



V KONFERENCJA

LINIE I STACJE ELEKTROENERGETYCZNE

16-17 PAŹDZIERNIKA 2024 R., WISŁA



PTPIRE

Awarie w elektroenergetycznych stacjach transformatorowych SN/nn elektrowni fotowoltaicznych - wybrane aspekty

Mirosław Schwann - KENTIA Firma Konsultingowa

Wisła, 18 października 2024 r.

Wstęp

We wewnątrzowych stacjach transformatorowych SN/nn dedykowanych dla potrzeb fotowoltaiki występuje odmienny przepływ energii elektrycznej, inny jest też profil odbioru przyłączonego do tej stacji.



Przed projektantem stoją nowe wyzwania, w szczególności w zakresie przyjęcia do projektowania średniej temperatury, doboru klasy obudowy wewnętrznej stacji transformatorowej SN/nn, a także prawidłowego doboru transformatorów, parametrów rozdzielnic niskiego napięcia oraz nastaw zabezpieczeń.

Wstęp



W ostatnich trzech latach miało miejsce kilkadziesiąt awarii w stacjach transformatorowych SN/nn elektrowni PV. Tylko w poprzednim roku uszkodzeniu uległo kilkanaście transformatorów w farmach fotowoltaicznych, zarówno olejowych jak i suchych. Oprócz transformatorów uszkadzały się też rozdzielnice nn. Wymusza to potrzebę jeszcze głębszej weryfikacji wytycznych oraz założeń do projektowania takich stacji.

Zapewnienie bezawaryjnej pracy farmy PV

Bezawaryjna wieloletnia praca farm fotowoltaicznych, w szczególności transformatorów w nich pracujących, jest możliwa pod warunkiem zapewnienia odpowiednich standardów jakościowych i wykorzystania aktualnej wiedzy technicznej we wszystkich jej procesach technicznych:

- **projektowania,**
- **budowy,**
- **odbioru,**
- **eksploatacji.**



Projektowanie farmy PV

Dokumentacja projektowa farmy fotowoltaicznej, w tym dokumentacja wykonawcza, powinna swoim zakresem obejmować m.in. takie zagadnienia jak:

- dobór aparatów, urządzeń i instalacji w oparciu o parametry techniczne, w tym obliczone prądy zwarciove zgodnie z przedmiotowymi normami, przy czym prądy zwarciove winny być obliczone dla wszystkich możliwych przypadków miejsc zwarć, w szczególności dla przypadku pracy obu transformatorów z generacją energii elektrycznej i zwarcia pomiędzy transformatorem a wyłącznikiem jednego z nich przy uwzględnieniu prądu zwarciovego pochodzącego z systemu elektroenergetycznego, prądu zwarciovego pochodzącego z generacji po stronie niskiego napięcia oraz prądu zwarciovego pochodzącego z generacji drugiego transformatora (poprzez stronę średniego napięcia);
- dobór nastaw automatyki zabezpieczeniowej przy uwzględnieniu parametrów znamionowych chronionych urządzeń, aparatów i instalacji elektroenergetycznych, w tym transformatorów, w oparciu o dane obliczeniowe dla przeciążeń i zwarć, w tym dla przypadków opisanych opisane powyżej;

Projektowanie farmy PV

Dokumentacja projektowa farmy fotowoltaicznej, w tym dokumentacja wykonawcza, powinna swoim zakresem obejmować m.in. takie zagadnienia jak (cd):

- dobór parametrów technicznych transformatora oraz nastaw zabezpieczeń przy uwzględnieniu krzywych przeciążania w zależności od klasy obudowy i temperatury powietrza chłodzącego zgodnie z wytycznymi producenta stacji i transformatorów i zgodnie z zapisami przedmiotowych norm dla stacji transformatorowej SN/nn, norm – przewodników obciążalności transformatorów oraz w oparciu o przedmiotowe normy dla transformatorów;
- dobór ochrony od porażeń prądem elektrycznym, w tym dobór ochrony podstawowej i ochrony przy uszkodzeniu;
- dobór ochrony od przepięć transformatorów, w szczególności ochrony od przepięć atmosferycznych indukowanych oraz przepięć łączeniowych;
- połączenia obwodów wtórnych, w szczególności w zakresie automatyki i zabezpieczeń transformatorów, o stopniu szczegółowości umożliwiającym poprawne ich połączenie, wykonanie prób funkcjonalnych i ich prawidłową eksploatację.

Projektowanie farmy PV

Weryfikując dokumentacje projektowe farm fotowoltaicznej można natrafić na następujące nieprawidłowości:

- wyliczenie prądów zwarciovych pochodzących tylko od systemu elektroenergetycznego, a pominięcie prądów zwarciovych pochodzących od generacji;
- nieprawidłowe przyjęcie napięcia i współczynników do obliczeń prądów zwarciovych;
- nieprawidłowy dobór nastaw zabezpieczeń, w szczególności od przeciążeń i zwarć doziemnych;
- brak doboru ochrony od przepięć dla transformatorów, w szczególności ochrony od przepięć atmosferycznych indukowanych oraz przepięć łączeniowych;
- brak wyliczeń pojemności doziemnej (prądów doziemnych) przy doborze środka ochrony od porażen przy uszkodzeniu (dla układu IT);
- brak weryfikacji obciążalności długotrwałej rozdzielnic nn stacji.

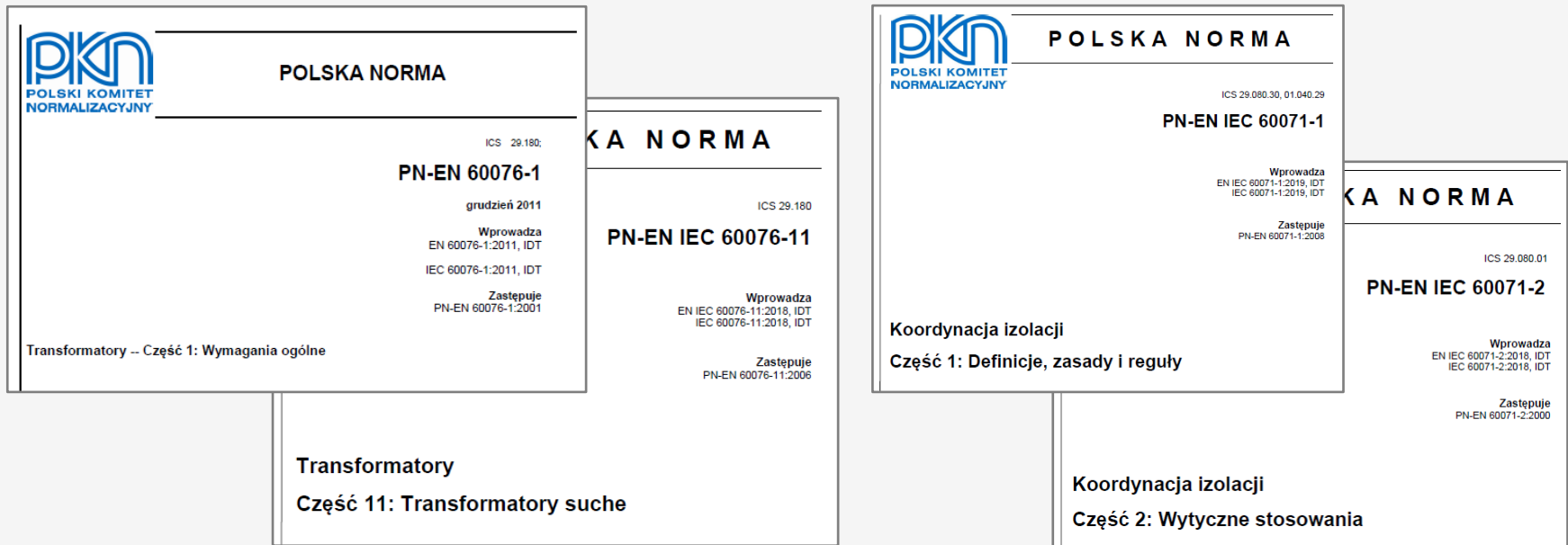
Dobór transformatora i nastaw zabezpieczeń



W dalszej części referatu przedstawione zostaną wybrane aspekty doboru parametrów transformatora i doboru nastaw zabezpieczeń mające znaczący wpływ na jego, i tym samym całej farmy fotowoltaicznej, bezawaryjną pracę.

Dobór transformatora i nastaw zabezpieczeń

Dla niezawodnej pracy transformatorów duże znaczenie ma również wybór poziomów izolacji. Parametr ten powinien uwzględniać stopień narażenia na: przepięcia piorunowe i łączeniowe, sposób uziemienia punktu neutralnego sieci i rodzaj zastosowanego ogranicznika przepięć (dobrana wartość napięcia trwałej pracy U_c).



Kierując się wieloletnią praktyką w zakresie doboru poziomów izolacji, dla transformatorów **należy wybierać szereg 2** znamionowego napięcia probierczego piorunowego w normie PN-EN 60076-1:2011 lub wyższe spośród znormalizowanych znamionowych napięć wytrzymywanych udarowych piorunowych PN-EN IEC 60071-1:2020-04.

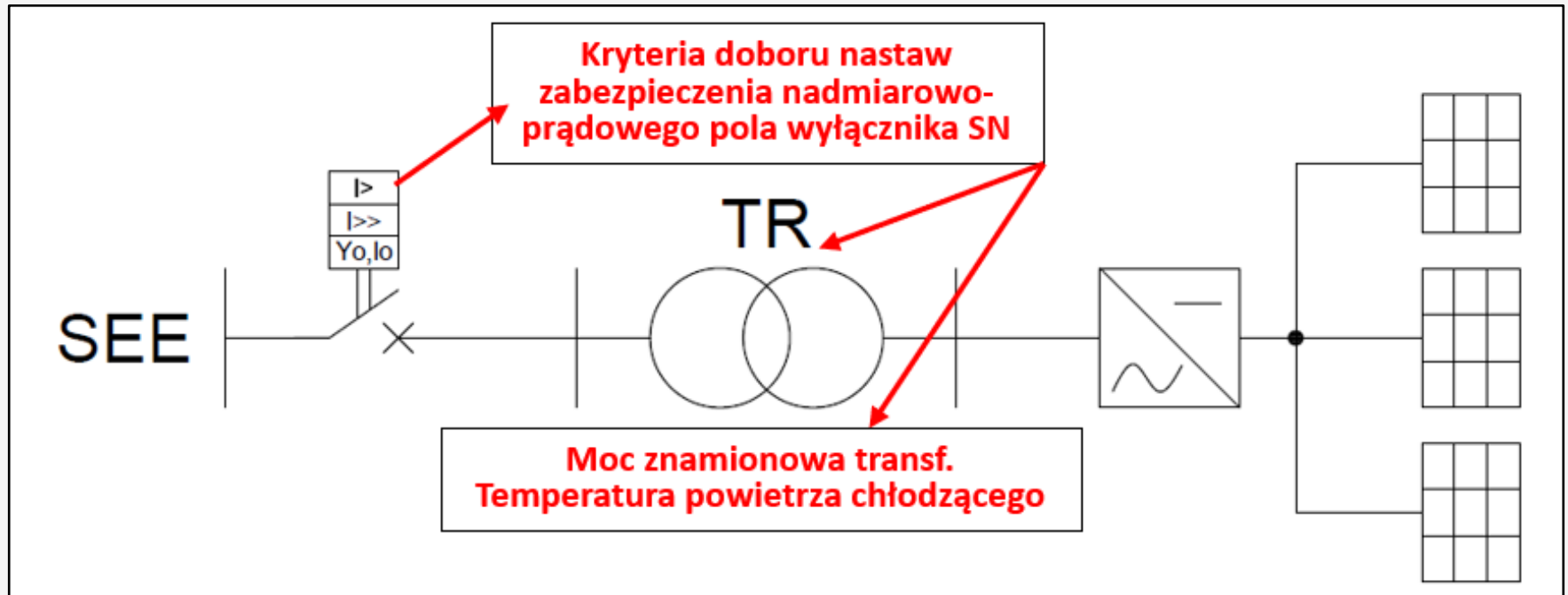
Dobór transformatora i nastaw zabezpieczeń

Kluczowe jest, aby dobór nastaw automatyki zabezpieczeniowej, w szczególności od przeciążeń, uwzględniał przede wszystkim parametry chronionych urządzeń, aparatów i instalacji elektroenergetycznych, w tym transformatorów, w oparciu o dane obliczeniowe, w tym dla przypadków ograniczeń obciążalności transformatorów opisanych powyżej.



Autor miał okazję przeglądać kilka dokumentacji projektowych, w których projektant dobrał moc transformatora zakładając jego ciągłe 15-20% przeciążanie, tymczasem nastawy zabezpieczeń zostały dobrane na poziomie 45-50% powyżej maksymalnej mocy elektrowni fotowoltaicznej wynikającej z sumy mocy zaprojektowanych paneli fotowoltaicznych. Ten elementarny błąd projektowy był przyczyną wielu awarii transformatorów farm fotowoltaicznych w Polsce

Dobór transformatora i nastaw zabezpieczeń




Prawidłowy dobór nastaw zabezpieczenia nadmiarowo-prądowego dla pola wyłącznika SN.

Dobór transformatora i nastaw zabezpieczeń

Moc transformatora oraz nastawy zabezpieczeń muszą uwzględniać krzywe obciążalności, w zależności od klasy obudowy i temperatury powietrza chłodzącego, zgodnie z wytycznymi producenta stacji i transformatorów oraz zgodnie z zapisami przedmiotowych norm dla stacji transformatorowej SN/nn:

- PN-EN 62271-1:2018-02+A1:2022-06,
- PN-EN IEC 62271-202:2023-03,
- PN-EN 62271-202:2014-12 (w okresie przejściowym),

w szczególności dla konstrukcji stacji gdzie zastosowano inne sposoby wentylacji niż wentylacja grawitacyjna, co wymaga dodatkowych uzgodnień pomiędzy producentem stacji i jej użytkownikiem.

 **POLSKA NORMA**

ICS 29.130.10, 29.130.99

PN-EN 62271-1

Wprowadza
EN 62271-1:2017, IDT
IEC 62271-1:2017, IDT

Zastępuje
PN-EN 62271-1:2009

Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza

Część 1: Postanowienia wspólne dla aparatury rozdzielczej i sterowniczej prądu przemiennego

do POLSKIEJ NORMY

ICS 29.130.10; 29.130.99


PN-EN 62271-1:2018-02/A1

Wprowadza
EN 62271-1:2017/A1:2021, IDT
IEC 62271-1:2017/AMD1:2021, IDT

Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza

Część 1: Postanowienia wspólne dla aparatury rozdzielczej i sterowniczej prądu przemiennego

Zmiana do Normy Europejskiej EN 62271-1:2017/A1:2021 High-voltage switchgear and controlgear - Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear ma status Zmiany do Polskiej Normy

 **POLSKA NORMA**

ICS 29.130.10

PN-EN 62271-202

Wprowadza
EN 62271-202:2014, IDT
IEC 62271-202:2014, IDT

Zastępuje
PN-EN 62271-202:2010

Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza

Część 202: Stacje transformatorowe prefabrykowane wysokiego napięcia na niskie napięcie

Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza

Część 202: Stacje prefabrykowane prądu przemiennego na napięcia znamionowe powyżej 1 kV do 52 kV włącznie

Norma Europejska EN IEC 62271-202:2022 High-voltage switchgear and controlgear - Part 202: AC prefabricated substations for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV (IEC 62271-202:2022) ma status Polskiej Normy

POLSKA NORMA

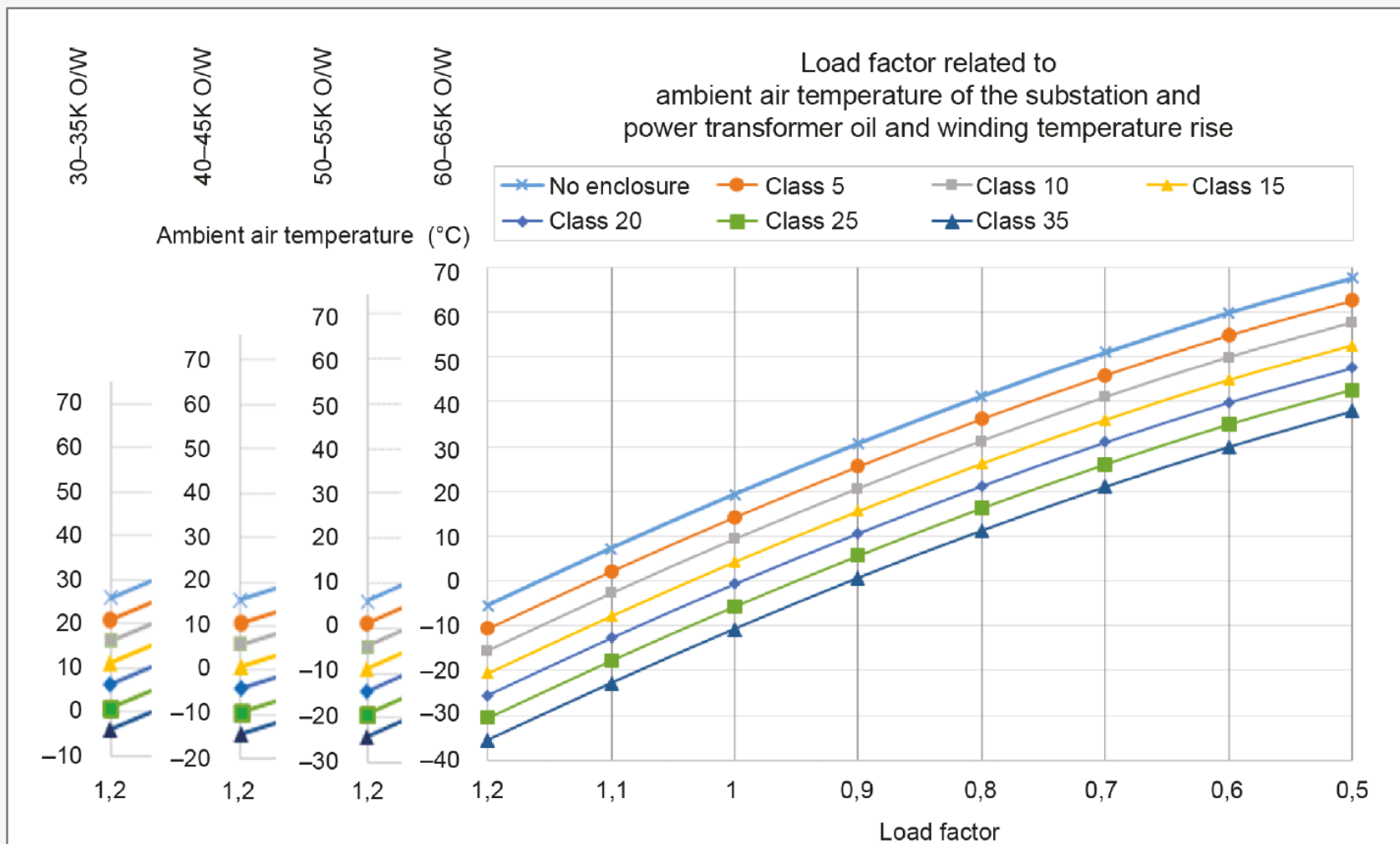
ICS 29.130.10

PN-EN IEC 62271-202

Wprowadza
EN IEC 62271-202:2022, IDT
IEC 62271-202:2022, IDT

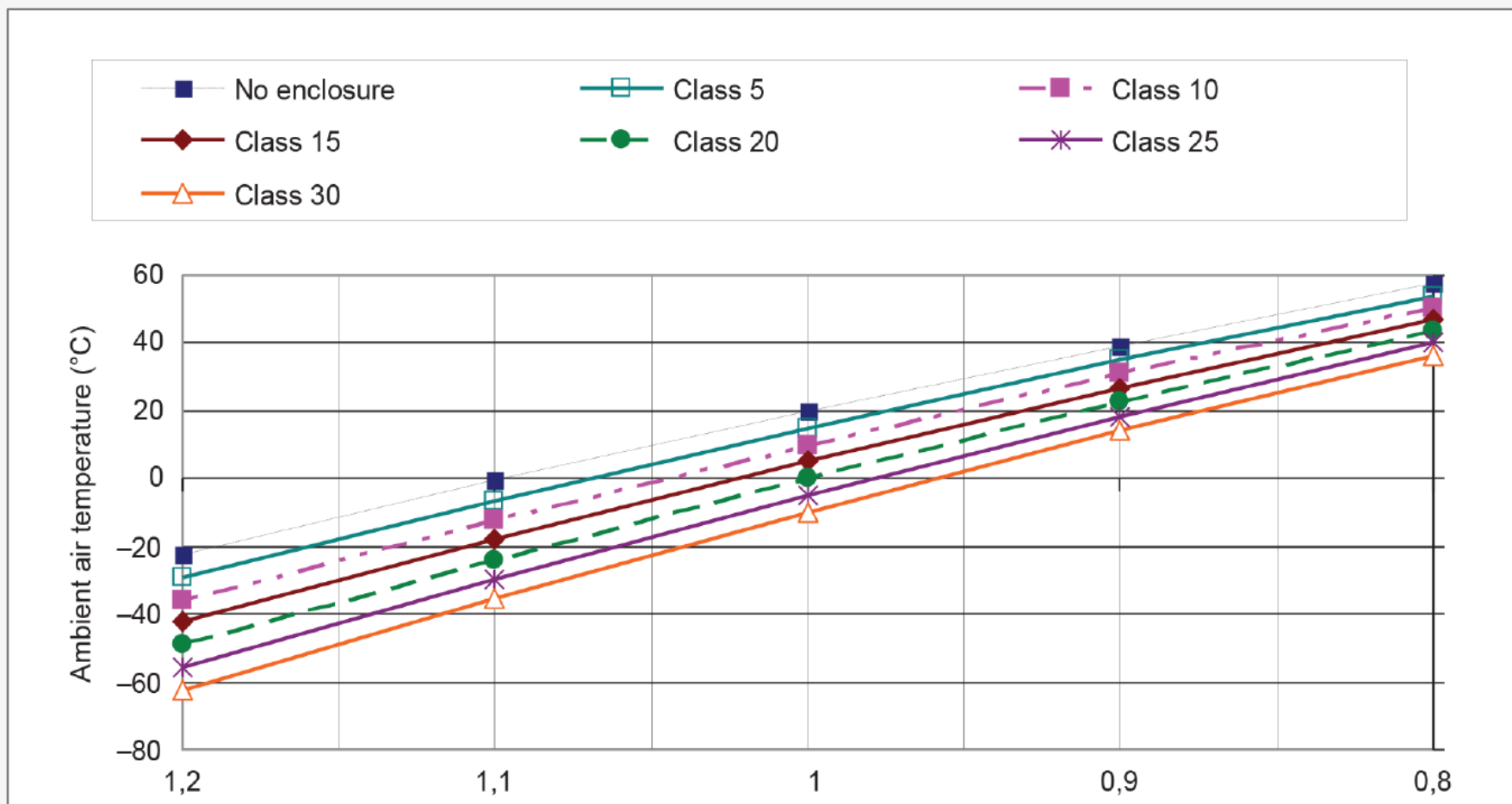
Zastępuje
PN-EN 62271-202:2014-12

Dobór transformatora i nastaw zabezpieczeń



Współczynniki obciążenia transformatorów olejowych w funkcji temperatury powietrza otoczenia (na wlocie urządzenia chłodzącego) oraz limitów wzrostu temperatury oleju na górze i uzwojenia

Dobór transformatora i nastaw zabezpieczeń



Współczynniki obciążenia transformatorów suchych o klasie izolacji 155°C (F) w funkcji temperatury powietrza otoczenia (na wlocie urządzenia chłodzącego) oraz limitów wzrostu temperatury izolacji

Dobór transformatora i nastaw zabezpieczeń

Po wnikliwych analizach przyczyn awarii transformatorów w stacjach transformujących energię elektryczną z elektrowni PV do systemu elektroenergetycznego ugruntował się pogląd, że w takich stacjach transformatorowych nie tylko nie można zakładać możliwości krótkotrwałego przeciążania transformatorów, wręcz przeciwnie, należy raczej ograniczać jego moc, lub dobrać moc transformatora powyżej maksymalnej mocy elektrowni PV.



TRANSFORMATOR SUCHY ŻYWICZNY dla PV TTVA 1000 kVA 15,75/0,8 kV
Trafta Sp. z o.o.
153 750,00 zł
(netto: 125 000,00 zł)



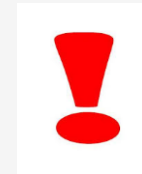
TRANSFORMATOR OLEJOWY dla PV TTO 1000 kVA 15,75/0,8 kV
Trafta Sp. z o.o.
166 050,00 zł
(netto: 135 000,00 zł)



T 154
SCAN
AUTO
MAN
T MAX
TRIP
ALARM
FAULT
°C
F1
F2
TEST
MODE
RS
PRG SET
ENT RESET

Cena brutto: **1 487,07 zł**
Cena netto: 1 209,00 zł

Ilość: szt. [Dodaj do koszyka](#)




Dodatkowo warte rozważenia jest wyposażenie transformatorów olejowych dla farm fotowoltaicznych w moduły pomiaru temperatury uzwojeń i rdzenia na wzór transformatorów suchych. Pozwoli to w czasie rzeczywistym na monitorowanie temperatury izolacji i umożliwi zapobieganie jej przegrzaniu, co ma znaczący wpływ na czas eksploatacji transformatorów.

Dobór transformatora i nastaw zabezpieczeń

Dobór transformatora oraz dobór nastaw zabezpieczeń mogą uwzględniać jego krótkotrwałe przeciążanie, jednak nie mogą one w żadnym przypadku przekraczać krzywych przeciążania podanych przez producenta oraz równocześnie nie mogą przekraczać krzywych obciążalności i jej warunków podanych w poniższych normach – przewodnikach obciążalności dla transformatorów:

- PN-IEC 60076-7:2022-07;
- PN-IEC 60076-12:2023-09.



POLSKA NORMA

ICS 29.180

PN-IEC 60076-7

Wprowadza
IEC 60076-7:2018, IDT

Zastępuje

Transformatory

Część 7: Przewodnik obciążalności transformatorów napełnionych olejem mineralnym

Norma Międzynarodowa IEC 60076-7:2018 Power transformers - Part 7: Loading guide for mineral-oil-immersed power transformers ma status Polskiej Normy



POLSKA NORMA

ICS 29.180

PN-IEC 60076-12

Wprowadza
IEC 60076-12:2008, IDT

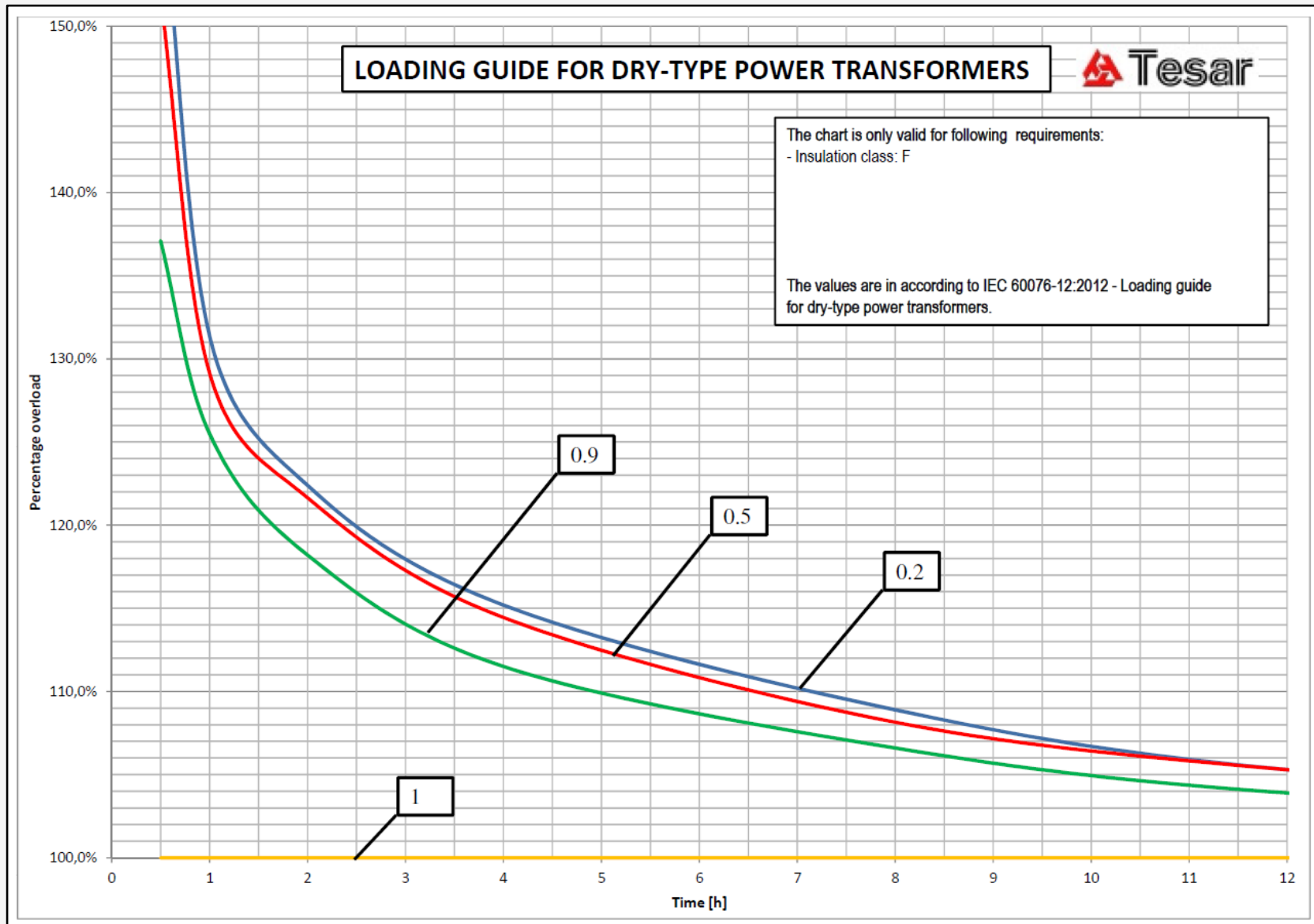
Zastępuje

Transformatory

Część 12: Przewodnik obciążalności transformatorów suchych

Norma Międzynarodowa IEC 60076-12:2008 Power transformers - Part 12: Loading guide for dry-type power transformers ma status Polskiej Normy

Dobór transformatora i nastaw zabezpieczeń



Dobór transformatora i nastaw zabezpieczeń

W zakresie doboru i nastaw zabezpieczeń, w szczególności dla transformatora farmy fotowoltaicznej, oprócz nieprawidłowych nastaw zabezpieczeń przeciążeniowych opisanych powyżej, dodatkowo warto poświęcić więcej czasu na nieprawidłowo zaprojektowane i dobrane nastawy zabezpieczeń ziemnozwarciowych.

W polach liniowych łączących rozdzielnicę SN z polem transformatora SN/nn linią kablową o długości kilkuset metrów i więcej, **projektanci dość powszechnie dobierają, jako zabezpieczenie ziemnozwarciowe, zabezpieczenie zerowonapięciowe**. Bardzo często dobrane napięcie zerowe jest zbyt wysokie.

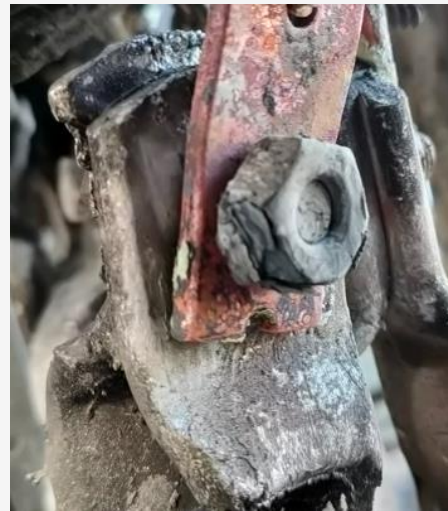
W praktyce zabezpieczenie zerowonapięciowe jako zabezpieczenie ziemnozwarciowe w polach liniowych nie występuje samodzielnie, raczej występuje jako zabezpieczenie rezerwowe lub jako element rozruchowy dla wielu innych kryteriów (kierunkowych, prądowych, admitancyjnych).

Wykonanie farmy PV

Właściwe wykonanie farmy fotowoltaicznej, przy zachowaniu właściwych standardów technicznych, w tym zasad wiedzy technicznej, na podstawie prawidłowo wykonanej dokumentacji projektowej, jest kolejnym – drugim koniecznym procesem, gwarantującym bezawaryjną pracę farmy fotowoltaicznej, mającym również wpływ na kolejne procesy.

Właściwe wykonanie, rozumiane jako: transport, przechowywanie, montaż, przyłączanie urządzeń, aparatów i instalacji zgodnie z wymaganiami przedmiotowych norm oraz zasadami wiedzy technicznej, w tym w zakresie: przyłączania obwodów wtórnych elementów automatyki i zabezpieczeń transformatorów, przyłączania elementów środków ochrony od porażeń, w szczególności środków od porażeń przy uszkodzeniu.

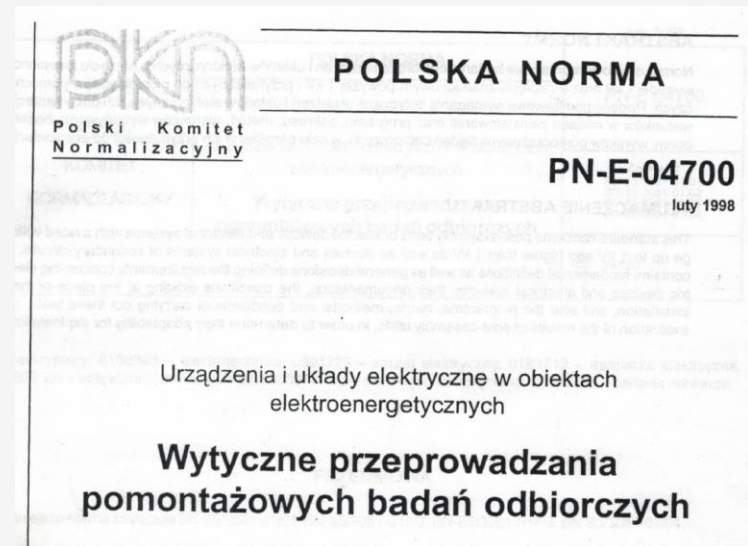
Wykonanie farmy PV



Badania odbiorcze i pomiary powykonawcze farmy PV

Kolejnym procesem, po projektowaniu i wykonaniu, mającym wpływ na bezawaryjną pracę farmy fotowoltaicznej, są badania odbiorcze i pomiary powykonawcze, potwierdzające wykonanie jej zgodnie z dokumentacją projektową, dokumentacją producentów urządzeń i aparatów elektroenergetycznych oraz przedmiotowymi normami, w szczególności PN-E-04700:1998+Az1:2000 Urządzenia i układy elektryczne w obiektach elektroenergetycznych. Wytyczne przeprowadzania pomontażowych badań odbiorczych.

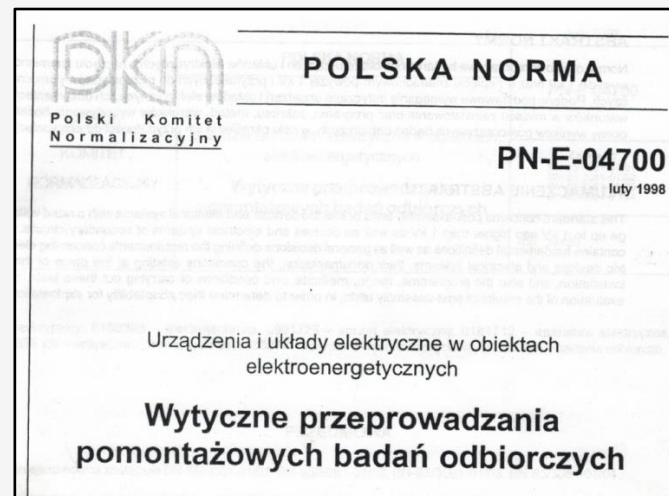
Jednym z elementów badań odbiorczych są badania i próby, w tym próby funkcjonalne, wykonane w miejscu zainstalowania zgodnie z normą PN-EN IEC 62271-202:2023-03 lub PN-EN 62271-202:2014-12 (w okresie przejściowym).



Badania odbiorcze i pomiary powykonawcze farmy PV

Trzeba pamiętać, że jest to norma wydana ponad 20 lat temu (a była przepisana z innych jeszcze starszych dokumentów), tak więc nie zawiera najnowszych osiągnięć wiedzy technicznej.

Warto zastanowić się i sięgnąć po dodatkowe badania w celu uzupełnienia badań odbiorczych i prób powykonawczych wynikających z wskazanej normy.



Warto zastanowić się również nad **udziałem strony trzeciej** – niezależnej od wykonawcy i generalnego wykonawcy:

- **tylko w procesie nadzoru** nad wykonywanymi badaniami odbiorczymi i pomiarami powykonawczymi;
- **w całym procesie** wykonywania badań odbiorczych i pomiarów powykonawczych.

Eksploatacja farmy PV



Ostatnim procesem, po projektowaniu, wykonaniu, badaniach odbiorczych i pomiarach powykonawczych, mającym wpływ na niezawodną pracę elektrowni PV jest jej **eksploatacja**. Eksploatacja urządzeń, aparatów i instalacji elektroenergetycznych, gwarantująca bezawaryjną pracę farmy fotowoltaicznej, powinna odbywać się zgodnie z dokumentacją producentów urządzeń i aparatów elektroenergetycznych przy uwzględnieniu wymagań zapisanych w nadrzędnych aktach prawnych, w tym w rozporządzeniu Ministra Energii z dnia 28 sierpnia 2019 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych.

Eksploatacja farmy PV



DZIENNIK USTAW RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

Warszawa, dnia 5 lipca 2021 r.

Poz. 1210

**OBWIESZCZENIE
MINISTRA KLIMATU I ŚRODOWISKA¹⁾**

z dnia 8 czerwca 2021 r.

w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Energii w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych

Eksploatacja farmy PV

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ENERGII¹⁾

z dnia 28 sierpnia 2019 r.

w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych

Na podstawie art. 237¹⁵ § 2 ustawy z dnia 26 czerwca 1974 r. – Kodeks pracy (Dz. U. z 2020 r. poz. 1320 oraz z 2021 r. poz. 1162) zarządza się, co następuje:

§ 1. Rozporządzenie określa wymagania bezpieczeństwa i higieny pracy przy eksploatacji urządzeń energetycznych.

- 3) prace eksploatacyjne – prace wykonywane przy urządzeniach energetycznych z zachowaniem zasad bezpieczeństwa i wymagań ochrony środowiska w zakresie:
 - a) obsługi, mające wpływ na zmiany parametrów pracy obsługiwanych urządzeń energetycznych,
 - b) konserwacji, związane z zabezpieczeniem i utrzymaniem wymaganego stanu technicznego urządzeń energetycznych,
 - c) remontów urządzeń energetycznych związanych z usuwaniem usterek i awarii, w celu doprowadzenia ich do wymaganego stanu technicznego,
 - d) montażu, niezbędne do instalowania i przyłączenia urządzeń energetycznych,
 - e) kontrolno-pomiarowym, niezbędne do dokonania oceny stanu technicznego, parametrów eksploatacyjnych, jakości regulacji i sprawności energetycznej urządzeń energetycznych;

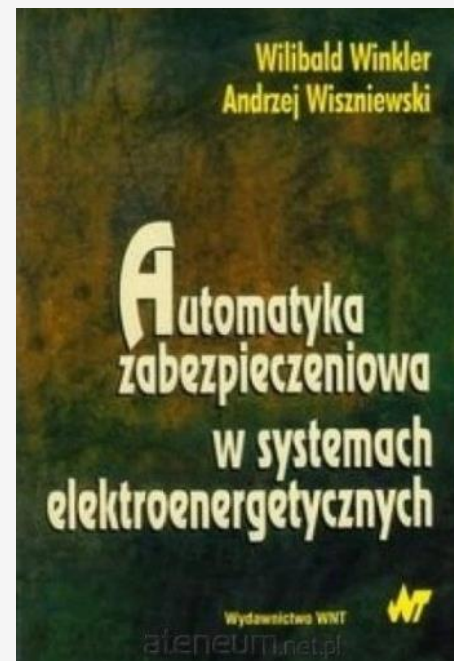
Eksploatacja farmy PV

§ 4. 1. Prace eksploatacyjne prowadzi się zgodnie z instrukcją eksploatacji urządzenia energetycznego lub grup urządzeń energetycznych, zwaną dalej „instrukcją eksploatacji”, opracowaną przez pracodawcę, zawierającą w szczególności:

- 1) charakterystykę urządzenia energetycznego lub grupy urządzeń energetycznych;
- 2) opis w niezbędnym zakresie układów automatyki, pomiarów, sygnalizacji, zabezpieczeń i sterowań;
- 3) zestaw rysunków, schematów i wykresów z opisami, zgodnymi z obowiązującym nazewnictwem w języku polskim;
- 4) opis czynności związanych z uruchomieniem, obsługą w czasie pracy i zatrzymaniem urządzenia energetycznego w warunkach normalnej pracy tego urządzenia;
- 5) zasady postępowania w razie awarii oraz zakłóceń w pracy urządzenia energetycznego lub grup urządzeń energetycznych;
- 6) wymagania w zakresie eksploatacji urządzenia energetycznego oraz terminy przeprowadzania przeglądów, prób i pomiarów;
- 7) wymagania w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy oraz przepisów przeciwpożarowych dla danego urządzenia energetycznego lub grupy urządzeń energetycznych;
- 8) identyfikację zagrożeń dla zdrowia i życia ludzkiego oraz dla środowiska naturalnego związanych z eksploatacją danego urządzenia energetycznego lub grupy urządzeń energetycznych oraz zasady postępowania pozwalające na eliminację podanych zagrożeń;
- 9) organizację prowadzenia prac eksploatacyjnych;
- 10) wymagania dotyczące środków ochrony zbiorowej lub indywidualnej, zapewnienia asekuracji, łączności oraz innych technicznych lub organizacyjnych środków ochrony, stosowanych w celu ograniczenia ryzyka zawodowego, zwanych dalej „środkami ochronnymi”, określone w odrębnych przepisach;
- 11) wymagania kwalifikacyjne dla osób zajmujących się eksploatacją danego urządzenia lub grupy urządzeń energetycznych, określone w odrębnych przepisach.

2. Pracodawca zapewnia bieżącą aktualizację instrukcji eksploatacji, o której mowa w ust. 1.

Eksploatacja farmy PV




Jednym z kluczowych elementów, z punktu widzenia prawidłowej eksploatacji transformatora, są wymagania w zakresie opisu w niezbędnym zakresie układów automatyki, pomiarów, sygnalizacji, zabezpieczeń i sterowań oraz wymagania dotyczące zasad postępowania w razie awarii oraz zakłóceń w pracy urządzenia energetycznego lub grup urządzeń energetycznych, w szczególności procedury ponownego załączania transformatora po jego awaryjnym wyłączeniu przez automatykę zabezpieczeniową

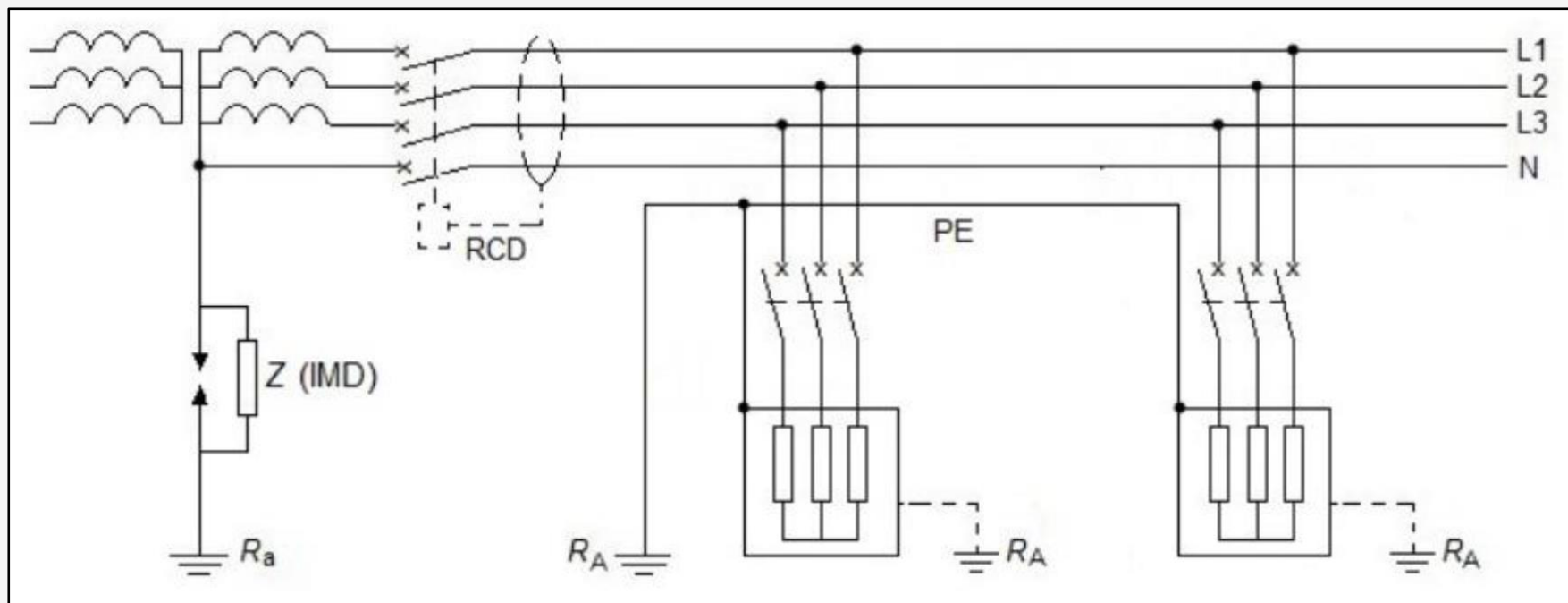
Ochrona od porażeń w elektrowni PV

W farmach fotowoltaicznych projektanci dość często po stronie niskiego napięcia dobierają sieci z izolowanym punktem neutralnym (IT). Takie sieci są stosowane tam, gdzie wymagane jest maksymalne bezpieczeństwo i wysoka niezawodność zasilania wybranych urządzeń. Ich zaletą jest możliwość bezpiecznego działania nawet w przypadku pojawienia się pierwszego zwarcia doziemnego, które mogłoby spowodować natychmiastowe zadziałanie urządzenia zabezpieczającego w sieci TT lub TN. Ich wadą natomiast jest bardziej skomplikowana obsługa. Idealna sieć IT jest odizolowana od ziemi w całym zakresie jej zasięgu. Jedynie przewodzące części dostępne powinny być uziemione indywidualnie, grupowo lub zbiorowo.

W układach IT dość powszechnie projektanci dobierają urządzenia do stałej kontroli stanu izolacji (IMD) jako urządzenia do monitorowania oraz urządzenia ochronne dopuszczone w Rozdziale 411.6 Układ IT normy PN-HD 60364-4-41:2017-09+A11:2017-11+A12:2020-01 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym

 POLSKI KOMITET NORMALIZACYJNY	POLSKA NORMA
	ICS 13.260; 91.140.50
PN-HD 60364-4-41	
Wprowadza HD 60364-4-41:2017, IDT IEC 60364-4-41:2005 + A1:2017, MOD	
Zastępuje PN-HD 60364-4-41:2009	
Instalacje elektryczne niskiego napięcia	
Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa	
Ochrona przed porażeniem elektrycznym	
Dokument Harmonizacyjny HD 60364-4-41:2017 <i>Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock</i> ma status Polskiej Normy	

Ochrona od porażień w elektrowni PV



Schemat układu sieci IT z zastosowaniem urządzenia do ciągłej kontroli stanu izolacji (IMD)

Ochrona od porażeń w elektrowni PV

Projektanci nieprawidłowo, lub w ogóle, nie dobierają nastaw dla tych urządzeń. W normie wyraźnie wymaga się dla sieci IT, gdzie zastosowano urządzenie do stałej kontroli stanu izolacji (IMD) zbadania wielkości prądu upływu tej sieci i dobrania nastawy tego prądu.

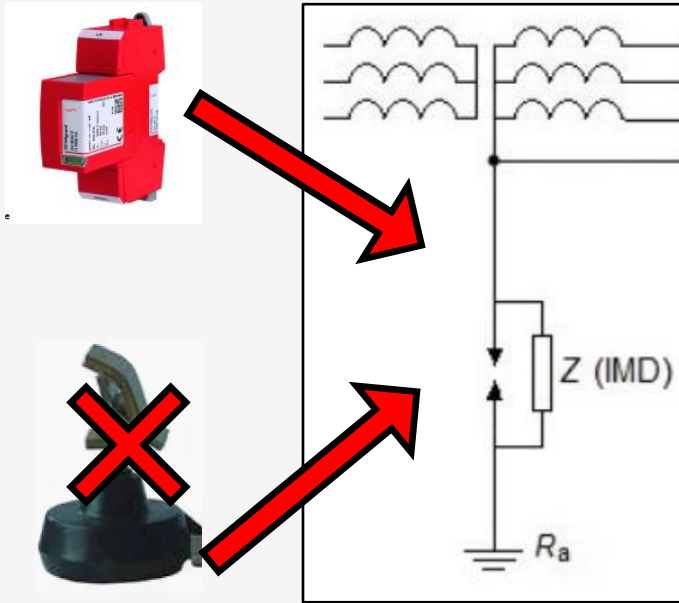
Takie podejście znajduje się również w zapisach kart katalogowych tych urządzeń.

Prąd upływu jest uzależniony, przede wszystkim od rozległości sieci kablowej. Im bardziej rozległa jest sieć tym większy popłynie prąd upływu. W nastawie należy uwzględnić prąd upływu wszystkich urządzeń standardowo przyłączonych do tej sieci. Prąd nastawy powinien dobrać projektant.

Można też go wyznaczyć poprzez pomiar. Prąd nastawy należy dobierać w zależności od sposobu pomiaru tego prądu w urządzeniu do ciągłej kontroli stanu izolacji (IMD) (są dwie metody pomiaru prądu doziemnego w urządzeniach do ciągłej kontroli izolacji).

Dodatkowo, praktycznie w każdym przypadku, **projektanci zastępują iskiernikowy ogranicznik przepięć**, który przyłączony jest do punktu neutralnego uzwojenia dolnego napięcia transformatora - **ogranicznikiem warystorowym**, co dodatkowo zwiększa prąd upływu całej sieci.

Ochrona od porażień w elektrowni PV

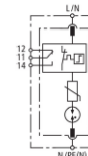


DG SE H 1000 VA FM (952 940)

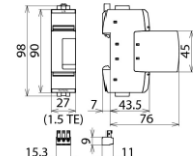
- Gotowy do użycia, uniwersalny jednobiegowy ogranicznik przepięć składający się z podstawy i wymiennego modułu ochronnego
- Szeregowe połączenie warystora i iskiernika bez prądu upływu we wykowym module ochronnym.
- Łatwa wymiana modułów bez używania narzędzi poprzez zastosowanie rygla blokującego z przyciskiem zwalnającym moduł (odporność na wibracje i wstrząsy zgodnie z normą PN-EN 60068-2)



Ilustracja nie są wiążące



Schemat połączeń DG SE H 1000 VA FM



Rysunek wymiarowy DG SE H 1000 VA FM

Jednobiegowy ogranicznik przepięć składający się z podstawy i wymiennego modułu ochronnego; ze zdalną sygnalizacją stanu (bezpociąjalowy zestaw przelazny).

Typ
Nr kat.

DG SE H 1000 VA FM
952 940

Nieprawidłowy dobór urządzenia IMD lub dobór nieprawidłowych nastaw powoduje niepożądane zadziałanie tego urządzenia i w efekcie liczne wyłączenia transformatora w farmie fotowoltaicznej.

Liczne wyłączenia i załączenia transformatora może przyczynić się do jego uszkodzenia. Dość częstą praktyką personelu eksploatacyjnego farmy fotowoltaicznej jest blokowanie działania tych urządzeń i w konsekwencji nieskuteczne działanie ochrony od porażień prądem elektrycznym przy uszkodzeniu.

Przebiegi w elektrowni PV

Przebiegi definiowane jest jako napięcie elektryczne, którego wartość przekracza określoną wartość graniczną.

Dodatkowe, bardziej szczegółowe definicje samego przebiegu i innych pojęć mających znaczenie dla tego zagadnienia można znaleźć w normie PN IEC 60050-604:1999 Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki. Wytwarzanie, przesyłanie i rozdzielanie energii elektrycznej. Eksploatacja.

Znajdują się tam definicje: najwyższe napięcie urządzenia (sieci), układ izolacyjny, izolacja regenerująca się, izolacja nie regenerująca się, izolacja urządzenia, koordynacja izolacji, przebiegi, przebiegi dorywcze, przebiegi przejściowe, przebiegi wewnętrzne, przebiegi zewnętrzne, napięcie przemienne wytrzymywane, poziom izolacji, itd.

Przyczyny występowania przebiegów w instalacjach elektroenergetycznych:

- bezpośrednie wyładowania atmosferyczne (przebiegi piorunowe) w instalację elektroenergetyczną;
- przebiegi atmosferyczne indukowane (przebiegi piorunowe indukowane) w instalacji elektroenergetycznej;
- przebiegi łączeniowe i stany awaryjne sieci elektroenergetycznej.

Przebiegięcia w elektrowni PV

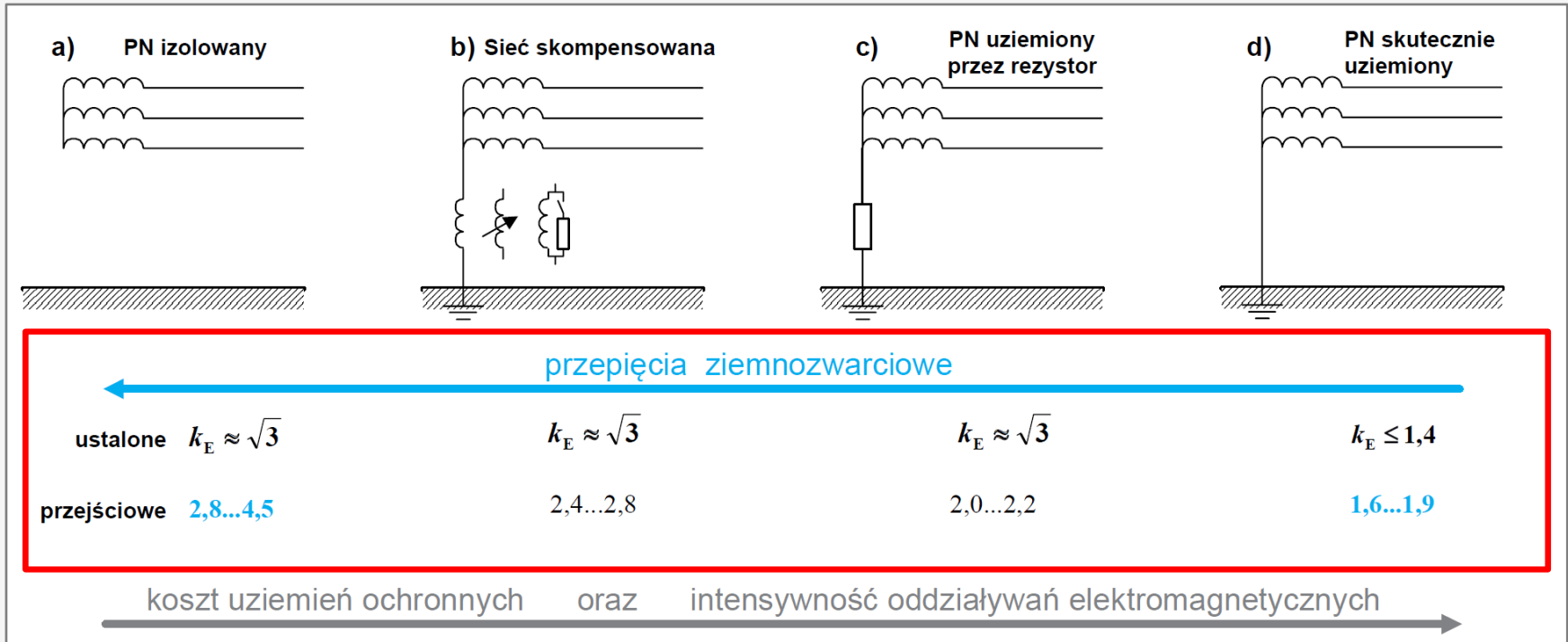
W celu właściwego doboru ochrony od przebiegów należy, ogólnie rzecz biorąc, ocenić narażenie układu izolacyjnego na ryzyko występowania przebiegów atmosferycznych i łączeniowych.

Najczęściej, w pierwszej kolejności, przeprowadza się procedurę koordynacji izolacji, która została szczegółowo opisana w normie PN-EN IEC 60071-1:2020-04 Koordynacja izolacji – Część 1: Definicje, zasady i reguły.

Procedura koordynacji izolacji polega na wyborze lub przyjęciu narzuconego najwyższego napięcia sieci wraz ze zbiorem znormalizowanych znamionowych napięć wytrzymywanych, które wystarczająco charakteryzują poszczególne układy izolacyjne. Zbiór znamionowych napięć wytrzymywanych tworzy znamionowy poziom izolacji dla poszczególnych przewodów, kabli, aparatów i urządzeń. Jeżeli znormalizowane znamionowe napięcia wytrzymywane są skojarzone z tą samą wartością, to można powiedzieć, że dobrano określony znormalizowany znamionowy poziom izolacji.

Przebiegi w elektrowni PV

W drugiej kolejności należy uwzględnić sposób uziemienia punktu neutralnego sieci i jego wpływ na wielkość przebiegów.



Ważniejsze sposoby uziemienia punktu neutralnego i niektóre konsekwencje wyboru

Źródło: http://www.edwardmusial.info/pliki/ochrona_it_tt_tn.pdf

Dość często przyczyną awarii jest miejscowe osłabienie izolacji na skutek fal przebiegowych, w szczególności o stromym i bardzo stromym czole.

Przebiegi w elektrowni PV

Ocenę ryzyka powstawania przebieg należy pogrupować w zależności od parametrów technicznych kabli, przewodów, aparatów i urządzeń.

Dla przykładu transformator suchy żywiczny charakteryzuje się stosunkowo dużą pojemnością i należy go oceniać podobnie jak inne odbiory o dużej pojemności, np. linie kablowe czy też baterie kondensatorowe.

Dodatkowo należy, podczas oceny, wziąć pod uwagę rodzaj medium gaszącego łuk w rozdzielnicach i łącznikach średniego napięcia. Jeśli będzie to wyłącznik próżniowy lub wyłącznik w rozdzielniczy o izolacji SF₆, w których wykonywane czynności łączeniowe, w szczególności wyłączające prądy o małych wartościach, to spowoduje powstanie przebieg o bardzo stromym czole.

Dodatkowym czynnikiem zwiększającym ryzyko wystąpienia przebieg będą doziemienia wielkooporowe w sieci kablowej średniego napięcia.

Na szczególną uwagę zasługuje zagadnienie ochrony od przebieg tzw. krótkiej linii kablowej średniego napięcia, w których występuje zjawisko, w uproszczeniu ujmując, odbijania się na obu krańcach kabla (punkt o różnych opornościach falowych) fali przebiegiowej co doprowadzić może do powstania fali przebiegiowej o podwójnej amplitudzie, co może spowodować uszkodzenie, najczęściej na układzie izolacyjnego, np. pomiędzy początkowymi zwojami uzwojenia górnego napięcia transformatora, w szczególności transformatorów o niskim obciążeniu.

Przebiegi w elektrowni PV

Pisał już o tym już w 1939 r. K. Drewnowski w skrypcie III części kursu Wysokich Napięć wykładanego na III roku studiów na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej.

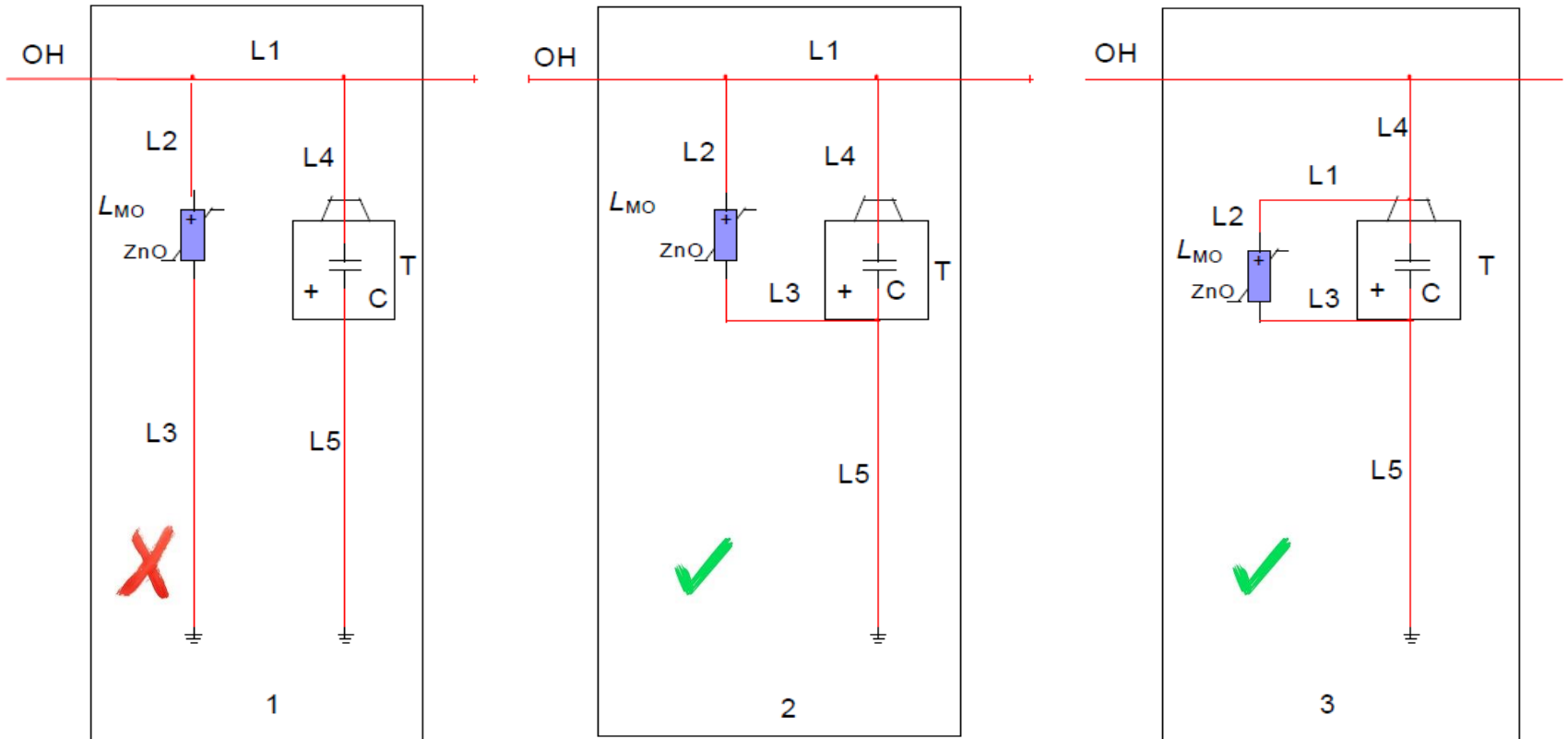


Przebiecia w elektrowni PV

Norma PN-EN 60099-4:2015-01 klasyfikuje ograniczniki przepieć na ograniczniki stacyjne i dystrybucyjne (Pkt 4.2 normy, Tablica 1). W ka¿dej klasie znajdują sie trzy typy ogranicznik: H – high, M – medium i L – low.

Klasa ogranicznika	Stacyjne			Dystrybucyjne		
Oznaczenie	SH	SM	SL	DH	DM	DL
I_n (kA)	20	10	10	10	5	2,5
I_{sw} (kA)	2	1	0,5	–	–	–
Q_{rs} (C)	$\geq 2,4$	$\geq 1,6$	$\geq 1,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,2$	$\geq 0,1$
W_{th} (kJ/kV)	≥ 10	≥ 7	≥ 4	–	–	–
Q_{th} (C)	–	–	–	$\geq 1,1$	$\geq 0,7$	$\geq 0,45$
Litery „H”, „M” i „L” w oznaczają typ „high”, „medium” oraz „low”						

Przebiecia w elektrowni PV



Niezalecany (rys. po lewej) i zalecany (rys. na środku i po prawej) sposób montażu i przyłączania ograniczników przepięć średniego napięcia chroniącą uzwojenie górnego napięcia transformatora; L1-L5 – długości przewodów łączących, LMO – wysokość ogranicznika przepięć, OH – linia napowietrzna, T – transformator, C – pojemność transformatora

Przebiecia w elektrowni PV

Najkorzystniej montować i przyłączać ograniczniki przepięć bezpośrednio na transformatorze, przyłączając przewody od zacisków liniowych ograniczników do zacisków transformatora, a przewody zacisków uziemiających do wspólnego przewodu uziemiającego dbając o to, aby przewody te były jak najkrótsze i miały odpowiedni przekrój.



Podsumowanie

Bezawaryjna wieloletnia praca urządzeń i instalacji elektroenergetycznych, w tym farm fotowoltaicznych, w szczególności transformatorów w nich pracujących, jest możliwa pod warunkiem zapewnienia odpowiednich standardów jakościowych i wykorzystania aktualnej wiedzy technicznej we wszystkich jej procesach: projektowania, budowy, odbioru i eksploatacji farmy fotowoltaicznej.

Analiza dokumentacji projektowej i oględziny farm fotowoltaicznych, na których miały miejsce awarie, pozwala na stwierdzenie, że najczęstszą bezpośrednią przyczyną wystąpienia awarii były błędy projektowe, w szczególności optymalizacja doboru znacznie mniejszej mocy transformatora niż moc maksymalna elektrowni fotowoltaicznej i błędy w wyliczeniu nastaw zabezpieczeń. Brak uwzględnienia konieczności ograniczania obciążenia transformatora w wyniku wzrostu temperatury powietrza chłodzącego, zarówno w procesie projektowania i eksploatacji również był przyczyną wielu awarii transformatorów SN/nn.

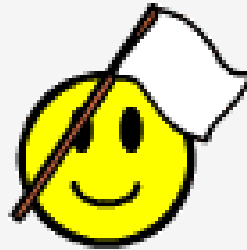
Podsumowanie

Analiza dokumentacji projektowej i oględziny farm fotowoltaicznych, na których miały miejsce awarie, pozwala również na zredagowanie stwierdzenia, że nieprawidłowości:

- w zakresie przyłączania obwodów wtórnych zabezpieczeń i automatyki;
- w zakresie badań odbiorczych i pomiarów powykonawczych;
- w zakresie eksploatacji, w szczególności w zakresie kompetencji personelu, jego upoważnień i procedur eksploatacyjnych;

są również bezpośrednią lub pośrednią przyczyną wielu awarii w farmach fotowoltaicznych.

Dziękuję za uwagę,
mirosław.schwann@kentia.pl



Linked in

<https://pl.linkedin.com/in/mirosław-schwann>

facebook



[www. www.facebook.com/KentiaFirmaKonsultingowa](http://www.facebook.com/KentiaFirmaKonsultingowa)