



mgr inż. Krzysztof Lorek

PRZEWODNIK PO JAKOŚCI ZASILANIA

PRAWO ENERGETYCZNE
USTAWY I ROZPORZĄDZENIA WYKONAWCZE

NORMY SPRZĘTOWE
PN-EN 61000-4-7, PN-EN 61000-4-15, PN-EN 61000-4-30

NORMY EKSPLOATACYJNE
PN-EN 50160, PN-EN 61000-2-2, PN-EN 61000-2-4..., PN-EN 61000-3-...

PRAKTYCZNE CECHY JAKOŚCI ZASILANIA
WAHANIA NAPIĘCIA, (FERRO) REZONANSE...

PQM W JAKOŚCI ZASILANIA
PQM-700, PQM-701, PQM-702, PQM-703, PQM-710, PQM-711



Spis treści

1. Wstęp do jakości zasilania	3
1.1. Krótka retrospekcja	3
1.2. Rzeczywiste potrzeby eksploatacyjne	4
1.2.1. Ocena stanu zasilania	4
1.2.2. Ocena parametrów eksploatacji energii	5
1.2.3. Ciągłość i niezawodność zasilania	5
1.2.4. Identyfikacja odstępstw i stanów awaryjnych	6
1.3. Oddziaływanie urządzeń na sieć zasilającą	6
1.4. Normalizacja i prawo	7
2. Polskie prawo energetyczne	9
2.1. Ustawa podstawowa	9
2.2. Akty wykonawcze	10
2.3. Prawo energetyczne w praktyce	14
2.3.1. Tolerancje wartości średnich	14
2.3.2. Sumaryczny czas przerw w zasilaniu	15
2.3.3. Nieprzekraczanie tg	15
2.3.4. Nieprzekraczanie średniej mocy czynnej	15
2.3.5. Zasada obciążenia odbiorcy kosztami sprawdzenia jakości	16
2.3.6. Zagadnienia jakości zasilania nierozwiązane w prawie	16
2.3.7. Przywołania norm w polskim ustawodawstwie	16
3. Systematyka	18
3.1. Norma PN-EN 50160	18
3.1.1. Zakres normy	18
3.2. Kompatybilność elektromagnetyczna	20
3.2.1. Rodzina norm sprzętowych	20
3.2.2. Rodzina norm eksploatacyjnych napięciowych	24
3.2.3. Rodzina norm eksploatacyjnych prądowych	29
3.3. IEEE Standards	33
4. Praktyczne cechy jakości zasilania	34
4.1. Cechy napięć i prądów	34
4.1.1. Chwilowe, skuteczne, zespolone	34
4.1.2. Parametry zmienności sygnałów napięciowych	34
4.1.3. Parametry przebiegów odkształconych	36
4.2. Cechy zakłóceń ciągłości zasilania	40
4.3. Cechy powiąznia napięć i prądów	40
4.3.1. Moce	40

4.3.2. Impedancje, rezystancje, reaktancje	43
4.3.3. Przepływ energii	43
5. Zjawiska związane z jakością zasilania	45
5.1. Odchylenia i wahania częstotliwości napięcia	45
5.1.1. Przyczyny odchyżeń i wahań częstotliwości (18)	45
5.1.2. Skutki obniżenia częstotliwości (18)	46
5.1.3. Skutki wahań częstotliwości (18)	46
5.2. Odchylenia i wahania napięcia	46
5.2.1. Przyczyny odchyżeń i wahań napięcia (18)	46
5.2.2. Skutki odchyżeń napięcia (18)	47
5.2.3. Skutki wahań napięcia (18)	47
5.3. Asymetria napięć i prądów	47
5.3.1. Przyczyny asymetrii (18)	47
5.3.2. Skutki asymetrii (18)	48
5.4. Odkształcenia napięcia i prądu	48
6. Zastosowanie PQM w jakości zasilania	49
6.1. Zastosowanie Szczególne Analizatorów Rodziny PQM-7XX	49
6.1.1. PQM-700	49
6.1.2. PQM-701(Z)(Zr)	50
6.1.3. PQM-702(710)	51
6.1.4. PQM-703(711)	52
6.2. Szczegółowa i precyzyjna dokumentacja użytkownika	53
6.3. Rozszerzone możliwości analizatorów PQM-702/3/10/11	53
6.4. Dodatkowa funkcjonalność diagnostyczna	54
6.4.1. Identyfikacja użytkowników niespokojnych	54
6.4.2. Diagnostyka obciążeń szybkozmiennych	54
6.4.3. Identyfikacja faz w pomiarach wielopunktowych	55
7. Bibliografia	56
8. Indeks	58
Załącznik 1	59
Tabela 1. Prawo Energetyczne: Dz.U. Nr 93, poz. 623: Rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego	59
Załącznik 2	65
Tabela 2. Zestawienie kryteriów według EN 50160:2010P	65
Tabela 3. Statystyka zapadów i wzrostów napięcia dla sieci nn, SN i WN, – numeracja przedziałów	68
Załącznik 3	69
Tabela 4.	69

1. Wstęp do jakości zasilania

Energia elektryczna – ze względu na bardzo łatwy sposób przenoszenia na duże odległości, szczególnie przy ciągłym i długotrwałym użytkowaniu – stała się na świecie jednym z najważniejszych mediów. Powszechność jej stosowania i brak alternatywnych, równie skutecznych, rozwiązań spowodowały całkowite uzależnienie naszej cywilizacji od energii elektrycznej. Jako wytwór wyspecjalizowanej działalności człowieka, polegającej na kosztownym przetwarzaniu surowców energetycznych, energia elektryczna przeznaczona do sprzedaży stała się również towarem podlegającym typowym regułom rynkowym. Jej specyficzne właściwości narzucają podczas eksploatacji wiele wymagań technicznych i bardzo ważnych reguł oraz ograniczeń. Ich spełnienie jest bezwzględnie konieczne dla efektywnego wytwarzania, przenoszenia i wykorzystywania energii. Proces nadzorowania poszczególnych etapów eksploatacji energii elektrycznej można nazwać ogólnie kontrolą jakości zasilania. W jej zakres wchodzi również weryfikacja spełniania wymagań, zapewniających oczekiwaną poprawność eksploatacyjną urządzeń, oraz kontrola ciągłości zasilania, czyli zapewnienie nieprzerwanej pracy urządzeń odbiorczych. To są również cechy jakości zasilania. Ponieważ energia elektryczna, jako oddziaływanie fali elektromagnetycznej, wiąże ze sobą poszczególne elementy systemu zasilania, muszą one podlegać regułom kompatybilności elektromagnetycznej określonej – dlatego zostały usystematyzowane i zestandaryzowane. Natomiast specyficzne parametry i zjawiska dotyczące jakości zasilania w wyniku przepływu ładunku wewnątrz przewodnika mają charakter przewodzony.

1.1. Krótka retrospekcja

Spoglądając wstecz, łatwo jest dostrzec konieczność powstania i systematycznego doskonalenia naukowych podstaw opisujących fizyczną stronę elektryczności. Upowszechnienie wykorzystania energii elektrycznej wymusiło również konieczność ujednoczenia jej najważniejszych parametrów oraz usystematyzowania poszczególnych wartości, co znacząco przyspieszyło i ułatwiło rozwój energetyki na świecie. W momencie gdy powszechną już energię elektryczną zaczęto traktować jak każdy inny towar, pojawiła się konieczność dodatkowego ujednoczenia kryteriów opisujących możliwość jej efektywnego sprzedawania za pomocą zoptymalizowanej sieci dystrybucji. Chodzi tu o całą rodzinę norm PN-EN 61000 dotyczącą kompatybilności elektromagnetycznej, która stanowi podstawy rozważań o jakości oraz metodyce pomiarów i kontroli. Znacznie ułatwiło to rozwiązywanie dotychczasowych problemów eksploatacji energii elektrycznej.

1.2. Rzeczywiste potrzeby eksploatacyjne

Wykorzystując energię elektryczną jako odbiorca i płatnik, mamy kilka bardzo ważnych powodów, aby być świadomymi jej parametrów. Główny to zagwarantowanie dostarczania energii własnym odbiornikom z zachowaniem określonych przedziałów tolerancji poszczególnych parametrów w zakresie wymagań eksploatacyjnych. Służy to głównie zmniejszeniu szybkości zużycia elementów, ograniczeniu pracy w przeciążeniu oraz minimalizacji zagrożeń awarii powodujących nieprzewidziane przerwy w pracy i związanych z tym strat. Ciągłość i niezawodność zasilania charakteryzujące dobrą jakościowo ofertę dostawcy energii można przełożyć na minimalizację strat produkcyjnych w wyniku nieprzewidzianych przerw. Do realizacji tego celu niezbędne są jednoznacznie określone parametry, przedziały zmienności oraz wymagania dodatkowe związane z procesem poboru energii, zapewniające możliwość spełnienia wszystkich wymagań. Na tej podstawie jesteśmy w stanie prowadzić ocenę stanu zasilania, weryfikując spełnienie kryteriów jakości energii deklarowanych przez dostawcę oraz oszacować rezerwę względem granicznych wymagań eksploatacyjnych.

Drugi równie ważny powód, to utrzymanie przez odbiorcę, wymagań eksploatacji energii w miejscu podłączenia do sieci dystrybucyjnej narzuconych przez dostawcę. Jednoczesny proces eksploatacji energii przez wielu użytkowników powoduje pośrednie, wzajemne oddziaływanie urządzeń na siebie oraz na sieć, do której są podłączone. Dlatego dostawca, odpowiedzialny za jakość energii w sieciach energetycznych, narzuca w warunkach przyłączeniowych reguły poboru, dzięki czemu – przy właściwym planowaniu – sam jest w stanie dotrzymać deklaracji zawartych w umowach związanych z jakością zasilania. Prawo wprowadza zasadę odpowiedzialności za naruszenia oraz niedotrzymania jakości i przewiduje za nie kary finansowe. Dostawca wprowadza również warunki szczególne, przy których nie jest w stanie utrzymać parametrów. Dotyczy to głównie kłęsk żywiołowych, stanów awaryjnych i stanów oddziaływania osób trzecich.

1.2.1. Ocena stanu zasilania

Energia elektryczna jest medium przepływającym pomiędzy wytwórcą, dostawcą a odbiorcą. O gotowości energii do jej pobierania świadczy napięcie i jego parametry w konkretnym punkcie zasilania, natomiast o zdolności systemu zasilania do dostarczenia określonej ilości energii świadczy moc zwarciowa w punkcie przyłączenia. Planowana gotowość dostawcy do dostarczania energii w określonym czasie jest określana Mocą Zamówioną, Mocą Umowną, a bezpośredni przepływ energii obserwowany jest jako prąd obciążenia i parametry z nim skojarzone, czyli moce średnie i energie. Obserwowany jest w ostatnich latach znaczny wzrost jakości rozwiązań technicznych umożliwiającą uniezależnienie odbiorników energii od

parametrów napięciowych. Jednak sposób pobierania energii odzwierciedlony kształtem prądu a mający bezpośredni wpływ na zachowanie i właściwości całego systemu energetycznego pozostawia jeszcze wiele do życzenia. Stanowi to główne przyczyny powstawania zjawisk zakłócających i szkodliwych. Bardzo pomocne dla wyobraźni będzie rzeczywiście spojrzenie na sieć energetyczną jak na „wielką pajęczynę”. Pojedyncze małe i losowe „szarpnięcia” nie zagrażają jej, natomiast nawet małe, ale występujące zgodnie w wielu punktach jednocześnie, mogą ją rozchwiać, doprowadzając do zniszczenia. Przykładem praktycznym może być niepozorny zasilacz telefonu komórkowego, komputera czy coraz popularniejszego ostatnio oświetlenia LED, które – podłączone do sieci w olbrzymich ilościach – pracujące synchronicznie, powodując znaczne odkształcenie szczytu napięcia w dużych miastach. Naszym zadaniem, w kategoriach jakości zasilania, jest określenie stanu zapewniającego poprawną technicznie eksploatację oraz śledzenie odstępstw pozwalające przewidywać lub stwierdzać technicznie niepoprawne stany eksploatacji energii i zagrożenia dla eksploatacji urządzeń nią zasilanych. Wyznacznikiem poprawności technicznej stanu zasilania i skutków oddziaływania na sieć w wyniku eksploatacji energii – zależnie od punktu obserwacji i specyfiki sieci – są właściwe normy, przykładowo PN-EN 61000-2-2 dla sieci publicznych niskiego napięcia, PN-EN 61000-2-4 dla sieci przemysłowych niskiego napięcia czy PN-EN 61000-2-12 dla sieci publicznych średniego napięcia.

1.2.2. Ocena parametrów eksploatacji energii

Podczas eksploatacji energii w wyniku przepływu prądów uwidaczniają się właściwości sieci energetycznych, które ze względu na swe skończone cechy fizyczne wprowadzają dodatkowe ograniczenia. Zastosowana koncepcja transformowania energii, której głównym celem było zmniejszenie strat przesyłowych na duże odległości od producenta do odbiorcy, znacznie zwiększyła stopień technicznego skomplikowania elementów sieci i jest jednym z bezpośrednich powodów ograniczeń ściśle związanych z jakością zasilania. Przekraczanie parametrów poboru energii naruszające ograniczenia eksploatacyjne wywołuje zjawiska niepożądane w elementach systemu energetycznego, powodując dodatkowe straty oraz wpływając na skrócenie żywotności jego elementów. Przekłada się to bezpośrednio na zwiększone ryzyko uszkodzeń tych elementów, a w konsekwencji – na nieprzewidziane awarie powodujące przerwy w dostarczaniu energii.

1.2.3. Ciągłość i niezawodność zasilania

Ze względu na kosztowne i skomplikowane technicznie sposoby magazynowania dużych ilości energii elektrycznej szczególnie efektywne staje się jej wykorzystanie bezpośrednio przy zapewnieniu bezprzerwowej ciągłości dostaw. Mimo że

postęp elektroniki i energoelektroniki pozwala już na bardzo zaawansowane technologicznie i droższe rozwiązania o znacznej odporności na krótkotrwałe przerwy w zasilaniu, to ekonomiczne realia rynku wymuszają często realizację inwestycji po minimalnych kosztach. Skutkuje to niestety znacznymi stratami w przyszłości – niekojarzonymi już często z wcześniejszą minimalizacją inwestycji. Po stronie sieci energetycznych są również ekonomiczne realia polskiej energetyki, w której przez bardzo długi czas dominowały rozwiązania zabezpieczeń sieci średniego napięcia z rezystorem uzemiającym, co zawsze skutkuje wyłączeniem, nawet w niekoncepcyjnych przypadkach. Na szczęście ten proces ulega powoli zmianom. Stosowanie rozwiązań ze skompensowanymi liniami energetycznymi, w których każde zwarcie doziemne nie kończy się wyłączeniem, jest w Polsce wymuszone – między innymi rosnącą świadomością jakości energii. Niektóre z krajów sąsiednich osiągnęły pod tym względem już 100% skuteczności. Ten zakres jakości zasilania ma oczywiście swoje formalne ugruntowanie głównie w prawie energetycznym określającym w przepisach wykonawczych sumaryczne czasy przerw w zasilaniu i zasady odpowiedzialności.

1.2.4. Identyfikacja odstępstw i stanów awaryjnych

Dość znamienne jest, że krótkie przerwy w zasilaniu są efektem działania zabezpieczeń – uznawane jako nietypowe stany pracy sieci w normie PN-EN 50160 – nie podlegają statystycznej klasyfikacji jakości zasilania. Natomiast przerwy w dostawie energii elektrycznej wywołane zadziałaniem SPZ (szczególnie częste i uciążliwe przy uziemieniu rezystorowym punktu zerowego sieci SN) podlegają w polskim prawie energetycznym tylko sumarycznemu czasowi przerw niezapowiedzianych. Przepisy wykonawcze i oparte o nie taryfy cen energii elektrycznej zawierają już uregulowanie konsekwencji niedostarczania energii elektrycznej, lecz stosowanie ich jest ściśle uwarunkowane i ma sens dopiero przy znacznych przerwach. Wymaga to jednak stosowania ciągłego monitorowania stanów pracy zasilania i rozwiązania problemu informowania o odstępstwach strony odpowiedzialnej, co do tej pory nie jest jednoznaczne. W praktyce również bardzo powoli niezawodność zasilania przenosi się na ceny w warunkach kontraktu dostawca – odbiorca na dostawę energii elektrycznej, jednak kierunek został już wytyczony.

1.3. Oddziaływanie urządzeń na sieć zasilającą

Jakość energii dostarczanej siecią energetyczną jest – z punktu widzenia użytkownika (odbiorcy) – określana jednoznacznie kryteriami parametrów napięcia tylko w przypadku, gdy nie pobiera on energii elektrycznej z sieci. W sytuacji typowej eksploatacji energii odbiorca staje się współużytkownikiem sieci energetycznej

i współuczestniczy w wypadkowym fizycznym zachowaniu się sieci oraz jej parametrach elektrycznych świadczących o jakości zasilania. Oznacza to, że każdy użytkownik w czasie normalnej eksploatacji energii elektrycznej ma bezpośredni wpływ na wypadkowe parametry jakości zasilania, zależnie od sposobu poboru energii. Wymagane Prawem energetycznym są tylko dwa kryteria poboru energii od odbiorcy: nieprzekraczanie średniej 15-minutowej mocy czynnej i nieprzekraczanie średniego tg zgodnie z obowiązującym kontraktem. Oznacza to, że dostawca energii jest zobowiązany zapewnić utrzymanie wielu szczegółowych parametrów jakości zasilania w odpowiednich przedziałach tolerancji, natomiast użytkownik powinien zachować w zakresie bieżącej eksploatacji tylko dwa parametry. Pozostałe wymagania co do użytkownika, mające wpływ na wypadkową jakość zasilania, dokonują się na wcześniejszym etapie współpracy dostawca-odbiorca, czyli na etapie określania warunków technicznych przyłączenia odbiorcy do sieci energetycznej. Istotna jest deklaracja odbiorcy co do rodzaju prowadzonej działalności pod kątem sposobu i poziomu zapotrzebowania na energię elektryczną. Na tej podstawie szacowane są możliwości systemu pod względem rezerwy mocy i mocy zwarciowej w planowanym punkcie przyłączenia do sieci. Ma to ścisły związek z jakością zasilania dostarczanego dotychczasowym odbiorcom, ponieważ zachowanie właściwej rezerwy mocy w odgałęzieniu sieci służy głównie utrzymaniu parametrów eksploatacyjnych poszczególnych elementów systemu. Moc zwarciowa natomiast przekłada się pośrednio na poziom obniżania się parametrów jakościowych w wyniku poborów energii przez odbiorcę, obniżając napięcie w punkcie przyłączenia, a w przypadku odbiorów niespokojnych, pogarszając również parametry Plt i Pst w sieci.

1.4. Normalizacja i prawo

W polskim systemie prawnym wszystkie obowiązujące reguły związane z energią elektryczną wprowadzane są poprzez ustawę Prawo energetyczne. Są w niej dalsze odniesienia do przepisów wykonawczych w formie rozporządzeń szczegółowo ustalających wszystkie istotne kwestie. Polskie ustawodawstwo zniósło obowiązek stosowania norm, zmieniając je na uogólnioną zasadę dobrowolności stosowania. Oznacza to, że normy wprowadzają zasady powszechnie uznawane za poprawność techniczną.

Jak pokazują doświadczenia szkoleniowe, powoli rośnie świadomość dobrowolności stosowania norm i sposobów na wykorzystanie jej do ogólnej poprawy jakości zasilania energią elektryczną. Bardzo ważnym momentem jest określenie warunków technicznych na przyłączenie użytkownika do sieci i warunki techniczne umowy na dostarczanie energii. Głównym problemem obecnie jest niestety w wielu przypadkach brak świadomości stanu jakości zasilania wynikający z braku wyników ciągłej analizy charakterystycznych punktów zasilania. W wielu sytuacjach dostęp-

ne wyniki mają ograniczone znaczenie metrologiczne, ponieważ zostały wykonane sprzętem niezgodnym z wymaganiami analizy jakości energii. W tym względzie polskie Prawo energetyczne jeszcze nie wprowadza wymagań, dlatego pozostaje tylko tak zwana poprawność techniczna wskazująca normę PN-EN 61000-4-30 i klasę A jako sprzęt przeznaczony do analizy jakości zasilania.

2. Polskie prawo energetyczne

Podstawą uporządkowania zasad i wymogów oraz ewentualnych konsekwencji dotyczących istotnych dziedzin funkcjonowania człowieka w obszarze państwa jest ustawodawstwo, które poprzez ustawy i rozporządzenia wykonawcze narzuca jednolitą interpretację istotnych zagadnień i upowszechnia stosowanie ich przez wszystkich pod rygorem konsekwencji prawnych. Sejm Rzeczypospolitej Polskiej uchwała, a Kancelaria Sejmu publikuje w formie papierowej i w formie elektronicznej, pod adresem www.isap.gov.pl (1), zapewniając powszechny dostęp do stanowionego prawa, co również zostało wykorzystane w niniejszym opracowaniu.

Zasady dotyczące rynku energetycznego zostały uregulowane ustawą z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne oraz wydanymi na jej podstawie aktami wykonawczymi – rozporządzeniami.

2.1. Ustawa podstawowa

Dz.U. 1997 r. Nr 54, poz. 348 Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne (tekst jednolity opublikowany w **Dz.U. 2012 r. poz. 1059**)

Ustawa Prawo energetyczne porządkuje zagadnienia dotyczące mediów energetycznych jako towarów. Dla energii elektrycznej w zakresie jakości zasilania:

1. Wiąże pojęcia bezpieczeństwa pracy sieci elektroenergetycznej ze spełnieniem wymagań jakościowych energii elektrycznej i standardami obsługi odbiorców oraz dopuszczalnymi przerwami w dostawie energii.
2. Wprowadza pojęcie normalnego układu pracy sieci, w którym zapewnia najkorzystniejsze warunki techniczne i ekonomiczne transportu energii elektrycznej oraz spełnienia kryteriów niezawodności pracy i jakości energii dostarczanej użytkownikom sieci.
3. Precyzuje, aby umowy sprzedaży oraz świadczenia usług przesyłowych zawierały:
 - a) standardy jakościowe,
 - b) warunki zapewniania niezawodności i ciągłości dostaw,
 - c) wysokości bonifikat za niedotrzymanie standardów jakościowych obsługi odbiorców.
4. Narzuca, by przyłączone do sieci urządzenia i instalacje użytkownika spełniały wymagania techniczne i eksploatacyjne zapewniające, między innymi, możliwość dotrzymania parametrów jakościowych w miejscu przyłączenia.

5. Wskazuje rozporządzenia wykonawcze precyzujące, między innymi, szczegółowe parametry jakościowe energii oraz zasady kształtowania i kalkulacji taryf oraz zasad rozliczeń w obrocie energią.
6. Określa odpowiedzialność i współodpowiedzialność operatorów systemów przesyłowych i systemów dystrybucyjnych, między innymi za zachowanie wymaganej niezawodności i jakości dostarczania energii.
7. Wymaga, aby instrukcje dla sieci elektroenergetycznych – określające szczegółowe warunki korzystania z tych sieci przez użytkowników systemu oraz warunki i sposób prowadzenia ruchu, eksploatacji i planowania rozwoju – dotyczyły między innymi:
 - a) parametrów jakościowych energii i standardów jakościowych obsługi użytkowników systemu,
 - b) wskaźników charakteryzujących jakość i niezawodność dostaw energii elektrycznej oraz bezpieczeństwa pracy sieci elektroenergetycznej.
8. Zobowiązuje wytwórców energii podłączonych do sieci do utrzymania zdolności źródeł do wytwarzania energii elektrycznej w ilości i jakości wynikającej z umów.
9. Określa, że w zakresie działań URE jest między innymi kontrolowanie standardów jakościowych obsługi odbiorców oraz kontrolowanie, na wniosek odbiorcy, dostarczania parametrów jakościowych energii.
10. Określa, że szczegółowe warunki wykonywania działań objętych koncesją mają zapewnić między innymi zdolność do ciągłego i niezawodnego dostarczania energii przy zachowaniu wymagań jakościowych.
11. Zobowiązuje przedsiębiorstwa energetyczne do udzielania upustów i bonifikat za niedotrzymanie standardów jakościowych obsługi odbiorców zgodnie z taryfą lub umową.

2.2. Akty wykonawcze

Ustawa Prawo energetyczne jest podstawową regulacją prawną, natomiast szczegółowe wytyczne dotyczące poszczególnych zagadnień i kolejnych uzupełnień są wprowadzane drogą rozporządzeń, jako akty wykonawcze publikowane w kolejnych dziennikach ustaw przez Kancelarię Sejmu. Z punktu widzenia jakości zasilania energią elektryczną do najważniejszych aktów wykonawczych należy:

Dz.U. z 2007 r. Nr 93, poz. 623 – rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego

W zakresie jakości zasilania:

W rozdziale 1. „Przepisy ogólne” określa poszczególne definicje w tym: przyłącza, moc przyłączeniowa, moc umowna, wyłączenie awaryjne.

W rozdziale 2. „Kryteria podziału na grupy podmiotów ubiegających się o przyłączenie oraz warunki przyłączenia” dzieli odbiorców – zależnie od napięcia zasilającego i mocy pobieranej – na grupy przyłączeniowe:

Grupa	Cechy grupy przyłączeniowej
I	$U_n > 110 \text{ kV}$
II	$U_n = 110 \text{ kV}$
III	$1 \text{ kV} < U_n < 110 \text{ kV}$
IV	$U_n < 1 \text{ kV}$, $P_z > 40 \text{ kW}$ zabezpieczenie $> 63 \text{ A}$
V	$U_n < 1 \text{ kV}$, $P_z \leq 40 \text{ kW}$ zabezpieczenie $\leq 63 \text{ A}$
VI	Tymczasowe podłączenie

W rozdziale 10. „Parametry jakościowe energii elektrycznej i standardy jakościowe obsługi odbiorców oraz sposób załatwiania reklamacji” ustala parametry jakościowe energii elektrycznej dla grup przyłączeniowych III–V sieci pracującej bez zakłóceń:

1. Parametry częstotliwości sieci:
 - a) czas uśredniania 10 s,
 - b) tolerancja częstotliwości dla:
 - c) 99,5% obserwacji w tygodniu,
 - d) 100% obserwacji w tygodniu.
2. Parametry średnich wartości skutecznych napięcia zasilającego:
 - a) czas uśredniania 10 min,
 - b) tolerancja dla 95% wartości obserwacji w tygodniu.
3. Parametry współczynnika migotania Plt napięcia zasilającego:
 - a) tolerancja dla 95% wartości obserwacji w tygodniu.
4. Parametry asymetrii napięcia zasilającego (% wartość składowa przeciwna do zgodnej):

- a) tolerancja dla 95% wartości obserwacji w tygodniu.
5. Parametry harmonicznych napięcia zasilającego:
 - a) próg górny THD U dla 95% wartości obserwacji w tygodniu,
 - b) próg górny harmonicznych U dla 95% wartości obserwacji w tygodniu.
6. Warunek utrzymania parametrów napięcia zasilającego w granicach określonych w pkt. 1–5, aby pobierana przez odbiorców moc czynna była nie większa od mocy umownej, przy współczynniku $\text{tg } \phi$ nie większym niż zadany.
7. Wprowadza pojęcia przerw w dostarczaniu energii elektrycznej:
 - a) według zasady występowania:
 - i. planowane – ogłoszona według zasad,
 - ii. nieplanowane – awaryjne oraz bez poinformowania odbiorcy,
 - b) według czasu trwania:
 - i. przemijające (mikroprzerwy) < 1 s,
 - ii. krótkie > 1 s i < 3 minuty,
 - iii. długie > 3 minuty i < 12 godzin,
 - iv. bardzo długie > 12 godzin i < 24 godziny,
 - v. katastrofy > 24 godziny.

I określa dopuszczalne w ciągu roku sumaryczne czasy trwania.
8. Wprowadza definicje przekroczenia mocy 15-minutowej jako nadwyżki ponad moc umowną:
 - a) w cyklach godzinowych – gdy układy rozliczeniowe to umożliwiają,
 - b) w cyklach rozliczeniowych – gdy brak innych możliwości rejestracji.

W załączniku 1. określa wymagania techniczne w zakresie przyłączenia do sieci urządzeń wytwórczych, sieci dystrybucyjnych elektroenergetycznych, urządzeń odbiorców końcowych, połączeń międzysystemowych oraz linii bezpośrednich podmiotów zaliczanych do poszczególnych grup przyłączeniowych. Wśród wielu wytycznych są również istotne z punktu widzenia jakości zasilania:

1. Zabezpieczenia powinny wyłączać zwarcia w sieciach:
 - a) 220 kV w ciągu 220 ms,
 - b) 110 kV w ciągu 150 ms.
2. Określone są, zależnie od ilości rocznie zużywanej energii, wymagania co do klasy przekładników pomiarowych napięciowych i prądowych oraz sposobu podłączenia układów pomiarowo-rozliczeniowych:
 - a) dopuszcza się podwójne uzwojenia na jednym rdzeniu pomiarowym,
 - b) klasa dokładności nie większa od 0,5 a wskazana 0,2,
 - c) liczniki energii podłącza się do jednego uzwojenia przekładnika.

Dz.U. z 2011 r. Nr 189, poz. 1126 – rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 sierpnia 2011 r. w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną (tekst jednolity opublikowany w Dz.U. z 2013 r. poz. 1200)

W rozdziale 1. „Przepisy ogólne” określa poszczególne definicje w tym: grupa przyłączeniowa, przyłączy, moc przyłączeniowa, moc umowna, rezerwa mocy, miejsce dostarczania energii elektrycznej.

W rozdziale 2. „Szczegółowe zasady kształtowania taryf” określa, że taryfa powinna zawierać między innymi:

1. Sposób ustalania bonifikat za niedotrzymanie parametrów jakościowych energii elektrycznej i standardów jakościowych obsługi odbiorców.
2. Opłaty za ponadnormatywny pobór energii biernej i przekroczenia mocy umownej.
3. Opłaty za usługi dodatkowe na życzenie odbiorcy.
4. Nielegalny pobór energii.

Ustala również sposób zaliczania odbiorców do poszczególnych grup taryfowych, gdy pobierają energię z większej ilości miejsc i z różnych poziomów napięcia.

W rozdziale 3. „Szczegółowe zasady kalkulacji cen i stawek opłat” – wśród wielu pojęć użytych w określaniu składników ceny – definiuje pojęcia składników i stawek jakościowych, przytacza wzory z podaniem ich przeznaczenia jako planowanych kosztów zakupu:

1. rezerw mocy i usług systemowych,
2. ilości energii elektrycznej, wytwarzanej w celu zapewnienia odpowiedniej jakości dostaw tej energii, określonej jako różnica w wysokości między płatnościami za energię elektryczną a przychodami ze sprzedaży tej energii w ramach bilansowania systemowego.

Określa również przeznaczenie przychodów z opłat między innymi za ponadnormatywne zużycie mocy biernej, przekroczenia mocy umownej, usługi dodatkowe na zlecenie odbiorcy i innych.

W rozdziale 4. „Szczegółowe zasady rozliczeń z odbiorcami oraz między przedsiębiorstwami energetycznymi” wśród wielu szczegółowych wzorów przytacza również wzory na bonifikatę dla odchyleń od wartości granicznych:

1. do 10% – zależną od wartości odchylenia napięcia, ceny i ilości energii dostarczonej w okresie doby;
2. ponad 10% – zależną od ceny i ilości dostarczonej energii w okresie doby powiększonej o bonifikatę zależną od łącznego czasu niedotrzymania poziomów napięcia.

Określa również bonifikatę za niedostarczenie energii elektrycznej końcowemu odbiorcy w wysokości 5- i 10-krotności ceny, zależnie od poziomu napięcia w sieci.

Rozporządzenie wprowadza ponadto pojęcia ponadnormatywnego poboru energii biernej i zasady rozliczania dla poszczególnych poziomów napięć sieci oraz sposób obliczania współczynnika $\text{tg } \phi_0$ i dopuszczalne w umowach wartości typowo 0,4 lecz nie mniejszy od 0,2. Wyróżnia również przypadek szybkozmiennych obciążeń mocą bierną oraz sposób jej obliczania.

Podaje również zasady określania nadwyżki mocy, w tym sposób wyliczenia wartości oraz przyjmowane reguły czasowe dla przypadków zależnie od możliwości układów pomiarowo-rozliczeniowych.

2.3. Prawo energetyczne w praktyce

Wytyczne zawarte w Prawie energetycznym i powiązanych aktach wykonawczych są obowiązkowymi – wymaganymi do przestrzegania kryteriami jakości zasilania energią elektryczną. Na ich podstawie powinny być budowane umowy handlowe pomiędzy podmiotami w zakresie wytwarzania, przesyłu, dystrybucji i obrotu energią elektryczną. Podmioty zajmujące się tą działalnością muszą posiadać stosowne koncesje na wymienione zakresy działalności. Zajmuje się tym Urząd Regulacji Energetyki (URE). Polskie Prawo energetyczne korzysta w sposób niejawni z normy PN-EN 50160, jest to wniosek na podstawie analizy publikowanych wartości i kryteriów, jednak w żadnym miejscu nie przywołuje się wprost tej normy. Norma jest przywoływana jedynie w Prawie budowlanym, a powinno być odwrotnie. Ustawodawstwo w zakresie jakości zasilania wprowadza względem normy dodatkowe warunki konieczne do spełnienia przez odbiorcę energii, w tym zachowanie odpowiedniego poziomu mocy biernej i średniej mocy czynnej pobieranej, przy czym nie mają one bezpośredniego wpływu na jakość zasilania, podobnie jak kryteria jakościowe, nie za bardzo mają szansę służyć odbiorcom, przy tak długich czasach uśredniania.

2.3.1. Tolerancje wartości średnich

Ustawowo określony szeroki przedział napięcia $\pm 10\%$ można uznać za kompromis, z powodu którego na przykład w sieciach nn 230 V:

1. występuje problem eksploatacji konwencjonalnego oświetlenia z włóknem wolframowym, które przy zgodnym z prawem napięciu 250 V drastycznie zmniejsza żywotność, powodując kosztowną eksploatację;
2. silniki elektryczne i grzałki urządzeń powszechnego użytku przy napięciach 208 V mają mniejszą moc powodującą ograniczenia funkcjonalne.

Tolerancja średniego napięcia spełniona przez 95% tygodnia oznacza, że łącznie przez ponad 8 godzin w tygodniu tolerancja napięcia może być niespełniona i będzie to zgodnie z prawem.

2.3.2. Sumaryczny czas przerw w zasilaniu

Dla oceny tego parametru konieczne jest ciągłe monitorowanie parametrów zasilania przez 24 godziny na dobę 365 dni w roku. Konieczne jest również określenie przyczyny przerwy w zasilaniu celem rozróżnienia przerwy planowanej od nieplanowanej. Jedynym rozwiązaniem pozwalającym na obiektywną kontrolę tego stanu rzeczy jest stacjonarny przyrząd klasy A oraz baza danych z systemem nadzręcznym. Jest to jedna z cech jakości zasilania, którą wbrew pozorom najtrudniej jest obiektywnie monitorować na linii dostawca – odbiorca. Namiastką są jednak statystyki niezawodności i ciągłości zasilania, które powinien prowadzić dostawca w obszarze co najmniej stacji GPZ.

2.3.3. Nieprzekraczanie tg

Nieprzekraczanie współczynnika $\text{tg} < 0,4$ oraz $\text{tg} > 0$ służy głównie zapewnieniu utrzymania w przesyłce energii odpowiednio niskiego poziomu mocy biernej, co służy głównie utrzymaniu wyższej efektywności wykorzystania sieci przesyłowych i dystrybucyjnych, dla których celem podstawowym jest przesył energii czynnej. Wzrost składowej biernej ma dodatkowo wpływ na spadki napięcia, wpływając tym samym na ocenę kryteriów jakościowych. Dlatego też utrzymanie parametru tg w zadanym przedziale jest jednym z warunków koniecznych po stronie odbiorcy dla dalszej oceny jakości zasilania.

2.3.4. Nieprzekraczanie średniej mocy czynnej

Średnia moc czynna jest parametrem służącym głównie do planowania możliwości systemów energetycznych i szacowania zapotrzebowania ilościowego energii. Ma więc wpływ na jakość zasilania, oddziałując między innymi na:

1. obniżenie napięcia i częstotliwości wywołanych przeciążeniem systemów wytwórczych,
2. zmniejszenie ilości przerw w zasilaniu wywołanych awariami przeciążonych elementów sieci energetycznych,
3. zbyt niskie napięcie odbiorców końcowego odcinka sieci.

2.3.5. Zasada obciążenia odbiorcy kosztami sprawdzenia jakości

Prawo energetyczne nie jest w pełni obiektywne wobec obu stron (dostawca/odbiorca), ponieważ stwierdzenie bezzasadności reklamacji zgłoszonej przez użytkownika – na podstawie pomiarów przeprowadzonych przez dostawcę – upoważnia przyjmującego zgłoszenie do obciążenia kosztami pomiarów sprawdzających jakość zgłaszającego roszczenie. Natomiast jeżeli odbiorca przeprowadzi wiarygodne pomiary przyrządem klasy A (często identycznym jak u dostawcy), w których zostanie stwierdzone naruszenie standardów jakościowych, to dostawca jest zobowiązany jedynie do bonifikat za niespełnienie standardów. Jednakże prawo nie przewiduje obowiązku zwrócenia odbiorcy kosztów wykonania tych pomiarów.

2.3.6. Zagadnienia jakości zasilania nierozwiązane w prawie

Prawo energetyczne nie wyróżnia przypadków:

1. Wśród odbiorców energii, jako użytkownika:
 - a) niespokojnego wskutek szybkozmiennych poborów mocy czynnej,
 - b) niespokojnego wskutek szybkozmiennych poborów mocy biernej,
 - c) pobierającego energię o wysokim poziomie harmonicznych prądu (bardzo nieliniowy),
 - d) o dużych poborach mocy chwilowej nie przekraczającej jednak średniej piętnastominutowej.
2. Dostarczania energii:
 - a) z przerwami wynikającymi z działania systemu zabezpieczeń sieci SN (rezystor uziemiający, SPZ),
 - b) z przerwami wywołanymi łączeniami w sieci.
3. Niejednoznaczności parametrów zasilania:
 - a) Interpretacja kryteriów oceny czasu dla THD w napięciu (brak jednoznacznego określenia przedziałów czasu).

2.3.7. Przywołania norm w polskim ustawodawstwie

Dz.U. z 2002 r. Nr 75, poz. 690 (1) Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (zmiany: Dz.U. z 2003 r. Nr 33, poz. 270; z 2004 r. Nr 109, poz. 1156; z 2008 r. Nr 201, poz. 1238; z 2010 r. Nr 239, poz. 1597):

Załącznik 1.

Parametry napięcia w publicznych sieciach rozdzielczych:

PN-EN 50160:2002 (2),

PN-EN 50160:2002/AC2004 (2),

PN-EN 50160:2002/Ap1:2005 (2),

Dz.U. z 2009 r. Nr 221 poz. 1742 (1) Wymagania techniczne i eksploatacyjne dla urządzeń konsumenckich służących do odbioru cyfrowych naziemnych transmisji telewizyjnych

3. Systematyka

3.1. Norma PN-EN 50160

Norma **PN-EN 50160 (2)** – w pełnym brzmieniu: „**Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych**” – wprowadza podstawowe elementy dotyczące definicji poszczególnych parametrów napięcia i kryteriów ich oceny, w tym: przedziałów tolerancji i okresów obserwacji oraz analizy statystycznej dla europejskich publicznych sieci elektroenergetycznych. Wszystkie kryteria są wyspecyfikowane oddzielnie dla każdego z przedziałów napięcia. Norma zawiera dwa załączniki:

1. Specyficzny charakter energii elektrycznej,
2. Orientacyjne wartości dla napięć i ich gwałtownych pojedynczych zmian.

Zawiera również bibliografię z listą dokumentów i norm, do których występują odwołania.

3.1.1. Zakres normy

1. Norma wprowadza klasyfikację sieci zależnie od napięcia nominalnego:

Lp.	Nazwa sieci	Zakres
1	Niskie napięcie nn (ang. LV)	$Un \leq 1 \text{ kV}$,
2	Średnie napięcie SN (ang. MV)	$1 \text{ kV} < Un \leq 36 \text{ kV}$
3	Wysokie napięcie WN (ang. HV)	$36 \text{ kV} < Un \leq 150 \text{ kV}$

2. Wprowadzenie niezbędnych terminów:
 - a) normalne warunki pracy sieci,
 - b) operator sieci, użytkownik sieci,
 - c) punkt przyłączenia do sieci,
 - d) deklarowane napięcie zasilania U_c ,
 - e) napięcie nominalne Un ,
 - f) napięcie odniesienia,
 - g) częstotliwość nominalna napięcia zasilającego.
3. Definicja podstawowych cech napięcia zasilającego:
 - a) częstotliwość,
 - b) współczynniki poziomu irytacji migotaniem światła Plt , Pst ,

- c) harmoniczne napięcia i współczynnik zniekształceń harmonicznych,
 - d) interharmoniczne napięcia.
4. Definicja zjawisk występujących w sieci zasilającej:
- a) zakłócenia przewodzone – rozprzestrzeniające się wzdłuż przewodów sieci,
 - b) uciążliwość w wyniku migotania światła – „Flicker”,
 - c) sygnały transmisyjne nałożone na napięcie zasilające określane jako:
 - i. sygnały o częstotliwościach akustycznych od 110 Hz do 3 kHz,
 - ii. sygnały o częstotliwości radiowej od 3kHz do 148.5 kHz,
 - iii. znaczniki sygnałowe, jako krótkie zmiany w wybranych punktach kształtu przebiegu napięcia,
 - d) szybka zmiana napięcia,
 - e) wahania napięcia,
 - f) wzrosty, zapady napięcia:
 - próg przekroczenia,
 - czas trwania, moment początku i końca,
 - napięcie resztkowe,
 - g) przerwa w zasilaniu,
 - h) przepięcia przemijające (nieoscylacyjne),
 - i) asymetria napięcia w systemach wielofazowych.
5. Parametry występujące w normie są wyznaczone metodami opisanymi w PN-EN 61000-4-30.
6. **Wykluczenia!** – standaryzacja nie dotyczy nienormalnych stanów pracy sieci czyli:
- a) dla tymczasowych układów zasilania tworzonych w celu zapewnienia ciągłości zasilania użytkowników systemu podczas zwarcia, prac związanych z utrzymaniem i budową sieci lub w celu zminimalizowania obszaru i czasu trwania przerwy w zasilaniu;
 - b) w przypadku niezgodności instalacji lub urządzeń użytkownika systemu z odpowiednimi normami lub wymaganiami technicznymi dotyczącymi przyłączenia – ustanowionymi przez władze publiczne lub przez operatora systemu – zawierającymi dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń przewodzonych;
 - c) w wyjątkowych sytuacjach, jakimi są w szczególności:
 - i. wyjątkowe warunki pogodowe i inne klęski żywiołowe,
 - ii. ingerencja stron trzecich,
 - iii. działania władz publicznych,
 - iv. akcje protestacyjne (zgodnie z prawem),
 - v. siły wyższe,
 - vi. niedobory mocy wynikających ze zdarzeń zewnętrznych.

Zestawienie szczegółowe poszczególnych parametrów i kryteriów dla sieci nn, SN, WN zawarte są w załączniku nr 2 niniejszego przewodnika.

Załączniki informacyjne do normy zawierają między innymi opis szczególnego charakteru energii elektrycznej oraz opis dostępnych wskaźników dotyczących zdarzeń napięciowych i pojedynczych szybkich zmian napięcia. Dotyczy to między innymi:

1. Długich przerw w zasilaniu.
2. Krótkich przerw w zasilaniu:
 - a) przywołując normę IEC/TR 61000-2-8 (statystyk UNIPEDA).
3. Zapadów i wzrostów napięcia:
 - a) nawiązuje do klas 2 i 3 zdefiniowanych w normach EN 61000-4-11 oraz EN 61000-4-34;
 - b) przywołuje poziomy kompatybilności dla przemysłowych sieci elektroenergetycznych określonych w EN 61000-2-4;
 - c) odwołuje się do wymagań z zakresu odporności w normach EN 61000-6-1 i EN 61000-6-2.
4. Wzrostów (przebieg dorywczych o częstotliwości sieci) pomiędzy przewodami fazowymi a ziemią, wskazując normy IEC/TR 61000-2-14 oraz IEC/TR 62066 jako źródło szczegółowych informacji o przepięciach w sieciach dystrybucyjnych.
5. Wartości szybkich zmian napięcia uzupełnionych definicjami zawartymi w normie EN 61000-3-3, uogólniając, że częstość i wartość szybkich zmian napięcia są powiązane ze zmianami obciążeń przez użytkownika i z poziomami mocy zwarciowej sieci.

3.2. Kompatybilność elektromagnetyczna

Podstawą usystematyzowania energii elektrycznej jest szeroko rozumiana kompatybilność elektromagnetyczna opisana w rodzinie norm PN-EN 61000. Obejmuje ona również przepływ przewodzony energii w liniach energetycznych będących elementami systemu energetycznego.

3.2.1. Rodzina norm sprzętowych

Podstawą jednoznacznych i powtarzalnych pomiarów parametrów jakościowych i weryfikacji kryteriów oceny jakości są precyzyjne określenia sposobów obliczania poszczególnych parametrów oraz właściwości techniczne sprzętu przeznaczonego do oceny jakości. Te kwestie reguluje norma PN-EN 61000-4-30 oraz normy w niej przywołane – jako szczegółowe uzupełnienia, do których należą między innymi analizy harmoniczných oraz poziom uciążliwości migotania światła. W ka-

talogach norm pod hasłem „Flicker” przywoływane są dwie normy PN-EN 60868: 1993 jako pierwowzór standaryzacji problemu migotania światła oraz niezależna norma PN-EN 61000-4-15 jako jeden z elementów kompatybilności w zakresie zjawisk przewodzonych.

PN-EN 61000-4-30 (3)

Tytuł: „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-30: Metody badań i pomiarów. Metody pomiaru jakości energii”

W normie zdefiniowano metody pomiaru parametrów jakości energii elektrycznej i interpretacji wyników pomiarów dla systemów zasilających prądu przemiennego o częstotliwości 50/60 Hz. Norma dotyczy zjawisk przewodzonych występujących w sieciach zasilających. Są w niej uwzględnione wpływy przetworników wpiętych między badany system zasilający a przyrząd pomiarowy, jednak po szczegółowe informacje odsyła do normy IEC 61557-12. W zakresie jakości zasilania norma wprowadza:

1. Pojęcia i definicje:
 - a) związane z czasem:
 - UTC – uniwersalnego czasu koordynowanego,
 - RTC – zegara czasu rzeczywistego,
 - b) deklarowanych napięć:
 - U_{din} – wejściowego,
 - U_c – zasilającego,
 - c) pojęcia wartości skutecznych napięć:
 - $U_{rms(1/2)}$ – półokresowa,
 - $U_{rms(1)}$ – okresowa,
 - U_{res} – napięcie resztkowe,
 - U_{sr} – wartość referencyjna w przesuwym oknie czasowym,
 - d) pojęcia zdarzeń związanych z napięciem:
 - i. wzrost/zapad napięcia,
 - ii. histereza,
 - iii. odchylenie w górę,
 - iv. wartość progowa napięcia,
 - e) pojęcia związane z harmonicznymi:
 - i. składowa harmoniczna,
 - ii. składowa interharmoniczna,
 - iii. częstotliwość podstawowa,
 - iv. częstotliwość interharmoniczna.
2. Wprowadza klasy metod pomiarowych (dla każdej z nich przedstawione są metody pomiarowe i odpowiednie wymagania funkcjonalne):

- a) określa pojęcia klas:
- klasa A** Klasa ta jest używana w przypadku konieczności przeprowadzenia dokładnych pomiarów, np. dla celów kontraktowych, gdy może być wymagane rozstrzygnięcie sporów, weryfikacja zgodności z postanowieniami norm, itp. Dowolne pomiary parametru przeprowadzone za pomocą dwóch różnych przyrządów spełniających wymagania klasy A i mierzących te same sygnały powinny dać zbieżne wyniki mieszczące się w określonym przedziale niepewności.
 - klasa S** Klasa ta jest używana do zastosowań statystycznych, takich jak analizy lub oceny jakości energii, także z ograniczoną liczbą parametrów. Mimo że stosowane są takie same czasy pomiarów jak w przypadku klasy A, wymagania dotyczące przetwarzania danych w klasie S są mniejsze.
 - klasa B** Klasa ta została określona w celu umożliwienia stosowania wielu istniejących przyrządów o przestarzałej konstrukcji. Metody tej klasy nie są zalecane w nowych konstrukcjach przyrządów, a klasa B może być usunięta z przyszłej edycji tej normy.
- b) określa zasady i algorytmy przyporządkowania (agregacji czasowej) pomiarów,
- c) określa niepewności zegara czasu rzeczywistego (RTC).
3. Załącznik A: Parametry jakości energii – problemy i wytyczne, gdzie zawarte są rozważania na temat:
- a) instalacji ochronnych,
 - b) przetworników pomiarowych,
 - c) przejściowych napięć i prądów,
 - d) szybkich zmian napięcia,
 - e) prądu,
 - f) charakterystyk zapadów napięcia.
4. Załącznik B: Pomiar jakości energii – Poradnik stosowania (załącznik B), zawierający rozważania:
- a) zalecenia dotyczące pomiarów,
 - b) badania statystyczne,
 - c) miejsca instalacji i rodzajów pomiarów,
 - d) wybór progów rejestracji i czasu rejestracji,
 - e) analizę statystyczną zmierzonych danych,
 - f) wykrywanie i usuwanie przyczyn awarii.
5. Załącznik C: Poradnik informacyjny dotyczący przyrządów pomiarowych, zawiera:
- a) uwagi ogólne,
 - b) podsumowanie wymagań – szczegółowe zestawienie:

- i. rozdziałów i parametrów,
 - ii. klas,
 - iii. metod pomiaru,
 - iv. niepewności,
 - v. przedziałów pomiarowych,
 - vi. przedziałów wielkości wpływającej na pomiar,
 - vii. metod agregacji,
- c) przewodnik dotyczący badań,
 - d) przewodnik raportowania wyników.

PN-EN 61000-4-15 (4)

Tytuł: „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 4-15: Metody badań i pomiarów – Miernik migotania światła – Specyfikacja funkcjonalna i projektowa”

Norma ta – niezależna od PN-EN 60868 – zawiera specyfikację przyrządu do pomiaru współczynników migotania światła na podstawie statystycznej analizy wahań napięcia dla wejść 120 V i 230 V, 50 Hz i 60 Hz.

W zakresie jakości zasilania norma wprowadza:

1. Szczegółowy opis budowy przyrządu z rozbiciem na blok wejść, bloki funkcjonalne i blok wyjść.
2. Specyfikacja szczegółowa poszczególnych bloków zawiera:
 - a) odpowiedzi znormalizowane migotania światła na sinusoidalne wahania napięcia,
 - b) odpowiedzi znormalizowane migotania światła na prostokątne wahania napięcia,
 - c) transformatory wejściowe dla dopasowania znamionowych napięć wejściowych,
 - d) obwody dopasowania wejść napięciowych,
 - e) wewnętrzny generator do kalibracji,
 - f) demodulator kwadratowy,
 - g) filtry ważące,
 - h) całkowite odpowiedzi – od wejścia do charakterystycznych wyjść z przywołaniem charakterystyk i współczynników filtrów,
 - i) przełączniki zakresów, powielacze kwadraturowe i filtr średniej ruchomej,
 - j) procedury analizy statystycznej i zasady wyznaczania współczynników.
3. Sposoby badania przyrządu z wyspecyfikowanymi badaniami układu klasyfikacji wartości migotania.
4. Specyfikację próby typu i kalibracji.

PN-EN 60868-0 (5) PN-EN 60868 (6)

Tytuł: „Miernik migotania światła – Ocena uciążliwości migotania światła”

Norma ta jest okładką do normy EN 60868-0: 1993 stanowiącej wewnętrzną treść merytoryczną.

Tytuł: „Miernik migotania światła – Opis działania i cechy konstrukcyjne”

Norma ta jest okładką do normy IEC 868: 1986 stanowiącej wewnętrzną treść merytoryczną.

Są to normy niezależne od stosowanej w zakresie jakości zasilania normy PN-EN 61000-4-15. Normy nie są ze sobą powiązane, ponieważ nie przywołują się wzajemnie, jednak jest wyraźnie zauważalne wzajemne powiązanie merytoryczne rozwiązania problemu. Do celów jakości zasilania właściwa jest norma z nią związana, czyli omówiona wyżej PN-EN 61000-4-15.

PN-EN 61000-4-7 (7)

Tytuł: „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 4-7: Metody badań i pomiarów – Ogólny przewodnik dotyczący pomiarów harmoniczných i interharmoniczných oraz przyrządów pomiarowych dla sieci zasilających i przyłączonych do nich urządzeń”

PN-EN 61000-4-34 (8)

Tytuł: „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 4-34: Metody badań i pomiarów – Badanie odporności na zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia dla urządzeń o fazowym prądzie zasilającym do 16 A”

Jest to norma dla metody badań odporności i preferowanego zakresu poziomu testów dla sprzętu elektrycznego i elektronicznego w zakresie spadków napięcia, krótkich przerw w zasilaniu i zmian napięcia podłączonego do sieci zasilających jedno- i trójfazowych niskiego napięcia AC 50 Hz lub 60 Hz (częstotliwość sieci 400 Hz jest wykluczona z zakresu normy).

Dla sprzętu o innej ilości faz jest odesłanie do IEC 61000-4-11. Zagadnienia wahań napięcia objęte są normą IEC 61000-4-14.

3.2.2. Rodzina norm eksploatacyjnych napięciowych

Przywołane poniżej normy dotyczą medium przenoszącego energię z zakresie stanu i gotowości, czyli właściwości w napięciu, ze wszystkimi tego konsekwencjami.

PN-EN 61000-2-2 (9)

Tytuł: „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 2-2: Środowisko – Poziomy kompatybilności zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości i sygnałów przesyłanych w publicznych sieciach zasilających niskiego napięcia”

Norma dotyczy zaburzeń przewodzonych w paśmie od 0 kHz do 9 kHz z rozszerzeniem do 148,5 kHz w zakresie systemów sygnalizacji przez zasilanie. Dotyczy sieci AC do 420 V sieci jednofazowych oraz do 690 V sieci trójfazowych 50 Hz do 60 Hz.

Najważniejsze zjawiska zakłócające to:

1. Wahania napięcia i migotanie.
2. Harmoniczne do 50-tej.
3. Interharmoniczne do 50-tej.
4. Zniekształcenia napięcia przy wyższych częstotliwościach (powyżej 50-tej harmonicznej).
5. Spadki napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu.
6. Asymetria napięcia.
7. Krótkotrwałe wzrosty napięcia.
8. Zmiany częstotliwości zasilania.
9. Składniki stałoprądowe.
10. Sygnalizacja zasilaniem.

W zakresie definicji pojęć przywoływane są normy IEC 60050-101 oraz IEC 60050-161 określające takie pojęcia jak:

1. Kompatybilność elektromagnetyczna, poziom kompatybilności, poziom planowania kompatybilności, punkt wspólny podłączenia.
2. Zakłócenie (zaburzenie elektromagnetyczne), poziom zakłócenia.
3. Fizyczne parametry napięć i prądów:
 - a) częstotliwość sieci (składowa podstawowa – fundamentalna) i parametry dla składowej podstawowej,
 - b) częstotliwości harmoniczne i parametry dla harmonicznych,
 - c) częstotliwości interharmoniczne i parametry dla interharmonicznych,
 - d) poziom zniekształceń harmonicznych THD,
 - e) asymetria napięcia, składowe zgodna, przeciwna i zerowa,
 - f) wahania napięcia oraz parametr „Flicker”.
4. Określone są poziomy kompatybilności (szczegóły w załączniku nr 3) w zakresie:
 - a) wahań napięcia i efektu „Flicker” – wartościami z normy PN-EN 61000-3-3 dla niskiego napięcia oraz metodami pomiarowymi z normy PN-EN 61000-4-15;
 - b) poziomów THD i zawartości harmonicznych do 50-tej;

- c) w zakresie poziomów interharmonicznych kryteria są jeszcze niestalone, a jedyne ustalenia dotyczą pasma od 0,1 Hz do 100 Hz, przywołując krzywe dla lamp 230 V i 120 V przywoływane w parametrach „Flicker”;
- d) zapadów napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu są przywołane według normy IEC 61000-2-8 która nie jest publikowana przez Polski Komitet Normalizacji;
- e) poziomów asymetrii;
- f) szybkich wzrostów napięcia i przywołuje normę IEC 60664-1;
- g) tymczasowych granicznych odchylen częstotliwości rozległych systemów pracujących synchronicznie;
- h) składowych stałych (DC) w napięciach i prądach;
- i) poziomów sygnałów dla sygnalizacji sieciowej:
 - i. systemy kontroli załączeń w paśmie 110 Hz do 3 kHz,
 - ii. systemy średniej częstotliwości sygnalizacji siecią 3 kHz do 20 kHz,
 - iii. systemy częstotliwości radiowych sygnalizacji siecią 20 kHz do 148.5 kHz,
 - iv. przesyłanie znaczników, do których norma nic nie precyzuje.

Dodatkowo załączniki normy w charakterze informacyjnym poruszają tematykę:

1. potrzeb określania poziomów kompatybilności elektromagnetycznej;
2. zależności pomiędzy poziomami zgodności i poziomami odporności na zakłócenia;
3. zależności pomiędzy poziomami zgodności i poziomami emisji zakłóceń;
4. uwzględniania w optymalizacji i planowaniu sieci zjawisk propagacji zakłóceń między sieciami niskiego napięcia i wyższych napięć;
5. prezentowania zagadnień zakłóceń dla niesinusoidalnych napięć i prądów.

PN-EN 61000-2-4 (10)

Tytuł: „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 2-4: Środowisko – Poziomy kompatybilności dotyczące zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości w sieciach zakładów przemysłowych”

Norma dotyczy zaburzeń przewodzonych w paśmie od 0 kHz do 9 kHz dla sieci energetycznych niepublicznych o napięciu nominalnym do 35 kV i nominalnej częstotliwości od 50 Hz do 60 Hz.

Najważniejsze zjawiska zakłócające to:

1. Wahania napięcia.
2. Spadki napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu.
3. Asymetria napięcia.
4. Zmiany częstotliwości zasilania.

5. Harmoniczne do 50-tej,
6. Interharmoniczne do 50-tej,
7. Zniekształcenia napięcia przy wyższych częstotliwościach (powyżej 50. harmonicznej).
8. Składniki stałoprądowe.
9. Krótkotrwałe wzrosty napięcia.

W zakresie poziomów kompatybilności w punktach podłączenia do sieci publicznych przywoływane są normy IEC 60000-2-2 dla sieci nn, IEC 60000-2-12 dla sieci SN oraz IEC 60000-3-6 i IEC 60000-3-7 określające poziomy powodowane emisją z przemysłowych instalacji dużych mocy.

Norma wprowadza pojęcia podstawowe:

1. Kompatybilność elektromagnetyczną, poziom kompatybilności, poziom planowania kompatybilności, punkt wspólny podłączenia (PCC), wewnętrzny punkt przyłączeniowy (IPC).
2. Zakłócenie (zaburzenie elektromagnetyczne), poziom zakłócenia.
3. Fizyczne parametry napięć i prądów:
 - a) częstotliwość sieci (składowa podstawowa – fundamentalna) i parametry dla składowej podstawowej;
 - b) częstotliwości harmoniczne i parametry dla harmonicznych,
 - c) częstotliwości interharmoniczne i parametry dla interharmonicznych,
 - d) poziom zniekształceń harmonicznych THD,
 - e) asymetria napięcia, składowa zgodna, przeciwna i zerowa,
 - f) wahania napięcia, zapady i zaniki napięcia,
4. Wprowadzona jest elektromagnetyczna klasyfikacja środowiska:
 - klasa 1 zasilanie urządzeń o podwyższonej wrażliwości na zakłócenia w sieci elektrycznej np. aparatury elektrycznej, laboratoryjnej, niektórych urządzeń automatyki i ochrony, niektórych komputerów itp.;
 - klasa 2 typowe sieci przemysłowe i inne niepubliczne; poziomy zgodności z tej klasy są zasadniczo identyczne jak w sieciach publicznych, dlatego też elementy przeznaczone do zasilania z sieci publicznej mogą być stosowane w środowisku przemysłowym w tej klasy sieciach;
 - klasa 3 ma zastosowanie tylko w sieciach wewnętrznych, w większości zgodna z klasą 2 dla niektórych zjawisk zakłócających – szczególnie w przypadku, gdy spełnione są:
 - większa część obciążenia jest podawana przez konwertery przetwarzające,
 - zasilane są spawarki,
 - duże silniki,
 - występują obciążenia szybko-zmienne.
5. Określone są poziomy kompatybilności (szczegóły w załączniku nr 3) w zakresie:

- a) wahań napięcia i efektu „Flikera” – wartościami z normy PN-EN 61000-3-3 dla niskiego napięcia oraz metodami pomiarowymi z normy PN-EN 61000-4-15;
- b) poziomów THD i zawartości harmonicznych do 50-tej;
- c) w zakresie poziomów interharmonicznych kryteria są jeszcze nieustalone, a jedyne ustalenia dotyczą pasma od 0,1 Hz do 100 Hz, przywołując krzywe dla lamp 230 V i 120 V przywoływane w parametrach „Flicker”;
- d) zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu są przywołane według normy IEC 61000-2-8, która nie jest publikowana przez Polski Komitet Normalizacji;
- e) poziomów asymetrii;
- f) tymczasowych granicznych odchyień częstotliwości rozległych systemów pracujących synchronicznie.

PN-EN 61000-2-12 (11)

Tytuł: „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 2-12: Środowisko – Poziomy kompatybilności dla zaburzeń przewodzonych niskiej częstotliwości i sygnałów sygnalizacji w publicznych sieciach zasilających średniego napięcia”

Norma dotyczy zaburzeń przewodzonych w paśmie od 0 kHz do 9 kHz z rozszerzeniem do 148,5 kHz w zakresie systemów sygnalizacji przez zasilanie. Dotyczy poziomów kompatybilności dla sieci dystrybucyjnych o napięciu nominalnym pomiędzy 1 kV i 35 kV przy nominalnych częstotliwościach 50 Hz do 60 Hz (odniesienie do IEC 60038).

Najważniejsze zjawiska zakłócające to:

1. Wahania napięcia i migotanie.
2. Harmoniczne do 50-tej.
3. Interharmoniczne do 50-tej.
4. Zniekształcenia napięcia przy wyższych częstotliwościach (powyżej 50-tej harmonicznej).
5. Spadki napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu.
6. Asymetria napięcia.
7. Krótkotrwałe wzrosty napięcia.
8. Zmiany częstotliwości zasilania.
9. Składniki stałoprądowe.
10. Sygnalizacja zasilaniem.

W zakresie definicji pojęć przywoływana jest norma IEC 60000-2-1.

3.2.3. Rodzina norm eksploatacyjnych prądowych

Przywołane poniżej normy dotyczą medium przenoszącego energię z zakresie przepływu i efektów tego przepływu, czyli skutków w napięciu wywołanymi przepływem energii ze wszystkimi konsekwencjami przez odbiorniki zależnie od poziomów prądów pobieranych.

PN-EN 61000-3-2 (12)

Tytuł: „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 3-2: Poziomy dopuszczalne – Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznego prądu (fazowy prąd zasilaający odbiornika ≤ 16 A)”

Norma określa poziomy harmonicznego prądów pobieranych z publicznej sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia przez urządzenia, których prądy fazowe nie przekraczają 16 A, włączając spawarki powszechnego użytku. Spawarki profesjonalne specyfikowane w normie IEC 60974-1 są uwzględnione w normie PN-EN 61000-3-4 oraz PN-EN 61000-3-12. Dla nominalnych wartości napięć poniżej 220 V limity standaryzujące są w opracowaniu.

Podstawą standaryzacji są:

1. Szczegółowe określenia i definicje urządzeń oraz pojęcia istotne dla jakości zasilania:
 - a) prąd wejściowy,
 - b) współczynnik mocy obwodu,
 - c) moc czynna z odniesieniem do źródła IEC 60050-131:2013,
 - d) symetryczne obciążenie trójfazowe,
 - e) prąd harmonicznego, prąd wyższych harmonicznego nieparzystych, współczynnik zniekształceń harmonicznego prądu.
2. Wprowadzenie klasyfikacji urządzeń ze względu na poziomy harmonicznego prądu:
 - a) klasa A:
 - i. sprzęt o obciążeniu symetrycznym trójfazowym,
 - ii. urządzenia gospodarstwa domowego – z wykluczeniem zaliczonych do klasy D,
 - iii. narzędzia – z wykluczeniem narzędzi przenośnych,
 - iv. ściemniacze oświetlenia,
 - v. sprzęt audio,
 - b) klasa B:
 - i. sprzęt przenośny,
 - ii. spawarki do zastosowań nieprofesjonalnych,
 - c) klasa C:

- i. sprzęt oświetleniowy,
 - d) klasa D:
 - i. sprzęt o mocy nie większej od 600 W,
 - ii. komputery i monitory osobiste,
 - iii. odbiorniki telewizyjne,
 - iv. lodówki i zamrażarki mające co najmniej jedną prędkość pracy.
3. Wprowadza wymagania dotyczące:
 - a) metod pomiaru,
 - b) pomiaru harmonicznych prądu.
4. Główny element normy to szczegółowe określenia poziomów harmonicznych prądu podczas zasilania z sieci publicznej dla poszczególnych klas urządzeń.
5. Załączniki do normy zawierają szczegółowe specyfikacje układów pomiarowych i parametry źródeł zasilania oraz warunki badania typu.

PN-EN 61000-3-3 (13)

Tytuł: „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 3-3: Poziomy dopuszczalne – Ograniczanie zmian napięcia, wahań napięcia i migotania światła w publicznych sieciach zasilających niskiego napięcia powodowanych przez odbiorniki o fazowym prądzie znamionowym ≤ 16 A przyłączone bezwarunkowo”

Norma określa poziomy wahań napięcia i wywoływania efektów „Flickera” przez urządzenia zasilane z publicznej sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia, których prądy fazowe nie przekraczają 16A.

Podstawą niniejszej standaryzacji są:

1. Szczegółowe określenia i definicje, a wśród nich są pojęcia istotne dla jakości zasilania:
 - a) pojęcie „Flickera” i parametry estymujące wrażliwość na podstawie zmian napięcia (Pst, Plt) oraz okres obserwacji oddziaływania migotania, współczynnik kształtu zmian napięcia;
 - b) zmiana bieżąca napięcia, graniczna zmiana napięcia, maksymalna zmiana napięcia i czas trwania w odniesieniu do stanu równowagi dotyczą zmian wartości skutecznej półokresowej, nawiązanie do normy PN-EN 61000-4-15;
 - c) podłączenie warunkowe.
2. Przytoczone równie szczegółowe określenia dotyczące poszczególnych parametrów i metod. Norma wprowadza warunki, dla których podłączenie specyfikowanych urządzeń powinno spełniać utrzymanie odpowiednich poziomów parametrów dla sieci wzorcowej o wyspecyfikowanych parametrach impedancji odniesienia, zgodnie z normą IEC/TR 60725, przy zadanych czasach obserwacji.

3. Załączniki zawierają szczegółowe wytyczne dotyczące:
 - a) badania typu,
 - b) warunków i procedur pomiaru zmiany napięcia spowodowanych ręcznym przełączaniem,
 - c) ustalania napięcia i zmian napięcia stanu równowagi w nawiązaniu PN-EN 61000-4-15,
 - d) tabeli zawierającej przykładowe poziomy wahań napięcia przy zadanej częstotliwości zmian na minutę dla lamp 120 V/60 Hz i 230 V/50 Hz, dla których współczynnik $P_{st} = 1$.

PN-EN 61000-3-11 (14)

Tytuł: „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 3-11: Dopuszczalne poziomy – Ograniczanie zmian napięcia, wahań napięcia i migotania światła w publicznych sieciach niskiego napięcia. Urządzenia o prądzie znamionowym ≤ 75 A podlegające przyłączeniu warunkowemu”

Niniejsza norma odnosi się do urządzeń jak w tytule oraz urządzeń, które nie spełniają wymagań normy PN-EN 61000-3-3 dla impedancji odniesienia i z tego powodu podlegają przyłączeniu warunkowemu.

Norma w swej treści:

1. Wprowadza definicje, wśród których ze względu na jakość zasilania istotne są:
 - a) impedancja odniesienia,
 - b) eksploatacyjne obciążenie prądowe,
 - c) punkt przyłączenia, przyłączenie warunkowe.
2. Wprowadzone są specjalne wymagania.
3. Główny element normy to dopuszczalne poziomy.
4. Procedury badań, pomiarów i oceny w tym:
 - a) impedancja probiercza i badania przy impedancji probierczej,
 - b) impedancja odniesienia i ocena przy impedancji odniesienia,
 - c) wyznaczanie maksymalnej dopuszczalnej impedancji układu zasilającego,
 - d) deklaracje producentów sprzętu.
5. Załączniki uzupełniają:
 - a) szczegóły normy,
 - b) przytaczają algorytm oceny oraz badań poprzedzających przyłączenie urządzeń do sieci zasilającej.

PN-EN 61000-3-12 (15)

Tytuł: „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 3-12: Poziomy dopuszczalne – Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznego prądu dla odbiorników o znamionowym prądzie fazowym $> 16\text{ A}$ i $<$ lub $= 75\text{ A}$ przyłączonych do publicznej sieci zasilającej niskiego napięcia”

Norma określa poziomy harmonicznego prądów przez urządzenia, których prądy fazowe przekraczają 16A, lecz nie większe niż 75 A, przeznaczone do podłączenia do publicznych sieci rozdzielczych niskiego napięcia.

Dla sprzętu o większych prądach fazowych informacji należy szukać w normach IEC/TR 61000-3-6 oraz IEC/TR 61000-3-14.

1. Typy sieci objęte normą zależnie od napięcia nominalnego:
 - a) do 240 V jedno-, dwu- lub trójfazowe;
 - b) do 690 V trójfazowe, trój- lub czteroprzewodowe;
 - c) o częstotliwości nominalnej 50 Hz lub 60 Hz;
 - d) inne rodzaje sieci nie są objęte normą (są w opracowaniu).
2. Szczegółowe określenia i definicje w oparciu o normę IEC 60050-161 – wśród definicji są pojęcia istotne dla jakości zasilania:
 - a) współczynnik zniekształceń harmonicznego, ważony współczynnik zawartości wyższych harmonicznego;
 - b) prąd odniesienia, prąd deklarowany producenta, kąt fazowy 5-tej harmonicznego prądu względem podstawowej w napięciu;
 - c) moc zwarciowa, współczynnik zwarciowej sieci;
 - d) sprzęt zasilany:
 - i. jednofazowo,
 - ii. międzyfazowo,
 - iii. trójfazowo,
 - iv. trójfazowo o symetrycznych właściwościach,
 - v. trójfazowo o niesymetrycznych właściwościach,
 - vi. hybrydowy o mieszanym podłączeniu,
 - e) moc czynna z odniesieniem do źródła IEC 60050-131:2013.
3. Warunki pomiarowe w zakresie prądu odniesienia i pomiaru harmonicznego prądu.
4. Wymagania i ograniczenia dla sprzętu objętego niniejszą standaryzacją w załączniku.
5. Wymagania dokumentowania informacji o emisji harmonicznego prądu w instrukcjach obsługi produktów.
6. Możliwość dwójakiego określania poziomów emisji:
 - a) przez bezpośrednie pomiary urządzeń prowadzone w wyspecyfikowany sposób.

- b) osiągnięte na drodze symulacji wyspecyfikowanymi metodami.

3.3. IEEE Standards

IEEE 1459

Tytuł: „*Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Non sinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions*” (czyli: Definicje dla pomiarów parametrów mocy w warunkach sinusoidalnych, niesinusoidalnych, symetrycznych i asymetrycznych) – aktualizacja 2010

W zakresie merytorycznym normy najistotniejsze z punktu widzenia jakości zasilania są:

1. Precyzyjne definicje parametrów dla poszczególnych rodzajów sieci i typów zasilania:
 - a) zasilanie jednofazowe sinusoidalne (gdy występuje tylko składowa podstawowa):
 - i. moc: chwilowa, czynna, bierna, pozorna, zespolona, współczynnik mocy;
 - ii. czterokwadrantowy przepływ mocy;
 - b) zasilanie jednofazowe niesinusoidalne:
 - i. THD;
 - ii. uwzględniana jest składowa stała napięć i prądów;
 - iii. moc: chwilowa, moce składowej podstawowej (czynna bierna pozorna), moc czynna wyższych harmonicznych i składowej stałej, moc bierna Budeanu, moc pozorna;
 - iv. moc powiązana z: prądem odkształconym, napięciem odkształconym;
 - v. moc odkształcenia, moc nieaktywna, moc odkształceń Budeanu;
 - vi. współczynnik mocy dla małych i dużych zniekształceń;
 - c) zasilanie trójfazowe sinusoidalne zrównoważone i niezrównoważone, dodatkowo:
 - i. moce czynne i bierne składowych symetrycznych;
 - ii. parametry arytmetyczne, wektorowe i efektywne:
 - moce pozorne,
 - współczynniki mocy.
2. Załączniki podają:
 - a) przykłady teoretyczne z konkretnymi wartościami oraz wyniki obliczeń dla przypadków niesinusoidalnych;
 - b) przykłady badań i pomiarów praktycznych.

4. Praktyczne cechy jakości zasilania

4.1. Cechy napięć i prądów

4.1.1. Chwilowe, skuteczne, zespolone

U_U – napięcie niezrównoważenia sieci trójfazowej

$$U = \sqrt{\frac{6 \cdot (U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)}{(U_{12} + U_{23} + U_{31})^2} - 2}$$

Gdzie:

U_{12} – wartość napięcia międzyfazowego U L1-L2

U_{23} – wartość napięcia międzyfazowego U L2-L3

U_{31} – wartość napięcia międzyfazowego U L3-L1

Przywołania: PN-EN 61000-2-2

U_{hp} – wartość skuteczna półokresowa

$U_{hp}(t)$ – różnica wartości przesuniętych półokresowych

$d_{hp}(t)$ – względna wartość różnic półokresowych

4.1.2. Parametry zmienności sygnałów napięciowych

Zmienność sygnałów przyjmuje się określać w tak zwanych normalnych warunkach ciągłości zasilania. Można wyróżnić dwie grupy parametrów:

1. Selektywne (specjalne) – wyznaczane z zachowaniem szczególnych reguł, np. P_{lt} i P_{st} – współczynniki uciążliwości migotania światła wyznaczane na podstawie wahań napięcia i wrażliwości psychofizycznych człowieka.
2. Uogólnione – do oceny niespokojności i zmienności napięcia:

P_{st} – krótkookresowy współczynnik migotania światła

$$P_{st} = \sqrt{0,0314 \cdot P_{0,1} + 0,052 \cdot P_{1s} + 0,065 \cdot P_{3s} + 0,28 \cdot P_{10s} + 0,08 \cdot P_{50s}}$$

Gdzie:

s – oznacza wygładzanie według wzorów:

$$P_{50s} = \frac{(P_{30} + P_{50} + P_{80})}{3}$$

$$P_{10s} = \frac{(P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17})}{5}$$

$$P_{3s} = \frac{(P_{2,2} + P_3 + P_4)}{3}$$

$$P_{1s} = \frac{(P_{0,7} + P_1 + P_{1,5})}{3}$$

P_{xx} – składowe podanych przedziałów czasu.

Przywołania: PN-EN 61000-4-15, PN-EN 61000-2-2.

P_{lt} – długookresowy współczynnik migotania światła

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \cdot \sum_{i=1}^{12} P_{sti}^3}$$

Gdzie:

P_{sti} – i-ty 10 minutowy przedział uśredniania w ostatnich dwóch godzinach.

Oba współczynniki cechuje selektywna wrażliwość na ogólne wahania napięcia z ograniczeniem pasma oraz uwypukleniem częstotliwości 8,8 Hz jako szczególnej ze względu na specyfikę pracy mózgu. Dlatego parametry te nie nadają się do ogólnej oceny zmienności napięć zasilania.

Przywołania: PN-EN 61000-4-15, PN-EN 61000-2-2.

Szczegółowa prezentacja analizy właściwości i przydatności uogólnionych współczynników wahań napięcia znajduje się w rozprawie doktorskiej (16) oraz przywołanych w niej źródłach. Należy tu wspomnieć o parametrach, takich jak:

1. amplituda wahań δV ,
2. częstość wahań f ,
3. energetyczna dawka wahań D_v ,
4. energia E_{Tw} i moc P_{Tw} wahań napięcia,
5. wskaźnik ΔV_{10} ,
6. wartości MIN i MAX.

W oparciu o indywidualne wskaźniki wyznacza się wykresy amplitudowo-częstotliwościowe i histogramy, które w połączeniu z rozkładem topologicznym sieci ułatwiają analizę propagacji wahań napięcia i identyfikację niespokojnych odbiorów energii. Ze względu na fakt, że te przywołane metody nie mają swojego ugruntowania w dedykowanych normach, nie są jeszcze powszechnie stosowane w diagnostyce jakości zasilania.

4.1.3. Parametry przebiegów odkształconych

Zarówno normy dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej, standardy zasilania w sieciach publicznych, jak i prawo energetyczne korzystają z ogólnej metody rozkładu DFT przebiegów na składowe harmoniczne z ograniczeniem pasma. W efekcie otrzymujemy zbiór odzwierciedlający średnią zawartość poszczególnych składowych harmonicznych (moduły i fazy).

THC – całkowity prąd harmonicznych

$$\text{THC} = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} I_{\text{hn}}^2}$$

Gdzie:

I_{hn} – prąd n-tej harmonicznej.

Przywołania: PN-EN 61000-3-2, PN-EN 61000-3-12, PN-EN 61000-4-7.

PWHC – częściowy ważony prąd wyższych harmonicznych

$$\text{PWHC} = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \cdot I_{\text{hn}}^2}$$

Gdzie:

I_{hn} – prąd n-tej harmonicznej.

Przywołania: PN-EN 61000-3-12, PN-EN 61000-4-7.

POHC – częściowy prąd wyższych harmonicznych nieparzystych

$$\text{POHC} = \sqrt{\sum_{n=21,23,\dots}^{39} I_{\text{hn}}^2}$$

Gdzie:

I_{hn} – prąd n-tej harmonicznej.

Przywołania: PN-EN 61000-3-2, PN-EN 61000-4-7.

I_1 – obliczony prąd odniesienia (składowej podstawowej)

$$I_1 = \frac{I_{equ}}{\sqrt{1 + THD I^2}}$$

Gdzie:

I_{equ} – wartość skuteczna prądu w mierzonym paśmie,

THD I – współczynnik zniekształceń harmoniczych.

Przywołania: PN-EN 61000-3-12.

THD U – współczynnik zawartości harmoniczych napięcia.

$$THD U = \sqrt{\sum_{n=2}^N \left(\frac{U_{hn}}{U_{h1}} \right)^2}$$

Gdzie:

N – rozpatrywana ilość harmoniczych,

U_{h1} – napięcie składowej podstawowej 50 Hz,

U_{hn} – napięcie n-tej harmonicznej.

Przywołania: IEC 60050-161, PN-EN 61000-2-2.

THD I – współczynnik zawartości harmoniczych prądu.

$$THD I = \sqrt{\sum_{n=2}^N \left(\frac{I_{hn}}{I_{h1}} \right)^2}$$

Gdzie:

N – (N = 40 dla PN-EN 61000-3-2, PN-EN 61000-3-12)

I_{h1} – prąd składowej podstawowej 50Hz.

I_{hn} – prąd n-tej harmonicznej.

Przywołania: IEC 60050-161, PN-EN 61000-3-2, PN-EN 61000-3-12 (dla I, N = 40)

PWHD – częściowo ważony współczynnik odkształceń harmonicznych

$$\text{PWHD I} = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} \left(\frac{I_{hn}}{I_{h1}} \right)^2}$$

Gdzie:

I_{h1} – prąd składowej podstawowej 50 Hz,

I_{hn} – prąd n-tej harmonicznej.

Przywołania: PN-EN 61000-3-12.

Znaczenie: Sprawdza wpływ prądów harmonicznych wyższych rzędów na wyniki, czy został wystarczająco ograniczony i ich indywidualne poziomy dopuszczalne nie muszą być określane.

Okres podstawowy obliczania DFT

Ilość składowych harmonicznych

Częstotliwość podstawowa

Rozdzielczość częstotliwości analizy harmonicznych

DFT – składowe harmoniczne i interharmoniczne

1. Poziomy wartości fizycznych:
 - a) poszczególnych składowych,
 - b) wartości zbiorcze równomiernie kalkulowane,
 - c) wartości zbiorcze z kalkulacją wagową:
 - i. THDC.
2. Statystyka względnych poziomów odniesionych do:
 - a) wartości składowej podstawowej:
 - i. THD U, THD I,
 - ii. TID U, TID I,
 - iii. K_f dla prądów fazowych.
 - b) wartości skutecznej RMS:
 - i. TDD U,
 - ii. TDD I.

Przebieg podstawowy składa się tylko z jednej harmonicznej o częstotliwości podstawowej.

K_r – współczynnik K poziomu wzrostu strat od prądów wirowych

$$K = \frac{\sum_{n=1}^{34} (I_{hn} \cdot n)^2}{\sum_{n=1}^{34} (I_{hn})^2}$$

Gdzie:

n – numer harmonicznej,

I_{hn} – wartość prądu n -tej harmonicznej.

Przywołania: IEEE 1100-1992.

Znaczenie: Wagowy współczynnik przybliżający wzrost wydzielania się ciepła w rdzeniu transformatora wywołany prądami wirowymi wyższych harmonicznych prądu odkształconego (gdym jest sinusoidalną składową podstawową). Ma wpływ na czas życia transformatora.

Faktor K – europejski współczynnik przewymiarowania transformatora

$$K = \left[1 + \frac{e}{1+e} * \left(\frac{I_1}{I} \right)^2 * \sum_{h=2}^{h_{\max}} \left(h^q * \left(\frac{I_{hn}}{I_1} \right)^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Gdzie:

e – jest stosunkiem strat wiroprądowych przy częstotliwości podstawowej do strat czynnych, w tej samej temperaturze odniesienia, typowo 0,05-0,1;

h – rząd harmonicznej;

I – wartość skuteczna prądu z uwzględnieniem wszystkich harmonicznych;

I_h – wartość skuteczna prądu n -tej harmonicznej;

I_1 – wartość skuteczna prądu składowej podstawowej;

q – wykładnik zależny od rodzaju uzwojenia i od częstotliwości pracy.

Typowe wartości wynoszą dla uzwojeń w transformatorach:

– 1,7 oba uzwojenia przewodem okrągłym lub prostokątnym,

– 1,5 uzwojenie niskiego napięcia nawinięte przewodem foliowym.

Parametry e i q będą definiowane przez użytkownika zależnie od realiów.

Znaczenie: Współczynnik określający poziom przewymiarowania mocy pozornej transformatora obciążonego prądem odkształconym w odniesieniu do transformatora obciążonego prądem 50 Hz. Ma bezpośredni wpływ na czas życia transformatora.

4.2. Cechy zakłóceń ciągłości zasilania

Klasyfikacja obejmuje zjawiska związane z przerwaniem dostarczania energii elektrycznej – zależnie od sposobu wprowadzenia dzielą się na:

1. **nieplanowane**,
2. **planowane** – wynikające ze świadomej eksploatacji elementów systemu zasilania z zachowaniem reguł powiadamiania i harmonogramów.

Najistotniejszą cechą przebiegu przerwy jest czas trwania, według którego mogą wystąpić:

1. **przemijające** – (mikroprzerwy) trwające krócej niż 1 sekundę,
2. **krótkie** – trwające nie krócej niż 1 sekunda i nie dłużej niż 3 minuty,
3. **długie** – trwające nie krócej niż 3 minuty i nie dłużej niż 12 godzin,
4. **bardzo długie** – trwające nie krócej niż 12 godzin i nie dłużej niż 24 godziny,
5. **katastrofalne** – trwające dłużej niż 24 godziny.

Ze względu na losową powtarzalność zjawisk wprowadza się dodatkowe pojęcia statystyczne ze względu na czas trwania:

1. przerwa jednorazowa,
2. łączny sumaryczny czas niedostarczania energii w okresie roku,

oraz wskaźniki:

1. ENS wskaźnik energii elektrycznej niedostarczonej do systemu przesyłowego elektroenergetycznego,
2. AIT wskaźnik średniego czasu przerwy w systemie przesyłowym elektroenergetycznym,
3. SAIDI wskaźnik przeciętnego systemowego czasu trwania przerwy długiej,
4. SAIFI wskaźnik przeciętnej systemowej częstości przerw długich,
5. MAIFI wskaźnik przeciętnej częstości przerw krótkich.

Przywołania: **Dz.U. z 2007 r. Nr 93, poz. 623**

4.3. Cechy powiązania napięć i prądów

4.3.1. Moce

S_{sc} – moc zwarciowa

$$S_{sc} = \frac{U_n^2}{Z}$$

Gdzie:

U_n^2 – napięcie nominalne sieci

Z – impedancja sieci dla częstotliwości podstawowej

Przywołania: PN-EN 61000-3-12.

S_{EQU} – znamionowa moc pozorna odbiorników

1. Odbiorniki jednofazowe i jednofazowe części odbiorników hybrydowych:

$$S_{\text{equ}} = U_p \cdot I_{\text{equ}}$$

2. Odbiorniki przyłączone pomiędzy fazy:

$$S_{\text{equ}} = U_i \cdot I_{\text{equ}}$$

3. Symetryczne odbiorniki trójfazowe i trójfazowe części odbiorników hybrydowych:

$$S_{\text{equ}} = \sqrt{3} \cdot U_i \cdot I_{\text{equ}}$$

4. Niesymetryczne odbiorniki trójfazowe

$$S_{\text{equ}} = 3 \cdot U_p \cdot I_{\text{equ max}}$$

Przywołania: PN-EN 61000-3-12,

R_{sce} – współczynnik zwarcia

1. Odbiorniki jednofazowe i jednofazowe części odbiorników hybrydowych:

$$R_{\text{sce}} = \frac{S_{\text{ce}}}{3 \cdot S_{\text{equ}}} \quad \text{lub} \quad R_{\text{sce}} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z \cdot I_{\text{equ}}}$$

2. Odbiorniki przyłączone pomiędzy fazy:

$$R_{\text{sce}} = \frac{S_{\text{ce}}}{2 \cdot S_{\text{equ}}} \quad \text{lub} \quad R_{\text{sce}} = \frac{U}{2 \cdot Z \cdot I_{\text{equ}}}$$

3. Symetryczne odbiorniki trójfazowe i trójfazowe części odbiorników hybrydowych:

$$R_{scc} = \frac{S_{cc}}{S_{equ}} \quad \text{lub} \quad R_{scc} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z \cdot I_{equ}}$$

4. Niesymetryczne odbiorniki trójfazowe:

$$R_{scc} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z \cdot I_{equ \max}}$$

Przywołania: PN-EN 61000-3-12.

Moce składowych symetrycznych

1. Moce czynne składowych symetrycznych:

- a) moc czynna składowych zgodnych:

$$P^+ = 3 \cdot U_{tn}^+ \cdot I^+ \cdot \cos\Theta^+$$

- b) moc czynna składowych przeciwnych:

$$P^- = 3 \cdot U_{tn}^- \cdot I^- \cdot \cos\Theta^-$$

- c) moc czynna składowych zerowych:

$$P^0 = 3 \cdot U_{tn}^0 \cdot I^0 \cdot \cos\Theta^0$$

- d) moc czynna całkowita:

$$P = P^+ + P^- + P^0$$

2. Moce bierne składowych symetrycznych:

- a) moc bierna składowych zgodnych:

$$Q^+ = 3 \cdot U_{tn}^+ \cdot I^+ \cdot \sin\Theta^+$$

- b) moc bierna składowych przeciwnych:

$$Q^- = 3 \cdot U_{tn}^- \cdot I^- \cdot \sin\Theta^-$$

c) moc bierna składowych zerowych:

$$Q^0 = 3 \cdot U_{\text{tn}}^0 \cdot I^0 \cdot \sin \Theta^0$$

d) moc bierna całkowita:

$$Q = Q^+ + Q^- + Q^0$$

Gdzie odpowiednio:

U_{tn}^+ , U_{tn}^- , U_{tn}^0 – składowe symetryczne napięcie fazowych,

I^+ , I^- , I^0 – składowe symetryczne prądów fazowych,

Θ^+ , Θ^- , Θ^0 – kąty pomiędzy napięciami i prądami składowych symetrycznych.

Przywołania: IEEE 1459-2010.

4.3.2. Impedancje, rezystancje, reaktancje

Reguły prawa Ohma wiążące napięcie z prądem w postaci zespolonej dla przebiegów okresowych o częstotliwości podstawowej w analizie jakości zasilania nie są one jednak dostępne w typowych analizatorach w tym również klasy A. Parametry te mają pomocnicze znaczenie diagnostyczne, ponieważ przybliżają fizyczne parametry elementów systemu zasilania. Szczegółowe metody obliczeń i praktycznego wykorzystania są bardzo dokładnie omówione w literaturze specjalistycznej podanej w przywołaniach.

Przywołania:

(16) *Podstawy elektrotechniki*, Prof. Roman Kurdziel, WNT Warszawa 1972.

(17) *Jakość energii elektrycznej*, Zbigniew Kowalski, Wydawnictwo PWE 2007.

4.3.3. Przepływy energii

Kontrola przepływu energii polega na całkowaniu mocy chwilowych w rozbięciu na składniki elementarne stosowane głównie do celów rozliczeniowych oraz bilansowania energii.

Układ czterokwadrantowy

1. Moc czynna jest wyznacznikiem kierunku przepływu energii:

a) $P > 0$ – jest stanem poboru (dostarczania) energii (ćwiartki I i IV),

b) $P < 0$ – jest stanem oddawania (generacji, otrzymania) energii (ćwiartki II, I i III).

2. Moc bierna zależnie od kierunku przepływu może być:
 - a) dla $P > 0$:
 - i. $Q > 0$ (ćwiartka I),
 - ii. $Q < 0$ (ćwiartka IV),
 - b) dla $P < 0$:
 - i. $Q > 0$ (ćwiartka II),
 - ii. $Q < 0$ (ćwiartka III).
3. Liczydła energii zliczają indywidualnie, w każdym cyklu uśredniania tworząc 6 niezależnych parametrów przepływu energii:
 - a) dla poboru 3 liczydła:
 $E+$, $EQ-$, $EQ+$,
 - b) dla oddawania 3 liczydła:
 $E-$, $EQ-$, $EQ+$.

W elektronicznych licznikach rozliczeniowych przyjmuje się najczęściej 200 ms jako długość podstawowego cyklu uśredniania i rozdziału kontroli przepływu.

Przywołania: IEEE 1459-2010.

Układy dwukwadrantowe

Stanowią uproszczoną wersję analizy przepływu energii dla przypadków, gdy występuje tylko jeden kierunek przepływu energii czynnej.

5. Zjawiska związane z jakością zasilania

Wszystkie zjawiska zachodzące w sieciach zasilających – ich przyczyny, przebieg i skutki – mają swój sens fizyczny oparty o podstawy elektrotechniki. Szczegółowy opis matematyczny znaleźć można w jednym z podstawowych opracowań Prof. Romana Kurdziela, pt. „Podstawy Elektrotechniki”, WNT Warszawa 1972 (17). Matematyczny opis sygnałów i obiektów fizycznych oraz ich wzajemne powiązania, pozwalają uzasadnić bądź przewidzieć przebieg zjawisk związanych z przepływem energii elektrycznej i jej eksploatacją. Bardzo istotne jest bezpośrednio przełożenie zawilej matematyki na fizyczną postać obserwowanych przez nas zjawisk. Do interesujących opracowań związanych z praktyczną identyfikacją zjawisk fizycznych należy rozprawa doktorska Grzegorza Wiczyńskiego, pt. „Badanie miar wahań napięcia w sieciach elektrycznych”, WPP Poznań 2010 (16). Zawarto w niej, między innymi, przykłady praktycznego wykorzystania różnorodnych parametrów opisujących wahania napięcia do identyfikacji zjawisk i lokalizacji źródeł zakłóceń spowodowanych zmiennością napięcia. Bardzo obszerną wiedzę w takim ujęciu można znaleźć w opracowaniu Zbigniewa Kowalskiego, pt. „Jakość Energii Elektrycznej”, MPŁ Łódź 2007 (18). Można tam znaleźć również uzasadnione technicznie sposoby poprawy parametrów jakości zasilania bądź eliminacji zakłóceń. We wskazanych opracowaniach jako najistotniejsze – z punktu widzenia jakości zasilania – można wskazać następujące zagadnienia:

- Odchylenie napięcia.
- Zapady napięcia.
- Wzrosty (podskoki) napięcia.
- Impulsy napięcia.
- Sygnały napięciowe.

5.1. Odchylenia i wahania częstotliwości napięcia

Częstotliwość napięcia w sieci odpowiada prędkości obrotowej generatorów i turbin wytwarzających energię. Procesy wytwarzania są regulowane lokalnie, podobnie jak inne procesy przemysłowe, i są zarządzane centralnie dla całego systemu energetycznego.

5.1.1. Przyczyny odchyleń i wahań częstotliwości (18)

1. Zmiany obciążenia czynnego,
2. Zmiany obciążenia biernego,

3. Mechaniczna nierównomierność pracy generatorów wytwarzających energię,
4. Szybkozmiennne obciążenia o dużej mocy (kolej, hutnictwo),
5. Efekty opóźnień w procesach regulacyjnych.

5.1.2. Skutki obniżenia częstotliwości (18)

1. Wzrost obciążenia generatorów mogący doprowadzić do wyłączeń.
2. Wzrost ryzyka załamania bilansu energetycznego.
3. Wyłączenia i przerwy w dostawie energii.
4. Obniżenie prędkości obrotowej maszyn pracujących synchronicznie z siecią.
5. Dodatkowy wpływ na obniżenie napięcia w wyniku przetwarzania (transformacji).
6. Przekroczenie parametrów eksploatacyjnych związanych z częstotliwością.

5.1.3. Skutki wahań częstotliwości (18)

1. Dodatkowe zmiany wartości spadków napięcia na elementach systemów przesyłu energii.
2. Zmiany mocy biernej elementów LC sieci i odbiorników.
3. Nierównomierna praca – kołysania silników elektrycznych.

5.2. Odchylenia i wahania napięcia

Napięcie jest jednym z najważniejszych parametrów opisujących zdolność do dostarczania energii oraz obrazujących proces przesyłu energii.

5.2.1. Przyczyny odchyłeń i wahań napięcia (18)

1. Wpływ topologicznego rozłożenia elementów RLC we wszystkich gałęziach sieci.
2. Efekt występowania stratności i rozproszenia elementów linii.
3. Wpływ procesów regulacyjnych w systemie generacji, przesyłu i dystrybucji energii.
4. Wpływ zmian ilości i poziomów zużycia energii czynnej.
5. Wpływ dużych wartości składowych biernych obciążeń.
6. Wpływ skokowych zmian wartości i charakteru mocy biernej obciążeń niespokojnych.
7. Wpływ działań łączeniowych w systemie dystrybucji energii.
8. Wpływ przeciążeń sieci energetycznych.

9. Efekty zakłóceń w pracy sieci w tym:
 - a) zwarcia doziemne w linii nn,
 - b) zwarcia międzyfazowe linii SN,
 - c) zwarcia dalekie i działania SPZ.

5.2.2. Skutki odhyleń napięcia (18)

1. Zmiana efektywności przetwarzania energii elektrycznej na wielkości fizyczne oraz zużycia energii w przetwornikach samoregulujących się, np. żarówki, świetlówki, oświetlenie przemysłowe.
2. Zmiana momentów napędowych, rozruchowych oraz poślizgu silników indukcyjnych.
3. Zmiana parametrów rzeczywistych pracy silników.
4. Zmiana mocy strat cieplnych, prądów magnesujących i zmniejszenie sprawności silników.
5. Zmiana mocy biernej silników synchronicznych, dławików, kondensatorów, transformatorów.

5.2.3. Skutki wahań napięcia (18)

1. Uciążliwość i dodatkowe zmęczenie oraz możliwość wystąpienia zwiększonej nerwowości człowieka wywołane efektem migotania światła.
2. Zagrożenie wywołania reakcji neurologicznych, z zagrożeniem życia włącznie, u osób o podwyższonej wrażliwości oraz osób chorych.
3. Wzrost mechanicznej nierównomierności pracy napędów, rezonanse oraz wzrost zużycia elementów.

5.3. Asymetria napięć i prądów

W zakresie jakości zasilania asymetrię rozważa się tylko w trójfazowych (wielofazowych) układach zasilania, wykorzystując liczby zespolone do matematycznego opisu zagadnień mających swoją postać fizyczną. Najistotniejsze przyczyny i skutki przytoczone poniżej są opisane szczegółowo w pracy (18).

5.3.1. Przyczyny asymetrii (18)

1. Naturalna asymetria wykonania i elementów sieci energetycznych: linie, transformatory.
2. Nierównomierność obciążeń jednofazowych, niejednoczesność działania i ich nieliniowy charakter.

3. Chwilowa niejednoczesność i niesymetryczność obciążeń zasilanych trójfazowo, np. hutnictwo, zgrzewarki mniejszych mocy.
4. Niesymetryczne stany przejściowe podczas łączenia awarii i zwarć w sieciach energetycznych.

5.3.2. Skutki asymetrii (18)

1. Ograniczenie mocy rzeczywistej urządzeń trójfazowych,
2. Dodatkowe efekty cieplne w urządzeniach trójfazowych,
3. Dodatkowe efekty mechaniczne maszyn wirujących trójfazowych:
 - a) nierównomierność obrotów,
 - b) drgania mechaniczne,
 - c) skrócenie czasu eksploatacji.
4. Dodatkowe zniekształcenia napięcia w wyniku sprzężonych efektów mechaniczno-elektrycznych.
5. Przyspieszona utrata parametrów elektrycznych odbiorników mocy biernej.
6. Występowanie zjawisk ferro-rezonansowych w transformatorach mocy.
7. Wzrost prądów w uziemieniach transformatorów oraz ryzyko występowania napięć krokowych i dotykowych.
8. Wzrost strat w liniach przesyłowych.
9. Obniżenie rzeczywistej mocy przenoszonej przez linie energetyczne.

5.4. Odkształcenia napięcia i prądu

Zachodzi bezpośredni związek przyczynowo skutkowy pomiędzy odkształceniami prądu i odkształceniami napięcia. Niestety dotychczasowe możliwości techniczne przyrządów spełniających bardzo rygorystyczne wymagania klasy A – zresztą zgodnie z ich przeznaczeniem – są przystosowane do rejestracji tylko obrazu statystycznego uśrednionego w długim czasie w porównaniu z okresem sieci. Szczegółowe wiązanie tak obliczanych napięć i prądów za pomocą reguł elektrotechniki będzie dawało podstawę do poprawnych wniosków, lecz tylko w części przypadków rzeczywistych. Część zjawisk może pozostać całkowicie niezauważalna lub wręcz błędnie wyliczona.

Analiza bezpośrednia napięć i prądów w ujęciu statystycznym powinna również uwzględniać kilka istotnych zjawisk – szczególnie w sieciach trójfazowych niesymetrycznych lub nie zrównoważonych. Dotyczy to zwłaszcza analizy prądu w przewodzie I_N napięcia U_{N-PE} . Konieczne jest zastosowanie innych reguł opisujących częstotliwościowo te sygnały, ponieważ inny jest mechanizm ich powstawania.

6. Zastosowanie PQM w jakości zasilania

Podstawowym przeznaczeniem analizatorów jakości zasilania klasy A jest rejestracja parametrów zasilania zgodnie z obowiązującymi normami i wymaganiami prawnymi oraz opracowywanie analiz statystycznych określających zakres spełnienia wymagań i poziom rozbieżności. Konieczna jest więc w obserwowanym okresie ciągła rejestracja poszczególnych parametrów i wykrywanie przekroczeń zadanych wartości progowych. Uzupełnieniem są rejestracje przebiegów chwilowych i wartości $RMS_{(1/2)}$ dokumentujących przebieg poszczególnych odstępstw. Dodatkowo w analizie statystycznej konieczne jest oznaczenie za pomocą flagowania zdarzeń niespełniających warunków pracy badanej sieci. Efektem końcowym analizy jakości zasilania na zgodność z wymaganymi kryteriami jest zestawienie wyników w postaci nieedytowalnego raportu zapisywanego do pliku. Uzupełnieniem rejestracji parametrów jakościowych są rejestracje prądów, mocy i energii, co – zależnie od producenta analizatora – jest rozwiązywane bardzo indywidualnie. To samo dotyczy synchronizacji czasu. Przy braku synchronizacji GPS analizatory bardzo dobrze spełniają swoje funkcje jako pojedyncze pomiary statystyczne jakości zasilania. Niestety dokładność 1 s/24 h jest już niewystarczająca do wielopunktowych analiz diagnostycznych, szczególnie w przypadku niespokojnych użytkowników sieci, co znacząco zwiększa niepewność wyciąganych wniosków. Tak naprawdę to tu właśnie zaczyna się rzeczywisty problem analizy jakości zasilania, gdy trzeba znaleźć wiarygodne przyczyny niespełnienia wymagań jakościowych.

6.1. Zastosowanie Szczególne Analizatorów Rodziny PQM-7XX

6.1.1. PQM-700

Analizator w pełni spełnia wymogi normy PN-EN 61000-4-30:2011 w klasie S. Mierzy 3 napięcia fazowe lub międzyfazowe oraz 3 prądy fazowe i w przewodzie N.

Z punktu widzenia jakości zasilania analizator pozwala na rejestrację parametrów na zgodność z obowiązującym prawem lub normą PNEN 50160 z synchronizacją czasu według wbudowanego zegara RTC. Analizator rejestruje oscylogramy napięć i prądów spowodowane wykryciem przekroczenia zadanych parametrów. Rejestruje również harmoniczne napięć i prądów oraz przekroczenia zadanych progów.

Przeznaczeniem analizatora jest rejestracja i kontrola jakości zasilania oraz wstępna diagnostyka w oparciu o najważniejsze parametry napięć, prądów, mocy i energii mierzone w jednym wybranym punkcie systemu zasilania.

Do najważniejszych możliwości należą:

1. Rejestracja parametrów jakości zasilania ze sporządzeniem raportu w klasie S na zgodność z rozporządzeniem przyłączeniowym lub PN EN 50160 włącznie.
2. Wykrywanie i rejestracja oscylograficznego przebiegu napięć i prądów podczas naruszeń wartości progowych.
3. Rejestracja i weryfikacja poziomów napięć, prądów, asymetrii, obciążeń, mocy biernych i zużycia energii od 1 sekundy oraz wykrywanie przekroczeń.
4. Rejestrowanie przepływu energii w niepełnym układzie czterokwadrantowym.
5. Szybka rejestracja napięć i prądów RMS20ms_(1/2) procesów rozruchowych w cyklach do 60 sekund.
6. Możliwość zasilania bezpośrednio z mierzonej sieci do 460 VAC w CAT-IV 300 V bezpieczeństwa.
7. Praca autonomiczna akumulatorowa minimum 6 godzin.
8. Możliwość szybkiej wymiany karty pamięci 2 GB do 8 GB przez użytkownika oraz komunikacja po USB.

6.1.2. PQM-701(Z)(Zr)

Analizator w pełni spełnia wymogi normy PN-EN 61000-4-30: 2011 w klasie S oraz częściowo w klasie A. Mierzy 3 napięcia fazowe + U N-PE lub międzyfazowe oraz 3 prądy fazowe i w przewodzie N.

Z punktu widzenia jakości zasilania analizator pozwala na rejestrację parametrów na zgodność z obowiązującym prawem lub normą PNEN 50160 z synchronizacją czasu według wbudowanego zegara RTC. Rejestruje oscylogramy napięć i prądów spowodowane wykryciem przekroczenia zadanych parametrów. Rejestruje również harmoniczne napięć i prądów, przekroczenia zadanych progów, a także harmoniczne mocy czynnej i biernej oraz kąty fazowe harmonicznych.

Przeznaczeniem analizy jest rejestracja i kontrola jakości zasilania oraz diagnostyka w oparciu o parametry napięć, prądów, mocy i energii mierzone w wybranym punkcie zasilania. Można zdefiniować 4 niezależne zestawy nastaw.

Do najważniejszych możliwości należą:

1. Rejestracja parametrów jakości zasilania ze sporządzeniem raportu na zgodność z rozporządzeniem przyłączeniowym lub PN EN 50160 włącznie.
2. Wykrywanie i rejestracja oscylograficznego przebiegu napięć i prądów podczas naruszeń wartości progowych oraz oscylogramów na koniec każdego okresu uśredniania.
3. Rejestracja i weryfikacja poziomów napięć, prądów, obciążeń, mocy biernych i zużycia energii od 200 ms oraz wykrywanie przekroczeń.
4. Rejestrowanie przepływu energii w niepełnym układzie czterokwadrantowym.

5. Szybka rejestracja napięć i prądów $\text{RMS}_{20\text{ms}}(1/2)$ procesów rozruchowych bez ograniczeń.
6. Możliwość zasilania bezpośrednio ze wszystkich mierzonych sieci do 690 VAC w CAT-IV 600 V bezpieczeństwa.
7. Praca autonomiczna akumulatorowa minimum 5 godzin.
8. Możliwość szybkiej wymiany karty pamięci 2 GB do 8 GB przez użytkownika.
9. Bezpośrednia komunikacja po USB oraz radiowa OR-1.

6.1.3. PQM-702(710)

Analizator w pełni spełnia wymogi normy PN-EN 61000-4-30: 2011 w klasie A. Mierzy 3 napięcia fazowe oraz U N-PE lub międzyfazowe oraz 3 prądy fazowe i w przewodzie N.

Z punktu widzenia jakości zasilania analizator pozwala na rejestrację parametrów na zgodność z obowiązującym prawem lub normą PNEN 50160 z synchronizacją czasu według wbudowanego zegara RTC oraz GPS. Rejestruje oscylogramy napięć i prądów spowodowane wykryciem przekroczenia zadanych parametrów. Rejestruje również harmoniczne oraz interharmoniczne napięć i prądów, przekroczenia zadanych progów, a także harmoniczne mocy czynnej i biernej oraz kąty fazowe harmonicznych. Dodatkowo rejestruje niezależnie dwa sygnały sterujące.

Przeznaczeniem analizatora jest rejestracja i kontrola jakości zasilania oraz diagnostyka w oparciu o parametry napięć, prądów, mocy i energii mierzone w wybranym punkcie zasilania. Można zdefiniować 4 niezależne zestawy nastaw. Dzięki synchronizacji GPS możliwe są precyzyjne pomiary synchroniczne jednocześnie w wielu punktach pomiarowych i dalsza analiza propagacji zakłóceń.

Do najważniejszych możliwości należą:

1. Rejestracja parametrów jakości zasilania ze sporządzeniem raportu w pełnej klasie A na zgodność z rozporządzeniem przyłączeniowym lub PN EN 50160 i jednoczesna rejestracja wszystkich pozostałych parametrów do celów diagnostycznych.
2. Wykrywanie i rejestracja oscylograficznego przebiegu napięć i prądów podczas naruszeń wartości progowych oraz oscylogramów na koniec każdego okresu uśredniania z precyzyjną agregacją czasu w oparciu o GPS z dodatkową anteną zewnętrzną.
3. Rejestracja i weryfikacja poziomów napięć, prądów, obciążeń, mocy biernych i zużycia energii od 200 ms oraz wykrywanie przekroczeń.
4. Rejestrowanie przepływu energii w niepełnym układzie czterokwadrantowym.
5. Szybka rejestracja napięć i prądów $\text{RMS}_{20\text{ms}}(1/2)$ procesów rozruchowych bez ograniczeń.

6. Możliwość zasilania bezpośrednio ze wszystkich mierzonych sieci do 690 VAC w CAT-IV 600 V bezpieczeństwa.
7. Praca autonomiczna akumulatorowa minimum 4 godziny.
8. Bezpośrednia komunikacja po USB oraz zdalna: radiowa OR-1(PQM-702) albo Wi-Fi (PQM-710) lub wbudowany modem GSM w obu wersjach.

6.1.4. PQM-703(711)

Analizator w pełni spełnia wymogi normy PN-EN 61000-4-30: 2011 w klasie A. Mierzy 3 napięcia fazowe oraz U N-PE lub międzyfazowe oraz 3 prądy fazowe i w przewodzie N.

Z punktu widzenia jakości zasilania analizator pozwala na rejestrację parametrów na zgodność z obowiązującym prawem lub normą PNEN 50160 z synchronizacją czasu według wbudowanego zegara RTC oraz GPS. Rejestruje oscylogramy napięć i prądów spowodowane wykryciem przekroczenia zadanych parametrów. Rejestruje również harmoniczne oraz interharmoniczne napięć i prądów, przekroczenia zadanych progów, a także harmoniczne mocy czynnej i biernej oraz kąty fazowe harmonicznych. Dodatkowo rejestruje niezależnie dwa sygnały sterujące.

Przeznaczeniem analizatora jest rejestracja i kontrola jakości zasilania oraz diagnostyka w oparciu o parametry napięć, prądów, mocy i energii mierzone w wybranym punkcie pomiarowym i szybka rejestracja stanów przejściowych do 6 kV. Można zdefiniować 4 niezależne zestawy nastaw. Dzięki synchronizacji GPS możliwe są precyzyjne pomiary synchroniczne jednocześnie w wielu punktach pomiarowych i precyzyjnie synchronizowane rejestracje stanów przejściowych oraz dalsza analiza propagacji zakłóceń.

Do najważniejszych możliwości należą:

1. Rejestracja parametrów jakości zasilania ze sporządzeniem raportu w pełnej Klasie A na zgodność z rozporządzeniem przyłączeniowym lub PN EN 50160 i jednoczesna rejestracja wszystkich pozostałych parametrów do celów diagnostycznych.
2. Wykrywanie i rejestracja oscylograficznego przebiegu napięć i prądów podczas naruszeń wartości progowych oraz oscylogramów na koniec każdego okresu uśredniania z precyzyjną agregacją czasu w oparciu o GPS z dodatkową anteną zewnętrzną.
3. Rejestracja oscylograficzna stanów przejściowych do 6 kV względem PE z częstotliwością próbkowania do 10 MHz.
4. Rejestracja i weryfikacja poziomów napięć, prądów, obciążeń, mocy biernych i zużycia energii od 200 ms oraz wykrywanie przekroczeń.
5. Rejestrowanie przepływu energii w niepełnym układzie czterokwadrantowym.

6. Szybka rejestracja napięć i prądów $RMS_{20ms(1/2)}$ procesów rozruchowych bez ograniczeń.
7. Możliwość zasilania bezpośrednio ze wszystkich mierzonych sieci do 690 VAC w CAT-IV 600 V bezpieczeństwa.
8. Praca autonomiczna akumulatorowa minimum 4 godziny.
Bezpośrednia komunikacja po USB oraz zdalna: radiowa OR-1(PQM-703) albo Wi-Fi (PQM-711) lub wbudowany modem GSM w obu wersjach.

6.2. Szczegółowa i precyzyjna dokumentacja użytkownika

Wiarygodność prowadzonych pomiarów i wniosków wynikających ze specyficznych współzależności parametrów jest uzależniona w dużym stopniu od profesjonalizmu podejścia producenta do informacji przekazywanych użytkownikowi. Ponieważ to użytkownik jest odpowiedzialny za ostateczne interpretowanie wyników pomiarowych, ważne jest, aby dokładnie rozumiał szczegóły wyznaczania parametrów. Jego podstawą zaufania do konkretnego sprzętu jest w pierwszej kolejności profesjonalna dokumentacja użytkownika i zawarte w niej informacje producenta.

W profesjonalnej analizie jakości zasilania niezbędne są:

1. Wyszczególnione znaczenia i metody obliczeń wszystkich parametrów z uwzględnieniem dodatkowych warunków szczególnych.
2. Precyzyjne zestawienie dokładności, rozdzielczości, zakresów i warunków pomiarowych pozwalających określić przedział niepewności wyników.

Odwołując się do instrukcji użytkownika analizatorów rodziny PQM-7xx, warto przesłedzić ten zakres dokumentacji. Dla niektórych producentów jest on przykładem wartym naśladowania, a dla użytkowników – wartym szczegółowej analizy.

6.3. Rozszerzone możliwości analizatorów PQM-702/3/10/11

Analizatory rodziny PQM posiadają możliwość równoczesnego rejestrowania ponad 4500 parametrów, ponieważ oprócz wartości uśrednionych, w poszczególnych przedziałach uśredniania, rejestrują dodatkowo:

- **Wartości MAX i MIN dla wszystkich** parametrów przy najkrótszym czasie identyfikacji 10 ms dla napięć i prądów oraz 200 ms dla pozostałych parametrów.
- **Oscylogramy** napięć i prądów (60 ms) na koniec **każdego okresu uśredniania**.
- **Szybkie ciągle rejestracje napięć i prądów $RMS_{(1/2)}$** co 10 ms nawet przez 51 dni.

- **Wbudowany odbiornik GPS** z dodatkową anteną zewnętrzną – 10 m zapewnia bardzo dokładny czas szczególnie dla pomiarów rozproszonych.
- Bardzo **szeroki zakres napięć zasilania** do 760 V z pełną odpornością w CAT-IV 600 V na przepięcia.
- **Wbudowany modem GSM** do pełnej zdalnej obsługi analizatora z transmisją nawet do 160 kB/s.
- **Wbudowany moduł Wi-Fi** (tylko PQM-710/11) do lokalnej komunikacji bezprzewodowej.
- **Wbudowany akumulator 2 h** zapewniający pełną funkcjonalność w całym zakresie temperatur pracy.
- **Dużą pamięć 8 GB** (do 32 GB) z szybkim transferem USB 2.0 HS do PC do 23 minut/8 GB.

6.4. Dodatkowa funkcjonalność diagnostyczna

Rozszerzenie możliwości technicznych analizatorów przekłada się bezpośrednio na praktyczną i diagnostycznie niezbędną funkcjonalność, dzięki którym możliwym staje się realne wyciąganie wniosków na podstawie zmienności i współzależności parametrów. Możliwe stają się bezpośrednie porównania zdarzeń nie tylko pod względem statystycznym, ale i pod względem przebiegów chwilowych.

6.4.1. Identyfikacja użytkowników niespokojnych

Parametry średnie i graniczne wartości MIN i MAX w poszczególnych okresach uśredniania pozwalają rozróżnić przebiegi spokojne i bardzo niespokojne, mimo podobnego przebiegu zmienności wartości średnich, co znacząco podnosi trafność interpretacji wyników w losowo nieprzewidywanych i wstępnie nierozpoznanych sieciach zasilających.

Precyzyjne synchronizowanie okresów uśredniania za pomocą GPS gwarantuje w identyfikacji przekroczeń wartości progowych bardzo dużą dokładność czasu początku i końca zakłócenia oraz określenia poziomu resztkowego. Jest to pomocne szczególnie przy wielopunktowym, rozproszonym śledzeniu propagacji zakłóceń wzdłuż linii zasilających, gdy mamy do czynienia z niespokojnym poborem energii, a naszym celem diagnostycznym jest zlokalizowanie źródła.

6.4.2. Diagnostyka obciążeń szybkozmiennych

Typowe możliwości rejestracji analizatorów jakości zasilania w klasie A zaczynają się od 1 s nastawy czasów uśredniania. Dlatego, przy tak długim czasie uśredniania, szczegółowy obraz pracy sieci przemysłowych – zasilających: zgrzewarki,

szybkie kompensacje nadążne mocy biernej, roboty, dźwigi, podajniki i inne urządzenia o dużej częstotliwości załączeń – może być diagnostycznie mało wiarygodny. Dopiero rejestracja $RMS_{(1/2)}$ analizatorami PQM pozwala dostrzec i prześledzić przebieg zjawisk wynikających z niejednoczesności załączeń, momentów rozruchu i nakładania się przeciążeń chwilowych. Widoczny jest wówczas wpływ tych zjawisk na zmiany napięcia zasilającego, nawet gdy nie występują przekroczenia kryteriów jakościowych.

6.4.3. Identyfikacja faz w pomiarach wielopunktowych

Typowy analizator klasy A ma za zadanie ocenę statystyczną jakości zasilania, używając opisu sygnałów, zależnie od lokalnych oznaczeń, w miejscu podłączenia do sieci. Nie jest jednak możliwe jednoznaczne i natychmiastowe zweryfikowanie zgodności podłączeń przewodów fazowych wielu analizatorów do tych samych faz. Wykorzystując jednak oscylogramy rejestrowane synchronicznie według czasu GPS, na koniec każdego okresu uśredniania można wprost porównać fazowo przebiegi z różnych punktów pomiarowych tej samej sieci. Możliwe jest jednoznaczne potwierdzenie zgodności bądź uzasadnienie niezgodności w opisach zakłóceń wynikających z błędnego opisu sygnałów na obiektach, co znacząco podnosi wiarygodność wyciąganych wniosków diagnostycznych.

7. Bibliografia

1. Kancelaria Sejmu RP. Internetowy System Aktów Prawnych. <http://isap.sejm.gov.pl/index.jsp>. [Online]
2. PN-EN 50160:2010. *Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych*. Warszawa: PKN, 2010.
3. PN-EN 61000-4-30:2011. *Metody badań i pomiarów – Metody pomiaru jakości energii*. Warszawa: PKN, 2011. Tom Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC).
4. PN-EN 61000-4-15:2011. *Metody badań i pomiarów – Miernik migotania światła – Specyfikacja funkcjonalna i projektowa*. Warszawa: PKN, 2011. Tom Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC).
5. PN-EN 60868-0:2002. *Miernik migotania światła – Część 0: Ocena uciążliwości migotania światła*. Warszawa: PKN, 2002.
6. PN-EN 60868:2002. *Miernik migotania światła – Opis działania i cechy konstrukcyjne*. Warszawa: PKN, 2002.
7. PN-EN 61000-4-7:2007/A1:2011. *Metody badań i pomiarów – Ogólny przewodnik dotyczący pomiarów harmonicznych i interharmonicznych oraz przyrządów pomiarowych, dla sieci zasilających i przyłączonych do nich urządzeń*. Warszawa: PKN, 2011. Tom Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC).
8. PN-EN 61000-4-34:2007. *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 4-34: Metody badań i pomiarów – Badanie odporności na zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia dla urządzeń o fazowym prądzie zasilającym do 16A*. brak miejsca: PKN, 2007.
9. PN-EN 61000-2-2:2003. *Środowisko – Poziomy kompatybilności zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości i sygnałów przesyłanych w publicznych sieciach zasilających niskiego napięcia*. Warszawa: PKN, 2003. Tom Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC).
10. PN-EN 61000-2-4:2003. *Środowisko – Poziomy kompatybilności dotyczące zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości w sieciach zakładów przemysłowych*. Warszawa: PKN, 2003. Tom Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC).
11. PN-EN 61000-2-12:2004. *Środowisko – Poziomy kompatybilności dla zaburzeń przewodzonych niskiej częstotliwości i sygnałów sygnalizacji w publicznych sieciach zasilających średniego napięcia*. Warszawa: PKN, 2004. Tom Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC).
12. PN-EN 61000-3-2:2014-10. *Poziomy dopuszczalne – Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznych prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika $< \text{lub} = 16 \text{ A}$)*. Warszawa: PKN, 2014. Tom Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC).

13. PN-EN 61000-3-3:2013-10. *Dopuszczalne poziomy – Ograniczanie zmian napięcia, wahań napięcia i migotania światła w publicznych sieciach niskiego napięcia – Urządzenia o prądzie znamionowym $< \text{lub} = 75 \text{ A}$ podlegające przyłączeniu warunkowemu.* Warszawa: PKN, 2013. Tom Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC).
14. PN-EN 61000-3-11:2004. *Poziomy dopuszczalne – Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznego prądu dla odbiorników o znamionowym prądzie fazowym $> 16 \text{ A}$ i $< \text{lub} = 75 \text{ A}$ przyłączonych do publicznej sieci zasilającej niskiego napięcia.* Warszawa: PKN, 2004. Tom Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC).
15. PN-EN 61000-3-12:2012. *Poziomy dopuszczalne – Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznego prądu dla odbiorników o znamionowym prądzie fazowym $> 16 \text{ A}$ i $< \text{lub} = 75 \text{ A}$ przyłączonych do publicznej sieci zasilającej niskiego napięcia.* Warszawa: PKN, 2012. Tom Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC).
16. Wiczyński Grzegorz. *Badanie miar wahań napięcia w sieciach elektrycznych.* Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2010.
17. Kowalski Zbigniew. *Jakość energii Elektrycznej.* Łódź: Monografie Politechniki Łódzkiej, 207.
18. Kurdziel prof. Roman. *Podstawy Elektrotechniki.* Warszawa: WNT, 1972.
19. Instrukcja obsługi PQM-702/3/10/11. *Instrukcja obsługi analizatorów jakości zasilania PQM-702, PQM-703, PQM-710, PQM-711.* Świdnica: SONEL S.A., 2014.

8. Indeks

IEEE 1459	33
PN-EN 50160	8, 16, 20
PN-EN 61000-2-12.....	30
PN-EN 61000-2-2.....	7, 27, 36, 58
PN-EN 61000-2-4.....	7, 22, 58
PN-EN 61000-3-11.....	33
PN-EN 61000-3-12.....	34
PN-EN 61000-3-2.....	31
PN-EN 61000-3-3.....	32
PN-EN 61000-4-15.....	7, 25
PN-EN 61000-4-30.....	10, 21, 23
PN-EN 61000-4-7.....	7, 26
Prawo Energetyczne	7, 9

Załącznik 1

Tabela 1. Prawo Energetyczne: Dz.U. Nr 93, poz. 623: Rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego.

Parametr	wartość/zakres parametru/czas trwania					pomiar i wyznaczenie wartości						
	Grupa I i II > =110 kV	Grupa III 1 kV < ... <110 kV	Grupa IV <1 kV, >40 kW	Grupa V <1 kV, < =40 kW	Grupa VI tymczasowe	cecha podstawowa	Czas uśredniania	Czas obserwacji	wymagania			
Warunek spełnienia kryteriów jakości	P <= P umowna, przy Tg <= 0.4					wartość średnia	15 min	1 tydzień	100%			
Częstotliwość	50 Hz ±1% (49.5 Hz do 50.5 Hz)					wartość średnia	10 s	Nie określono	99,50%			
	50 Hz +4% / -6% (47 Hz do 52 Hz)							Nie określono	100%			
Wahania napięcia i asymetria												
Wahania napięcia zasilania	110 kV ±10%	Uzn ±10%								wartość średnia	1 tydzień	95%
	220 kV ±10%											
	400 kV +5% / -10%									wartość średnia	1 tydzień	95%

Flicker (migotanie)	$Plt \leq 0.8$	$Plt \leq 1.0$		algorytm Flickera	2 h	1 tydzień	95%
Współczynnik asymetrii $U2 / U1$	$< 1\%$	$< 2\%$		wartość średnia	10 min	1 tydzień	95%
Przerwy w dostarczaniu energii							
Przerwy planowane w dostarczaniu energii elektrycznej	określone w umowach	określone w umowach	przemijające (mikroprzerwy) < 1 s	wyłączenie	od momentu wyłączenia do załączenia	jednorazowo i w roku	< 16 godz. i łącznie < 35 godz.
			krótkie $1 \text{ s} \leq \dots \leq 3 \text{ min}$				
			długie $3 \text{ min} < \dots \leq 12 \text{ godz.}$				
			bardzo długie $12 \text{ godz.} < \dots \leq 24 \text{ godz.}$				
			katastrofalne $> 24 \text{ godz.}$				
Przerwy nie planowane w dostarczaniu energii elektrycznej	określone w umowach	określone w umowach	przemijające (mikroprzerwy) < 1 s	wyłączenie	od momentu poinformowania do załączenia	jednorazowo i w roku	< 24 godz. i łącznie < 48 godz.
			krótkie $1 \text{ s} \leq \dots \leq 3 \text{ min}$				
			długie $3 \text{ min} < \dots \leq 12 \text{ godz.}$				
			bardzo długie $12 \text{ godz.} < \dots \leq 24 \text{ godz.}$				
			katastrofalne $> 24 \text{ godz.}$				

Zniekształcenia napięcia, harmoniczne

Całkowity współczynnik zniekształceń dla 40 harmonicznych	THD <= 3%	THD <= 8%		wartość średnia	10 min	1 tydzień	95%
H2	1,5%	2,0%	2,0%	wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H3	2,0%	5,0%	5,0%	wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H4	1,0%	1,0%	1,0%	wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H5	2,0%	6,0%	6,0%	wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H6	0,5%	0,5%	0,5%	wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H7	2,0%	5,0%	5,0%	wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H8	0,5%	0,5%	0,5%	wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H9	1,0%	1,5%	1,5%	wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H10	0,5%	0,5%	0,5%	wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H11	1,5%	3,5%	3,5%	wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%

H12	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H13	1,5%	3,0%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H14	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H15	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H16	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H17	1,0%	2,0%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H18	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H19	1,0%	1,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H20	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H21	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H22	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H23	0,7%	1,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H24	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%

H25	0,7%	1,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H26	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H27	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H28	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H29	0,631%			wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H30	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H31	0,603%			wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H32	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H33	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H34	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H35	0,557%			wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H36	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H37	0,538%			wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%

H38	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H39	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%
H40	0,5%	0,5%		wartość RMS	10 min	1 tydzień	95%

Załącznik 2

Tabela 2. Zestawienie kryteriów według EN 50160:2010P

Cecha napięcia zasilającego	wartość/zakres parametru		Kryteria wyznaczania			
	niskie napięcie (nn) <= 1kV	średnie napięcie (SN) > 1 kV...36 kV	średnie napięcie (WN) > 36 kV...150 kV	Czas uśredniania	Czas obserwacji	wymagania procentowe
Częstotliwość (synchroniczne podłączenie do sieci)	50 Hz ± 1% (49,5 Hz do 50,5 Hz)			10 s	1 rok	99,50%
	50 Hz +4% / -6% (47 Hz do 52 Hz)				w całym czasie	100%
Częstotliwość (brak synchronicznego podłączenie do sieci, praca wyspową)	50 Hz ± 2% (49 Hz do 51 Hz)			10 s	1 rok	95%
	50 Hz ± 15% (42,5 Hz do 57,5 Hz)				w całym czasie	100%
Wahania napięcia, asymetrie						
Wahania napięcia zasilania	230V ± 10% (w 95% czasu)	Uc ± 10% (w 99% czasu)		10 min	1 tydzień	
	230V +10% / -15%	230V ± 15%		10 min	1 tydzień	100%
Szybkie zmiany napięcia	5...10%	4...6%		10 ms	1 dzień	często
Flicker (migotanie)	Plt=1			2 h	1 tydzień	95%

Asymetria napięcia (składowa przeciwniej do zgodnej)	typowo 2% w szczególnych przypadkach do 3%	10 min	1 tydzień	95%
Zapady napięcia, przerwy w zasilaniu				
zapady napięcia ** (< 1 min)	10-1000 w roku (poniżej 85% Uc)	10 ms	1 rok	100%
Krótkie przerwy w zasilaniu (< 3 min)	do kilkudziesięciu rocznie	10 ms	1 rok	100%
Długie przerwy w zasilaniu (> 3 min)	10 do 50 rocznie (poniżej 1% U)	10 ms	1 rok	100%
Przejściowe stany z częstotliwością sieci (faza – ziemia)	1,7 to 2,0 Uc (zależnie od podłączenia punktu N)	10 ms	wcale	100%
Szybkie stany przejściowe (faza – ziemia)	zależnie od warunków izolacji	żaden	wcale	100%
Zniekształcenia napięcia i harmoniczne				
Harmoniczne napięcia (Odniesienie do Un lub Uc)	(THD) = 8%	(THD) = 8%	Jeszcze nie specyfikowany	95%
Inter-harmoniczne napięcia	Nie specyfikowane			
Sygnaly sterujące (odniesienia Un lub Uc) od 110 Hz do 148,5 kHz	100 ... 400 Hz ≤ 9 V 400...950 Hz ≤ 9 V → 5 V (liniowo) 0,95 ... 9,5 kHz ≤ 5 V 9,5...99,5 kHz ≤ 5 V → 1,4 V (liniowo) 95...148,5 kHz ≤ 1,4 V	3 s	1 dzień	99%

Harmoniczne

H2	2,0%		1,9%	10 min	1 tydzień	95%
H3	5,0%		3%	10 min	1 tydzień	95%
H4		1,0%		10 min	1 tydzień	95%
H5	6,0%		5%	10 min	1 tydzień	95%
H6		0,5%		10 min	1 tydzień	95%
H7	5,0%		4%	10 min	1 tydzień	95%
H8		0,5%		10 min	1 tydzień	95%
H9	1,5%		1,3%	10 min	1 tydzień	95%
H10		0,5%		10 min	1 tydzień	95%
H11	3,5%		3%	10 min	1 tydzień	95%
H12		0,5%		10 min	1 tydzień	95%
H13	3,0%		2,5%	10 min	1 tydzień	95%
H14		0,5%		10 min	1 tydzień	95%
H15		0,5%		10 min	1 tydzień	95%
H16		0,5%		10 min	1 tydzień	95%
H17	2,0%		u.c.	10 min	1 tydzień	95%
H18	0,5%			10 min	1 tydzień	95%
H19	1,5%		u.c.	10 min	1 tydzień	95%
H20	0,5%			10 min	1 tydzień	95%
H21	0,5%		u.c.	10 min	1 tydzień	95%

H22	0,5%		10 min	1 tydzień	95%
H23	1,5%	u.c.		1 tydzień	95%
H24	0,5%		10 min	1 tydzień	95%
H25	1,5%	u.c.		1 tydzień	95%

Tabela 3. Statystyka zapadów i wzrostów napięcia dla sieci nn, SN i WN, – numeracja przedziałów.

$\frac{t}{\%U_n}$	$10 \text{ ms} \leq t \leq 200 \text{ ms}$	$200 \text{ ms} < t \leq 500 \text{ ms}$	$500 \text{ ms} < t \leq 1 \text{ s}$	$1 \text{ s} < t \leq 5 \text{ s}$	$5 \text{ s} < t \leq 60 \text{ s}$
$120\% \leq u$	S1	S2	S3		
$110\% < u \leq 120\%$	T1	T2	T3		
$90\% \leq u \leq 110\%$					
$80\% \leq u < 90\%$	A1	A2	A3	A4	A5
$70\% \leq u < 80\%$	B1	B2	B3	B4	B5
$40\% \leq u < 70\%$	C1	C2	C3	C4	C5
$5\% \leq u < 40\%$	D1	D2	D3	D4	D5
$u < 5\%$	X1	X2	X3	X4	X5

Załącznik 3

Tabela 4.

Hn	Prawo Energetyczne + Dz.U. z 2007 r. Nr 94, poz. 623: Rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego.					PN EN 50160			PN-EN 61000-2-2	PN-EN 61000-2-4		
	Grupa I i II > = 110 kV	Grupa III 1 kV < ... < 110 kV	Grupa IV < 1 kV, > 40 kV	Grupa V < 1 kV, < = 40 kV	Grupa VI tylcza- sowe	do 1 kV	1 kV – 35 kV	> 35 kV – 150 kV	do 1kV	Klasa I	Klasa II	Klasa III
	Wahania napięcia, częstotliwości i asymetria											
$\Delta U/U_n$			10%				10%			8,0%	10,0%	10,0%
			-10%				-10%			-8,0%	-10,0%	-15,0%
U _{neg} /U _{pos}	1%		2%				2%			2,0%	2,0%	3,0%
Δf			1%				1% (95% czasu)*, 4% (100% czasu)*			1,0%	1,0%	1,0%
			-1%				-1% (95% czasu) -6% (100% czasu)			-1,0%	-1,0%	-1,0%
Plt	0.8		1				1					
Zniekształcenia napięć, harmoniczne												
THD U	3%		8%				8%			5,0%	8,0%	10,0%

* – połączenie synchroniczne

23	1150	0,7%	1,5%		1,5%	1,41%	1,41%	1,41%	1,41%	2,83%
24	1200	0,5%	0,5%		0,5%	0,35%	0,35%	0,35%	0,35%	1,00%
25	1250	0,7%	1,5%		1,5%	1,27%	1,27%	1,27%	1,27%	2,56%
26	1300	0,5%	0,5%			0,35%	0,35%	0,35%	0,35%	1,00%
27	1350	0,5%	0,5%			0,20%	0,20%	0,20%	0,20%	1,00%
28	1400	0,5%	0,5%			0,34%	0,34%	0,34%	0,34%	1,00%
29	1450	0,631%				1,06%	1,06%	1,06%	1,06%	2,14%
30	1500	0,5%	0,5%			0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	1,00%
31	1550	0,603%				0,97%	0,97%	0,97%	0,97%	1,97%
32	1600	0,5%	0,5%			0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	1,00%
33	1650	0,5%	0,5%			0,20%	0,20%	0,20%	0,20%	1,00%
34	1700	0,5%	0,5%			0,32%	0,32%	0,32%	0,32%	1,00%
35	1750	0,557%				0,83%	0,83%	0,83%	0,83%	1,69%
36	1800	0,5%	0,5%			0,32%	0,32%	0,32%	0,32%	1,00%
37	1850	0,538%				0,77%	0,77%	0,77%	0,77%	1,57%
38	1900	0,5%	0,5%			0,32%	0,32%	0,32%	0,32%	1,00%
39	1950	0,5%	0,5%			0,20%	0,20%	0,20%	0,20%	1,00%
40	2000	0,5%	0,5%			0,31%	0,31%	0,31%	0,31%	1,00%
41	2050					0,67%	0,67%	0,67%	0,67%	1,37%
42	2100					0,31%	0,31%	0,31%	0,31%	1,00%
43	2150					0,63%	0,63%	0,63%	0,63%	1,28%

Kupiłeś przyrząd i potrzebujesz szkolenia? Zadzwoń: 74 85 83 886

Sprawdź aktualną listę szkoleń, wybierz dogodny termin,
prześlij formularz zgłoszeniowy!

Wejdź na www.sonel.pl

Przejdź do „Centrum wiedzy”

O firmie Aktualności Relacje inwestorskie Serwis Laboratorium Sklep internetowy Kontakt

Produkty Montaż kontraktowy Pobierz **Centrum wiedzy**

Strona główna » Centrum wiedzy

Centrum wiedzy

Filmy instruktażowe

Jak mierzyć rezystancję obiektów indukcyjnych? ...

Analizator jakości zasilania PQM 702

Jak określić głębokość położenia instalacji podziemnej zestawem...

Określenie kierunku przebiegu instalacji podziemnej zestawem LKZ...

Jak wykonać pomiary rezystancji uziemienia i rezystywności gruntu

Szkolenia

Zobacz wszystkie →

- Jak szkolimy? Wiedza, doświadczenie, praktyka.
- PAT-806, PAT-805, PAT-800 i SonelPAT

Teoria pomiarów

Zobacz wszystkie →

- Pomiar współczynnika rozładowania dielektryka (DD)
- Zabezpieczenia różnicowoprądowe

Artykuły prasowe

Zobacz wszystkie →

Najszybsza i najdokładniejsza metoda lokalizacji uszkodzeń kabli i przewodów.

Autor: mgr Marcin Wójcicki

AutoSO – szybsze pomiary to oszczędność inwestycji

Zobacz pełną listę szkoleń

lub przejdź bezpośrednio na

www.sonel.pl/szkolenia