji uzwojeń



Chociaż przepięcia mogą być skutecznie tłumione za pomocą odpowiednich filtrów sinusoidalnych, nie są one powszechnie stosowane ze względu na duże koszty zakupu.

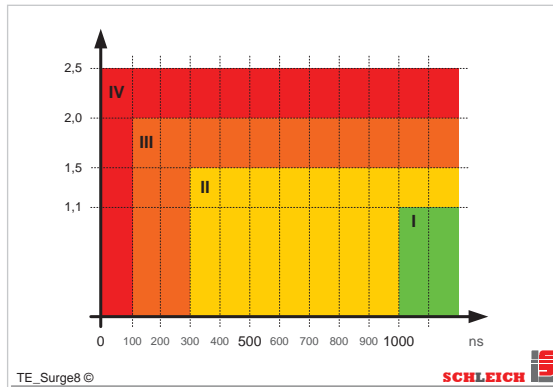


Wartość szczytowa (przepięcie) napięcia spada na pierwszych zwojach cewki. Wynikiem jest preliminary nieliniowy rozkład napięcia, który w głównej mierze zależy od czasu narastania impulsu. Pomijając początkowy wzrost napięcie na dalszych zwojach wykazuje charakter liniowy.

Przedstawione zjawisko należy rozważać głównie w odniesieniu do pracy z falownikiem. W silnikach indukcyjnych zasilanych przez falownik występuje identyczne zjawisko, również pierwsze zwoje cewki są najbardziej narażone na przepięcia z falownika. Właśnie z tego powodu test Surge (ponieważ otwiera ten efekt) jest wysoce rekomendowany, jako obecnie najlepsza metoda pomiarowa, dla silników indukcyjnych zasilanych przez przetwornicę częstotliwości.



Poniższy wykres przedstawia zależność pomiędzy czasem narastania a chwilową szczytową wartością napięcia.



Pojawiającą się wartość szczytową należy rozpatrywać jako współczynnik. Mnożąc ten współczynnik przez napięcie obwodu pośredniego UDC otrzymujemy wartość bezwzględną przepięcia. W zależności od czasu narastania określono cztery zakresy przepięciowe.

## 7.5 Metodologia pomiaru wyładowań niepełnych

Istnieją dwie możliwości pomiaru wyładowań niepełnych:

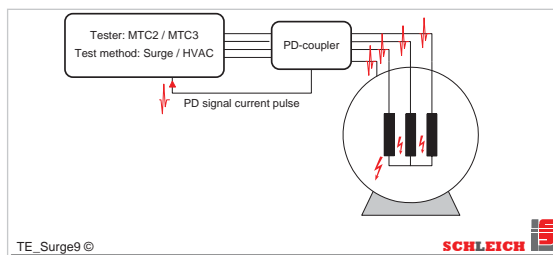
- Pomiar impulsów prądowych
- Pomiar pola elektromagnetycznego w.cz.

### 7.5.1 Pomiar impulsów prądowych

Powyżej zostało już wyjaśnione w jakich przypadkach powstają wyładowania niepełne. Jeżeli jednak wyładowania występują wewnątrz izolacji, nasuwa się pytanie:

W jaki powtarzalny i dokładny sposób, można zmierzyć mikro wyładowanie powstające wewnątrz dielektryka? Zasadniczo odpowiedź zawarta jest w charakterystyce samego zjawiska. Jeżeli jakaś pojemność została rozładowana na skutek wyładowania, i nadal znajduje się pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego, natychmiast dochodzi do efektu ponownego ładowania. Tak więc mierząc ten efekt można udowodnić występowanie wyładowań niepełnych. Impuls ładowania trwa tylko kilka nanosekund. Jest to krótkotrwały, wysokiej częstotliwości impuls prądowy.

Dlatego potrzebna jest specjalistyczna aparatura pomiarowa, która jest przystosowana do pomiaru szybkich impulsów prądowych.



Rysunek przedstawia pomiar wyładowań niepełnych na uzwojeniach silnika/generatora przy użyciu sprzęgacza wysokiej częstotliwości impulsów prądowych. Sprzęgacz może zostać umieszczony wewnątrz testera lub znajdować się w torze pomiarowym jak o urządzenie peryferijne, zewnętrzne. Wybór rozwiązania należy do klienta.

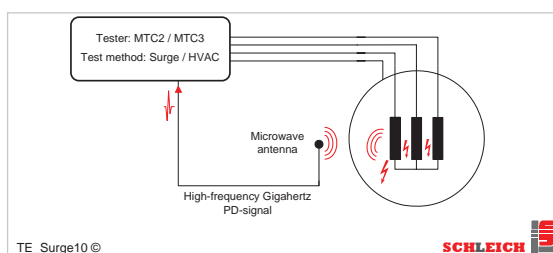
Zdjęcie przedstawia zewnętrzny sprzęgacz wyładowań niepełnych. Przewody pomiarowe z testera (w tym przypadku testera MTC2) doprowadzane są przez sprzęgacz do zacisków badanego silnika.



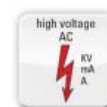
Bardzo ważna w tym przypadku jest długość przewodów pomiarowych. Zaleca się, aby tester oraz sprzęgacz znajdowały się jak najbliżej DUT w celu zmniejszenia długości przewodów pomiarowych. Maksymalną czułość układu można osiągnąć przy możliwie najkrótszych przewodach pomiarowych.

### 7.5.2 Pomiar pola elektromagnetycznego w.cz.

Równoległe do impulsów prądowych wyładowania niepełne generują pole elektromagnetyczne. Można to porównać do iskrzenia. Iskra generuje sygnał wysokiej częstotliwości w bardzo szerokim paśmie częstotliwości, które w zasadzie może być również zmierzone przy użyciu zwykłego, konwencjonalnego radia.



Pomiar wyładowań niepełnych uzwojenia stojana przy użyciu anteny pomiarowej.



### 7.5.3 Porównanie obu metod pomiarowych



Firma Schleich używała obydwu metod pomiarowych przez wiele lat. Obie metody posiadają swoje wady i zalety. Nie można jednoznacznie stwierdzić, że jedna metoda pomiarowa jest lepsza od drugiej.

Wadą metody impulsów prądowych jest to, że wpływ zakłóceń zewnętrznych jest stosunkowo wysoki. Przez co zakłócenie może zostać zinterpretowane jako sygnał użyteczny. W pewnych warunkach wpływ zakłóceń może spowodować zafałszowanie wyników. Chociaż ten negatywny efekt można zmniejszyć za pomocą specjalnych filtrów, to nie da się go wyeliminować zupełnie. Zaletą jest możliwość pomiaru wyładowań niezupełnych na całkowicie zmontowanym silniku.

Pomiar fali elektromagnetycznej ma tę zaletę, że zewnętrzne zakłócenia nie mają tak wielkiego wpływu na wynik pomiaru. Oczywiście impuls nie może być mierzony w zakresach użytkowych np. paśmie częstotliwości stosowanych przez nadajniki radiowe, urządzenia radiowe, sieci WLAN lub telefonie komórkową. Z tego powodu aparatura pomiarowa Schleich stosuje zakres nie wykorzystywany komercyjnie. Niedogodność pomiaru za pomocą anteny wynika z faktu, że fale elektromagnetyczne generowane wewnątrz silnika są silnie tłumione, ponieważ obudowa silnika działa jak klatka Faradaya.

Z tych powodów zalecamy pomiar za pomocą obydwu metod. Najwyższą dokładność pomiarową można osiągnąć wykorzystując obydwie metody pomiarowe.

### 7.6 Jednostka [pC]

Jednostką wyładowań niezupełnych jest pC (piko kulomb). Wzór na ładunek wnz:

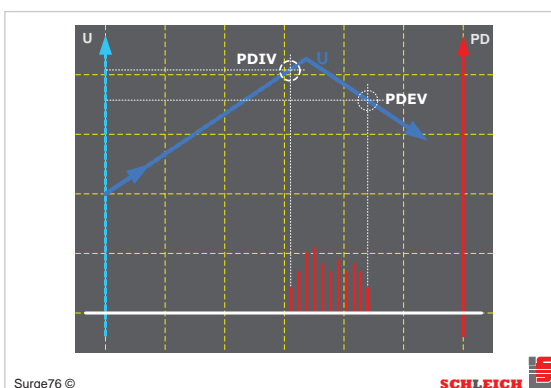
$$Q = C * U$$

Jak przedstawiono na powyższym wzorze ładunek elektryczny jest wynikiem pojemności i napięcia, gdzie 1 kulomb jest równy iloczynowi jednego farada i jednego wolta. Pomiar wyładowań niezupełnych zazwyczaj odbywa się w zakresie od około 1pC do około kilku 1000pC. 1pC, to bardzo, bardzo mały ładunek. Mnożąc napięcie 1V i pojemność 1pF otrzymujemy ładunek o wartości 1pC.

W rzeczywistości, do testowania uzwojeń, nie ma potrzeby korzystania z urządzeń pomiarowych wskazujących wynik w pC! Zazwyczaj wystarczająca jest informacja czy wyładowania niezupełne w ogóle się pojawiają. Ponadto, najważniejszymi danymi do określenia stanu izolacji są napięcia inicjacji i wygasania wyładowań niezupełnych, a nie dokładna wartość ich ładunku. Dlatego firma Schleich nie oferuje testerów wskazujących wartość wyładowań w pC.

### 7.7 Napięcie inicjacji/wygasania wyładowań niezupełnych

Z punktu widzenia oceny jakości izolacji najważniejsze są napięcia inicjacji oraz wygasania wyładowań niezupełnych. Dlatego napięcie HVAC, zaczynając od niskiej wartości, jest systematycznie zwiększane do wartości maksymalnej, a następnie ponownie spada. Napięcie inicjacji (PDIV - Partial Discharge Inception Voltage) oraz wygasania PDEV (PDEV - Partial Discharge Extinction Voltage) jest wyświetlane przez tester po zakończeniu testu.

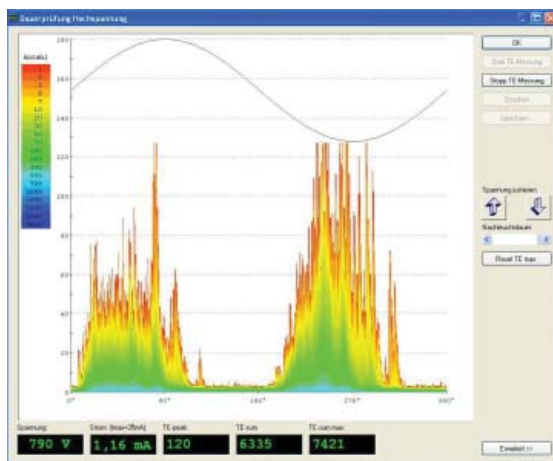


Zdjęcie obok przedstawia pomiar wyładowań niezupełnych.

Dobra, nienaruszona izolacja charakteryzuje się wysokim napięciem inicjacji wyładowań niezupełnych. Zasadniczo przyjmuje się zasadę „im wyżej, tym lepiej”. Napięcie inicjacji wyładowań powinno przewyższać maksymalne napięcie robocze. Wartości referencyjne napięć znajdują się w normach.

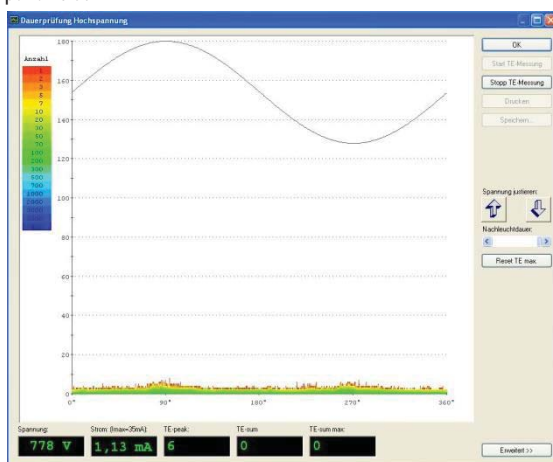
## 7.8 Prezentacja graficzna wyładowań niezupełnych

Pomiar wyładowań niezupełnych został wprowadzony w testerach SCHLEICH już na początku 2000 roku. Wielu znanych producentów silników z powodzeniem stosuje tą metodę.

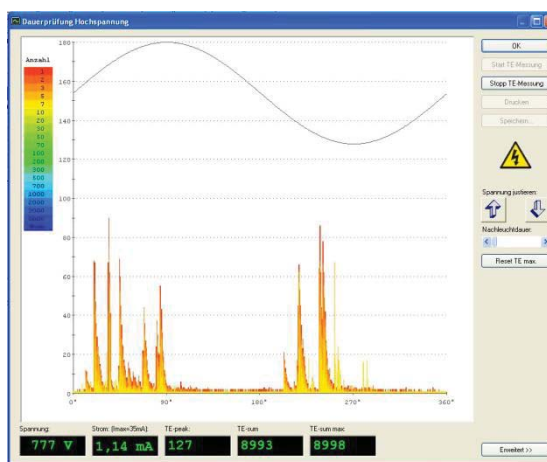


Pomiar wyładowań niezupełnych podczas testu HV AC z automatyczną detekcją napięcia inicjacji i wygasania wyładowań niezupełnych. Wykres przedstawia bardzo zniszczoną izolację.

Wykres przedstawia zupełnie nową izolację, wyładowania nie przekraczają poziomu tła



Wykres przedstawia średnio zniszczoną izolację



Testery MTC2 i MTC3 charakteryzują się następującymi parametrami:

- Test Surge o czasie narastania impulsu 70 ... 200 nanosekund, zgodnie z normami krajowymi i międzynarodowymi
- Precyzyjna regulacja napięcia Surge
- Odsprzęganie pojemnościowe impulsów wyładowań niezupełnych
- Odsprzęganie indukcyjne impulsów wyładowań niezupełnych
- Pomiar w zakresie wysokiej częstotliwości za pomocą anteny pomiarowej
- Automatyka detekcja wartości progowych wyładowań niezupełnych (inicjacji i wygasania)
- Automatyka detekcja wartości szczytowej wyładowań niezupełnych
- Automatyka wyznaczanie sumy wartości wyładowań niezupełnych



## 7.9 Wnioski

W oparciu o wieloletnie i bogate doświadczenia z ogólnosiwiatowymi producentami silników elektrycznych firma Schleich gorąco rekomenduje metodę wyładowań niezupełnych. Te innowacyjne badanie znajduje zastosowanie od weryfikacji wad produkcyjnych po statystyczną kontrolę starzenia się izolacji w już eksploatowanych silnikach. Pomiar wyładowań niezupełnych stanowi wartą uwagi alternatywę dla działań kontroli jakości, sekcji utrzymania ruchu oraz ekip remontowych. Nasz know-how, w tym zakresie, sięga silników i generatorów o mocy od 100 KM do 6 MW.

Pomiar impulsów prądowych okazał się bardzo udaną metodą w stosunku do pomiaru pola elektromagnetycznego. Dużą zaletą metody impulsów prądowych jest możliwość wykonanie pomiaru na całkowicie zmontowanym silniku. Dodatkowo zastosowanie metody impulsów prądowych zwalnia operatora z obowiązku czasochłonnego pozycjonowania anteny.

Ponadto SCHLEICH opiera swoją metodę pomiarową wyładowań niezupełnych na zaaprobowanej międzynarodowo kombinacji pomiaru wyładowań niezupełnych podczas testu wysokonapięciowego AC oraz testu Surge. Cały test, jak również przełączanie napięcia probierczego pomiędzy zaciskami pomiarowymi odbywa się w pełni automatycznie. Schleich oferuje pomiar wyładowań niezupełnych nawet do 50kV.

Wszystkie testery Schleich są projektowane i produkowane w firmie Schleich, zlecenie montażu pobocznym przedsiębiorstwom nie jest nawet brane pod uwagę. Wytwórca posiada ponad 25 lat doświadczenie w testowaniu i produkcji wysokiej jakości aparatury pomiarowej. Wszystkie testery są produkowane w Niemczech, w fabryce znajdującej się w Hemer.

**Testery SCHLEICH są w pełni zgodne z niemiecką normą VDE 530-18-41 (IEC60034-18-41) oraz międzynarodową IEC TS 61934.**

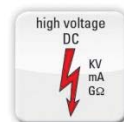
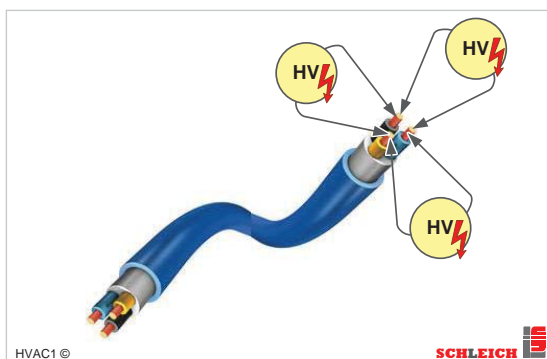
---

## Test Wysokim napięciem DC



## 8. Test Wysokim napięciem DC (prąd stały)

### 8.1 Informacje na temat testu wysokim napięciem DC



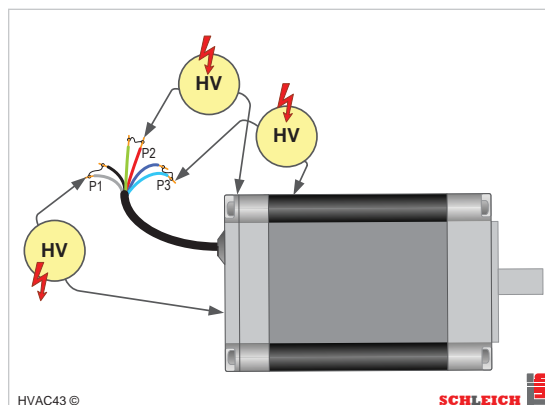
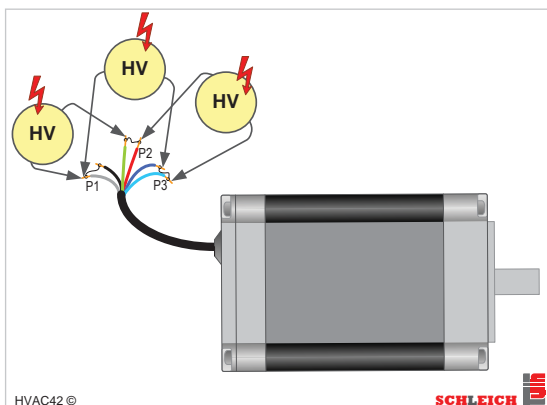
Próby wysokim napięciem wykonuje się na urządzeniach o klasie ochronności I i II. Urządzenia klasy I posiadają przyłącze do przewodu ochronnego PE lub przewodu neutralno-ochronnego PEN. Urządzenia klasy II posiadają wzmocnioną izolację zapewniającą ochronę przed dotykiem bezpośrednim oraz pośrednim. Urządzenia klasy II nie posiadają przewodu ochronnego.

Urządzenie II klasy ochronności są oznaczone tym symbolem. □

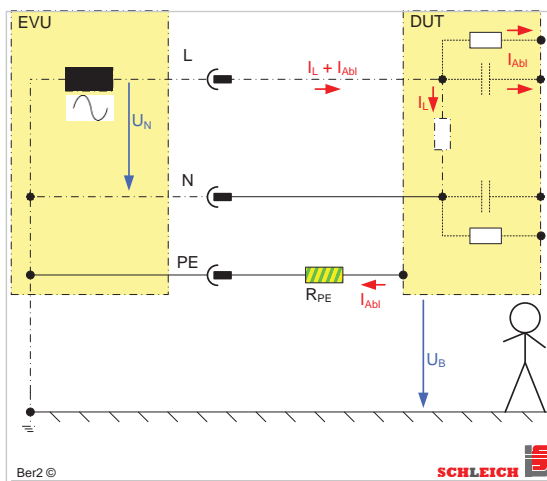
Test ma na celu weryfikację wytrzymałości elektrycznej izolacji na napięcie próby, którego wartość jest określona przez odpowiednie normy. Podczas testu mierzone są prądy upływu, które mogą pojawić się pomiędzy przewodami zasilającymi lub przewodem fazowym i przewodem ochronnym.

Sąsiednie zdjęcia ilustrują test wysokiego napięcia przeprowadzany międzyfazowo oraz pomiędzy przewodem fazowym i obudową.

Jeżeli wartość rezystancji izolacji jest zbyt niska (a przewód PE jest również uszkodzony) na odsłoniętych, metalowych częściach obudowy może pojawić się niebezpiecznie wysoki prąd dotykowy. Tak zwany prąd dotykowy to prąd jaki płynie od metalowych części na obudowie, na których utrzymuje się napięcie, przez osobę porażoną do potencjału Ziemi.



Szczególnie w urządzeniach o klasie ochronności II istnieje wysokie niebezpieczeństwo porażenia ze względu na brak przewodu PE.



#### Definicje

EVU: dostawca energii elektrycznej (elektrownia)

DUT: urządzenie poddane testom | obiekt testowy

I L: prąd fazowy

I ABL: prąd upływu

U N: napięcie sieci

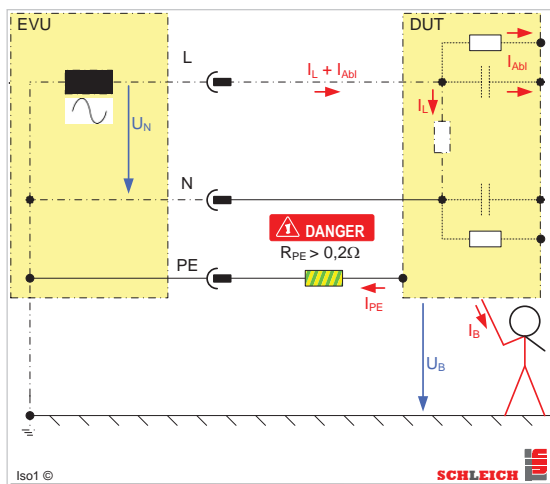
R PE: rezystancja żyły PE

U B: potencjały napięcie dotykowe

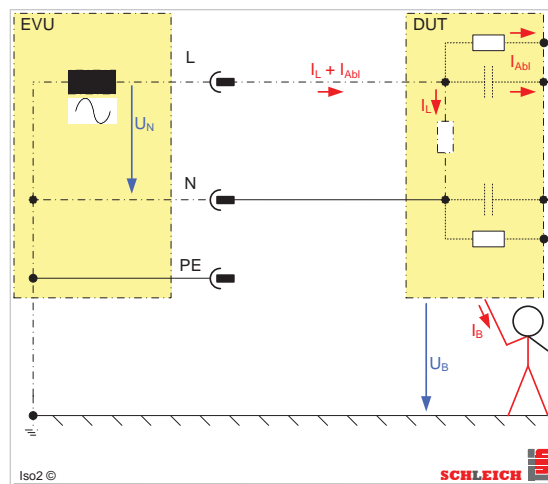




Jeśli ciągłość przewodów PE nie jest zachowana, na obudowie urządzenia może pojawić się niebezpiecznie wysokie napięcie. W przypadku dotknięcia znajdujących się pod napięciem metalowych części obudowy może nastąpić porażenie elektryczne na skutek przepływu prądu, przez porażoną osobę, do potencjału Ziemi.



Ilustracja obrazuje sytuację, w której występują niebezpiecznie wysokie prądy upływu na urządzeniu o klasie ochronności I ze względu na zbyt wysoką rezystancję przewodu PE.



Ilustracja przedstawia sytuację, w której występują niebezpiecznie wysokie prądy upływu na urządzeniu o klasie ochronności II.

Test wysokim napięciem DC jest bardzo podobny do testu rezystancji izolacji. W zasadzie rezystancję izolacji też można określić za pomocą testu wysokim napięciem DC. Dodatkowo podczas pomiaru rezystancji izolacji istnieje możliwość zmiany trybu pomiarowego z pomiaru rezystancji na pomiar prądu upływu.

## 8.2 Poziom napięcia probierczego podczas testu HV DC

Poziom napięcia probierczego jest definiowany przez określone normy. Wykonując test ustaw wartość zadaną zgodnie z obowiązującymi normami.

Test wysokiego napięcia jest w zasadzie wykonywany w tych samych punktach co test rezystancji izolacji. Jednakże, w przeciwieństwie do testu rezystancji izolacji, próbę wysokim napięciem przeprowadza się przy znacznie wyższych poziomach napięć.



Napięcie probiercze jest podłączane do izolacji w celu określenia jej wytrzymałości elektrycznej.

Istnieją różne normy i przepisy dla różnych testerów. Poziom napięcia probierczego jest określony w tych przepisach.

Generalnie rzecz ujmując możemy podać następujące informacje:

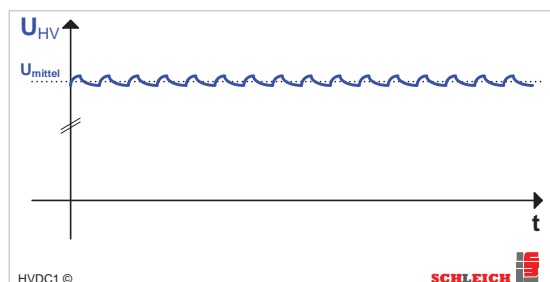
W wielu przypadkach zakres napięcia dla testu HV AC waha się w granicach 1000 ... 1800 VAC. Jest to wartość skuteczna! Wartość napięcia dla testu HV DC jest określana na podstawie maksymalnego poziomu wartości skutecznej podczas testu AC.

$$HV\ DC = HV\ AC * \sqrt{2}$$

Ponieważ  $\sqrt{2} = 1.414$  można przyjąć że  $HV\ DC = HV\ AC * 1,5$

## 8.3 Jaki rodzaj napięcia jest wyświetlany?

Wyświetlana jest średnia wartość arytmetyczna napięcia. Napięcie stałe DC jakim narażone jest DUT podczas testu nie jest wyprostowanym napięciem AC. Za pomocą specjalnych układów urządzenie generuje niemal bateryjne napięcie DC.



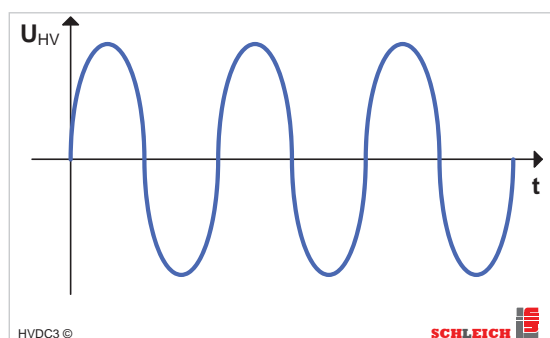
Testery firmy Schleich charakteryzują się bardzo niskim tętnieniem podczas testu wysokiego napięcia DC. Jest to warunek konieczny dla wysokiej jakości pomiarów zwłaszcza w przypadku pomiaru bardzo dużych rezystancji izolacji.

## 8.4 Sposób generowania napięcia DC

Zasadniczo istnieją dwa sposoby na generowanie wysokiego napięcia DC

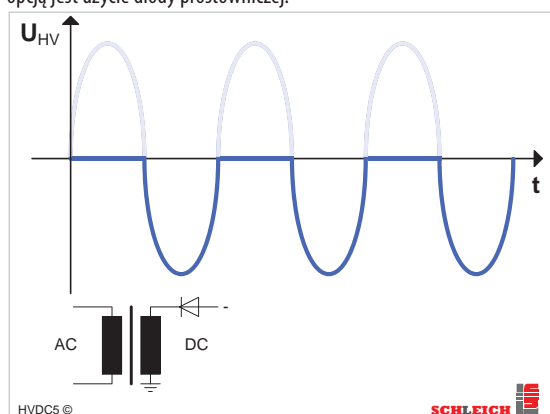
1. Napięcie jest generowane przez prostowanie napięcia sieciowego
2. Napięcie jest generowane za pomocą specjalnego przetwornika wysokiej częstotliwości z kaskadami prostowniczymi i filtrem.

Pierwszy sposób jest najprostszy. Tester bazujący na tej metodzie nie umożliwia precyzyjnych pomiarów rezystancji izolacji. Tętnienie jest zbyt wysokie aby wykonać ten pomiar. Przez co pomiar ogranicza się do sprawdzenia wytrzymałości izolacji na przebicie.

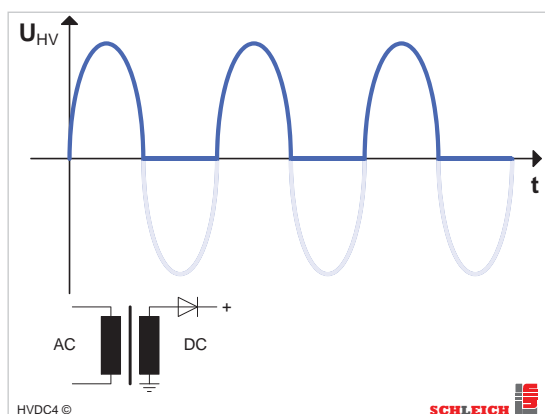


Napięcie sieci stanowi podstawę dla prostowania. Nie ma znaczenia czy jest to sieć 50Hz czy 60Hz. Rozwiązania elektroniczne o wyższej częstotliwości np. 300Hz są także dopuszczalne.

W najprostszym przypadku napięcie DC jest wyprostowanym napięciem z sieci. Taki rodzaj napięcia DC często spotyka się w aplikacjach z uzziemionym uzwojeniem wtórnym. Transformator próbieczny wysokiego napięcia stosowany w aparaturze pomiarowej DC do 80kV posiada np. uzziemioną stronę wtórną. Dlatego też jedną opcją jest użycie diody prostowniczej.



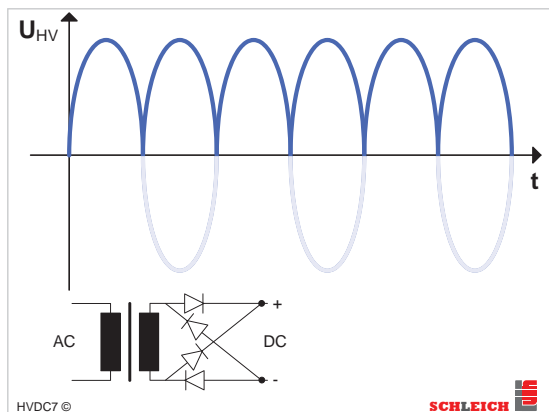
Prostownik z diodą w kierunku zaporowym



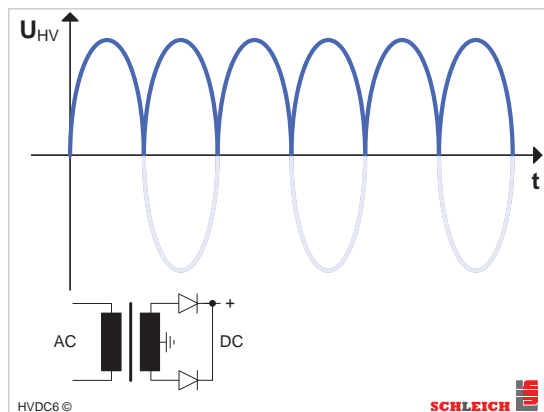
Prostownik z diodą w kierunku przewodzenia

Pierwotne napięcie AC jest przedstawione na wykresie wyblakłym kolorem.

Jeżeli uzwojenie wtórne transformatora nie jest uziemione możliwe jest zastosowanie mostka prostowniczego. Taki rodzaj napięcia DC często spotyka się w aplikacjach do ok. 10...20kV DC. Transformator z uziemionym punktem neutralnym może zostać użyty dla wyższych poziomów napięć np. HVDC do 100kV.



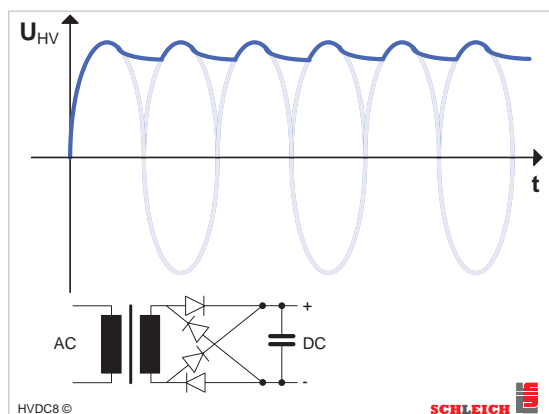
Prostownik z mostkiem Greateda



Prostownik diodowy z uziemionym punktem neutralnym transformatora

Pierwotne napięcie AC jest przedstawione na wykresie wyblakłym kolorem.

Napięcie wyjściowe prostownika ma przebieg tętniący. Równoległe dołączenie kondensatora filtrującego o odpowiedniej pojemności pozwala na znacznie zmniejszenie amplitudy tętnień, jednakże poziom tętnień jest nadal zbyt duży. Kolejną wadą jest znaczący wpływ obciążenia na kształt przebiegu.



Pierwotne napięcie AC jest przedstawione na wykresie wyblakłym kolorem.

Najlepszym rozwiązaniem z możliwych jest wygenerowanie stabilnego napięcia DC za pomocą specjalnego układu prostowniczo-filtrującego firmy Schleich. Taka postać napięcia jest idealna dla testów rezystancji izolacji wysokim napięciem DC. Na kształt napięcia nie wpływają zaburzenia z sieci oraz zmiany obciążenia.



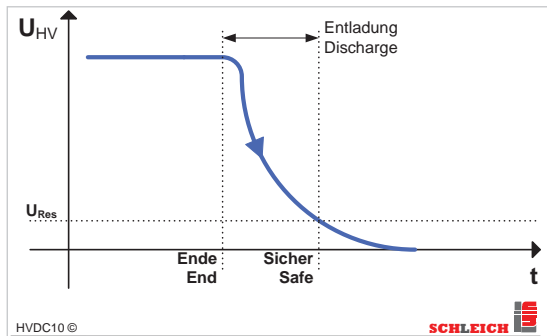


## 8.5 Rozładowanie DUT



Przedmiot badań powinien zostać elektrycznie rozładowany po próbie wysokiego napięcia DC. Większość badanych urządzeń posiada pojemność własną, która jest ładowana podczas testu. W celu uniknięcia niebezpieczeństwa pochodzącego od napięć szczytkowych, rozładowanie DUT po wykonaniu testu jest obowiązkowe.

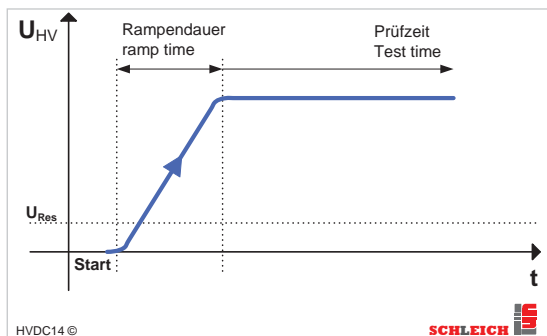
W normach VDE (Niemiecki odpowiednik SEP-u) 0104 lub EN 50191 znajdują się jasne wytyczne traktujące o sposobie rozładowania DUT.



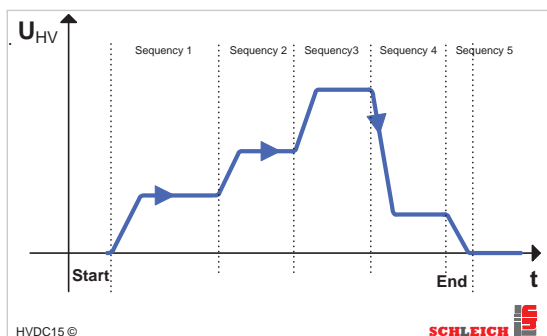
Testery Schleich wykonują rozładowanie DUT automatycznie po każdym teście HVDC. Większość modeli posiada wbudowany woltomierz, który mierzy spadek napięcia podczas rozładowania. Test dobiega końca w chwili gdy mierzone napięcie spadnie do poziomu nie zagrażającemu porażeniem.

## 8.6 Rampa napięciowa i kształt napięcia

Zaleca się, aby nie załączać napięcia w sposób skokowy, natychmiastowy do badanego urządzenia lecz zwiększać napięcie liniowo w formie rampy. Prawie wszystkie testery firmy Schleich umożliwiają wykonywanie testu w taki sposób.



Co więcej testery pozwalają także na łączenie ze sobą pojedynczych ramp w bardziej złożone sekwencje pomiarowe.



## 8.7 Test separacyjny czy nieseparacyjny?

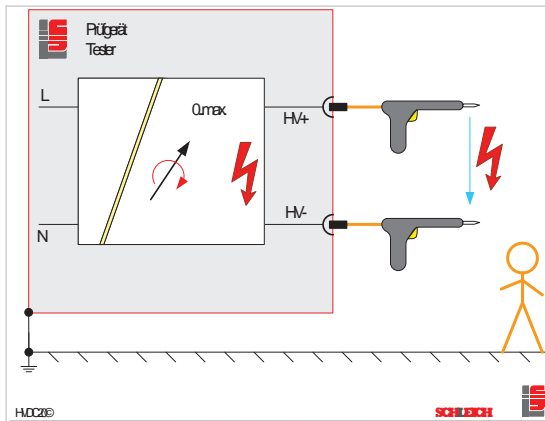


Czy test ma być separacyjny czy nie zależy od regulacji bezpieczeństwa zawartej w normie lub też od aplikacji.

Większość testów do 6kV to testy bezpieczne (separacyjne). W dodatku jeden biegun wysokiego napięcia jest zwarty z masą. Firma SCHLEICH dostarcza testery bezpieczne nawet do 12kV.

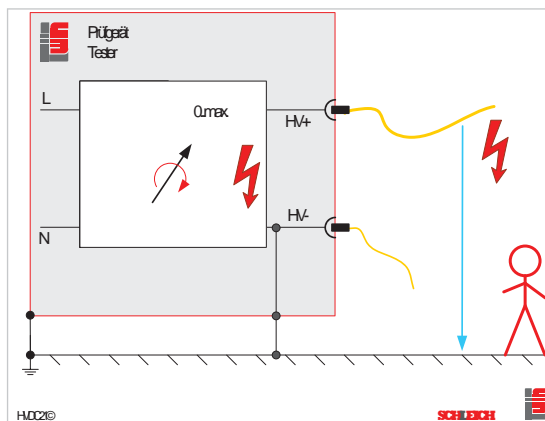


Test separacyjny jest bezpieczniejszy niż zwykły test wysokiego napięcia. W tym znaczeniu układ elektroniczny HVDC spełnia też rolę transformatora separacyjnego, dzięki czemu zwiększa się ochronę przed porażeniem osoby obsługującej tester. Jednakże pomimo zastosowanych zabezpieczeń należy pamiętać, że wysokie napięcie z prądem powyżej 12mA DC jest **NIEBEZPIECZNE** dla życia!



Zdjęcie przedstawia test separacyjny wysokiego napięcia z 2 sondami HV (tzw. pistoletami). Jeśli dodatni biegun wysokiego napięcia zostanie przypadkowo dotknięty teoretycznie istnieje pewna doza ochrony przed porażeniem. Jednak w zależności od ustawionego poziomu napięcia w układzie mogą pojawić się upływności o charakterze pojemnościowym, które stanowią zagrożenie dla operatora.

Dlatego należy zawsze pamiętać, aby pod żadnym pozorem nie dotykać przewodów zasilanych wysokim napięciem!

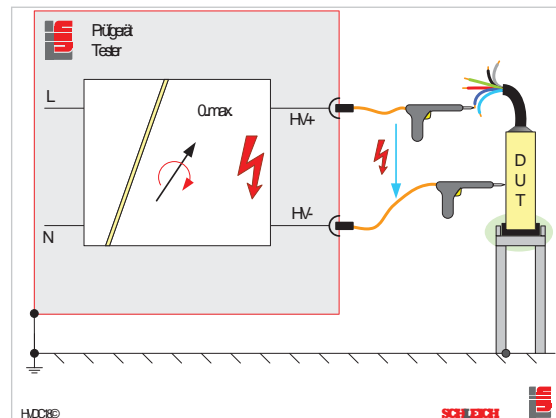
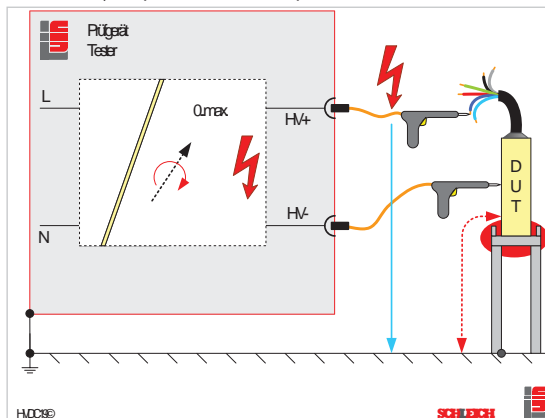


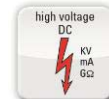
Zdjęcie przedstawia nieseparacyjny test wysokiego napięcia. Zagrożenie jest oczywiste.



Uwaga: W przypadku testów separacyjnych na linii produkcyjnej (z metalową posadzką) stosuje się układ, w którym jedna sonda pomiarowa jest przykładana do metalowej obudowy badanego obiektu, a druga do przewodów zasilających.

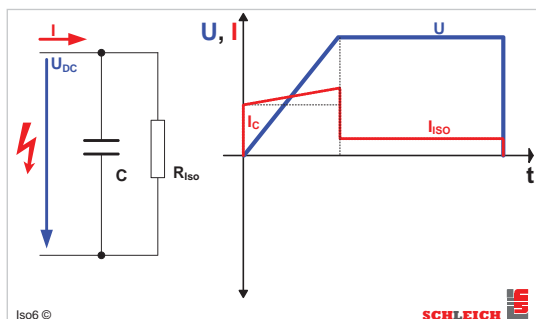
Ale trzeba pamiętać, że badane urządzenie stoi na metalowej, przewodzącej podłodze (miejmy nadzieję) uziemionej. Stanowi to potencjalne zagrożenie! Z tego powodu wysoce wskaże jest, aby testowane urządzenie umieścić na izolowanej podkładce. Redukuje to niebezpieczeństwo związane z pojawieniem się potencjału w miejscach niedozwolonych z punktu widzenia bezpieczeństwa!





## 8.8 Próba wysokim napięciem DC na obiektach o charakterze pojemnościowym

W teorii test DC jest przeprowadzany na obiektach o charakterze pojemnościowo-rezystancyjnym. Obiekt RC jest wyidealizowanym przypadkiem obiektu badanego.



Dlaczego?

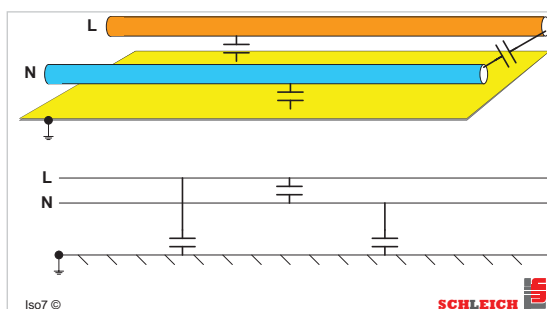
Badany obiekt cechuje pewna rezystancja izolacji pomiędzy punktami, do których przykładane jest wysokie napięcie. Na sąsiednim schemacie zastępczym jest to rezystancja  $R_{iso}$ .

Na ogół jej wartość jest bardzo wysoka i wynosi kilkaset MOhm i więcej. Dodatkowo DUT posiada również pojemność pomiędzy testowanymi punktami. Pojemności pojawiają się pomiędzy sondami pomiarowymi jak i pomiędzy sondami i obudową. Zwykle większa pojemność występuje pomiędzy sondami i obudową.

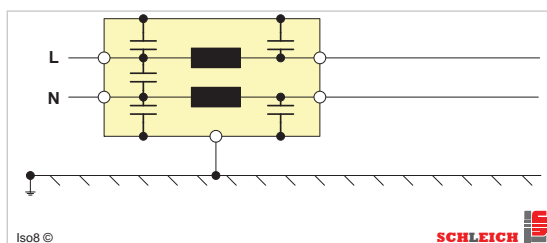
Prąd ładowania płynie do pojemności podczas załączania lub zwiększania napięcia probierczego. Kiedy napięcie ustabilizuje się, prąd ładowania przestaje płynąć. Pozostaje jedynie prąd upływu o charakterze czysto rezystancyjnym  $R_{iso}$ .

Stały prąd pojemnościowy płynie również podczas liniowego wzrostu napięcia w formie rampy. Podczas fazy „ładowania” dodatkowo na prąd pojemnościowy nakładają się prądy upływu izolacji. Ich wartość zwiększa się proporcjonalnie do wzrostu napięcia. Pod koniec fazy „ładowania” prąd pojemnościowy zanika.

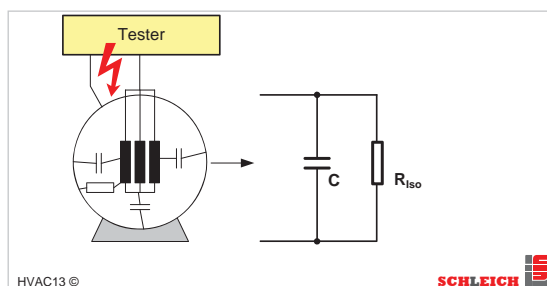
Z powyżej opisanych zjawisk jednoznacznie wynika, że test rezystancji izolacji, na obiektach o charakterze pojemnościowym, nie może zostać przeprowadzony natychmiastowo. Należy odczekać pewien czas, aż do zaniku pojemnościowego prądu upływu. Tylko po tym czasie rezystancja izolacji może zostać zmierzona właściwie. Pomiar wykonany zbyt szybko wskaże zaniżoną wartość rezystancji.



Pojemności występują pomiędzy izolowanym, metalowymi elementami silnika. Im większa jest powierzchnia (np. korpus, przekrój przewodów itp.) lub/ oraz im mniejsza jest odległość pomiędzy nimi, tym większy ładunek elektryczny mogą zgromadzić. Gabaryty silnika znacząco wpływają na prąd upływu.



Testowany obiekt może być również wyposażony w sieciowy filtr pasywny, który służy do tłumienia zaburzeń EMI z sieci. Takie filtry posiadają elementy pojemnościowe (kondensatory) sprzęgające zaburzenia pomiędzy fazami oraz między fazami i ziemią (PE).



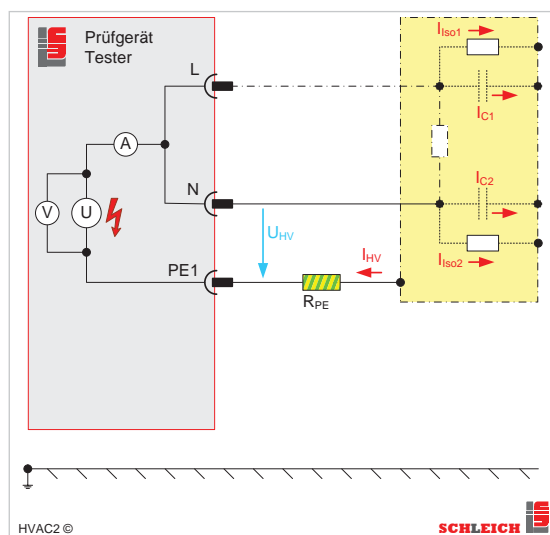
Zwłaszcza silniki elektryczne charakteryzują się wysoką pojemnością. Ogólnie rzecz biorąc im większy silnik tym większa pojemność.

## 8.9 Prąd jako kryterium oceny



Napięcie probiercze dla danej aplikacji jest określone przez odpowiednie normy. Nastawiona wartość napięcia musi być równoważna z wartościami podanymi w normach.

Wygenerowane napięcie wymusza przepływ prądu przez izolację. Prąd ten jest następnie mierzony. W rezultacie wartość natężenia prądu stanowi kryterium wytrzymałości badanej izolacji. Jeżeli, jak pokazano na rysunku, przewody są ze sobą zmostkowane całkowity prąd upływu do PE jest wynikiem wszystkich podłączonych równolegle rezystancji i pojemności.



Gdy test jest wykonywany napięciem stałym pojemność izolacji nie wpływa na wynik testu.

Mierzona jest jedynie składowa czynna. Jeżeli pojemności pasozytne są stosunkowo duże, stabilizacja rezystancji może zająć nieco dłużej czasu. Jednakże zwykle trwa to zaledwie kilka sekund.

## 8.10 Rezystancja izolacji jako kryterium oceny



Napięcie probiercze dla danej aplikacji jest określone przez odpowiednie normy. Nastawiona wartość napięcia musi być równoważna z wartościami podanymi w normach.

Wygenerowane napięcie wymusza przepływ prądu przez izolacji. Prąd ten jest następnie mierzony. Rezystancja izolacji jest wyliczana z wartości zmierzonego prądu oraz generowanego napięcia. W rezultacie rezystancja izolacji stanowi kryterium wytrzymałości badanej izolacji. Jeżeli, jak pokazano na rysunku, przewody są ze sobą zmostkowane całkowity prąd upływu do PE jest wynikiem wszystkich podłączonych równolegle rezystancji i pojemności.

Gdy test jest wykonywany napięciem stałym, pojemność izolacji nie ma wpływu na wynik testu. Mierzona jest jedynie składowa czynna. Jeżeli pojemności pasozytne są stosunkowo duże, stabilizacja poziomu rezystancji może zająć nieco dłużej czasu. Jednakże zwykle trwa to zaledwie kilka sekund.



## 8.11 Standardowe limity prądu upływu podczas testu wysokim napięciem

Napięcie probiercze dla danej aplikacji jest określone przez odpowiednie normy. Nastawiona wartość napięcia musi być równoważna z wartościami podanymi w normach.

Wartość prądu upływu zależy od przyłożonego napięcia, zastosowanej izolacji czy też wielkości i kształtu badanego urządzenia. Zatem prąd upływu zależy od produktu. W niektórych urządzeniach będzie niski a w innych zupełnie na odwrót. Jednakże, obydwa produkty mogą przejść test pozytywnie. Tak więc nie ma jasnej i klarownej odpowiedzi w dokumentach normatywnych na temat limitu prądów upływu.

Wartość graniczna jest zwykle ustalana na podstawie testów wykonanych na sztukach próbnych. Następnie limit ustala się na podstawie uzyskanych wyników + rezerwa.



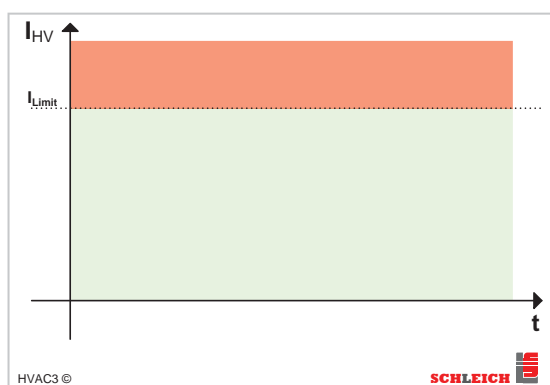
UWAGA - jest to tylko proponowana wartość! Wykonując test upewnij się czy jest wykonywany zgodnie z normą!



Wszystkie wartości zmierzonego prądu pomiędzy zerem i wartością graniczną I limit (włącznie) należy przyjąć za prawidłowe. Limit nie może zostać przekroczony podczas trwania całego testu.

Czas pomiaru to zwykle 1 sekunda.

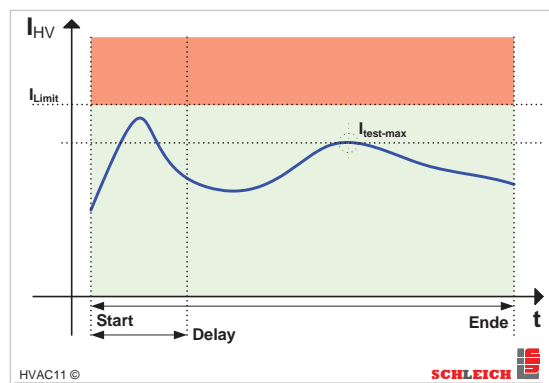
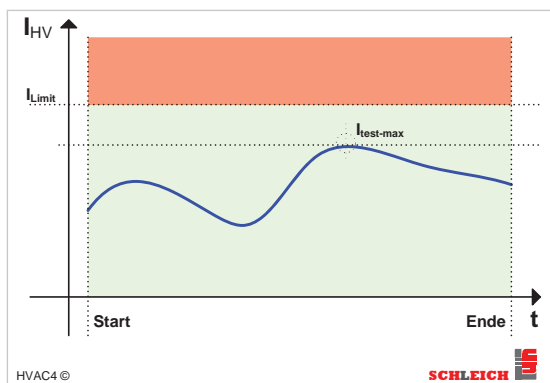
UWAGA - jest to tylko proponowana wartość! Wykonując test upewnij się czy jest wykonywany zgodnie z normą!



## 8.12 Która wartość prądu jest wyświetlana i analizowana?



Jeżeli zmierzony prąd fluktuuje podczas testu, analizowana jest najwyższa zmierzona wartość w trakcie trwania całego testu. Oznacza to, że brany jest pod uwagę najgorszy możliwy przypadek. Prąd ten musi być niższy lub równy maksymalnej dozwolonej wartości (I limit).



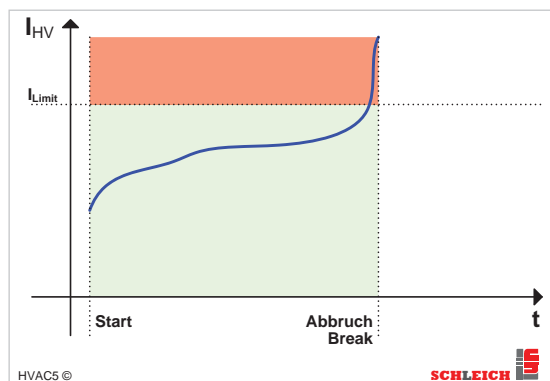
Testery firmy Schleich pozwalają również na wprowadzenie opóźnienia pomiarowego. Dzięki czemu chwilowe wyższe prądy, które płyną w początkowej fazie testu, na skutek polaryzacji dielektryka lub ładowania pojemności, nie wpływają na wynik pomiaru.



## 8.13 Zwarcie / Przebieżenie

Jeśli podczas testu HV prąd przekroczy wartość graniczną test jest natychmiast przerywany. Zabezpieczenie nadmiarowo-prądowe jest nieaktywne podczas trybu „burn”.

Limit prądu zależy od procedury pomiarowej i jest wpisywany ręcznie.



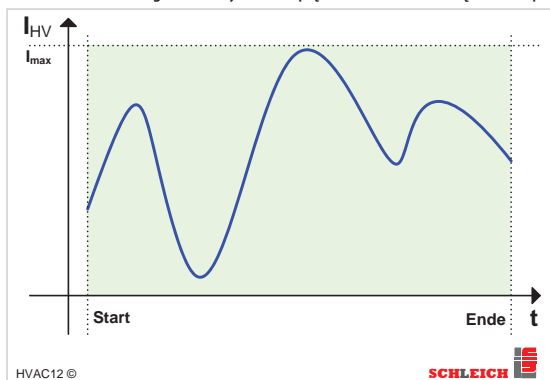
## 8.14 Tryb „burn”

Tryb „burn” służy do lokalizacji uszkodzeń w badanym obiekcie. Ze względu na fakt, że testery SCHLEICH są wyposażone w zabezpieczenie nadmiarowo-prądowe, które natychmiast przerywa test w przypadku przebieżenia, trudno jest zlokalizować błysk światła w miejscu uszkodzenia.

W takim przypadku operator może posłużyć się trybem „burn”.

Tester nie przerwie pomiaru w momencie wystąpienia zwarcia. Dzięki czemu w miejscu uszkodzenia najprawdopodobniej pojawi się iskra lub płomień. Umożliwia to wykrycie miejsca uszkodzenia jednak jest to metoda destrukcyjna.

**UWAGA!** Podczas tego testu wysokie napięcie nie zostanie odłączone w przypadku porażenia! Należy mieć to na uwadze uruchamiając tryb „burn”!





## 8.15 Testowanie bez środków ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem bezpośrednim

Testy pod wysokim napięciem zwykle wiążą się z zastosowaniem specjalnej ochrony przed porażeniem elektrycznym, jednakże jest to dość uciążliwe i czasochłonne dla operatorów. Jednak pod pewnymi warunkami można wykonywać testy HV bez środków ochrony przed dotykiem bezpośrednim.

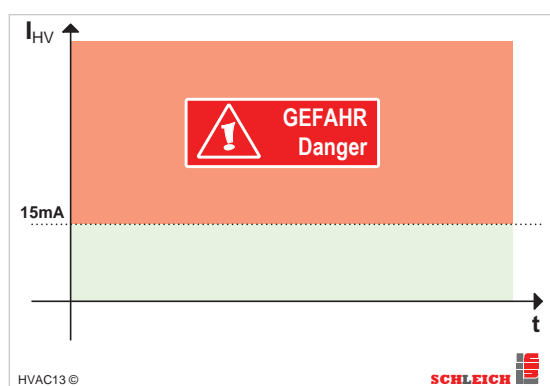
Te warunki to:

- Ograniczenie nadmiarowo-prądowe do maks. 12mA
- Energia wyładowania ograniczona do maks. 350mJ

### 8.15.1 Ograniczenie nadmiarowo-prądowe do maks. 12mA DC

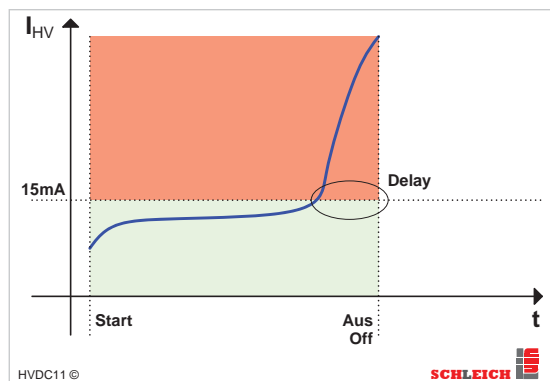


Zgodnie z przepisami norm międzynarodowych oraz „Accident Prevention & Insurance Association”; podczas obsługi systemów pomiarowych należy przestrzegać bardzo surowych zasad dotyczących bezpieczeństwa pracy.



Przepisy mówią, że każdy prąd stały powyżej 12mA może być śmiertelny!

Tak więc elementy przewodzące przez, które pod wpływem przyłożonego wysokiego napięcia płynie prąd większy niż 12mA DC muszą być zabezpieczone przed kontaktem bezpośrednim lub przy kontakcie z nimi należy wyłącznie używać bezpiecznych sond wysokonapięciowych.



A zatem każdy tester wysokiego napięcia o wydajności prądowej źródła powyżej 50mA nigdy nie może być postrzegany jako bezpieczny, pomimo działających zabezpieczeń nadmiarowo-prądowych do 12mA! Należy również podkreślić, że czas odłączenia wysokiego napięcia po przekroczeniu limitu trwa kilka milisekund (patrz czas opóźnienia na wykresie obok), a wartość prądu w tym przedziale czasowym może przybrać niebezpiecznie wysokie wartości.



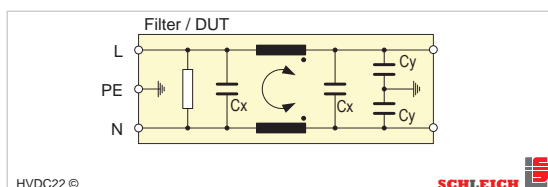
## 8.15.2 Energia wyładowania ograniczona do maks. 350mJ



Zawsze należy mieć na uwadze fakt, że energia zgromadzona w badanym obiekcie nie może przekraczać 350mJ. Termin „Bezpieczne” oznacza, że oba warunki, czyli maksymalny prąd ograniczony do 12mA oraz maksymalna energia ograniczona do 350m zostały spełnione.

Co oznacza 350mJ? Dżul (ang. Joule) to jednostka energii. Energia elektryczna jest wyliczana ze wzoru  $Q = \frac{1}{2} * C * U^2$ .

### Przykład 1: Obliczanie energii dla filtra sieciowego



Badanie powinno być wykonane pomiędzy L i N (zmostkowane ze sobą) do PE.

Pojemność każdego z kondensatorów Cy wynosi 22nF.

Pojemność każdego z kondensatorów Cx wynosi 100nF.

Ten rodzaju filtra jest zwykle testowany napięciem 1800V AC. Przeliczenie do DC -  $1800V * \sqrt{2} = 2700V$  DC.

Mostkując L i N łączymy równolegle ze sobą kondensatory Y (Cy).

$C_{total} = 22nF + 22nF = 44nF$

$Q = \frac{1}{2} * 44nF * 2700V * 2700V = 160mJ$

Energia zgromadzona w filtrze po odłączeniu wysokiego napięcia wynosi 160mJ i jak już wiem znajduje się poniżej dopuszczalnego limitu. Jednak zalecane jest rozładowanie obiektu po teście. Większość testerów Schleich wykonuje automatyczne rozładowanie DUT po każdym teście. Dopiero gdy napięcie szczytkowe spadnie do bezpiecznego poziomu procedura pomiarowa jest zakończona.

Test wysokiego napięcia wykonuje się również pomiędzy L i N. Kondensatory X zwykle posiadają pojemność ok. 100nF.

Całkowita pojemność w tym przypadku wyniesie -  $C_{total} = 100nF + 100nF + 11nF = 211nF$ . (11nF jest wynikiem szeregowego połączenia obydwu kondensatorów 22nF).

Energia elektryczna wyniesie wtedy  $Q = \frac{1}{2} * 211nF * 1450V * 1450V = 222mJ$ .

Energia zgromadzona w filtrze po odłączeniu wysokiego napięcia wynosi 222mJ i jak już wiem znajduje się poniżej dopuszczalnego limitu. Jednak zalecane jest rozładowanie obiektu po teście. Większość testerów Schleich wykonuje automatyczne rozładowanie DUT po każdym teście. Dopiero gdy napięcie szczytkowe spadnie do bezpiecznego poziomu procedura pomiarowa jest zakończona.

Ponadto rezystancja jest również zainstalowana wewnątrz filtra, równolegle do kondensatorów. Dlaczego? Takie rezystory rozładowcze stosuje się w celu rozładowania napięcia zgromadzonego w filtrze. Ponadto zapewniają spadek napięcia do poziomu szczytkowego w czasie określonym przez normy.



## 8.16 Test wysokiego napięcia DC Online

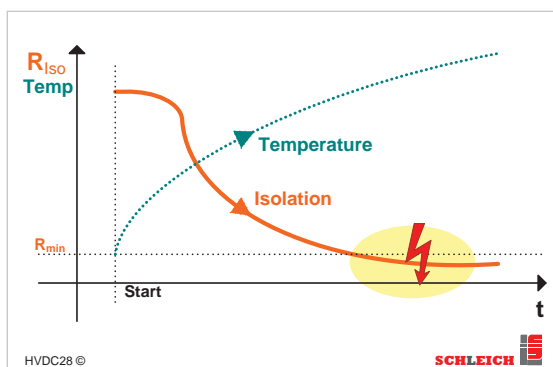


Test wysokiego napięcia można też wykonać w warunkach gdy temperatura uzwojeń osiągnie swoją znamionową temperaturę pracy. UWAGA! Ten rodzaj testu HV może być wykonany tylko przez testery przystosowane do tego celu!

### Co oznacza termin - test wysokiego napięcia DC Online?

Oznacza to, że podczas tego testu badane urządzenie jest zasilane napięciem znamionowym, roboczym. Zatem obiekt badany działa, funkcjonuje podczas gdy tester wykonuje test izolacji rezystancji do obudowy. Dlatego też nazwa testu zawiera słowo „online” co oznacza test pod napięciem zasilającym. W anglojęzycznej literaturze funkcjonuje też pojęcie „warm high voltage test” co podkreśla fakt, że uzwojenia są nagrzane do temperatury pracy. Niemniej jednak obydwa terminy znaczą to samo.

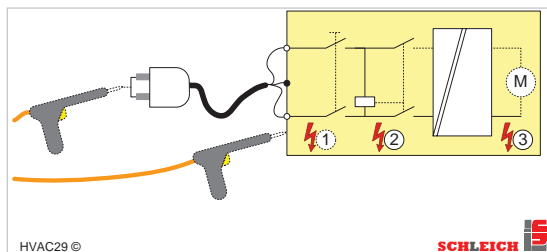
UWAGA! Podczas testów wysokim napięciem nie podłączać silnika do elektrycznej sieci zasilającej! DUT jest zasilane napięciem roboczym oraz wysokim napięciem wyłącznie za pośrednictwem testera!



### Dla jakich aplikacji stosuje się ten rodzaj testu?

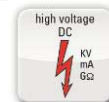
1. Istnieją urządzenia, których rezystancja izolacji zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury. Rezystancję izolacji DUT może wynosić  $2G\Omega$  „na zimno”, a po rozgrzaniu już tylko  $5M\Omega$ ! Typowym przykładem jest grzejnik rurowy. Ten rodzaj grzejników jest szeroko stosowany w podgrzewaczach, ekspresach do kawy lub do ogrzewania wody w pralkach.

2. Istnieją też urządzenia, w których części użytkowe rozszerzają się pod wpływem temperatury. Dlatego też, prądy upływu mogą rosnąć i zmieniać się pod wpływem rozszerzania się części przewodzących, aż w końcu przekroczą limit postawiony w normie.

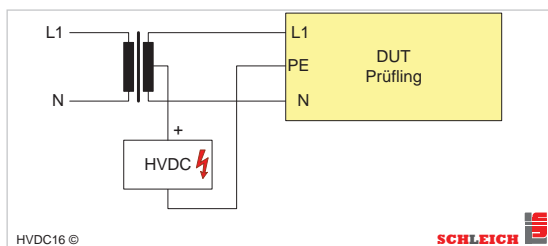


3. Wreszcie są też urządzenia o dość skomplikowanej budowie, jak na przykład pralki, z wieloma wewnętrznymi obwodami. W takim przypadku wykonując test wysokiego napięcia z zewnątrz nie uda się przetestować wszystkich elementów wewnętrznych pralki, w najlepszym przypadku tylko obwody wejściowe. Styki instalacji grzewczych, silników itp. pozostaną otwarte, i przez co nie zostaną poddane testom. Dokładnie taka sytuacja została przedstawiona na pobliskim schemacie.

1. Test jest wykonywany do tego punktu bez podjęcia dodatkowych kroków
2. Test może zostać wykonany do tego punktu tylko po włączeniu głównego wyłącznika.
3. Test w tym miejscu nie może być wykonany ponieważ napięcie sieci jest odłączone. Układy elektroniczne wewnątrz pralki rozłączą silnik przez co nie uda się sprawdzić rezystancji izolacji w tym punkcie! W takiej sytuacji jedynym sposobem, aby przeprowadzić test jest zasilanie pralki napięciem roboczym.

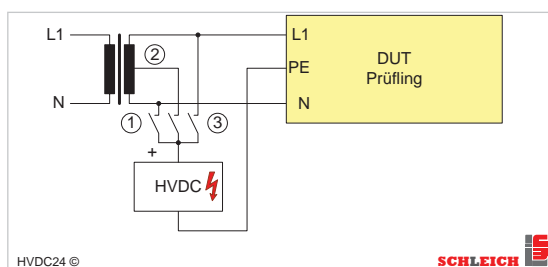


Test wysokiego napięcia online jest, oczywiście, możliwy tylko gdy urządzenie jest odłączone od sieci. W przeciwnym razie wysokie napięcie wróciłoby do sieci. Transformator separacyjny gwarantuje separację galwaniczną.



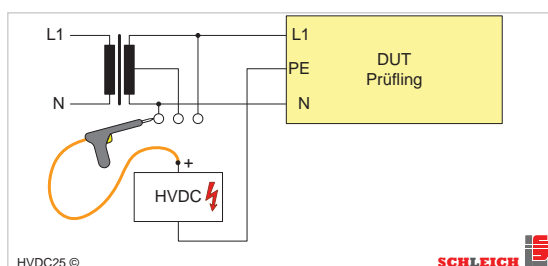
### Test 1-fazowy

Aby uniknąć sytuacji, w której wysokie napięcie będzie narażało DUT tylko częściowo biegun + należy podłączyć do punktu wspólnego transformatora separacyjnego, co jest też wymogiem postawionym w normie. W takiej sytuacji wysokie napięcie pomiędzy punktem wspólnym i PE, nałoży się na napięcie robocze. Przebiegi sinusoidalne napięcia wysokiego i roboczego dodają się i odejmują nawzajem. Jest to spowodowane przesunięciem fazowym obydwu przebiegów. Z tego powodu norma określa, aby napięcie robocze zasilalo fazę L1 a wysokie napięcie fazę L2 i L3.



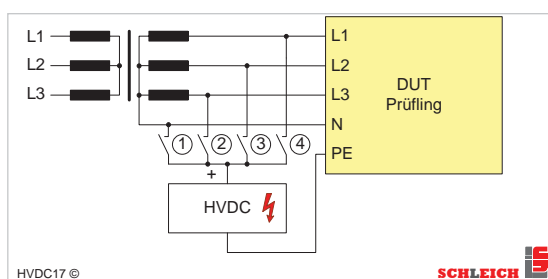
### Test 1-fazowy

Alternatywnie punkt przyłączenia wysokiego napięcia może być przełączany przez program testowy sterujący pracą przekaźnika.



### Test 1-fazowy

Jest też możliwość przeprowadzenia testu online ręcznie. Potrzebne do tego będzie specjalna listwa z wyprowadzonymi przyłączami. Po przyłożeniu sondy do odpowiedniego gniazda obwód zostanie zamknięty.



### Test 3-fazowy

Wysokie napięcie podłączane jest w czterech krokach pomiarowych do N, L1, L2 i L3. PE stanowi biegun przeciwny.

## 8.17 Sprawdzanie ciągłości połączeń na obiektach o wysokiej rezystancji

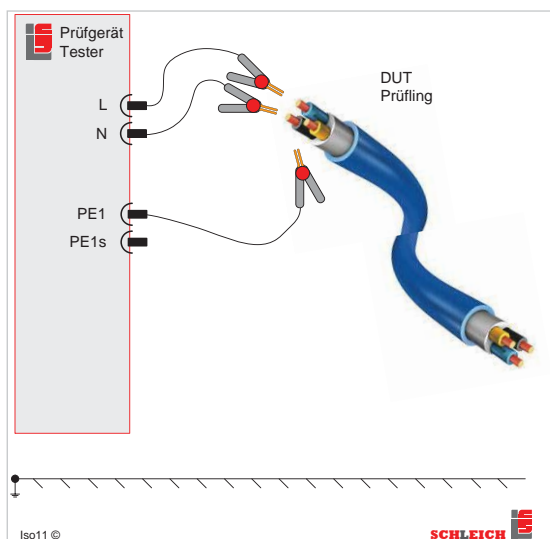


### Jak możesz się upewnić, że test został wykonany prawidłowo?

Jest to całkiem proste podczas pomiaru rezystancji przewodu PE. Jeżeli prąd płynący do PE jest zbyt niski lub nie płynie w ogóle oznacza to, że rezystancja jest nieskończona a przez to wynik testu negatywny.

Dla testu wysokim napięciem wygląda to zupełnie inaczej.

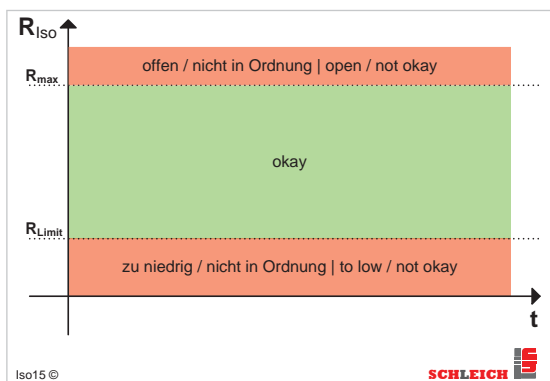
Jeżeli, któryś z przewodów pomiarowych nie zostanie podłączony prawidłowo wynik pomiaru nadal będzie pozytywny, chociaż testowany obiekt może być uszkodzony!



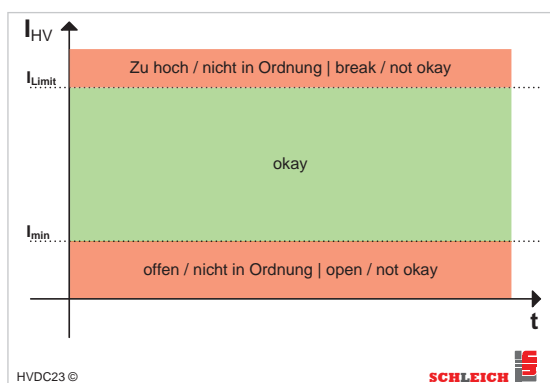
Podczas testów wykonywanych ręcznie operator może kontrolować stan przewodów pomiarowych oraz ich prawidłowe podłączenie.

Jednak gdy przewody są podłączane automatycznie muszą zostać podjęte odpowiednie środki zapobiegawcze, aby upewnić się, że test został wykonany prawidłowo.

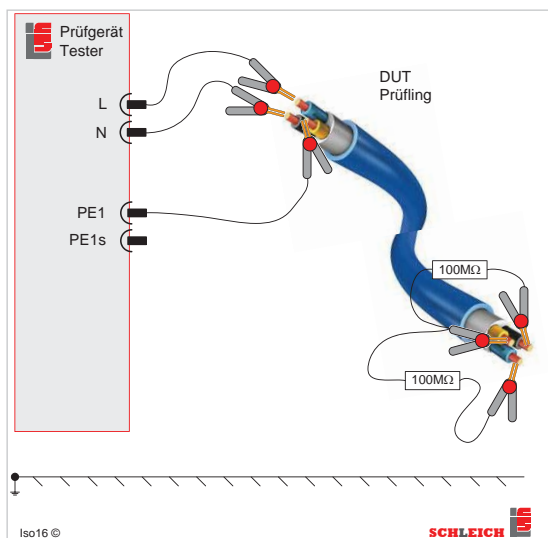
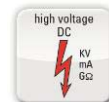
Test wykonywany automatycznie z łączeniem przewodów przez manipulator lub inne urządzenie jest szczególnie problematyczny. Pomimo wysokiej dokładności i precyzji tych maszyn. W przypadku gdy sondy pomiarowe będą uszkodzone wynik testu nadal będzie pozytywny, na skutek zerowego prądu upływu - taka sytuacja jest realna!



Może się zdarzyć, że operator „ma szczęście” i badany obiekt przedstawia typową rezystancję izolacji, która jest niższa od nieskończoności. W takich przypadkach, dla celów kontrolnych, możesz ustawić odpowiednie pasmo tolerancji. Jeśli mierzona wartość nie mieści się w paśmie wynik testu jest negatywny.

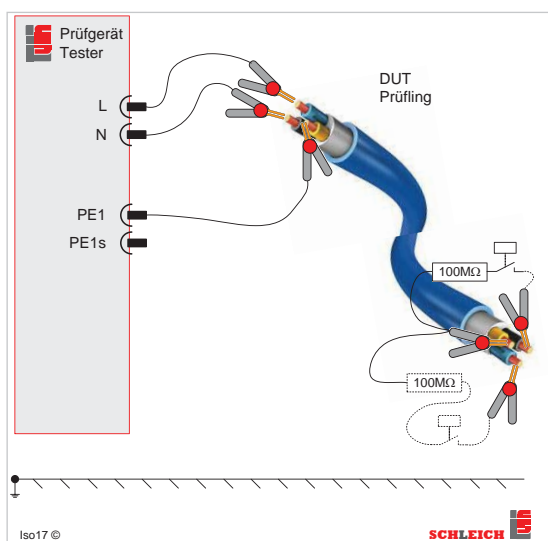


Jeżeli prąd jest za wysoki wskazuje to na wadliwą izolację, jeżeli za niski może świadczyć o uszkodzeniu zacisków pomiarowych.



Niestety taka korzystna sytuacja (z punktu widzenia operatora) zdarza się dość rzadko. W wielu przypadkach jakość izolacji jest na tyle dobra, że wykazuje podobnie wysoką wartość rezystancji co dla nie podłączonych przewodów pomiarowych (rezystancja nieskończona). Dlatego podczas testu podłącza się dodatkowe rezystory w celu sprawdzenia połączeń.

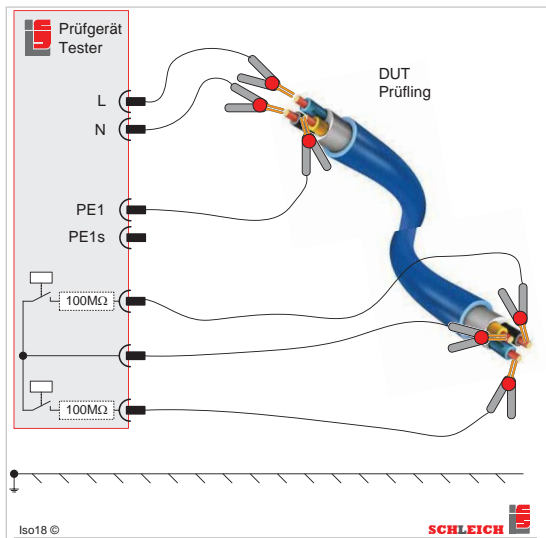
Założmy, że testowany obiekt posiada rezystancję izolacji na poziomie  $10G\Omega$ . W konfiguracji przedstawionej na rysunku wartość graniczna wynosiłaby  $R_{max} = 150M\Omega$ . Wartość minimalna jest określana przez odpowiednie normy i zwykle wynosi np.  $2M\Omega$ . W przypadku uszkodzonego zacisku/sondy pomiarowej rezystancja jest niekończona i wyraźnie wyższa niż  $150M\Omega$ . Wynik testu jest negatywny. W przypadku poprawnie podłączonego DUT oraz rezystorów wynik testu powinien wskazać wartość  $100M\Omega$ .



$10G\Omega$  rezystancja izolacji podłączona równoległe do  $100M\Omega$  rezystora wynosi około  $99M\Omega$ . A więc wynik mieści się w przyjętym paśmie tolerancji  $R_{min}$  ( $2M\Omega$ ) i  $R_{max}$  ( $150M\Omega$ ).

Jednakże, czasami wykonywanie testu z dodatkową rezystancją np.  $99M\Omega$ ,  $10G\Omega$  jest nie możliwe ze względu na wysokie wymagania postawione w normach. W branżach takich jak medycyna czy lotnictwo i kosmonautyka nawet minimalny prąd upływu może stanowić zagrożenia dlatego też zastosowanie dodatkowych rezystorów podczas testu jest niemożliwe.

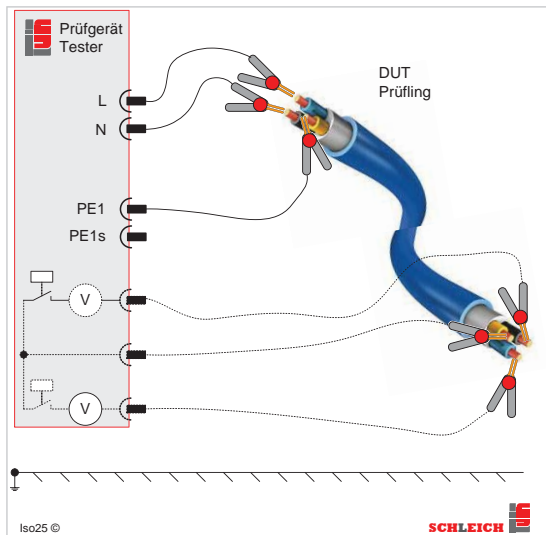
W takich przypadkach należy wykonać dwa pomiary. Pierwszy kontrolny, aby sprawdzić prawidłowe podłączenie przewodów przy użyciu dodatkowych rezystorów ( $100M\Omega$ ). Następnie po upewnieniu się, że wszystko jest w porządku wykonuje się pomiar właściwy. W tym celu tester automatycznie odłączy dwie  $100M\Omega$  rezystancje i zmierzy rzeczywisty prąd upływu jaki płynie przez DUT.



Należy się też upewnić czy rezystancje odniesienia nie zostały podłączone bezpośrednio do miejsca przyłączenia zacisków pomiarowych. W takim przypadku pomiar nie miałby sensu. Rezystory należy podłączyć po drugiej stronie DUT za pomocą osobnych przewodów. Tylko w takim przypadku prąd pomiarowy przepływa przez badane urządzenie.

Rezystancje są podłączane/odłączane automatycznie przez przekaźnik wewnątrz testera.

Do tego testu tester musi być wyposażony w opcjonalne przewody oraz elementy, które nie wchodzi w skład wyposażenia standardowego.



Drugim sposobem jest pomiar napięcia, alternatywnie do prądu upływu z dodatkowymi rezystorami.

Podczas tego testu do DUT podawane jest napięcie, a w tym samym czasie woltomierzy odczytuje wartość napięcia na drugim końcu DUT. W tym przypadku równie istotne jest aby nie podłączać zacisków woltomierzy do zacisków zasilających. Niektórzy operatorzy nazywają ten pomiar testem wysokiego napięcia metodą 4-przewodową. Dwa przewody podają napięcie, a kolejne dwa mierzą napięcie w innym miejscu.

Napięcie jest wyświetlane gdy czas pomiaru dobiegnie końca.

Do tego testu tester musi być wyposażony w opcjonalne przewody oraz elementy, które nie wchodzi w skład wyposażenia standardowego.

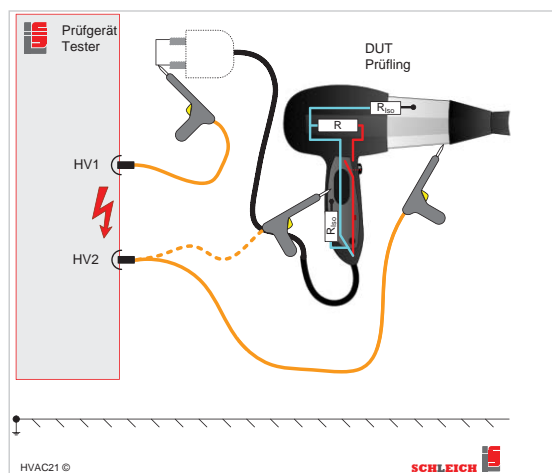


## 8.18 Przykładowe aplikację dla testu wysokim napięciem

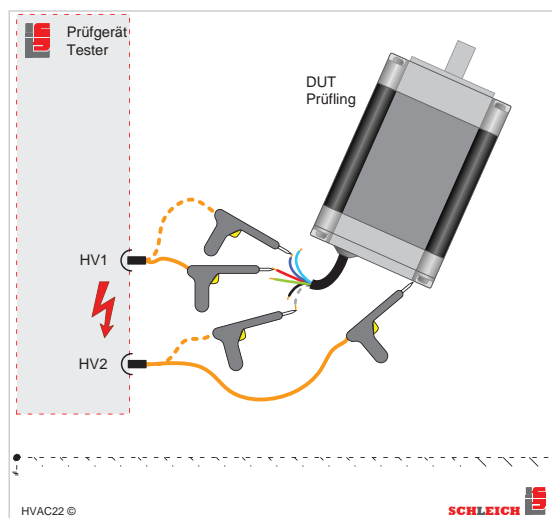
### 8.18.1 Test wykonywany ręcznie

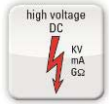
Test wysokiego napięcia jest zwykle wykonywany za pomocą bezpiecznych sond pomiarowych.

Podczas gdy jedną z sond wysokiego napięcia umieszcza się na zmostkowanych przewodach L + N, za pomocą drugiej sondy operator sprawdza wszystkie dostępne metalowe części na obudowie DUT.

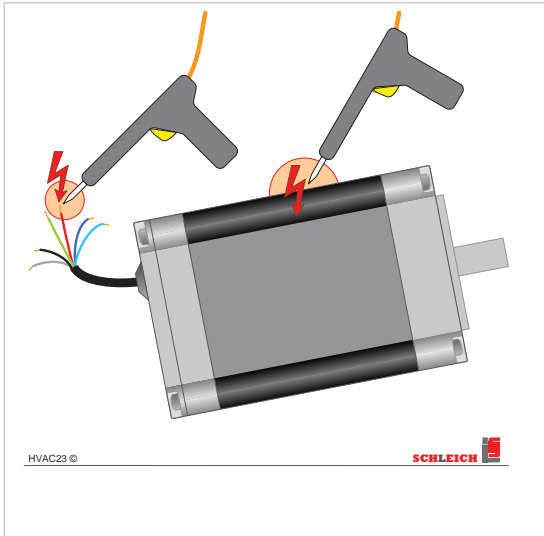


Kolejnym typowym przykładem jest silnik elektryczny. W tym przypadku wszystkie fazy testuje się do korpusu oraz osobno pomiędzy każdą z faz.





Proszę zauważyć, że wykonując test ręcznie występuje potencjalnie groźna sytuacja, w której DUT może zostać poważnie uszkodzone. Mianowicie podczas zbliżania sond pomiarowych pod napięciem mogą wystąpić niebezpieczne dla testowanego urządzenia przepięć. Kilka dziesiątych milimetra przed kontaktem sondy z DUT zaczyna się iskrzenie. W połączeniu z pojemnościami lub indukcyjnościami DUT może to doprowadzić do powstania przepięć.



Przepięcia swoją wartością znacznie przewyższają napięcie probiercze. Tak więc przedmiot badań może zostać uszkodzony. Lepiej jest podłączyć sondy pomiarowe do badanego obiektu na samym początku, a następnie rozpocząć test za pomocą przełącznika nożnego.

**Zalety:**

1. Brak przepięć
2. Czas pomiaru jest powtarzalny. Test trwa nie dłużej ani nie krócej niż było to wcześniej zaprogramowane w testerze.



Test ręczny zawsze wiąże się z problemem bezpiecznego rozładowania DUT. Po odłączeniu wysokiego napięcia pistolety należy trzymać (nie odsuwając ich) tak długo, aż napięcie spadnie do bezpiecznej wartości. Gwarantuje to prawidłowe rozładowanie urządzenia.

Zaleca się też zwarcie testowanych przewodów po wykonaniu testu, aby mieć pewność, że badany obiekt jest w pełni rozładowany. (Patrz rozdział 6.4 Rozładowanie DUT!)

## 8.19 Zestaw kalibracyjny „black box”

Niezwykle ważne jest, aby testy bezpieczeństwa wykonywane były w sposób wiarygodny. Błąd pomiarowy należy ograniczyć do minimum.

### Kiedy może się zdarzyć taka awaria?

Błąd może np. wystąpić kiedy styki badanego urządzenia są uszkodzone lub przewód zasilający DUT jest przerwany.

Testery SCHLEICH wykrywają takie błędy automatycznie. Jednakże należy wykonywać regularną kalibrację sprzętu, aby mieć pewność, że wszystko działa prawidłowo. Takie pomiary kalibracyjne nazywane są testem black box lub też dummy test.

Black box zbudowany jest z precyzyjnych rezystorów o wysokiej stabilności, które służą do sprawdzenia obwodów pomiarowych kalibrowanego urządzenia.

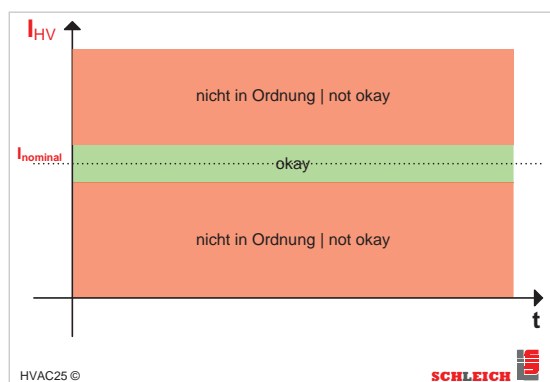
Do kalibracji testu wysokiego napięcia oraz rezystancji izolacji często wykorzystuje się rezystancję odniesienia 2MΩ. Każdy black box posiada osobny dokument kalibracyjny potwierdzający jego parametry. Znajduje się tam też informacja o dokładnej wartości rezystancji kalibratora. Dzięki czemu łatwo można porównać wartość zmierzoną z wartością odniesienia.

Poniższe zdjęcia przedstawiają przykładowe black boxy. Na zdjęciach znajdują się modułowe black boxy do testów rezystancji PE, wysokiego napięcia i izolacji rezystancji.



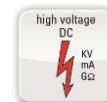
### 8.19.1 Zestaw kalibracyjny „black box” - ± limit tolerancji pomiarowej

Podczas pomiaru kalibracyjnego wartość rezystancji musi być mierzona z bardzo dużą dokładnością w wąskim zakresie tolerancji!



W przypadku, gdy limit zostanie przekroczony tester zostanie automatycznie zablokowany, aby uniemożliwić wykonywanie dalszych testów. Dopiero po usunięciu przyczyny awarii i ponownej kalibracji blokada zostanie zniesiona.

Niektórzy klienci nie akceptują tej metody pomiaru. Wymagają aby zostały dostarczone dwa osobne kalibratory, jeden dla wyniku pozytywnego oraz drugi dla wyniku negatywnego.



## 8.19.2 Zestaw kalibracyjny „black box” - test pozytywny/negatywny

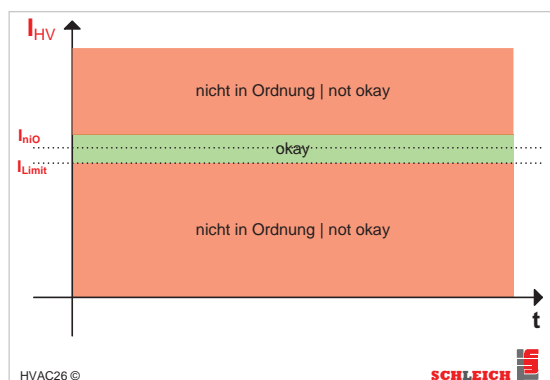
Ten rodzaj kalibracji jest podzielony na dwa etapy.

W pierwszym etapie tester powinien wyświetlić wynik negatywny. W drugi wynik pozytywny.

Służy do tego specjalny black box zbudowany z dwóch osobnych rezystorów. Obie rezystancje mogą być zabudowane w jednej obudowie lub też znajdować się w dwóch osobnych obudowach. Jeżeli tester nie wyświetli prawidłowych wyników uruchomi się tryb blokady, która może być zdjęta dopiero przez ponowny, poprawny pomiar podczas kolejnej kalibracji.

### 1. Wynik negatywny

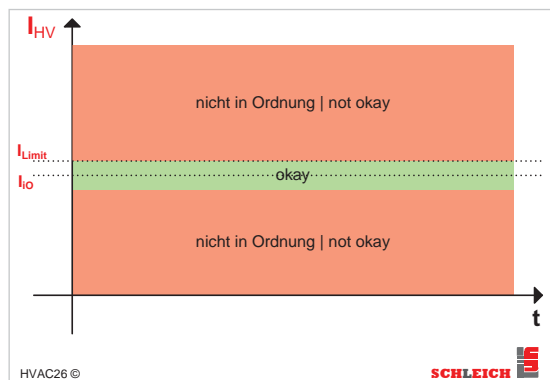
Przed testem należy określić limit prądów upływu np. 2mA. Badaną rezystancję podłącza się do testera, co spowoduje przepływ prądu nieco powyżej limitu.



Jeżeli tester działa poprawnie wykryje zbyt wysoki prąd i wyświetli wynik negatywny. Jednakże wartość graniczna dla prądu nie może być zbyt wysoka! W przeciwnym wypadku zwarcie w przewodzie zasilającym lub uszkodzenie styków może nie zostać wykryte.

### 2. Wynik pozytywny

Badaną rezystancję podłącza się do testera, co spowoduje przepływ prądu nieco poniżej limitu.



Jeżeli tester działa poprawnie wyświetli wynik pozytywny. Jednakże wartość graniczna dla prądu nie może być zbyt niska! W przeciwnym przypadku przerwa w przewodzie zasilającym lub uszkodzenie styków może nie zostać wykryte.

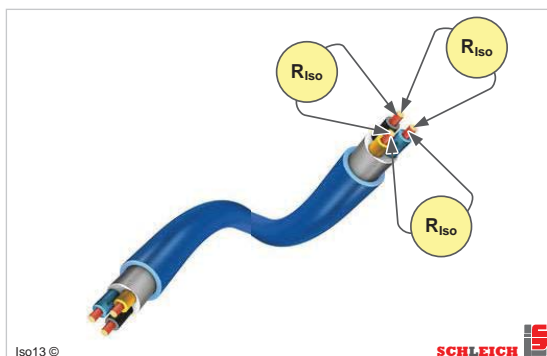
---

## Test rezystancji izolacji



## 9. Normatywny test rezystancji izolacji

### 9.1 Informacje na temat testu rezystancji izolacji

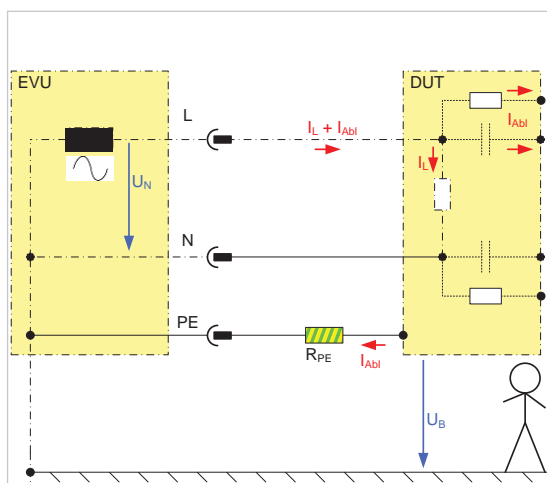


Test rezystancji izolacji wykonuje się na urządzeniach o klasie ochronności I i II. Urządzenia klasy I posiadają przyłącze do przewodu ochronnego PE lub przewodu neutralno-ochronnego PEN. Urządzenia klasy II posiadają wzmocnioną izolację zapewniającą ochronę przed dotykiem bezpośrednim oraz pośrednim. Urządzenia klasy II nie posiadają przewodu ochronnego.

Urządzenie II klasy ochronności są oznaczone tym symbolem. □

Test ma na celu weryfikację wytrzymałości elektrycznej izolacji na napięcie próby, którego wartość jest określona przez odpowiednie normy. Podczas testu mierzone są prądy upływu, które mogą pojawić się pomiędzy przewodami zasilającymi lub przewodem fazowym i przewodem ochronnym.

Sąsiednie zdjęcia ilustrują test rezystancji izolacji przeprowadzany międzyfazowo oraz pomiędzy przewodem fazowym i przewodem PE.



Jeżeli wartość rezystancji izolacji jest zbyt niska (w tym przypadku przewód PE prawdopodobnie również jest uszkodzony) na odsłoniętych, metalowych częściach obudowy może pojawić się niebezpiecznie wysoki prąd dotykowy. Prąd dotykowy to prąd płynący od metalowych części na obudowie, na których utrzymuje się napięcie, przez osobę porażoną do potencjału Ziemi.

Szczególnie w urządzeniach o klasie ochronności II istnieje wysokie niebezpieczeństwo porażenia ze względu na brak przewodu PE.

#### Definicje

EVU: dostawca energii elektrycznej (elektrownia)

DUT: urządzenie poddane testom (obiekt testowy)

I L: prąd fazowy

I ABL: prąd upływu

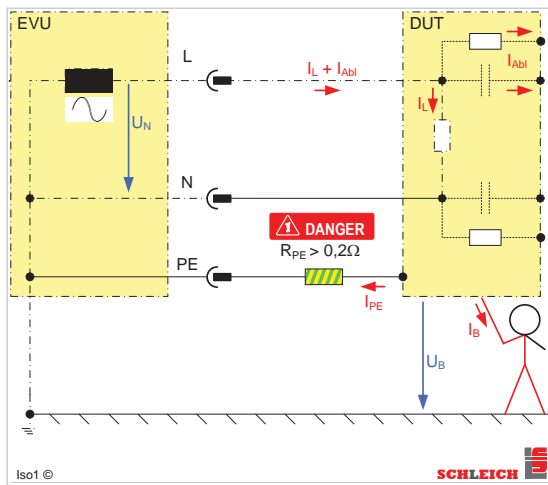
U N: napięcie sieci

R PE: rezystancja żyły PE

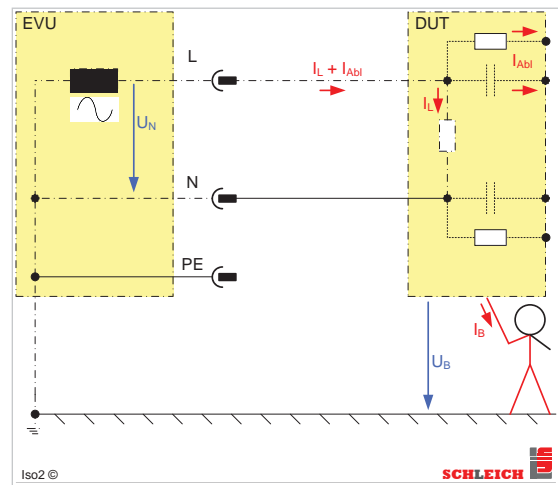
U B: ewentualnie występujące napięcie dotykowe



Jeśli ciągłość przewodów PE nie jest zachowana, na obudowie urządzenia może pojawić się niebezpiecznie wysokie napięcie. W przypadku dotknięcia znajdujących się pod napięciem metalowych części obudowy może nastąpić porażenie elektryczne na skutek przepływu prądu, przez porażoną osobę, do potencjału Ziemi.



Ilustracja obrazuje sytuację, w której występują niebezpiecznie wysokie prądy upływu na urządzeniu o klasie ochronności I ze względu na zbyt wysoką rezystancję przewodu PE.



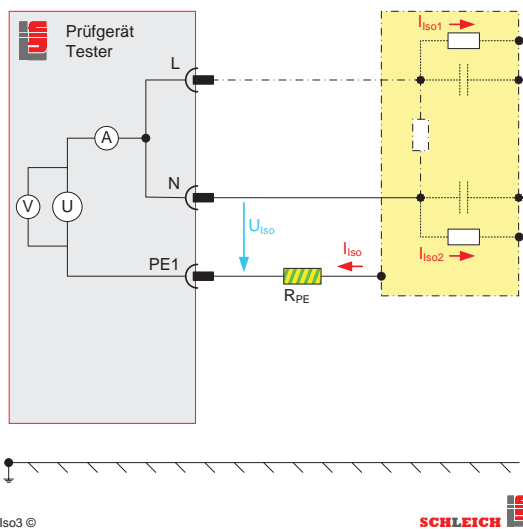
Ilustracja przedstawia sytuację, w której występują niebezpiecznie wysokie prądy upływu na urządzeniu o klasie ochronności II.



Podczas testu rezystancji izolacji do badanego obiektu podłącza się napięcie probiercze. Napięcie wynosi zwykle 500VDC. Na ogół podczas tego testu przewody fazowe są mostkowane ze sobą a zaciski pomiarowe podłącza się pomiędzy zmostkowane przewody i przewód ochronny PE.

Poziom napięcia probierczego jest definiowany przez określone normy. Wykonując test ustaw wartość zadaną zgodnie z obowiązującymi normami.

Pod wpływem przyłożonego napięcia przez rezystancję izolacji płyną prądy upływu. Rezystancja izolacji jest na bieżąco obliczana, na podstawie zmierzonych prądów upływu oraz zadanego napięcia.



Jeżeli, jak pokazano na rysunku, przewody są zmostkowane, całkowity prąd upływu do PE jest wynikiem wszystkich podłączonych równolegle rezystancji.

Ponieważ test jest wykonywany napięciem stałym DC pojemności pasożytnicze izolacji nie mają żadnego wpływu na wynik. Mierzona jest jedynie składowa czynna rezystancji izolacji, bez składowej pojemnościowej.

Jeżeli pojemność dielektryka jest wysoka należy odczekać pewien czas na początku testu, aż prąd ładowania pojemności ustanie a wartość rezystancji ustabilizuje się. Może to zabrać kilka sekund ponieważ prąd podczas testu rezystancji izolacji jest zwykle ograniczony do maks. 3mA, ze względu na przepisy bezpieczeństwa.



## 9.2 Typowe wartości dopuszczalne podczas testu rezystancji izolacji



Zwykle wartość graniczną dla testu rezystancji izolacji ustala się na poziomie 2MΩ.

**UWAGA** - jest to tylko proponowana wartość! Wykonując test upewnij się czy jest wykonywany zgodnie z normą!

Wszystkie zmierzone wartości, które znajdują się w zakresie od  $\infty$  (nieskończoności) do R limit (wartości granicznej) uznaje się za akceptowalne. Limit nie może zostać przekroczony podczas trwania całego testu!

Na ogół napięcie próby wynosi 500V. Jednakże w niektórych przypadkach test wykonywany jest przy wyższych poziomach napięć, nawet do 1000V.

**UWAGA** - jest to tylko proponowana wartość! Wykonując test upewnij się czy test wykonywany jest zgodnie z normą!

Izolację odznaczającą się wysoką rezystancją testuje się wyższym napięciem, ponieważ podwyższa to wartość prądów upływu oraz zmniejsza błąd pomiarowy.

Opierając się na poniższym przykładzie można to wyjaśnić w bardzo prosty sposób:

Napięcie testowe: 500 V

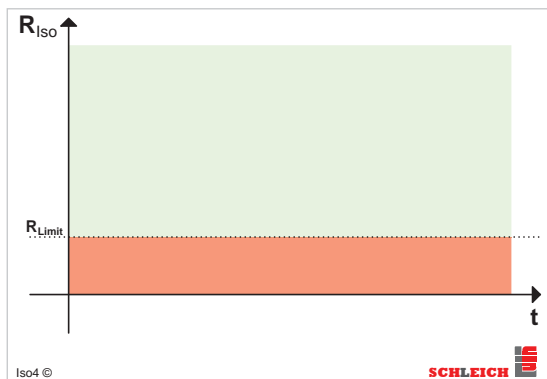
Rezystancja izolacji: 100MΩ

Tak więc prąd wyniesie:  $I = U / R \Rightarrow 0,000005A \Rightarrow 5\mu A$  (5 milionowych ampera)!

Jak widać, mierzony prąd jest bardzo mały. Z tego powodu, dokładny pomiar rezystancji izolacji powyżej 1 GΩ jest dość skomplikowany. Aby móc skutecznie i powtarzalnie mierzyć wysokie rezystancje SCHLEICH oferuje specjalne przewody pomiarowe oraz dostosowane do tego celu układy pomiarowe. Czas pomiaru przeważnie wynosi 1 sekundę.



**UWAGA** - jest to tylko proponowana wartość! Wykonując test upewnij się czy jest wykonywany zgodnie z normą!







## 9.3 Wpływ temperatury na pomiar rezystancji izolacji

Wpływ temperatury na wynik pomiaru może być znaczący! Wraz ze wzrostem temperatury wartość rezystancji spada. Należy to wziąć pod uwagę wykonując test. Z tego powodu temperatura jest kompensowana do 40°C. Oznacza to, że wartość rezystancji zmierzona w panującej podczas testu temperaturze otoczenia jest przeliczana do wartości jaką rezystancja osiągnęłaby w temperaturze 40°C.

Rezystancja jest wyliczana z poniższego wzoru (według normy IEEE Std 43-2000):

$$R_c = K_t * R_t$$

R<sub>c</sub> = skompensowana wartość rezystancji  
 K<sub>t</sub> = współczynnik korekcyjny (współczynnik rezystancji izolacji)  
 R<sub>t</sub> = rezystancja zmierzona  
 t = temperatura, w której R<sub>t</sub> jest mierzona

Wzór na współczynnik korekcyjny:

$$K_t = 0,5 \frac{40-t}{10}$$

Przykład:

Aktualna temperatura wynosi 30 °C K<sub>t</sub> = 0,5 (40-30) / 10 = 0,5 oznacza to, że rezystancja izolacji mierzona w 40 °C będzie o połowę niższa!

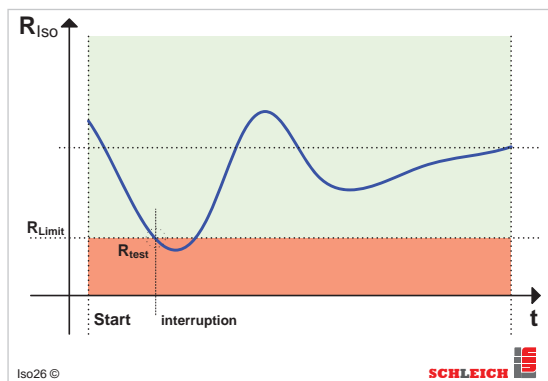
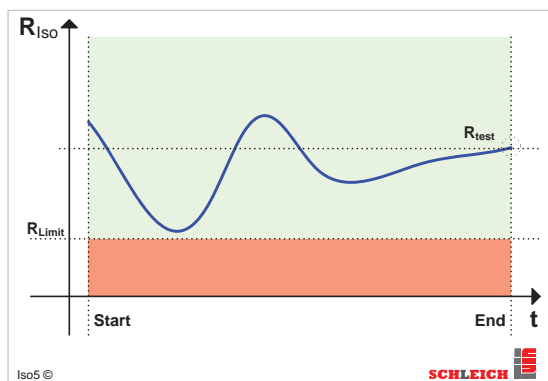
Aktualna temperatura wynosi 60 °C K<sub>t</sub> = 0,5 (40-60) / 10 = 4 oznacza to, że rezystancja izolacji mierzona w 40 °C będzie 4 krotnie wyższa!



## 9.4 Jaka wartość jest mierzona i wyświetlana?

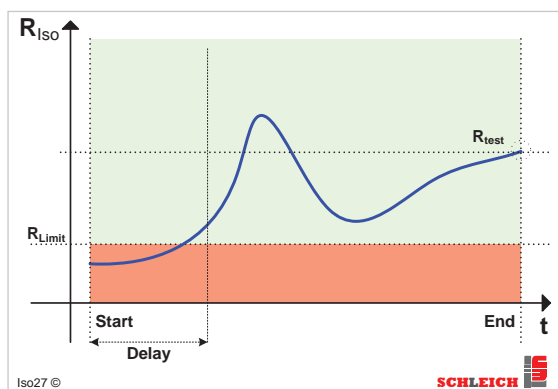


Duże wahania wartości mierzonej nie mają znaczenia. Po upływie ustawionego czasu pomiaru zmierzona wartość rezystancji jest przeliczana i przedstawiana na wyświetlaczu testera. Zmierzona rezystancja musi być większa lub równa minimalnej dopuszczalnej wartości granicznej (R Limit).



Na sąsiednim wykresie zaprezentowano przykład sytuacji teoretycznie niemożliwej. W przypadku naruszenia limitu tester automatycznie przerwałby test.

Jednak może się zdarzyć, że DUT przekracza ustanowiony limit, zwłaszcza w początkowej fazie pomiaru. Dzieje się tak, gdy badany obiekt ma charakter pojemnościowy i w początkowej fazie testu płynie dość wysoki prąd ładujący pojemność.

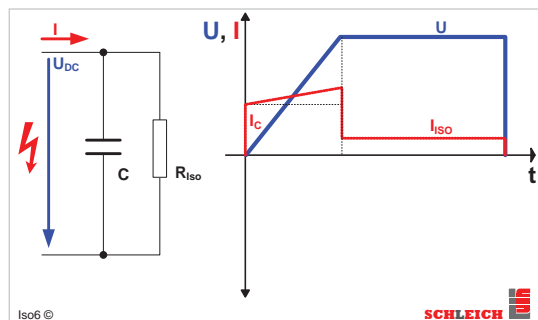


W takich przypadkach można skorzystać z opcji opóźnienia pomiaru. W ustanowionym przez użytkownika czasie napięcie jest podawane na obiekt badany, a układ pomiarowy jest wyłączony. Pomiar rozpoczyna się po wyznaczonym czasie zwłoki.



## 9.5 Test rezystancji izolacji na obiekcie o charakterze pojemnościowym

W teorii test DC jest przeprowadzany na obiektach o charakterze pojemnościowo-rezystancyjnym. Obiekt RC jest wyidealizowanym przypadkiem obiektu badanego.

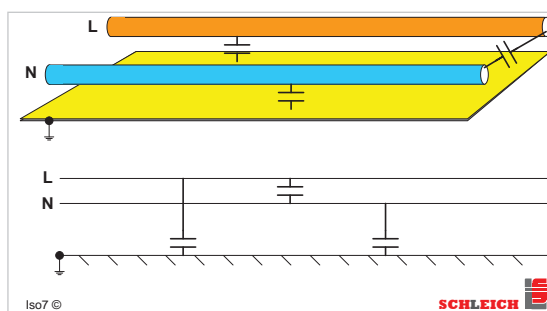


### Dlaczego?

Badany obiekt cechuje pewna rezystancja izolacji pomiędzy punktami, do których przykładane jest napięcie. Na sąsiednim schemacie zastępczym jest to rezystancja  $R_{iso}$ . Na ogół jej wartość jest bardzo wysoka i wynosi kilkaset MOhm i więcej. Dodatkowo DUT posiada również pojemność pomiędzy testowanymi punktami. Pojemności pojawiają się pomiędzy sondami pomiarowymi jak i pomiędzy sondami i obudową. Zwykle większa pojemność występuje pomiędzy sondami i obudową.

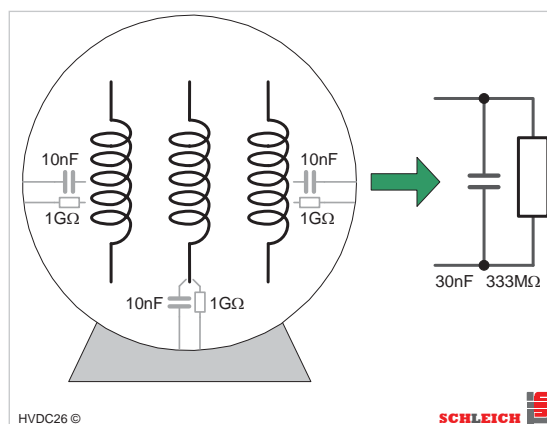
Prąd ładowania płynie do pojemności podczas załączania lub zwiększania napięcia probierczego. Kiedy napięcie ustabilizuje się prąd ładowania przestaje płynąć. Płynie jedynie prąd upływu o charakterze czysto rezystancyjnym  $R_{iso}$ .

Stały prąd pojemnościowy płynie również podczas liniowego wzrostu napięcia w formie rampy. Podczas fazy „ładowania” dodatkowo na prąd pojemnościowy nakładają się prądy upływu izolacji. Ich wartość zwiększa się proporcjonalnie do wzrostu napięcia. Pod koniec fazy „ładowania” prąd pojemnościowy zanika.



Z powyżej opisanych zjawisk jednoznacznie wynika, że test rezystancji izolacji, na obiektach o charakterze pojemnościowym, nie może zostać przeprowadzony natychmiastowo. Należy odczekać pewien czas, aż do zaniku pojemnościowego prądu upływu. Tylko po tym czasie rezystancja izolacji może zostać zmierzona właściwie. Pomiar wykonany zbyt szybko wskaże zaniżoną wartość rezystancji.

Pojemności występują pomiędzy izolowanymi, metalowymi elementami silnika. Im większa jest powierzchnia (np. korpus, przekrój przewodów itp.) lub/ oraz im mniejsza jest odległość pomiędzy nimi, tym większy ładunek elektryczny mogą zgromadzić. Gabaryty silnika znacząco wpływają na prąd upływu.



Pojemności zwykle pojawiają się pomiędzy pojedynczymi uzwojeniami wewnątrz DUT oraz pomiędzy uzwojeniami i obudową. Duże znaczenie ma też rozmieszczenie zewojów wewnątrz badanego urządzenia.



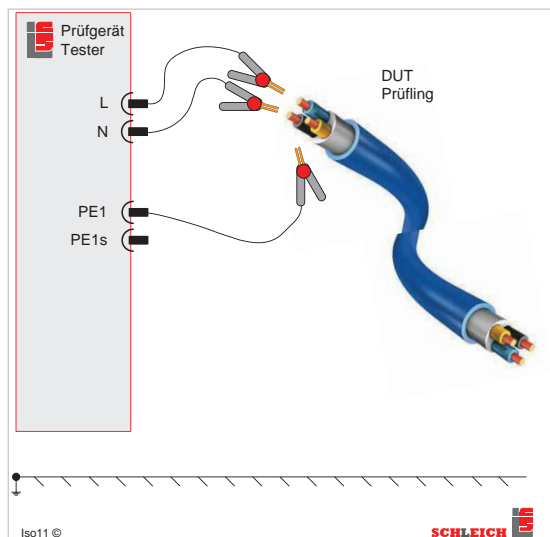
## 9.6 Sprawdzanie ciągłości połączeń na obiektach o wysokiej rezystancji

### Jak możesz się upewnić, że test został wykonany prawidłowo?

Jest to całkiem proste, podczas pomiaru rezystancji przewodu PE. Jeżeli prąd płynący do PE jest zbyt niski lub nie płynie w ogóle oznacza to, że rezystancja jest nieskończona a przez to wynik testu negatywny.

Dla testu rezystancji izolacji wygląda to zupełnie inaczej.

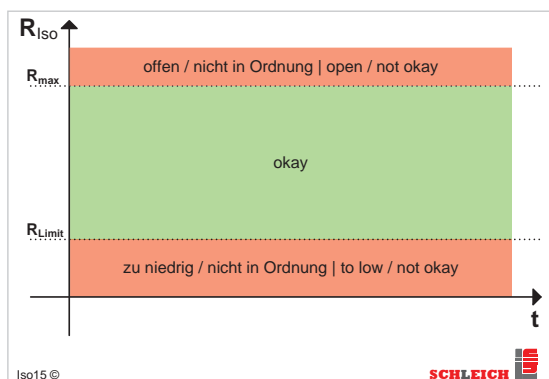
Jeżeli, któryś z przewodów pomiarowych nie zostanie podłączony prawidłowo wynik pomiaru nadal będzie pozytywny, chociaż testowany obiekt może być uszkodzony!



Podczas testów wykonywanych ręcznie operator może kontrolować stan przewodów pomiarowych oraz ich prawidłowe podłączenie.

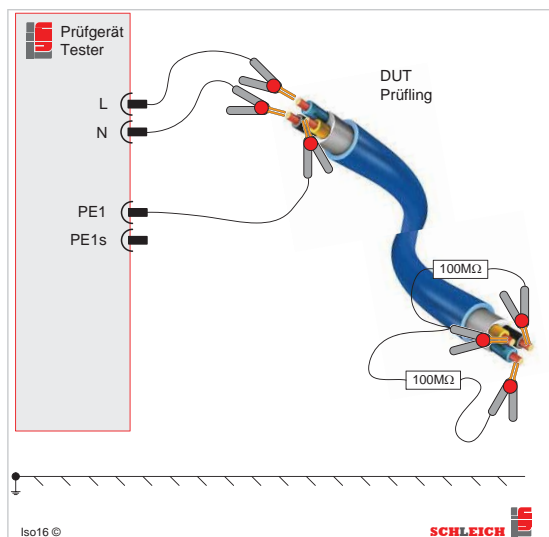
Jednak gdy przewody są podłączane automatycznie muszą zostać podjęte odpowiednie środki zapobiegawcze, aby upewnić się, że test został wykonany prawidłowo.

Test wykonywany automatycznie z łączeniem przewodów przez manipulator lub inne urządzenie jest szczególnie problematyczny. Pomimo wysokiej dokładności i precyzji tych maszyn. W przypadku gdy sondy pomiarowe będą uszkodzone wynik testu nadal będzie pozytywny, na skutek zerowego prądu upływu - taka sytuacja jest realna!



Może się zdarzyć, że operator „ma szczęście” i badany obiekt przedstawia typową rezystancję izolacji, która jest niższa od nieskończoności. W takich przypadkach, dla celów kontrolnych, możesz ustawić odpowiednie pasmo tolerancji. Jeśli mierzona wartość nie mieści się w paśmie wynik testu jest negatywny.

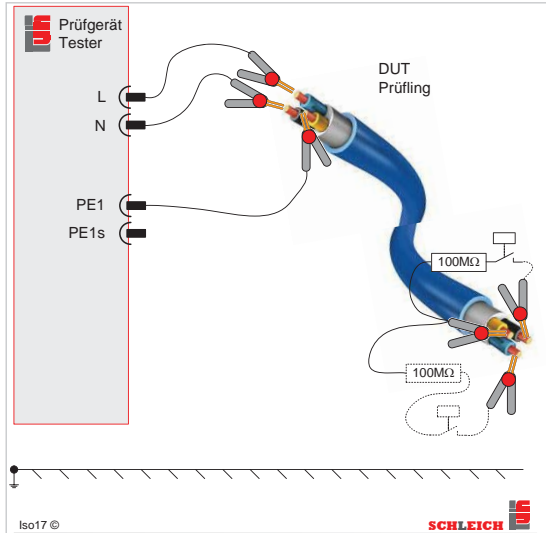
Jeżeli prąd jest za wysoki wskazuje to na wadliwą izolację, jeżeli za niski może świadczyć o uszkodzeniu zacisków pomiarowych.



Niestety taka korzystna sytuacja (z punktu widzenia operatora) zdarza się dość rzadko. W wielu przypadkach jakość izolacji jest na tyle dobra, że wykazuje podobnie wysoką wartość rezystancji co dla niepodłączonych przewodów pomiarowych (rezystancja nieskończona). Dlatego podczas testu podłącza się dodatkowe rezystory w celu sprawdzenia połączeń.

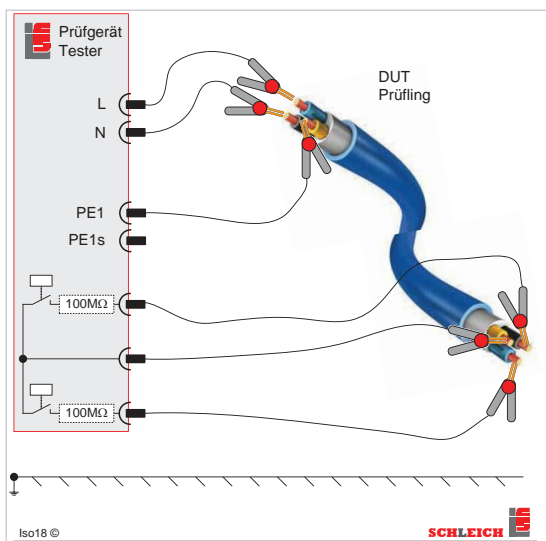


Żałujemy, że testowany obiekt posiada rezystancję izolacji na poziomie 10GΩ. W konfiguracji przedstawionej na rysunku wartość graniczna wynosiłaby  $R_{max} = 150M\Omega$ . Wartość minimalna jest określana przez odpowiednie normy i zwykle wynosi np 2MΩ. W przypadku uszkodzonego zacisku/sondy pomiarowej rezystancja jest niekończona i wyraźnie wyższa niż 150MΩ. Wynik testu jest negatywny. W przypadku poprawnie podłączonego DUT oraz rezystorów wynik testu powinien wskazać wartość 100MΩ.



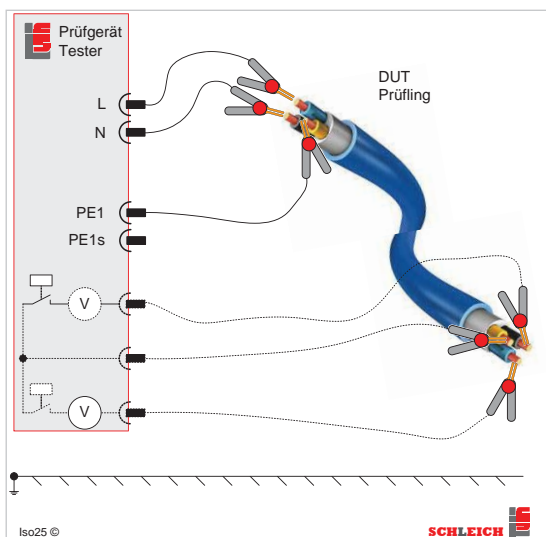
10GΩ rezystancja izolacji podłączona równoległe do 100MΩ rezystora wynosi około 99MΩ. A więc wynik mieści się w przyjętym paśmie tolerancji R min (2MΩ) i R max (150MΩ).

Jednakże, czasami wykonywanie testu z dodatkową rezystancją np. 99MΩ, 10GΩ jest nie możliwe ze względu na wysokie wymagania postawione w normach. W branżach takich jak medycyna czy lotnictwo i kosmonautyka nawet minimalny prąd upływu może stanowić zagrożenia dlatego też zastosowanie dodatkowych rezystorów podczas testu jest niemożliwe.



W takich przypadkach należy wykonać dwa pomiary. Pierwszy kontrolny, aby sprawdzić prawidłowe podłączenie przewodów przy użyciu dodatkowych rezystorów (100MΩ). Następnie po upewnieniu się, że wszystko jest w porządku wykonuje się pomiar właściwy. W tym celu tester automatycznie odłączy dwie 100MΩ rezystancje i zmierzy rzeczywisty prąd upływu jaki płynie przez DUT.

Należy się też upewnić czy rezystancje odniesienia nie zostały podłączone bezpośrednio do miejsca przyłączenia zacisków pomiarowych. W takim przypadku pomiar nie miałby sensu. Rezystory należy podłączyć po drugiej stronie DUT za pomocą osobnych przewodów. Tylko w takim przypadku prąd pomiarowy przepływa przez badane urządzenie.



Rezystancje są podłączane/odłączane automatycznie przez przełącznik wewnątrz testera.

Do tego testu tester musi być wyposażony w opcjonalne przewody oraz elementy, które nie wchodzi w skład wyposażenia standardowego.

Drugim sposobem jest pomiar napięcia, alternatywnie do prądu upływu z dodatkowymi rezystorami.

Podczas tego testu do DUT podawane jest napięcie, a w tym samym czasie układ woltomierzy odczytuje wartość napięcia na drugim końcu DUT. W tym przypadku również istotne jest aby nie podłączać zacisków woltomierzy do zacisków zasilających. Niektórzy operatorzy nazywają ten pomiar testem wysokiego napięcia metodą 4-przewodową. Dwa przewody podają napięcie, a kolejne dwa mierzą napięcie w innym miejscu.

Napięcie jest wyświetlane gdy czas pomiaru dobiegnie końca.

Do tego testu tester musi być wyposażony w opcjonalne przewody oraz elementy, które nie wchodzi w skład wyposażenia standardowego.

Podczas testu nie należy dotykać obiektu badanego i przewodów pomiarowych!

Podczas testu należy przestrzegać przepisów bezpieczeństwa!



## 9.7 Test rezystancji izolacji Online



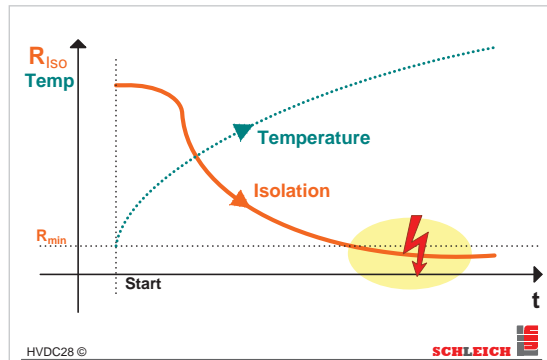
Test rezystancji izolacji można też wykonać w warunkach gdy temperatura uzwojeń osiągnie swoją znamionową temperaturę pracy.

UWAGA! Ten rodzaj testu IR może być wykonany tylko przez testery przystosowane do tego celu!

### Co oznacza termin - test rezystancji izolacji Online?

Oznacza to, że podczas tego testu badane urządzenie jest zasilane napięciem znamionowym, roboczym. Zatem obiekt badany działa, funkcjonuje podczas gdy tester wykonuje test izolacji rezystancji do obudowy. Dlatego też nazwa testu zawiera słowo „online” co oznacza test pod napięciem zasilającym. W angielskiej literaturze funkcjonuje też pojęcie „warm insulation resistance test” co podkreśla fakt, że uzwojenia są nagrzane do temperatury pracy. Niemniej jednak obydwa terminy znaczą to samo.

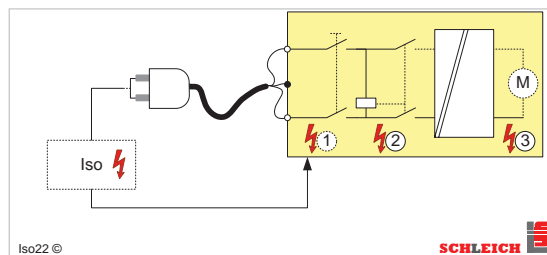
UWAGA! Podczas testów rezystancji izolacji nie podłączać silnika do elektrycznej sieci zasilającej! DUT jest zasilane napięciem roboczym oraz napięciem probierczym wyłącznie za pośrednictwem testera!



### Dla jakich aplikacji stosuje się ten rodzaj testu?

1. Istnieją urządzenia, których rezystancja izolacji zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury. Rezystancję izolacji DUT może wynosić 2GΩ „na zimno”, a po rozgrzaniu już tylko 5MΩ! Typowym przykładem jest grzejnik rurowy. Ten rodzaj grzejników jest szeroko stosowany w podgrzewaczach, ekspresach do kawy lub do ogrzewania wody w pralkach.

2. Istnieją też urządzenia, których części użytkowe rozszerzają się pod wpływem temperatury. Dlatego też, prądy upływu mogą rosnąć i zmieniać się pod wpływem rozszerzania się części przewodzących, aż w końcu przekroczą limit postawiony w normie.

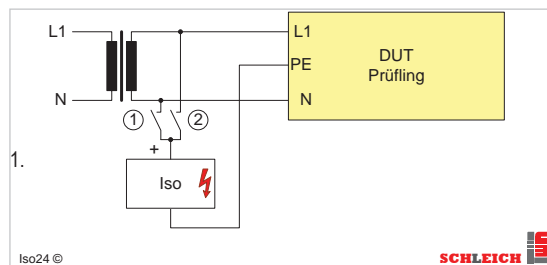


3. Wreszcie są też urządzenia o dość skomplikowanej budowie, jak na przykład pralki, z wieloma wewnętrznymi obwodami. W takim przypadku wykonując test rezystancji izolacji z zewnątrz nie uda się przetestować wszystkich elementów wewnętrznych pralki, w najlepszym przypadku tylko obwody wejściowe. Styki instalacji grzewczych, silników itp. pozostaną otwarte, i przez co nie zostaną poddane testom. Dokładnie taka sytuacja została przedstawiona na pobliskim schemacie.

1. Test jest wykonywany do tego punktu bez podjęcia dodatkowych kroków
2. Test może zostać wykonany do tego punktu tylko po włączeniu głównego wyłącznika.
3. Test w tym miejscu nie może być wykonany ponieważ napięcie sieci jest odłączone.

Układy elektroniczne wewnątrz pralki rozłączają silnik przez co nie uda się sprawdzić rezystancji izolacji w tym punkcie! W takiej sytuacji jedynym sposobem, aby przeprowadzić test jest zasilanie pralki napięciem roboczym.

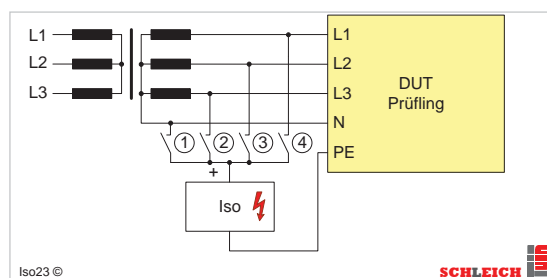
Test rezystancji izolacji online jest, oczywiście, możliwy tylko gdy urządzenie jest odłączone od sieci. W przeciwnym razie wysokie napięcie wróciłoby do sieci. Transformator separacyjny gwarantuje separację galwaniczną.



### Test 1-fazowy

Test przeprowadza się w dwóch krokach:

- N do PE
- L do PE



### Test 3-fazowy

Test wykonuje się w czterech następujących po sobie krokach:

- N do PE
- L1 do PE
- L2 do PE
- L3 do PE



## 9.8 Błędy podczas testu rezystancji izolacji spowodowane kondensacją

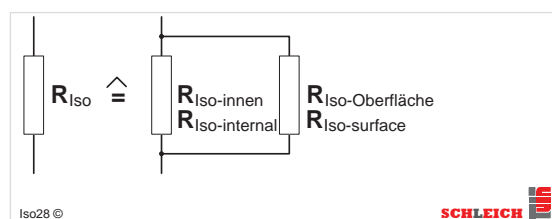
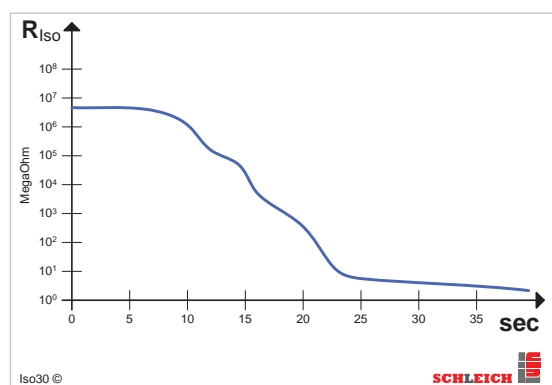
Zjawisko kondensacji należy wziąć pod uwagę zwłaszcza podczas pomiaru wysokiej rezystancji (większych niż 1 GΩ).

### Kiedy kondensacja występuje na DUT?

Podczas szybkich zmian z zimnego, suchego środowiska na wilgotne, cieplejsze powstaje skroplina, która może osadzać się na badanym urządzeniu. Każdy zapewne pamięta sytuację gdy okulary „zaparowały”. Gdy zimą wejdiesz z zewnątrz do ogrzewanego pomieszczenia na okularach osadzi się skroplina. Takie samo zjawisko oddziałuje na DUT.

Wilgoć może spowodować dwa niekorzystne efekty:

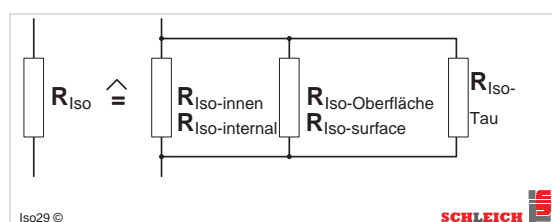
1. Może znacznie obniżyć rezystancję powierzchniową DUT.
2. Może doprowadzić do zwarcia pomiędzy stykami elektrycznymi.



Całkowita rezystancja badanego obiektu składa się z co najmniej dwóch połączonych ze sobą rezystorów.

Są to:

1. Rezystancja izolacji elektrycznej (na przykład izolującego tworzywa sztucznego)
2. Rezystancja powierzchniowa na powierzchni DUT



Rezystancja powierzchniowa jest zwykle bardzo wysoka. Między innymi zależy od odległości pomiędzy przewodami elektrycznymi. Jednakże, ze względu na kondensację jest znacznie obniżona.

Efekt kondensacji należy rozpatrywać w szczególności dla dużych obiektów, jak na przykład silnik elektryczny otwarty. Silnikami otwartymi są silniki prądu stałego lub silniki pierścieniowe. W tego rodzaju silnikach połączenia elektryczne nie są izolowane, tak więc, woda kondensacyjna może skraplać się bezpośrednio na połączeniach elektrycznych. Gdy na przykład w chłodnej porze roku ten rodzaj silnika elektrycznego przetransportujemy z zimnego magazynu do ogrzewanej hali produkcyjnej kondensacja zajdzie prawie na pewno. Pomiar rezystancji izolacji w tych okolicznościach nie jest najlepszym pomysłem. Wyświetlane wartości rezystancji będą zaniżone. Ponadto może pojawić się iskrzenie.

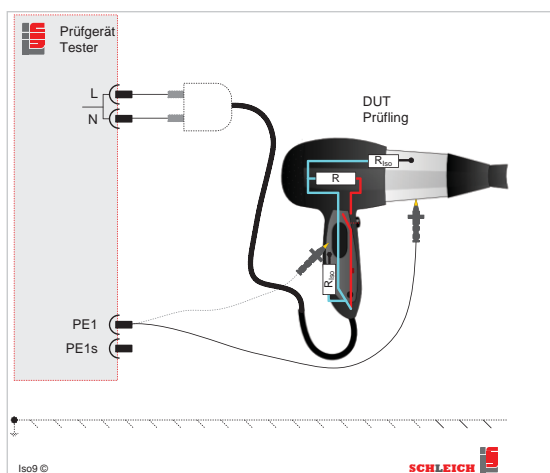


## 9.9 Przykładowe aplikacje dla testu rezystancji izolacji

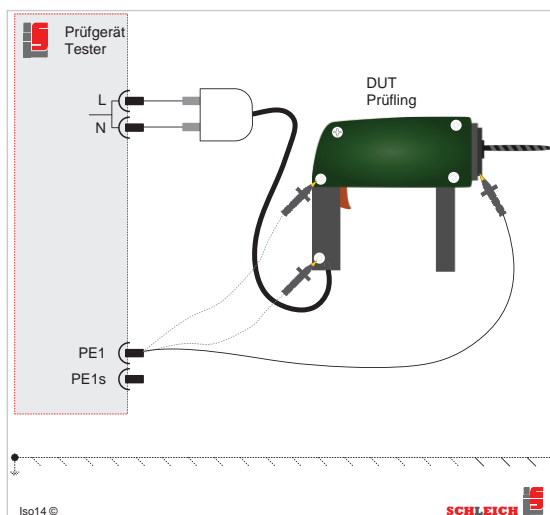
### 9.9.1 Test ręczny na obiektach o klasie ochronności II

Test rezystancji izolacji może być wykonany za pomocą sondy PE, pod warunkiem wprowadzenia odpowiednich ustawień.

Podczas testu jeden biegun jest podłączany do zmostkowanych przewodów L + N. Drugi biegun stanowi sonda pomiarowa PE, której iglice operator może przyłożyć do każdego miejsca na obudowie. Tym samym wszystkie dostępne, metalowe części na obudowie DUT, które mogą być pod napięciem z powodu usterki produkcyjnej, można łatwo sprawdzić.



Kolejnym typowym przykładem jest wiertarka. Wszystkie metalowe śruby na obudowie są sprawdzane pod względem odporności na przebicie (rezystancji izolacji).

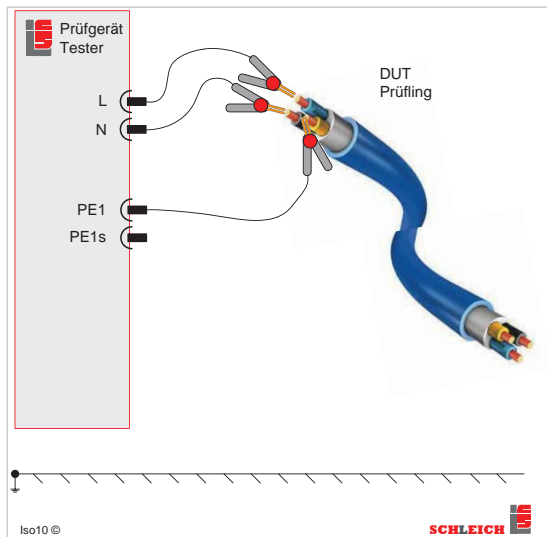






## 9.9.2 Test automatyczny

Podczas testu rezystancji izolacji wykonywanego automatycznie tester samoczynnie mostkuje przewód fazowy oraz neutralny DUT i mierzy wartość rezystancji pomiędzy nimi a przewodem ochronnym PE. Test może być też wykonany indywidualnie dla każdego przewodu z osobną tj. pomiędzy L i PE oraz N i PE. Tester umożliwia również przeprowadzenie testu pomiędzy L i N.





## 9.10 Zestaw kalibracyjny „black box”

Niezwykle ważne jest, aby testy bezpieczeństwa wykonywane były w sposób wiarygodny. Błąd pomiarowy należy ograniczyć do minimum.

### Kiedy może się zdarzyć taka awaria?

Błąd może np. wystąpić kiedy styki badanego urządzenia są uszkodzone lub przewód zasilający DUT jest przerwany.

Testery SCHLEICH wykrywają takie błędy automatycznie. Jednakże, należy wykonywać regularną kalibrację sprzętu, aby mieć pewność, że wszystko działa prawidłowo. Takie pomiary kalibracyjne nazywane są testem black box lub też dummy test.

Black box zbudowany jest z precyzyjnych rezystorów o wysokiej stabilności, które służą do sprawdzenia obwodów pomiarowych kalibrowanego urządzenia.

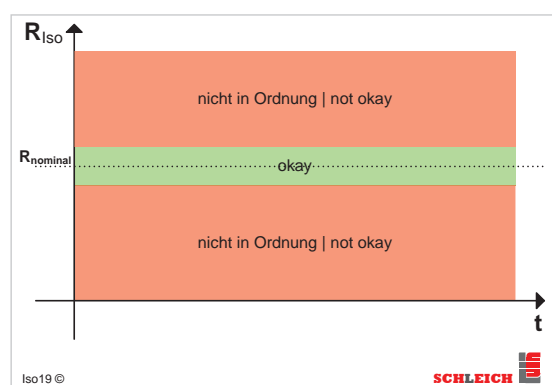
Do kalibracji testu wysokiego napięcia oraz rezystancji izolacji często wykorzystuje się rezystancję odniesienia  $2M\Omega$ . Każdy black box posiada osobny dokument kalibracyjny potwierdzający jego parametry. Znajduje się tam też informacja o dokładnej wartości rezystancji kalibratora. Dzięki czemu łatwo można porównać wartość zmierzoną z wartością odniesienia.

Poniższe zdjęcia przedstawiają przykładowe black boxy. Na zdjęciach znajdują się modułowe black boxy do testów rezystancji PE, wysokiego napięcia i izolacji rezystancji.



### 9.10.1 Zestaw kalibracyjny „black box” - $\pm$ limit tolerancji pomiarowej

Podczas pomiaru kalibracyjnego wartość rezystancji musi być mierzona z bardzo dużą dokładnością w wąskim zakresie tolerancji!



W przypadku, gdy limit zostanie przekroczony tester automatycznie przełączy się w tryb blokady, aby uniemożliwić wykonywanie dalszych testów. Dopiero po usunięciu przyczyny awarii i ponownej kalibracji blokada zostanie zniesiona.

Niektórzy klienci nie akceptują tej metody pomiaru. Wymagają aby zostały dostarczone dwa osobne kalibratory, jeden dla wyniku pozytywnego oraz drugi dla wyniku negatywnego.



## 9.10.2 Zestaw kalibracyjny „black box” - test pozytywny/negatywny

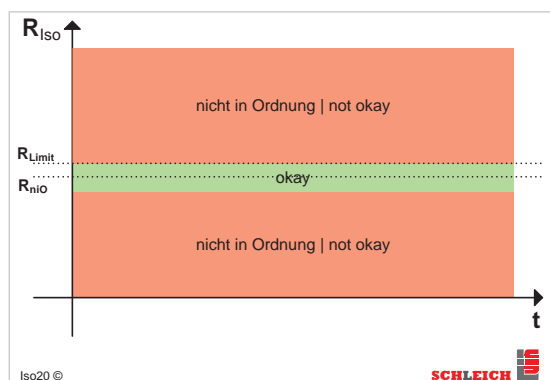
Ten rodzaj kalibracji jest podzielony na dwa etapy.

W pierwszym etapie tester powinien wyświetlić wynik negatywny. W drugi wynik pozytywny.

Służy do tego specjalny black box zbudowany z dwóch osobnych rezystorów. Obie rezystancje mogą być zabudowane w jednej obudowie lub też znajdować się w dwóch osobnych obudowach. Jeżeli tester nie wyświetli prawidłowych wyników uruchomi się tryb blokady, która może być zdjęta dopiero przez ponowny, poprawny pomiar podczas kolejnej kalibracji.

### 1. Wynik negatywny

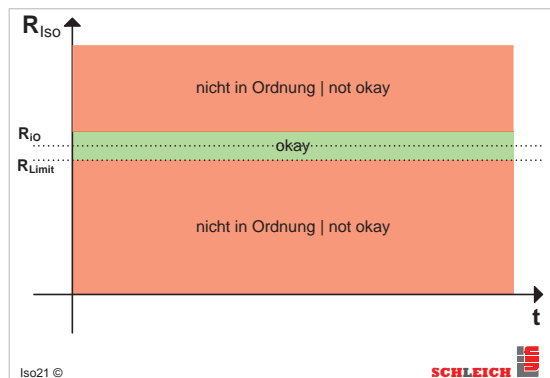
Przed testem należy określić limit prądów upływu np. 2mA. Badaną rezystancję podłącza się do testera, co spowoduje przepływ prądu nieco powyżej limitu.



Jeżeli tester działa poprawnie wykryje zbyt wysoki prąd i wyświetli wynik negatywny. Jednakże wartość graniczna dla prądu nie może być zbyt wysoka! W przeciwnym wypadku zwarcie w przewodzie zasilającym lub uszkodzenie styków może nie zostać wykryte.

### 2. Wynik pozytywny

Badaną rezystancję podłącza się do testera, co spowoduje przepływ prądu nieco poniżej limitu.



Jeżeli tester działa poprawnie wyświetli wynik pozytywny. Jednakże wartość graniczna dla prądu nie może być zbyt niska! W przeciwnym razie przerwa w przewodzie zasilającym lub uszkodzenie styków może nie zostać wykryte.



10

---

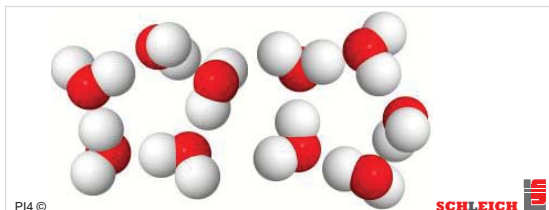
**Współczynnik polaryzacji**



# 10. Pomiar współczynnika polaryzacji dielektryk

## 10.1 Wyjaśnienie zjawiska polaryzacji

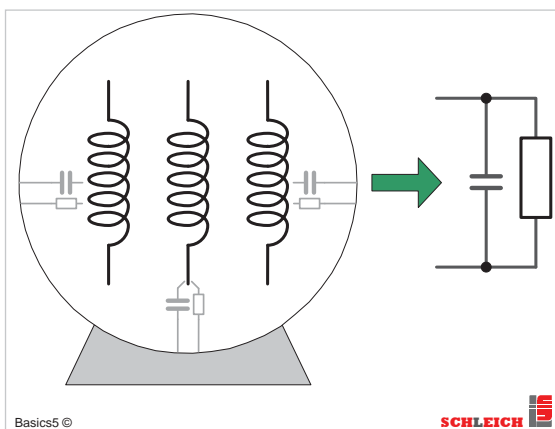
Indeks polaryzacji dostarcza istotnych informacji na temat jakości izolacji badanej maszyny elektrycznej. Tą metodę pomiaru używa się głównie w celu określenia stopnia starzenia się izolacji, która nieuchronnie pogarsza się z wiekiem maszyny.



Izolacja składa się z milionów cząsteczek, o strukturze dipolowej. Oznacza to, że mają bardziej dodatni ładunek elektryczny z jednej strony i bardziej ujemny ładunek elektryczny po drugiej stronie.

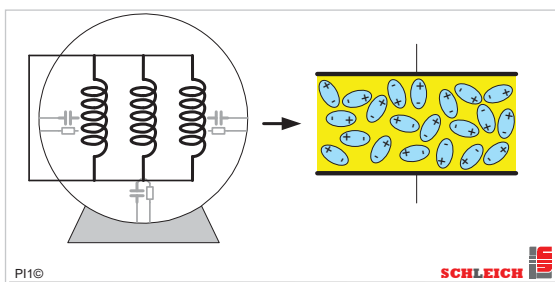
Polaryzacja jest ogólnie rozumiana jako zdolność cząsteczki do obracania oraz ustawiania pod wpływem pola elektrycznego, czyli polaryzacji. Cząsteczki znajdują się w izolatorze. Im izolacja jest starsza tym gorsza jest mobilność cząsteczek. Ostatecznie rezystancja izolacji maleje co zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia awarii oraz poważnego uszkodzenia maszyny.

Wymaganą energię potrzebną do poruszania nośników ładunku wewnątrz izolatora można wykryć i zmierzyć w postaci bardzo niskiego prądu podczas testu wysokiego napięcia DC, oraz w trakcie testu rezystancji izolacji.



Schemat zastępczy ilustrujący właściwości izolacji pomiędzy uzwojeniami i korpusem silnika został już opisany w rozdziale 3.

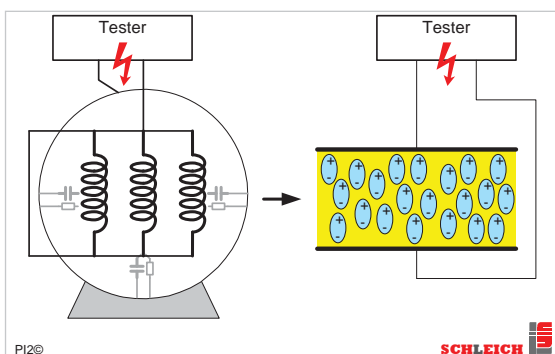
Wszystkie pojemności i rezystancje są dodawane do jednej wspólnej wartości pojemności i do jednej wspólnej wartości rezystancji. Takie uproszczenie jest możliwe tylko gdy wszystkie uzwojenia zostaną ze sobą zmostkowane i w takiej konfiguracji odbędzie się pomiar do obudowy/korpusu silnika.



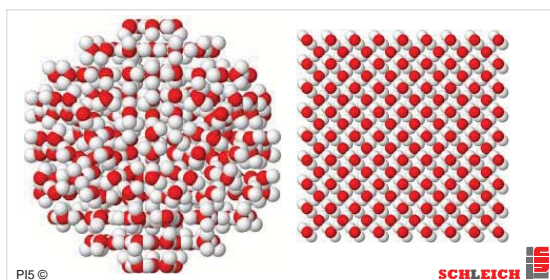
Jeżeli napięcie nie jest podłączone do badanej izolacji i żaden inny test nie został wykonany na krótko przed chwilą obecną, ruch cząsteczek wewnątrz materiału izolacyjnego odbywa się chaotycznie.

Po podłączeniu napięcia testowego pomiędzy twoja izolowanymi powierzchniami powstaje pole elektryczne (np. pomiędzy uzwojeniem i korpusem silnika/stojanu). Cząsteczki zaczynają ustawiać się zgodnie z liniami zewnętrznego pola elektrycznego. Zjawisko to nazywa się polaryzacją.

Do ruchu cząsteczek (do polaryzacji) wymagany jest prąd. Wartość prądu maleje po pewnym czasie. Gdy wyniesie zero wszystkie cząsteczki zostały spolaryzowane.



Po zaniku prądu, wszystkie cząsteczki powinny być idealnie wyrównane wzdłuż pola elektrycznego.

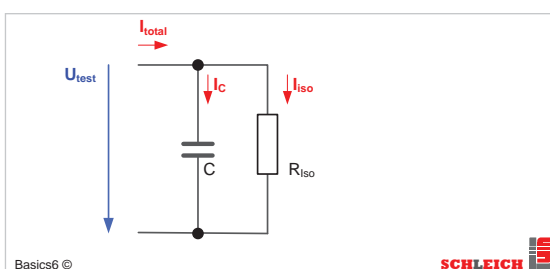


Grafika po lewej stronie ilustruje chaotyczne rozmieszczenie cząstek przed polaryzacją. Grafika po prawej sytuacji przeciwną, gdzie cząsteczki są w pełni spolaryzowane.

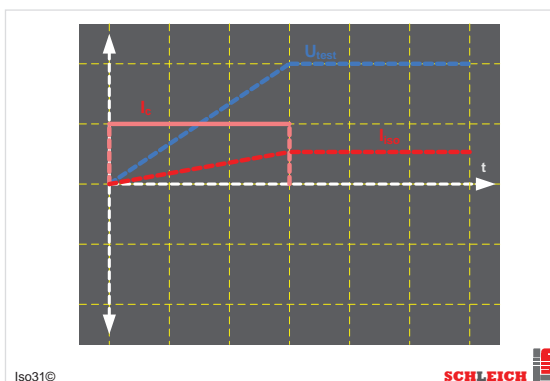
## 10.2 Pomiar współczynnika polaryzacji PI

Aby móc mierzyć polaryzację należy poddać pod szczegółową analizę prąd płynący w układzie. A ponieważ, całkowity prąd jest wynikiem kilku składowych prądów dlatego bardzo ważne jest aby znać zjawiska fizyczne, które się nimi rządzą oraz je wywołują. Jest to warunek konieczny dla prawidłowej analizy uzyskanych wyników.

Objaśnienie pomiarów polaryzacji można łatwo zrozumieć za pomocą schematu zastępczego przykładowego izolatora.



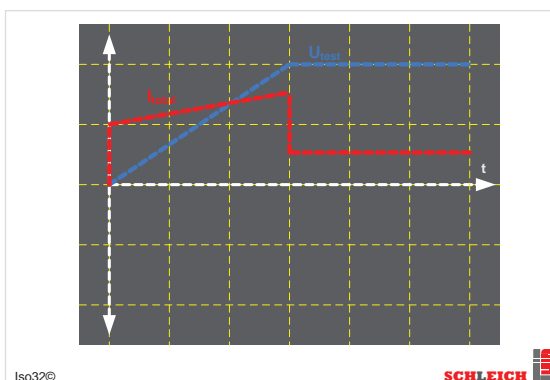
Na pobliskim schemacie widzimy uproszczony schemat zastępczy przedstawiający wpływ przyłożonego napięcia na rozkład prądów w dielektryku.



Na tym uproszczonym schemacie zastępczym rozważamy prądy  $I_C$  i  $I_{ISO}$ . Pojedyncze składowe wpływają na wartość sumarycznego prądu  $I_{TOTAL}$ . Z zewnątrz mierzalny jest jedynie prąd sumaryczny. Składowe całkowitego prądu płynącego w obwodzie stanowią podstawę dla prądu sumarycznego, który może być zmierzony z zewnątrz.

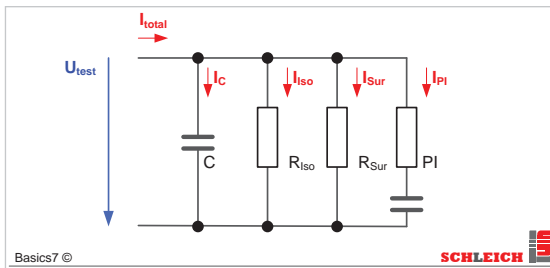
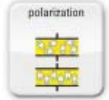
Prąd pojemnościowy  $I_C$  w charakter przejściowy i pojawia się w fazie narastania napięcia probierczego. Wzrost napięcia w formie rampy wywołuje stały przepływ prądu  $I_C$ .

Prąd rezystancji izolacji  $I_{ISO}$  płynie proporcjonalnie do napięcia. Tak więc podczas zwiększania napięcia jego wartość również rośnie. Widać to wyraźnie w fazie narastania napięcia. Gdy napięcie ustabilizuje się prąd  $I_{ISO}$  również utrzymuje stały poziom.



Sumaryczny prąd  $I_{TOTAL}$ , który de facto jest mierzony przez aparaturę pomiarową składa się z dwóch składowych: prądu  $I_C$  oraz prądu  $I_{ISO}$ . Taki kształt napięcia można zaobserwować podczas pomiarów.

Jednak, ten uproszczony układ nie uwzględnia zjawiska polaryzacji.

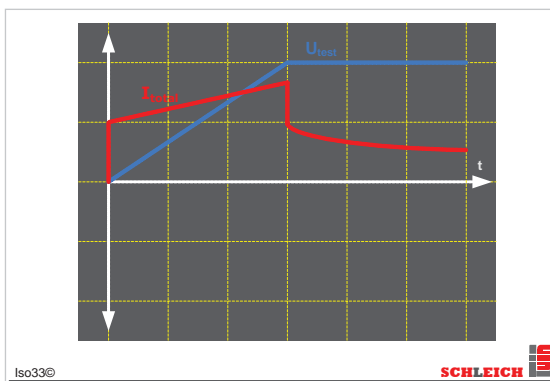


Dla właściwego zrozumienia wskaźnika polaryzacji, wymagany jest poszerzony, bardziej rozbudowany schemat. Taki schemat uwzględni zarówno prąd ładujący pojemność jak i łagodniejszy kształt zbrocza opadającego prądu na skutek polaryzacji.

Równolegle do rezystancji izolacji pokazana jest również rezystancja powierzchniowa Rsur. Symbolizuje np. zakurzone metalowe powierzchnie na obiekcie badanym. Typowym przykładem są pierścienie w silniku pierścieniowym lub lamele komutatora w silnikach prądu stałego.

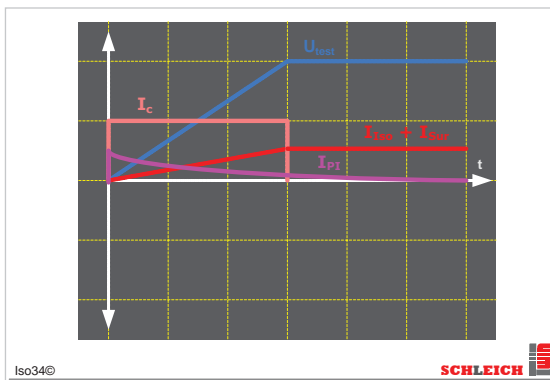
Po całkowitym spolaryzowaniu izolatora może zostać zmierzony rzeczywisty prąd jaki płynie przez rezystancje izolacji. Jeżeli pomiar rezystancji izolacji odbędzie się zbyt szybko, może to doprowadzić do nieprawidłowych wyników. W takim przypadku wartość rezystancji będzie zaniżona ze względu na obecność składowej pojemnościowej oraz postępującą polaryzację izolacji.

Odnosząc się do indeksu polaryzacji, przy dokładnym pomiarze i ścisłej obserwacji, możemy odtworzyć kształt prądu, jak pokazano na poniższym wykresie. Kształt przebiegu nieznacznie odbiega od poprzedniego wykresu.



Po wzroście napięcia  $U_{test}$ , prąd  $I_{TOTAL}$  nie spada do poziomu  $I_{ISO}$  w sposób natychmiastowy, jak na poprzednim wykresie. Spadek prądu odbywa się powoli i trwa kilka minut. Dopiero po około 10 minut prąd zmniejszy się tak bardzo, że jego poziom ustabilizuje się i będzie odpowiadał wartości prądu rezystancji izolacji  $I_{ISO}$ . To zjawisko wynika bezpośrednio z polaryzacji cząsteczek izolatora.

Powoli malejący prąd polaryzacji został przestawiony w poszerzonym schemacie zastępczym za pośrednictwem elementu RC, gdzie kondensator jest powoli ładowany prądem, ograniczonym przez rezystor podłączony szeregowo.



Podsumowując, sumaryczny prąd  $I_{TOTAL}$  jest sumą poszczególnych składowych, które zostały przedstawione na sąsiednim wykresie.

Ponieważ prąd polaryzacji jest bardzo niski, należy poczekać, aż inne składowe osiągną stan ustalony. Dopiero wtedy prąd polaryzacji może zostać wiarygodnie i powtarzalnie zmierzony.

Wysoki prąd płynie zwłaszcza w początkowej fazie testu. Prąd pojemnościowy musi spaść do poziomu znikomo niskiego, aby pomiar polaryzacji mógł się odbyć. Przyjęto, że w tym przypadku czas 1min jest wystarczający.

Po minutowym ładowaniu pojemności DUT polaryzacja jest nadal w toku. Dlatego też mobilność cząsteczek może zostać określona przez zestawienie ze sobą prądu przepływającego na początku testu oraz zredukowanego prądu po całkowitym spolaryzowaniu.

$$PI = \frac{\text{Current after 1 minute}}{\text{Current after 10 minutes}}$$

lub alternatywnie.

$$PI = \frac{\text{Resistance after 10 minutes}}{\text{Resistance after 1 minute}}$$





W przypadku dobrego izolatora po 10 minutach prąd po polaryzacji maleje w stosunku do początkowego o 3 do 4 razy. Daje to wysoki, dobry wynik PI np. 4 lub 5.

W przypadku złego izolatora po 10 minutach wartość prądu zmieni się nieznacznie, ze względu na niską mobilność cząsteczek a co za tymi idzie niepełną polaryzacją. Izolator w takim przypadku jest zużyty i skruszony. Skutkuje to niskim, złym wynikiem PI np. 1,5. Jeżeli testowana maszyna elektryczna osiągnie taki wynik powinna niezwłocznie trafić do serwisu.

PI : < 1,2 złe

PI : 1,2 ... 1,3 maszyny wyeksploatowane

PI : 2 > dostatecznie

PI : 3 ... 4 maszyny nowe

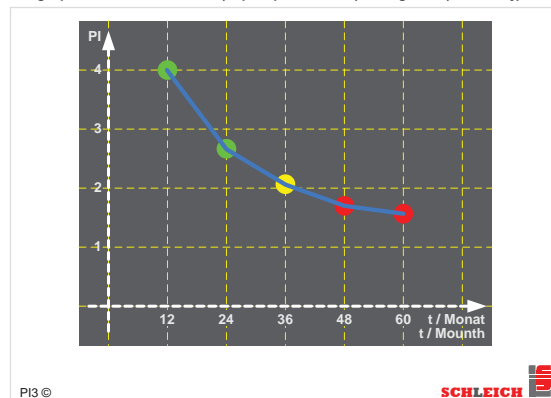
Zrealizowanie testu w sposób właściwy zależy od prawidłowej analizy przebiegu prądu oraz jego składowych!

Ścisła obserwacja w połączeniu z know-how na temat wsp. PI jest niezbędna do zrozumienia i interpretacji pewnych zjawisk, które występują podczas testów silników elektrycznych oraz transformatorów.

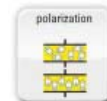
## 10.3 Długoterminowy pomiar współczynnika polaryzacji PI

Test PI może służyć do określania pogarszającego się stanu izolatora na przestrzeni wielu miesięcy. Stanowi to cenną informację, która jest podstawą do podjęcia prewencyjnych działań naprawczych.

Z tego powodu test PI musi być przeprowadzany w regularnych odstępach czasu.



Przyległy wykres ilustruje pomiary wykonywane regularnie co 12 miesięcy. Za pomocą tego typu testów stan izolacji jest doskonale widoczny dla serwisanta, jak i osoby decydującej o podjęciu naprawy. Działania prewencyjne można, dzięki temu, planować w sposób przemyślany z odpowiednim wyprzedzeniem i bez obawy przed awarią.



## 10.4 Możliwe błędy podczas testu PI

### 10.4.1 Test PI wykonywany na częściowo spolaryzowanej izolacji



Największym błędem jest wykonywanie testu PI bezpośrednio po testach rezystancji izolacji lub wysokiego napięcia DC. Błąd wiąże się z tym, że molekuly izolatora są już częściowo spolaryzowane a ich ruch nie jest chaotyczny. Prowadzi to do błędnych wyników.

Jeśli wykonałeś już badanie wysokim napięciem z DC (Nie ważne, czy był to test IR czy też HV), w pierwszej kolejności należy zmostkować wszystkie wyprowadzenia uzwojeń ze sobą i podłączyć do przewodu PE jeszcze przed rozpoczęciem testu PI. Innymi słowy trzeba rozładować DUT przed testem.

Rozładowywanie musi trwać co najmniej 1 godzinę!

Przed wykonaniem testu PI należy odczekać co najmniej godzinę (wskazany jest dłuższy czas).

### 10.4.2 Test PI wykonywany na izolatorze o rezystancji większej niż 5GΩ



Nie ma sensu wykonywać test PI jeżeli rezystancja badanego urządzenia przekracza 5GΩ.

W przypadku rezystancji  $\geq 5\text{G}\Omega$  efekt polaryzacji jest ledwie mierzalny przez co wyniki nie są powtarzalne.

W przypadku tak wysokiej rezystancji może to nawet prowadzić do błędnych interpretacji. Różnica prądów po 1 minucie i w 10 minucie często jest marginalna. Może to doprowadzić do błędnego wniosku, że PI jest bardzo niski. A w rzeczywistości jest zgoła odwrotnie.

Przed wykonaniem tego testu polecamy zapoznanie się z normą IEEE 43-2000.

Test PI jest rzadko wykonywany na nowych urządzeniach.

11

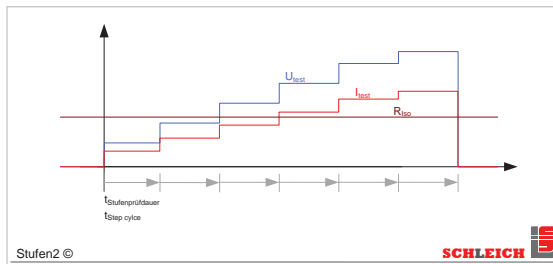
---

**Test w sekwencji krokowej**

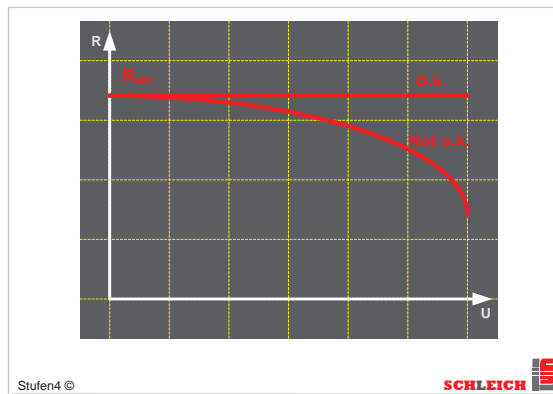
# 11. Test w sekwencji krokowej

## 11.1 Objaśnienia dot. testu w sekwencji krokowej

W sekwencji krokowej napięcie probiercze jest stopniowo zwiększane. Tego typu test wykorzystuje się zwykle do sprawdzania nieciągłości w izolacji.



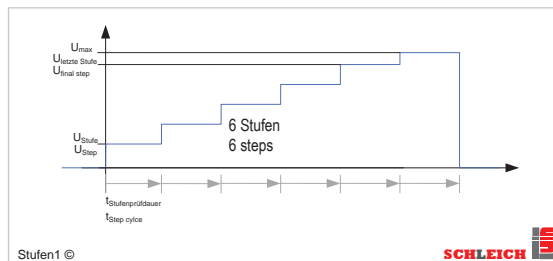
Podczas testu prąd powinien wzrastać proporcjonalnie do napięcia, natomiast wartość rezystancji powinna być stała. Jeśli rezystancja maleje wraz ze wzrostem napięcia testowego oznacza to, że badana izolacja jest uszkodzona.



Test krokowy może być przeprowadzony w wielu konfiguracjach. Jeżeli test ma być wykonany razem z badaniem polaryzacji PI, test PI należy wykonać w pierwszej kolejności.

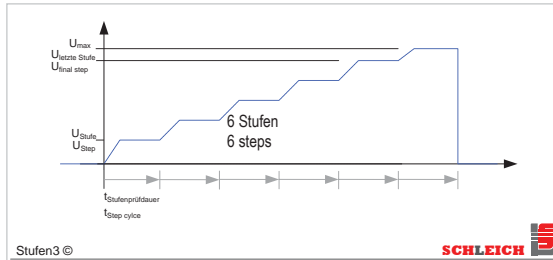
### 11.1.1 Test krokowy bez rampy

Ilość kroków pomiarowych jest obliczana z maksymalnego napięcia testowego oraz wzrostu napięcia pomiędzy kolejnymi krokami. Jeżeli ostatni krok w sekwencji jest „niepełny”, maksymalne napięcie testu zostanie zredukowane do przedostatniego kroku.



## 11.1.2 Test krokowy z rampą

Ilość kroków pomiarowych jest obliczana z maksymalnego napięcia testowego oraz wzrostu napięcia pomiędzy kolejnymi krokami. Jeżeli ostatni krok w sekwencji jest „niepełny”, maksymalne napięcie testu zostanie zredukowane do przedostatniego kroku.





12

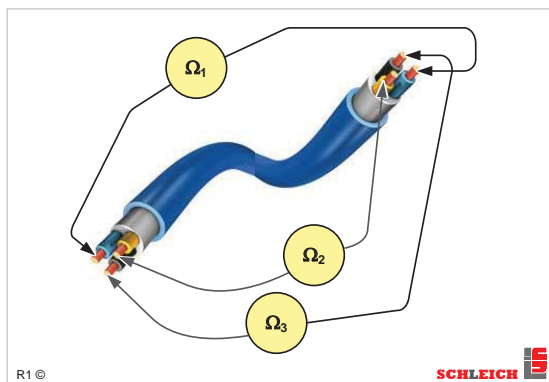
---

**Pomiar rezystancji**



## 12. Test rezystancji

### 12.1 Objaśnienia dot. testu rezystancji



Test rezystancji składa się z pomiaru rezystancji oraz późniejszej ewaluacji zmierzonych wyników.

Ewaluacja odbywa się poprzez przyrównanie do wartości referencyjnej i wyznaczonego pasma tolerancji.

Pomiar rezystancji nie odnosi się do bezpieczeństwa badanego urządzenia. Głównym założeniem tego testu jest sprawdzenie funkcjonalności i jakości połączeń oraz wyznaczenie asymetrii rezystancji uzwojeń.

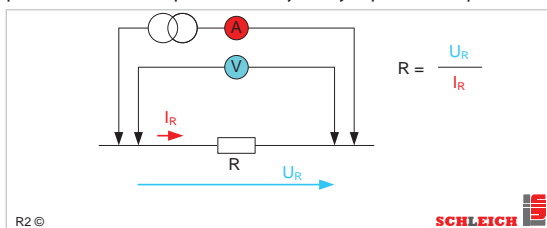
W odróżnieniu od testu ciągłości, test rezystancji oferuje pomiar bardzo niskich wartości rezystancji z dużą dokładnością. W zależności od wyposażenia testery firmy Schleich umożliwiają wykonanie poprawnego i powtarzalnego pomiaru rezystancji rzędu  $1\mu\Omega$ .

W celu pomiaru tak niskich rezystancji należy zastosować metodę 4-przewodową. Zastosowanie tej metody pomiarowej eliminuje wpływ rezystancji przewodów pomiarowych oraz rezystancji zestyku.

### 12.2 Pomiar w technologii 4-przewodowej

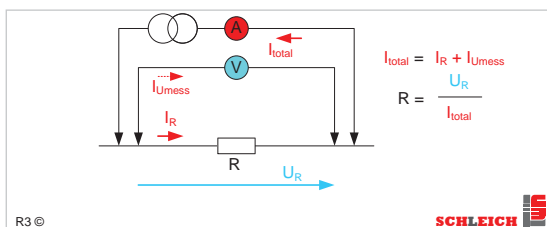
Podczas testu rezystancja jest obliczana ze spadku napięcia i wartości zmierzonego prądu zgodnie z prawem Ohma.

Schemat poniżej obrazuje wyidealizowany przykład pomiaru rezystancji w technice 4-przewodowej. Prąd płynie pomiędzy dwoma sondami przyłożonymi do badanej izolacji. Napięcie mierzone jest niezależnie w dwóch innych punktach. Rezystancja przejścia występująca w czterech punktach pomiarowych jest pomijana podczas tego pomiaru. Taka metoda pomiarowa nazywana jest pomiarem 4-przewodowym.



Poniżej znajduje się wyjaśnienie tej metody uzupełnione o dodatkowe informacje:

Do pomiaru napięcie w technologii 4-przewodowej używa się wysoko impedancyjnego woltomierza. Powyższy (R2) schemat nie odzwierciedla wszystkich czynników jakie wpływają na wynik pomiaru.

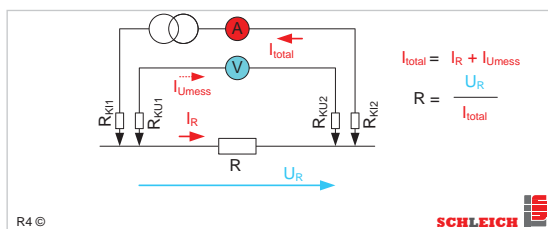


Wewnętrzna rezystancja woltomierza jest bardzo wysoka rzędu  $M\Omega$ - a nawet  $G\Omega$ . Pomimo jednak bardzo wysokiej rezystancji wew. przez woltomierz płynie pewna wartość prądu. Tak więc całkowita wartość prądu składa się z dwóch elementów: prądu płynącego przez rezystancję badaną oraz przez woltomierz. Jednakże, prąd płynący przez woltomierz jest pomijalnie niski i nie jest brany pod uwagę podczas pomiaru.

Krótką kalkulację powinna to lepiej zobrazować:

Zakładamy, że testowany obiekt posiada rezystancję o wartości  $0,1\Omega$  a wartość prądu probierczego wynosi  $2,5A$ . W rezultacie możemy zaobserwować spadek napięcia  $0,25V$  na rezystorze (badanej izolacji). Zakładamy również, że wewnętrzna rezystancja woltomierza wynosi  $10M\Omega$ . Powoduje to przepływ prądu pomiarowego przez woltomierz o wartości  $25nA$  (Nanoamper!). Taki prąd stanowi  $0,000001\%$  całkowitego mierzonego prądu! Dlatego też natężenie prądu płynącego przez woltomierz nie musi być brane pod uwagę w trakcie badania rezystancji. Innymi słowy natężenie prądu płynącego przez woltomierz jest na tyle małe, że nie wpłynie na wynik pomiaru w znaczący sposób.





Natomiast przyległy schemat przedstawia wszystkie czynniki. Dodatkowo uwzględnia również rezystancję zestyku oraz przewodów pomiarowych. Na wartość prądu wpływają rezystory  $R_{KU1}$  i  $R_{KL2}$ , jednak jeżeli ich rezystancja została zmierzona i jest znana nie stanowi to już problemu.

Podczas testu załączone napięcie powoduje przepływ prądu przez obwody pomiarowe woltomierza. Jednakże, spadek napięcia jest bardzo niski. Z poprzedniego przykładu wiemy, że wartość prądu płynąca przez woltomierz nie będzie większa niż 25nA. Rezystancja zestyku włącznie z rezystancją przewodów może osiągnąć maks. 1Ω. Ponieważ występują dwa rezystory ( $R_{KU1}$  and  $R_{KU2}$ ), ogólna wartość wyniesie 2Ω. Spowoduje to spadek napięcia o wartości 0.05uV. W porównaniu do spadku napięcia na badanym obiekcie 0,25V (rezystor 0,1Ω mierzony prądem 2,5A) jest to wartość pomijalnie mała i wyniesie 0,00002% całkowitego spadku napięcia. Tak więc można przyjąć, że zmierzony spadek napięcia odpowiada temu na badanym obiekcie, a wpływ innych czynników na wynik jest znikomy. Jest to niewątpliwa zaleta pomiaru w technologii 4-przewodowej.



Jednakże, rezystancja obwodów pomiarowych woltomierza nie powinna być zbyt wysoka. W przeciwnym razie procentowy błąd pomiarowy wzrośnie. Zwiększając prąd pomiarowy otrzymamy większy spadek napięcia na badanym obiekcie, ale procentowy błąd pomiarowy pozostanie taki sam. W takim przypadku jedyną opcją wydaje się zwiększenie wewnętrznej rezystancji woltomierza.

## 12.3 Zaciski Kelvina do testu rezystancji w technologii 4-przewodowej

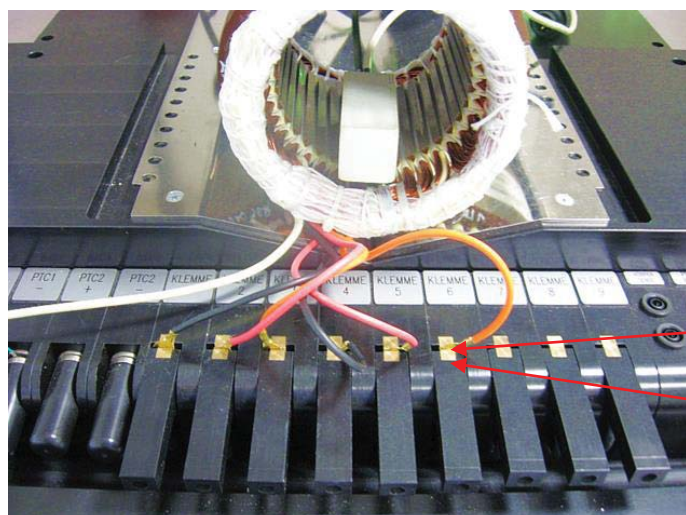
Aby wykonać test niskich rezystancji prawidłowo i profesjonalnie należy użyć metody 4-przewodowej, jak opisano powyżej.

Szczególnie istotną częścią tego pomiaru są zaciski pomiarowe. Zaciski Kelvina nadają się do tego idealnie. Posiadają dwa, izolowane od siebie, styki pomiarowe. Jeden jest wykorzystywany do pomiaru napięcia, drugi do prądu.



Na pobliskim zdjęciu widzimy fachowe, solidne zaciski Kelvina gdzie styki pomiarowe wykonano z twardego mosiądzu a uchwyt z odpornego plastiku. Specjalny kształt styków zapewnia odpowiednią powierzchnię mocowania dla przewodów o profilu płaskim i okrągłym. Duża szerokość rozwarcia szczęk umożliwia uchwycenie obiektów o dużych rozmiarach. Na zdjęciu zaprezentowano zaciski w trzech rozmiarach. Na zdjęciu strzałkami zaznaczono również styki pomiarowe.

Pomiar prądu  
Pomiar napięcia



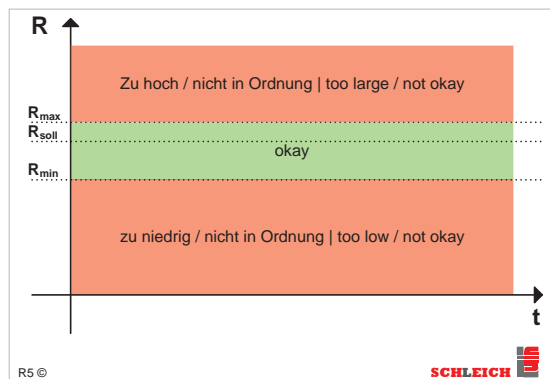
Na przyległym zdjęciu znajduje się panel zaciskowy gdzie zaciski Kelvina zostały wpięte jeden obok drugiego. Można wyraźnie zauważyć gdzie wpięty jest styk napięciowy a gdzie prądowy zacisku.

Przepływ prądu  
Pomiar napięcia



## 12.4 Ewaluacja wyników rezystancji

Ewaluacja odbywa się przez przyrównanie do wartości odniesienia.



Podczas porównania wartość zmierzona musi mieścić się w ustawionym paśmie tolerancji.

Parametry pasma mogą być asymetryczne. Oznacza to, że górny dopuszczalny limit nie musi procentowo odpowiadać limitowi dolnemu.

Zostało to pokazane na pobliskim wykresie gdzie dop. pasmo górne jest węższe niż dop. pasmo dolne.



## 12.5 Wpływ temperatury na test rezystancji

Istnieje wiele urządzeń, w których rezystor nie zmienia swoich parametrów pod wpływem temperatury. Są to na przykład grzejniki. W użytych tam przewodach grzejnych rezystancja tylko nieznacznie zależy od temperatury. Przykładem takiego materiału może być na przykład Konstantan ©.

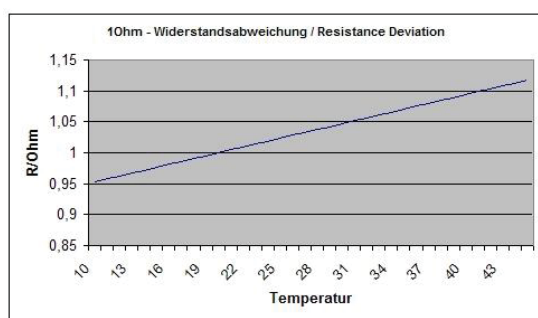


Jednakże, istnieją także takie produkty, jak na przykład silniki elektryczne, w których szerokie zastosowanie znajduje drut miedziany. Jak powszechnie wiadomo rezy-stywność drutu w dużym stopniu zależy od temperatury. Miedź posiada pozytywny współczynnik temperatury (PTC). Oznacza to, że wraz ze wzrostem temperatury rośnie jego rezystancja.

Tą temperaturową zależność należy uwzględnić podczas testu rezystancji. W przeciwnym razie może to doprowadzić do bardzo dużego błędu pomiarowego. W celu umożliwienia porównania rezystancji uzwojeń niezależnie od temperatury, wartość omową zawsze podaje się z wartością temperatury otoczenia w jakiej wykonywany był pomiar. W wielu krajach na świecie jest to 20°C. W bardzo gorących obszarach może to być nawet 25°C.

Znając temperaturę otoczenia możemy przeliczyć wartość rezystancji do takiej jaka występowałaby w temp. przyjętej przez normy. Istnieje wiele wzorów konwersji dla różnych typów rezystorów. Wzory konwersji znajdują się w pamięci każdego testera Schleich.

### 12.5.1 Wzór konwersji dla miedzi i aluminium



Drut miedziany przedstawia przebieg temperatury, który jest pokazany z lewej strony. Zwiększenie temperatury w zakresie od 20°C do 30°C, powoduje wzrost rezystancji o prawie 5%.

W lecie na hali produkcyjnej w temperaturze 35°C, obiekt badany z pewnością przekroczy przyjęty limit rezystancji (typowo +5% wartości odniesienia). Test w takich warunkach jest możliwy tylko za pośrednictwem kompensacji temperatury do 20°C.

Zależność pomiędzy zimnym i ciepłym rezystorem zależy od różnicy temperatury, jak pokazano poniżej:

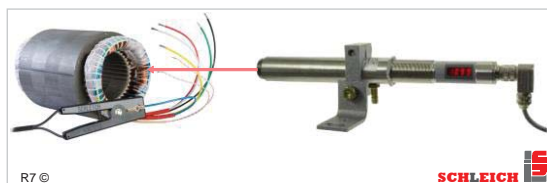
$$R_{Temp} = R_{20} * (1 + \alpha_{20} * \Delta Temp)$$

Legenda:

- $R_{temp}$  - wartość skompensowana
- $R_{20}$  - rezystor dla temp. 20°C.
- $\alpha_{20}$  - współczynnik temp. materiału izolacyjnego
- $\Delta Temp$  - różnica pomiędzy obecną temp. rezystora a 20°C.

Wzór można oczywiście odwrócić:

$$R_{20} = R_{Temp} / (1 + \alpha_{20} * \Delta Temp)$$



Pomiar temperatury DUT może zostać wykonany za pomocą np. pirometru.



## 12.5.2 Wzór konwersji dla czujnika temperatury

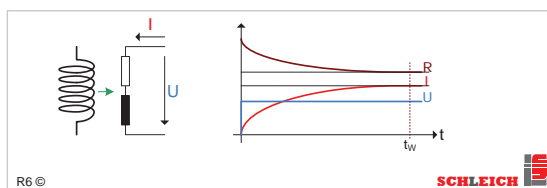
Często zdarza się, że mierzona jest również rezystancja czujnika temperatury. Temperatura czujnika jest znana i należy sprawdzić czy zmierzona rezystancja odpowiada wartości temperatury. Istnieją na to odpowiednie wzory. Zwykle są dość złożone, ponieważ czujnik charakteryzuje się silną nieliniowością. Konwersja rezystancji temperatury jest zaimplementowana w testerach Schleich.

## 12.6 Pomiar rezystancji silnika



Podczas testu rezystancji uzwojeń każdego typu należy wziąć pod uwagę to, że prąd nie osiągnie swojej maksymalnej wartości natychmiast po rozpoczęciu pomiaru ze względu na indukcyjność. Indukcyjność zmniejszy szybkość narastanie prądu pomiarowego.

Poprawny pomiar rezystancji może zostać wykonany dopiero w momencie gdy wartość prądu osiągnie stabilny poziom. Pomiar wykonany w krótkim okresie czasu jest niepoprawny a wynik rezystancji zawyżony!



Jak przedstawiono na sąsiednim schemacie zastępczym testowane uzwojenie składa się z rezystancji oraz indukcyjności.

Indukcyjność zmniejsza szybkość narastania prądu. Rezystancja spada proporcjonalnie do prądu.

Czas pomiaru nie powinien być lekceważony. Opóźnienie w przypadku silników o wysokiej indukcyjności może wynosić 1...10 sekund a nawet dłużej!

## 12.7 Odłączanie zacisków pomiarowych podczas pomiaru rezystancji



W celach pomiarowych badane uzwojenie zasilane jest prądem stałym.

Jeżeli w trakcie testu zaciski zostaną odłączone od uzwojenia, przypadkowo lub celowo, na przewodach pomiarowych odnotujemy impulsowy wzrost napięcia. Choć nie jest to krytyczne dla badanego obiektu, może doprowadzić do porażenia prądem elektrycznym osoby wykonującej test.

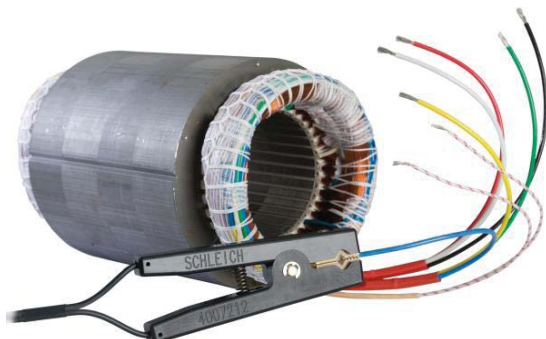
Z fizycznego punktu widzenia skok napięcia jest całkowicie normalny i nie sposób go uniknąć. W jednym momencie przepływ prądu na badanej indukcyjności zostaje przerwany. Ponieważ jest to element inercyjny, pole magnetyczne zgromadzone w cewce ulega załamaniu i stąd pojawia się impulsowy wzrost napięcia.

Każdy tester Schleich'a jest wyposażony w środki ochrony przeciwporażeniowej w celu zwiększenia bezpieczeństwa osoby wykonującej test. Jednak nie mają one bezpośredniego wpływu na badaną indukcyjność, gdy zostaną nagle odłączone.



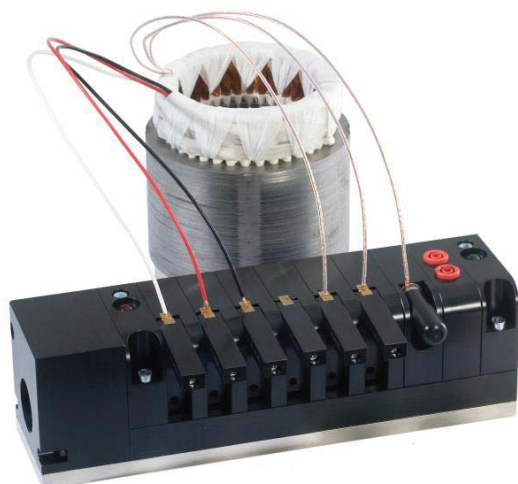
## 12.8 Przykładowe aplikacje

### 12.8.1 Zaciski Kelvina dla testowania stojanów



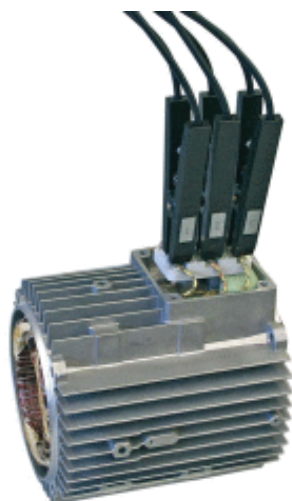
Zaciski Kelvina świetnie nadają się do podłączenia przewodów zasilających silników elektrycznych/stojanów. SCHLEICH posiada w ofercie zaciski w 3 różnych rozmiarach, dzięki czemu łatwiej je dopasować do rozmiaru przewodów zasilających silnika.

### 12.8.2 Panel zaciskowy dla stojanów



Przewody zasilające podłączone są do panelu zaciskowego z wbudowanymi zaciskami Kelvina. Ilość zacisków w panelu, jego wymiary oraz kształt podlega konfiguracji zgodnie z wymaganiami przedstawionymi przez klienta, tak aby panel spełniał wymagania aplikacji.

### 12.8.3 Adaptery do tabliczki zaciskowej silnika



Śruby na tabliczce zaciskowej są podłączone do aparatury pomiarowej przy użyciu wyprofilowanych zacisków. Dlatego też, zaciski Kelvina posiadają styki w kształcie klina, tak aby kontakt elektryczny pomiędzy zaciskiem Kelvina a śrubą był jak najlepszy.



Niezwykle ważne jest, aby testy bezpieczeństwa wykonywane były w sposób wiarygodny. Błąd pomiarowy należy ograniczyć do minimum.

### Kiedy może się zdarzyć taka awaria?

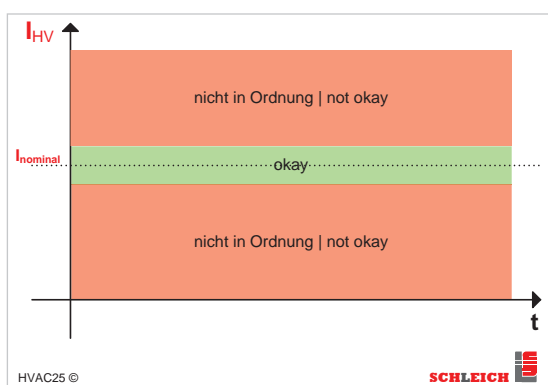
Błąd może np. wystąpić kiedy styki badanego urządzenia są uszkodzone lub przewód zasilający DUT jest przerwany.

Testery SCHLEICH wykrywają takie błędy automatycznie. Jednakże, należy wykonywać regularną kalibrację sprzętu, aby mieć pewność, że wszystko działa prawidłowo. Takie pomiary kalibracyjne nazywane są testem black box lub też dummy test.

Black box zbudowany jest z precyzyjnych rezystorów o wysokiej stabilności, które służą do sprawdzenia obwodów pomiarowych kalibrowanego urządzenia.

Do kalibracji testu rezystancji wykorzystuje się rezystancję odniesienia  $0,1\Omega$ . Każdy black box posiada osobny dokument kalibracyjny potwierdzający jego parametry. Znajduje się tam też informacja o dokładnej wartości rezystancji kalibratora. Dzięki czemu łatwo można porównać wartość zmierzoną z wartością odniesienia.

Podczas pomiaru kalibracyjnego wartość rezystancji musi być mierzone z bardzo dużą dokładnością w wąskim zakresie tolerancji!



W przypadku, gdy limit zostanie przekroczony tester automatycznie przełączy się w tryb blokady, aby uniemożliwić wykonywanie dalszych testów. Dopiero po usunięciu przyczyny awarii i ponownej kalibracji blokada zostanie zniesiona.

Niektórzy klienci nie akceptują tej metody pomiaru. Wymagają aby zostały dostarczone dwa osobne kalibratory, jeden dla wyniku pozytywnego oraz drugi dla wyniku negatywnego.

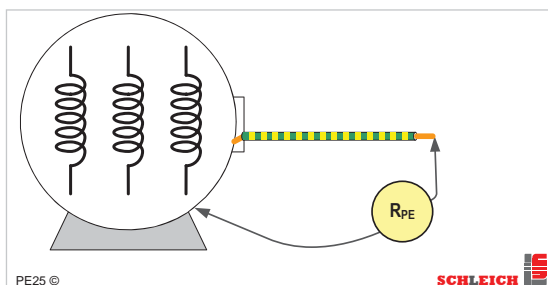
---

**Test rezystancji przewodu ochronnego PE**



## 13. Test rezystancji przewodu ochronnego PE

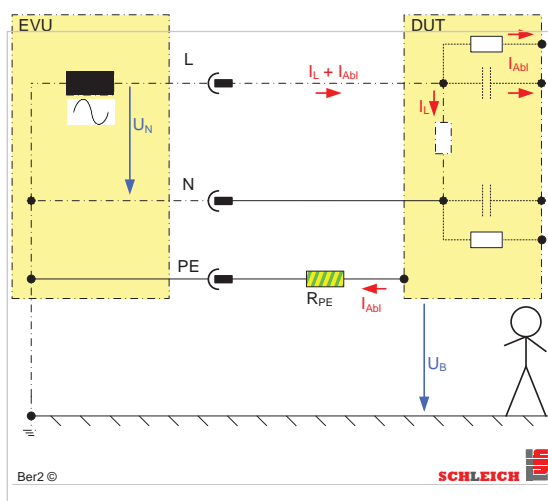
### 13.1 Objaśnienia dot. testu rezystancji przewodu ochronnego PE



Test rezystancji PE wykonuje się na urządzeniach o klasie ochronności I. Urządzenia klasy I posiadają przyłącza do przewodu ochronnego PE lub przewodu neutralno-ochronnego PEN. Urządzenia klasy II nie posiadają przewodu ochronnego.

Urządzenie II klasy ochronności są oznaczone tym symbolem.

Podczas testu sprawdzana jest rezystancja przewodu ochronnego oraz czy zmierzona wartość nie przekracza limitu ustanowionego w normie. Test ma na celu sprawdzenie czy prądy upływu są prawidłowo odprowadzane przez przewód PE do ziemi.



#### Definicje

EVU: dostawca energii elektrycznej (elektrownia)

DUT: urządzenie poddane testom | obiekt testowy

I L: prąd fazowy

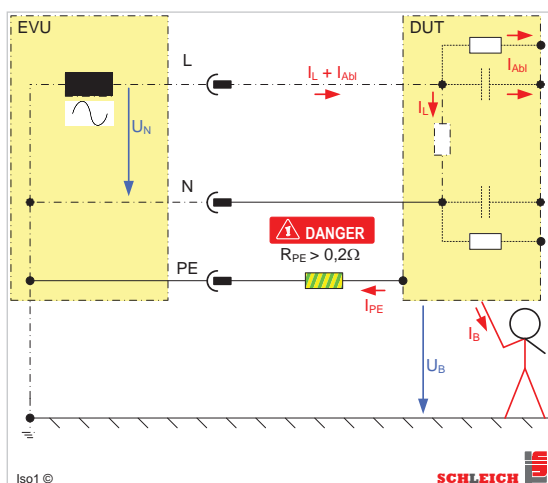
I ABL: prąd upływu

U N: napięcie sieci

R PE: rezystancja żyły PE

U B: potencjał napięcie dotykowe

Jeśli ciągłość przewodów PE nie jest zachowana, na obudowie urządzenia może pojawić się niebezpiecznie wysokie napięcie. W przypadku dotknięcia znajdujących się pod napięciem metalowych części obudowy może nastąpić porażenie elektryczne na skutek przepływu prądu, przez porażoną osobę, do potencjału Ziemi.



Ponadto może się zdarzyć, że izolacja w DUT ulega pogorszeniu podczas pracy urządzenia. Może to doprowadzić do zwarcia między przewodami fazowymi i obudową. W związku z tym obudowa znajdzie się pod napięciem (U<sub>B</sub>). W najgorszym przypadku na obudowie pojawi się pełne napięcie sieciowe. Jeśli człowiek dotknie obudowy zostanie narażony na poważne, przypuszczalnie śmiertelne niebezpieczeństwo.

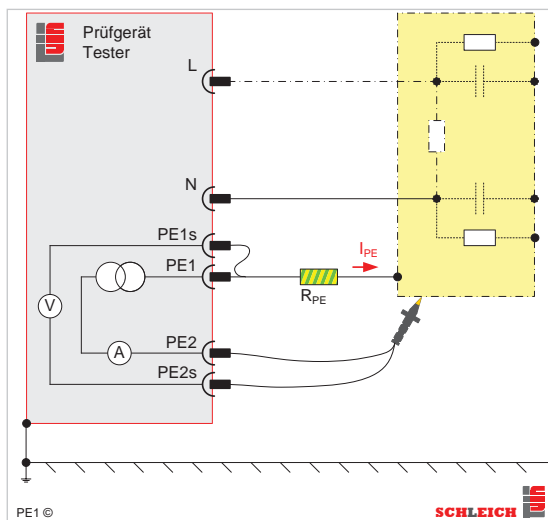




Do testowania przewodów PE generowany jest prąd pomiarowy, który płynie przez PE. Poziom prąd pomiarowy zwykle wynosi 10A ... 30A. Może to być prąd stały lub przemienny, w większości przypadków jest to AC. Napięcie musi wynosić maks. 6V lub 12V.

**UWAGA** - jest to tylko proponowana wartość! Wykonując test upewnij się czy wartość prądu oraz czasu pomiaru jest zgodny z normą!

Prąd pomiarowy generuje spadek napięcia na testowanym przewodzie PE. Rezystancja PE jest przeliczana na bieżąco z wartości prądu oraz spadku napięcia w czasie trwania całego testu.



Test rezystancji przewodu PE należy wykonywać za pośrednictwem metody 4-przewodowej. Jest to konieczne, aby dokładnie określić rezystancję przewodu PE bez wpływu rezystancji samych przewodów pomiarowych.

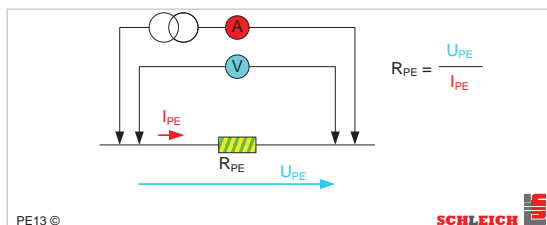
Pomiar rezystancji metodą 4-przewodową wykonuje się za pomocą czterech oddzielnych przewodów pomiarowych. Jak możemy zauważyć na przyległym schemacie dwa wymuszają przepływ prądu probierczego, a dwa kolejne służą do pomiaru spadków napięcia na przewodzie PE.



## 13.2 Pomiar w technologii 4-przewodowej

Podczas testu rezystancja jest obliczana ze spadku napięcia i wartości zmierzonego prądu zgodnie z prawem Ohma.

Schemat poniżej obrazuje wyidealizowany przykład pomiaru rezystancji w technice 4-przewodowej. Prąd płynie pomiędzy dwoma sondami przyłożonymi do badanej izolacji. Napięcie mierzone jest niezależnie w dwóch innych punktach. Rezystancja przejścia występująca w czterech punktach pomiarowych jest pomijana podczas pomiaru. Taka metoda pomiarowa nazywana jest pomiarem 4-przewodowym.

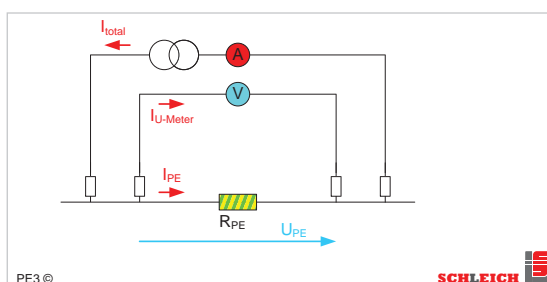


Poniżej znajduje się wyjaśnienie tej metody:

Do pomiaru spadku napięcia na przewodzie PE używa się wysoko impedancyjnego woltomierza. Wewnętrzna rezystancja woltomierza jest bardzo wysoka rzędu MΩ- a nawet GΩ. W konsekwencji prąd płynący przez woltomierz jest bardzo niski, a zatem prawie nie wpływa na całkowity prąd I total.

I total składa się z I PE + I meter. Prąd I total jest mierzony przez tester. Jego wartość niemalże w stu procentach odpowiada prądowi I PE. Prąd płynący przez woltomierz jest bardzo niewielki rzędu nA. W porównaniu do prądu I PE o wartości 10...30A jest to wartość bardzo niska. Występujący błąd pomiaru wynosi zatem mniej niż jedna milionowa. Tak więc prąd I meter może zostać całkowicie pominięty.

Bardzo niski prąd przepływający przez woltomierz generuje pomijalnie mały spadek napięcia na zaciskach woltomierza.





### 13.3 Typowe wartości dopuszczalne dla pomiaru rezystancji przewodu ochronnego PE

Standardowo rezystancja PE mieści się w zakresie od  $0,02 \Omega$  ...  $0,1 \Omega$ . Zakres rezystancji jest bezpośrednio związany z długością i średnicą przewodu PE.



Maksymalna dopuszczalna wartość graniczna (R Limit) to  $0,2\Omega$

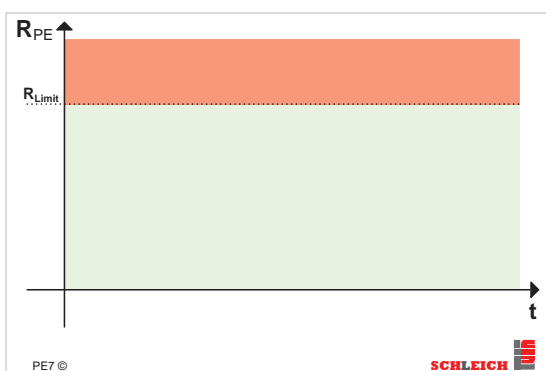
UWAGA - jest to tylko proponowana wartość! Wykonując test upewnij się czy jest wykonywany zgodnie z normą!

Wszystkie zmierzone wartości między  $0\Omega$  i R Limit można uznać za poprawne.



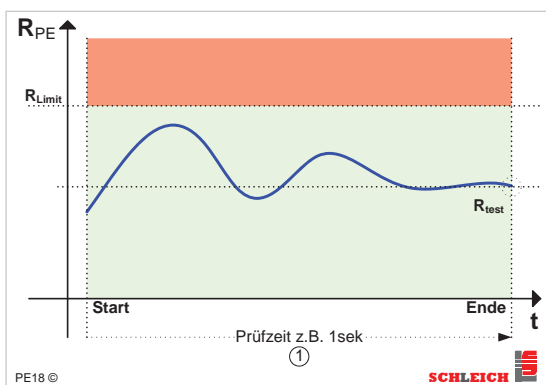
Limit nie może być przekroczony w czasie trwania całego testu!  
Czas testu to zwykle 1sekunda.

UWAGA - jest to tylko proponowana wartość! Wykonując test upewnij się czy jest wykonywany zgodnie z normą!



### 13.4 Które wartości są mierzone i poddawane ewaluacji?

Zmiany, fluktuacja wartości mierzonej nie wpływa na pomiar pod warunkiem, że prąd pomiarowy nie przekroczy limitu. Pod uwagę brana jest jedynie wartość rezystancji pod koniec pomiaru (po 1s). Wynik zmierzonej rezystancji musi znajdować się poniżej lub być równy przyjętej wartości granicznej  $R_{limit}$ .





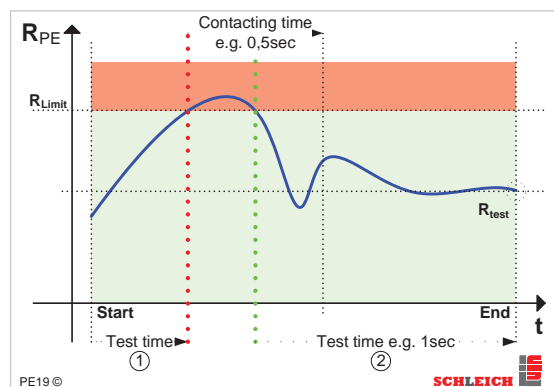
## 13.5 Jak zareaguje tester w momencie przekroczenia limitu?

Jeżeli zmierzona rezystancja przekroczy limit jedynie w wąskim zakresie czasu, test nie jest przerywany.

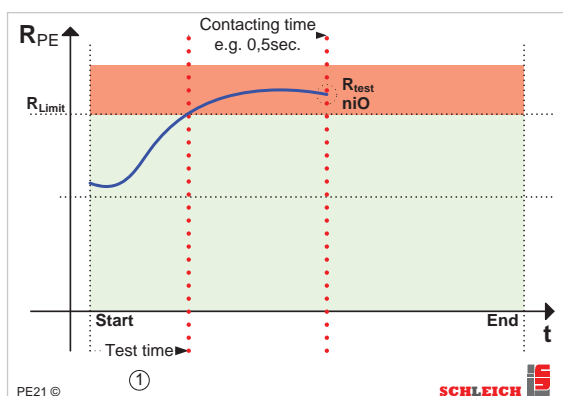
Taka sytuacja często występuje, gdy test wykonywany jest przy użyciu sond pomiarowej. W momencie kontaktu sondy z DUT mogą pojawić się krótkotrwałe wahania prądu w miejscu styku. Jest to nieuniknione, ponieważ końcówka sondy czasami musi przebić się przez np. warstwę lakieru aby ustanowić odpowiedni kontakt elektryczny.

W chwili gdy rezystancja przekroczy wart. graniczną tester automatycznie zacznie odliczać czas przekroczenia. Długość czasu przekroczenia może zostać zaprogramowana dowolnie przez użytkownika. Jeżeli w tym okresie czasu wartość rezystancji nie spadnie poniżej limitu test zostanie przerwany.

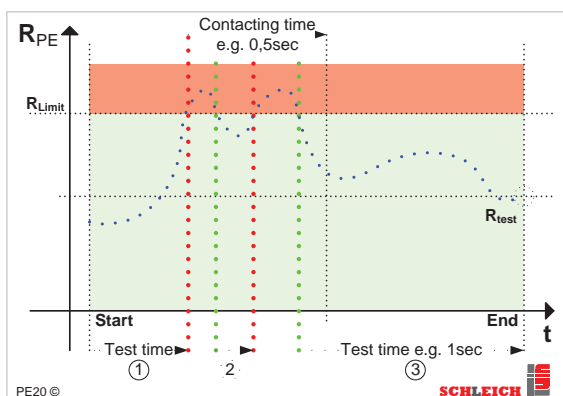
Jeżeli rezystancja spadnie poniżej wartości granicznej pomiar rozpocznie się od początku. Dzięki czemu zaburzenia rezystancji podczas kontaktu sondy z DUT nie wpływają na ostateczny wynik pomiaru, a czas trwania pomiaru samego przewodu PE np. 1s jest zachowany.



Na pobliskim wykresie możemy zaobserwować sytuację, w której wartość rezystancji przekracza limit w momencie podłączenia sondy pomiarowej (1). Czas przekroczenia zostaje automatycznie naliczany przez tester. Gdy tylko rezystancja spada poniżej limitu licznik czasu jest resetowany i rozpoczyna się właściwy pomiar (2).



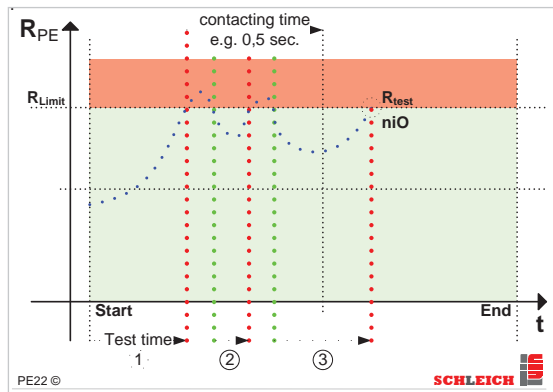
Jeżeli rezystancja nie spadnie poniżej limitu w chwili gdy czas przekroczenia dobiegnie końca, pomiar zakończy się wynikiem negatywnym.



Jeżeli rezystancja przekroczy limit kilkukrotnie (1) + (2) pomiar rozpocznie się od ostatniego zarejestrowanego spadku rezystancji poniżej limitu (2) + (3). Proces trwa do momentu, w którym czas przekroczenia dobiegnie końca.



Jeżeli wartość rezystancji przekroczy limit ponownie test zakończy się wynikiem negatywnym.





## 13.6 Spadek napięcia na przewodach pomiarowych

Czasami zdarza się, że badane urządzenie posiada długie przewody zasilające. Do tej grupy produktów zaliczają się na przykład pompy umieszczone głęboko pod ziemią. Dotyczy to także dużych, złożonych systemów jak na przykład główne rozdzielnie na placach budowy, kuchnie hotelowe, duże maszyny elektryczne itp.

W związku z czym długie przewody ochronne tych urządzeń charakteryzują się relatywnie wysoką rezystancją. W połączeniu z przewodami pomiarowymi samego testera całkowita rezystancja jest nawet jeszcze większa. Zasadniczo nie stanowi to problemu. Jednakże, należy pamiętać, że prąd pomiarowy musi mieścić się w przedziale 10 ... 30A. Jednocześnie maksymalny spadek napięcia nie może być większy niż 6 V / 12V!

### 13.6.1 Określenie maksymalnej mierzalnej rezystancji

Przed pomiarem rezystancji przewodu ochronnego PE należy zadać sobie pytanie: „Jakie wartości rezystancji możemy zmierzyć przy generowanym prądzie pomiarowym, napięciu, średnicy przewodów pomiarowych i długości przewodów pomiarowych?”

Posługując się obliczeniami można szybko uzyskać odpowiedź na te pytania:

Aby określić maksymalną mierzalną rezystancję PE w pierwszej kolejności należy zapoznać się z warunkami brzegowymi. Po ustaleniu wstępnych założeń obliczenia można wykonać przy pomocy dwóch wzorów.

Przed pomiarem należy określić następujące warunki brzegowe.

1. Maksymalny prąd testu PE?
2. Maksymalne napięcie bez obciążenia?
3. Najwyższa rezystancja PE (lub wartość graniczna R Limit) mierzona na obiekcie badanym?
4. Maksymalna długość przewodu pomiędzy testerem i badanym urządzeniem?

Na podstawie prawa Ohma maksymalną mierzalną rezystancję ( $R_{max}$ ) należy określić w pierwszej kolejności. Rezystancja całkowita składa się z rezystancji przewodu PE oraz rezystancji przewodów pomiarowych.

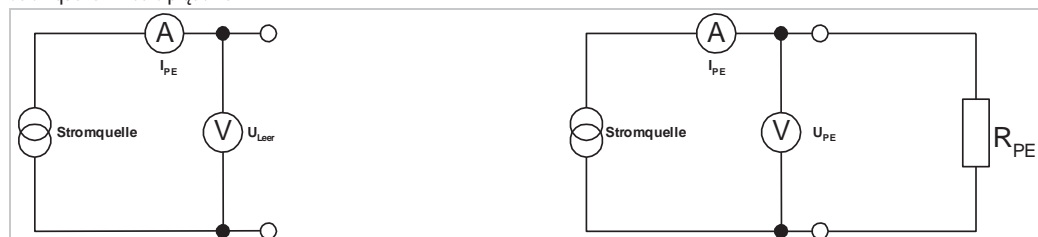
Poniższa tabela przedstawia maks. mierzalną rezystancję w stosunku do napięcia (bez obciążenia) i prądu pomiarowego PE.

Pamiętaj: Z prawa Oma, wzór na rezystancję to:  $R = U / I$ .

Napięcie (bez obciążenia)	Maks. mierzalna rezystancja przy prądzie pomiarowym = 10A	Maks. mierzalna rezystancja przy prądzie pomiarowym = 25A	Maks. mierzalna rezystancja przy prądzie pomiarowym = 30A
$U_{max} = 6V$	$R_{max} = 0,6\Omega$	$R_{max} = 0,24\Omega$	$R_{max} = 0,2\Omega$
$U_{max} = 12V$	$R_{max} = 1,2\Omega$	$R_{max} = 0,48\Omega$	$R_{max} = 0,4\Omega$
$U_{max} = 18V$	$R_{max} = 1,8\Omega$	$R_{max} = 0,72\Omega$	$R_{max} = 0,6\Omega$
$U_{max} = 24V$	$R_{max} = 2,4\Omega$	$R_{max} = 0,96\Omega$	$R_{max} = 0,8\Omega$

**Tabela: R pe**

Stromquelle= źródło prądowe



Test PE bez obciążenia ( $U_{Leer} = 6V$  or  $12V$ )

Test PE ( $U_{PE} = R_{PE} * I_{PE}$ )

Jak pokazano w powyższej tabeli maksymalna wartość rezystancji jaką możemy zmierzyć zależy od wartości prądu pomiarowego i napięcia. Teoretycznie rozważamy tylko wartość rezystancji samego przewodu PE. Jednak w praktyce należy również uwzględnić wpływ przewodów pomiarowych oraz rezystancję zestyku przekaźników.



### 13.6.2 Określenie rezystancji przewodu pomiarowego

Rezystancja przewodu pomiarowego zależy od jego długości i średnicy.  
Wzór potrzebny do obliczenia rezystancji przewodu pomiarowego to:

$$R = L / (\kappa * A).$$

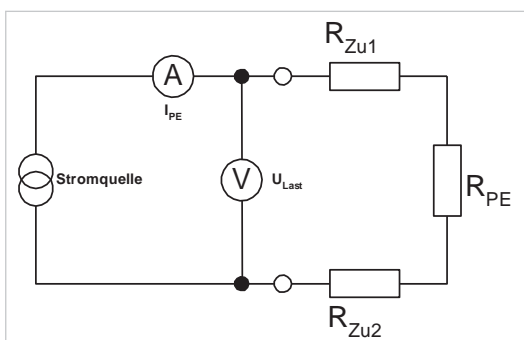
Objaśnienia:  $\kappa$  to wartość przewodności elektrycznej lub przewodności. Dla miedzi wynosi Wert 56, dla aluminium to 36.  
Kalkulacje wykonano przy założeniu, że użyto przewodu miedzianego o długości L oraz średnicy A.

Poniższa tabela przedstawia przykładowe rezystancje przewodu pomiarowego w zestawieniu do długości i średnicy.

Średnica przewodu	Długość przewodu = 1m	Długość przewodu = 2m	Długość przewodu = 5m	Długość przewodu = 10m	Długość przewodu = 20m
A = 0,75 <sup>2</sup> mm	R <sub>max</sub> = 0.024Ω	R <sub>max</sub> = 0.048Ω	R <sub>max</sub> = 0.12Ω	R <sub>max</sub> = 0.24Ω	R <sub>max</sub> = 0.48Ω
A = 1,5 <sup>2</sup> mm	R <sub>max</sub> = 0.012Ω	R <sub>max</sub> = 0.024Ω	R <sub>max</sub> = 0.06Ω	R <sub>max</sub> = 0.12Ω	R <sub>max</sub> = 0.24Ω
A = 2,5 <sup>2</sup> mm	R <sub>max</sub> = 0.007Ω	R <sub>max</sub> = 0.014Ω	R <sub>max</sub> = 0.036Ω	R <sub>max</sub> = 0.07Ω	R <sub>max</sub> = 0.14Ω
A = 4 <sup>2</sup> mm	R <sub>max</sub> = 0.004Ω	R <sub>max</sub> = 0.009Ω	R <sub>max</sub> = 0.022Ω	R <sub>max</sub> = 0.045Ω	R <sub>max</sub> = 0.089Ω
A = 5 <sup>2</sup> mm	R <sub>max</sub> = 0.003Ω	R <sub>max</sub> = 0.007Ω	R <sub>max</sub> = 0.018Ω	R <sub>max</sub> = 0.035Ω	R <sub>max</sub> = 0.07Ω
A = 6 <sup>2</sup> mm	R <sub>max</sub> = 0.003Ω	R <sub>max</sub> = 0.006Ω	R <sub>max</sub> = 0.015Ω	R <sub>max</sub> = 0.03Ω	R <sub>max</sub> = 0.06Ω

tabela Rzu

Przy obliczaniu rezystancji przewodu pomiarowego miej zawsze na uwadze, że do pomiaru niezbędne są dwa przewody. Jeden przewód do sondy PE i drugi podłączany do drugiego końca mierzonego przewodu ochronnego. Przy jednakowych średnicach długość przewodów można do siebie dodać, aby osiągnąć długość całkowitą. W przypadku różnych średnic ich rezystancje należy określić osobno i później do siebie dodać.



$$L_{total} = L_{zu1} + L_{zu2} \quad (\text{przy jednakowych średnicach})$$

$$R_{total} = R_{zu1} + R_{zu2}$$

Przykład: Tabela ukazuje, stosunkowo wysoką rezystancję 0.48Ω jaką charakteryzuje się przewód od średnicy 0,75 mm<sup>2</sup> i długości 20m!

Ta rezystancja w połączeniu z rezystancją przewodu ochronnego PE określa całkowitą mierzalną rezystancję (jak pokazano w tabeli R<sub>pe</sub> - patrz poprzednia strona).

Stromquelle= źródło prądowe

Przykład:

Napięcie 6V przy maksymalnym prądzie pomiarowym 10A daje maksymalną mierzalną rezystancją 0.6Ω (jak pokazano w tabeli R<sub>pe</sub>).  
Jeżeli użyto np. 20 metrowego przewodu pomiarowego pomiarowy o średnicy 0,75 mm<sup>2</sup> maksymalna mierzalna rezystancja zmniejszy się do 0,12Ω!  
Powód: 0,6Ω - 0,48Ω = 0,12Ω!

Jednakże, jeżeli badana rezystancja PE wynosi 0.2Ω nie będzie można jej zmierzyć zgodnie z normą. W tym przypadku można tylko zwiększyć średnicę lub skrócić przewód pomiarowy. Jeżeli tego nie zrobisz tester wykona pomiar rezystancji lecz zmniejszonym prądem pomiarowym. A taki test nie będzie już zgodny z normą [I= 6V / (0.48Ω+0.2Ω) = 8.8A].

Zwiększając średnicę przewodu pomiarowego do 1.5mm<sup>2</sup> możemy osiągnąć:

$$R \text{ przy } 20m \text{ i } 1,5mm^2 = 0,24\Omega$$

$$R_{PEmax} = 0,6\Omega - 0,24\Omega = 0,36\Omega$$

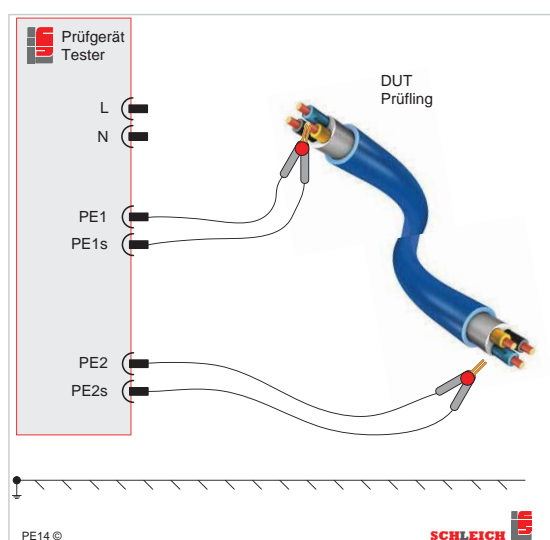
Oznacza to, że maksymalna rezystancja R<sub>pe</sub> jaką możemy zmierzyć zgodnie z normą wynosi do 0.36Ω. Prąd pomiarowy spadnie poniżej 10A tylko dla rezystancji wyższych niż 0.36Ω.



## 13.7 Sprawdzanie ciągłości połączeń podczas testu



Jak można sprawdzić czy test został wykonany prawidłowo? To bardzo proste w przypadku testu rezystancji PE. Jeżeli przez przewód PE prąd nie płynie lub jest zbyt niski oznacza to, że przewód PE uległ uszkodzeniu. Wartość prądu nie może być niższa niż to przewiduje norma, podczas trwania całego testu PE!



## 13.8 Pomiar zwiniętych przewodów

Jeśli mierzona jest rezystancja PE na przykład bębna kablowego należy pamiętać, że kable zwinięte w kłębek działają jak cewka. Wpływ indukcyjności tak zwiniętych przewodów na wynik pomiaru jest dość istotny. Indukcyjność może nawet tak silnie wpływać na prąd pomiarowy np. 10A AC przy 12V, że źródło nie będzie w stanie wygenerować odpowiedniej ilości prądu.

Tak więc chociaż rezystancja samego przewodu PE jest wystarczająco niska (np. 0,15Ω), impedancja może spowodować znaczne zaniżenie przepływającego prądu.

W takich przypadkach pozostają dwie opcje, aby utrzymać prąd na poziomie wymaganym w normach:

Opcja 1:

Napięcie jest zwiększane w celu osiągnięcia wystarczającego natężenia prądu. Może to na przykład być napięcie 18VAC lub 24VAC.

Opcja 2:

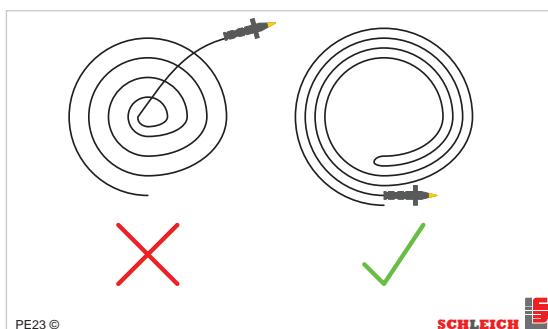
Zamiast napięcia przemiennego (AC) do testu PE wykorzystywane jest napięcie stałe (DC). Przy użyciu prądu stałego indukcyjność przestaje mieć znaczenie. Prąd stały jest ograniczony jedynie przez rezystancję czynną (omową) przewodu PE. Stosownie prądu stałego jest zalecane dla obiektów inercyjnych o charakterze indukcyjnym (cewka) jak np. zwinięte kable w bębnie kablowym.





## 13.9 Test przy skręconych przewodach pomiarowych

Ten sam efekt możemy zaobserwować przy długich przewodach pomiarowych (zobacz poprzedni punkt).



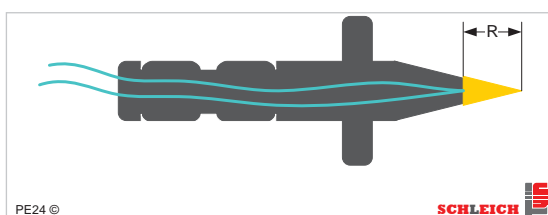
Standardowa długość przewodu sondy pomiarowej wynosi 10m i więcej.

Aby wyeliminować indukcyjności przewodu pomiarowego należy zwinąć go bifilarnie (przeciwsobnie). Takie ułożenie przewodu powoduje znoszenie się indukcyjności obudwu jego części (jak pokazano na rysunku obok). Najłatwiej jest to zrobić oznaczając środek przewodu markerem lub taśmą. Zwijanie rozpocznij od środka przewodu.

## 13.10 Rezystancja sondy pomiarowej

Pomiar rezystancji metodą 4-przewodową opisano w rozdziale 3.2.

Sonda pomiarowa jest specjalnie przystosowana do pomiaru 4-przewodowego. Przewody pomiarowe łączą się wewnętrznie na metalowej iglicy sondy. Z tego powodu rezystancja samej iglicy jest również mierzona podczas pomiaru. W większości przypadku jej rezystancja jest pomijana.



Jednakże, dla bardzo precyzyjnych pomiarów operator może wprowadzić korektę w ustawieniach testera. Wynik zostanie zmniejszony o rezystancję iglicy pomiarowej.

Rezystancja iglicy mieści się w zakresie ok. 10mΩ. Nie należy wpisywać większych wartości.

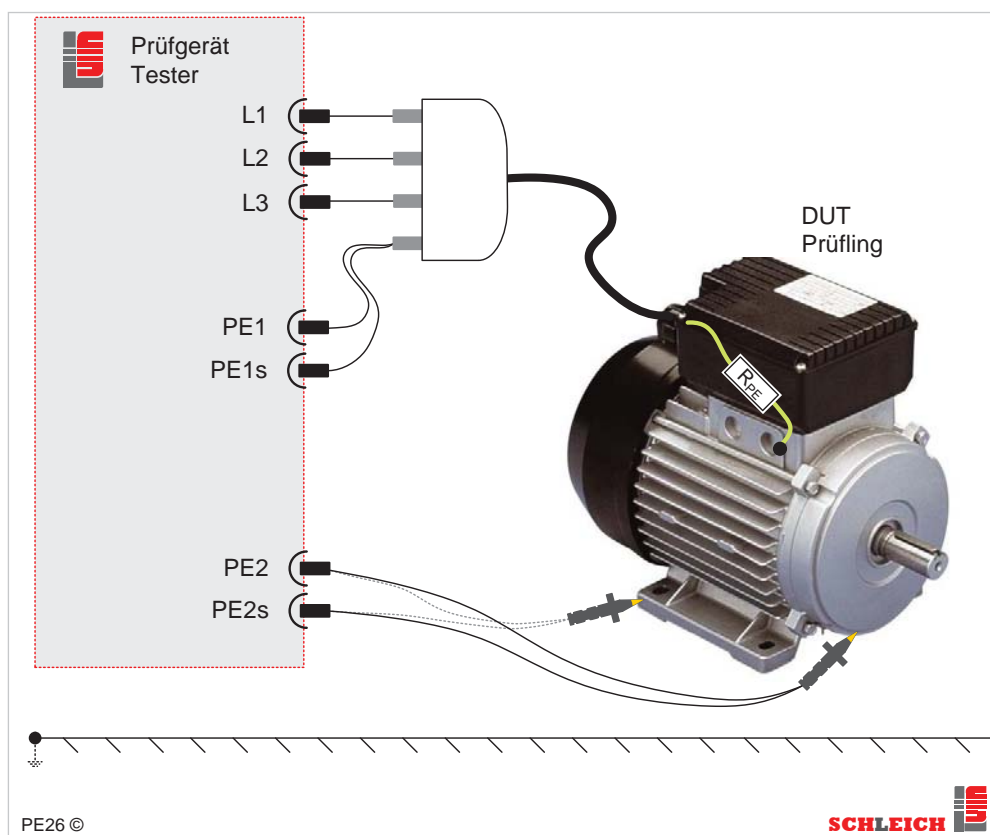


## 13.11 Przykładowe aplikacje testu PE

### 13.11.1 Test PE wykonywany ręcznie

Test ręczny zazwyczaj wykonuje się za pomocą sondy pomiarowej.

Pierwszą czynnością podczas testu jest podłączenie przewodów zasilających DUT do testera. Można to zrobić na dwa sposoby, przez złącze sieciowe (I-fazowe, III-fazowe) na płycie czołowej testera, lub też przez złącze przemysłowe (tzw. harting) na panelu tylnym testera. Do złącza przemysłowego wymagany jest specjalny adaptera. Każdy adapter wykonywany jest według wymagań klienta.



Powyższe zdjęcie przedstawia testowany obiekt wraz z przewodami zasilającymi. Przewody zasilające są podłączone do III-fazowego gniazda testera za pomocą wtyczki. Operator następnie przykładá sondę pomiarową do miejsc na obudowie silnika, w których ma być wykonany pomiar rezystancji do PE.

Test rozpoczyna się po wciśnięciu przycisku na sondzie. Alternatywnie test może rozpocząć się automatycznie po przyłożeniu iglicy sondy do dostępnych, metalowych części na obudowie DUT. Zależy to od modelu testera i jego wyposażenia. Więcej szczegółów znajdziesz w instrukcji obsługi Twojego testera.

Po pomiarze rezystancji na wyświetlaczu pojawi się wynik. Jeżeli jest on pozytywny należy przyłożyć sondę do kolejnego punktu na obudowie i powtórzyć pomiar. Sekwencja powtarza się aż do zakończenia testu.

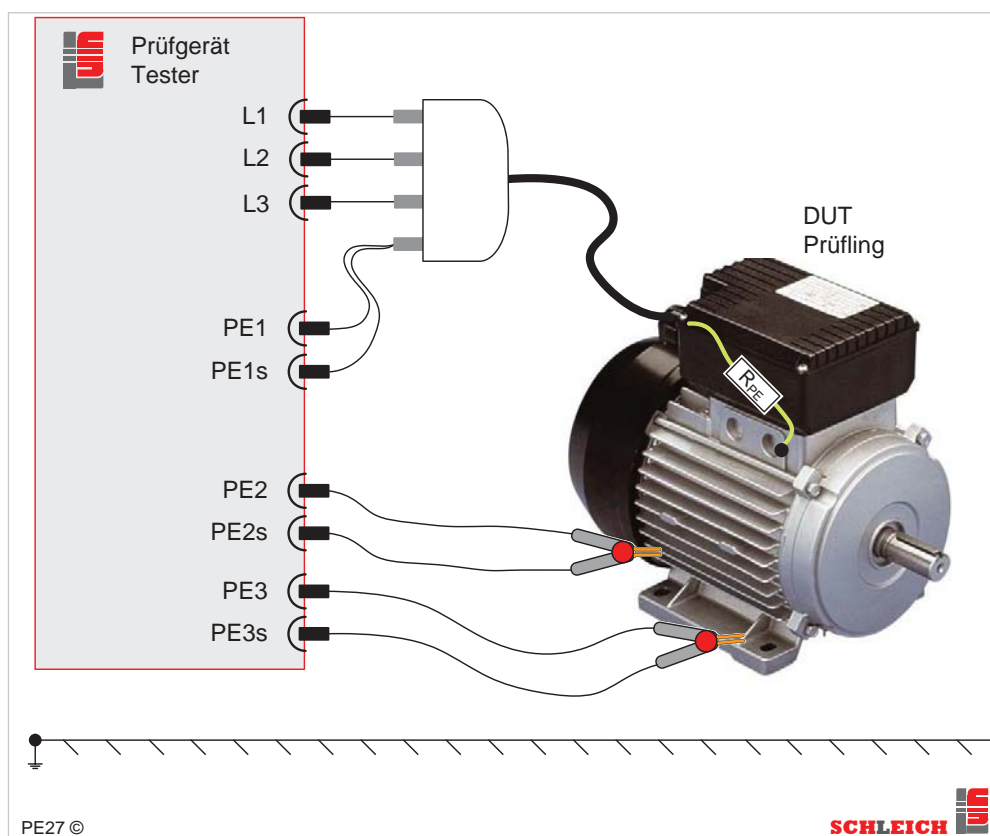
Jeżeli wyniki jest negatywny pomiar można powtórzyć, jeśli jest to wymagane. Więcej informacji na ten temat znajduje się w instrukcji obsługi twojego testera.



### 13.11.2 Test PE wykonywany automatycznie

W trybie automatycznym zaciski pomiarowe są podłączane w kilku punktach na DUT. Po ich podłączeniu można rozpocząć proces automatycznego testowania. Wszystkie pomiary rezystancji PE są wykonywane automatycznie jeden po drugim. Tego typu pomiar jest dostępny tylko dla testerów wyposażonych w automatyczną matrycę przełączającą.

Przed rozpoczęciem testu należy przygotować program testowy. Każdy program składa się z indywidualnych kroków pomiarowych połączonych w jedną sekwencję. Program nie jest ograniczony jedynie do pomiaru rezystancji PE. W zależności od wyposażenia testera program może zawierać sekwencje różnych metod pomiarowych np. HV, RI, RPE.





## 13.12 Zestaw kalibracyjny „black box”

Niezwykle ważne jest, aby testy bezpieczeństwa wykonywane były w sposób wiarygodny. Błąd pomiarowy należy ograniczyć do minimum.

### Kiedy może się zdarzyć taka awaria?

Błąd może np. wystąpić kiedy styki badanego urządzenia są uszkodzone lub przewód zasilający DUT jest przerwany. Testery SCHLEICH wykrywają takie błędy automatycznie. Jednakże, należy wykonywać regularną kalibrację sprzętu, aby mieć pewność, że wszystko działa prawidłowo. Takie pomiary kalibracyjne nazywane są testem black box lub też dummy test.

Black box zbudowany jest z precyzyjnych rezystorów o wysokiej stabilności, które służą do sprawdzenia obwodów pomiarowych kalibrowanego urządzenia.

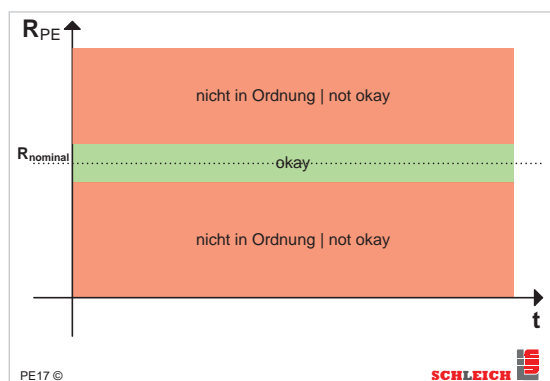
Do kalibracji testu rezystancji PE często wykorzystuje się rezystancję odniesienia 0,1Ω. Każdy black box posiada osobny dokument kalibracyjny potwierdzający jego parametry. Znajduje się tam też informacja o dokładnej wartości rezystancji kalibratora. Dzięki czemu łatwo można porównać wartość zmierzoną z wartością odniesienia.

Poniższe zdjęcia przedstawiają przykładowe black boxy:



### 13.12.1 Zestaw kalibracyjny „black box” - ± limit tolerancji pomiarowej

Podczas pomiaru kalibracyjnego wartość rezystancji musi być mierzona z bardzo dużą dokładnością w wąskim zakresie tolerancji!



W przypadku, gdy limit zostanie przekroczony tester automatycznie przełączy się w tryb blokady, aby uniemożliwić wykonywanie dalszych testów. Dopiero po usunięciu przyczyny awarii i ponownej kalibracji blokada zostanie zniesiona.

Niektórzy klienci nie akceptują tej metody pomiaru. Wymagają aby zostały dostarczone dwa osobne kalibratory, jeden dla wyniku pozytywnego oraz drugi dla wyniku negatywnego.



### 13.12.2 Zestaw kalibracyjny „black box” - test pozytywny/negatywny

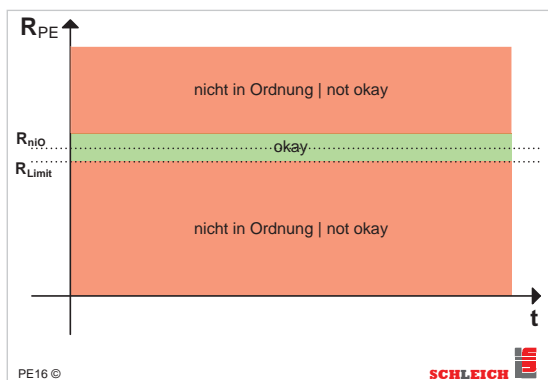
Ten rodzaj kalibracji jest podzielony na dwa etapy.

W pierwszym etapie tester powinien wyświetlić wynik negatywny. W drugi wynik pozytywny.

Służy do tego specjalny black box zbudowany z dwóch osobnych rezystorów. Obie rezystancje mogą być zabudowane w jednej obudowie lub też znajdować się w dwóch osobnych obudowach. Jeżeli tester nie wyświetli prawidłowych wyników uruchomi się tryb blokady, która może być zdjęta dopiero przez ponowny, poprawny pomiar podczas kolejnej kalibracji.

#### 1. Wynik negatywny

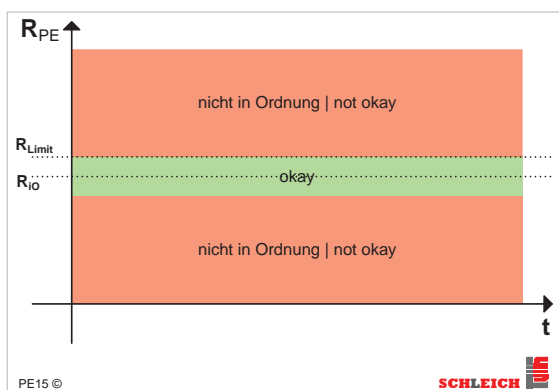
Przed testem należy określić wartość graniczną np.  $0,1\Omega$ . Do testera podłącza się rezystor o rezystancji nieco powyżej limitu np.  $0,11\Omega$ .



Jeżeli tester działa poprawnie wykryje zbyt wysoką rezystancję i wyświetli wynik negatywny. Jednakże wartość graniczna rezystancji (limit) nie może być zbyt wysoka!

#### 2. Wynik pozytywny

Do testera podłącza się rezystor o rezystancji nieco poniżej limitu np.  $0,09\Omega$ .

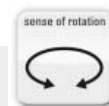


Jeżeli tester działa poprawnie wyświetli wynik pozytywny. Jednakże wartość graniczna rezystancji (limit) nie może być zbyt niska!



---

**Kierunek wirowania pola magnetycznego**



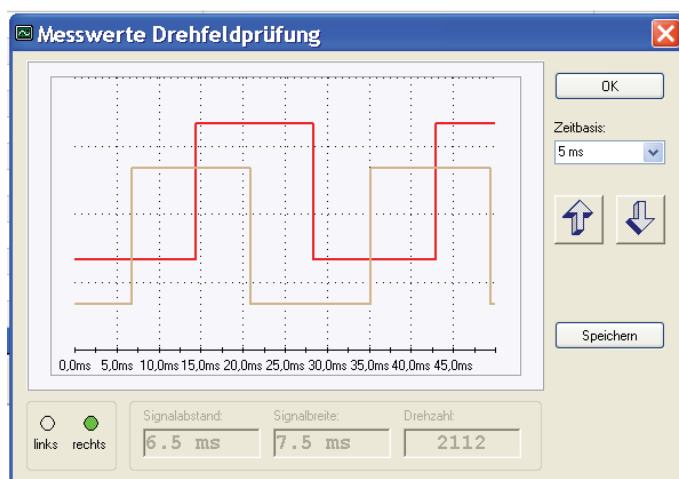
## 14. Kierunek wirowania pola magnetycznego

### 14.1 Objaśnienia dot. pomiaru kierunku wir. pola magnetycznego

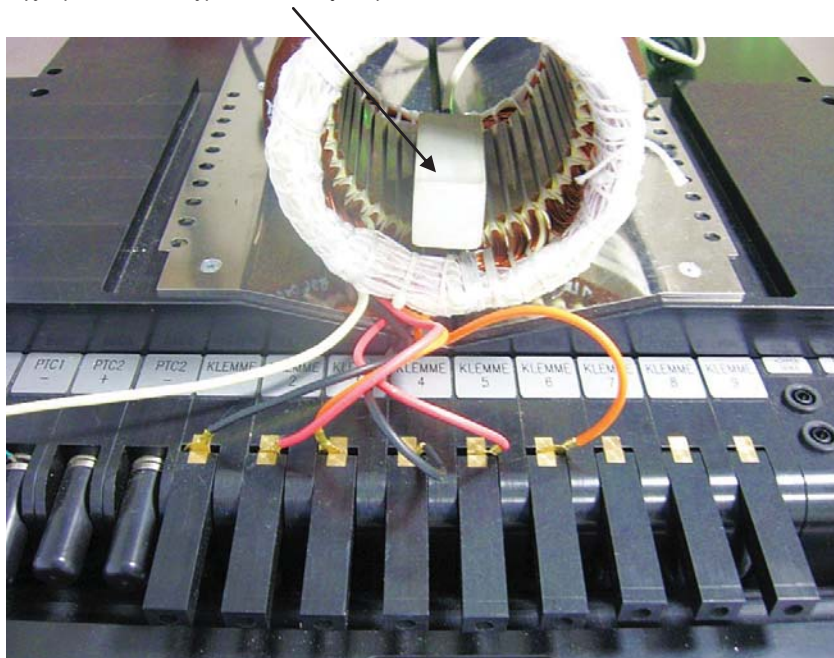
Podczas testu, wewnątrz badanego stojana, umieszcza się sondę pola, która mierzy kierunek wirującego pola magnetycznego.

Schleich produkuje sondy pola dla szerokiego zakresu aplikacji oraz różnego typu stojanów.

Sygnal cyfrowy wyprowadzony z sondy jest wyświetlany na ekranie testera. Na podstawie przesunięcia fazowego z obu czujników (umieszczonych w sondzie) tester automatycznie określa kierunek obrotów.



Zdjęcie przedstawia sondę pola umieszczoną w stojanie.







Zdjęcie poniżej przedstawia sondę pola o regulowanej wysokości.









## 15. Test wizualny

### 15.1 Objaśnienia dotyczące testu wizualnego

Podczas inspekcji wizualnej operator sprawdza obiekt badany pod kątem widocznych uszkodzeń mechanicznych

Wynik testu wprowadzany jest do testera w formie jednoznacznego przekazu: wynik testu pozytywny lub wynik testu negatywny. Operator może wprowadzić wynik testu na kilka sposobów:

- Za pomocą ekranu dotykowego (standardowo w testerach MTC2, MTC3, GLP2e, GLP2ce, GLP3)
- Za pomocą przycisków na płycie czołowej testera
- Za pomocą klawiatury

Alternatywnie do informacji o rezultacie testu operator ma możliwość wprowadzenia informacji dodatkowych. Mogą to być, na przykład wartości z zewnętrznych urządzeń pomiarowych, takich jak suwmiarka, pirometr etc etc.

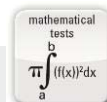


Test wizualny może być również łączony z testem funkcjonalnym. W ten sposób operator może sprawdzić badane urządzenia w warunkach znamionowych gdy jest zasilane z sieci. Należy pamiętać o przepisach bezpieczeństwa podczas wykonywania tego testu!

**16**

---

**Test matematyczny (obliczeniowy)**



## 16. Test matematyczny (obliczeniowy)

### 16.1 Objaśnienia dot. testu matematycznego

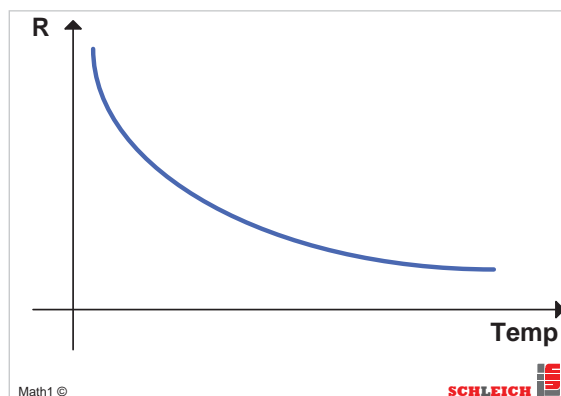
Test matematyczny nie jest testem elektrycznym, jednak bazuje na wcześniej zmierzony wielkościach elektrycznych, które są podstawą do dalszych obliczeń. Uzyskany wynik jest porównywany do wartości referencyjnej.

Poniżej znajduje się kilka przykładów zastosowania testu matematycznego

- Obliczania symetrii (pasmo rozrzutu) rezystancji przewodów pomiarowych
- Obliczania mocy odbiornika trójfazowego

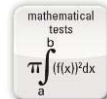
### 16.2 Przykład: Pomiar temperatury - NTC

Do pomiaru temperatury wewnątrz obiektu badanego wykorzystuje się NTC (termistor o ujemnym współczynniku temperaturowym (ang. negative temperature coefficient) – wzrost temperatury powoduje zmniejszanie się rezystancji.



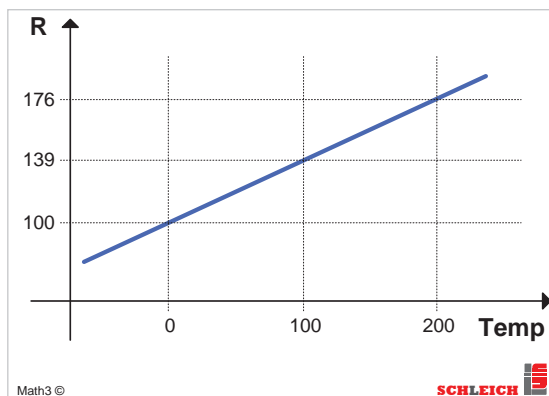
NTC charakteryzuje się nieliniowym spadkiem rezystancji wraz ze wzrostem temperatury.

Zależność pomiędzy temperaturą i rezystancją termistora zapisana jest w pamięci testera. Po wykonaniu pomiaru rezystancji tester wylicza wartość temperatury.



## 16.3 Przykład: Pomiar temp. czujnikiem rezystancyjnym PT100

Czujniki rezystancyjne PT100 często wykorzystuje się do pomiaru temperatury.



PT100 to termometr rezystancyjny wykonany z platyny o wartości rez. 100Ω w 0°C. Czujnik charakteryzuje się liniową zmianą rezystancji w określonych zakresach. Zależność pomiędzy temperaturą i rezystancją czujnika zapisana jest w pamięci testera. Po wykonaniu pomiaru rezystancji tester wylicza wartość temperatury.

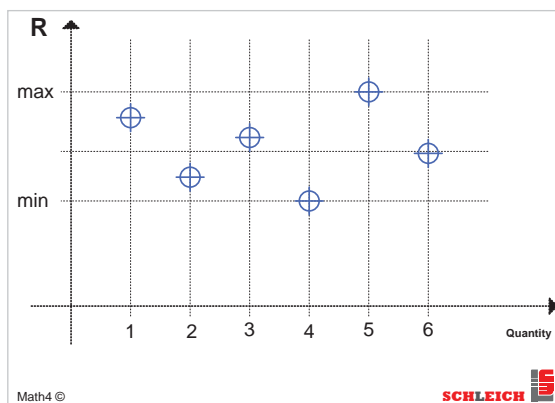
## 16.4 Przykład: Temperatura miedzianego drutu nawojowego

Miedź ma dodatni współczynnik temperaturowy. Jest materiałem, który zmienia swoją rezystancję liniowo cechuje się liniową zmianą rezystancji w określonych zakresach. Rezystancja rośnie proporcjonalnie do wzrostu temperatury.

Silniki elektryczne posiadają uzwojenia zbudowane z miedzianych lub aluminiowych drutów nawojowych. Znając wartość rezystancji dla określonej temperatury można wykonać pomiar rezystancji na gorącym silniku i przeliczyć wynik do temp. wymaganej przez normy później.

## 16.5 Przykład: Wartość minimalna, maksymalna, średnia & pasmo rozrzutu

Pasmo rozrzutu umożliwia zestawienie pomiarów rezystancji wykonywanych podczas kolejnych etapów badania. Dzięki czemu łatwiej jest zaobserwować zróżnicowanie wartości zmiennej oraz odchylenie od tendencji centralnej.



Zmierzone wartości mogą zostać przedstawione w oparciu o następujące kryteria:

- Wartość maksymalna
- Wartość średnia
- Wartość minimalna







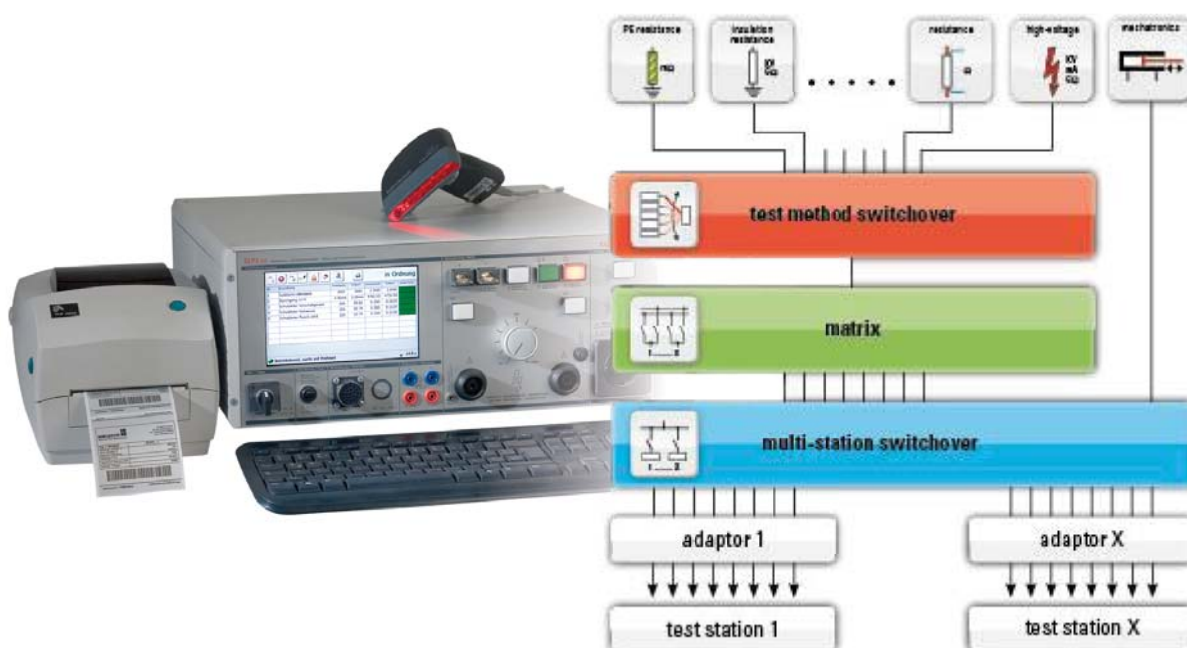
## 17. Przełączanie metod pomiarowych, przełącznice, multitestery



### 17.1 Opis ogólny

Rozwiązania stosowane w linii produktów firmy Schleich sprawdzają się w codziennej pracy. Podstawowym celem firmy Schleich jest tworzenie przyrządów pomiarowych, które pozwalają na testowanie w sposób szybki, prosty i skuteczny, jak to tylko możliwe. Takie fundamentalne założenia gwarantują wysoką użyteczność oraz wygodę pracy dla operatora.

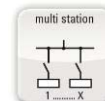
Aby ograniczyć czas testu do minimum wszystkie testery firmy Schleich zostały wyposażone w automatyczną matrycę przełączającą. Po umieszczeniu zacisków Kelvina na wyprowadzeniach faz silnika tester jest w pełni gotowy, aby rozpocząć szereg następujących po sobie testów. Zapewnia to szybkość pomiaru oraz zwalnia operatora z ponownego przemieszczania zacisków pomiarowych pomiędzy kolejnymi testami. Wszystkie połączenia realizowane są z pozycji przełącznicy znajdującej się wewnątrz testera. Zastosowanie przełącznicy jest rozwiązaniem bardzo komfortowym a prostota pomiaru sprawia, że operatorem urządzenia może zostać nawet niewykwalifikowany pracownik.



Złożone obiekty badawcze jak np. duże silniki elektryczne, często posiadają więcej niż 3 przewody zasilające, przez co realizacja wszystkich połączeń wewnątrz testera jest bardzo praktyczna oraz zabiera zdecydowanie mniej czasu. Tak więc zgodnie z powyższym operator testując silnik elektryczny umieszcza zaciski Kelvina na tabliczce zaciskowej silnika tylko raz.

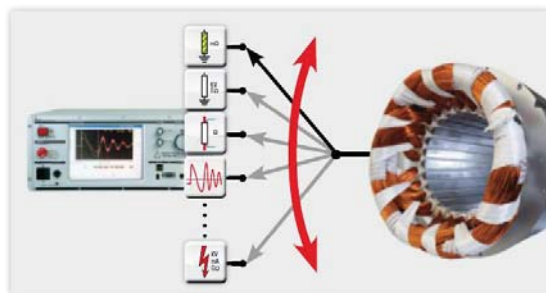
Następnie tester wykonuje automatyczną serię testów pomiędzy poszczególnymi punktami. W przypadku silnika/stojana jest to metoda bardzo efektywna, w odróżnieniu od ręcznego przekładania zacisków pomiarowych przed każdym pomiarem. Przełączanie pomiędzy kolejnymi uzwojeniami jest wykonywane za pomocą wbudowanej matrycy.

Oczywisty wydaje się również fakt, że złożone obiekty od dużej liczbie przewodów wymagają więcej czasu na ponowne mocowanie zacisków pomiarowych. W celu zautomatyzowania pomiaru i skrócenia czasu jego wykonywania łączymy nasze testery w podwójne lub wielostanowiskowe systemy. Na jednej sekcji stanowiska pomiarowego DUT jest zasilany i rozładowywany, a na drugiej odbywa się pomiar. Wszystko dzieje się symultanicznie a samo badanie, nawet w przypadku złożonych testów, jest krótkie, ekonomiczne i w pełni automatyczne.



## 17.2 Przełączanie metod pomiarowych

Schleich oferuje szereg różnych przełącznic przystosowanych do typu i zakresu metod pomiarowych. Zapewnia to szybką i automatyczną zmianę pomiędzy różnymi metodami badań.



Różnice napięcia pomiędzy poszczególnymi metodami pomiaru mogą być bardzo wysokie, dlatego bezpieczeństwo posiada najwyższy priorytet w przypadku doboru odpowiedniej przełącznicy.

Na przykład test rezystancji PE wykonywany napięciem 12V może poprzedzać test wysokiego napięcia z 6000V, a wszystko musi być wykonywany w sposób gwarantujący bezpieczeństwo operatorowi oraz samego DUT.

W takich przypadkach nie można iść na kompromisy. Schleich używa w swoich testach jedynie sprawdzone części najwyższej jakości z własnej produkcji lub od znanych niemieckich producentów.

Przełącznice posiadają następujące serie testerów:

- testery serii MotorAnalyzer
- testery serii MotorAnalyzer 2
- testery serii MTC2
- testery serii MTC3

## 17.3 Przełącznice

Dla każdej aplikacji posiadamy odpowiednią przełącznicę. Matryce różnią się liczbą wyprowadzeń oraz wielkością maks. napięcia probierczego. Natomiast cechą wspólną jest możliwość pracy zarówno przy wysokim napięciu jak i na sygnałach miliwoltowych. Firma Schleich posiada w swoim asortymencie sprzęt odpowiadający dokładnie takim potrzebom.



Przełącznice wykonane są w topologii dwuprzewodowej oraz czteroprzewodowej. Mogą być również łączone w bardziej złożone jednostki, aby arbitralnie zwiększyć ilość połączeń. Przełącznice z ponad stoma wyjściami nie są niczym nowym dla firmy Schleich. W aplikacjach gdzie błąd może kosztować ludzkie życie Schleich zawsze stawia na bezpieczeństwo. Dotyczy to również doboru przełącznic gdzie najwyższym priorytetem jest jakość, nie ich cena.

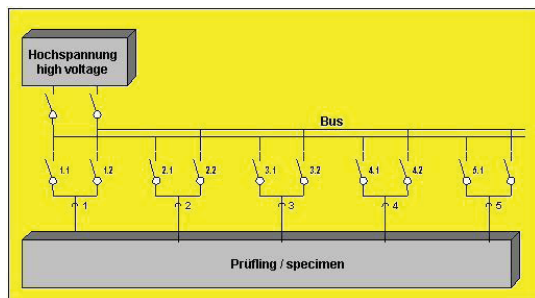
W ofercie firmy znajduje się wiele przełącznic różnego typu. Daje to gwarancję szybkich i automatycznych pomiarów.

Przełącznice posiadają następujące serie testerów:

- testery serii MotorAnalyzer
- testery serii MotorAnalyzer 2
- testery serii MTC2
- testery serii MTC3



### 17.3.1 Zasada działania przełącznicy dwuprzewodowej

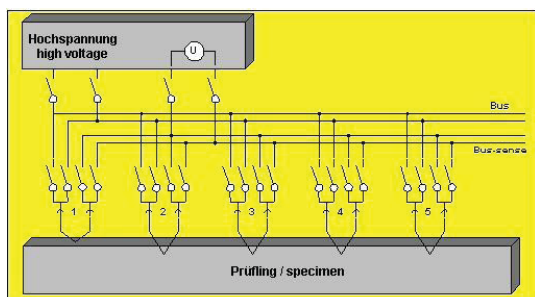


Zdjęcie przedstawia uproszczony schemat przełącznicy. Dwa bieguny (HV1 -HV2) testera wysokiego napięcia są podłączone do swego rodzaju magistrali. Każdy z punktów pomiarowych jest zwierany do magistrali za pomocą dwóch osobnych przełączników. Przełączniki mogą być przełączane niezależnie. Umożliwia to podłączenie biegunów HV1 i HV2 do każdego punktu pomiarowego z osobna.

Przed testem operator musi przygotować program pomiarowy. Program składa się z poszczególnych etapów (kroków pomiarowych), które następują po sobie sukcesywnie w trakcie badania. Na bazie wprowadzonych ustawień program określa sekwencje przełączania przełączników, czyli który biegun wysokiego napięcia ma zostać podłączony do którego punktu pomiarowego. Dzięki temu możliwe jest ustawienie dowolnej liczby kombinacji punktów pomiarowych. Możliwe jest na przykład zaprogramowanie testera tak, aby przetestował każde możliwe połączenie („all vs all”). Oczywiście możliwe jest też jednoczesne testowanie kilku lub kilkunastu punktów pomiarowych w tym samym czasie (np. 1+2 vs 3). Każdy krok pomiarowy może zawierać dowolną liczbę kombinacji.

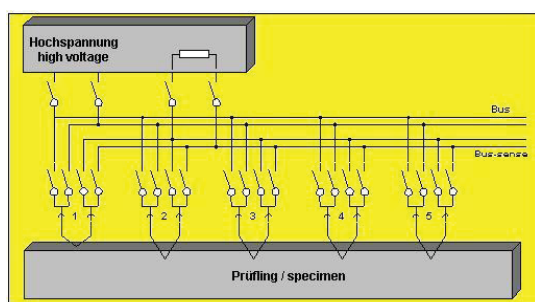
### 17.3.2 Zasada działania przełącznicy czteroprzewodowej

Jest też możliwe wykonanie matrycy w technice 4-przewodowej. W tym przypadku każdy punkt pomiarowy magistrali posiada 4 przełączniki zamiast dwóch. Koszt takiej przełącznicy jest niemalże dwukrotnie wyższy ponieważ przełączane są również przewody „sense” (dodatkowy woltomierz do pomiaru 4-przewodowego). Poniższy rysunek przedstawia przełącznicę 4-przewodową.



Zaletą pomiaru 4-przewodowego jest to, że wysokie napięcia podłączone do badanego obiektu wraca do testera podczas testu wysokiego napięcia. Tak więc istnieje możliwość sprawdzenia poprawności połączeń. Gwarantuje to bezpieczeństwo pomiarów niezbędne w procesach automatycznych testów.

Alternatywną metodą jest użycie wysokonapięciowego rezystora. W tym przypadku ciągłość połączeń można określić przez pomiar prądów upływu na rezystorze. Zmierzoną wartość prądu przyjmuje się jako prąd minimalny. Poniższy schemat przedstawia taki właśnie układ:





## 17.4 Systemy wielostanowiskowe

Jeden rozbudowany system wielostanowiskowy stanowi czasem ekonomicznie uzasadnioną alternatywę w stosunku do kilku mniejszych testerów pracujących niezależnie.



Tego typu stanowiska pomiarowe spełniają najwyższe obowiązujące wymagania bezpieczeństwa. Podczas odbywających się pomiarów na jednej sekcji stanowiska, sekcja druga jest rozładowywana i ładowana ponownie. Podczas tego procesu operator nieuchronnie styka się z zaciskami oraz przewodami pomiarowymi. Z tej przyczyny dbałość o bezpieczeństwo operatora odgrywa tutaj zasadniczą rolę. Przewody pomiarowe w nieaktywnej sekcji pomiarowej muszą być odseparowane ze względów bezpieczeństwa. Ponadto zaleca się ich dodatkowe uziemienie przed ponownym użyciem.

Przełącznice realizujące tego rodzaju połączenia posiadają następujące serie testerów:

- testery serii MTC3

## 17.5 Mechatronika

Bezpośrednie sterowanie procesami mechatronicznymi z poziomu testera stanowi ogromną zaletę. Za pośrednictwem testera można np. zmieniać pozycje zaworów oraz wykonywać wiele innych czynności.



W rezultacie wiele testerów Schleich jest w stanie generować dodatkowe procesy funkcyjne przed, w trakcie i po zakończeniu testu. Takie rozwiązanie idealnie spełnia swoją rolę w przypadku gdy wymagane są własne ustawienia testowe pod wybraną aplikację lub integracja testera na linii produkcyjnej.

Testery realizujące tego rodzaju czynności to:

- testery serii MTC3





## 18. Kalibracja

### 18.1 Standardowa kalibracja



Monitorowanie stanu przyrządów pomiarowych jest bardzo ważną czynnością dla każdej firmy. Regularna kalibracja i serwis jest istotnym warunkiem zapewniającym jakość i niezawodność zakupionych urządzeń. Z tej przyczyny firma Schleich wykonuje kalibracje w pełni zgodną obowiązującymi normami: DIN EN ISO 9001/10012; DKD DAkKS.

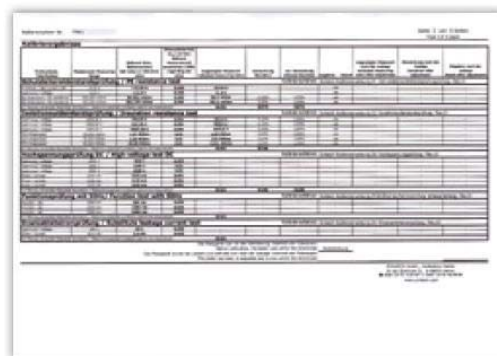
W chwili obecnej dostępne są trzy metody kalibracji:

- "in-house calibration" - kalibracja wykonywana u klienta
- "at SCHLEICH calibration" - kalibracja wykonywana w fabryce w Hemer
- "online calibration" - kalibracja wykonywana zdalnie przez internet

Kalibracje wykonywane po stronie Schleich'a nie zajmują dużo czasu. Jeśli posiadasz standardowy tester, istnieje możliwość wypożyczenia zamiennika na czas kalibracji. W razie potrzeby serwisanci pracujący w firmie Schleich mogą też skalibrować przyrządy innych producentów.

W przypadku wykrycia niedopuszczalnych odchyień wartości pomiarowych Schleich skalibruje tester ponownie w ramach usługi kalibracyjnej. Zmierzone wartości pomiarowe przed i po kalibracji zostaną udokumentowane na świadectwie wzorcowania.

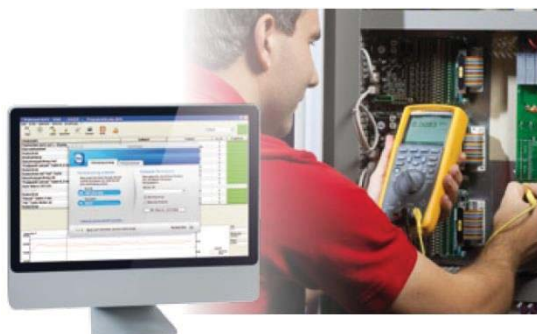
Usługa kalibracji jest wykonywana zgodnie z niemieckimi normami krajowymi. Firma Schleich posiada zatwierdzoną procedurę kalibracyjną według DIN EN ISO9001, które jest również kompatybilna z kolejnymi standardami jak na przykład DIN EN ISO 10012. Możliwe jest również wykonanie kalibracji według normy DKD DAkKS, na życzenie klienta.





## 18.2 Wsparcie techniczne

Wszystkie urządzenia muszą posiadać aktualną kalibrację wykonywaną w przypisanym dla danego typu sprzętu odstępie czasu. Na koszt każdej kalibracji wykonanej u klienta składa się nakład pieniężny związany z podróżą oraz cena samej usługi.



W przypadku, gdy tester znajduje się daleko od siedziby firmy Schliech, koszty związane z podróżą serwisanta mogą wielokrotnie przewyższyć cenę samej usługi kalibracji. Żeby utrzymać wydatki na jak najniższym poziomie stosuje się konsolidację wizyt serwisanta, celem tego zabiegu jest odwiedzenie największej możliwej liczby firm podczas jednej wizyty. W celu ograniczenia kosztów związanych z kalibracją na miejscu oferowana jest tzw. kalibracja zdalna. W tym przypadku przyjazd serwisanta z firmy Schliech nie jest wymagany. Cała procedura kalibracyjna wykonywana jest przez operatora testera, oczywiście przy pomocy wskazówek przesyłanych przez serwisanta przez internet lub telefon.

W trakcie kalibracji zdalnej ochrona danych jest kluczowa. W szczególności podczas korzystania z internetu należy zadbać, aby przesyłane dane nie wpadły w niepowołane ręce. Dlatego w czasie kalibracji używane jest jedynie oprogramowanie zatwierdzonego i rzetelnie sprawdzonego znanego niemieckiego producenta. Podczas kalibracji serwisant z firmy Schliech będzie zdalnie sterował testerem przez Internet, przysłał odpowiednie pliki potrzebne do wykonania kalibracji oraz przekazał szczegółowe instrukcje pracownikowi na miejscu. Instrukcje dla pracownika mogą być przesyłane w formie pisemnej (czat) lub głosowej (telefon).

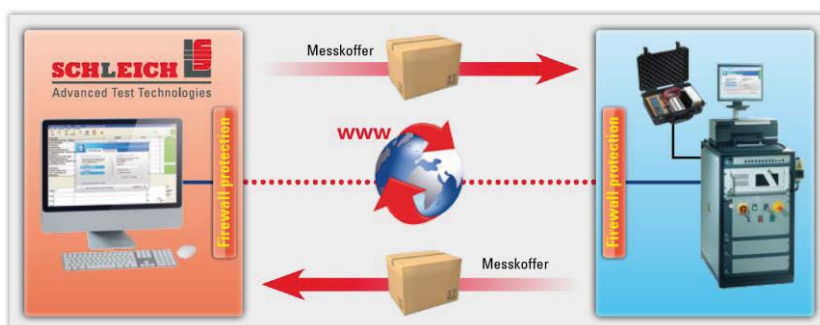
Kalibracje zdalne mogą być wykonywane bezpośrednio z siedziby Schliech w Niemczech, lub za pośrednictwem lokalnego partnera firmy Schliech w Polsce - firmy Astat. Istnieje też możliwość aktualizacji oprogramowania w taki sam sposób.

## 18.3 Kalibracja online

Przed wykonaniem zdalnej kalibracji otrzymasz z siedziby firmy Schliech zestaw kalibracyjny zawierający skalibrowane rezystory, multmetry oraz inne potrzebne narzędzia.

Pierwszą czynnością przed przystąpieniem do kalibracji jest ustanowienie połączenia internetowego. Następnym krokiem jest rozpoczęcie procedury kalibracyjnej przy czynnej pomocy serwisanta. Wszystkie zmierzone wartości zostaną wyświetlone na ekranie monitora po stronie firmy Schliech. Na podstawie zebranych danych serwisant podejmie decyzję o dalszych czynnościach. W przypadku pojawienia się jakichkolwiek rozbieżności pomiędzy wartościami zmierzonymi a wartościami odniesienia serwisant zmieni zdalnie ustawienia testera.

Po przeprowadzonej kalibracji zestaw do kalibracji należy niezwłocznie odesłać z powrotem. Świadectwo wzorcowania zostanie przesłane drogą mailową.



## Astat autoryzowany dystrybutor firmy Schliech w Polsce

Firma Astat istnieje już od 1992 roku. Przez ten czas udało się nam zasłużyć na zaufanie klientów oraz zyskać opinię solidnego i przewidywalnego partnera, potrafiącego sprawnie dostosowywać się do ciągle rosnących wymagań polskiego rynku.

Od dnia 01.08.2013 celem poprawy jakości serwisu logistycznego dla klientów, zgrupowaliśmy wszystkie czynności logistyczne, związane z procesem zamawiania oraz wysyłek towarów dystrybucyjnych w jednej firmie pod nazwą Astat Logistyka Sp. z o.o., która została specjalnie zorganizowana do efektywnej dystrybucji towarów.

Sprzedaż produktów firmy Schliech, obsługa i realizacja projektów odbywa się za pośrednictwem Astat Sp. z o.o.



Proszę o kontakt telefoniczny lub mailowy:



**Szymon Stepa**

s.stepa@astat.com.pl  
tel. kom. 602 354 067

**Miłosz Ciężyński**

m.ciazynski@astat.com.pl  
tel. kom. 668 383 384



### Dział serwisu

Astat Sp. z o.o.  
Oblaczkowo 144a 62-300 Wrzesnia



### Magazyn i logistyka przesyłek

Wrzesnia Sikorskiego 44 62-300 Wrzesnia



### Adres strony internetowej

<http://www.astat.com.pl/telefony/energetyka/schliech>



### Główna siedziba firmy Astat

ul.Dąbrowskiego 441, 60-451 Poznań

