



Europejski
Instytut Miedzi
Copper Alliance



Jakość energii

Wprowadzenie – Poradnik samodzielnej jakości zasilania

Hans De Keulenaer
Europejski Instytut Miedzi

Nr ref EIM: EIM01202

Poradnik samodzielnej oceny jakości zasilania

Niniejszy dokument pozwala, na podstawie szybkiej samodzielnej oceny, podjęcie decyzji, czy wasze przedsiębiorstwo powinno zastosować program poprawy jakości energii elektrycznej. Lista potencjalnych problemów związanych z jakością energii jest zaskakująco długa. Problemy jakości energii są złożone, a ich diagnoza i rozwiązanie nierzadko wymagają utworzenia zespołu ekspertów. Podobne objawy, takie, jak przegrzewanie się urządzeń, mogą mieć różne przyczyny (harmoniczne, asymetria, przeciążenie), z których każda wymaga odmiennego rozwiązania.

Czy jesteś narażony na kłopoty z jakością energii elektrycznej?

To, czy możesz się spodziewać problemów z jakością energii elektrycznej zależy od:

- jakości napięcia dostarczanego przez zakład energetyczny,
- rodzajów odbiorników w waszej instalacji,
- czułości urządzeń na różne rodzaje zaburzeń.

Nie istnieje jedno, ogólne rozwiązanie. Dla każdego zakładu należy opracować optymalne rozwiązanie techniczno-ekonomiczne, uwzględniając powyższe trzy, wzajemnie oddziałujące, czynniki. Niniejszy dokument nie traktuje o zagadnieniach związanych z dostawą energii, lecz koncentruje się na tych aspektach jakości energii, które pozostają w gestii kierownika ruchu zakładu.

Typowe problemy

Poniższa lista kontrolna daje przegląd najczęściej występujących problemów związanych z jakością energii. Według studium sporządzonego przez Europejski Instytut Miedzi w 2001 r., obejmującego 1400 zakładów w 8 krajach, dla każdego, dowolnie wybranego zakładu w Europie, można określić z prawdopodobieństwem 5-20% ryzyko wystąpienia w nim jednego lub więcej z pośród wymienionych problemów. Zwykle połowa zakładów w przemyśle energochłonnym oraz budynków biurowych o szczególnie istotnym, „krytycznym” znaczeniu jest narażona na wystąpienie dwu lub więcej problemów. Bardzo niewiele zakładów jest wolnych od tych kłopotów (p. rysunek 1).



Rysunek 1. Najczęściej występujące problemy związane z jakością energii, stwierdzone w 1400 zakładach.

Oczywiście niska jakość energii nie jest przyczyną występowania każdego z wymienionych problemów. Na przykład zawieszanie się komputerów może być związane z oprogramowaniem. Ponadto, stwierdzenie, czy przyczyna problemu znajduje się przed licznikiem energii (tj. po stronie dostawcy względem punktu wspólnego przyłączenia (PWP)), czy za licznikiem (tj. po stronie odbiorcy energii względem PWP) jest często trudne bez wykonania szczegółowych pomiarów i analizy.

Zawieszanie się komputerów

Prąd doziemny wywołany pracą urządzeń powoduje spadek napięcia między urządzeniem a rzeczywistością ziemią. Napięcie to, jakkolwiek niewielkie, może stanowić znaczący szum w porównaniu z napięciami sygnałów (kilkunastu woltów), przy których pracują urządzenia IT. Sprzęt komputerowy PC jest tak zaprojektowany, aby minimalizować wrażliwość na tego rodzaju zaburzenie, jednak nie może ono być zupełnie wyeliminowane, szczególnie gdy częstotliwość szumu wzrasta. Nowoczesne protokoły komunikacyjne mają wbudowaną detekcję błędów i algorytmy korekcyjne wymagające retransmisji błędnych danych, co w konsekwencji zmniejsza szybkość przesyłania danych. W rezultacie komputery PC często pracują wolniej lub zawieszają się, i są to zjawiska częste w dzisiejszym środowisku biurowym.

W sieciach TN-C wspólny przewód ochronno-neutralny przewodzi prąd powodując spadki napięcia. Płaszczyzna odniesienia dla różnych komputerów, na różnych piętrach, nie jest już na tym samym potencjale. Prądy będą przepływać np. wzdłuż ekranów kabli do przesyłu danych, połączonych oboma końcami z ziemią zgodnie z wymaganiami kompatybilności elektromagnetycznej.

Migotanie ekranów monitorów

Harmoniczne prądów, o rzędach będących nieparzystą krotnością trzech tzw. harmoniczne „potrójne”, sumują się w przewodzie neutralnym. W sieci o konfiguracji TN-C przewód neutralny i ochronny jest wspólny i przyłączony w wielu miejscach do konstrukcji budynku. W wyniku tego prądy powrotne do punktu neutralnego mogą płynąć dowolnie w metalowej konstrukcji budynku, wywołując niekontrolowane i niekontrolowalne pola magnetyczne. W skrajnych przypadkach pola te mogą powodować migotanie ekranów monitorów. Należy zawsze zapewnić powrót prądu zerowego do punktu wspólnego przyłączenia używając oddzielnego przewodu, jak w układach TN-S i TN-C-S. W istocie dyscyplina utrzymania jednego, i tylko jednego, punktu połączenia między ziemią i punktem neutralnym w instalacji poprawia poziom bezpieczeństwa i kompatybilności elektromagnetycznej.

Migotanie światła

Krótkotrwałe zmiany napięcia, spowodowane łączeniami, zwarciami i zmianami obciążenia mogą powodować migotanie światła. Dopuszczalny poziom migotania światła jest regulowany przez międzynarodowe normy, oparte na kryterium percepcji wzrokowej. Nadmierne migotanie może powodować migrenę i jest odpowiedzialne za pewne przypadki tzw. „syndromu niezdrowego budynku”.

Przegrzewanie się transformatorów przy niepełnym obciążeniu

Harmoniczne powodują dodatkowe straty w transformatorze. Kiedy obciążenie transformatora jest bliskie maksymalnemu, straty te mogą prowadzić do przedwczesnych uszkodzeń spowodowanych przegrzewaniem i punktowym wzrostem temperatury uzwojenia. Przy obecnych tendencjach doprowadzania parametrów urządzeń do możliwych granic oraz wzrastającym „zanieczyszczeniu harmonicznymi” w sieciach niskiego napięcia, problem ten pojawia się coraz częściej.

Straty w transformatorach są spowodowane stratami magnetycznymi w rdzeniu, prądami wirowymi oraz stratami mocy czynnej na rezystancji uzwojeń. Wśród nich straty wynikające z prądów wirowych są w obecności harmonicznymi najbardziej istotne, ponieważ rosną w przybliżeniu z kwadratem częstotliwości. W budynku o typowym, mieszanym obciążeniu straty w transformatorze spowodowane prądami wirowymi mogą być około 9-krotnie wyższe od spodziewanych, powodując w przybliżeniu podwojenie całkowitych strat obciążeniowych. W celu określenia tych nadmiernych strat musi być uprzednio znane widmo harmonicznymi prądu obciążenia.

Silniki indukcyjne

Harmoniczne napięcia powodują dodatkowe straty w silnikach indukcyjnych przyłączonych bezpośrednio do sieci. Piąta harmoniczna wytwarza przeciwbieżne pole wirujące, podczas gdy siódma harmoniczna - pole wirujące o prędkości przekraczającej prędkość synchroniczną silnika. Wypadkowy pulsujący moment powoduje zużycie sprzęgieł i łożysk. Ponieważ prędkość jest ustalona, energia zawarta w tych harmonicznymi jest wydzielana jako dodatkowe ciepło powodując przedwczesne starzenie. Harmoniczne prądów przechodzą

również do wirnika, stając się także źródłem ciepła. Dodatkowe ciepło powoduje zmniejszenie szczeliny powietrznej między wirnikiem i stojanem, jeszcze bardziej zmniejszając sprawność.

Układy regulacji prędkości są źródłem odrębnego rodzaju problemów. Są one wrażliwe na zapady napięcia, powodując przerwy w pracy synchronizowanych linii produkcyjnych. Urządzenia te są często instalowane w pewnej odległości od silnika i przy gwałtownych zmianach napięcia, o dużej szybkości zmiany, wywołują szpilkowe impulsy napięcia.

Szczególną uwagę należy zwrócić na rozruch silników po zapadzie napięcia, gdy silnik pracuje w pobliżu pełnego obciążenia. Dodatkowe ciepło od prądu rozruchowego może spowodować uszkodzenie silnika. Optymalne wymiarowanie silników powinno uwzględniać:

- fakt, że silnik jest zaprojektowany do pracy z maksymalną sprawnością przy około 70 % obciążenia,
- częstotliwość zapadów napięcia oraz dopuszczalny czas oczekiwania na wznowienie pracy silnika.

Przegrzewanie się przewodów spowodowane zjawiskiem naskórkowości

Wszystkie harmoniczne powodują straty w przewodach fazowych. Zjawisko naskórkowości, które jest pomijalne przy 50 Hz, zaczyna odgrywać rolę dla 350 Hz (7. harmoniczna) i wyższych częstotliwości. Na przykład, przewód o średnicy 20 mm posiada przy 350 Hz efektywną rezystancję o 60 % większą niż rezystancja dla prądu stałego. Zwiększona rezystancja (spowodowana zjawiskiem naskórkowości) powoduje zwiększenie spadku napięcia i wzrost odkształcenia napięcia.

Prawidłowe funkcjonowanie urządzeń sterujących procesami technologicznymi

Duże odkształcenia harmoniczne mogą wytwarzać dodatkowe przejścia przez zero w ciągu okresu przebiegu sinusoidalnego, oddziałując na czułe urządzenia pomiarowe. Synchronizacja urządzeń sterujących ciągłym procesem technologicznym może w ten sposób ulec zakłóceniu, a sterowniki PLC mogą się zawieszać.

Przeciążenie sieci danych

Prądy doziemne powodują niewielkie spadki napięcia na przewodach uziemiających. W sieciach TN-C wspólny przewód ochronno-neutralny w sposób ciągły przewodzi znaczący prąd, zdominowany przez harmoniczne o rzędach będących nieparzystą krotnością trzech. Ze względu na coraz powszechniejsze stosowanie niskonapięciowych sygnałów w urządzeniach IT, wzrasta bitowa stopa błędów, aż do punktu, w którym cała sieć się zawiesza. Jak wiele, dużych i małych, prywatnych sieci doświadcza tego zjawiska każdego tygodnia? Z niewyjaśnionych powodów sieć zawiesza się, poczta elektroniczna zawodzi, nie ma możliwości drukowania...

Problemy z urządzeniami do poprawy współczynnika mocy

Częstotliwości harmonicznych mogą być zgodne z częstotliwościami rezonansowymi obwodów utworzonych przez indukcyjności rozproszenia i urządzeń do poprawy współczynnika mocy (PFC), powodując nadmierne napięcia lub prądy, co prowadzi do ich przedwczesnych uszkodzeń. Co więcej, i jest to problem ogólny, aparatura pomiarowa może nie mierzyć poprawnie obciążenia urządzeń do poprawy współczynnika mocy (PFC), ponieważ pomiar zawartości harmonicznych w prądzie jest nieprawidłowy (p. dokument *Harmoniczne: Rzeczywista wartość skuteczna (RMS) – jedyny prawdziwy wyznacznik*).

Problemy z długimi liniami lub łączeniem dużych obciążeń

Długie linie oznaczają większą impedancję, powodującą większe zaburzenia napięcia od udarów prądowych, np. w czasie rozruchu dużych silników lub przy załączaniu komputerów. Harmoniczne generowane przez napędy o zmiennej prędkości, lub zasilacze impulsowe, zlokalizowane na końcach długich linii, powodują większe odkształcenie harmoniczne napięcia. Należy zatem, dla obniżenia spadku napięcia, zwiększać wymiarowanie długich linii energetycznych. Dodatkową korzyścią będą mniejsze straty. Dla linii obciążonych dłużej niż 3000 godzin, okres zwrotu nakładów będzie bardzo krótki.

Przeciążenie przewodów neutralnych

Obwód trójfazowy posiada 3 przewody czynne i przewód powrotny, który przewodzi prąd wynikający z asymetrii prądów fazowych. Jednakże na skutek sumowania się harmonicznych o rzędach będących nieparzystą krotnością trzech w przewodzie neutralnym płyną znaczne prądy. Ponieważ w przeszłości przekrój poprzeczny przewodu neutralnego był o połowę mniejszy niż przewodów fazowych, sytuacja ta może okazać się krytyczna, nawet jeżeli przewody czynne są obciążone znacznie poniżej znamionowego obciążenia.

Niepożądane działanie zabezpieczeń

Prądy rozruchowe mogą powodować wyzwalenie wyłączników. Wyłączniki mogą nieprawidłowo sumować prądy od podstawowej harmonicznej i innych harmonicznych i powodować błędne zadziałania, lub też w ogóle nie wyzwalać zabezpieczeń, wtedy gdy powinny. Prądy upływu mogą osiągać progi, przy których następuje zadziałanie zabezpieczeń różnicowo-prądowych.

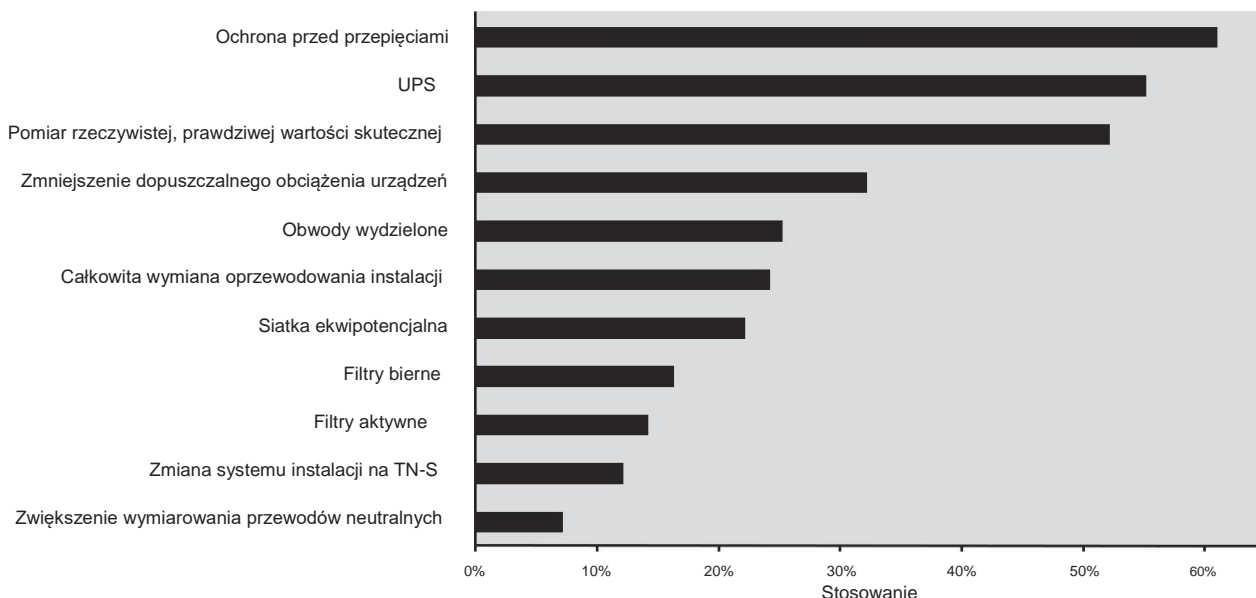
Środki zaradcze przeciwko nieprawidłowemu wyłączaniu nie mogą naruszać bezpieczeństwa personelu w zakładzie. Ogólnym rozwiązaniem jest zmniejszanie udarów prądowych i prądów doziemnych przez rozdział urządzeń pomiędzy większą liczbę obwodów, z których każdy zasilają mniej odbiorów. Należy stosować specjalnie zaprojektowane wyłączniki, które mogą pracować w obecności harmonicznych. Przewymiarowanie nigdy nie jest prawidłowym rozwiązaniem.

Roszczenia zakładów energetycznych z powodu oddziaływania harmonicznych na sieć zasilającą

Niewiele zakładów energetycznych (jak na razie) nakłada opłaty za generowanie harmonicznych, tak jak obecnie za moc bierną, jednakże mogą zacząć tak postępować w przyszłości, gdyż harmoniczne prowadzą również do suboptymalnej eksploatacji sieci rozdzielczych.

Rozwiązania

Lista możliwych rozwiązań problemów z jakością energii jest długa i dalece niekompletna. Rysunek 2 wylicza sposoby rozwiązania problemów związanych z jakością energii, zastosowane w poddanych przeglądowi 1400 zakładach w 8 krajach.



Rysunek 2. Najczęstsze rozwiązania w dziedzinie jakości energii, w % całkowitej liczby zastosowań w 1400 zakładach w 8 krajach.

Należy zdawać sobie sprawę, że nie ma jednego rozwiązania dla problemów związanych z jakością energii. Dla każdego rodzaju problemu istnieje pewien zakres możliwych metod postępowania w celu jego eliminacji,

spośród których kilka może być z powodzeniem zastosowanych. W realnym świecie jest prawdopodobne, że kilka problemów będzie występować jednocześnie i przyjęte rozwiązania muszą być kompatybilne wzajemnie oraz kompatybilne z odbiornikami istniejącymi w instalacji. Należy wystrzegać się cudownych rozwiązań w rodzaju tzw. „czarnej skrzynki”, które są czasami mocno promowane na rynku jako lekarstwo na konkretny problem we wszystkich okolicznościach - generalnie, w praktyce one nie istnieją! Dla problemów istniejących oraz dla spodziewanych w przyszłości projektanci muszą zawsze poszukiwać optymalnej kombinacji rozwiązań w kontekście instalacji. Rozwiązania te powinny być niewrażliwe i pewne w działaniu.

Istotne jest, aby uświadamiać sobie, że obciążenie elektryczne nie jest statyczne. Różnice w cyklu pracy urządzeń i zmienność charakteru ich pracy mają swój udział w ciągle zmieniającym się obciążeniu. Na przykład w dużym budynku biurowym mogą zachodzić setki zmian obciążenia w ciągu roku, a więc widmo harmonicznych prądu w instalacji zmienia się ciągle. Widma harmonicznych pochodzących od urządzeń IT nie uśredniają się, lecz, dla szczególnie istotnych harmonicznych - trzeciej i piątej, sumują się. Praca urządzeń o krótkim cyklu roboczym, takich jak windy czy urządzenia do obróbki metalu (czy to na terenie danego zakładu, czy też w zakładach sąsiednich), powoduje, że lokalne zmiany wartości napięcia sumują się ze zmianami pochodzącymi z sieci rozdzielczej. W rezultacie problemy związane z jakością energii mają często charakter statystyczny i wymagają starannego monitorowania, aby je można było w pełni zdefiniować.

Koszty związane z jakością energii, mierzone przerwami i stratami produkcji zmieniają się w szerokich granicach, w zależności od rodzaju przemysłu. Jednakże koszt środków zapobiegawczych często mieści się w typowych kryteriach inwestycyjnych 2-3-letniego okresu zwrotu nakładów dla przedsiębiorstw i przemysłu. Oczywiście koszt profilaktyki przez uniknięcie problemów na etapie projektowania - wynosi 10-20% kosztów wprowadzania środków zapobiegawczych w działającej instalacji (p. dokument *Koszty – Koszty niskiej jakości zasilania*). W ogólnym przypadku, dla budynków w stadium projektowania rodzaj i wielkość końcowego obciążenia nie są znane, tak więc trudno jest ująć ilościowo potencjalne problemy związane z jakością energii i ich koszty. Tworzenie studium opłacalności inwestycji dla rozwiązań w dziedzinie jakości energii stanowi niemałe wyzwanie. W przyszłości inżynierowie będą mogli w sposób pewny przewidywać spodziewaną skalę problemów i będą posiadać praktyczne doświadczenie w ich rozwiązywaniu. Być może właściciele i operatorzy budynków również będą świadomi, że profilaktyka jest zawsze tańsza niż „leczenie”.

Ochrona przed przepięciami

W kategoriach częstości stosowania jest to rozwiązanie numer jeden. Jest szczegółowo omawiane w dokumentach *Uziemienia i EMC*.

UPS (zasilanie bezprzerwowe)

Bardzo niewiele jest zakładów wyposażonych w znaczną liczbę urządzeń IT lub sterujących, które nie posiadałyby jakiegoś rodzaju systemu bezprzerwowego zasilania UPS. Systemy te mogą obejmować od jednej lub więcej prostych jednostek o małej mocy, zabezpieczających indywidualne, małe serwery, do dużej jednostki centralnej o znamionowych parametrach do 1 MVA. Strategia stosowania UPS musi być starannie przemyślana ponieważ są to urządzenia magazynujące energię, a proces jej wytwarzania i magazynowania wiąże się ze znaczącymi dodatkowymi stratami. Są one drogie i powinny być stosowane selektywnie. Najbardziej oszczędnym podejściem jest użycie zasilania UPS tylko do podtrzymania serwerów, urządzeń sterowania procesami technologicznymi i urządzeń bezpieczeństwa na czas potrzebny do kontrolowanego wyłączenia i/lub ewakuacji; komputery na poziomie klienta oraz obiekty pomocnicze są pozbawione zasilania. Na drugim krańcu tego spektrum, UPS może być wymiarowany w celu podtrzymania zasilania praktycznie całego działania na czas potrzebny do wprowadzenia zasilania pomocniczego. W większości sytuacji optimum będzie znajdowało się gdzieś pomiędzy tymi dwiema skrajnościami. Dokumenty *Pewność zasilania* omawiają te zagadnienia bardziej szczegółowo.

Generator rezerwowy

Z powodu opóźnienia przy rozruchu generator stanowi drugą linię obrony przed zanikami zasilania. Urządzenie to jest zdolne do zasilania znacznej części odbiorników przez dłuższy czas.

Pomiar rzeczywistej wartości skutecznej

Mierzyć - to znaczy wiedzieć. Zmierzone rzeczywiste wartości skuteczne mogą być znacząco większe od niepoprawnych wartości skazywanych przez średniej jakości mierniki. Na szczęście większość zakładów poddanych przeglądowi posiadała mierniki rzeczywistej wartości skutecznej. Jednak, aby mieć zupełną pewność co do poprawności pomiarów, wszystkie przyrządy pomiarowe muszą być miernikami rzeczywistej wartości skutecznej.

Zmniejszanie obciążenia transformatorów

Praktyka zmniejszania obciążenia transformatora przy obciążeniach harmonicznym jest dobrze udokumentowana w normie IEC 61378-1 „Transformers for industrial applications” [Polska Norma PN-EN 61378-1: Transformatory przekształtnikowe -- Transformatory do zastosowań przemysłowych] chociaż nie jest powszechnie rozumiana. Należy zauważyć, że dodatkowe ciepło wytwarzane przez harmoniczne może prowadzić do wyraźnego zmniejszenia czasu eksploatacji. Stosowanie transformatorów klasy K, specjalnie zaprojektowanych do pracy z obciążeniami harmonicznym, powinno być preferowane w stosunku do redukcji obciążenia transformatora, ponieważ transformator klasy K ma projektowo niższe straty na prądy wirowe. Zwykły transformator o zmniejszonym obciążeniu ma większe straty, ale ponieważ jest po prostu przewymiarowany, może odprowadzić powstające ciepło. W praktyce trudno jest utrzymać zmniejszone obciążenie transformatora w całym okresie jego eksploatacji - przy wzroście obciążenia bywa to przeoczone i transformator zostaje poważnie przeciążony.

Zmniejszanie obciążenia silników

Asymetria i harmoniczne napięcia wywołują dodatkowe straty w silnikach elektrycznych, co powoduje, że silniki nie mogą być w pełni obciążane zgodnie z ich mocą znamionową. NEMA (The National Electrical Manufacturers Association) podaje pewne wytyczne dotyczące obniżania parametrów silników w obecności harmonicznym napięcia.

Silniki energooszczędne (klasy Eff1) pozwalają nie tylko na oszczędność energii, a zatem pieniędzy, ale są również bardziej odporne na niektóre zjawiska wymienione wcześniej. Ponieważ są większe i wykonane z lepszych materiałów, pracują przy niższej temperaturze i stąd są lepiej przystosowane do przyjęcia dodatkowego ciepła wytwarzanego na skutek obecności harmonicznym oraz przez prądy rozruchowe przy uruchomieniu po zapadzie napięcia.

Obwody wydzielone

Odbiorniki, które są wrażliwe na obecność harmonicznym powinny być zasilane z wydzielonych obwodów. Duże odbiorniki powinny również posiadać własne obwody, aby podczas rozruchu nie oddziaływały na inne odbiorniki. Według wykonanego przeglądu, 25 % zakładów przyjęło politykę stosowania obwodów wydzielonych.

Kable z żyłami wielodrutowymi dla obciążeń harmonicznym

Niezależnie od dodatkowego ciepła wytwarzanego przez prądy w przewodzie neutralnym, skuteczny przekrój kabla zmniejsza się z powodu zjawiska naskórkowości, odgrywającego rolę już od 7. harmonicznym. Stosowanie kabli o większej średnicy nie jest rozwiązaniem, gdyż prąd będzie w dalszym ciągu wypierany w stronę obrzeża przewodnika. Należy zatem stosować kable z żyłami wielodrutowymi, właściwie ułożone w celu zachowania symetrii.

Całkowita wymiana przewodowania instalacji

Raczej drastyczny środek (chyba, że jest to część większej modernizacji), ale często stosowany, gdy stara instalacja nie była projektowana do współpracy z nowoczesnymi odbiornikami. Według przeprowadzonego przeglądu 1400 budynków, rozwiązanie to zostało przyjęte w 24% przypadków.

Podział odbiorników na kategorie

Różne rodzaje odbiorników mają odmienne wymagania w kategoriach kompatybilności elektromagnetycznej, ciągłości zasilania i bezpieczeństwa. Stąd potrzebna jest klasyfikacja odbiorów według różnych kryteriów i podział na kategorie, z których każda wymaga osobnego podejścia do przewodowania, uziemienia lub rezerwowania (p. dokumenty *Pewność zasilania* i *Uziemienia i EMC*).

Siatka ekwipotencjalna

Wymagana dla zapewnienia połączenia z ziemią o niskiej impedancji w szerokim zakresie częstotliwości (p. dokumenty *Uziemienia i EMC*). Ten system uziemienia, z wielokrotnymi połączeniami pionowymi, należy stosować dla każdego piętra.

Filtry bierne

Popularne rozwiązanie, które może być stosowane do indywidualnych odbiorników lub centralnie. Jeżeli filtrowanie odbywa się możliwie jak najbliżej punktu generowania harmonicznych, to można być pewnym, że pozostanie ono skuteczne podczas wielu zmian, które typowo zachodzą w budynkach biurowych. Niedogodnością jest to, że zapewnia ono większą zdolność filtrowania niż faktycznie wymagana (tzn. nie uwzględnia niejednoczesności obciążenia), a małe indywidualne filtry są droższe niż filtr centralny. Jedną z korzyści jest to, że obecność harmonicznych prądów jest ograniczona do mniejszego obszaru instalacji.

Z drugiej strony, przyjęcie scentralizowanego rozwiązania umożliwia łączenie filtrów biernych z urządzeniami do poprawy współczynnika mocy. Wspólne projektowanie tych dwóch funkcji pozwala uniknąć rezonansu przy częstotliwościach harmonicznych. Połączone układy filtrowania i poprawy współczynnika mocy są zwykle scentralizowane, pozwalając na oszczędność zwymiarowania ze względu na niejednoczesność obciążenia oraz na zmniejszenie liczby sterowań i możliwość lepszej korekcji bez ryzyka samowzbudzenia silników. Jednakże, ze wzrostem zawartości harmonicznych w obciążeniu, należy koniecznie podejmować kroki w celu utrzymania funkcjonowania filtracji.

To zagadnienie jest szerzej rozwinięte w dokumencie *Harmoniczne – filtry bierne*.

Energetyczne filtry aktywne

Rozwiązanie najlepsze w praktyce, ale kosztowne. Mają one największą elastyczność i możliwość adaptacji i są szczególnie przydatne przy zmiennej zawartości harmonicznych. Winny być stosowane selektywnie.

Zmiana systemu instalacji na TN-S

Systemy TN-C z tak zwanym przewodem neutralno-ochronnym PEN stały się wyjątkiem, a w niektórych krajach były dotąd regułą. Obecnie przewód neutralno-ochronny PEN jest traktowany przez komitety normalizacyjne jako przypadek szczególny. System TN-C nie jest już dopuszczalny dla budynków z dużym nasyceniem urządzeniami IT. Z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej, systemy TN-S są znacznie lepsze.

Zwiększanie przekroju poprzecznego przewodów neutralnych

Pełnowymiarowe przewody neutralne są obecnie wymagane przez większość przepisów dotyczących przewodowania, z wyjątkiem przypadków, kiedy można wykazać, że mniejszy przewód będzie wystarczający. W obecności harmonicznych wymagany jest przewód neutralny, zwymiarowany na pełne znamionowe obciążenie i zdolny do przewodzenia rzeczywistego prądu zerowego. Według niektórych przepisów dotyczących przewodowania musi on być wyposażony w prawidłowe zabezpieczenie nadprądowe (p. dokument *Harmoniczne – Dobór przekroju przewodów neutralnych w instalacjach o wysokiej zawartości harmonicznych*).

Wnioski

Jakość energii elektrycznej jest złożoną dziedziną, obejmującą kilkanaście obszarów problemowych, dla których istnieje jeszcze większa liczba rozwiązań. Obecnie, zakłady o dużym zapotrzebowaniu na energię w

pewnym stopniu odczuwają kłopoty spowodowane niską jakością energii elektrycznej, chociaż większość zakładów przyjęła już pewne rozwiązania. Zazwyczaj są to: zakupienie UPS, rezerwowego generatora, stosowanie pomiarów rzeczywistej wartości skutecznej, uzupełnione pewnymi innymi rozwiązaniami, takimi jak, siatka ekwipotencjalna, zmiana systemu instalacji na TN-S, energetyczne filtry aktywne itp.

Jest mało prawdopodobne, że pojedyncze rozwiązanie będzie skuteczne. Potrzebne jest staranne projektowanie rozwiązań łącznych, indywidualnie dopasowanych do istniejących problemów związanych z jakością energii elektrycznej, oparte na dokładnym zrozumieniu przyczyn problemów z jakością energii. Kolejne części dokumentów w dziale *Jakość energii* mają na celu dostarczenie takiej wiedzy wykonawcom, inżynierom-projektantom i kierownikom ruchu.