Europejski Instytut Miedzi
Copper Alliance

Leonardo ENERGY

Jakość energii

Niezawodność zasilania i jakość energii w instalacjach elektrycznych

prof. dr hab. inż. Henryk Markiewicz
dr hab. inż. Antoni Klajn, prof. nadzw. PWr

Nr ref EIM: EIM01103

Wyjaśnienia ogólne

Przetwarzanie energii elektrycznej na inne użyteczne postacie energii dokonuje się głównie, bo w 70-80 % całej konsumowanej energii, w odbiornikach niskiego napięcia zasilanych z instalacji elektrycznych. Dla prawidłowej pracy tych urządzeń jest pożądane, aby parametry napięcia zasilającego na zaciskach przyłączeniowych były równe znamionowym, lub mieściły się w przedziałach dopuszczalnych odchyleń i deformacji. Aby z kolei spełnione były te ustalenia instalacje elektryczne muszą być wykonane w sposób spełniający współczesne wymagania techniczne i pozostawać w zadowalająco dobrym stanie technicznym. W przeciwnym przypadku liczba i czasy przerw w zasilaniu mogą być nadmiernie częste i długotrwałe, a parametry napięcia na zaciskach odbiorników mogą się nawet znacznie różnić od dopuszczalnych wartości mimo, że jakość energii w sieci zasilającej i w złączu może być zadowalająco dobra. Wymóg wysokiej jakości energii (napięcia) w złączu jest zatem warunkiem koniecznym, lecz przy złym stanie technicznym instalacji może okazać się niewystarczającym, aby była ona równie wysoka na zaciskach urządzeń odbiorczych.

Dostawcy energii, jak dotychczas, nie zawsze są w pełni zainteresowani tym, aby dostarczać odbiorcom energię elektryczną wysokiej jakości bez przerw w zasilaniu. Wynika to z monopolistycznej pozycji zakładów energetycznych, jako jedynych dostawców energii na danym terenie i praktycznie braku odpowiedzialności finansowej za przerwy i niedotrzymanie wymaganych parametrów dostarczanej energii. Zapewne nie bez znaczenia są nawyki z przeszłości, kiedy to w warunkach permanentnego niedostatku energii wyłączenia i obniżenie jej jakości były sposobem na obniżenie zapotrzebowania na moc w godzinach szczytowego obciążenia, a odbiorca był uciążliwym i mało pożądanym partnerem. Obecnie wraz ze zmianami wprowadzonymi przez prawo energetyczne i stopniowym urynkowieniem obrotu energią, wielu odbiorców zaczyna w coraz większym stopniu zwracać uwagę na jakość dostarczanej energii elektrycznej tak, jak zwraca się uwagę na jakość kupowanego towaru. Przyczynia się do tego również coraz większa liczba nowoczesnych urządzeń elektrycznych, zawierających z reguły wiele elementów elektronicznych o dużym stopniu integracji, wrażliwych na złą jakość energii elektrycznej. Straty spowodowane niedostateczną jakością energii mogą być i są bardzo duże. Przykładowo roczne straty z tego tytułu ponoszone w krajach Europy Zachodniej szacowane są na 10-20 miliardów euro, natomiast straty firm amerykańskich ocenia się na około 26 miliardów dolarów.

Odpowiedzialnością za niedostateczną jakość energii elektrycznej nie można jednak obarczać jedynie jej dostawców, lecz w coraz większym stopniu przyczyniają się do tego sami odbiorcy. Nowoczesne urządzenia, tak wrażliwe na niewłaściwe parametry energii, często bowiem same oddziałują szkodliwie na układ zasilania, a przez to również na pracę innych urządzeń. Jest to szczególnie ważne teraz, bowiem prawie lawinowo zwiększa się liczba odbiorników o nieliniowych charakterystykach. Szacuje się, że ich udział w USA wynosił w 1992 roku 15-20 % całego obciążenia, a obecnie już wynosi 50-70 %. Udział odbiorników o charakterystykach nieliniowych przekraczający 25% całego obciążenia może oddziaływać negatywnie na pracę innych urządzeń i może być konieczne dokonanie określonych przedsięwzięć technicznych zapewniających spełnienie wymogów dotyczących jakości energii.

Podstawowym zakłóceniem wpływającym negatywnie na jakość energii są nieodpowiednie parametry napięcia zasilającego. Norma PN-EN 50160 [1] ustala m.in. wymagania dotyczące charakterystycznych parametrów napięcia zasilającego, podaje sposoby ich wyznaczania oraz graniczne dopuszczalne odchylenia od wartości znamionowych. Wymagania te podane są zarówno dla sieci zasilających niskiego jak i średniego napięcia, przy czym dla sieci niskiego napięcia odnoszą się one do parametrów mierzonych w złączu. Parametry te, to przede wszystkim [1, 2]:

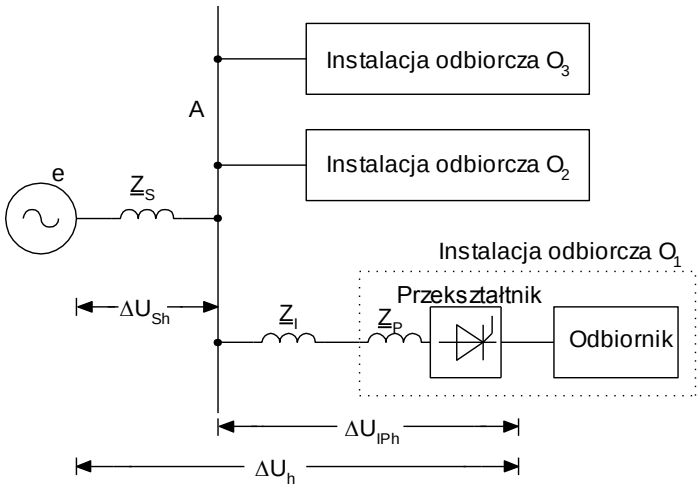
- częstotliwość napięcia,
- wartość napięcia zasilającego,
- zmiany napięcia zasilającego,
- szybkie zmiany napięcia,
- zapady napięcia zasilającego,
- krótkie przerwy w zasilaniu,
- długie przerwy w zasilaniu,
- dorywcze przepięcia o częstotliwości sieciowej,
- przepięcia przejściowe,
- niesymetria napięcia zasilającego,
- harmoniczne napięcia.

W normie zawarta jest informacja, że ustalone wartości charakterystycznych parametrów napięcia zasilającego dotyczą normalnych warunków pracy. Postanowienia normy nie są stosowane m.in. w odniesieniu do:

- pracy sieci po wystąpieniu zwarcia i w sytuacji tymczasowych układów zasilania utworzonych w celu zapewnienia ciągłości zasilania odbiorców oraz w przypadku prowadzenia prac zmierzających do zminimalizowania czasu trwania przerwy oraz obszaru dotkniętego przerwą w zasilaniu,
- w sytuacjach wyjątkowych, w szczególności takich jak:
  - klęski żywiołowe i szczególnie niekorzystne warunki atmosferyczne,
  - zakłócenia spowodowane przez osoby trzecie,
  - działania władz publicznych,
  - strajki,
  - siły wyższe,
  - niedobór mocy wynikający ze zdarzeń zewnętrznych.

W zależności od tego, czy jest się odbiorcą, czy dostawcą energii, różny jest sposób interpretacji ustaleń normy. Odbiorcy odczytują je jako zbiór wartości wybranych parametrów energii elektrycznej, jakie powinny być bezwzględnie zapewnione przez dostawcę. Podejście takie jest jednak nie w pełni zgodne z treścią normy [1], w której stwierdza się, że jej celem jest zdefiniowanie i opisanie parametrów napięcia zasilającego, oraz że podane w niej wartości mają wyłącznie charakter informacyjny [2] oraz że są one typowymi prawdopodobnymi zmianami wartości parametrów i mogą być przekroczone. Ponadto niemal każde niedotrzymanie parametrów może być wytłumaczone przez dostawcę zdarzeniami wyjątkowymi, a w każdym przypadku „siłą wyższą", do której zalicza się m.in. warunki atmosferyczne. Wydaje się, że w kręgu tych zagadnień powinno dojść do głębokich przewartościowań i zmiany świadomości zarówno ze strony odbiorców jak i dostawców energii, gdyż odpowiedzialność za jej złą jakość nie może spadać jedynie na jej dostawcę, bowiem w coraz większym stopniu winni są sami odbiorcy.

Podstawową przyczyną odkształceń krzywej napięcia zasilającego są wyższe harmoniczne w prądzie pobieranym z sieci przez odbiorniki o nieliniowych charakterystykach prądowo-napięciowych. Wiele przekształtników pobiera prąd, w którym wyższe harmoniczne są niekiedy porównywalne ze składową podstawową prądu. Prądy te przepływając przez impedancję układu zasilania powodują deformację krzywej napięcia, przy czym im większy jest rząd składowej harmonicznej, tym większy jest jej wpływ na odkształcenie krzywej napięcia zasilającego od przebiegu sinusoidalnego. Ilustruje to rys. 1, na którym sieć zasilająca odwzorowana jest zastępczym źródłem prądu ***e*** oraz zastępczą impedancją $\underline{Z}_S$.



*Rysunek 1. Uproszczony schemat zasilania odbiorców, ilustrujący wpływ wyższych harmonicznych generowanych przez odbiorniki na odkształcenie napięcia zasilającego; $\underline{Z}_S$, $\underline{Z}_I$, $\underline{Z}_P$ –impedancje: sieci zasilającej oraz odbiornika z jego przekształtnikiem i instalacją, **O_1, O_2, O_3** – odbiorcy zasilani z tego samego punktu zasilania **A**, **e** – źródło prądu, **ΔU_{ks}** –spadek napięcia na impedancji sieci dla **k** – tej harmonicznej, **ΔU_k** – całkowity spadek napięcia na drodze od źródła do odbiornika dla **k** – tej harmonicznej.*

Jeśli w instalacji odbiorczej ***O1*** pobierany jest prąd odkształcony o wartości skutecznej I_{O1}:

$$I_{O1} = \sqrt{\sum_{h=1}^{n} (I_h)^2} \tag{1}$$

gdzie I_h jest wartością skuteczną prądu ***h*** – tej harmonicznej, to spadek napięcia ΔU_h dla ***h***-tej harmonicznej na drodze od źródła do odbiornika wyraża się zależnością:

$$\Delta U_h = I_h (\underline{Z}_{Sh} + \underline{Z}_{Ih} + \underline{Z}_{Ph}) \tag{2}$$

gdzie $\underline{Z}_{Sh}$, $\underline{Z}_{Ih}$, oraz $\underline{Z}_{Ph}$ - są impedancjami elementów układu (rys.1) dla ***h***-tej harmonicznej prądu.

Ten spadek napięcia rozdziela się odpowiednio na dwa spadki: ΔU_{Sh} na impedancji sieci $\underline{Z}_{Sh}$, tj. od źródła ***e*** do punktu zasilania ***A***, oraz spadek napięcia ΔU_{IPh} na zsumowanej impedancji instalacji elektrycznej $\underline{Z}_I$ i impedancji przekształtnika w tej instalacji $\underline{Z}_P$ (rys. 1). Względną wartość spadku napięcia na impedancji sieci dla harmonicznej rzędu ***h*** można zapisać jako:

$$\frac{\Delta U_{Sh}}{\Delta U_h} = \frac{|\underline{Z}|_{Sh}}{|\underline{Z}_{Sh} + \underline{Z}_{Ih} + \underline{Z}_{Ph}|} \tag{3}$$

a całkowity spadek napięcia ΔU_S wynosi:

$$\Delta U_S = \sqrt{\sum_{h=1}^{n} \Delta U_{Sh}^2} \tag{4}$$

Impedancja sieci $\underline{Z}_S$ jest zależna od jej mocy zwarciowej S_K'' i dla harmonicznej podstawowej wyraża się zależnością:

$$|\underline{Z}|_S = \frac{U_N^2}{S_K''} \tag{5}$$

gdzie U_N jest napięciem znamionowym sieci.

Przedstawione zależności ilustrują podstawowe relacje pomiędzy głębokością zakłóceń napięcia w punkcie zasilania odbiorców ***A*** a parametrami sieci zasilającej i instalacji odbiorczej wraz z odbiornikiem. Korzystne jest aby impedancja sieci X_S była możliwie niewielka w stosunku do impedancji instalacji odbiorczej $\underline{Z}_I$ i odbiornika $\underline{Z}_P$ (rys. 1). Wpływ odbiorników na odkształcenie napięcia w sieciach o dużych mocach zwarciowych jest mniej odczuwalny niż w sieciach o niewielkiej mocy zwarciowej. W konsekwencji należy stwierdzić, że na wartość niektórych parametrów określających jakość napięcia zasilającego znaczący wpływ mają odbiorcy, niekiedy nawet większy niż wytwórcy czy dostawcy energii. Zależy to w znacznym stopniu od parametrów i stanu instalacji odbiorczej. Stąd jednym z czynników mających wpływ na parametry dostarczanej energii, zwłaszcza w budownictwie mieszkaniowym, jest stan techniczny instalacji. Dotyczy to w szczególności odbiorców w budynkach wielorodzinnych, gdzie zakłócenia spowodowane przez jednych odbiorców mają bezpośredni wpływ na jakość zasilania innych, podłączonych do tej samej czy sąsiedniej wewnętrznej linii zasilającej budynku. Zagadnienia te nabierają szczególnego znaczenia w instalacjach sprzed 20-30 lat, wykonanych przewodami o żyłach aluminiowych w układzie sieci TN-C.

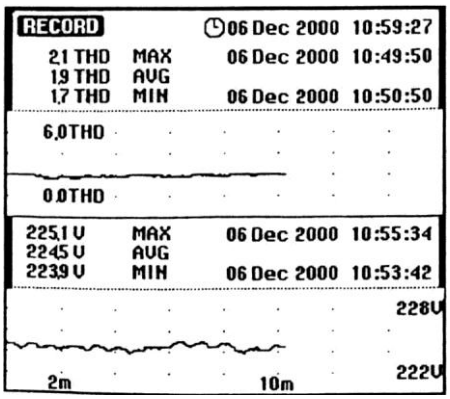
Wpływ odchyleń wybranych parametrów napięcia zasilającego na pracę odbiorników energii elektrycznej

Zmiany napięcia zasilającego (odchylenia napięcia)

Zmiany napięcia to zwiększenie lub zmniejszenie się wartości skutecznej napięcia spowodowane zazwyczaj zmianą obciążenia sieci rozdzielczej lub jej części. Zmiany napięcia są ujęte ilościowo [1] jako średnie wartości skuteczne napięcia mierzone w odcinkach 10-cio minutowych $U_{śr\ 10}$, przy czym wymaga się, aby w normalnych warunkach pracy, wyłączając przerwy w zasilaniu, w każdym tygodniu 95% ze zbioru tych 10-cio minutowych pomiarów mieściło się w przedziale U_N ±10%:

$$\frac{95\% z \left| U_{śr10} - U_N \right|}{U_N} 100\% \leq 10\% \qquad (6)$$

Przykładowy oscylogram pomiaru zmian wartości napięcia w 10-cio minutowym odcinku czasu w rozdzielni głównej niewielkiego zakładu przemysłowego, użyteczny w obliczeniu zależności (6), przedstawiono na rys. 2.



Rysunek 2. Przykładowe oscylogramy pomiaru całkowitego współczynnika odkształcenia napięcia ***THD$_U$*** *oraz zmian napięcia zasilającego w 10-cio minutowym odcinku czasu w instalacji niewielkiego zakładu przemysłowego.*

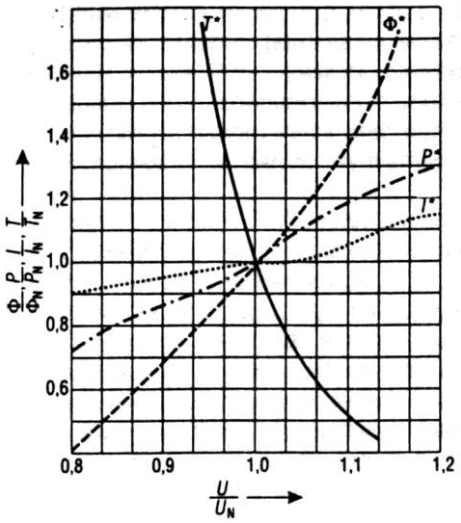
Zmiany napięcia zasilającego można w zasadzie utożsamiać ze spotykanym w literaturze [3] określeniem „odchylenie napięcia" $\delta U_{\%}$:

$$\delta U_{\%} = \frac{\left| U - U_N \right|}{U_N} 100\% \qquad (7)$$

przy czym pojęcie to dotyczy zmian napięcia dokonujących się wolniej niż 0,02 U_N na sekundę, czyli wolniej niż 4,6 V/s w sieci o napięciu znamionowym 230 V.

Do oceny wpływu zmian napięcia zasilającego na pracę odbiorników elektrycznych wykorzystuje się zależności matematyczne określające relacje pomiędzy wartościami poszczególnych wielkości fizycznych (parametrów odbiorników) a napięciem lub odpowiednie charakterystyki napięciowe w postaci wykresów przedstawiających zmiany podstawowych parametrów odbiorników od zmian wartości napięcia na jego zaciskach. Charakterystyki napięciowe umożliwiają ustalenie, przy przyjęciu określonych założeń, granicznych dopuszczalnych zmian napięcia ze względu na techniczne warunki pracy odbiorników. Ustalenie strat gospodarczych wynikłych ze zmian napięcia jest z reguły znacznie trudniejsze, wymaga bowiem uwzględnienia czynnika czasu, rodzaju i kosztów poniesionych strat gospodarczych.

Odbiorniki oświetleniowe są szczególnie wrażliwe na zmiany napięcia. Strumień świetlny żarówek zasilanych napięciem U jest równy (rys. 3)



*Rysunek 3. Charakterystyki napięciowe wzglednych zmian strumienia świetlnego ϕ, trwałości **T,** mocy **P** oraz prądu **J** zarówek gazowanych.*

$$\phi_u = \phi_N \left(\frac{U}{U_N} \right)^{3,6} \tag{8}$$

a lamp wyładowczych

$$\phi_u = \phi_N \left(\frac{U}{U_N} \right)^{1,8} \tag{9}$$

gdzie Φ_N - to strumień świetlny przy napięciu znamionowym U_N.

Z kolei trwałość żarówek

$$T_U = T_N \left(\frac{U}{U_N} \right)^{-14} \tag{10}$$

gdzie T_N to trwałość znamionowa równa zazwyczaj 1000 godzin.
Trwałość lamp wyładowczych zależy głównie od liczby załączeń i jedynie w niewielkim stopniu zależy od wartości napięcia zasilającego.

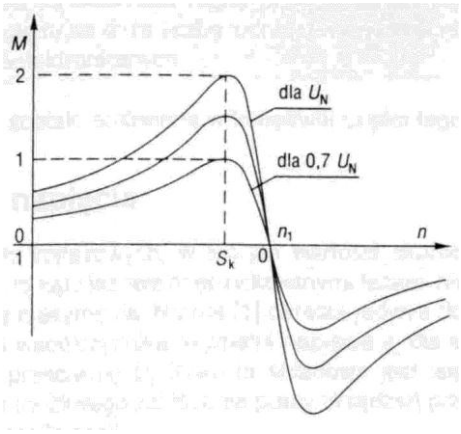
Z przedstawionych zależności wynika, że przy dodatnich odchyleniach napięcia zyskuje się znacznie na skuteczności świetlnej odbiorników oświetleniowych lecz w przypadku żarówek ich trwałość zostaje bardzo znacznie obniżona. Trwałe dodatnie odchylenie napięcia o 5% powoduje skrócenie czasu pracy żarówki prawie do połowy trwałości znamionowej. Ogólnie można stwierdzić, że trwałe 3-4 procentowe dodatnie odchylenie napięcia nie wywoła znaczących negatywnych skutków na pracę odbiorników oświetleniowych.

Ujemne odchylenie napięcia może powodować niestabilną pracę lamp wyładowczych oraz niemożliwość ich uruchomienia. Krótkotrwały bo nawet 1-2 sekundowy zanik napięcia lub nawet jedynie nieznaczne obniżenie się napięcia może spowodować przerwanie procesu wyładowania w lampie i zanik świecenia, co w przypadku lamp rtęciowych powoduje długotrwałą, bo nawet kilkuminutową przerwę w pracy (świeceniu) lampy.

Praca silników [4] przy zmianach napięcia ulega umiarkowanym zakłóceniom (rys. 4, tabela 1). Dopiero przy znacznych odchyleniach, szczególnie ujemnych, przekraczających 10%, może dochodzić do nieprawidłowej pracy silników objawiającej się różnymi skutkami, głównie jednak przetężeniem i nadmiernym przyrostem temperatury. Mogą wystąpić również trudności podczas rozruchu silników. Przy rozruchu ciężkim granica zadowalająco prawidłowego rozruchu występuje jeszcze przy 0,85 napięcia znamionowego, a przy rozruchach lekkich nawet przy 0,7 U_N.

Tabela 1. Wpływ odchyleń napięcia od wartości znamionowej na niektóre parametry silników indukcyjnych obciążonych mocą znamionową.

Wielkość	**Zmiana wartości przy odchyleniu napięcia o:**	
	-10%	**+10%**
Moment rozruchowy maksymalny oraz rozruchowy	-19%	+21%
Prędkość obrotowa	-1,5%	+1%
Sprawność	-2%	+(0,5÷1)%
Współczynnik mocy	+0,01	-0,03
Prąd stojana	+11%	-7%
Przyrost temperatury uzwojenia stojana	+(6÷7)%	-(3÷4)%



Rysunek 4. Wpływ zmiany napięcia zasilania na przebieg charakterystyki momentu silnika asynchronicznego.

Urządzenia elektrotermiczne [5] to bardzo liczna grupa odbiorników o przeznaczeniu zarówno przemysłowym jak i komunalnym o mocach od dziesiątków watów do wielu megawatów, przetwarzających energię elektryczną na ciepło. Urządzenia te działają w oparciu o różne zasady przemiany energii (urządzenia oporowe, indukcyjne, elektrodowe, łukowe, pojemnościowe i in.), a mimo to we wszystkich z nich najważniejszy parametr, jakim jest moc grzejna, jest proporcjonalny do kwadratu napięcia zasilającego.

Długotrwałe ujemne odchylenie napięcia zmniejsza wydajność urządzenia, a przez to wydłuża proces nagrzewania wsadu, co może z kolei powodować zakłócenia całego procesu technologicznego, a w skrajnym przypadku jego przerwanie. Długotrwałe dodatnie odchylenie napięcia powoduje z kolei nadmiernie duże wydzielanie się ciepła, co może być kompensowane nadmiernie częstym działaniem urządzeń regulacyjnych, a przy braku takich urządzeń spowoduje nagrzanie komory grzejnej oraz wsadu do zbyt wysokiej temperatury. Dodatkowym istotnym skutkiem jest znacznie szybsze zużywanie się urządzenia wskutek nagrzewania się elementów grzejnych, izolacji cieplnej i całego urządzenia do zbyt wysokiej temperatury. W sieciach przemysłowych zasilających urządzenia grzejne, może być utrzymywane długotrwale, bez negatywnych skutków, napięcie do 5% wyższe od napięcia znamionowego [5].

Odbiornikami szczególnie wrażliwymi na odchylenia napięcia są kondensatory, chociaż podobnie jak i w innych odbiornikach moc kondensatorów zależy od kwadratu napięcia. Negatywne skutki tego zjawiska są jednak bardziej znaczące aniżeli w innych odbiornikach [5].

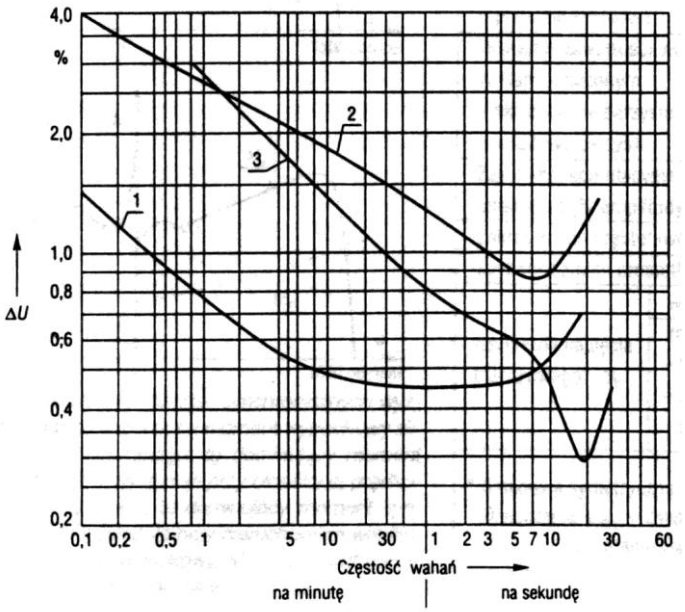
Ujemne odchylenie napięcia powoduje zmniejszenie mocy biernej indukcyjnej generowanej do sieci przez kondensatory, co w przypadku baterii kondensatorowych nie dysponujących nadmiarem mocy spowoduje pogorszenie warunków napięciowych w sieci ze wszystkimi innymi negatywnymi skutkami. Z kolei dodatnie odchylenie napięcia powoduje zwiększenie mocy generowanej przez poszczególne jednostki kondensatorowe oraz zwiększenie strat mocy czynnej i podwyższenie się temperatury, co powoduje przyśpieszenie procesów starzeniowych, znacznie intensywniejsze aniżeli w innych typach odbiorników.

Szybkie zmiany i zapady napięcia zasilającego (wahania napięcia)

Szybkie zmiany napięcia [1], to pojedyncze, szybkie zmiany wartości skutecznej napięcia pomiędzy dwoma jego kolejnymi poziomami, które utrzymują się przez skończony, lecz nieokreślony przedział czasu i które w normalnych warunkach pracy nie przekraczają 5% U_N, przy czym w pewnych okolicznościach, nie więcej niż kilka razy w ciągu dnia dopuszcza się zmiany do 10% U_N. Zmiany te są na ogół spowodowane nagłymi wahaniami obciążenia w instalacjach odbiorczych lub procesami łączeniowymi w sieci zasilającej. Innym pojęciem związanym z szybkimi zmianami napięcia jest uciążliwość migotania światła, rozumiana jako poziom dyskomfortu spowodowanego migotaniem światła. Jest to wrażenie subiektywne, zależne od wrażliwości oka ludzkiego, a szczegółowe ilościowe określenie tego parametru jest opisane w normie [1]. Zapady napięcia zasilającego [1], to nagłe zmniejszenie się wartości skutecznej napięcia do wartości zawartej w przedziale od 90% do 1% U_N, po którym w krótkim czasie następuje wzrost napięcia do poprzedniej wartości. Przyczyną występowania zapadów napięcia są zwykle zwarcia występujące w instalacjach odbiorczych bądź w sieci rozdzielczej. W normalnych warunkach pracy oczekiwana, roczna liczba zapadów napięcia może wynosić od kilkudziesięciu do jednego tysiąca. Czas trwania zapadu wynosi od 10 ms do 1 minuty, lecz większość z nich charakteryzuje się czasem trwania krótszym niż 1 sekunda i głębokością mniejszą niż 60% U_N. Możliwe jest jednak wystąpienie zapadów głębszych, o dłuższym czasie trwania. W sieciach zasilających o niskich wartościach mocy zwarciowych konsekwencją łączenia większych odbiorników mogą być zapady napięcia o głębokości od 10% do 50% U_N. W niektórych pozycjach literatury [3] szybkie zmiany napięcia oraz zapady nazywane są wahaniami napięcia, których głębokość określana jest również z zależności (7), lecz w odróżnieniu od odchyleń napięcia szybkość zmian napięcia jest w tym przypadku większa niż 0,02 U_N na sekundę.

Najbardziej odczuwalne dla człowieka skutki szybkich zmian i zapadów napięcia zasilającego dotyczą odbiorników oświetleniowych, w szczególności inkandescencyjnych źródeł światła (żarówek). Szybkie zmiany napięcia powodują równie szybkie zmiany skuteczności świetlnej (strumienia świetlnego), co powoduje migotanie światła. Przy pewnej częstości zmian i amplitudzie zmian wywołuje to u ludzi zdenerwowanie przeradzające się z czasem w niemożliwość wykonywania prac wymagających spostrzegania przedmiotów o małych wymiarach nie kontrastujących z tłem.

Badania skutków wahań napięcia w odniesieniu do lamp żarowych pozwoliły wyznaczyć granice charakterystycznych oddziaływań na psychikę człowieka (rys. 5). Wahania o amplitudzie i częstości zawierających się pod krzywą 1 są w zasadzie niezauważalne dla człowieka, a zatem dopuszczalne. Natomiast obszar zakłóceń znajdujących się ponad krzywą 2 to obszar zmian wywołujących podrażnienie u ludzi i ograniczoną możliwość pracy przy takim oświetleniu, a zatem nie powinien on występować [5].



Rysunek 5. Wpływ wahań napięcia w instalacjach oświetleniowych na wrażenia wzrokowe; 1-odczuwalność migotania oświetlenia, 2-granica zdenerwowania, 3-wartości graniczne dopuszczalne wg [6].

Obszar pomiędzy krzywymi 1 i 2 wyznacza zmiany wprawdzie odczuwalne lecz nie ograniczające możliwości pracy. Największa wrażliwość ludzi na migotanie światła zawiera się w granicach częstości 2-8 na sekundę. Krzywa 3 wyznacza graniczne dopuszczalne amplitudy i częstości wahań napięcia zasilającego ustalone przez CENELEC.

Mniej zauważalne, ale wywołujące negatywne skutki, są wahania napięcia w sieci zasilającej silniki elektryczne. Każdorazowa szybka zmiana napięcia powoduje zmianę charakterystyki momentów napędowych silników, co przy stałej wartości momentu hamującego wytwarzanego przez napędzany zespół urządzeń powoduje niestabilną pracę całego układu napędowego, gdyż każdorazowo występuje przyśpieszenie lub spowolnienie prędkości kątowej wirnika silnika i sprzężonego z nim urządzenia. Powoduje to drgania całego zespołu. Długotrwała praca silnika w warunkach występowania częstych wahań napięcia o znacznej amplitudzie powoduje przyśpieszone zużywanie się zarówno silnika, jak i napędzanych nim maszyn.

Zdecydowana większość odbiorników grzejnych, poza niektórymi o najnowszej technologii (plazmowe, laserowe itp.) są przeważnie mało wrażliwe na wahania napięcia, chociaż część z nich (urządzenia łukowe, indukcyjne) same mogą być źródłem takich zakłóceń.

Urządzeniami szczególnie wrażliwymi na szybkie zmiany i zapady napięcia są natomiast różnorodne przekształtniki prądu i napięcia ze względu na dużą liczbę zainstalowanych w nich urządzeń energoelektronicznych. Zagadnienie to zostało omówione całościowo w końcowej części tego punktu.

Niesymetria napięcia

Niesymetria napięcia to stan w sieciach trójfazowych, w którym wartości skuteczne napięć fazowych lub kąty fazowe między kolejnymi fazami nie są równe. Norma [1] określa jedynie dopuszczalne wartości współczynnika asymetrii napięcia ε_u dla składowej kolejności przeciwnej U_2,:

$$\varepsilon_u = \frac{U_2}{U_1} \tag{11}$$

ponieważ tylko ta składowa jest istotna z punktu widzenia możliwego zakłócenia pracy urządzeń przyłączonych do sieci zasilającej. W normalnych warunkach pracy, w ciągu każdego tygodnia, 95% ze zbioru 10-cio minutowych, średnich wartości skutecznych składowej symetrycznej kolejności przeciwnej napięcia zasilającego powinno mieścić się w przedziale od zera do 2% wartości składowej kolejności zgodnej. Jedynie w sieciach, w których instalacje odbiorcze przyłączone są częściowo jednofazowo lub między dwie fazy, niesymetria w napięciu zasilającym trójfazowym może osiągnąć wartość do 3%.

Niesymetria napięć i prądów w układzie trójfazowym wpływa niekorzystnie na pracę sieci i przyłączonych od niej odbiorników i to zarówno trój- jak i jednofazowych. Dotyczy to szczególnie silników elektrycznych, gdyż powoduje dodatkowy przyrost temperatury uzwojeń oraz powstanie przeciwnie skierowanego momentu pomniejszającego moment użyteczny. Ponieważ impedancja silników dla składowej przeciwnej prądu jest nawet kilkakrotnie mniejsza od impedancji dla składowej symetrycznej zgodnej, to nawet niewielka zawartość składowej przeciwnej napięcia powoduje kilkakrotnie większy przyrost prądu składowej przeciwnej, co wywołuje dodatkowy przyrost temperatury, a przez to nawet bardzo znaczne skrócenie czasu pracy maszyny. Zmniejszenie momentu użytecznego maszyny zależy w przybliżeniu od kwadratu współczynnika asymetrii. Negatywne skutki cieplne i mechaniczne mogą w znacznym stopniu ograniczyć możliwość pełnego wykorzystania danych znamionowych silników w warunkach występowania znacznych asymetrii układu zasilania.

Niesymetria napięć układu trójfazowego wpływa niekorzystnie, w różnym stopniu, również na pracę wszystkich innych odbiorników trójfazowych. Również odbiorniki jednofazowe zasilane z układu trójfazowego niesymetrycznego pozostają w niekorzystnych warunkach pracy. Część z nich pracuje bowiem przy napięciu wyższym, a część przy napięciu niższym od znamionowego ze wszystkimi wypływającymi stąd konsekwencjami.

Zawartość harmonicznych w przebiegu napięcia zasilającego

Zawartość harmonicznych w przebiegu napięcia zasilającego charakteryzowana jest w dwojaki sposób [1]: Indywidualnie, przez względną wartość napięcia danej harmonicznej rzędu ***h***, obliczoną jako stosunek wartości skutecznej napięcia tej harmonicznej U_h, do napięcia składowej podstawowej U_1 lub do napięcia znamionowego sieci U_N. W normalnych warunkach pracy [1] w ciągu każdego tygodnia, 95% ze zbioru 10-cio minutowych średnich wartości skutecznych dla każdej harmonicznej napięcia nie powinno przekraczać wartości podanych w tabeli 2. Norma [1] nie podaje dopuszczalnych wartości harmonicznych o rzędach większych niż 25 ponieważ są one zwykle małe i w dużym stopniu niemożliwe do przewidzenia ze względu na efekty rezonansowe.

Łącznie, przez całkowity współczynnik odkształcenia harmonicznymi THD_U *(total harmonic distortion)*, obliczany zgodnie z wyrażeniem:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{n} (U_h)^2}}{U_1}, \qquad (12)$$

uwzględniający wszystkie harmoniczne aż do rzędu ***h***=40. Powinien on być mniejszy lub równy 8% [1]. Niekiedy zawartość wyższych harmonicznych jest odnoszona do wartości skutecznej napięcia znamionowego U_N, co w praktyce nie daje istotnych różnic ilościowych w porównaniu z zależnością (12).

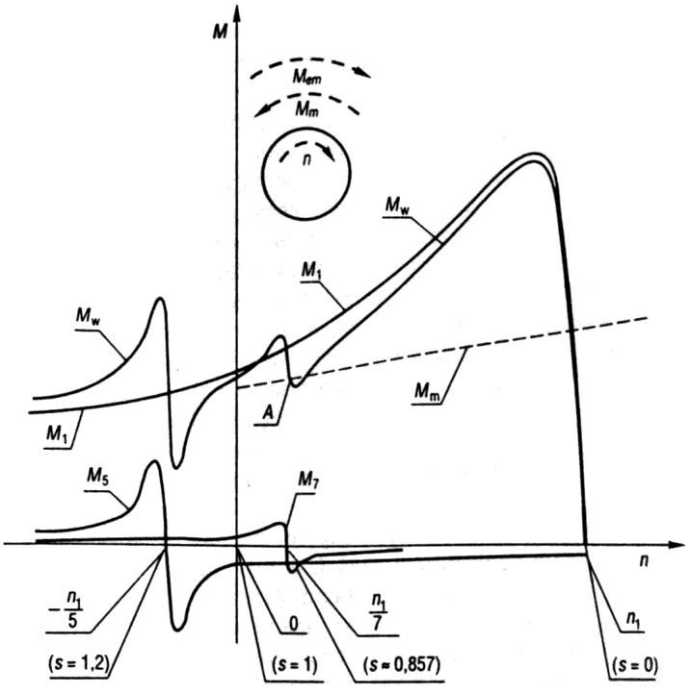
Tabela 2. Dopuszczalne wartości skuteczne Uh napięcia poszczególnych harmonicznych rzędu h mierzone w złączu instalacji elektrycznej, wyrażone w procentach napięcia UN [1].

harmoniczne nieparzyste				**harmoniczne parzyste**	
nie będące krotnością 3		**będące krotnością 3**			
rząd *h*	U_h/U_N	**rząd *h***	U_h/U_N	**rząd *h***	U_h/U_N
5	6%	3	5%	2	2%
7	5%	9	1,5%	4	1%
11	3,5%	15	0,5%	6÷24	0,5%
13	3%	21	0,5%		
17	2%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

Przykładowy oscylogram zmian współczynnika THD_U mierzonego w rozdzielni głównej niewielkiego zakładu przemysłowego w 10-cio minutowym odcinku czasowym przedstawiono na rys. 2.

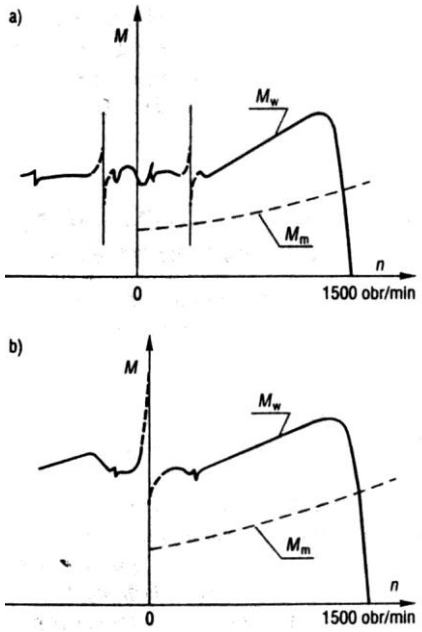
Rozróżnia się momenty pasożytnicze asynchroniczne i synchroniczne (rys. 6 i 7).

Momenty asynchroniczne powstają przy dowolnej prędkości silnika z wyjątkiem prędkości synchronicznej w wyniku wzajemnego oddziaływania przepływów odpowiadających sobie harmonicznych stojana i wirnika pozostających nieruchomo względem siebie przy dowolnej prędkości kątowej wirnika. Wartości momentów pasożytniczych mogą być zgodne lub przeciwne do momentu podstawowego pierwszej harmonicznej (rys. 6).



Rysunek 6. Wpływ momentów asynchronicznych wyższych harmonicznych na przebieg charakterystyki maszyny asynchronicznej; ***M_1, M_5, M_7*** *– momenty składowe 1, 5 i 7 harmonicznej;* ***M_W*** *– moment wypadkowy,* ***$M_{m.}$*** *– moment obciążenia mechanicznego na wale silnika.*

Charakterystyka momentu wypadkowego ma w pobliżu s = 1 (maszyna unieruchomiona) „siodła", co może uniemożliwiać rozruch silnika, jeżeli moment obciążenia M_m będzie większy od momentu M_{em} występującego w siodle. W takim przypadku silnik osiągnie niewielką prędkość i przy tej niewielkiej prędkości pozostanie (rys. 6). Moment synchroniczny występuje jedynie przy pewnej prędkości kątowej wirnika w wyniku wzajemnego oddziaływania na siebie przepływów stojana i wirnika pozostających przy pewnej prędkości kątowej nieruchomo względem siebie. Moment synchroniczny objawia się w postaci charakterystycznego ostrza na krzywej momentu wypadkowego (rys. 7). Momenty pasożytnicze mogą powodować silne drgania i intensywny hałas co utrudnia, a może nawet uniemożliwić pracę maszyny.



Rysunek 7. Wpływ momentów synchronicznych wyższych harmonicznych na przebieg charakterystyki maszyny asynchronicznej; ***$M_{m.}$*** *– moment obciążenia mechanicznego na wale silnika.*

Impedancje kondensatorów dla h-tej harmonicznej prądu są h razy mniejsze niż dla częstotliwości podstawowej. Powoduje to, że udział prądu h-tej harmonicznej w prądzie wypadkowym jest h razy większy niż udział tej harmonicznej w napięciu zasilającym. Powoduje to z kolei intensywne nagrzewanie się kondensatorów, nawet jeżeli są one zasilane napięciem nie wyższym od znamionowego lecz odkształconym nawet w umiarkowanym stopniu. Konsekwencją jest przyśpieszone zużywanie się izolacji prowadzące do uszkodzenia kondensatora.

Wyższe harmoniczne w napięciu zasilającym są niekorzystne również dla większości innych odbiorników, gdyż powodują dodatkowe straty mocy czynnej oraz straty dielektryczne powodujące nadmierne nagrzanie się urządzeń, migotanie światła w lampach wyładowczych, nieselektywne działanie niektórych zabezpieczeń oraz różne inne negatywne skutki.

Zmiany częstotliwości napięcia zasilającego.

W normalnych warunkach pracy wartość średnia częstotliwości mierzonej przez 10 sekund w sieciach pracujących synchronicznie z systemem elektroenergetycznym powinna być zawarta w przedziale [1]:

- 50 Hz ±1%,tj. od 49,5 do 50,5 Hz, przez 95% tygodnia,
- 50 Hz ±4%,tj. od 47 do 52 Hz, przez 100% tygodnia.

Zmiany częstotliwości nie mają wpływu na pracę odbiorników rezystancyjnych. Wpływają natomiast w sposób przeważnie umiarkowany, w zakresie niewielkich zmian częstotliwości, na pracę odbiorników reaktancyjnych zarówno indukcyjnych jak i pojemnościowych. Zmiany częstotliwości w zakresie ± 0,2 Hz nie powodują zauważalnych negatywnych zmian w pracy większości odbiorników energii elektrycznej.

Wpływ odchyleń parametrów napięcia na pracę przekształtników energoelektronicznych.

Urządzeniami elektrycznymi szczególnie wrażliwymi na odstępstwa od znamionowych warunków zasilania są różnego rodzaju przekształtniki energoelektroniczne, które jednocześnie same wnoszą znaczne zakłócenia do układu zasilania. W odniesieniu do przekształtników ustala się przeważnie wpływ jednoczesnego oddziaływania różnych parametrów napięcia zasilającego i ustala pewien zestaw dopuszczalnych odchyleń parametrów napięcia od wartości znamionowych dla urządzeń o różnych klasach odporności, przy których są jeszcze spełnione wymagania dotyczące ich poprawnej pracy.

Przekształtniki wykonuje się w trzech klasach odporności na zmiany i zniekształcenia występujące w sieci zasilającej (tabela 3), spełniających warunki kompatybilności z tymi sieciami. Deformacje napięcia zasilającego i prądu większe od ustalonych w tabeli 3 mogą powodować:

- zmianę właściwości przekształtnika, polegającą np. na zmniejszeniu dopuszczalnej mocy wyjściowej – skutek F,
- przerwę w pracy na skutek zadziałania zabezpieczeń, przy czym ponowne załączenie po ustaleniu zakłócenia może być samoczynne lub w wyniku działania obsługi – skutek T,
- trwałe uszkodzenie przekształtnika lub zniszczenie niektórych jego elementów na skutek przepięcia – skutek D.

Przekształtniki powinny być odporne („dopasowane”) do występujących zmian i odkształcenia napięcia zasilającego.

Tabela 3. Klasy odporności przekształtników sieciowych wg PN-IEC 146-1-1.

ZMIANY NAPIĘCIA I CZĘSTOTLIWOŚCI LINII ZASILAJĄCEJ		Klasa odporności			Możliwy skutek
		A	B	C	
Zmiany napięcia w stanie ustalonym, %		+10/-10	+10/-10	+10/-5	F
Krótkotrwałe zmiany napięcia (0,5÷30 okresów), %; praca do wartości znamionowych U_{dN}, I_{dN} [1)] • praca prostownikowa • praca falownikowa		+15/-15 +15/-15	+15/-10 +15/-10	+15/-10 +15/-7,5	T T
Wskaźnik zawartości wyższych harmonicznych w stanie ustalonym: • składowe nieparzyste • składowe parzyste		12,5 2	5 2	2,5 1	F F
Załamania komutacyjne w stanie ustalonym: • głębokość (w % amplitudy U_{LWM}) [2)]		100	40	20	T
Zakres zmian częstotliwości, %		+2/-2	+2/-2	+1/-1	F
Szybkość zmian częstotliwości, %		+2/-2	+1/-1	+1/-1	F
Asymetria napięcia trójfazowego [3)], %	w stanie ustalonym	5	5	2	T
	zmiany krótkotrwałe: • tylko praca prostownikowa • praca prostownikowa i falownikowa	5 5	5 5	3 2	T T

[1)] Znamionowe napięcie wyprostowane (U_{dN}) i znamionowy prąd wyprostowany (I_{dN})

[2)] U_{LWM} – maksymalna wartość chwilowa napięcia międzyprzewodowego po stronie zasilania wyłączając przepięcia przejściowe

[3)] Składowa symetryczna przeciwna podawana w procentach składowej symetrycznej zgodnej

Wymagania klasy A należy odnosić do urządzeń pracujących w szczególnie niekorzystnych warunkach zasilania, występujących np. przy zasilaniu wielu urządzeń z jednego transformatora o stosunkowo niewielkiej mocy znamionowej lub z sieci autonomicznych, zasilanych z zespołów prądotwórczych o małej mocy zwarciowej. Urządzenia (przekształtniki) o klasie odporności A należy instalować również w sieciach, w których prawdopodobieństwo przekroczenia warunków zasilania odpowiadających klasie B i C jest wprawdzie niewielkie, ale negatywne skutki tego zdarzenia mogłyby być szczególnie duże. Niekiedy zasadne jest zainstalowanie dodatkowych urządzeń poprawiających warunki zasilania, takich jak ograniczniki przepięć, filtry wyższych harmonicznych i inne.

Przekształtniki odpowiadające wymaganiom klasy C mogą być instalowane w sieciach o dużych wartościach mocy zwarciowej w stosunku do mocy przekształtnika, rzędu 50 i więcej, w których nie występują nagłe zmiany obciążenia.

Koszty wytworzenia przekształtnika o zwiększonej odporności na zakłócenia w sieci zasilającej (klasy A) są znacznie większe aniżeli przekształtników o porównywalnych innych parametrach lecz o niższej odporności na zakłócenia (klasy B i C)

Niektóre wymagania dotyczące sposobu wykonania instalacji elektrycznych ze względu niezawodność zasilania

Niezawodność zasilania odbiorców związana jest z występowaniem **przerw w zasilaniu.** Przerwa w zasilaniu [1] to stan, gdy napięcie w złączu instalacji elektrycznej jest mniejsze od 1% napięcia znamionowego U_N. Rozróżnia się:

- przerwy planowe, gdy odbiorcy są wcześniej poinformowani i których celem jest wykonanie określonych, zaplanowanych prac w sieci,
- przerwy przypadkowe, spowodowane głównie zwarciami lub zdarzeniami zewnętrznymi powodującymi zakłócenia w pracy sieci lub uszkodzenia jej elementów.

Przypadkowe przerwy w zasilaniu dzielą się na:

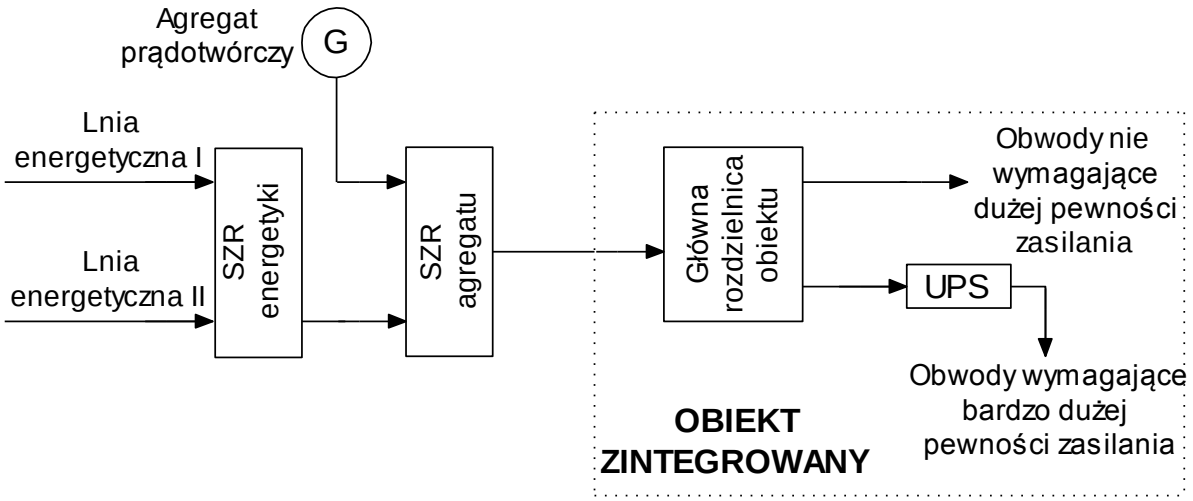
- Krótkie przerwy w zasilaniu, które są spowodowane uszkodzeniem przemijającym i których czas trwania nie przekracza 3 minut. W normalnych warunkach pracy sieci roczna liczba krótkich przerw w zasilaniu mieści się w przedziale od kilkudziesięciu do kilkuset. Czas trwania około 70% z nich jest krótszy niż 1 sekunda.
- Długie przerwy w zasilaniu, które są zwykle spowodowane trwałym uszkodzeniem i których czas trwania przekracza 3 minuty. Częstość i czas trwania długich przerw w zasilaniu są uzależnione od zdarzeń zewnętrznych lub działań, które są trudne do przewidzenia i którym dostawca energii najczęściej nie jest w stanie zapobiec. Zdarzenia te zależą od szeregu czynników, takich jak np.: konfiguracja i struktura sieci zasilającej, nieprzewidywalne skutki działań osób trzecich, warunki atmosferyczne specyficzne dla danego terenu. Stąd też nie podaje się typowych wartości rocznej częstości i czasu trwania długich przerw w zasilaniu.

Układy zasilania

Zasilanie odbiorników elektrycznych zainstalowanych w dowolnym obiekcie budowlanym powinno dokonywać się w sposób ciągły, przy czym skutki przerw i złej jakości energii zależą od rodzaju zainstalowanych odbiorników, od uciążliwości po całkowity chaos i zagrożenie życia oraz duże straty materialne w budynkach tzw. „inteligentnych", w budynkach wysokich oraz użyteczności publicznej (szpitale, domy handlowe, banki itp.). Rozporządzenie [7] wymaga, aby takie budynki były zasilane z co najmniej dwóch niezależnych źródeł, z automatyką samoczynnego załączenia rezerwy, przy czym jednym ze źródeł powinien być agregat prądotwórczy. Większość budynków mieszkalnych, również tych wysokich, jest zasilana z jednego źródła. O ile jeszcze niektóre z budynków wysokich mają drugie, nie zawsze jednak sprawne źródło zasilania, z jeszcze rzadszą sprawną automatyką zasilania rezerwy, to już zupełnym wyjątkiem jest agregat prądotwórczy.

Na rys. 8 przedstawiono sposób działania instalacji elektrycznej w budynku o bardzo dużych wymaganiach dotyczących pewności zasilania. Budynek jest zasilany dwiema niezależnymi liniami sieci rozdzielczej wyposażonymi w automatykę samoczynnego załączania rezerwy SZR, przełączającej zasilanie na rezerwowe w przypadku zaniku lub dużego obniżenia się napięcia w linii zasilania podstawowego. Jest ponadto agregat prądotwórczy, również z automatyką SZR włączający się samoczynnie w przypadku braku lub znacznego obniżenia się napięcia w obydwu liniach zasilających. Agregat powinien pozostawać w stanie dużej gotowości ruchowej, co zapewnia się m.in. przez stałe podgrzewanie zespołu napędowego, dzięki czemu może on w bardzo krótkim czasie, rzędu pojedynczych sekund, przejąć obciążenie zbliżone do obciążenia znamionowego agregatu.

Zasilanie z trzech niezależnych źródeł jest w zasadzie wystarczające nawet w odniesieniu do odbiorników wymagających najwyższej pewności zasilania. W niektórych obiektach mogą jednak występować układy i odbiorniki, dla których nawet to nie jest zadowalająco dobre, bo mogą tu jednak występować wprawdzie bardzo krótkie, bo trwające ułamki sekundy, ale niedopuszczalne przerwy w zasilaniu. Dotyczy to przede wszystkim zasilania niektórych komputerów oraz ogólnie wielu urządzeń techniki informatycznej. Wymagają one ponadto stałej wartości napięcia zasilającego. Dlatego też takie obwody i odbiorniki są zasilane poprzez urządzenia bezprzerwowego zasilania oznaczane jako UPS (*Uninterruptable Power Supply*). Niezależnie od konstrukcji urządzenia napięcie na wyjściu UPS-u powinno być napięciem stabilizowanym.



Rysunek. 8. Przykład zasilania obiektu zintegrowanego.

Zabezpieczenia przetężeniowe

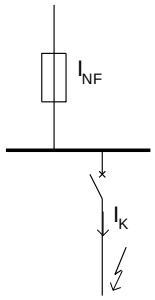
Instalacje elektryczne w budynkach mieszkalnych, użyteczności publicznej i dowolnych innych wykonuje się zazwyczaj w układach promieniowych, kilkustopniowych, w których występuje kilka zabezpieczeń przetężeniowych połączonych szeregowo. Zabezpieczenia te instaluje się na początku każdej z linii lub obwodu w miejscach, gdzie zmniejsza się przekrój przewodów. W przypadku zwarcia w dalszej części obwodu prąd zwarciowy o tej samej wartości przepływa przez kilka urządzeń zabezpieczających. Urządzenia te powinny działać w sposób selektywny, tzn. w razie różnych zakłóceń wywołujących przetężenie powinno działać tylko jedno zabezpieczenie, zainstalowane najbliżej miejsca uszkodzenia w kierunku źródła zasilania [8-10]. Działanie zabezpieczenia powinno wyeliminować uszkodzone urządzenie lub fragment obwodu, zachowując ciągłość zasilania urządzeń i obwodów nieuszkodzonych. Jest to warunek nie podlegający dyskusji, wynikający z wymogów zarówno technicznych jak i niezawodności zasilania. Niespełnienie tego warunku powoduje, że zwiększa się w sposób nieuzasadniony zarówno liczba przypadkowych przerw w zasilaniu poszczególnych obwodów i odbiorników oraz wydłużają się czasy trwania przerw powodowanych działaniem zabezpieczeń przetężeniowych.

Warunki selektywnego działania zabezpieczeń przetężeniowych zostały bliżej omówione w pracach [8-10], dlatego ograniczono się tu jedynie do podkreślenia związku tego zagadnienia z jakością energii i niezawodnością jej dostawy. Spełnienie warunków selektywności może w praktyce napotkać na duże trudności, i zagadnienie to wymaga innego niż dotychczas podejścia do zasad doboru zabezpieczeń przetężeniowych i przekrojów (obciążalności) przewodów. Dotyczy to przede wszystkim instalacji o dużych i bardzo dużych wartościach prądów zwarciowych i stosowania wyłączników w obwodach odbiorczych oraz bezpieczników jako zabezpieczeń przedlicznikowych i wewnętrznych linii zasilających (WLZ). Prądy znamionowe wkładek bezpiecznikowych powinny być dobrane z uwzględnieniem typu i danych znamionowych wyłączników w obwodach odbiorczych oraz wartości prądu zwarciowego (tabela 4).

Przykładowo jeżeli w obwodzie odbiorczym zastosowano wyłączniki instalacyjne S190B o prądzie znamionowym 16 A, to prądy znamionowe wkładek bezpiecznikowych typu gG (zwłocznych) w zabezpieczeniu przedlicznikowym powinny równe być co najmniej (tabela 4):

- 35 A przy prądzie zwarciowym o wartości nie przekraczającej 1,4 kA,
- 50 A przy prądzie zwarciowym o wartości nie przekraczającej 2,2 kA,
- 63 A przy prądzie zwarciowym o wartości nie przekraczającej 3,1 kA.

Tabela 4. Największe wartości prądów zwarciowych w kA, przy których spełnione są jeszcze warunki selektywnego działania zabezpieczeń zwarciowych o układzie bezpiecznik-wyłącznik instalacyjny typu S190B.

I_{NW} [A]	I_{NF}								Układ połączeń
	25	**35**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	
6	1,0	1,7	3,0	3,5	6	6	6	6	
10	0,78	1,4	2,7	3,3	6	6	6	6	
13	0,74	1,4	2,2	3,1	5,5	6	6	6	
16	0,68	1,4	2,2	3,1	4,5	6	6	6	
20	0,65	1,28	2,1	2,9	3,8	6	6	6	
25		1,23	1,9	2,9	3,2	6	6	6	
32			1,84	2,85	2,8	5	6	6	
40				2,7	2,4	4	6	6	
50						4	6	6	
63	Prąd zwarcia w kA					4	6	6	

I_{NW} – prąd znamionowy ciągły wyłącznika
I_{NF} – prąd znamionowy bezpiecznika; wg PN-87/E-93100/01, charakterystyka gG

Aby z kolei były spełnione wymagania dotyczące zabezpieczenia przeciążeniowego instalacji, obciążalność prądowa przewodów łączących WLZ z rozdzielnicą w mieszkaniu powinna być nie mniejsza od prądu znamionowego zabezpieczeń [9, 10], czego konsekwencją jest dobór przewodów o odpowiednio dużym przekroju i obciążalności. Przytoczony przykład dotyczy instalacji budynków mieszkalnych, lecz podobne uwarunkowania występują w instalacjach elektrycznych innych obiektów.

Problem selektywności działania zabezpieczeń istnieje obecnie w wielu przestarzałych instalacjach wielorodzinnych budynków mieszkalnych wzniesionych przed 20-40 laty. Podczas przeglądu wielu takich instalacji stwierdzono dość powszechną praktykę samowolnej zamiany, przez użytkowników instalacji, wkładek bezpiecznikowych w zabezpieczeniu obwodów mieszkaniowych na większe niż pierwotnie zaprojektowano. Spowodowane jest to instalowaniem większej liczby odbiorników o znacznych mocach znamionowych, po włączeniu których wkładki niegdyś zaprojektowane (o prądach 6 A bądź 10A) permanentnie się przepalały. Mieszkańcy pozbywają się tego problemu wkręcając wkładki 16 A czy 20 A. Działania takie powodują jednak zadziałanie bezpieczników przedlicznikowych bądź bezpieczników w WLZ na skutek braku selektywności (w wielu instalacjach z tamtego okresu WLZ zabezpieczano bezpiecznikami o prądzie znamionowym 25 A). Praktyki takie mają oczywisty wpływ na jakość użytkowanej energii, gdyż powodują przypadkowe wyłączenia wielu odbiorców na znaczny okres czasu. Innymi negatywnymi skutkami takich działań jest przeciążanie przewodów instalacyjnych, ich szybsze zużycie, zagrożenie pożarowe i wzrost zagrożenia porażenia prądem elektrycznym. Dlatego wymiana czy modernizacja takich instalacji staje się coraz bardziej pilną potrzebą.

Innym spotykanym w praktyce problemem jest zapewnienie selektywności przy stosowaniu wyłączników instalacyjnych w obwodach odbiorczych oraz jako zabezpieczenie przedlicznikowe i WLZ. Rozporządzenie [7] zaleca stosowanie wyłączników instalacyjnych, nie precyzując warunków zapewniających poprawność takich rozwiązań. Selektywność zabezpieczeń zwarciowych jest w takich przypadkach spełniona, gdy aparaty te, (poza wyłącznikami w obwodach odbiorczych) są o specjalnym wykonaniu:

- albo z wyzwalaczami elektromagnetycznymi dwuczłonowymi, z których jeden jest bezzwłoczny a drugi z krótką nastawialną zwłoką czasową,
- albo wyłączniki selektywne np. typu S93 firmy AEG lub Elester.

Są to jednak aparaty wielokrotnie droższe od bezpieczników.

Selektywne działanie zabezpieczeń jest podstawowym warunkiem poprawności technicznej ich wykonania, wynikającym z wymogu ograniczenia skutków występujących zakłóceń do bezwzględnie koniecznych, a przez to zapewnienie możliwie największej niezawodności zasilania odbiorców. Każde odstępstwo od tej zasady jest działaniem błędnym technicznie, gdyż obniża pewność zasilania. Działania takie są jednak praktykowane

stosunkowo często przez dostawców energii (zakłady energetyczne), wymuszające przykładowo na większości odbiorców indywidualnych stosowanie jako zabezpieczeń przedlicznikowych bezpieczników o prądzie znamionowym 20 bądź 25 A. Jest to traktowane jako sposób ograniczenia mocy pobieranej przez pojedynczego odbiorcę. Nie zwraca się przy tym uwagi na to, że w ten sposób obniża się jakość instalacji i dostarczanej energii, gdyż zastosowane zabezpieczenia mogą działać nieselektywnie, zwłaszcza w instalacjach o znacznych wartościach prądów zwarciowych, co zilustrowano w powyższym przykładzie i danymi zawartymi w tabeli 4. Wartości prądów znamionowych zabezpieczeń przedlicznikowych i WLZ powinien dobierać projektant instalacji, traktując to jako integralną czynność projektową. Jeśli tak nie jest, to zakłócenie powstałe w jednym z odbiorników w obwodzie odbiorczym może powodować wyłączenie całego mieszkania lub nawet całej WLZ czy budynku. Ponieważ są to zabezpieczenia o ograniczonym dostępie (plombowane), przerwa w zasilaniu może trwać bardzo długo.

W innych krajach ograniczenie poboru mocy realizuje się środkami ekonomicznymi, przez zastosowanie liczników mierzących energię w zwykłej taryfie przy nie przekroczeniu ustalonego poboru mocy i w taryfie „karnej" przy większych obciążeniach. Stosowanie takich rozwiązań byłoby celowe również w Polsce, w warunkach, gdy energia elektryczna staje się towarem ze wszystkimi wymogami dotyczącymi jakości.

Przekroje i obciążalności prądowe przewodów dobranych z uwzględnieniem selektywnego działania zabezpieczeń przetężeniowych (zwarciowych) [8-10] oraz spełnienia warunków zabezpieczenia przetężeniowego przewodów mogą być znacznie większe niż wynika to z mocy zapotrzebowanej przez poszczególne mieszkania i łącznie przez wszystkie mieszkania budynku. Dotyczy to w szczególności budynków o niewielkiej liczbie mieszkań. Zwiększone koszty zastosowania przewodów o przekrojach większych aniżeli wynika to z warunku mocy zapotrzebowanej to nie są pieniądze stracone. Uzyskuje się przez to:

- poprawę jakości energii elektrycznej dostarczanej odbiorcom, przez zmniejszenie spadków napięć i ograniczenie negatywnych skutków występowania prądów wyższych harmonicznych,
- zwiększenie sprawności i skuteczności działania odbiorników,
- zwiększenie bezpieczeństwa porażeniowego i pożarowego oraz trwałości i niezawodności działania instalacji, przez zmniejszenie temperatury żył przewodów i zestyków w warunkach pracy normalnej i przy przeciążeniach oraz po podwyższeniu się temperatury otoczenia ponad wartość obliczeniową,
- zmniejszenie strat energii w przewodach zasilających; koszty zaoszczędzonej energii w stosunkowo krótkim czasie równoważą zwiększone nieco nakłady na zakup przewodów o większych przekrojach, a potem już przez dziesięciolecia notuje się oszczędności.

Wyposażenie instalacji elektrycznych

Aby ograniczyć częstość występowania oraz skutki wyłączeń obwodów odbiorczych powodowanych działaniem zabezpieczeń przetężeniowych lub innych, powinna być ograniczona liczba odbiorników oraz gniazd wtyczkowych przyłączonych do poszczególnych obwodów. Wymagana liczba obwodów oświetlenia i gniazd wtyczkowych ogólnego przeznaczenia zależy od wielkości mieszkania i nie powinna być mniejsza od podanych w tabeli 5.

Tabela 5. Zalecana, minimalna liczba obwodów gniazd wtyczkowych ogólnego użytku i obwodów oświetleniowych w instalacji odbiorczej w mieszkaniu, wg [11].

Powierzchnia mieszkania w m^2	Zalecana, minimalna liczba obwodów gniazd wtyczkowych ogólnego przeznaczenia i oświetlenia
do 50	2
od 50 do 75	3
od 75 do 100	4
od 100 do 125	5
powyżej 125	6

Liczba obwodów przeznaczonych do indywidualnego zasilania odbiorników o mocy 2 kW i większej zależy od przewidywanej liczby takich odbiorników. Należy przewidzieć osobne obwody do zasilania oświetlenia i gniazd wtyczkowych w piwnicy, garażu, ogrodu, jeżeli takie pomieszczenia i tereny występują. Ze względu na wymagania dotyczące jakości energii wskazane jest również wydzielenie osobnych obwodów do zasilania odbiorników o nieliniowych charakterystykach napięciowo-prądowych, czy też odbiorników wrażliwych na niedostateczną jakość dostarczanej energii. Należą do nich m.in. komputery, urządzenia bezprzerwowego zasilania (UPS), przekształtniki energoelektroniczne i inne podobne, nawet jeżeli są one o niewielkich mocach znamionowych. Obwody oświetlenia i gniazd wtyczkowych ogólnego przeznaczenia należy wykonywać przewodami miedzianymi o przekroju 1,5 mm2 i zabezpieczyć wyłącznikami instalacyjnymi o prądzie znamionowym ciągłym 16 A i charakterystyce czasowo-prądowej typu B. Obwody zasilające wydzielone odbiorniki o większej mocy znamionowej powinny być wykonane przewodami o obciążalności odpowiedniej do ich prądu znamionowego, jednak o przekroju nie mniejszym niż 1,5 mm2 Cu.

Obwody odbiorcze powinny być wyposażone w wyłączniki instalacyjne chroniące przewody i zasilane urządzenia przed skutkami przetężeń oraz w wyłączniki różnicowoprądowe. Wyłączniki te powinny być instalowane obowiązkowo w obwodach gniazd wtyczkowych. Mogą one być instalowane również w każdym z pozostałych obwodów. Jeden wyłącznik różnicowoprądowy może przypadać na każdy obwód i wówczas powinien to być wyłącznik wysokoczuły, o znamionowym prądzie różnicowym ($I_{\Delta N}$) nie większym niż 30 mA. Można też zastosować rozwiązanie oszczędnościowe, w którym jeden wyłącznik różnicowoprądowy o większym prądzie znamionowym ciągłym i znamionowym prądzie różnicowym, może chronić kilka obwodów [9, 10]. W takim przypadku prąd różnicowy $I_{\Delta N}$ = 100 mA bądź 300 mA, zależnie od spodziewanych prądów upływowych. Zamiast oddzielnych wyłączników przetężeniowych i wyłączników różnicowoprądowych mogą być instalowane wyłączniki zwarte, zawierające w jednym aparacie wyzwalacze przetężeniowe i różnicowoprądowe

Jakość energii elektrycznej w starszych instalacjach wielorodzinnych budynków mieszkalnych

Krótka charakterystyka badanych instalacji

Większość instalacji w budownictwie mieszkaniowym użytkowanych obecnie w Polsce, to instalacje wykonane w latach 1960-1990, kiedy to w wyniku doraźnych i pozornych oszczędności obowiązywały przepisy ograniczające w znacznym stopniu możliwości poprawnego wymiarowania i wyposażenia instalacji. Zasadnicze z tych ograniczeń to:

- niewielkie moce obliczeniowe i wynikające z nich moce szczytowe instalacji odbiorczych; przykładowo do roku 1977 przyjmowano 2 kW na mieszkanie wieloizbowe niezgazyfikowane [12], po roku 1977 - 4 kW [12],
- powszechne stosowanie przewodów o żyłach aluminiowych; aluminium posiada niekorzystne właściwości, głównie mechaniczne, ujawniające się głównie przy niewielkich przekrojach, poniżej 10 mm^2,
- powszechne stosowanie układu TN-C.

Wymienione czynniki mają związek z jakością energii elektrycznej użytkowanej w tych instalacjach, co w pewnej mierze potwierdziły pomiary, których rezultaty zaprezentowano w dalszej części artykułu. Przedmiotem pomiarów były napięcia i prądy mierzone na odpływach WLZ w głównych tablicach rozdzielczych wybranych, wielorodzinnych budynków mieszkalnych 5-cio i 11-sto kondygnacyjnych, wzniesionych metodami uprzemysłowionymi w latach 1960-1990. Badane instalacje wykonane były zgodnie z Przepisami Budowy Urządzeń Elektrycznych obowiązującymi w okresie wznoszenia budynków, czyli [12] do roku 1977 bądź [13] w okresie późniejszym, jako instalacje w układzie TN-C, z zerowaniem jako środkiem dodatkowej ochrony przeciwporażeniowej. WLZ budynków 11-sto kondygnacyjnych wykonane były w ten sposób, że w danej klatce schodowej prowadzono dwie linie: pierwsza zasilająca mieszkania do 5-tej kondygnacji włącznie i druga zasilająca mieszkania od 6-tej do 11-tej kondygnacji. W budynkach 5-cio kondygnacyjnych w danej klatce prowadzono jedną WLZ.

W budynkach starszych, w których stosowano się do przepisów [12], WLZ wykonywano przewodami:

- 4xADY 6 mm^2, bądź nawet 3xADY 6 mm^2 + 4 mm^2, w budynkach 5-cio kondygnacyjnych,
- 3xADY 10 mm^2 + ADY 6 mm^2 w budynkach 11-sto kondygnacyjnych.

W budynkach wznoszonych od roku 1977 w wyniku wprowadzenia nowszej wersji przepisów [13] zwiększono przekroje przewodów, stosując przeważnie w WLZ przewody 4xADY 16 mm^2.

Przewód ochronno-neutralny PEN, zwany w przeszłości przewodem zerowym, posiadał przekrój adekwatny do obciążeń, na które planowano omawiane instalacje. Chociaż pełnił on (i pełni do dzisiaj) określoną rolę w ochronie przeciwporażeniowej, do roku 1977 jego przekrój w WLZ budynków wielorodzinnych ograniczano do 6 mm^2 Al bądź nawet do 4 mm^2 Al, wychodząc z założenia znikomej obciążalności roboczej. Przekrój ten był często projektowany jako niższy od przekroju żył przewodów fazowych. Po wprowadzeniu przepisów [13] odstąpiono od tej praktyki projektując zwykle przekrój przewodu PEN jako równy przekrojowi żył przewodów fazowych. Niskie przekroje przewodu PEN podyktowane były założeniem, że ich obciążenie robocze jest znacznie mniejsze od przewodów fazowych. Przed 20-30 laty, gdy odkształcenie prądu pobieranego przez odbiorniki było znacznie mniejsze niż dzisiaj, założenie to było być może prawdziwe. Obecnie, ze względu na znaczący udział odbiorników o nieliniowych charakterystykach prądowo napięciowych, przewód neutralny może być obciążony prądem równym, a nawet większym niż przewody fazowe.

Napięcie zasilające

Zmierzone wartości skuteczne napięcia zasilającego były we wszystkich przebadanych budynkach zgodne z wymaganiami normy [1], czyli nie przekraczały odchyłki ±10% od wartości napięcia znamionowego (tabela 6). Rezultatu takiego należy się spodziewać u większości odbiorców miejskich, ze względu na bliskość stacji transformatorowych i dostatecznie duże moce transformatorów. Zasadniczą uwagę poświęcono jednak zawartości wyższych harmonicznych w napięciu zasilającym oraz obciążeniu przewodu PEN i spektrum harmonicznych w prądzie tego przewodu.

Tabela 6. Średnie wartości napięcia fazowego U_{RMS} mierzonego w wewnętrznych liniach zasilających budynków mieszkalnych o różnych przekrojach przewodu ochronno-neutralnego, wraz z podanym udziałem procentowym poszczególnych składowych harmonicznych nieparzystych $(U_h/U_N)100\%$. THD_U – wg zależności (12).

Rząd harmonicznej	**Przekrój przewodu PEN [mm^2], Al**			**Dopuszczalne udziały poszczególnych harmonicznych wg [1] [%]**
	6	**6**	**16**	
	Udział danej harmonicznej $(U_h/U_N)100\%$			
1	99,94	99,75	99,96	-
3	0,27	**6,39**	0,42	5
5	2,92	1,16	1,66	6
7	0,96	1,12	1,41	5
9	0,09	**2,09**	0,13	1,5
11	0,39	0,19	0,45	3,5
13	0,17	0,62	0,41	3
15	0,06	**0,74**	0,09	0,5
17	0,05	0,11	0,13	2
19	0,11	0,34	0,09	1,5
U_{RMS} [V]	228,9	218,4	222.1	220±10%
THD_U [%]	3,17	7,02	2,58	8

W tabeli 6 przedstawiono wyniki pomiaru względnych wartości harmonicznych nieparzystych w napięciu zasilającym mierzonym w WLZ, obliczonych jako średnie wartości z kilku pomiarów wykonanych w różnym czasie. Budynki pogrupowano w zależności od przekroju przewodu PEN, odpowiednio 6 i 16 mm^2 Al. Generalną obserwacją wynikającą z tych pomiarów jest stwierdzenie, że współczynnik zawartości wyższych harmonicznych w napięciu jest korzystniejszy dla instalacji posiadającej większy przekrój przewodu PEN (16 mm^2) w porównaniu z przekrojem 6 mm^2. W jednym z budynków, dla przekroju PEN 6 mm^2 zawartość harmonicznych rzędu 3, 9 i 15 (tabela 6, druga kolumna z wynikami pomiarów, pogrubiona czcionka) przekracza dopuszczalne wartości określone przez normę [1]. Należy zwrócić uwagę, że są to nieparzyste krotności 3-ciej harmonicznej, a więc te, które sumują się w przewodzie PEN. Mierzono średnie wartości parametrów w ciągu kilkuminutowych odcinków czasu. Opisane pomiary nie były wprawdzie pomiarami ciągłymi, dokonywanymi w ciągu całego tygodnia, jak tego wymaga norma [1], lecz celem pracy nie było ścisłe sprawdzenie zgodności z normą [1], ale ilustracja związku jakości energii z jakością instalacji.

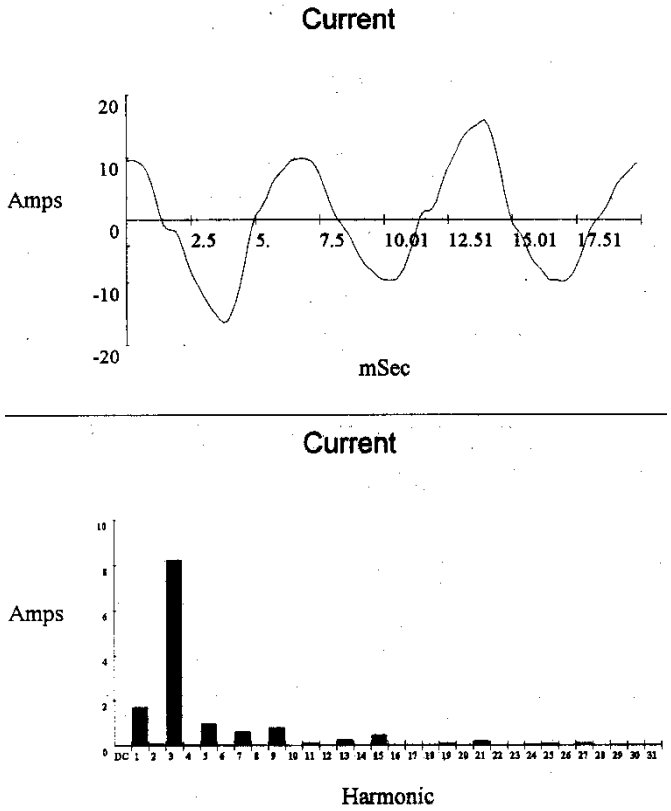
Obciążalność przewodu ochronno-neutralnego (PEN)

Przewód PEN w WLZ badanych instalacji, wykonanych zgodnie z przepisami [12], posiadał niejednokrotnie przekrój mniejszy od przekroju przewodów fazowych. Tak było w przypadku pomiarów zamieszczonych w pierwszej i drugiej kolumnie tabel 6 i 7, dla przekroju przewodu PEN równego 6 mm^2, gdzie przekrój przewodów fazowych wynosił 10 mm^2.

Tabela 7. Średnie wartości obciążenia przewodów ochronno-neutralnych I_{PEN} wewnętrznych linii zasilających budynków mieszkalnych wraz z podanym udziałem procentowym wartości skutecznych poszczególnych składowych harmonicznych nieparzystych ($I_h/I_{PEN\ RMS}$)*100%. THD_I* – wg zależności analogicznej do (12).

Rząd harmonicznej	**Przekrój przewodu PEN [mm^2], Al.**		
	6	**6**	**16**
	Udział danej harmonicznej ($I_h/I_{PEN\ RMS}$)100%		
DC	1,26	1,65	0,85
1	62,50	71,75	71,12
3	63,45	66,67	53,76
5	5,99	6,40	9,62
7	3,59	3,71	4,23
9	5,28	16,82	6,84
11	1,42	3,53	2,23
13	1,60	3,71	2,04
15	3,39	2,53	4,01
17	0,33	1,73	1,04
19	0,82	1,50	0,78
$I_{PEN\ RMS}$ [A]	8,44	2,42	7,21
THD_I [%]	210,4	96,9	122,1

W tabeli 7 zestawiono wyniki pomiarów względnych wartości skutecznych kolejnych harmonicznych prądu I_h w przewodzie PEN odniesionych do całkowitej wartości skutecznej prądu w tym przewodzie $I_{PEN\ RMS}$. Kolejne kolumny wyników pomiaru dla określonych przekrojów przewodu PEN w tabeli 7 odpowiadają odpowiednim kolumnom w tabeli 6. Widoczny jest bardzo znaczący udział trzeciej harmonicznej w prądzie przewodu neutralnego, porównywalny z wartością prądu pierwszej harmonicznej. W wielu pojedynczych przypadkach prąd trzeciej harmonicznej wielokrotnie przekraczał prąd harmonicznej podstawowej, co zilustrowano przykładowym oscylogramem na rys. 9.



Rysunek 9. Przykładowy przebieg prądu w przewodzie PEN wraz ze spektrum wyższych harmonicznych, dla skrajnie dużej zawartości harmonicznej rzędu 3.

Jest to wynikiem znacznego odkształcenia prądów pobieranych przez odbiorniki. W przewodzie PEN sumują się bowiem prądy pobierane przez odbiorniki jednofazowe. Gdyby prądy te nie zawierały składowych wyższych harmonicznych, przewodem PEN płynąłby jedynie prąd asymetrii ich obciążenia, zwykle o niewielkiej wartości, wynikający z sumy geometrycznej prądów pierwszej harmonicznej kolejnych faz. Jednak wektory wskazowe prądu trzeciej harmonicznej i jej nieparzystych krotności są ze sobą w fazie we wszystkich trzech przewodach układu trójfazowego. Dlatego ich suma geometryczna w przewodzie PEN jest praktycznie równa sumie algebraicznej, czego wynikiem jest tak znaczący udział prądów 3-ciej, 9-tej i 15-tej harmonicznej w obciążeniu tego przewodu. W tej sytuacji, przy zbyt niskich przekrojach przewodów PEN i znacznych spadkach napięcia na nich występujących pojawia się często nadmierne odkształcenie napięcia zasilającego. W pewnym stopniu problem ten ukazują tabele 1 i 2, gdzie dla znaczących odkształceń prądu w przewodzie PEN o przekroju 6 mm^2 zaobserwowano również znaczące odkształcenie napięcia zasilającego. Pomimo podobnych proporcji w odkształceniu prądu w przewodach PEN o przekroju 16 mm^2, odkształcenie napięcia zasilającego było mniejsze. Trudno jest ocenić, w jakim stopniu na odkształcenie to w wykonanych pomiarach wpływa przekrój przewodu PEN, a w jakim przekroje przewodów fazowych, impedancja odbiornika i sieci zasilającej (rys. 1). Wymagałoby to złożonej analizy rozpatrywanych układów, jak i dokładnej informacji o zainstalowanych odbiornikach. Przedstawione wyniki skłaniają do wniosku, że spadek napięcia na przewodzie PEN może mieć, przynajmniej w niektórych przypadkach, znaczący wpływ na odkształcenie napięcia zasilającego.

Tabela 8 ilustruje, jak duże w stosunku do obciążenia przewodów fazowych jest obciążenie przewodu PEN w badanych instalacjach. Można stwierdzić, że wartość skuteczna obciążenia przewodu PEN jest porównywalna z obciążeniem przewodów fazowych, przy równocześnie znacznie większym całkowitym współczynniku odkształcenia THD_I. Nie jest to bez znaczenia dla nagrzewania się tego przewodu wskutek zwiększonego efektu zjawiska naskórkowości. Przerwy, upalenia się styków w przewodach PEN w WLZ przebadanych budynków są zdarzeniami znacznie częstszymi niż w innych przewodach. Potwierdziły to wywiady z dozorem elektrycznym. Sytuacje takie powodują nie tylko przerwy w zasilaniu wielu odbiorców, lecz stwarzają również określone zagrożenia w układzie ochrony porażeniowej i pożarowej tych instalacji.

Tabela 8. Przykładowe uśrednione wartości skuteczne obciążenia przewodów WLZ badanych instalacji, wraz z odpowiadającymi im średnimi wartościami całkowitego współczynnika odkształcenia prądu THD_I; L1, L2, L3 – przewody kolejnych faz, PEN- przewód ochronno-neutralny, I_{L1}, I_{L2}, I_{L3} – obciążenie.

L1		L2		L3		PEN	
I_{L1}	$THD_{I\,L1}$	I_{L2}	$THD_{I\,L2}$	I_{L3}	$THD_{I\,L3}$	I_{L1}	$THD_{I\,PEN}$
[A]	[%]	[A]	[%]	[A]	[%]	[A]	[%]
16,8	8,5	3,8	41	3,0	38	9,5	89
5,5	52	5,6	33	5,7	45	6,4	121
10,8	18	6,7	28	11,2	9,8	3,8	66
3,4	45	15,7	7,5	11,6	13	6,3	71
12,2	16	15,9	10,9	14.2	18	11,5	36
15,0	12	4,3	66	10,5	23	8,7	144

Inną obserwacją jest stosunkowo duże odkształcenie prądu w przewodach fazowych i w konsekwencji również w przewodzie PEN. Charakterystyczne jest, że odkształcenie to jest większe dla niewielkich prądów fazowych, natomiast zmniejsza się wraz ze wzrostem tego obciążenia. Jest to prawdopodobnie wynikiem dominacji w obciążeniu WLZ różnego typu odbiorników w różnych porach doby. W porze wieczornej lub w sobotę rano, gdy znaczna część odbiorników to sprzęt radiowo-telewizyjny i oświetlenie, prądy WLZ są niewielkie. Jednak odbiorniki radiowo-telewizyjne, wyposażone w zasilacze z pojemnościowymi filtrami napięcia jak i coraz bardziej powszechne świetlówki kompaktowe pobierają prąd o dużym współczynniku odkształcenia, co tłumaczy znaczne odkształcenie prądu przy niewielkich obciążeniach. Obciążenia większe, charakterystyczne dla późnych godzin popołudniowych, to czas włączania pralek, kuchenek i innych odbiorników o większych mocach, które charakteryzuje większe obciążenie lecz mniejsze odkształcenie pobieranego prądu.

Z przedstawionych uwag wynika, że konsekwencje niewielkich przekrojów przewodu PEN są i będą coraz dotkliwiej odczuwane w przestarzałych instalacjach w budynkach mieszkalnych. Jednak również i w nowo wykonywanych instalacjach w systemie TN-S obciążenie przewodu neutralnego spowodowane coraz większą zawartością prądów wyższych harmonicznych zaczyna nabierać dużego znaczenia. Coraz częściej pojawiają się opinie [14], że obciążalność przewodu neutralnego powinna być nawet dwukrotnie większa niż przewodów fazowych, w celu ograniczenia wpływu prądów wyższych harmonicznych na odkształcenie napięcia zasilającego. W instalacjach przemysłowych coraz częściej zachodzi potrzeba stosowania filtrów wyższych harmonicznych, zwłaszcza coraz bardziej udoskonalanych filtrów aktywnych. Są to jednak jak dotychczas urządzenia kosztowne.

Wydaje się, że w instalacjach w budynkach mieszkalnych najprostszym sposobem znacznego ograniczenia odkształceń napięcia zasilającego jest wystarczająco duży przekrój przewodów, co wiąże się również ze zwiększonym obciążeniem tych instalacji w przewidywalnym horyzoncie czasowym [10]. Należy podkreślić, że większy przekrój przewodu instalacyjnego i poprawnie do niego dobrane zabezpieczenie obwodu, nie powinny być interpretowane przez dostawców energii jako swego rodzaju ogranicznik mocy zapotrzebowanej. Moc taką można ograniczać w inny sposób, o czym wspomniano wcześniej. Odpowiedni przekrój przewodów oznaczać może natomiast potencjalne możliwości obciążania danej instalacji w przyszłości i zadowalającą jakość dostarczanej energii. Można zaryzykować stwierdzenie, że obecnie w kraju istnieje w tym zakresie pilna potrzeba przebudowy świadomości zarówno projektantów jak i dostawców energii

Wnioski

Jakość energii elektrycznej dostarczanej odbiorcom nabiera coraz większego znaczenia ze względu na stale rosnącą liczbę odbiorników o nieliniowych charakterystykach prądowo-napięciowych coraz bardziej wrażliwych na nieodpowiednie parametry napięcia zasilającego.

Odpowiedzialność za niedostateczną jakość energii w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia nie może spadać jedynie na dostawcę energii, gdyż jakość ta jest w coraz większym stopniu uzależniona od parametrów i stanu użytkowanych instalacji elektrycznych. Spełnienie określonych wymogów w zakresie sposobów zasilania i wykonania instalacji elektrycznej oraz jej wyposażenia może znacząco wpłynąć na jakość dostarczanej energii elektrycznej.

Niezadowalające parametry napięcia zasilającego mają znaczący wpływ na pracę większości powszechnie użytkowanych odbiorników energii elektrycznej. Awarie urządzeń najczęściej nie są kojarzone ze złą jakością energii, gdyż wielu odbiorców nie zdaje sobie z tego sprawy, a badania jakości energii w instalacjach niskiego napięcia należą w kraju do rzadkości.

Wpływ parametrów instalacji elektrycznej na jakość dostarczanej energii widoczny jest w szczególny sposób w użytkowanych do chwili obecnej przestarzałych instalacjach w budownictwie mieszkaniowym. Są to na ogół instalacje wykonane w systemie TN-C, przewodami o żyłach aluminiowych i przekrojach nieadekwatnych do współczesnych warunków obciążenia.

Przy wymiarowaniu przekrojów przewodów i zabezpieczeń przetężeniowych w instalacji powinno się uwzględniać odpowiedni horyzont czasowy zarówno w zakresie zapotrzebowania na moc odbiorników jak i ze względu na jakość dostarczanej energii elektrycznej. W szczególności zbyt małe przekroje przewodów neutralnych czy neutralno-ochronnych mają znaczny wpływ na odkształcenie napięcia zasilającego. Należy wystrzegać się doraźnych i pozornych oszczędności polegających na zbyt rygorystycznym i przesadnie oszczędnym doborze przekroju żył przewodów. Przekroje dobrane z niewielkim nadmiarem w istotny sposób poprawiają jakość napięcia zasilającego oraz dają szereg innych pozytywnych korzyści (zmniejszenie strat energii, zwiększenie bezpieczeństwa porażeniowego i pożarowego), wymiernych również od strony ekonomicznej.

Zwiększone przekroje przewodów i konsekwentnie dobrane do nich zabezpieczenia przetężeniowe nie powinny być interpretowane przez dostawcę energii jako wyznacznik mocy zapotrzebowanej przez odbiorcę. W szczególności prąd znamionowy zabezpieczeń przedlicznikowych nie powinien być traktowany jako swego rodzaju „kryza” ograniczająca moc odbiorników w instalacji i nie powinien stanowić treści jednego z punktów umowy na dostawę energii elektrycznej. Problem limitu zainstalowanej mocy powinien być rozwiązany metodami ekonomicznymi, natomiast przekroje przewodów i związane z nimi prądy znamionowe zabezpieczeń to kwestia technicznej poprawności wykonania instalacji. Wydaje się, że w tym zakresie istnieje potrzeba gruntownej przebudowy świadomości wśród projektantów i dostawców energii.

Literatura

[1] PN EN 50160 „Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych”, PKN 1998.

[2] Szprengiel Z. „Jakość energii elektrycznej w świetle norm i przepisów prawnych”, Wiadomości Elektrotechniczne, rok LXVII, 1999, nr 1, str. 3-8.

[3] Kahl T. i in.: Sieci elektroenergetyczne w zakładach przemysłowych. WNT, Warszawa 1987.

[4] Plamitzer A.: Maszyny elektryczne. WNT, Warszawa 1968.

[5] Teresiak Z. (red.): Elektroenergetyka zakładów przemysłowych. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1981.

[6] EN 61000-2-2. „Electromagnetic compability. Environment. Compability levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems” (IEC 1000-2-2:1990, modified), (VDE 0839), 1993.

[7] Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 14 grudnia 1994. Dziennik Ustaw RP, Nr 10, 8.02.1995.

[8] Markiewicz H.: Selektywność działania zabezpieczeń przetężeniowych w instalacjach elektrycznych, Elektroinstalator, nr 3, 1996, str. 6-10.

[9] Markiewicz H. Instalacja elektryczne. WNT, Warszawa 2000.

[10] Markiewicz H., Klajn A.: Podstawowe kryteria wymiarowania instalacji elektrycznych w budynkach mieszkalnych. Elektroinstalator, nr 7-8/2000, str. 8-20.

[11] DIN 18015. Elektrische Anlagen in Wohngebäuden . Teil 1-3, Berlin , Beuth Verlag.

[12] Przepisy Budowy Urządzeń Elektrycznych ustanowione w 1960 r. Wydawnictwa Czasopism Technicznych NOT, Warszawa, 1964.

[13] Przepisy Budowy Urządzeń Elektroenergetycznych, Wydanie I. Wydawnictwa Przemysłu Maszynowego WEMA, Warszawa, 1980.

[14] Chapman D.: Harmonics. Materiały Seminarium Polskiego Centrum Promocji Miedzi „Power Quality”, Krzyżowa, 26-27 czerwca, 2000.