



Europejski  
Instytut Miedzi  
Copper Alliance



---

# Jakość energii

## Źródła zakłóceń elektromagnetycznych i ich ograniczanie w instalacjach elektrycznych

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

Nr ref EIM: EIM01103

## Informacje wstępne

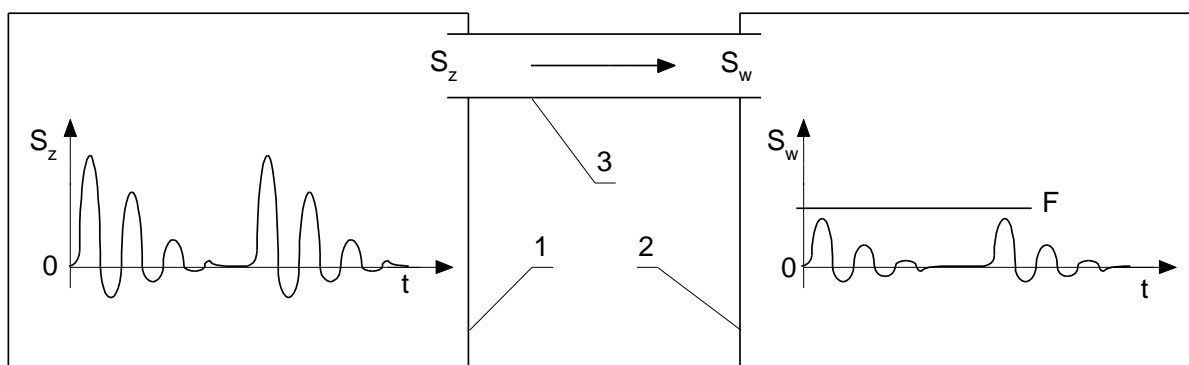
Poprawne działanie urządzeń elektroenergetycznych i energoelektronicznych wymaga spełnienia, chociażby w podstawowym zakresie określonych warunków, w szczególności w odniesieniu do:

- środowiska, w którym urządzenia mają pracować,
- jakości układu zasilania,
- zakłóceń elektromagnetycznych.

Jednocześnie same urządzenia nie powinny wpływać ujemnie na pracę innych urządzeń technicznych np. przez nadmierne podwyższenie temperatury w pomieszczeniu, wibracje, zakłócenia elektromagnetyczne, ani nie powodować nadmiernych uciążliwości dla przebywających w pobliżu osób.

Większość urządzeń elektrycznych takich jak silniki, transformatory, odbiorniki oświetleniowe, urządzenia grzejne i in. jest przeważnie mało wrażliwa na zmiany warunków otoczenia i zasilania, jeżeli zachodzą one w ograniczonym zakresie. Same również nie powodują istotnych zmian mikroklimatu środowiska, w którym są eksploatowane, ani zakłóceń w układzie zasilania, w stopniu utrudniającym pracę innych urządzeń technicznych. Jeżeli jednak niektóre z nich wywołują takie zmiany i zakłócenia, to z reguły możliwe jest takie zlokalizowanie urządzenia i zastosowanie takiego układu zasilania, że zapewnione są pożądane warunki pracy tych oraz innych urządzeń i ograniczone są różnorodne zakłócenia powodowane pracą urządzeń zakłócających.

Wzajemne dopasowanie urządzeń elektrycznych i elektronicznych do warunków środowiskowych i technicznych, oraz odwrotnie, przyjęto nazywać kompatybilnością. W zależności od tego, czego dopasowanie to dotyczy, rozróżnia się kompatybilność środowiskową, kompatybilność z układem zasilania oraz kompatybilność elektromagnetyczną (*electromagnetic compability*, EMC). W szczególności kompatybilnością elektromagnetyczną nazywa się zdolność urządzeń elektrycznych do długotrwałego, poprawnego funkcjonowania w środowisku elektrycznym bez niedopuszczalnie szkodliwego oddziaływania na środowisko i pracujące tam inne urządzenia. Ogólny schemat sprzężenia obiektów: zakłócającego i zakłócanego przedstawiono na rys. 1. Sygnał zakłócający może mieć charakter ciągły, dyskretny lub impulsowy, a sprzężenie pomiędzy obiektami może być galwaniczne, pojemnościowe, impulsowe lub inne (rys. 2).

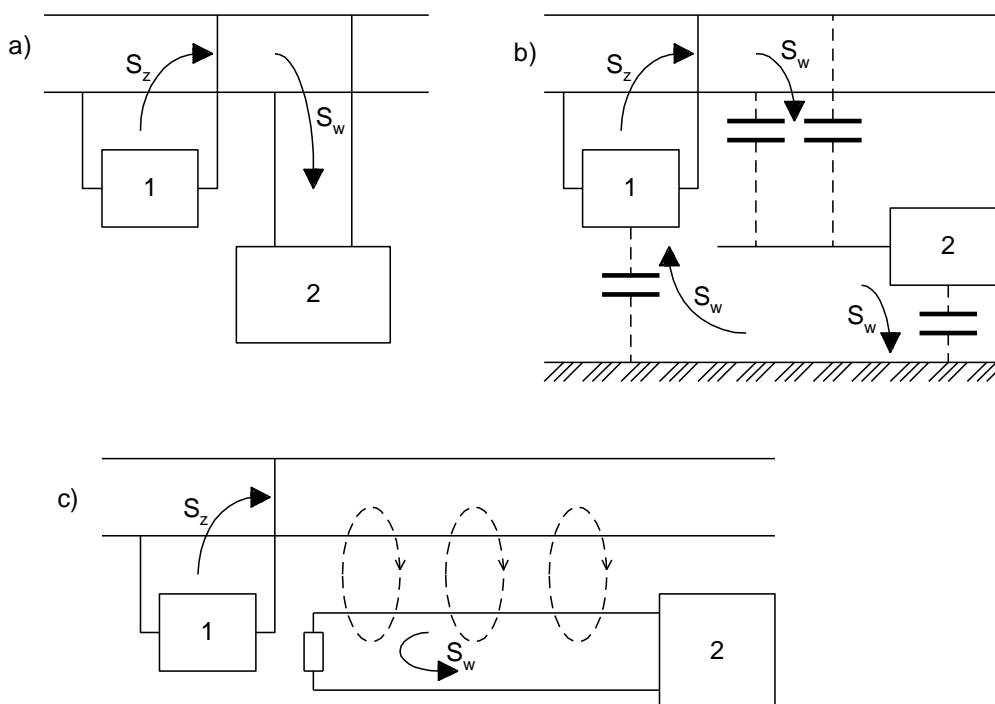


Rysunek 1. Szkic przedstawiający zjawisko sprzężenia elektromagnetycznego zakłócającego; 1 – obiekt zakłócający, 2 – obiekt zakłócany, 3 – droga przesyłu sygnału zakłócającego, F – dopuszczalny poziom zakłócenia,  $S_z$  – sygnał zakłócający,  $S_w$  – sygnał w obiekcie zakłócanym.

W referacie omówiono wybrane zagadnienia związane z kompatybilnością elektromagnetyczną w instalacjach elektrycznych. Zakłócenia te posiadają swoją specyfikę i różnią się od zakłóceń występujących w innych obwodach elektrycznych, takich jak układy wysokiego napięcia, obwody telekomunikacyjne, radiofoniczne i in. Z tego punktu widzenia można wymienić następujące ważniejsze cechy instalacji elektrycznych:

- zasilanie odbiorników o znacznych mocach znamionowych, pobierających często prąd o znacznym odkształceniu od przebiegu sinusoidalnego,
- bezpośrednie sąsiedztwo przewodów wieloprądowych, sterowniczych i sygnalizacyjnych,
- szeroki zakres wartości możliwych do wystąpienia prądów: roboczych i przetężeniowych,
- zgrupowanie niejednokrotnie dużej liczby aparatury o różnorodnym oddziaływaniu na otoczenie (cieplne, elektromagnetyczne) w ograniczonej przestrzeni rozdzielnic niskiego napięcia; zgrupowanie

takie powoduje wzajemne, negatywne oddziaływanie tych urządzeń na siebie, co prowadzi do pogorszenia się warunków pracy wszystkich zainstalowanych urządzeń.



Rysunek 2. Przykłady sprzężeń zakłócających: a) galwaniczne, b) pojemnościowe, c) indukcyjne; oznaczenia jak na rys. 1.

Do urządzeń elektrycznych szczególnie uciążliwych z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej w instalacjach elektrycznych należy zaliczyć przede wszystkim:

- przekształtniki energoelektroniczne,
- cewki elektromagnesów (napędy styczników i przekaźników elektromagnetycznych, cewki wyzwalaczy elektromagnetycznych wyłączników),
- łączniki elektryczne; zjawiska łączeniowe, zwłaszcza przy wyłączaniu niewielkich prądów indukcyjnych oraz prądów zwarciovych, mogą stanowić źródło zakłóceń w pracy instalacji.

W przekształtnikach energoelektronicznych ze sterowanymi elementami półprzewodnikowymi również podczas pracy ciągłej przebiegi prądu i napięcia mają kształt impulsów o znacznych stromościach narastania, rzędu wielu amperów i woltów na mikrosekundę, ze składowymi harmonicznymi rozciągającymi się w paśmie 10-1000 MHz. Szybkozmiennne przebiegi napięć i prądów o dużych częstotliwościach i dużym poziomie energetycznym, pochodzące zarówno od elementów energoelektronicznych jak i od czynności łączeniowych, wywołują zmienne pole elektromagnetyczne, będące źródłem zakłóceń rozchodzących się w różny sposób, w tym również drogą fal elektromagnetycznych.

Warunki kompatybilności wymagają takiego wykonania instalacji, aby wyeliminować bądź ograniczyć do określonego poziomu szkodliwe oddziaływanie aparatury i przewodów. W rozwiązaniach praktycznych zachodzi przeważnie konieczność zastosowania więcej niż jednego środka ochrony, spośród takich jak:

- zwiększenie odległości pomiędzy przewodami należącymi do różnych obwodów do 30 cm i większej oraz ograniczenie długości, na której przewody są ułożone obok siebie,
- zastosowanie kilku przewodów dwużyłowych zamiast jednego wielożyłowego o wspólnej żyłce powrotnej,
- galwaniczne rozdzielenie obwodów,
- zastosowanie przewodów ekranowanych oraz ekranowania niektórych, szczególnie wrażliwych aparatów,
- ograniczenie wartości szczytowych oraz stromości narastania przepięć, przez zastosowanie ograniczników przepięć,

- wyrównanie potencjału, przez połączenie ze sobą, przewodem o bardzo małej rezystancji, przewodzących osłon aparatów i części przewodzących obcych, pomiędzy którymi mogą wystąpić różnice potencjałów,
- zastosowanie filtrów szerokopasmowych ograniczających rozprzestrzenianie się zakłóceń o wysokiej częstotliwości,
- zastosowanie przekładników pośredniczących prądowych i napięciowych.

Kompatybilność elektromagnetyczna jest ściśle związana z zagadnieniem jakości energii w instalacjach elektrycznych. Niedotrzymanie wymogów kompatybilności może być powodem nieodpowiednich parametrów napięcia zasilającego, a w szczególności:

- zbyt dużego poziomu wyższych harmonicznych w napięciu zasilającym,
- występowania przerw w napięciu zasilającym, związanych z nieprawidłowym działaniem urządzeń zabezpieczających i sterujących w instalacjach,
- występowania innych zakłóceń w przebiegu napięcia zasilającego (wahania, szybkie zmiany i in.), które mogą być powodem nieprawidłowego funkcjonowania odbiorników energii elektrycznej.

Z tego względu w referacie wskazano na związek kompatybilności elektromagnetycznej z jakością energii w instalacjach elektrycznych.

## **Zakłócenia elektromagnetyczne indukowane wskutek wzajemnego oddziaływania przewodów instalacyjnych**

Wzajemne oddziaływanie elektromagnetyczne przewodów instalacyjnych może być w pewnych przypadkach przyczyną znacznych zakłóceń w instalacjach elektrycznych, mających wpływ na jakość dostarczanej energii i na funkcjonowanie aparatury. Oddziaływanie to dotyczy w szczególności:

- nowoczesnych układów instalacji wykonanych w systemach tzw. „instalacji inteligentnej” (*European Installation Bus EIB, Lon Works*), gdzie często wraz z przewodami obciążenia roboczego prowadzone są przewody służące do przesyłu informacji (szyna informacyjna),
- wieloprzewodowych linii instalacyjnych, typowych dla układów przemysłowych,
- instalacji w wielorodzinnych budynkach mieszkalnych wyposażonych w przestarzałe instalacje o niewielkich przekrojach przewodów, zwłaszcza przewodu neutralnego bądź ochronno-neutralnego i o dużej asymetrii obciążenia,
- wzajemnego oddziaływania rozległych układów połączeń wyrównawczych z przewodami linii instalacyjnych.

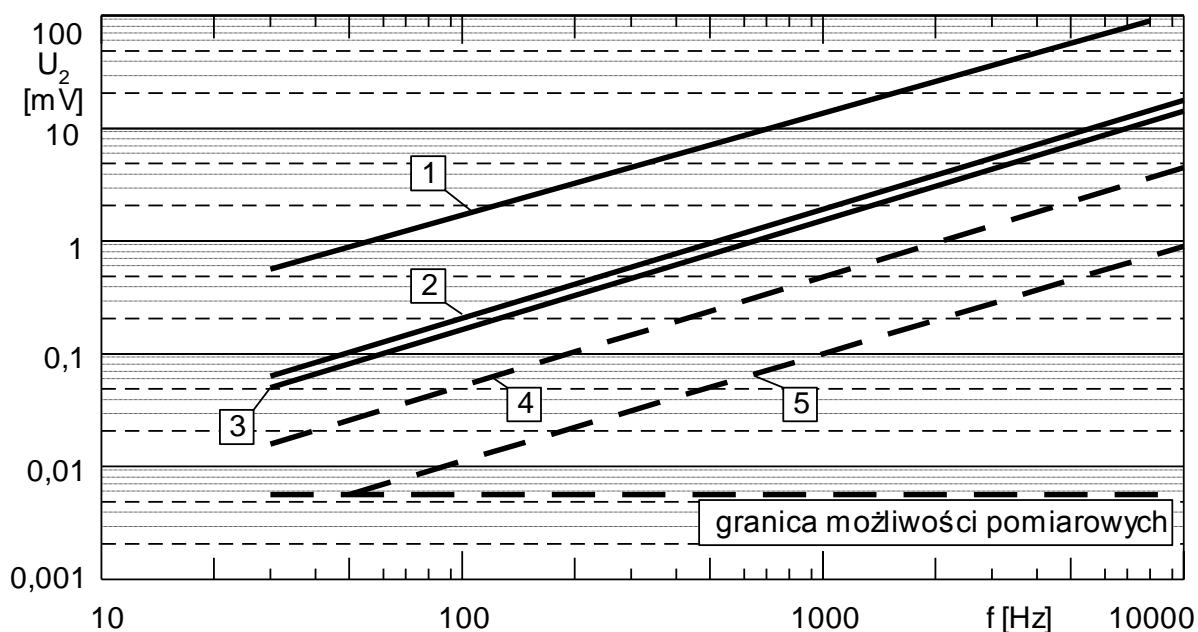
Skuteczność oddziaływania pola elektromagnetycznego pochodzącego od przewodów instalacyjnych jest zależna od:

- częstotliwości pola,
- wartości prądu danej harmonicznej płynącego w przewodzie, który jest źródłem zakłócenia,
- wzajemnej odległości między przewodami.

Problematyka ta jest aktualnym zagadnieniem badawczym, w szczególności w zakresie wciąż udoskonalanych rozwiązań systemu EIB, gdzie określa się zakłócenia wprowadzane przez przewody elektroenergetyczne do przewodów magistralnych (szyny informacyjnej). W pracach tych bada się napięcie indukowane w przewodach szyny informacyjnej w zależności od wymienionych trzech parametrów skuteczności oddziaływania pola elektromagnetycznego oraz od budowy i wzajemnego rozmieszczenia przewodów w wiązce wielożyłowej. Wyróżnia się przy tym następujące rodzaje budowy przewodów:

- przewody prowadzone równolegle, nieekranowane,
- przewody prowadzone równolegle z ekranem pojedynczym,
- przewody prowadzone równolegle z ekranem podwójnym,
- przewody prowadzone w wiązce skrętnej, nieekranowane,
- przewody prowadzone w wiązce skrętnej, ekranowane.

Wymienione rodzaje przewodów można odnieść również do innych rozwiązań praktycznych, stosowanych poza instalacjami EIB. Przykładowy wykres napięcia indukowanego  $U_2$  w przewodzie o długości 2 m w funkcji zmian częstotliwości prądu  $I_1$  będącego źródłem pola elektromagnetycznego, przedstawiono na rys. 3 [1].



Rysunek 3. Przykładowe wartości napięcia indukowanego w próbkach przewodów instalacyjnych o długości 2m o dwóch różnych rodzajach prowadzenia wg [1]; 1 - wiązka równoległa, przewody nie ekranowane, 2 - wiązka równoległa, przewody ekranowane pojedynczo, 3 - wiązka równoległa, przewody ekranowane podwójnie, 4 - wiązka skrętna, przewody nie ekranowane, 5 - wiązka skrętna, przewody ekranowane pojedynczo.

Prąd ten miał przebieg sinusoidalny o częstotliwości nastawianej w zakresie od 30 Hz do 10 kHz i o wartości skutecznej 3 A. Z przedstawionych zależności widać, że dla przewodów prowadzonych równolegle nie ma większej różnicy w indukowanym napięciu w przewodach ekranowanych pojedynczo i podwójnie. Pozytywne oddziaływanie ekranowania jest jednak widoczne przy porównaniu krzywej odpowiadającej przewodom nieekranowanym i ekranowanym. Stosunkowo prosty zabieg konstrukcyjny polegający na skręceniu przewodów w wiązce skutecznie ogranicza poziom napięć indukowanych wskutek oddziaływania pola elektromagnetycznego sąsiednich przewodów. Różnica ta w przypadku przewodów nieekranowanych wynosi ok. 2 rzędy, a dla przewodów ekranowanych jest większa niż jeden rząd wartości napięcia. Inną ważną prawidłowością zilustrowaną na rys. 3 jest wprost proporcjonalna logarytmiczna zależność napięcia indukowanego  $U_2$  w przewodach od częstotliwości prądu  $I_1$ , a tym samym od częstotliwości zakłócającego pola magnetycznego. Dziesięciokrotnemu wzrostowi częstotliwości odpowiada w przybliżeniu również dziesięciokrotny wzrost indukowanego napięcia. Przykładowo dla przewodów w wiązce skręconej, ekranowanej, dla częstotliwości 100 Hz napięcie indukowane  $U_2$  wynosi 10 mV, dla 1000 Hz – 100 mV, a dla 10 kHz odpowiednio 1000 mV. Wynikający stąd przyrost mocy indukowanej  $a$  przypadającej na jedną dekadę wzrostu częstotliwości szacuje się na:

$$a = \log \frac{P_1}{P_2} = 20 \text{ dB / dekadę} \quad (1)$$

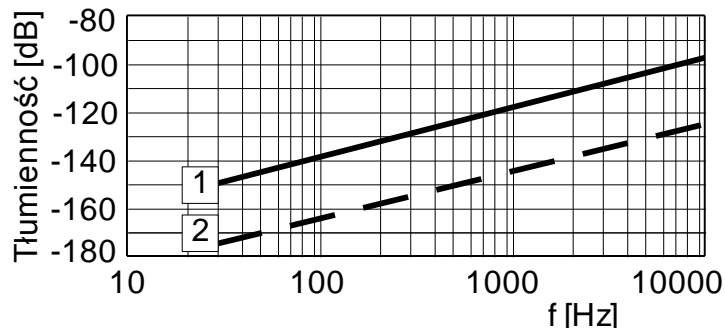
gdzie:  $P_1$ ,  $P_2$  – moce prądu wyindukowanego w przewodzie zakłócanym odpowiednio dla częstotliwości  $f_1$  i  $f_2$ , przy czym  $f_1 = 10 f_2$ .

Na tej podstawie można określić tzw. tłumienność przenikową  $b$  dla przewodów instalacyjnych prowadzonych we wspólnej wiązce:

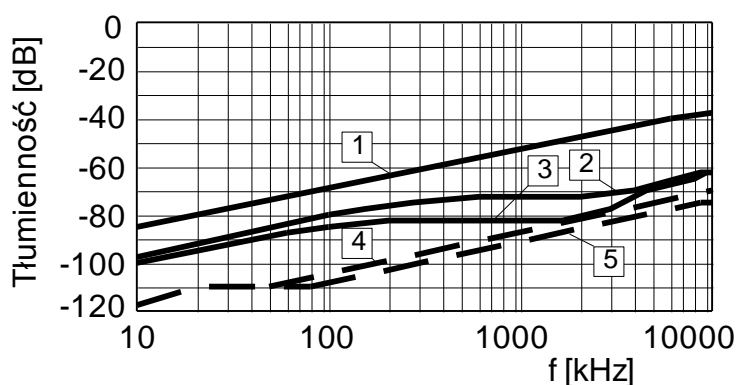
$$b = a \cdot \log \frac{I_2}{I_1} \quad (2)$$

gdzie  $I_2$  - prąd wyindukowany w przewodzie zakłócanym,  $I_1$  – prąd w przewodzie zakłócającym.

Tłumienność przenikowa jest m.in. funkcją częstotliwości, co zilustrowano na rys. 4 dla częstotliwości w zakresie od 50 Hz do 10 kHz i na rys. 5 dla zakresu od 10 kHz do 10 MHz. Wielkość ta pozwala określić spodziewane wartości prądów indukowanych w określonym układzie przewodów instalacyjnych, przy znajomości widma wyższych harmonicznych w przewodzie „zakłócającym”. Z przedstawionych zależności jest widoczne, że dla harmonicznej podstawowej tłumienność przewodów instalacyjnych jest na tyle duża, że jej praktyczny wpływ na pracę instalacji można uznać za pomijalnie mały. Tłumienność zmniejsza się jednak znacznie wraz ze wzrostem częstotliwości, przy czym w całym omawianym zakresie jest znacznie wyższa dla przewodów prowadzonych w wiązce skrętej niż dla przewodów ułożonych równoległe.



Rysunek 4. Tłumienność przenikowa przewodów pojedynczo ekranowanych w wiązce równoległej (1) i skrętej (2) w funkcji częstotliwości w zakresie od 30 Hz do 10 kHz.



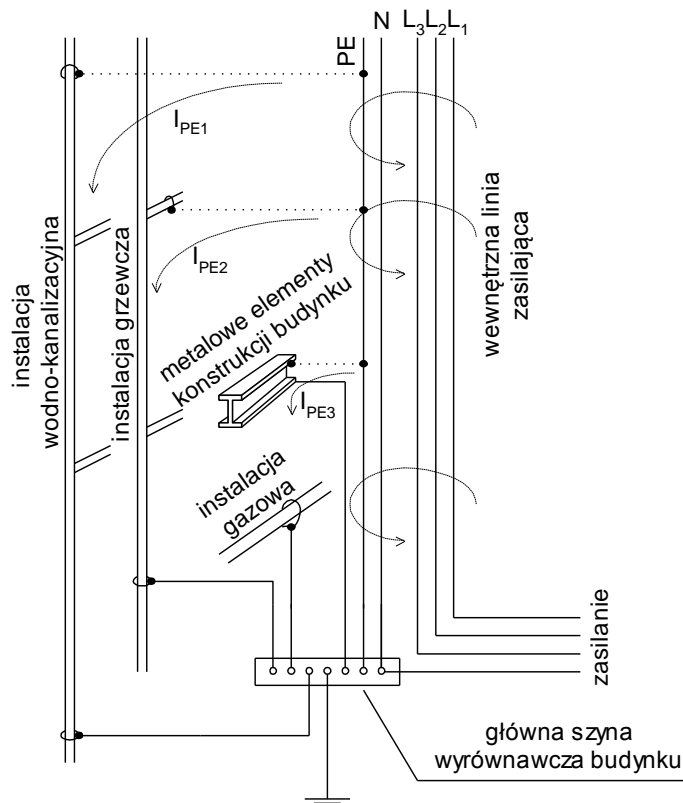
Rysunek 5. Tłumienność przenikowa przewodów instalacyjnych w funkcji częstotliwości w zakresie od 10 kHz do 10000 kHz; oznaczenia cyfrowe jak na rys. 3.

Pomimo, że wartości skuteczne prądów wyższych harmonicznych maleją wraz ze wzrostem rzędu harmonicznej, to jednak udział harmonicznych wysokich rzędów w indukowanych prądach może być znaczący. W praktyce problem ten dotyczy głównie sytuacji, gdy przewody transmisji danych (np. w instalacji EIB), bądź przewody sterownicze ułożone są w bezpośredniej bliskości przewodów energetycznych, którymi płyną prądy o znacznych wartościach i gdy różnica pomiędzy roboczymi wartościami prądów w tych obwodach może sięgać kilku rzędów. Natomiast wzajemne sprzężenia indukcyjne pomiędzy poszczególnymi przewodami fazowymi instalacji można uznać za nie mające istotnego wpływu na jej pracę.

Norma PN-EN 50160 [3] określa wymogi dotyczące napięcia zasilającego w zakresie do harmonicznej rzędu 40, czyli do częstotliwości 2 kHz. Należy sobie jednak zdawać sprawę z faktu, że stosowane obecnie w sieciach niskiego napięcia filtry wyższych harmonicznych, głównie filtry aktywne, eliminując harmoniczne niższych rzędów (głównie od 3-ciej do 19-stej) generują prądy w wyższych zakresach harmonicznych, niejednokrotnie przekraczających harmoniczną rzędu 40, dla których tłumienność sprzężeń pomiędzy przewodami instalacyjnymi znacznie maleje. Zakres częstotliwości 10 kHz – 10 MHz (rys. 5) dotyczy jednak przede wszystkim wzajemnego oddziaływania przewodów szyny informacyjnej w „instalacjach inteligentnych”. Na rys. 5 widoczne jest ponadto, że w zakresie częstotliwości od ok. 50-80 kHz do ok. 2-4 MHz przebieg tłumienności dla przewodów ułożonych równoległe i ekranowanych utrzymuje się w przybliżeniu na stałym poziomie 70-80 dB. Jest to efektem uwidocznienia się tzw. „efektu tłumienia refleksyjnego”, charakterystycznego dla ekranów cylindrycznych wykonanych z folii metalowej.

# Skutki sprzężeń elektromagnetycznych w przewodach ochronnych w rozbudowanych układach instalacji wykonanych w systemie TN-S

Sprzężenia elektromagnetyczne pomiędzy przewodami instalacyjnymi mogą powodować przepływ znacznych prądów i pojawienie się nadmiernych napięć w rozbudowanych układach instalacji wykonanej w systemie TN-S. Przewód ochronny PE, oprócz przyłączenia go do głównej szyny wyrównawczej (rys. 6), łączony jest z uziemionymi elementami metalowymi w układach połączeń miejscowych.



Rysunek 6. Szkic ilustrujący niekorzystny wpływ oddziaływań elektromagnetycznych na obciążenie przewodu PE w instalacji elektrycznej dużych obiektów budowlanych, wykonanej w systemie TN-S.

Prąd indukowany w przewodzie PE ma w ten sposób dogodną drogę przepływu ( $I_{PE1}$ ,  $I_{PE2}$ ,  $I_{PE3}$ , rys. 6) w wyodrębnionych, zwartych pętlach i ze względu na niewielką impedancję tych połączeń może osiągać znaczne wartości, zwłaszcza w dużych obiektach budowlanych i rozległych instalacjach. Zagadnienie to przedstawione jest bliżej m.in. w pracy [4], gdzie przeanalizowano różne specyficzne przypadki układów połączeń przewodu PE w instalacjach dużych budynków. Przykładowe rezultaty takich pomiarów opisanych w [4] zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Przykładowe pomiary prądów w przewodach linii zasilającej w systemie TN-S w gmachu stacji radiowo-telewizyjnej wg [4].

| Rodzaj mierzonego prądu        | Prądy w przewodach |        |        |       |        |
|--------------------------------|--------------------|--------|--------|-------|--------|
|                                | L1 [A]             | L2 [A] | L3 [A] | N [A] | PE [A] |
| Wartość skuteczna całkowita    | 135                | 135    | 135    | 158   | 34     |
| Wartość skuteczna 1-szej harm. | 120                | 120    | 120    | 25    | 7,6    |
| Wartość skuteczna 3-ciej harm. | 55                 | 55     | 55     | 150   | 32     |

Przytoczony przykład ilustruje wagę omawianego problemu, gdzie znaczący udział prądu 3-ciej harmonicznej w przewodach fazowych powoduje, że wartość skuteczna prądu w przewodzie neutralnym, w którym prądy 3-ciej harmonicznej są w fazie i sumują się, znacząco przewyższa prądy w przewodach fazowych. W przewodzie PE, ułożonym w wewnętrznej linii zasilającej równolegle na znacznej długości wraz z pozostałymi przewodami: L1, L2, L3 i N indukuje się prąd, który mając dogodną drogę przepływu w zwartych pętlach połączeń wyrównawczych (rys. 6), osiąga znaczne wartości. Główny udział w tym prądzie ma prąd 3-ciej harmonicznej. Układ ten tworzy niejako jednozwojowe, zwarte uzwojenie wtórne transformatora. Niekorzystnym skutkiem przepływu tak znacznych wartości prądu jest możliwość pojawienia się nadmiernych spadków napięcia w przewodach PE. Wartości tych napięć zależą bezpośrednio od przekroju przewodu PE, przy czym wraz ze wzrostem tego przekroju napięcia maleją.

Omówione sytuacje dotyczą przede wszystkim instalacji w dużych obiektach budowlanych o rozbudowanym systemie połączeń przewodu PE z innymi elementami przewodzącymi. W niewielkich budynkach, gdzie trasa wspólnego przebiegu przewodu PE z pozostałymi przewodami instalacyjnymi jest stosunkowo krótka, zagadnienie to nie stwarza problemów praktycznych.

## Kompatybilność elektromagnetyczna w układach sieci TN-C

Większość istniejących w kraju instalacji elektrycznych w budynkach mieszkalnych to instalacje wykonane przed 20-40 laty w systemie TN-C, które z wielu względów należy uznać obecnie za przestarzałe i nie odpowiadające współczesnym wymogom technicznym jak i pożądanemu poziomowi komfortu użytkowania. Główne powody złej jakości tych instalacji to:

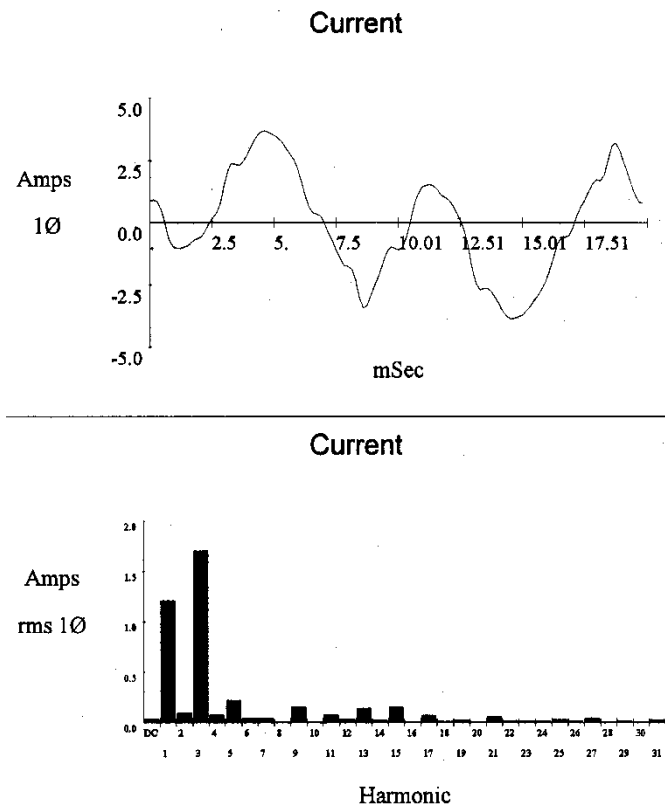
- brak rozdzielenia przewodów: neutralnego i ochronnego, co jest niezgodne z obecnymi przepisami i wprowadza istotne ograniczenia w ochronie przeciwporażeniowej,
- niewielkie przekroje przewodów, nie odpowiadające współczesnym obciążeniom instalacji,
- powszechne stosowanie przewodów aluminiowych, nie nadających się w zasadzie do stosowania przy przekrojach mniejszych od  $16 \text{ mm}^2$ ,
- przestarzały, wyeksploatowany i nie odpowiadający współczesnym standardom osprzęt instalacyjny.

Spośród wymienionych tu czynników najważniejszym z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej jest niedostateczny przekrój przewodów, przede wszystkim przewodu ochronno-neutralnego PEN, zwanego w przeszłości przewodem zerowym. Przewód ten posiada przekrój adekwatny do obciążeń, na które planowano omawiane instalacje. Chociaż pełnił on (i pełni do dzisiaj) określoną rolę w ochronie przeciwporażeniowej, do roku 1977 jego przekrój w wewnętrznych liniach zasilających budynków wielorodzinnych ograniczono do  $6 \text{ mm}^2$  Al bądź nawet do  $4 \text{ mm}^2$ , wychodząc z założenia znikomej obciążalności roboczej. Przekrój ten był często projektowany jako niższy od przekroju żył roboczych. Po roku 1977 odstąpiono od tej praktyki projektując zwykle przekrój przewodu PEN jako równy przekrojowi żył roboczych. Konsekwencje tego są obecnie coraz dotkliwiej odczuwane w instalacjach z tamtego okresu. W przewodzie ochronno-neutralnym sumują się bowiem prądy pobierane przez odbiorniki jednofazowe. Gdyby prądy te nie zawierały składowych wyższych harmonicznych, przewodem PEN płynąłby jedynie prąd asymetrii ich obciążenia o nieznacznej wartości. Przed 20-40 laty założenie to było być może prawdziwe. Obecnie jednak, przy znacznym udziale odbiorników pobierających prąd odkształcony, obciążenie przewodu PEN jest duże i niejednokrotnie nadmierne w stosunku do jego obciążalności. Wynika to z faktu, że prądy 3-ciej harmonicznej i jej nieparzystych krotności oraz składowa stała są ze sobą w fazie, czyli ich suma geometryczna i algebraiczna są sobie równe. Właśnie te harmoniczne dominują najczęściej w obciążeniu przewodu PEN. Ponadto obciążenie tego przewodu jest zwiększone efektem transformacji, omówionym w poprzednim punkcie referatu dla sieci TN-S. W wyniku tego, przy niedostatecznych przekrojach tego przewodu dochodzi do:

- nadmiernych spadków napięcia i znacznych potencjałów występujących w przewodzie PEN,
- uszkodzenia przewodu PEN wskutek przeciążeń.

Skutkiem tego jest pogorszenie się czy nawet w skrajnych przypadkach brak ochrony przeciwporażeniowej jak również niezachowanie wymogów kompatybilności elektromagnetycznej i jakości dostarczanej energii [5]. Przykładowy przebieg prądu w przewodzie PEN wewnętrznej linii zasilającej przedstawiono na rys. 7.





Rysunek 7. Przykładowy, typowy przebieg prądu w przewodzie PEN wraz ze spektrum wyższych harmonicznych.

W tabeli 2 zamieszczono przykładowe porównanie wartości prądów w przewodach fazowych i prądu w przewodzie PEN zmierzonych w wewnętrznej linii zasilającej budynku wielorodzinnego, dla przypadku niewielkiego obciążenia prądowego, (sobota, godziny poranne), gdy znaczna liczba odbiorników to odbiorniki radiowo-telewizyjne. Odbiorniki te, wyposażone na ogół w zasilacze z pojemnościowymi filtrami napięcia, pobierają prąd w dużym stopniu odkształcony. Dla zilustrowania odkształcenia krzywej prądu w tabeli podano również procentowe zawartości prądów kolejnych harmonicznych  $I_k$  w stosunku do wartości całkowitej wartości skutecznej prądu w jednym z przewodów fazowych i w przewodzie PEN:

Tabela 2. Przykładowe obciążenia przewodów fazowych i przewodu PEN wewnętrznej linii zasilającej budynku wielorodzinnego w czasie niewielkiego obciążenia (sobota, godziny poranne).

| Harmoniczna prądu | Obciążenie przewodów |      |      |             |      |             |
|-------------------|----------------------|------|------|-------------|------|-------------|
|                   | L1                   | L2   | L3   |             | PEN  |             |
|                   |                      |      | [A]  | $I_k/I$ [%] | [A]  | $I_k/I$ [%] |
| DC                | 0,01                 | 0,0  | 0,03 | 1,02        | 0,03 | 2,06        |
| 1                 | 2,53                 | 3,05 | 2,62 | 91,29       | 0,35 | 24,69       |
| 3                 | 0,35                 | 0,18 | 0,91 | 31,55       | 1,28 | 89,72       |
| 5                 | 0,76                 | 0,65 | 0,66 | 23,12       | 0,42 | 29,34       |
| 7                 | 0,25                 | 0,42 | 0,30 | 10,60       | 0,17 | 12,06       |
| 9                 | 0,05                 | 0,01 | 0,07 | 2,55        | 0,06 | 4,43        |
| 11                | 0,11                 | 0,12 | 0,05 | 1,74        | 0,11 | 8,07        |
| 13                | 0,03                 | 0,04 | 0,09 | 3,16        | 0,11 | 7,54        |
| 15                | 0,03                 | 0,10 | 0,06 | 2,09        | 0,17 | 11,88       |

Przykład ten ilustruje, jak znaczne są odkształcenia prądu w przewodzie PEN, nawet w przypadku niewielkiego obciążenia prądowego instalacji. Pomimo, że każdy z odbiorników indywidualnie spełnia wymagania normy PN-EN 61000-3-2 [6], to zsumowane obciążenie przewodu PEN trzecią harmoniczną i jej nieparzystymi krotnościami, daje w efekcie bardzo duże odkształcenie prądu. Norma [6] jest normą o charakterze przedmiotowym, określającą wymogi dotyczące dopuszczalnych poziomów emisji harmonicznych

w prądzie odbiornika. Przytoczony przykład pokazuje, że nawet jej spełnienie przez odbiorniki zainstalowane nie daje praktycznie informacji o odkształceniach prądu obciążenia w instalacji. Najprostszym i skutecznym sposobem eliminacji skutków przeciążenia przewodu PEN czy przewodu neutralnego prądami wyższych harmonicznych jest zapewnienie odpowiednich przekrojów tych przewodów. Obecnie pojawiają się propozycje, aby przekrój przewodu neutralnego był dwukrotnie lub co najmniej o  $\sqrt{3}$  większy od przekrojów przewodów fazowych.

## Podsumowanie

Problematyka zakłóceń elektromagnetycznych w instalacjach elektrycznych staje się zagadnieniem coraz ważniejszym z punktu widzenia poprawnej pracy tych instalacji i zasilanych odbiorników. Poruszone w referacie kwestie stanowią jedynie wybrane tematy w tym zakresie i nie wyczerpują problemu. Eliminacja skutków negatywnych oddziaływań elektromagnetycznych jest w znacznej mierze związana z odpowiednim wymiarowaniem przewodów instalacyjnych, sposobem ich prowadzenia i wyposażeniem instalacji w odpowiedni osprzęt. Wydaje się, że w najbliższej przyszłości powinno dojść w tym zakresie do znacznych przewartościowań i uwzględniania tych zagadnień m.in. w projektowaniu instalacji elektrycznych, zwłaszcza w instalacjach dużych obiektów budowlanych. Przygotowanie odpowiednich, szczegółowych zaleceń wymaga jednak prowadzenia dalszych prac badawczych.

## Literatura

- [1] Bauer J.: Untersuchung unterschiedlicher Leitungstypen zum Einbau im Gebäude-Installations-Bussystemen, 5. Int. Fachmesse und Kongreß für Elektromagnetische Verträglichkeit, 20.-22. Februar 1996, Universität der Bundeswehr München-Neubiberg, Materiały konferencyjne VDE-Verlag GmbH, Berlin-Offenbach, str. 981-988.
- [2] Nedtwig L.: EMV-Praxishandbuch. WEKA-Verlag Augsburg, 1995.
- [3] PN EN 50160 „Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych”, PKN 1998.
- [4] Dittrich I. Frey M.: Über eigentlich verbotene Schutzleiterströme in Gebäuden mit TN-S System; Ursachen und Vermeidung im Hinblick auf Installation und Erdsystem, 5. Int. Fachmesse und Kongreß für Elektromagnetische Verträglichkeit, 20.-22. Februar 1996, Universität der Bundeswehr München-Neubiberg, Materiały konferencyjne VDE-Verlag GmbH, Berlin-Offenbach, str. 989-996.
- [5] Markiewicz H., Klajn A.: Jakość energii w instalacjach elektrycznych. Materiały Konferencji „Jakość Energii Elektrycznej w Sieciach Elektroenergetycznych w Polsce”, Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej, Poznań, 9-10 listopada 2000, str. 171-178.
- [6] PN-EN 61000-3-2. Kompatybilność elektromagnetyczna. Dopuszczalne poziomy. Dopuszczalne poziomy emisji harmonicznego prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika  $\leq 16$  A). PKN 1997.