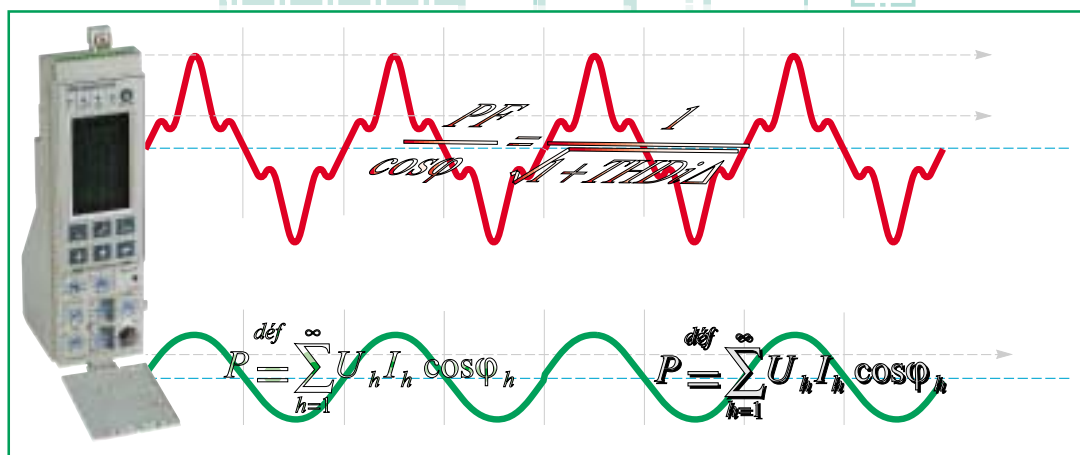


Filtracja i detekcja *harmonicznych*



Merlin Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

Spis treści

1 Wprowadzenie	5
1.1 Wyższe harmoniczne - definicja i przyczyny występowania	5
1.1.1 Odształcenie sygnału sinusoidalnego	5
1.1.2 Przyczyny występowania wyższych harmonicznych	6
1.2 Dlaczego należy wykrywać i przeciwdziałać odkształceniu sygnałów?	9
1.2.1 Zakłócenia powodowane przez wyższe harmoniczne	9
1.2.2 Ekonomiczne konsekwencje zakłóceń	9
1.2.3 Wzrastające znaczenie problemu	9
1.2.4 Zagadnienie praktyczne: które harmoniczne należy mierzyć i ograniczać?	9
2 Najważniejsze wskaźniki odkształcenia oraz zasady ich pomiaru	10
2.1 Współczynnik mocy	10
2.1.1 Definicja	10
2.1.2 Interpretacja wartości współczynnika mocy	10
2.2 Współczynnik szczytu	10
2.2.1 Definicja	10
2.2.2 Interpretacja wartości współczynnika szczytu	10
2.3 Moce dla przebiegów odkształconych	11
2.3.1 Moc czynna	11
2.3.2 Moc bierna	11
2.3.3 Moc deformacji	11
2.4 Widmo częstotliwościowe i zawartość harmonicznych	12
2.4.1 Podstawy	12
2.4.2 Procentowa zawartość harmonicznych	12
2.4.3 Widmo częstotliwościowe	12
2.4.4 Wartość skuteczna	12
2.5 Współczynnik odkształcenia (THD)	13
2.5.1 Definicja współczynnika odkształcenia	13
2.5.2 Współczynnik THD dla prądu i napięcia	13
2.5.3 Współczynnik THF	13
2.5.4 Zależność pomiędzy współczynnikiem mocy a współczynnikiem THD ...	14
2.6 Porównanie przydatności wskaźników odkształcenia	15
3 Pomiar wartości wskaźników	16
3.1 Aparatura pomiarowa	16
3.1.1 Wybór aparatury pomiarowej	16
3.1.2 Funkcje analizatorów cyfrowych	16
3.1.3 Zasada działania analizatorów cyfrowych oraz technika przetwarzania informacji	16
3.2 Analiza harmoniczna przebiegów w sieci rozdzielczej	17
3.3 Przewidywanie potrzeb w zakresie pomiaru odkształceń	18
3.3.1 Zalety aparatury pomiarowej zainstalowanej na stałe	18
3.3.2 Zalety zintegrowanej aparatury do pomiaru i detekcji	18
4 Wpływ odkształcenia przebiegów na instalację	19
4.1 Rezonans	19
4.2 Zwiększone straty	20
4.2.1 Straty w przewodach	20
4.2.2 Straty w maszynach asynchronicznych	21
4.2.3 Straty w transformatorach	21
4.2.4 Straty w kondensatorach	21
4.3 Przeciążenia urządzeń	22
4.3.1 Generatory	22
4.3.2 Zasilacze awaryjne UPS	22
4.3.3 Transformatory	22

Spis treści

4.3.4	Maszyny asynchroniczne	24
4.3.6	Kondensatory	24
4.3.6	Przewody neutralne	24
4.4	Wpływ na odbiorniki wrażliwe na zakłócenia	26
4.4.1	Odształcenie napięcia zasilania	26
4.4.2	Zakłócenia linii telefonicznych	26
4.5	Konsekwencje ekonomiczne	26
4.5.1	Straty mocy	26
4.5.2	Koszty związane z zamawianiem dodatkowej mocy	26
4.5.3	Dobór wyposażenia o podwyższonych parametrach	26
4.5.4	Ograniczenie czasu życia urządzeń	27
4.5.5	Przypadkowe zadziałanie zabezpieczeń oraz wyłączenie instalacji	27
4.5.6	Przykłady	27
5	Normy i przepisy wprowadzające	28
5.1	Zgodność norm dotyczących sieci rozdzielczej oraz norm dla urządzeń	28
5.2	Normy jakości dla sieci rozdzielczej	28
5.3	Normy odnoszące się do urządzeń	28
5.4	Maksymalna dopuszczalna zawartość harmonicznych	29
6	Rozwiązania pozwalające na ograniczenie zawartości wyższych harmonicznych	30
6.1	Rozwiązania ogólne	30
6.1.1	Umiejscowienie zakłócających odbiorników	30
6.1.2	Grupowanie zakłócających odbiorników	30
6.1.3	Separacja źródła zasilania	31
6.1.4	Zastosowanie transformatorów o specjalnych rodzajach połączeń	31
6.1.5	Instalowanie dławików	31
6.1.6	Wybór odpowiedniego układu sieci	32
6.2	Rozwiązania stosowane po przekroczeniu wartości granicznych	33
6.2.1	Filtry pasywne	33
6.2.2	Filtry aktywne	33
6.2.3	Filtry hybrydowe	34
6.2.4	Kryteria doboru	35
7	Aparatura firmy Schneider Electric do wykrywania wyższych harmonicznych	36
7.1	Detekcja	36
7.1.1	Moduły pomiarowe	36
7.1.2	Wykorzystanie danych dostarczonych przez moduły pomiarowe	37
7.2	Dobór aparatury	38
8	Rozwiązywanie problemów odształcenia przebiegów z pomocą firmy Schneider Electric	40
8.1	Zakres analizy i diagnostyki przeprowadzanej przez specjalistów z Schneider Electric	40
8.2	Urządzenia do eliminacji wyższych harmonicznych oferowane przez Schneider Electric	41
8.2.1	Filtry pasywne	41
8.2.2	Filtry aktywne (MGE UPS SYSTEMS)	41
8.2.3	Filtry hybrydowe	41
8.2.4	Dobór filtrów	42
	Literatura	43

Odształcenie przebiegów prądu i/lub napięcia wyższymi harmonicznymi powoduje zakłócenia w sieci rozdzielczej oraz obniżenie jakości energii elektrycznej.

Wprowadzenie

1.1 Wyższe harmoniczne - definicja i przyczyny występowania

1.1.1 Odształcenie sygnału sinusoidalnego

Zgodnie z twierdzeniem Fouriera okresowe funkcje niesinusoidalne mogą być reprezentowane poprzez sumę następujących składników (szereg Fouriera):

- składowej sinusoidalnej o częstotliwości podstawowej,
- składowych sinusoidalnych (wyższych harmonicznymi) o częstotliwościach będących wielokrotnościami częstotliwości podstawowej,
- składowej stałej (może nie występować).

Harmoniczna rzędu n-tego (często nazywana po prostu n-tą harmoniczną) sygnału jest przebiegiem sinusoidalnym o częstotliwości, która jest n razy większa od częstotliwości podstawowej.

Rozwinięcie funkcji okresowej w szereg Fouriera przedstawiono poniżej:

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(n\omega t - \varphi_n)$$

gdzie:

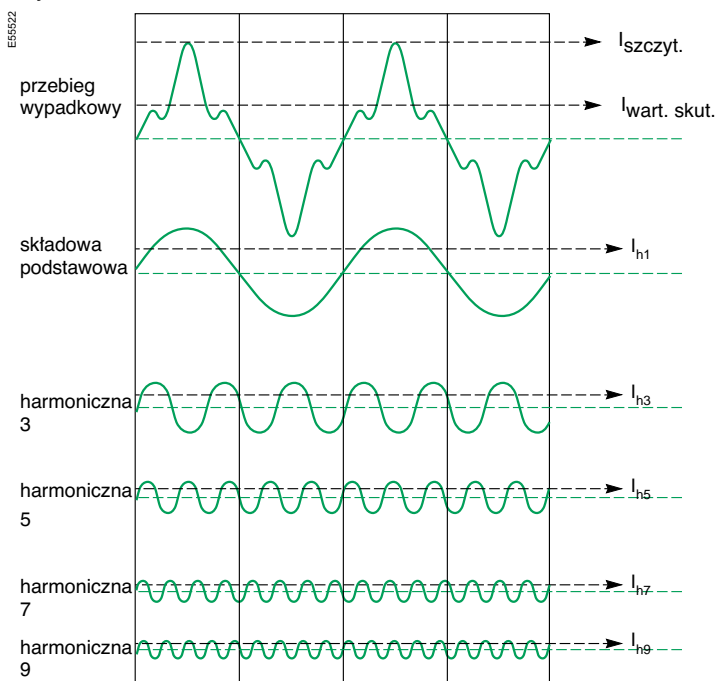
- Y_0 : wartość składowej stałej (DC), najczęściej wynosi zero i tak też przyjęto w dalszej części,
- Y_n : wartość skuteczna n-tej harmonicznymi,
- ω : pulsacja (częstotliwość kątowna) składowej podstawowej,
- φ_n : przesunięcie n-tej harmonicznymi dla $t = 0$ (faza).

Przykładowo dla przebiegów (prądu i napięcia) w francuskiej sieci rozdzielczej:

- wartość częstotliwości podstawowej (harmonicznymi pierwszego rzędu) wynosi 50 Hz,
- częstotliwość drugiej harmonicznymi wynosi 100 Hz,
- częstotliwość trzeciej harmonicznymi wynosi 150 Hz,
- częstotliwość czwartej harmonicznymi wynosi 200 Hz,
- itd.

Sygnał odształcony jest sumą pewnej liczby harmonicznymi.

Rys. 1 przedstawia przykład odształconego przebiegu prądu, zawierającego wyższe harmoniczne.



Rys. 1 Przykład odształconego przebiegu prądu oraz jego rozkład na poszczególne harmoniczne – rzędu 1, 3, 5, 7 i 9

Wprowadzenie

Reprezentacja harmonicznych: widmo częstotliwościowe

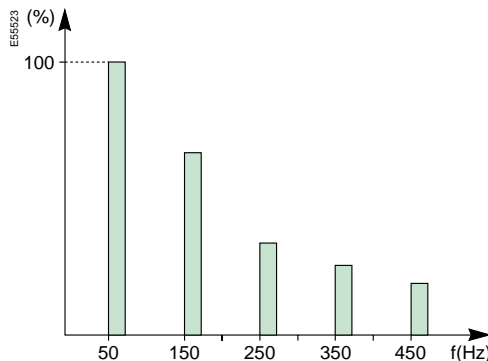
Widmo częstotliwościowe służy do graficznego przedstawienia harmonicznych zawartych w sygnale.

Wykres przedstawia amplitudę każdej harmonicznej.

Ten rodzaj reprezentacji uzyskuje się w wyniku przeprowadzenia analizy widmowej.

Widmo częstotliwościowe pokazuje, które harmoniczne są obecne w sygnale i jak duży jest ich udział.

Rys. 2 przedstawia widmo częstotliwościowe sygnału z rys. 1.



Rys. 2. Widmo sygnału zawierającego składową podstawową o częstotliwości 50 Hz oraz harmoniczne rzędu 3 (150 Hz), 5 (250 Hz), 7 (350 Hz) i 9 (450 Hz).

1.1.2 Przyczyny występowania wyższych harmonicznych

Urządzenia powodujące powstawanie wyższych harmonicznych są użytkowane przez wszystkich odbiorców: przemysłowych, komercyjnych i indywidualnych. Wyższe harmoniczne spowodowane są przez **odbiorniki nieliniowe**.

Definicja odbiornika nieliniowego

Odbiornik uznaje się za nieliniowy, jeśli pobierany przez ten odbiornik prąd nie posiada takiego samego kształtu jak jego napięcie zasilania.

Przykłady odbiorników nieliniowych

Typowymi odbiornikami nieliniowymi są urządzenia zawierające układy energoelektroniczne.

Odbiorniki takie są coraz powszechniej stosowane i ich udział procentowy w ogólnym zużyciu energii stale rośnie.

Przykłady odbiorników nieliniowych:

- urządzenia przemysłowe (maszyny spawalnicze, piece łukowe, piece indukcyjne, układy prostownicze),
- napędy bezstopniowe dla silników prądu stałego oraz asynchronicznych,
- sprzęt biurowy (komputery PC, kserokopiarki, faksy, itd.),
- sprzęt domowy (telewizory, kuchenki mikrofalowe, lampy fluorescencyjne, itd.)
- układy zasilania awaryjnego - UPS-y.

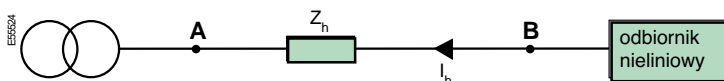
Wejście w stan nasycenia urządzenia (dotyczy to przede wszystkim transformatorów) jest również przyczyną odkształcenia przebiegów prądów.

Odształcenie prądu jest spowodowane przez nieliniowe odbiorniki przyłączone do sieci rozdzielczej. Przepływ w sieci odształconego prądu przez impedancje powoduje z kolei odształcenie napięcia zasilającego.

Zakłócenia powodowane przez odbiorniki nieliniowe – odształcenie prądu i napięcia

Przyłączenie odbiorników nieliniowych powoduje przepływ w sieci rozdzielczej odształconych prądów.

Odształcenie napięcia jest spowodowane przez przepływ odształconego prądu przez impedancje obwodu zasilającego (np. transformatora oraz sieci rozdzielczej na rys. 3).



Rys. 3. Schemat jednoliniowy pokazujący impedancję obwodu zasilającego dla harmonicznej rzędu h

Należy zauważyć, że impedancja przewodów rośnie wraz ze wzrostem częstotliwości prądu płynącego przez te przewody. Dlatego dla każdej h -tej harmonicznej wyróżnia się odpowiadającą jej impedancję obwodu zasilającego Z_h .

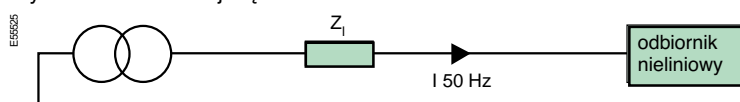
Zgodnie z prawem Ohma przepływ h -tej harmonicznej prądu przez impedancję Z_h powoduje spadek napięcia U_h , gdzie $U_h = Z_h \times I_h$. W związku z tym napięcie w punkcie B jest odształcone i wszystkie urządzenia umieszczone na odpływie tego punktu będą zasilane napięciem odształconym.

Odształcenie napięcia zwiększa się wraz ze wzrostem poziomu impedancji w sieci rozdzielczej.

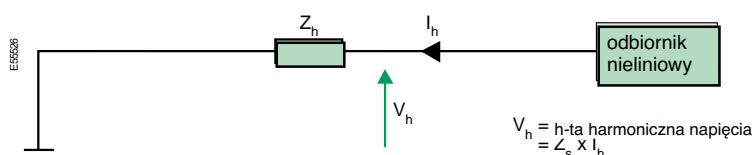
Przepływ wyższych harmonicznych w sieci rozdzielczej

W celu lepszego zrozumienia zjawiska występowania wyższych harmonicznych prądu, można sobie wyobrazić, że odbiorniki nieliniowe "wstrzykują" prądy wyższych harmonicznych do sieci rozdzielczej na dopływie w kierunku źródła.

Rys. 4a i 4b pokazują instalację, w której występują odształcenia przebiegów. Rys. 4a przedstawia przepływ składowej podstawowej prądu (50 Hz), natomiast rys.4b harmonicznej rzędu h .



Rys. 4a. Schemat instalacji zasilającej odbiornik nieliniowy z uwzględnieniem tylko składowej podstawowej (50 Hz) prądu

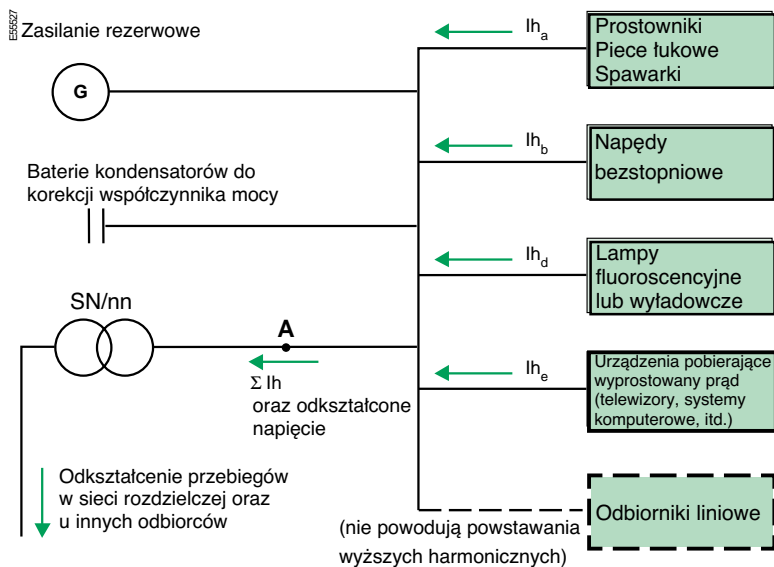


Rys. 4b. Schemat tej samej instalacji pokazujący zjawiska związane z występowaniem harmonicznej rzędu h

Zasilanie odbiornika nieliniowego powoduje przepływ w sieci prądu $I_{50\text{ Hz}}$ (rys. 4a), do którego dodają się prądy poszczególnych harmonicznych I_h (rys. 4b).

Wprowadzenie

Korzystając z modelu odbiorników nieliniowych "wstrzykujących" wyższe harmoniczne prądu do sieci rozdzielczej, można przedstawić omawiane zjawisko graficznie (rys. 5).



Rys. 5. Przepływ wyższych harmonicznych prądów w sieci rozdzielczej

Należy zwrócić uwagę na to, że pewne odbiorniki powodują odształcenie przebiegów w sieci rozdzielczej, a praca pozostałych odbiorników jest przez to zakłócona.

1.2 Dlaczego należy wykrywać i przeciwdziałać odkształceniu sygnałów?

1.2.1 Zakłócenia powodowane przez wyższe harmoniczne

Przepływ wyższych harmonicznych w sieci rozdzielczej powoduje pogorszenie jakości energii i w konsekwencji jest przyczyną różnorodnych problemów:

- przeciążenia sieci spowodowanego wzrostem wartości skutecznej prądu,
- przeciążenia przewodów neutralnych spowodowanego sumowaniem się harmonicznych rzędu trzeciego wywołanych przez odbiorniki jednofazowe,
- przeciążenia, wibracji oraz przedwczesnego starzenia się generatorów, transformatorów, silników, itd.,
- przeciążenia oraz przedwczesnego starzenia się baterii kondensatorów przeznaczonych do korekcji współczynnika mocy,
- odkształcenia napięcia zasilającego, powodującego zakłócenia w pracy wrażliwych odbiorników,
- zakłóceń w sieciach komunikacyjnych i liniach telefonicznych.

1.2.2 Ekonomiczne konsekwencje zakłóceń

Wyższe harmoniczne mają poważne konsekwencje ekonomiczne:

- przedwczesne starzenie się urządzeń, a w efekcie konieczność ich wcześniejszej wymiany (z wyjątkiem sytuacji, gdy urządzenia zostały przewymiarowane przy projektowaniu),
- przeciążenie sieci rozdzielczej powoduje konieczność zwiększenia poziomu zamawianej energii, uwzględniając dodatkowe straty,
- odkształcenie prądu powoduje nieuzasadnione wyzwalanie zabezpieczeń, a tym samym niepotrzebne przestoje maszyn i linii produkcyjnych.

Dodatkowe koszty urządzeń, energii oraz produkcyjne prowadzą w efekcie do zmniejszenia konkurencyjności firmy na rynku.

1.2.3 Wzrastające znaczenie problemu

Zaledwie dziesięć lat temu wyższe harmoniczne nie stanowiły poważnego problemu. Wynikało to z ich relatywnie niewielkiego wpływu na sieć rozdzielczą. Jednak gwałtowny wzrost liczby odbiorników zawierających układy energoelektroniczne spowodował znaczące pogorszenie się sytuacji.

1.2.4 Zagadnienie praktyczne: które harmoniczne należy mierzyć i ograniczać?

Harmoniczne najczęściej występujące (i w związku z tym mające najbardziej negatywne skutki) w trójfazowej sieci rozdzielczej to harmoniczne nieparzystego rzędu (1, 5, 7, itd.).

Harmoniczne prądu rzędu wyższego niż 50-go są pomijalnie małe i ich pomiar jest niepotrzebny.

Wystarczająca dokładność pomiaru jest osiągnięta przy uwzględnieniu harmonicznych do rzędu 10-go.

Dostawcy monitorują harmoniczne rzędu 1, 5, 7, 11 oraz 13.

Wynika z tego konieczność ograniczania harmonicznych do rzędu 13-go, a najlepiej do rzędu 25-go.

Istnieje kilka wskaźników, które pozwalają oszacować odkształcenie przebiegów prądu i napięcia.

Należą do nich:

- współczynnik mocy,
- współczynnik szczytu,
- moc deformacji,
- widmo częstotliwościowe,
- współczynnik odkształcenia.

Najważniejsze wskaźniki odkształcenia oraz zasady ich pomiaru

2.1 Współczynnik mocy

Współczynnik mocy będzie w tym dokumencie oznaczany symbolem PF.

2.1.1 Definicja

Współczynnik mocy jest stosunkiem mocy czynnej P do mocy pozornej S

$$PF = \frac{P}{S}$$

W żargonie elektrycznym współczynnik mocy jest często mylony z $\cos\varphi$, który można zdefiniować w następujący sposób:

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S_1}$$

gdzie:

P1 – moc czynna dla składowej podstawowej,

S1 – moc pozorna dla składowej podstawowej.

Na podstawie powyższego równania można stwierdzić, że $\cos\varphi$ odnosi się tylko do składowej podstawowej. Jeśli w przebiegach obecne są wyższe harmoniczne, to jego wartość różni się od wartości współczynnika mocy.

2.1.2 Interpretacja wartości współczynnika mocy

Pierwszą oznaką występowania znacznego odkształcenia przebiegu jest różnica pomiędzy zmierzoną wartością współczynnika mocy a $\cos\varphi$ (współczynnik mocy jest mniejszy od $\cos\varphi$).

2.2 Współczynnik szczytu

2.2.1 Definicja

Współczynnik szczytu jest stosunkiem wartości szczytowej prądu lub napięcia (I_m lub U_m) do wartości skutecznej tego prądu lub napięcia.

$$k = \frac{I_m}{I_{rms}} \quad \text{or} \quad k = \frac{U_m}{U_{rms}}$$

Dla przebiegów sinusoidalnych współczynnik szczytu jest równy $\sqrt{2}$.

Dla przebiegów niesinusoidalnych współczynnik szczytu jest mniejszy lub większy od $\sqrt{2}$.

Wskaźnik ten jest szczególnie przydatny do wykrywania przebiegów o wyjątkowych wartościach szczytowych w odniesieniu do wartości skutecznej.

2.2.2 Interpretacja wartości współczynnika szczytu

Typowa wartość współczynnika szczytu dla prądu odbiornika nieliniowego jest dużo większa od $\sqrt{2}$. Jego wartość mieści się w granicach od 1.5 do 2 lub nawet do 5 w sytuacjach krytycznych.

Duża wartość współczynnika szczytu oznacza, że od czasu do czasu w instalacji występują prądy przeciążeniowe o bardzo dużym natężeniu. Prądy te mogą być przyczyną nieuzasadnionego zadziałania zabezpieczeń.

2.3 Moce dla przebiegów odkształconych

2.3.1 Moc czynna

Moc czynna P przebiegu odkształconego jest sumą mocy czynnych odpowiadających harmonicznemu napięciu i prądu o tej samej częstotliwości. Moc czynną można więc wyrazić za pomocą następującego szeregu:

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} U_h I_h \cos \varphi_h$$

gdzie φ_h jest przesunięciem fazowym pomiędzy napięciem i prądem dla harmonicznnej rzędu h .

Uwaga:

- założono, że przebiegi nie zawierają składowej stałej, tzn. $U_0 = I_0 = 0$,
- jeśli przebiegi nie są odkształcone, to obowiązuje równanie $P = U_1 I_1 \cos \varphi_1$, w którym $\cos \varphi_1$ jest równe $\cos \varphi$.

2.3.2 Moc bierna

Moc bierna Q odnosi się wyłącznie do składowej podstawowej i jest zdefiniowana przez równanie:

$$Q = U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1$$

2.3.3 Moc deformacji

Moc pozorna jest zdefiniowana w następujący sposób:

$$S = U_{rms} \cdot I_{rms}$$

W przypadku przebiegów odkształconych powyższe równanie przyjmuje postać:

$$S^2 = \left(\sum_{n=1}^{\infty} U_n^2 \right) \cdot \left(\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 \right)$$

W tym przypadku zależność $S^2 = P^2 + Q^2$ nie obowiązuje. Moc deformacji D jest zdefiniowana przez równanie $S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$, czyli: $D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$

Najważniejsze wskaźniki odkształcenia oraz zasady ich pomiaru

2.4 Widmo częstotliwościowe i zawartość harmoniczných

2.4.1 Podstawy

Prąd odkształcony pobierany przez urządzenie nieliniowe może zostać scharakteryzowany poprzez amplitudy i fazy jego harmoniczných.

Powyższe wartości, a szczególnie wartości amplitudy, mają podstawowe znaczenie przy analizie odkształcenia przebiegu.

2.4.2 Procentowa zawartość harmoniczných

Procentowa zawartość harmoniczných jest zdefiniowana jako stosunek wartości skutecznej napięcia lub prądu dla harmoniczných rzędu h do wartości skutecznej składowej podstawowej:

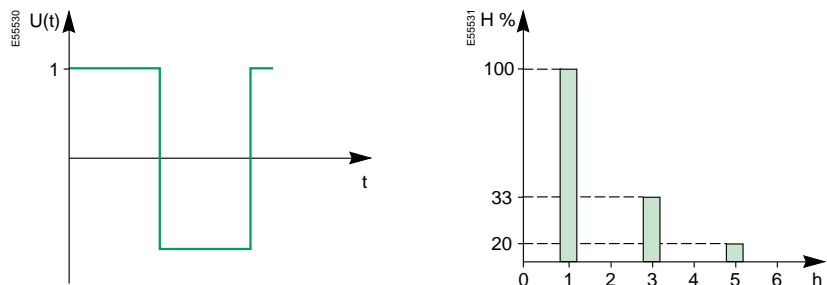
$$u_h(\%) = 100 \frac{U_h}{U_1} \quad \text{or} \quad i_h(\%) = 100 \frac{I_h}{I_1}$$

2.4.3 Widmo częstotliwościowe

Dzięki narysowaniu amplitud poszczególnych harmoniczných na jednym wykresie otrzymuje się graficzne przedstawienie widma częstotliwościowego.

Wyznaczanie widma nazywane jest analizą widmową.

Rys. 6 pokazuje analizę widmową przebiegu prostokątnego.



Rys.6. Analiza widmowa prostokątnego przebiegu napięcia $u(t)$

2.4.4 Wartość skuteczna

Wartość skuteczna napięcia lub prądu jest wyznaczana na podstawie wartości skutecznych poszczególnych harmoniczných:

$$I_{\text{wart. skut.}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$$

$$U_{\text{wart. skut.}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} U_h^2}$$

Symbolem THD oznaczany jest współczynnik odkształcenia.

Współczynnik THD jest często używany do określenia zawartości wyższych harmonicznych w sygnale zmiennym.

2.5 Współczynnik odkształcenia (THD)

2.5.1 Definicja współczynnika odkształcenia THD

Współczynnik odkształcenia (THD) dla sygnału y jest zdefiniowany przez równanie:

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} y_h^2}}{y_1}$$

Definicja ta jest zgodna z normą IEC 61000-2-2.

Należy zauważyć, że wartość tego współczynnika może przekroczyć 1.

Zgodnie z normą sumowanie może być ograniczone do pierwszych 50-u harmonicznych. Powyższe równanie pozwala na wyznaczenie pojedynczej wartości charakteryzującej odkształcenie napięcia lub prądu w pewnym punkcie sieci rozdzielczej.

2.5.2 Współczynnik THD dla prądu i napięcia

W przypadku przebiegu prądu równanie definiujące współczynnik odkształcenia przyjmuje postać:

$$\text{THD}_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

Jeśli znana jest wartość skuteczna przebiegu, to zamiast powyższego równania wygodniej i łatwiej jest stosować równoważne równanie w następującej postaci:

$$\text{THD}_I = \sqrt{\left(\frac{I_{\text{rms}}}{I_1}\right)^2 - 1}$$

W przypadku przebiegu napięcia równanie definiujące współczynnik odkształcenia przyjmuje postać:

$$\text{THD}_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} u_h^2}}{U_1}$$

2.5.3 Współczynnik THF

W niektórych krajach przyjęło się inne równie definiujące współczynnik odkształcenia przebiegu. W równaniu tym zastąpiono wartości skuteczne napięcia U_a lub prądu I_a dla harmonicznej podstawowej przez wartości skuteczne całego przebiegu napięcia $U_{\text{wart. skut.}}$ lub prądu $I_{\text{wart. skut.}}$.

W celu odróżnienia od poprzedniej definicji jest on oznaczany symbolem THF.

Przykładowo poniżej podano definicję napięciowego współczynnika THF:

$$\text{THF}_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_{\text{rms}}}$$

Współczynnik THF zarówno dla prądu jak i napięcia jest zawsze mniejszy od 100 %. Ułatwia to pomiary analogowe, ale współczynnik ten jest coraz mniej popularny, gdyż jego wartość dla niewielkich odkształceń przebiegu jest bliska wartości współczynnika THD. Ponadto użycie współczynnika THF nie jest zalecane w przypadku bardzo odkształconych przebiegów, gdyż jego wartość nie może przekroczyć 100 % w przeciwieństwie do współczynnika THD.

Najważniejsze wskaźniki odkształcenia oraz zasady ich pomiaru

2.5.4 Zależność pomiędzy współczynnikiem mocy a współczynnikiem THD

Zakładając, że nie występuje odkształcenie przebiegu napięcia (a jedynie prądu) można zapisać:

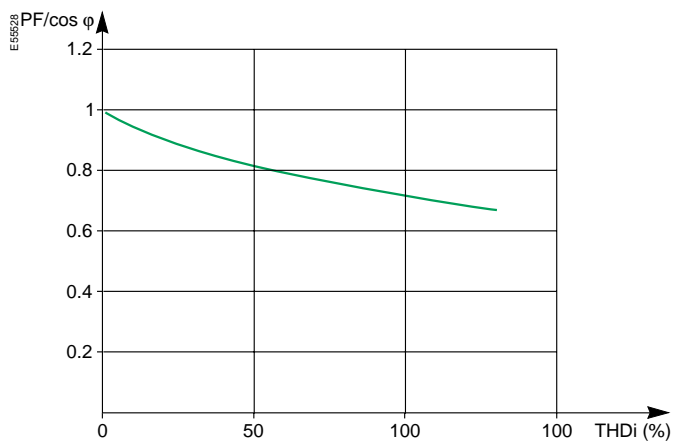
$$P \neq P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$$

$$\text{W związku z powyższym: } PF = \frac{P^{\text{rms}}}{S} = \frac{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1}{U_1 \cdot I_{\text{eff}}}$$

$$\text{lub: } \frac{I_1}{I_{\text{rms}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \text{THD}_I^2}}$$

$$\text{a stąd wynika, że: } PF \neq \frac{\cos \varphi_1}{\sqrt{1 + \text{THD}_I^2}}$$

Rys. 7 przedstawia wykres stosunku PF / cos_ w funkcji współczynnika THD_I.



Rys. 7. Zależność stosunku PF / cosφ od współczynnika THD_I, przy THD_U = 0

Najważniejszym wskaźnikiem, którego wartość oddaje poziom odkształcenia przebiegu prądu lub napięcia, jest współczynnik THD.

Widmo częstotliwościowe charakteryzuje w pełni sygnał odkształcony.

2.6 Porównanie przydatności wskaźników odkształcenia

■ **Napięciowy współczynnik THD** określa odkształcenie przebiegu napięcia.

Zmierzona wartość współczynnika THD_U zapewnia informację o zjawiskach występujących w instalacji. Wartość THD_U poniżej 5 % jest uważana za normalną i nie występuje ryzyko błędnego działania urządzeń w tym przypadku.

Wartość THD_U pomiędzy 5 % a 8 % wskazuje na znaczące odkształcenie przebiegów. Niektóre urządzenia mogą w tym przypadku działać niepoprawnie.

Wartość THD_U powyżej 8 % wskazuje na bardzo duże odkształcenie przebiegów. Prawdopodobne jest błędne działanie urządzeń. W tym przypadku niezbędna jest szczegółowa analiza problemu oraz instalacja systemu ograniczającego udział wyższych harmoniczych.

■ **Prądowy współczynnik THD** określa odkształcenie przebiegu prądu. W celu identyfikacji odbiornika powodującego odkształcenie przebiegów należy mierzyć współczynnik prądowy THD zarówno na dopływie jak i odpływie kontrolowanych obwodów.

Zmierzona wartość współczynnika THD_I zapewnia informację o zjawiskach występujących w instalacji. Wartość THD_I poniżej 10 % jest uważana za normalną i nie występuje ryzyko błędnego działania urządzeń w tym przypadku.

Wartość THD_I pomiędzy 10 % a 50 % wskazuje na znaczące odkształcenie przebiegów. Może w tym przypadku wystąpić wzrost temperatury, który oznacza, że parametry kabli i śródeł zasilania muszą być przy projektowaniu zawyżane.

Wartość THD_I powyżej 50 % wskazuje na bardzo duże odkształcenie przebiegów. Prawdopodobne jest błędne działanie urządzeń. W tym przypadku niezbędna jest szczegółowa analiza problemu oraz instalacja systemu ograniczającego udział wyższych harmoniczych.

■ **Współczynnik mocy PF** określa wymagania dotyczące zasilania instalacji.

■ **Współczynnik szczytu** używany jest do określenia zdolności źródła (UPS-u lub generatora) do zasilania odbiorników prądem o dużej wartości chwilowej. Przykładowo komputery należą do klasy odbiorników pobierających silnie odkształcony prąd, którego współczynnik szczytu może osiągnąć wartość 1 lub nawet 5.

■ **Widmo** (częstotliwościowa reprezentacja sygnału) pozwala spojrzeć na sygnał elektryczny z innej strony i może być użyte do ograniczenia zniekształceń.

Pomiar wartości wskaźników

3.1 Aparatura pomiarowa

3.1.1 Wybór aparatury pomiarowej

Jedynie analizatory cyfrowe, zbudowane w oparciu o najnowsze technologie, zapewniają wystarczająco dokładne pomiary wskaźników przedstawionych w poprzednim rozdziale.

W przeszłości używana była aparatura pomiarowa innego typu.

- Oscyloskopy – umożliwiające bezpośrednią obserwację przebiegów. Odształcenie przebiegów prądu i napięcia może być wykryte za pomocą oscyloskopu. Jeśli kształt przebiegu nie jest sinusoidalny, to oznacza to jego odształcenie przez wyższe harmoniczne. Należy zauważyć, że oscyloskop nie umożliwi dokładnej oceny zawartości wyższych harmonicznych.

- Analogowe analizatory widmowe.

Analogowe analizatory widmowe działają w oparciu o przestarzałą technologię, zbudowane są z filtru pasmowo-przepustowego oraz woltomierza elektromagnetycznego.

Analizatory tego typu są coraz rzadziej używane, gdyż charakteryzują się niezbyt dużą dokładnością, a także nie dostarczają informacji o fazach harmonicznych.

3.1.2 Funkcje analizatorów cyfrowych

Analizatory cyfrowe dzięki zastosowaniu mikroprocesorów:

- umożliwiają wyznaczenie wartości wskaźników odształcenia (współczynnika mocy, współczynnika szczytu, mocy deformacji, współczynnika THD),
- oferują kilka dodatkowych funkcji (korekcja, detekcja statystyczna, zarządzanie pomiarami, wyświetlanie, komunikacja, itd.),
- wyznaczają jednocześnie widmo napięcia i prądu (w przypadku analizatorów wielokanałowych) prawie w czasie rzeczywistym .

3.1.3 Zasada działania analizatorów cyfrowych oraz technika przetwarzania informacji

Sygnały analogowe przekształcane są w ciągi wartości cyfrowych.

Na podstawie wartości cyfrowych wyznaczane są amplitudy i fazy poszczególnych harmonicznych. W tym celu stosuje się algorytm szybkiego przekształcenia Fouriera FFT.

W celu wyznaczenia współczynnika THD większość analizatorów cyfrowych dokonuje pomiaru harmonicznych do rzędu 20-ego lub 25-ego.

Przetwarzanie wyników otrzymanych dzięki zastosowaniu algorytmu FFT (wygładzanie, klasyfikacja, statystyka) może zostać wykonane przez analizator lub zewnętrzne oprogramowanie.

3.2 Analiza harmoniczna przebiegów w sieci rozdzielczej

Pomiary przeprowadzane są u odbiorców przemysłowych i komercyjnych w celach:

- zapobiegawczych:
- ogólna ocena skali problemu (mapa sieci rozdzielczej),
- naprawczych:
- określenie pochodzenia zakłóceń oraz opracowanie środków zaradczych,
- sprawdzenie, czy rozwiązania wdrożone do tej pory pozwoliły na osiągnięcie zamierzonego efektu.

Zasady postępowania

Pomiar prądu i napięcia powinien być przeprowadzany:

- przy źródle zasilania,
- po stronie dopływu na szynach rozdzielnicy głównej,
- na każdym odpływie rozdzielnicy głównej.

Przeprowadzając pomiary należy uwzględnić informacje na temat aktualnych warunków, a w szczególności stanu baterii kondensatorów (ON lub OFF, liczba przyłączonych stopni).

Na podstawie wyników analizy niezbędne może okazać się:

- obniżenie parametrów znamionowych urządzeń instalowanych w przyszłości,
- oszacowanie konieczności zainstalowania dodatkowych rozwiązań w postaci zabezpieczeń oraz filtrów harmonicznych,
- porównanie zmierzonych wartości z wartościami odniesienia podawanymi przez dostawcę energii (graniczne wartości współczynników odkształcenia, wartości dopuszczalne, wartości odniesienia).

Zastosowanie aparatury pomiarowej

Aparatura pomiarowa dostarcza informacji o odkształceniach zarówno w danej chwili, jak i za pewien okres.

Poprawna analiza wymaga całkowania wartości po czasie w zakresie od kilku sekund do kilku minut przy kilkudniowym okresie obserwacji.

Niezbędna jest znajomość:

- amplitud harmonicznych napięcia i prądu,
- procentowej zawartości harmonicznych napięcia i prądu,
- współczynnika odkształcenia dla napięcia i prądu,
- w zależności od potrzeb przesunięcia pomiędzy harmonicznymi napięciami i prądami tego samego rzędu, a także fazy harmonicznych względem wspólnej fazy odniesienia (np. fazy składowej podstawowej napięcia).

Pomiar wartości wskaźników

3.3 Przewidywanie potrzeb w zakresie pomiaru odkształceń

Wskaźniki odkształcenia mogą być mierzone:

- przy użyciu aparatury pomiarowej zainstalowanej na stałe,
- przez eksperta z zewnątrz przebywającego na miejscu przez co najmniej pół dnia (pomiar ograniczony jest tylko do tego czasu).

3.3.1 Zalety aparatury pomiarowej zainstalowanej na stałe

Z kilku powodów rozwiązanie w postaci aparatury pomiarowej zainstalowanej na stałe jest korzystniejsze:

- czas przebywania eksperta jest z konieczności ograniczony w czasie, podczas gdy pomiary w różnych punktach instalacji przez wystarczająco długi okres (jeden tydzień do jednego miesiąca) umożliwiają ogólną ocenę działania systemu oraz uwzględniają wszystkie sytuacje, które mogą wystąpić:
 - fluktuacje zasilania,
 - zmiany w działaniu systemu,
 - instalację nowego sprzętu,
- zainstalowana na stałe aparatura pomiarowa ułatwia wykrywanie błędów przez ekspertów z zewnątrz i w efekcie ogranicza liczbę oraz czas trwania ich wizyt,
- zainstalowana na stałe aparatura pomiarowa pozwala na wykrycie nowych zakłóceń spowodowanych przez nowe urządzenia, nowe tryby pracy lub fluktuacje w sieci rozdzielczej.

3.3.2 Zalety zintegrowanej aparatury do pomiaru i detekcji

Aparatura pomiarowa i zabezpieczająca wbudowana w urządzenia rozdzielcze posiada szereg zalet.

- W przypadku ogólnej oceny instalacji możliwe jest uniknięcie:
 - wypożyczenia aparatury pomiarowej,
 - wynajęcia ekspertów z zewnątrz,
 - potrzeby przyłączenia i odłączenia aparatury pomiarowej.

Ogólna ocena instalacji może być przeprowadzona na poziomie głównej rozdzielni niskiego napięcia za pomocą aparatury pomiarowej zainstalowanej na dopływie i / lub aparatury zainstalowanej na każdym odpływie.

- W przypadku podejmowania czynności mających na celu ograniczenie negatywnych skutków odkształcenia przebiegów możliwa jest :
 - ocena warunków pracy w momencie zajścia zdarzenia,
 - analiza stanu instalacji (tzw. "mapa" instalacji) oraz wskaźników odkształcenia w przypadku zastosowania wybranego rozwiązania rozważanego problemu.

Pełna diagnoza wymaga czasami dodatkowych informacji dostarczanych przez specjalistyczny sprzęt dopasowany do danego problemu.

Obecność wyższych harmonicznych w przebiegach prądu prowadzi do poważnych konsekwencji ekonomicznych:

- wyższych rachunków za energię,
- przedwczesnego starzenia się instalacji oraz urządzeń,
- spadków wydajności.

Wpływ odkształcenia przebiegów na instalację

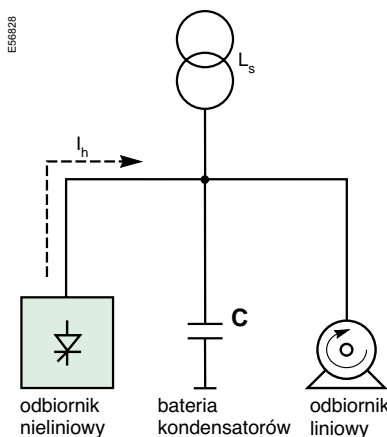
4.1 Rezonans

Użytkowanie w sieci rozdzielczej układów o charakterze indukcyjnym oraz pojemnościowym prowadzi do zjawiska rezonansu, które objawia się występowaniem impedancji o niezwykle dużych lub małych wartościach. Zmiany tych impedancji wpływają zarówno na przebiegi prądu jak i napięcia w sieci rozdzielczej.

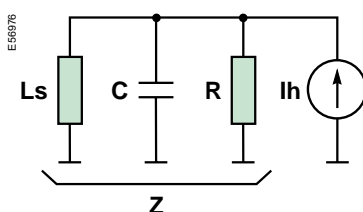
W dalszej części omówiony zostanie tylko rezonans równoległy, który występuje w praktyce najczęściej.

Rozważmy uproszczony schemat instalacji przedstawiony poniżej i złożony z:

- transformatora,
- odbiorników liniowych,
- odbiorników nieliniowych, powodujących odkształcenie prądów,
- baterii kondensatorów stosowanych do poprawy współczynnika mocy.



W celach analizy widmowej poniżej przedstawiono równoważny schemat:



L_s : indukcyjność zastępcza (sieć rozdzielcza + transformator + linia)
 C : pojemność baterii do poprawy współczynnika mocy
 R : rezystancja odbiorników liniowych
 I_h : prąd odkształcony

$$Z = \frac{jL_s \omega}{1 - L_s C \omega^2} \quad \text{jeśli } R \text{ jest pomijalnie małe}$$

Rezonans występuje, gdy mianownik $1 - L_s C \omega^2$ przyjmuje wartość zero. Częstotliwość, dla której spełniony jest ten warunek, nazywa się częstotliwością rezonansową obwodu. Przy tej częstotliwości występuje maksymalna wartość impedancji. Zjawisko to powoduje znaczne odkształcenie przebiegu napięcia. Równocześnie w stanie rezonansu w obwodzie równoległym $L_s - C$ płynie odkształcony prąd rezonansowy o dużo większej wartości od "wstrzykiwanego" prądu I_h .

Przez sieć rozdzielczą oraz baterie kondensatorów mogą przepływać odkształcone prądy o dużym natężeniu, zwiększając ryzyko wystąpienia przeciążeń.

Wpływ odkształcenia przebiegów na instalację

4.2 Zwiększone straty

4.2.1 Straty w przewodach

Moc czynna przesyłana do odbiornika zależy od składowej podstawowej prądu. Jeśli prąd pobierany przez odbiornik zawiera wyższe harmoniczne, to wartość skuteczna tego prądu ($I_{\text{wart.skut.}}$) jest większa od wartości skutecznej składowej podstawowej I_1 .

Uwzględniając definicję współczynnika odkształcenia THD:

$$\text{THD} = \sqrt{\left(\frac{I_{\text{rms}}}{I_1}\right)^2 - 1}$$

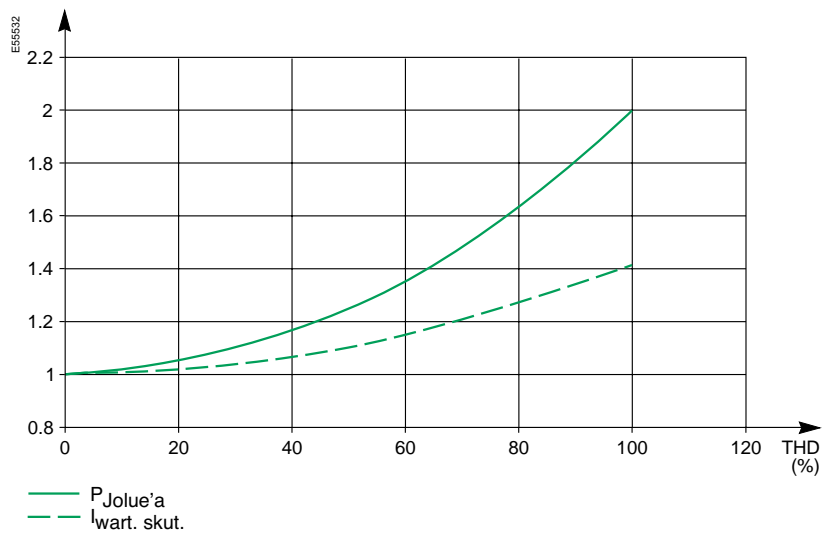
otrzymuje się następującą zależność:

$$I_{\text{rms}} = I_1 \sqrt{1 + \text{THD}^2}$$

Rys. 8 przedstawia przyrost następujących wielkości (w funkcji współczynnika odkształcenia THD):

- wartości skutecznej prądu ($I_{\text{wart. skut.}}$) pobieranego przez odbiornik przy zadanej składowej podstawowej,
- strat ciepłych ($P_{\text{Joule'a}}$) bez uwzględnienia zjawiska naskórkowości.

Punktem odniesienia na wykresie (wartość 1 na osi rzędnych) jest odpowiednio wartość skuteczna prądu ($I_{\text{wart. skut.}}$) oraz straty ciepłe ($P_{\text{Joule'a}}$) przy braku wyższych harmonicznych (THD = 0).



Rys. 8. Przyrost wartości skutecznej prądu oraz strat ciepłych w funkcji współczynnika THD

Wyższe harmoniczne prądu prowadzą do wzrostu strat ciepłych we wszystkich przewodach, którymi ten prąd płynie, a ponadto wywołują dodatkowy przyrost temperatury w transformatorach, wyłącznikach, kablach, itd.

4.2.2 Straty w maszynach asynchronicznych

Zasilanie maszyny asynchronicznej napięciem odkształconym powoduje przepływ prądów o częstotliwościach większych od 50 Hz w uzwojeniu wirnika. Prądy te są przyczyną dodatkowych strat, które są proporcjonalne do U_n^2/h .

■ Oszacowanie strat:

□ napięcie zasilania o kształcie prostokątnym powoduje wzrost strat o 20 %,
□ napięcie zasilania o składowej podstawowej U_1 i następującej procentowej zawartości harmonicznych (u_h):

□ u_5 : 8 % U_1 ,

□ u_7 : 5 % U_1 ,

□ u_{11} : 3 % U_1 ,

□ u_{13} : 1 % U_1 ,

(tzn. napięcie o współczynniku THD równym 10 %) powoduje dodatkowe straty w wysokości 6 %.

4.2.3 Straty w transformatorach

Prądy odkształcone płynące przez transformator prowadzą do wzrostu strat w uzwojeniach spowodowanych efektem Joule'a oraz strat w żelazie spowodowanych prądami wirowymi.

Ponadto odkształcone napięcie powoduje wzrost strat w żelazie ze względu na histerezę.

Ogólnie można stwierdzić, że straty w uzwojeniach wzrastają wraz z kwadratem prądowego współczynnika THD, a straty w rdzeniu wzrastają liniowo wraz z napięciowym współczynnikiem THD.

■ Oszacowanie strat:

□ wzrost strat wynosi 10 – 15 % w przypadku transformatorów w ogólnej sieci rozdzielczej, gdzie poziom odkształcenia przebiegów jest relatywnie niski.

4.2.4 Straty w kondensatorach

Odształcone napięcie powoduje w przypadku kondensatorów przepływ prądów proporcjonalnych do częstotliwości kolejnych harmonicznych. Prądy te są przyczyną dodatkowych strat.

Przykład:

Rozważmy napięcie zasilania o składowej podstawowej U_1 i następującej procentowej zawartości harmonicznych (u_h):

- u_5 : 8% of U_1 ,

- u_7 : 5% of U_1 ,

- u_{11} : 3% of U_1 ,

- u_{13} : 1% of U_1 ,

(tzn. napięcie o współczynniku THD równym 10%).

Wówczas:

$$I_1 = U_1 \cdot C \cdot \omega$$

$$I_5 = U_5 \cdot C \cdot 5\omega = u_5 \cdot 5 \cdot I_1$$

$$I_7 = U_7 \cdot C \cdot 7\omega = u_7 \cdot 7 \cdot I_1$$

$$I_{11} = U_{11} \cdot C \cdot 11\omega = u_{11} \cdot 11 \cdot I_1$$

$$I_{13} = U_{13} \cdot C \cdot 13\omega = u_{13} \cdot 13 \cdot I_1$$

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\sum I_h^2}$$

$$\frac{I_{\text{rms}}}{I_1} = \sqrt{1 + (u_5 \cdot 5)^2 + (u_7 \cdot 7)^2 + (u_{11} \cdot 11)^2 + (u_{13} \cdot 13)^2} = 1,19$$

W rozważanym przypadku straty ciepłne wzrastają $1 \cdot 1,19^2 = 1,4$

Wpływ odkształcenia przebiegów na instalację

4.3 Przeciążenia urządzeń

4.3.1 Generatory

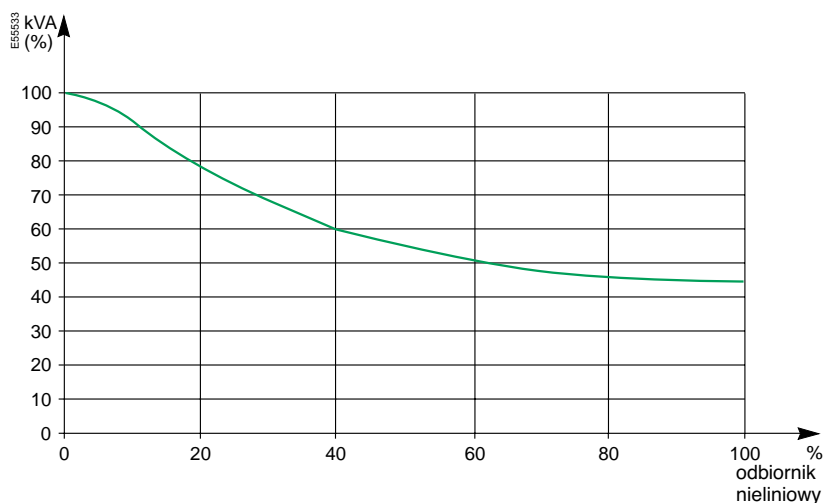
Ze względu na dodatkowe straty spowodowane przez odkształcenie przebiegów prądu występuje obniżenie parametrów generatorów zasilających odbiorniki nieliniowe. Współczynnik obniżenia parametrów znamionowych wynosi około 10 % dla generatora zasilającego odbiorniki, z których 30 % ma charakter nieliniowy. W rezultacie zainstalowany generator powinien być przewymiarowany.

4.3.2 Zasilacze awaryjne UPS

Prąd pobierany przez sprzęt komputerowy charakteryzuje się wysokim współczynnikiem szczytu. Zasilacz awaryjny dobrany przy uwzględnieniu jedynie wartości skutecznej prądu może nie być w stanie dostarczyć prądu o wymaganej wartości szczytowej. Prowadzi to do przeciążenia zasilacza.

4.3.3 Transformatory

■ Poniższy rysunek pokazuje stopień obniżenia mocy znamionowej transformatora w zależności od procentowego udziału odbiorników nieliniowych zasilanych przez niego. 40 %.



Rys. 9. Wykres ilustrujący obniżenie mocy znamionowej transformatora zasilającego odbiorniki nieliniowe

Przykład: Dla transformatora, dla którego 40 % odbiorników ma charakter nieliniowy, występuje 40 % obniżenie mocy znamionowej.

■ Norma UTE C15-112 definiuje współczynnik, który pozwala na wyznaczenie aktualnej mocy transformatora zasilającego odbiorniki nieliniowe:

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,1 \cdot \left(\sum_{h=2}^{40} h^{1,6} \cdot T_h^2 \right)}}$$

$$T_h = \frac{I_h}{I_1}$$

Typowe wartości:

- dla prądu o przebiegu prostokątnym (amplitudy kolejnych harmonicznych odwrotnie proporcjonalnie do ich rzędu h (*)): $k = 0.86$,
 - dla prądu pobieranego przez przemiennik częstotliwości (THD $\approx 50\%$): $k = 0.80$.
- (* W rzeczywistości przebieg prądu ma w przybliżeniu kształt fali prostokątnej. Dotyczy to wszystkich prostowników prądowych (prostowników trójfazowych, a także pieców indukcyjnych, itd.).

■ „Współczynnik K”

Norma ANSI C57.110 definiuje metodę wyznaczenia aktualnych parametrów transformatora opartą na „współczynniku K” określonym przez poniższe równanie:

$$K = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2 \cdot h^2}{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} = \sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{I_h^{\text{rms}}}{I_{\text{eff}}} \right)^2 \cdot h^2$$

Zastosowanie współczynnika K daje znacznie większe zmniejszenie mocy znamionowej transformatorów. Jest on szeroko stosowany w Ameryce Północnej. Dla poniższego przykładu współczynnik K wynosi 13.

Rząd harmonicznej h	I_h (%)
5	30
7	20
11	14
13	11
17	8
19	7
23	5
25	4

Wzrost kosztów transformatorów dobieranych przy użyciu metody „współczynnika K” wynosi od 10 do 60 % w zależności od mocy znamionowej transformatora (w zakresie od 5 do 500 kVA).

4.3.4 Maszyny asynchroniczne

Standard IEC 60892 defines a weighted harmonic voltage factor (HVF) for which the equation and the maximum permissible value are presented below:

$$HVF = \sqrt{\sum_{h=2}^{13} \frac{U_h \Delta}{h^2}} \leq 0,02$$

■ Przykład:

Rozważmy napięcie zasilania o składowej podstawowej U_1 i następującej procentowej zawartości harmonicznych (u_h):

- u_3 : 2 % U_1 ,
- u_5 : 3 % U_1 ,
- u_7 : 1 % U_1 ,

(tzn. napięcie o współczynniku THD równym 3.7 % oraz HVF równym 0.018).

W powyższym przykładzie współczynnik HVF jest bardzo bliski wartości granicznej, przy której należy uwzględnić obniżenie parametrów maszyny. Z praktycznego punktu widzenia maszyna asynchroniczna nie powinna być zasilana napięciem o współczynniku THD większym od 10 %.

Wpływ odkształcenia przebiegów na instalację

4.3.5 Kondensatory

Zgodnie z normami wartość skuteczna prądu płynącego przez kondensatory nie może przekraczać 1.3 prądu znamionowego..

■ Przykład (prezentowany już wcześniej):

Rozważmy napięcie zasilania o składowej podstawowej U_1 i następującej procentowej zawartości harmonicznych (u_h):

- u_5 : 8 % U_1 ,
- u_7 : 5 % U_1 ,
- u_{11} : 3 % U_1 ,
- u_{13} : 1 % U_1 ,

(tzn. napięcie o współczynniku THD równym 10 %).

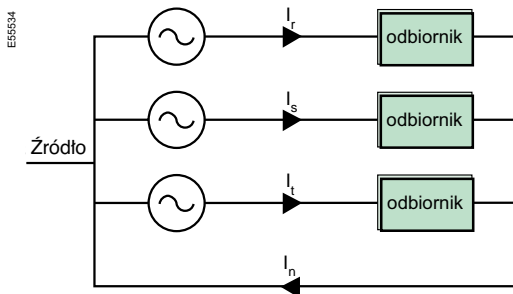
Wówczas przy napięciu znamionowym $\frac{I_{rms}}{I_1} = 1,19$

Jeśli napięcie jest równe 1.1 napięcia znamionowego $\frac{I_{rms}}{I_1} = 1,3$ W takim

przypadku maksymalna dopuszczalna wartość prądu zostaje przekroczona i muszą zostać zastosowane kondensatory o większym prądzie znamionowym.

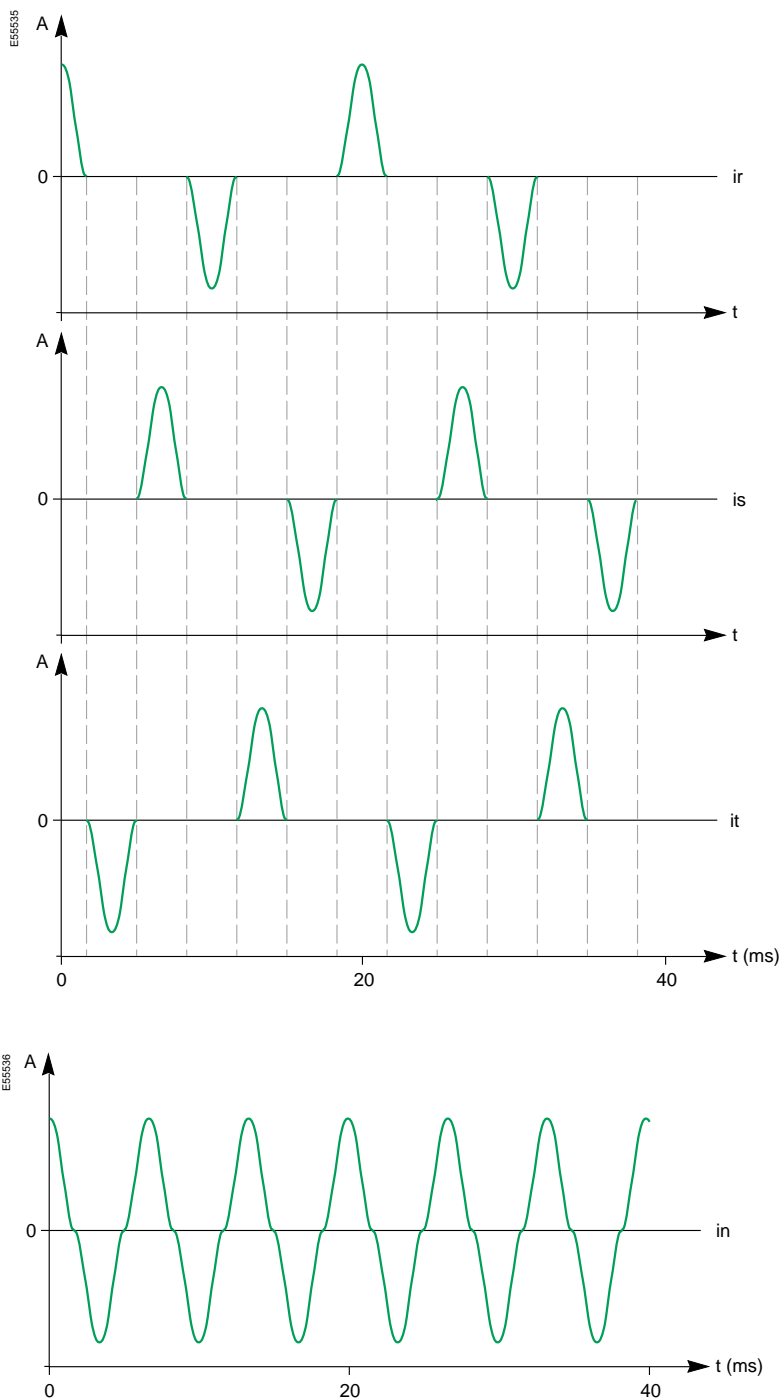
4.3.6 Przewody neutralne

Rozważmy system złożony z symetrycznego źródła trójfazowego oraz symetrycznego odbiornika trójfazowego połączonego w gwiazdę z przewodem neutralnym.



Rys. 10. Kierunki prądów w układzie trójfazowym

Na rys. 11 przedstawiono przykładowe przebiegi prądów fazowych oraz odpowiadający im przebieg prądu w przewodzie neutralnym dla systemu przedstawionego na rys. 10.



Rys.11. Przykładowe przebiegi prądów w przewodach fazowych i neutralnym w układzie trójfazowym, w którym $i_n = i_r + i_s + i_t$

W zaprezentowanym przykładzie wartość skuteczna prądu w przewodzie neutralnym jest $\sqrt{3}$ razy większa od wartości skutecznej prądów fazowych. W związku z tym przewód neutralny musi być dobrany tak, aby przepływ tak dużego prądu nie wywoływał negatywnych skutków.

Wpływ odkształcenia przebiegów na instalację

4.4 Wpływ na odbiorniki wrażliwe na zakłócenia

4.4.1 Odkształcenie napięcia zasilania

- Odkształcenie napięcia zasilania może zakłócać pracę wrażliwych odbiorników, np.:
 - układy regulacji (temperatury, itd.),
 - sprzęt komputerowy,
 - układy sterowania i monitorowania (przełączniki zabezpieczeń).

4.4.2 Zakłócenia linii telefonicznych

- Wyższe harmoniczne mogą prowadzić do indukowania się zakłóceń w obwodach przewodzących prąd o małym natężeniu. Stopień zakłócenia zależy od długości na jakiej linia zasilająca i sygnałowa biegną równolegle, odległości pomiędzy tymi liniami, a także częstotliwości wyższych harmonicznych.

4.5 Konsekwencje ekonomiczne

4.5.1 Straty mocy

Zjawisko Joule'a, wywołwane przez wyższe harmoniczne prądu w przewodach i urządzeniach, powoduje dodatkowe straty mocy.

4.5.2 Koszty związane z zamawianiem dodatkowej mocy

Obecność wyższych harmonicznych w prądzie sprawia, że konieczne staje się zwiększenie poziomu zamawianej mocy, co w konsekwencji prowadzi do zwiększenia kosztów.

Ponadto wydaje się, że w przyszłości dostawcy energii będą starali się przenieść dodatkowe koszty na odbiorców powodujących odkształcanie przebiegów w sieci.

4.5.3 Dobór wyposażenia o podwyższonych parametrach

- Obniżenie parametrów znamionowych źródeł (generatorów, transformatorów, zasilaczy UPS) oznacza, że muszą być dobierane urządzenia o wyższych parametrach znamionowych.
- Przewody muszą być dobierane przy uwzględnieniu przepływu wyższych harmonicznych prądu. Ponieważ częstotliwości harmonicznych są większe od częstotliwości podstawowej, to impedancje dla nich są również większe. W celu uniknięcia zbyt dużych strat, wynikających ze zjawiska Joule'a, przewody muszą być przewymiarowane.
- Przepływ wyższych harmonicznych prądów przez przewód neutralny oznacza, że musi on być przewymiarowany.

4.5.4 Ograniczenie czasu życia urządzeń

(Dane uzyskane z Kanadyjskiego Towarzystwa Elektrycznego).

Jeśli odkształcenie napięcia zasilania jest rzędu 10 %, to czas życia urządzeń ulega znaczącemu skróceniu. W zależności od rodzaju urządzenia wynosi on w przybliżeniu:

- 32.5 % dla maszyn jednofazowych,
- 18 % dla maszyn trójfazowych,
- 5 % dla transformatorów.

W celu utrzymania czasu życia, takiego jak przy nie odkształconym przebiegu napięcia zasilania, muszą być dobrane urządzenia o wyższych parametrach znamionowych.

4.5.5 Przypadkowe zadziałanie zabezpieczeń oraz wyłączanie instalacji

Wyłączniki instalacyjne narażone są na gwałtowne skoki wartości natężenia prądu spowodowane przez wyższe harmoniczne.

Powyższe zjawisko powoduje nieuzasadnione wyzwalanie wyłączników i w konsekwencji straty produkcyjne, jak również straty wynikające z czasu niezbędnego do przywrócenia instalacji do stanu pracy.

4.5.6 Przykłady

W przypadku instalacji opisanych w poniższych przykładach, z powodu znacznych kosztów ekonomicznych, niezbędne okazało się zastosowanie filtrów harmoniczných.

- Centrum komputerowe firmy ubezpieczeniowej.
Nieuzasadnione wyzwolenie wyłącznika spowodowało straty oceniane na 100 000 euro / godz. wyłączenia instalacji.
- Laboratorium farmaceutyczne.
Wyższe harmoniczne spowodowały uszkodzenie zestawu silnik-generator i przerwanie bardzo długiej fazy testu nad nowym produktem. Straty wynoszą około 17 mln euro.
- Huta.
Piecze indukcyjne wywołały przeciążenia, które z kolei spowodowały w ciągu jednego roku nieodwracalne uszkodzenia trzech transformatorów o mocy od 1500 do 2500 kVA oraz straty produkcyjne oceniane na 20 000 euro / godz.
- Fabryka mebli ogrodowych.
Uszkodzenie napędu bezstopniowego spowodowało straty produkcyjne oceniane na 10 000 euro / godz.

Przepisy dotyczące poziomu zawartości wyższych harmonicznych zawarte są w kilku normach oraz przepisach:

- normy zgodności sieci rozdzielczych,
- normy ustalające wartości graniczne dla urządzeń powodujących odkształcenie przebiegów,
- zalecenia dotyczące instalacji stworzone przez dostawców energii.

Normy i przepisy regulujące

W celu ograniczenia niekorzystnych konsekwencji odkształcenia przebiegów został wprowadzony w życie trójczłonowy system norm i przepisów. System ten został przedstawiony poniżej.

5.1 Zgodność norm dotyczących sieci rozdzielczej oraz norm dla urządzeń

Normy te określają kilka kryteriów zgodności pomiędzy siecią rozdzielczą a zainstalowanymi urządzeniami, gwarantujących że:

- zakłócenia wyższymi harmonicznymi spowodowane przez urządzenie w sieci nie mogą przekraczać ustalonych wartości granicznych,
- każde urządzenie musi być w stanie działać prawidłowo w przypadku występowania zakłóceń odpowiadających przynajmniej ustalonym wartościom granicznym.

- Norma IEC 1000-2-2 określa wymagania dla ogólnej sieci rozdzielczej niskiego napięcia.
- Norma IEC 1000-2-4 określa wymagania dla instalacji przemysłowych niskiego i średniego napięcia.

5.2 Normy jakości dla sieci rozdzielczej

- Norma EN 5060 podaje charakterystykę napięcia dostarczanego przez ogólną sieć rozdzielczą niskiego napięcia.
- Norma IEEE 59 (zalecane działania mające na celu kontrolę nad odkształceniami przebiegów w systemie elektroenergetycznym) zawiera połączone podejście dla dostawców energii oraz ich klientów pozwalające na ograniczenie wpływu odbiorników nieliniowych. Ponadto, dostawcy energii zachęcają do podejmowania czynności zapobiegawczych, pozwalających na ograniczenie: pogorszenia jakości energii, przyrostu temperatury oraz spadku współczynnika mocy. Dostawcy energii mogą również stosować kary w stosunku do odbiorców, którzy powodują odkształcenie przebiegów w sieci.

5.3 Normy odnoszące się do urządzeń

- Norma IEC 61000-3-2 lub EN 61000-3-2 określa wymagania dla urządzeń niskiego napięcia pobierających prąd o wartości mniejszej niż 16 A.
- Norma IEC 61000-3-4 lub EN 61000-3-4 określa wymagania dla urządzeń niskiego napięcia pobierających prąd o wartości większej niż 16 A.

5.4 Maksymalna dopuszczalna zawartość harmonicznych

Na podstawie badań przeprowadzonych w różnych krajach możliwe było określenie typowych zawartości wyższych harmonicznych w sieci rozdzielczej.

Poniższa tabela, opracowana na podstawie badań przeprowadzonych przez organizację CIGRE, oddaje opinię dużej liczby dostawców energii dotyczącą wartości granicznych zawartości harmonicznych, których nie należy przekraczać.

Harmoniczne nieparzyste, nie będące wielokrotnością 3				Harmoniczne nieparzyste, będące wielokrotnością 3				Harmoniczne parzyste			
Rząd h	nn	SN	NN	Rząd h	nn	SN	NN	Rząd h	nn	SN	NN
5	6	6	2	3	5	2.5	1.5	2	2	1.5	1.5
7	5	5	2	9	1.5	1.5	1	4	1	1	1
11	3.5	3.5	1.5	15	0.3	0.3	0.3	6	0.5	0.5	0.5
13	3	3	1.5	21	0.2	0.2	0.2	8	0.5	0.2	0.2
17	2	2	1	>21	0.2	0.2	0.2	10	0.5	0.2	0.2
19	1.5	1.5	1					12	0.2	0.2	0.2
23	1.5	1	0.7					>12	0.2	0.2	0.2
25	1.5	1	0.7								
>25	0.2+25h	0.2+25h	0.1+25h								

Istnieją trzy grupy rozwiązań prowadzące do ograniczenia zawartości wyższych harmonicznych:

- modyfikacja instalacji,
- zastosowanie specjalnych urządzeń w sieci zasilającej (dławików, specjalnych transformatorów),
- użycie filtrów.

Rozwiązania pozwalające na ograniczenie zawartości wyższych harmonicznych

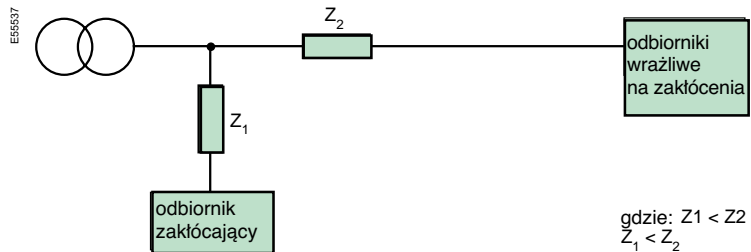
6.1 Rozwiązania ogólne

W celu ograniczenia propagacji wyższych harmonicznych w sieci rozdzielczej można już na etapie projektowania instalacji przedsięwziąć środki zaradcze.

6.1.1 Umieszczenie zakłócających odbiorników

Całkowity poziom zawartości wyższych harmonicznych rośnie wraz ze zmniejszaniem się mocy zwarciowej.

Dlatego też odbiorniki zakłócające (powodujące odkształcenie przebiegów) powinny być przyłączane jak najbliżej źródła (patrz rys. 13a).



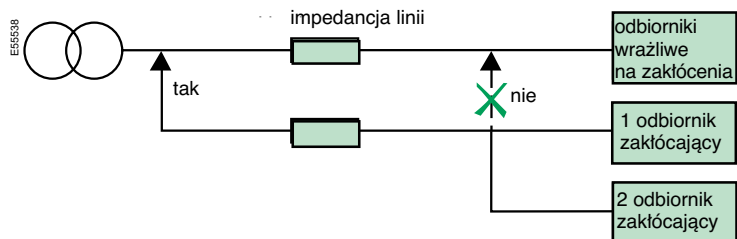
Rys. 13a. Zalecane miejsce przyłączenia odbiorników nieliniowych (jak najbliżej źródła)

6.1.2 Grupowanie zakłócających odbiorników

Przy projektowaniu należy, jeśli to możliwe, wyodrębnić odbiorniki zakłócające od innych (patrz rys. 13b). Z praktycznego punktu widzenia te dwie grupy odbiorników powinny być zasilane z różnych szyn zbiorczych.

Grupowanie odbiorników zakłócających pozwala na ograniczenie odkształcenia przebiegów, gdyż suma wektorowa prądów jest mniejsza od sumy algebraicznej tych prądów.

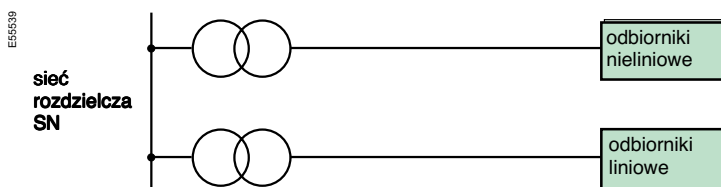
Przy projektowaniu należy zwrócić uwagę na to, by odkształcony prąd przepływał przez przewody o jak najmniejszej długości. Pozwala to na ograniczenie spadków napięcia oraz przyrostu temperatury przewodów.



Rys. 13b. Grupowanie odbiorników nieliniowych oraz przyłączenie ich jak najbliżej źródła (zalecane rozwiązanie)

6.1.3 Separacja źródła zasilania

Środkiem pozwalającym na ograniczenie negatywnych skutków obecności wyższych harmonicznych jest zasilanie odbiorników zakłócających poprzez oddzielny transformator, jak to pokazano na poniższym uproszczonym schemacie (rys. 14).



Rys. 14 Zasilanie odbiorników zakłócających poprzez oddzielny transformator.

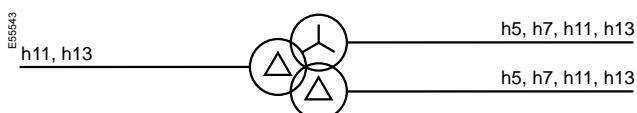
Wadą przedstawionego rozwiązania jest wzrost kosztów instalacji.

6.1.4 Zastosowanie transformatorów o specjalnych rodzajach połączeń

Transformatory o niektórych rodzajach połączeń mają właściwość eliminowania pewnych harmonicznych.

Rząd harmonicznych, które są eliminowane, zależy od rodzaju połączenia:

- połączenie trójkąt-gwiazda-trójkąt pozwala na eliminację harmonicznych rzędu 5 oraz 7 (patrz rys. 15),
- połączenie trójkąt-gwiazda pozwala na eliminację harmonicznych rzędu 3 (harmoniczne te płyną w każdej z faz i zamykają się poprzez przewód neutralny),
- połączenie trójkąt-zygzak pozwala na eliminację harmonicznych rzędu 5,



Rys. 15. Transformator o połączeniu trójkąt-gwiazda-trójkąt zapobiegający propagacji harmonicznych rzędu 5 oraz 7 w sieci rozdzielczej na dopływie

6.1.5 Instalowanie dławików

W instalacjach zawierających napędy bezstopniowe, możliwe jest wygładzenie przebiegu prądu dzięki zastosowaniu dławików. Zwiększenie impedancji obwodu zasilania powoduje ograniczenie wyższych harmonicznych prądu.

Użycie dławików wraz z bateriami kondensatorów powoduje zwiększenie wypadkowej impedancji dla harmonicznych o wyższych częstotliwościach.

Rozwiązania pozwalające na ograniczenie zawartości wyższych harmonicznych

6.1.6 Wybór odpowiedniego układu sieci

■ Układ TNC

W układzie TNC funkcję przewodu neutralnego i ochronnego pełni jeden przewód PEN.

W stanie ustalonym harmoniczne prądu płyną przez przewód PEN. Jednak przewód ten ma pewną impedancję, co powoduje niewielką różnicę napięcia (kilku woltów) pomiędzy urządzeniami, która może być przyczyną błędnego działania wyposażenia elektronicznego.

Układ TNC powinien być stosowany tylko do zasilania obwodów przyłączanych jak najbliżej źródła (transformatora). Nie powinno się stosować go do zasilania wrażliwych na zakłócenia odbiorników.

■ Układ TNS

Układ ten jest zalecany, jeśli występuje odkształcenie przebiegów.

Przewód neutralny i ochronny PE są w pełni oddzielone, zapewniając dużo bardziej stabilne napięcie w sieci rozdzielczej.

Jeśli środki zapobiegawcze przedstawione powyżej nie są wystarczające, to w instalacji należy zainstalować filtry.

Można wyróżnić trzy typy filtrów:

- filtry pasywne,
- filtry aktywne,
- filtry hybrydowe.

6.2 Rozwiązania stosowane po przekroczeniu wartości granicznych

6.2.1 Filtry pasywne

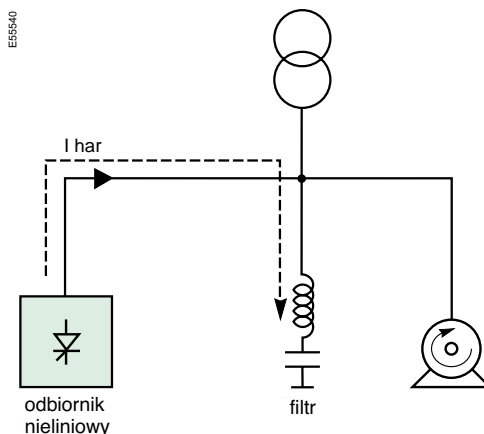
■ Typowe zastosowania:

- instalacje przemysłowe zawierające urządzenia, powodujące odkształcenie przebiegów, o całkowitej mocy znamionowej większej od 200 kVA (napędy bezstopniowe, zasilacze UPS, prostowniki, itd.),
- instalacje, w których wymagana jest poprawa współczynnika mocy,
- instalacje, w których należy ograniczyć odkształcenie napięcia w celu uniknięcia zakłócania wrażliwych odbiorników,
- instalacje, w których należy ograniczyć odkształcenie prądu w celu uniknięcia przeciążeń.

■ Zasada działania.

Obwód LC dostrojony do częstotliwości harmonicznych wymagających odfiltrowania jest instalowany równoległe z urządzeniem powodującym odkształcenie przebiegów (patrz rys. 16).

Przez obwód filtrujący płyną wyższe harmoniczne i dzięki temu nie występują one w prądzie źródła.



Rys. 16. Zasada działania filtra pasywnego

Filtr pasywny jest dostrojony do częstotliwości harmonicznej, która ma być wyeliminowana. W celu redukcji znacznego odkształcenia przebiegów (zawierających wyższe harmoniczne kilku rzędów) należy zastosować kilka filtrów pasywnych połączonych równoległe.

6.2.2 Filtry aktywne

■ Typowe zastosowania:

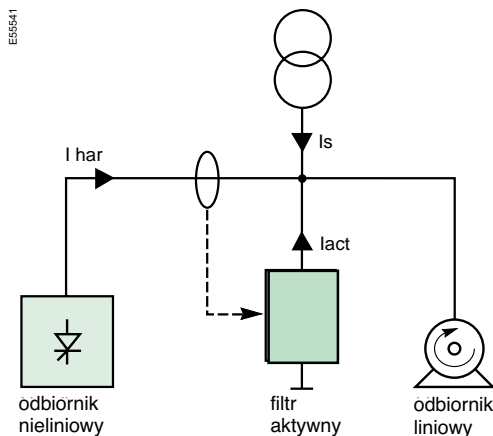
- instalacje komercyjne zawierające urządzenia, powodujące odkształcenie przebiegów, o całkowitej mocy znamionowej mniejszej od 200 kVA (napędy bezstopniowe, zasilacze UPS, sprzęt komputerowy, itd.),
- instalacje, w których należy ograniczyć odkształcenie prądu w celu uniknięcia przeciążeń,

■ Zasada działania.

Filtry aktywne są układami energoelektronicznymi instalowanymi szeregowo lub równoległe z odbiornikiem nieliniowym. Filtry aktywne dostarczają prądy o kształcie wymaganym przez odbiorniki nieliniowe i tym samym prądy w systemie energetycznym nie są odkształcane.

Rozwiązania pozwalające na ograniczenie zawartości wyższych harmonicznych

Na rys.17 przedstawiono przykład filtru aktywnego służącego do kompensacji wyższych harmonicznych prądu ($I_{har} = -I_{act}$).



Rys. 17. Zasada działania filtra aktywnego

Filtr aktywny dostarcza w przeciwfazie wyższe harmoniczne prądu pobieranego przez odbiornik. Dzięki temu prąd w instalacji pozostaje sinusoidalny.

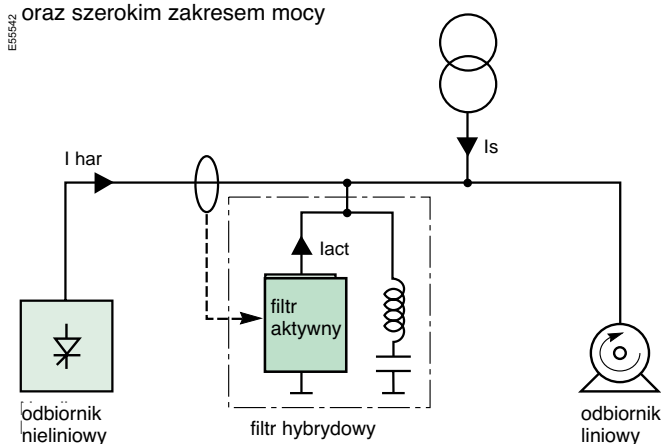
6.2.3 Filtry hybrydowe

■ Typowe zastosowania:

- instalacje przemysłowe zawierające urządzenia, powodujące odkształcenie przebiegów, o całkowitej mocy znamionowej większej od 200 kVA (napędy bezstopniowe, zasilacze UPS, prostowniki, itd.),
- instalacje, w których wymagana jest poprawa współczynnika mocy,
- instalacje, w których należy ograniczyć odkształcenie napięcia w celu uniknięcia zakłócenia wrażliwych odbiorników,
- instalacje, w których należy ograniczyć odkształcenie prądu w celu uniknięcia przeciążeń,
- instalacje, w których muszą być spełnione bardzo ostre wymagania dotyczące zawartości wyższych harmonicznych.

■ Zasada działania.

Dwa opisane do tej pory typy filtrów mogą zostać połączone w jednym urządzeniu nazywanym filtrem hybrydowym (patrz rys. 18). Takie podejście umożliwia połączenie zalet przedstawionych rozwiązań z wysoką wydajnością oraz szerokim zakresem mocy



Rys. 18. Zasada działania filtra hybrydowego

6.2.4 Kryteria doboru

- Filtry pasywne oferują:
 - poprawę współczynnika mocy,
 - dużą zdolność filtrowania prądów.

Instalacje, w których mają być zamontowane filtry pasywne, muszą charakteryzować się niskim poziomem fluktuacji obciążenia.

Jeśli odbiorniki pobierają stosunkowo dużo mocy biernej, to przy niskim poziomie obciążenia instalacji zaleca się odłączyć filtry pasywne .

Projektując filtr pasywny należy wziąć pod uwagę wszystkie zainstalowane baterie kondensatorów, co może prowadzić do wyeliminowania niektórych z nich.

- Filtry aktywne umożliwiają kompensację harmonicznych z szerokiego zakresu częstotliwości. Mogą “przystosować się” do dowolnego odbiornika, jednak ich zdolność filtrowania jest ograniczona.
- Filtry hybrydowe łączą w sobie zalety filtrów pasywnych i aktywnych.

Aparatura firmy Schneider Electric do wykrywania wyższych harmonicznych

7.1 Detekcja

Rozwiązywanie problemów związanych z wyższymi harmonicznymi oparte jest przede wszystkim na funkcjach pomiarowych. W zależności od instalacji do rozwiązania tych problemów można zastosować różne rodzaje aparatury Schneider Electric.

7.1.1 Moduły pomiarowe

System Digipact

System Digipact został zaprojektowany z myślą o prostych aplikacjach z zakresu zarządzania instalacjami elektrycznymi niskiego napięcia, obejmującymi sygnalizację, zdalne sterowanie, sygnały alarmowe, itd.

Moduł pomiarowy PM stosowany w systemie Digipact posiada wiele funkcji, które tradycyjnie realizowane były przez kilka modułów, np.: pomiar prądu, napięcia, mocy, energii oraz wyższych harmonicznych.

System Digipact dostarcza lokalnie lub zdalnie (przez system komunikacyjny i oprogramowanie nadzorujące) następujące informacje na temat jakości energii w instalacji niskiego napięcia:

- napięciowy współczynnik THD,
- prądowy współczynnik THD,
- współczynnik mocy (w zależności od wersji modułu pomiarowego).

Moduły systemu Digipact są łatwe w montażu i obsłudze.

Umożliwiają wykrywanie problemów związanych z jakością energii i mogą służyć do ciągłego monitorowania instalacji.

Na bazie informacji dostarczonych przez system Digipact użytkownik może dokonać szczegółowej analizy problemu zanim w instalacji pojawią się poważniejsze zakłócenia.

System Digipact jest częścią większego systemu zarządzania instalacją elektryczną.

System Powerlogic

System Powerlogic jest zaawansowanym narzędziem do analizy instalacji średniego i niskiego napięcia. W skład tego systemu wchodzi cyfrowe moduły pomiarowe umożliwiające ocenę jakości energii.

Elementami systemu Powerlogic są moduły pomiarowe (PM) oraz monitory instalacji (CM). Modułowa budowa systemu pozwala na zastosowanie go zarówno w najprostszych przypadkach (stosuje się wówczas moduły PM), jak i w tych najbardziej złożonych (stosuje się wówczas monitory CM). System Powerlogic przeznaczony jest do nowych, a także już istniejących instalacji, w których wymaga się wysokiej jakości energii. System może być obsługiwany lokalnie lub zdalnie.

W zależności od miejsca zainstalowania moduły pomiarowe pozwalają na dokonanie wstępnej oceny jakości energii. Podstawowe wielkości mierzone przez moduły PM to:

- napięciowy i prądowy współczynnik THD,
- współczynnik mocy.

W zależności od modelu dostępne są także dodatkowe funkcje: określanie czasu wystąpienia zdarzenia, sygnały alarmowe.

Monitory instalacji pozwalają na przeprowadzenie szczegółowej analizy jakości energii i zakłóceń obecnych w instalacji. Do podstawowych funkcji monitorów CM należą:

- pomiar ponad 400 parametrów elektrycznych,
- zapisywanie w pamięci minimalnych oraz maksymalnych wartości każdego z parametrów elektrycznych wraz z czasem ich wystąpienia,
- alarmowe wyzwalanie po osiągnięciu zadanych wartości przez określone parametry elektryczne,
- rejestrowanie zdarzeń,
- zapis zakłóceń przebiegów prądu i napięcia,
- analiza harmoniczna,
- zapis przebiegów czasowych.

Schneider Electric posiada w ofercie całą gamę aparatury umożliwiającej detekcję wyższych harmonicznych:

- system Digipact,
- system Powerlogic (moduł pomiarowy + monitor instalacji),
- zespół Micrologic.



Digipact



Power Meter



Circuit Monitor



056404

Zespół zabezpieczająco-sterujący Micrologic H instalowany w nowych wyłącznikach NT / NW

Micrologic: moduł pomiarowy wbudowany w wyłącznik

Instalowany w wyłącznikach zespół zabezpieczająco-sterujący Micrologic H został zaprojektowany z myślą o przeprowadzaniu pomiarów na dopływie instalacji lub na dużych odplywach.

Zespół Micrologic H umożliwia przeprowadzenie wnikliwej analizy jakości energii oraz zdarzeń, które miały miejsce w instalacji. Informacje dostarczane przez zespół Micrologic H są dostępne lokalnie na wyświetlaczu lub zdalnie w systemie nadzorującym.

Funkcje zespołu Micrologic H:

- pomiar prądów, napięć, mocy czynnej i biernej,
- pomiar prądowych i napięciowych współczynników THD i THF,
- analiza harmoniczna napięcia i prądu (amplitudy i fazy harmonicznych do rzędu 50-ego),
- zapis przebiegów.

Zakres funkcji oferowanych przez zespół Micrologic H jest podobny do zakresu oferowanego przez monitory instalacji systemu Powerlogic.

7.1.2 Wykorzystanie danych dostarczonych przez moduły pomiarowe

Oprogramowanie do zdalnego zarządzania i analizy stanu instalacji

W przypadku dużych instalacji, które muszą być szczegółowo monitorowane, firma Schneider Electric oferuje system komunikacyjny pozwalający połączyć różne urządzenia w sieć. Umożliwia to scentralizowany dostęp do informacji, a przez to łatwiejszą całościową ocenę stanu instalacji.

W zależności od rodzaju używanych urządzeń oraz oprogramowania możliwe jest przeprowadzanie pomiarów w czasie rzeczywistym, obliczanie średnich, zapisywanie przebiegów, przewidywanie sytuacji awaryjnych, itd.

Moduły pomiarowe przesyłają wszystkie dostępne dane poprzez magistralę ModBus lub Digipact.

Podstawowym przeznaczeniem wymienionych systemów jest ułatwienie identyfikacji oraz planowania czynności serwisowych. Pozwalają one na znaczące ograniczenie czasu obsługi serwisowej oraz kosztów związanych z czasowym podłączeniem aparatury służącej do pomiarów lub doboru urządzeń (filtrów).

Schneider Electric posiada w swojej ofercie dwa programy nadzorujące.

Digivision

Oprogramowanie nadzorujące Digivision instalowane jest na standardowym komputerze PC i umożliwia zarządzanie wszystkimi wynikami pomiarów oraz danymi zabezpieczeń dostarczonymi przez aparaty niskiego napięcia. Digivision stanowi pierwszy poziom oprogramowania nadzorującego instalację elektryczną.

Użytkownik przy użyciu komputera ma możliwość:

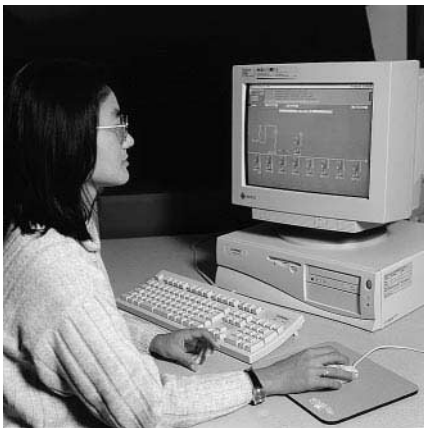
- wyświetlenia informacji przekazanych przez moduły pomiarowe PM oraz zespoły zabezpieczająco-sterujące Micrologic H,
- ustawiania wartości progów alarmowych,
- komunikowania się z różnymi zespołami zabezpieczającymi i sterującymi w celu sprawdzenia ich stanu i nastaw, a także zdalnego zamykania i otwierania.

SMS

SMS jest kompletnym środowiskiem programowym, które w połączeniu z układami Powerlogic umożliwia dokładną analizę instalacji.

Oprogramowanie SMS jest instalowane na standardowym komputerze PC i pozwala na:

- wyświetlanie wyników pomiarowych w czasie rzeczywistym,
- wyświetlanie historii zdarzeń w zadanym okresie,
- wybór sposobu prezentacji danych (tabele, wykresy),
- przeprowadzanie obliczeń statystycznych (wyznaczanie histogramów).



054503

Oprogramowanie nadzorujące Digivision

Aparatura firmy Schneider Electric do wykrywania wyższych harmonicznych

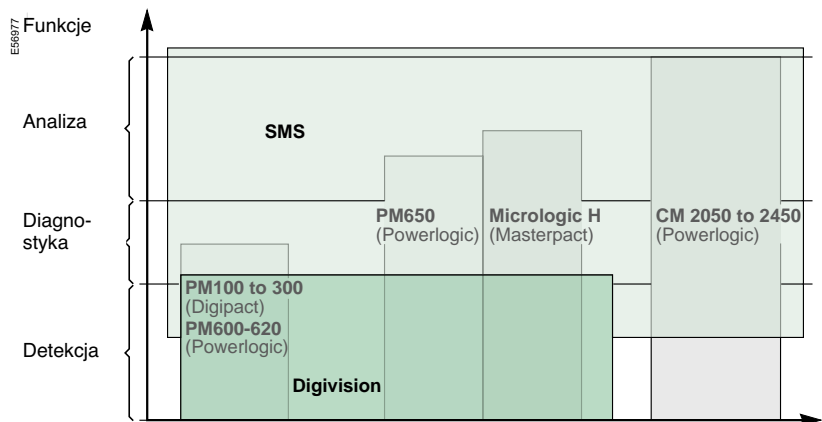
7.2 Dobór aparatury

W poniższej tabeli przedstawiono najbardziej odpowiednie zastosowania do poszczególnych urządzeń stosowanych w pomiarach wyższych harmonicznych

Przeznaczenie	PM100/300	PM650	Micrologic H	CM2000/2450
Ogólna ocena stanu instalacji	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Dokładna diagnostyka	■	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Analiza	■	■ ■	■ ■	■ ■ ■
Zalety	Podstawowe funkcje pomiarowe, prosty w użyciu, mały rozmiar i duża dokładność	Kompletne urządzenie pomiarowe z funkcjami alarmowymi i pamięcią nieulotną	Zespół będący częścią wyłącznika, monitorowanie dopływu lub dużych odpływów bez konieczności stosowania transformers okablowania lub przekładników prądowych	Bardzo rozwinięte urządzenie pomiarowe o wysokiej dokładności, pamięć o dużej pojemności, możliwość programowania, duża szybkość wykonywania pomiarów

Legenda:

- ■ ■ : zalecany
- ■ : odpowiedni
- : sygnalizuje odkształcenie, inne funkcje wymagają użycia innego urządzenia



Rys. 19. Możliwości poszczególnych urządzeń pomiarowych

Przegląd właściwości różnych rozwiązań

	PM100	PM150	PM300	PM600	PM620	PM650	Micrologic H	CM2150	CM2250	CM2350	CM2450
komunikacja											
brak komunikacji	■										
komunikacja przy użyciu Digipact		■									
komunikacja przy użyciu Modbus/RS-485			■	■	■	■	■	■	■	■	■
pomiar i monitorowanie											
prąd, napięcie, częstotliwość	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
moc, energia, współczynnik mocy	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
pomiar rzeczywistej wartości skutecznej	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
THD dla prądu i napięcia każdej fazy	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■
przełącznik wyjściowy (programowalny)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
praca w instalacjach nn	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
praca w instalacjach SN (poprzez PT)				■	■	■		■	■	■	■
klasa dokładności przy pomiarze prądu / napięcia	0.5 %	0.5 %	0.5 %	0.2 %	0.2 %	1 % do I ⁽¹⁾ 1.5 % do U	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %
pomiary prądowe - zapotrzebowanie, wart. aktualna, wart. maks.					■	■	■	■	■	■	■
pomiary mocy - zapotrzebowanie, wart. aktualna, wart. maks.			■		■	■	■	■	■	■	■
rejestracja czasu i daty zdarzenia					■	■	■	■	■	■	■
konfigurowane przez użytkownika alarmy					■	■	■	■	■	■	■
prognoza zapotrzebowania mocy					■	■	■	■	■	■	■
synchronised demand via comm.					■	■	■	■	■	■	■
zapis wartości min. / maks.					■	■	■	■	■	■	■
pamięć lokalna do zapisu danych i zdarzeń					■	■	■	■	■	■	■
zaawansowane funkcje monitorowania i analizy											
rejestracja czasu i daty osiągnięcia wart. min. / maks.							■	■	■	■	■
dodatkowy moduł wejściowo-wyjściowy							■	■	■	■	■
optyczny port komunikacyjny na płycie czołowej								■	■	■	■
rozszerzona pamięć (2)								■	■	■	■
aktualizacja oprogramowania typu "firmware"								■	■	■	■
zapis przebiegów do celów analizy harmonicznej							■		■	■	■
monitorowanie zakłóceń przebiegu napięcia										■	■
programowalność pozwalająca na użycie w nietypowych przypadkach								■			■

(1) Z uwzględnieniem przekładników

(2) Standardowy rozmiar pamięci we wszystkich urządzeniach CM wynosi 100kB, dostępna jest opcja 512kB i 1MB.

Schneider Electric posiada kompleksową ofertę w zakresie przebiegów odkształconych obejmującą:

- analizy specjalistów,
- aparaturę pomiarową i monitorującą,
- filtry.

Rozwiązywanie problemów odkształcenia przebiegów z pomocą firmy Schneider Electric

8.1 Zakres analizy i diagnostyki przeprowadzanej przez specjalistów z Schneider Electric

Wybór najlepszego rozwiązania z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia wymaga przeprowadzenia szczegółowej analizy instalacji.

Diagnostyka w instalacjach SN i nn

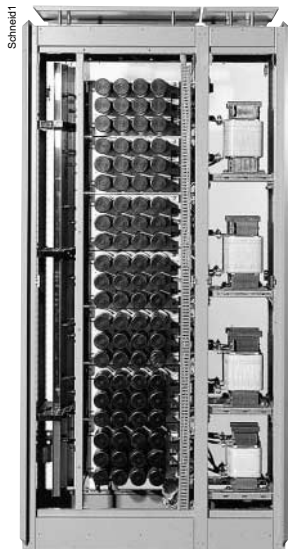
Wezwanie specjalisty z firmy Schneider Electric daje gwarancję efektywności zaproponowanego rozwiązania (tzn. minimalny poziom współczynnika THD).

Analiza harmoniczna i diagnostyka jest przeprowadzana przez inżyniera specjalizującego się w badaniach nad zakłóceniami w sieciach rozdzielczych.

Czynności wykonywane przez specjalistów z Schneider Electric można podzielić na kilka etapów:

- pomiar odkształcenia przebiegów prądów i napięć (fazowych i międzyfazowych) dla odbiorników nieliniowych, odplywów zasilających te odbiorniki, a także dla źródła,
- opracowanie dla wykrytych w czasie pomiarów zjawisk modelu komputerowego, który pozwala dokładnie określić przyczyny zakłóceń oraz zoptymalizować wybór rozwiązania.,
- przygotowanie raportu zawierającego:
 - zmierzone poziomy zakłóceń,
 - maksymalne dopuszczalne poziomy zakłóceń (IEC 61000, IEC 34, itd.),
 - zaproponowanie rozwiązań i określenie ich gwarantowanej skuteczności,
 - implementacja wybranego rozwiązania za pomocą wybranego sprzętu i systemów.

Przedstawiona procedura obsługi posiada certyfikat ISO 9002.



Filtr pasywny



Filtr aktywny (MGE UPS SYSTEMS)



Filtr hybrydowy

8.2 Urządzenia do eliminacji wyższych harmonicznych oferowane przez Schneider Electric

8.2.1 Filtry pasywne

Filtry pasywne składają się z dławików i kondensatorów, tworzących obwody rezonansowe dostrojone do częstotliwości harmonicznej, którą należy wyeliminować. W celu wyeliminowania kilku harmonicznych stosuje się systemy złożone z kilku filtrów.

Charakterystyka ogólna

napięcie	400 V (trójfazowe)
moc znamionowa	do 265 kvar / 470 A dla filtru rzędu 5-go do 145 kvar / 225 A dla filtru rzędu 7-go do 105 kvar / 145 A dla filtru rzędu 11-go
obudowa	Prisma

8.2.2 Filtry aktywne (MGE UPS SYSTEMS)

Charakterystyka ogólna

napięcie	400 V
zdolność filtrowania / fazę	20 to 120 A wart. skut.
filtrowane harmoniczne prądu	rzędu 2 do 25, wszystkie lub tylko wybrane
tłumienie harmonicznych	stosunek prądowego współczynnika THD przy odbiorniku jest większy od 10 przy znamionowym obciążeniu układu filtrującego
funkcje	poprawa współczynnika mocy, 7-o językowy wyświetlacz alfanumeryczny, system diagnostyki oraz obsługi instalacji, przyłączenie równoległe, zdalne sterowanie, interfejs komunikacyjny JBus / RS485

8.2.3 Filtry hybrydowe

Filtry hybrydowe łączą w jednym urządzeniu zalety filtrów pasywnych i aktywnych.

Charakterystyka ogólna

filtr pasywny	harmoniczne 5-go rzędu
filtr aktywny	20 do 180 A
napięcie	400 V (trójfazowe)
kompensacja mocy biernej	do 265 kvar
filtrowane harmoniczne	od 2 do 25 rzędu
całkowity prąd odkształcony	do 440 A
obudowa	Prisma

Rozwiązywanie problemów odkształcenia przebiegów z pomocą firmy Schneider Electric

8.2.4 Dobór filtrów

Rodzaj aplikacji	Filtr pasywny	Filtr aktywny MGE UPS SYSTEMS	Filtr hybrydowy
budynki komercyjne, (systemy komputerowe klimatyzacja, oświetlenie, windy)	■	■ ■ ■	■ ■
przemysł papierowy, tworzyw sztucznych, (przenośniki, urządzenia do zwijania i rozwijania)	■ ■ ■	■	■ ■
uzdatnianie wody (pompy, mieszalniki)	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
transportowanie (dźwigi, wyciągi narciarskie)	■ ■	■	■ ■ ■

Legenda:

- ■ ■ : najodpowiedniejszy
- ■ : najodpowiedniejszy z technicznego punktu widzenia, ale kosztowny
- : zadowalający

Literatura

- ISF: Seminarium Techniczne: "Zrozumienie oraz sposób postępowania z wyższymi harmonicznymi" (w j. francuskim)
- ISF: Publikacje Techniczne: "Harmoniczne w instalacjach elektrycznych" (w j. francuskim)
- Normy IEC
- Zalecenia dostawcy energii
- EDF: Program Harmonique 5.ą, instrukcja użytkowania (w j. francuskim)
- EDF: "Cahiers Techniques" - Zarządzanie wyższymi harmonicznymi w komercyjnych i przemysłowych sieciach rozdzielczych, część 1 oraz 2 (Ref. GEDO 1.48.B.07/96 oraz 1.48.B.01/97) (w j. francuskim)
- Merlin Gerin: Kompensacja mocy biernej oraz filtrowanie harmonicznych – WN/SN (Ref. CG0065)
- Schneider Electric: "Cahiers Techniques" – publikacje nr 152, 159, 160, 183

Schneider Electric Polska Sp. z o.o.
ul. Łubinowa 4a, 03-878 Warszawa
tel. (0-22) 511 82 00, fax (0-22) 511 82 02
Infolinia: 0 801 171 500, (0-22) 511 84 64

<http://www.schneider-electric.pl>

KATKT2086PL