Sieci zasilające pod ciągłym oddziaływaniem zakłóceń

Polska wersja materiału Bajog electronic z uwagami redakcyjnymi.

Materiał archiwalny. Opisane przypadki, ceny, prognozy i odniesienia do norm dotyczą czasu powstania źródła. Nie stanowią aktualnej specyfikacji wszystkich produktów.

Tło historyczne i przepisy omawiane przez autora

Autor rozpoczyna od harmonizacji wymagań EMC w Unii Europejskiej w styczniu 1996 roku oraz norm EN 55011-55022 i norm rodzin wyrobów PFS. Przypomina, że wcześniejsze niemieckie przepisy dotyczące urządzeń wysokiej częstotliwości regulowały zakłócenia urządzeń elektrycznych i radiowych już przed II wojną światową.

Przywołuje VDE 0871 A/B, obowiązującą do 31.12.1995, z zakresem zakłóceń przewodzonych od 10 kHz do ponad 30 MHz, oraz zastąpienie jej EN 55011 A/B. W ocenie autora harmonizacja osłabiła wcześniejsze niemieckie wymagania, ponieważ omawiane normy EN uwzględniały zakres 150 kHz-30 MHz. Wyjaśnienie motywów politycznych i konkurencyjnych jest opinią autora.

Wymienione obszary norm wywodzących się z publikacji CISPR: EN 55011 - urządzenia przemysłowe, naukowe, medyczne i podobne; EN 55013 - emisja zakłóceń odbiorników radiowych i urządzeń towarzyszących; EN 55014 - urządzenia gospodarstwa domowego, narzędzia ręczne i podobne; EN 55015 - oświetlenie; EN 55020 - odporność odbiorników i urządzeń towarzyszących; EN 55022 - urządzenia informatyczne. Jest to historyczne zestawienie z artykułu.

Doświadczenia z instalacji

Zasilacze impulsowe, regulatory fazowe, tyrystory, IGBT i tranzystory mocy pracują z częstotliwościami przełączania, które autor lokuje w dolnym paśmie kHz, w przykładzie 2-10 kHz. Składowa podstawowa oraz trzecia i piąta harmoniczna mogą pozostawać w dolnym paśmie. Przełączaniu towarzyszą impulsy i stany przejściowe o dużej stromości napięcia.

W źródle podano dU/dt do 10 kV/µs po stronie wyjścia przemiennika prowadzącej do silnika oraz od 100 do ponad 500 V/µs po stronie sieci. Kolejnym źródłem obciążeń są wyładowania atmosferyczne, oddziałujące przez sieć i połączenia z ziemią, w tym PE.

Autor przywołuje historyczne szacunki około 2000 burz dziennie i 100 wyładowań na sekundę na świecie. Dla Europy Środkowej podaje 15-35 dni burzowych rocznie i około 1-5 wyładowań na km², z większymi wartościami na południu.

Obciążenia elementów i bezpieczeństwo

Standardowe kondensatory X1, X2, Y lub MKP pracujące równolegle do sieci mogą mieć ograniczoną dopuszczalną stromość napięcia. Autor podaje dla omawianych elementów wartość do 50 V/µs, zależnie od jakości wykonania. Wraz z miniaturyzacją maleje grubość folii, w źródle około 2-6 µm, i zmieniają się dopuszczalne obciążenia impulsowe.

Artykuł odwołuje się do samoregeneracji kondensatorów po przebiciu. Proces ten może występować tylko w ograniczonym zakresie. Ubytek pojemności i zmiany prądów mogą oznaczać postępujące uszkodzenie, aż do poważnej awarii elementu. Nie wszystkie konstrukcje oznaczone klasami X/Y mają identyczną budowę i parametry.

Autor przywołuje wartości szczytowe do 3 kV w instalacjach mieszkalnych i do 10 kV w przemysłowych, powodowane zwarciami i innymi stanami sieci. Poza okresowym przełączaniem odbiorniki mogą wprowadzać szerokopasmowe zaburzenia.

Przykłady z praktyki

Rysunek 1 przedstawia analizę instalacji w budynku mieszkalnym w Monachium. Według autora winda bez odpowiedniego ograniczenia zakłóceń doprowadziła w ciągu czterech tygodni do uszkodzenia trzech układów sterowania maszyn, układu logicznego i pięciu komputerów w otoczeniu źródła.

Rysunek 2 dotyczy zakłóceń podczas hamowania silnika piły tarczowej w zakładzie stolarskim. Częste wyłączanie silnika zakłócało sterowanie sąsiedniego falownika fotowoltaicznego, który według opisu uległ uszkodzeniu po sześciu tygodniach.

Dla opisanych przypadków wskazano, zależnie od impedancji sieci, poziomy ponad 140 dBµV przy 10 kHz i ponad 100 dBµV przy 150 kHz. Dla porównania autor podaje 57 dBµV AV przy 150 kHz jako limit przywoływanej wówczas EN 55011 klasy B. Limit ten należy odczytywać w kontekście wersji normy i warunków badania z czasu publikacji.

Rysunki 3 i 4 pokazują zakłócenia związane ze ściemnianiem oświetlenia sufitowego studia filmowego i dźwiękowego oraz ich ocenę odbiornikiem pomiarowym. Autor wiąże je z uszkodzeniami sterowania i płytek stołu mikserskiego chronionych filtrami aktywnymi oraz z przerwami w nagraniach i miksowaniu.

W opisanej statystyce co najmniej 90 ze 100 przypadków problemów EMC przypisano silnym zakłóceniom poniżej 150 kHz. Jest to obserwacja z praktyki autora, nie wynik reprezentatywnego badania wszystkich instalacji.

Poziomy logarytmiczne i jednostki

Poziomy logarytmiczne ułatwiają przedstawienie szerokiego zakresu wartości napięcia, prądu i natężenia pola. Definicje przy użyciu logarytmu dziesiętnego są następujące:

Poziom napięcia: Lu = 20 log10(U/U0), gdzie U0 = 1 µV. Poziom prądu: Li = 20 log10(I/I0), gdzie I0 = 1 µA. Poziom mocy: Lp = 10 log10(P/P0), gdzie P0 = 1 pW. Poziom pola elektrycznego: LE = 20 log10(E/E0), gdzie E0 = 1 µV/m. Poziom pola magnetycznego: LH = 20 log10(H/H0), gdzie H0 = 1 µA/m.

Dla stosunków amplitudowych: około 6 dB odpowiada 2:1; 20 dB - 10:1; 40 dB - 100:1; 60 dB - 1000:1; 80 dB - 10 000:1; 100 dB - 100 000:1; 120 dB - 1 000 000:1. Tych proporcji nie należy bezpośrednio używać do stosunków mocy, gdzie obowiązuje współczynnik 10 zamiast 20.

Autor zwraca uwagę, że charakterystyka zakłóceń z odbiornika pomiarowego nie wystarcza do pełnego określenia przebiegu chwilowego, prądu i energii zaburzenia. Potrzebne mogą być dodatkowe pomiary odpowiednimi przyrządami. Ocena zgodności z przywoływanymi normami opiera się jednak na określonej metodzie pomiaru i limitach w dBµV.

Które zakłócenia wpływają na urządzenia?

Według autora zakłócenia powyżej 1 MHz w wielu typowych przypadkach nie przekazują przez sprzężenia pojemnościowe energii wystarczającej do bezpośredniego zniszczenia elementu. Nie oznacza to jednak nieszkodliwości: zakłócenia asymetryczne mogą zaburzać pracę wrażliwej elektroniki, logiki i sterowania oraz powodować nieokreślone stany działania.

Autor wskazuje również duże prądy wyrównawcze i możliwość nasycenia dławików skompensowanych prądowo, które miały pełnić funkcję ochronną w filtrze. Do skutków zalicza większe prądy upływu i problemy z zabezpieczeniami różnicowoprądowymi, wpływ zjawiska naskórkowego na odprowadzanie zakłóceń wyższych częstotliwości oraz trudności w spełnieniu wymagań EMC.

Za szczególnie obciążające uznaje szybkie operacje przełączania regulatorów tyrystorowych, IGBT i prostowników. W źródle opisano je w uproszczeniu jako krótkotrwałe połączenia zwarciowe podczas komutacji. Strome zmiany prądu odkształcają napięcie sieci. Rysunki 5 i 6 ilustrują odkształcenie sinusoidy i oddziaływanie prostownika na zasilanie.

Takie zjawiska są związane z zasadą pracy urządzenia i nie przesądzają same w sobie o jakości produktu.

Miniaturyzacja, koszty i skuteczność filtracji

Autor wymienia trzy czynniki sprzyjające problemom: dążenie do coraz mniejszych urządzeń przy dużym wykorzystaniu ich możliwości; presję kosztową i zastępowanie materiałów tańszymi; oraz przypadki wyrobów niespełniających wymagań deklarowanych oznakowaniem CE. Źródło odnosi ostatnią uwagę do importu z Dalekiego Wschodu; jest to uogólnienie autora, a ocena konkretnego wyrobu wymaga jego dokumentacji i badań.

Cena zakupu może przesłaniać całkowite koszty eksploatacji. Niewłaściwie dobrane elementy ochronne i filtry mogą nie stanowić skutecznej bariery. Kondensatory stale podłączone do sieci ulegają według autora stopniowej degradacji pod wpływem powtarzalnych obciążeń. Nawet bez zniszczenia elementu możliwe są błędy sterowania i przerwy w pracy komputerów lub maszyn.

Nieodpowiednie indukcyjności również mogą tracić skuteczność wskutek nasycenia rdzenia. Pozostające wtedy rezystancje przewodów i połączeń nie zapewniają wymaganej redukcji zaburzenia.

Perspektywa projektanta i użytkownika

Projektanci szaf i instalacji oraz użytkownicy kupują sterowniki, napędy, zasilacze i przemienniki, które jako pojedyncze urządzenia przebadano w określonych warunkach laboratoryjnych. Oczekują, że po integracji instalacja będzie pracowała prawidłowo.

Różnice impedancji sieci, częstotliwości przełączania i wzajemne oddziaływania mogą jednak doprowadzić do problemów już po krótkim czasie. Autor krytykuje lukę między oceną pojedynczego wyrobu a rzeczywistą eksploatacją całej instalacji.

Użytkownik bez doświadczenia EMC i znajomości konstrukcji kupionych urządzeń może nie być w stanie samodzielnie znaleźć rozwiązania. Zapewnienie dostawcy, że urządzenie spełnia wymagania w laboratorium i istnieją na to wyniki, może być prawdziwe, ale nie rozwiązuje problemu całego procesu.

Autor zwraca uwagę na niechęć części dostawców do odpowiedzialności za integrację oraz niedostateczne wsparcie po sprzedaży. Podkreśla, że serwis i jakość mają znaczenie dla długoterminowej pozycji przedsiębiorstwa. Jego deklarowana zasada brzmi: klienci są najważniejszą wartością firmy.

Pomoc w praktyce

Częste przerwy i awarie oznaczają koszt, stratę czasu, pogorszenie wizerunku oraz spory o odpowiedzialność. Bajog podaje, że w samym 2003 roku pomógł 106 małym i dużym przedsiębiorstwom przez pomiary w rzeczywistych instalacjach i propozycje ekonomicznie uzasadnionych rozwiązań.

W chwili publikacji firma odwoływała się do 21 lat doświadczeń EMC w zastosowaniach cywilnych i wojskowych. Początkowo działania koncentrowały się na istniejących klientach Bajog. Równolegle prowadzono badania materiałowe i prace rozwojowe nad rozwiązaniami dla trudnych warunków montażowych i eksploatacyjnych.

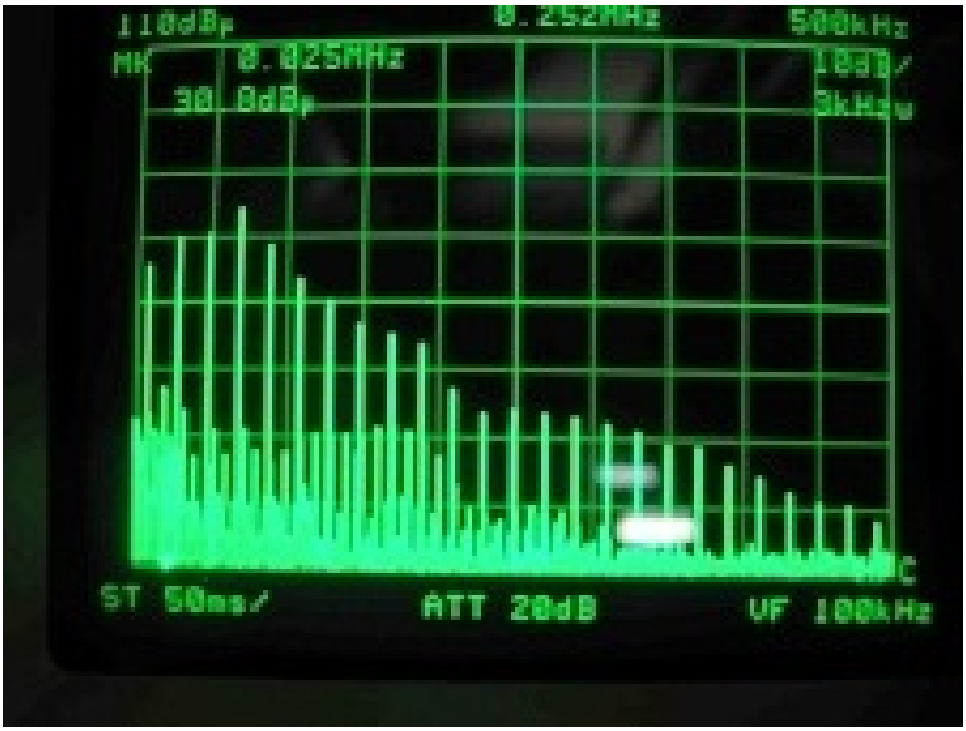
Źródło i kontakt

Bajog electronic GmbH. Dokument źródłowy: DT_07_Versorgungsnetze_unter_Engl.pdf.

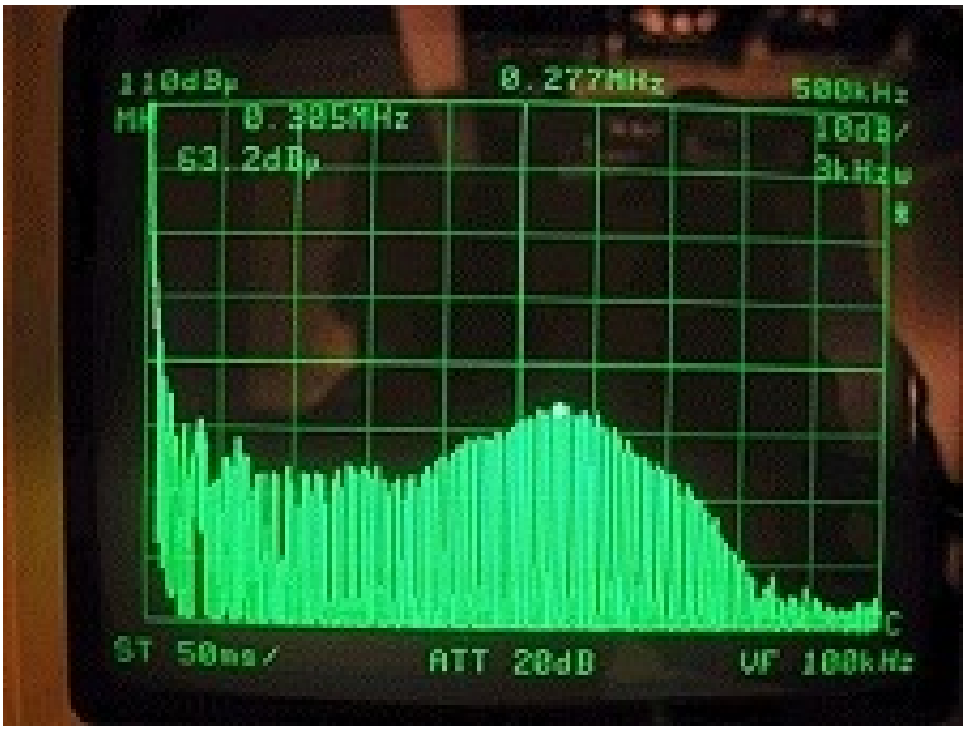
Polskie opracowanie: Maschek Polska. Pytania o dobór rozwiązań: s.stepa@maschekpolska.pl, tel. +48 663 365 904. www.maschekpolska.pl

Ilustracje i pomiary źródłowe

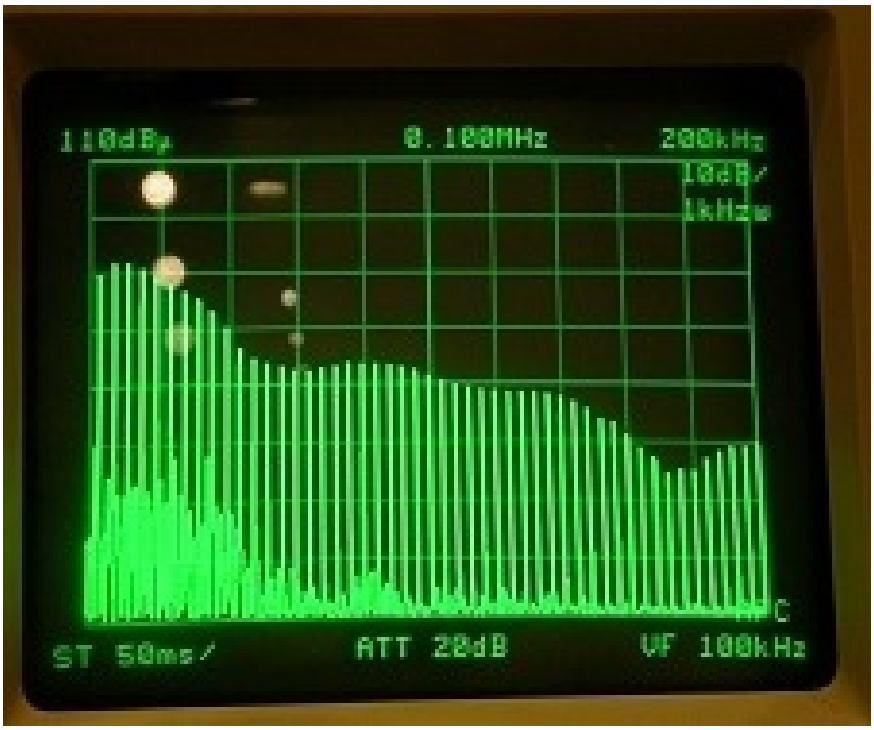
Ilustracje pochodzą z materiału producenta. Zachowano oryginalne ślady pomiarowe i oznaczenia przyrządów; polskie objaśnienia znajdują się pod ilustracjami.



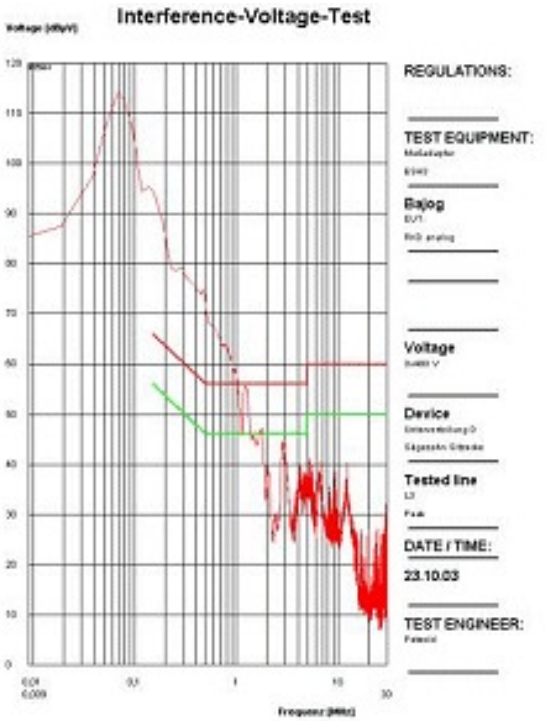
Rys. 1. Analiza sieci w budynku mieszkalnym w Monachium.



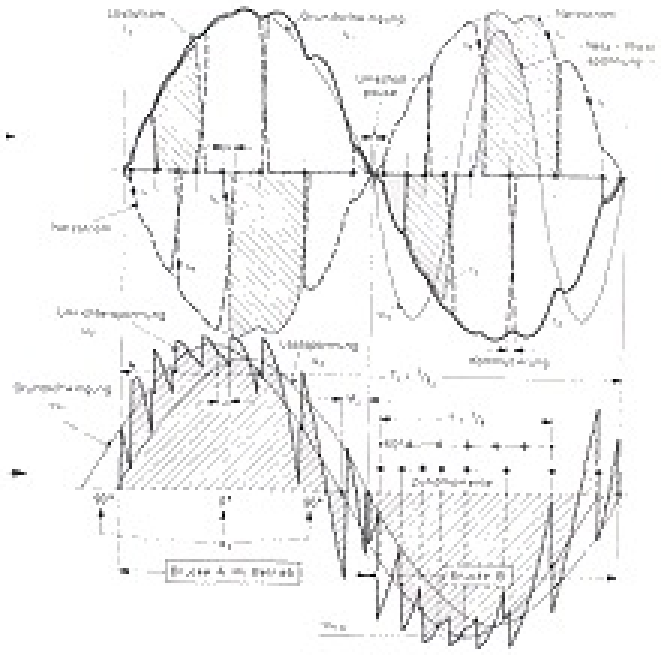
Rys. 2. Zakłócenia związane z hamowaniem silnika piły tarczowej.



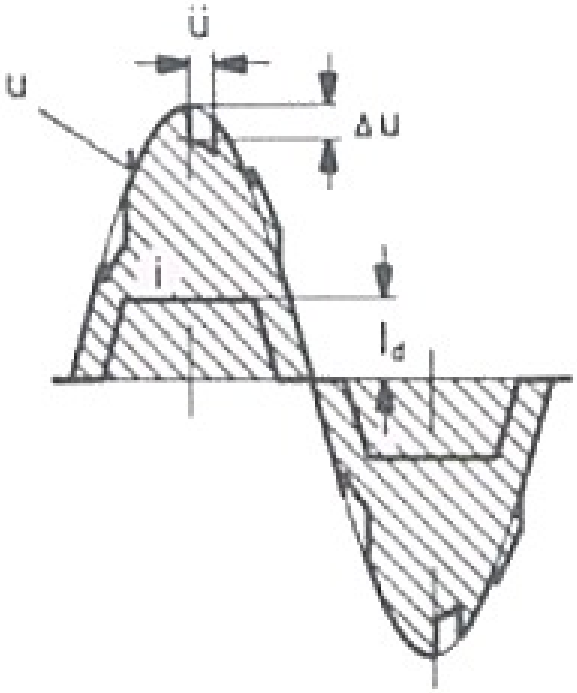
Rys. 3. Zakłócenia podczas ściemniania oświetlenia studia, faza L3.



Rys. 4. Ocena zakłóceń odbiornikiem pomiarowym. Oś pozioma: częstotliwość; pionowa: poziom napięcia. Linie graniczne i ustawienia zgodne z historycznym pomiarem źródłowym.



Rys. 5. Odkształcenie sinusoidy wskutek zmian prądu przekształtnika.



Rys. 6. Schemat oddziaływania prostownika na sieć. U - napięcie, i - prąd, ΔU - zmiana napięcia.