

Badania kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) instalacji elektronicznych obrabiarek

Cz. 1. Charakterystyka zakłóceń

KRZYSZTOF ŁAKOMIEC, SŁAWOMIR SPADŁO, JOANNA DUŚ-SPADŁO, RADOSŁAW MIJAS, TEODOR SERWICKI, EWELINA SKOWRON*

Produkcja obrabiarek skrawających wymaga zachowania standardów na znacznie wyższym poziomie niż produkcja większości typowych produktów użytkowych. Jednym z tych uwarunkowań poprawności użytkowej obrabiarek jest emisyjność sygnałów zakłócających i odporność na zewnętrzne zakłócenia elektromagnetyczne. W standardach międzynarodowych określono warunki graniczne dotyczące tych zagadnień. W tej części opracowania przedstawiono charakterystykę zakłóceń jakie w tym obszarze mogą wystąpić. Stosowanie w budowie obrabiarek urządzeń mechatronicznych, a także podzespołów i elementów elektronicznych wymaga dostosowania możliwości badawczych laboratoriów odpowiednio do tych standardów.

Wprowadzenie

Obserwowany od dłuższego już czasu szybki rozwój układów mikroprocesorowych o wzrastających możliwościach operacyjnych przy stale zmniejszającej się ich cenie spowodował znaczące zwiększenie obszaru ich stosowania w praktyce przemysłowej urządzeń mechatronicznych oraz podzespołów i elementów elektronicznych. Szczególnie widoczne jest to w branży obrabiarkowej, której produkty w coraz większym stopniu są automatyzowane [2, 8].

Sytuacja taka stwarza konieczność zapewnienia warunków poprawnego ich działania w środowisku pracy. Generuje to również potrzebę zminimalizowania do niezbędnego poziomu zakłóceń generowanych przez te urządzenia, a także zapewnienia im odporności na zakłó-

cenia, które mogą być wywołane również wyładowaniami atmosferycznymi, występowaniem silnych pól magnetycznych itp. [1, 3, 6] Wymaga się zatem zachowania ściśle określonej kompatybilności elektromagnetycznej (EMC), to jest zdolności urządzenia elektronicznego bądź mechatronicznego, w którym mogą one występować, do działania w sposób zadawalający, a także bez powodowania zaburzeń elektromagnetycznych, które mogłyby być szkodliwe dla innych urządzeń występujących w tym środowisku [1, 5, 7].

W celu sprostania przedstawionym wymaganiom, konieczna jest znajomość z jednej strony obowiązujących w tym zakresie przepisów, z drugiej zaś – rodzaju i mechanizmów potencjalnych zagrożeń jakie mogą wystąpić. Zarys przepisów obowiązujących w tym za-

kresie przedstawiono w pracy [4] natomiast zapoznanie producentów i użytkowników maszyn z możliwymi zagrożeniami stanowi cel niniejszego opracowania.

Źródła zakłóceń

Każde zmienne w czasie pole elektromagnetyczne, oprócz swojego zamierzonego zastosowania użytkowego, może wykazywać oddziaływanie utrudniające prawidłowe funkcjonowanie urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Układ wytwarzający zakłócenio- we pole elektromagnetyczne stanowi źródło zakłóceń. Jest to szczególnie ważne w układach sterowania obrabiarek skrawających CNC. Sygnały zakłócające mogą powodować niepoprawną realizację procesu sterowania, a w konsekwencji – generować odchyłki cech konstrukcyjnych wytwarzanego elementu. O ile układy cyfrowe zastosowane w układach sterowania tych maszyn są na ogół odporne na zakłócenia EMC, o tyle układy analogowe lub analogowo cyfrowe, znajdujące się w nich wykazują dużą wrażliwość.

* Mgr inż. K. Łakomic, Zespół Szkół Technicznych w Skarżysku Kamiennej, dr hab. inż. S. Spadło, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, mgr J. Duś-Spadło, Mesko S.A. Skarżysko Kamienna, mgr inż. R. Mijas, Mesko S.A. Skarżysko Kamienna, mgr inż. T. Serwicki, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, mgr inż. E. Skowron, Mesko S.A. Skarżysko Kamienna.

Układ prądowy obciążony indukcyjnością

Obciążenia indukcyjne, np. cewki indukcyjne, wykazują zdolność gromadzenia energii pola magnetycznego wytwarzanego przez przepływający prąd.

Zmagazynowana w cewce energia pola magnetycznego zostaje zamieniona w energię elektryczną – zmiana natężenia prądu w uzwojeniu wywołuje zmianę strumienia magnetycznego, wynikiem czego powstaje siła elektromotoryczna SEM zgodnie z poniższym wzorem [9]:

$$SEM = L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

Im szybsza zmiana natężenia prądu w czasie, tym siła elektromotoryczna SEM wytworzona na zaciskach cewki jest większa. W obwodzie prądowym z obciążeniem indukcyjnym, w wyniku szybkich przejściowych stanów niestabilnych powstają przepięcia. W długich przewodach, np. w rozbudowanych systemach lub w sieciach zasilających, przez które przepływa prąd o dużym natężeniu, powstają przepięcia łączeniowe, gdyż przewód wiodący prąd zachowuje się jak źródło indukcyjności [1]. Przepięcia łączeniowe powstające w przewodach sieci mogą mieć amplitudy o wartościach około dwa razy większych od wartości amplitudy sieci.

Silniki elektryczne i przekształtniki energoelektroniczne

Silniki elektryczne zwłaszcza silniki szczotkowe-komutatorowe podczas swojej pracy emitują sygnały zakłócające o dużej energii i szerokim widmie częstotliwości w skutek przełączania komutatora ze szczotkami w czasie obrotu wirnika. Lepsze parametry pod względem kompatybilności elektromagnetycznej wykazują bezszczotkowe silniki elektryczne typu BLDC.

W przekształtnikach energoelektronicznych, obciążonych impedancją o charakterze indukcyjnym, mających za zadanie zamianę napięcia stałego lub zmiennego na napięcie stałe lub zmienne o innej wartości lub ewentualnie innej częstotliwości, na obciążeniu o charakterze indukcyjnym, powstają zakłócenia napięciowe, których widmo amplitudowe oprócz częstotliwości podstawowej sieci, zawiera harmoniczne wyższych rzędów. Ponieważ natężenie prądu wej-

ściowego zmienia się skokowo, amplitudy wyższych harmonicznych widma amplitudowego zanikają liniowo wraz ze wzrostem częstotliwości. Charakterystyczne jest występowanie dla tego rodzaju układów przekształtnikowych, tylko nieparzystych harmonicznych.

Prądy zwarcia i prądy rozruchowe

Jeżeli w sieci zasilającej występuje zwarcie, to wywołane nim wartości natężenia prądu mogą być wielokrotnością wartości znamionowej. W chwili pojawienia się prądu zwarcia o dużej wartości natężenia występuje znaczny spadek napięcia na indukcyjności przewodów, a napięcie sieciowe spada do małej wartości.

Duże wartości natężenia prądu występują także podczas włączania takich urządzeń elektrycznych jak: silniki, transformatory, kondensatory o dużej pojemności.

Zakłócenia powstające podczas włączania urządzeń o dużej mocy są krótkotrwałe, natomiast podczas pracy ustalonej są zakłóceniami ciągłymi. Zakłócenia krótkotrwałe, z powodu sporadycznego występowania w systemach, są trudniejsze do wykrycia jak również do zniwelowania.

Mechanizm powstających zakłóceń elektromagnetycznych

Zakłócenia pracy urządzeń są wynikiem istnienia sygnałów pasożytniczych. Najczęściej powstają one jako skutek niedoskonałości materiałów konstrukcyjnych lub występującej między przewodami różnicy potencjałów. Wskutek tego między przewodami powstaje pole elektryczne. Jednocześnie płynący w przewodnikach prąd wytwarza pole magnetyczne wokół żył linii. W zasadzie każda różnica potencjałów wzbudza pole elektryczne i każdy płynący prąd powoduje występowanie pola magnetycznego wokół przewodu. W pobliżu przewodów pole elektryczne zależy jedynie od różnicy potencjałów między nimi (lub między przewodem, a ziemią), natomiast pole magnetyczne tylko od parametrów prądu płynącego w przewodzie.

Parametry pola elektromagnetycznego otaczającego przewód, przez który przepływa prąd zmienny, są funkcją czasu. Zmienne pole elektryczne i zmienne pole

magnetyczne nie mogą istnieć samodzielnie, niezależnie od siebie. Każda zmiana pola elektrycznego wywołuje powstanie zmiennego pola magnetycznego i odwrotnie, każda zmiana pola magnetycznego wywołuje powstanie zmiennego pola elektrycznego.

Jeżeli pole magnetyczne nie zależy bezpośrednio od pola elektrycznego, to mówimy o polu bliskim, gdyż zjawisko to występuje zawsze w pobliżu przewodów elektrycznych. Z polem bliskim mamy do czynienia w obszarze o odległości od powierzchni przewodów $S \leq \lambda/2\pi$ (λ – długość fali elektromagnetycznej).

W dużej odległości od układu przewodników (linia lub antena), natężenie i faza pola elektrycznego zależą od parametrów pola magnetycznego. Relację między analizowanymi polami ujmuje impedancja falowa, będąca stosunkiem składowych tych pól prostopadłych do kierunku rozchodzenia się fali elektromagnetycznej, którą można wyznaczyć z zależności [9]:

$$Z_f = \frac{E_{\perp}}{H_{\perp}} \quad (2)$$

Z_f – impedancja falowa środowiska [Ω],
 E_{\perp} – składowa pola elektrycznego prostopadła do fali elektromagnetycznej [V/m],

H_{\perp} – składowa pola prostopadła do fali elektromagnetycznej [A/m].

W ogólnym przypadku impedancję falową środowiska można obliczyć, korzystając z następującego wzoru [9]:

$$Z_f = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \cdot \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \quad (3)$$

ϵ_0 , μ_0 – stałe fizyczne dotyczące przenikalności w próżni, odpowiednio: dielektrycznej i magnetycznej,

ϵ_r , μ_r – względne przenikalności: dielektryczna i magnetyczna środowiska.

Pole elektromagnetyczne powstaje również przy załączaniu, wyłączeniu i przy przerwaniu dopływu energii elektrycznej do odbiorników. Podczas pracy silników prądu stałego lub przy sterowaniu silników (prądu stałego lub zmiennego), co ma bardzo często miejsce w układach sterujących obrabiarek CNC, występują niestanne procesy łączeniowe, które powodują zmiany pola elektrycznego w czasie, a więc wytworzenie pola elektromagnetycznego.

Najmniejsze wykorzystywane wartości pola elektrycznego w radiofonii są rzędu kilku $\mu\text{V/m}$, a największe – w pobliżu ścieżki wyładowania piorunowego – mogą osiągać $10\,000\text{ V/m}$.

Pole elektromagnetyczne związane z przesyłaniem informacji i cyfrową obróbką sygnałów

Stosowane do transmisji informacji widmo częstotliwości zależy od celu zastosowania i wynosi od kilku kiloherców (kHz) do kilku gigaherców (GHz).

W zakresie do kilkuset kHz mamy do czynienia z transmisją przewodową, tzn. pole elektromagnetyczne rozciąga się głównie w przestrzeni między przewodami. Przy większej częstotliwości występuje zjawisko transmisji bezprzewodowej, tzn. pole elektromagnetyczne rozciąga się poza ograniczonym obszarem. W tym ostatnim przypadku pole elektromagnetyczne wyemitowane przez antenę nadawczą rozchodzi się w sposób ukierunkowany lub nieukierunkowany i wówczas niewielka tylko część wysyłanej energii elektromagnetycznej zostaje wykorzystana przez antenę odbiorczą.

Przy wytwarzaniu, transmisji i obróbce sygnałów cyfrowych powstają impulsy napięcia i prądu, które wzbudzają pole magnetyczne lub elektryczne zmienne w czasie.

Widmo częstotliwościowe sygnału okresowego, niesinusoidalnego (np. impulsy prostokątne przy cyfrowym przenoszeniu danych) jest rozciągnięte w nieskończoność.

Dla pojedynczych zakłóceń impulsowych, dyskretne widmo liniowe przebiegu okresowego przechodzi w ciągłe widmo amplitudowe. Zakłócenia impulsowe o krótkim czasie, ale stromych zboczach: narastającym i opadającym, mają niewielkie wartości amplitud, jednak ich widma sięgają większych częstotliwości, niż w przypadku impulsów o dłuższym czasie i płaskich zboczach.

Wyładowania atmosferyczne

Zjawisko wyładowania atmosferycznego można przyrównać do przebiecia elektrycznego między okładkami naładowanego kondensatora. Ziemia jako całość ma ładunek ujemny, przy powierzchni istnieje więc pole elektryczne.

Chmury burzowe mają z reguły w górnej części ładunek dodatni, w dolnej ujemny. Zwykle dolna część chmury burzowej jest bardziej ujemna, niż znajdująca się bezpośrednio pod nią część powierzchni Ziemi. Napięcie przebicia między chmurą a Ziemią wynosi około $2 \cdot 10^9\text{ V}$. Podczas wyładowania atmosferycznego występuje zjawisko przebicia – wyładowania lawinowego, podczas którego następuje gwałtowny wzrost nośników ładunku (jonów), które z chmury emitowane są z prędkością równą w przybliżeniu $1/6$ prędkości światła. Gdy lawina jonów dochodzi do Ziemi, następuje gwałtowne rozładowanie dolnej części chmury – powstaje grzmot pioruna i widać błyskawicę.

Zakłócenia powstające od uderzeń pioruna, zwarcń lub przebiegów łączeniowych, zmieniają się w funkcji czasu. Z tego powodu opis przebiegów zakłócających jest możliwy jedynie przy wykorzystaniu metod statystycznych.

W odniesieniu do intensywności oddziaływania wyładowania piorunowego, a tym samym możliwości wywołania zakłóceń, odróżnia się uderzenie bezpośrednie, bliskie lub dalekie pioruna. Przy uderzeniu bezpośrednim piorun uderza w piorunochron chronionego obiektu lub w przewody sieci niskiego napięcia, w sieci informatyczne lub sieci danych, które prowadzą do chronionego obiektu. Wyładowanie piorunowe może również wystąpić między obiektami: chmura-Ziemia i chmura-chmura [3].

Gwałtowne reakcje jądrowe

Impuls elektroenergetyczny NEMP (Nuclear Electromagnetic Pulse), będący wtórnym efektem eksplozji atomowej, charakteryzuje się dużą energią, znacznie przewyższającą energię wyładowań atmosferycznych, oraz bardzo szybko narastającym zboczem sygnału (kilka $\text{MV}/\mu\text{s}$).

Rozchodzenie się zakłóceń i ich wpływ na inne urządzenia

Sygnały zakłócające mogą spowodować wadliwe działanie urządzenia lub jego zniszczenie, jeżeli między źródłem zakłóceń a urządzeniem istnieje sprzężenie elektromagnetyczne. Sprzężenie może następować przez przewodzenie za pomocą indukcyjności lub pojemności albo poprzez pole elektromagnetyczne.

Sprzężenie przez przewodzenie

W sprzężeniu przez przewodzenie, zakłócenia z obwodu zakłócającego przedostają się do obwodu zakłócanego przez wspólną dla obu obwodów impedancję sprzężenia Z_k o wartości określonej ze wzoru [9]:

$$Z_k = R + j\omega L \quad (4)$$

R – część rezystancyjna impedancji, dla większych częstotliwości zależna, od zjawiska wypierania prądu (efekt naskórkowy),

L – indukcyjność przewodu.

Wartość impedancji sprzężenia rośnie wraz ze wzrostem częstotliwości prądu zakłócającego. Przy oddziaływaniu zakłócenia spadek napięcia na impedancji sprzężenia sumuje się z sygnałem roboczym. W praktyce, podawany jest opis zakłócenia jako stosunek sygnału do zakłóceń.

Sprzężenie elektromagnetyczne może być typu indukcyjnościowego lub pojemnościowego. Przyjmuje się, że parametrem sygnałów zakłócających decydującym o rodzaju sprzężenia, którym energia związana z zakłóceniami oddziałuje na urządzenia, jest częstotliwość sygnałów, przy czym dla częstotliwości mniejszych od 30 MHz, dominującymi są sygnały zakłócające urządzenia za pośrednictwem przewodów do niego dochodzących, natomiast dla częstotliwości większych – dominującymi są sygnały przenoszone przez pole elektromagnetyczne.

Sprzężenie indukcyjne i pojemnościowe

Ponieważ wokół przewodu wiodącego prąd występuje pole elektryczne i magnetyczne, obwód taki może oddziaływać na inne obwody poprzez sprzężenie indukcyjne. Strumień magnetyczny utworzony przez linię zakłócającą przenika częściowo przez pętlę składającą się z żył linii zakłócanej. Zmiana w czasie strumienia magnetycznego przenikającego linię zakłócaną, powoduje indukowanie się w tej pętli napięcia zakłócającego. Napięcie to jest tym większe, im większa jest zmiana w czasie strumienia magnetycznego. Z tego powodu wraz ze wzrostem częstotliwości rośnie wzajemne oddziaływanie magnetyczne.

Dla przebiegów stacjonarnych, sinusoidalnie zmiennych, napięcie indukowane w pętli U_s wynosi [9]:

$$U_s = -M \cdot \frac{di}{dt} \quad (5)$$

M – współczynnik indukcyjności wzajemnej obwodów zakłócanego i zakłócającego,

d_i/d_t – wartość chwilowa stromości charakterystyki prądu.

Powyższy wzór obowiązuje również przy niesinusoidalnych prądach zakłócających (np. pojedyncze impulsy prądowe, prądy wyładowań).

Jeżeli pole magnetyczne przenikające pętlę prądową jest jednorodne (gdy przewody zakłócające znajdują się w dużej odległości lub pętla obwodu jest mała w porównaniu z odległością od źródła zakłóceń), wtedy napięcie indukowane w pętli obwodu można opisać wzorem [9]:

$$U_s = -\mu \cdot A \cdot \frac{dH}{dt} \quad (6)$$

A – powierzchnia pętli przenikanej przez pole magnetyczne,

μ – względna przenikalność magnetyczna.

Sprężenie pojemnościowe występuje podczas oddziaływania pola elektrycznego, wytwarzanego przez przewody obwodu zakłócającego, w wyniku czego na drodze indukcji elektrycznej powstaje napięcie w przewodach obwodu zakłócanego.

W rzeczywistych obwodach występują zarówno sprzężenia indukcyjne i pojemnościowe. Dominacja jednego z wymienionych rodzajów sprzężeń zależy od rodzaju obwodu.

Jeżeli iloczyn impedancji charakterystycznych (impedancji falowych linii) obwodu zakłócającego i zakłócanego jest większy od iloczynu impedancji obciążeń (ustalanych oddzielnie dla każdego obwodu), to dominujące jest sprzężenie indukcyjne. Jeżeli natomiast iloczyn impedancji charakterystycznych jest mniejszy od iloczynu impedancji obciążeń, to dominujące jest sprzężenie pojemnościowe.

Sprężenie przez pole

Jeżeli odległość między przewodami zakłócającym i zakłócanym jest większa od jednej dziesiątej długości fali, pole elektromagnetyczne jest emitowane

przez linię na zewnątrz. Warunki propagacji fali zależą od następujących czynników:

Warunki propagacji fali zależą od następujących czynników:

- zakresu częstotliwości,
- charakterystyki promieniowania anteny nadawczej,
- tłumienia przez przeszkody (przewodzące, nieprzewodzące).

Fala elektromagnetyczna rozchodząc się w przestrzeni indukuje napięcia i prądy w napotkanych na swej drodze strukturach przewodzących – antenach, obudowach konstrukcji. Niepożądanymi antenami mogą być:

- przewody łączące (elektryczne),
- ekrany linii,
- konstrukcje metalowe (służące celom innym niż elektryczne),
- przewody służące celom innym niż elektryczne (gazowe, wodociągowe),
- części obudowy.

Prądy indukowane przez pole elektromagnetyczne w strukturach przewodzących, wytwarzają wtórne pole elektromagnetyczne, które nakłada się na pole zewnętrzne (pierwotne).

W zależności od przesunięcia fazowego, amplitudy pola elektromagnetycznego zewnętrznego i wtórnego będą się dodawały lub odejmowały. W przypadku amplitud pola, które będą się dodawały, w skrajnych przypadkach przy odbiciach od powierzchni przewodzącej, składowa elektryczna pola wynikowego może być dwa razy większa od amplitudy pola otaczającego przewód.

Zewnętrzne pole elektromagnetyczne może wzbudzać drogą okrężną pole wtórne we wnętrzu metalowej obudowy.

Pole elektromagnetyczne może przenikać do wnętrza urządzenia poprzez kabel ekranowany, w którego ekranie indukowany jest prąd. Prąd ten indukuje napięcie zakłócające w przewodzie wewnętrznym.

Sprężenie pola elektromagnetycznego poprzez kabel ekranowany charakteryzowane jest tzw. impedancją transferu – stosunkiem napięcia występującego na wewnętrznej stronie ekranu kabla, do natężenia prądu płynącego po jego stronie zewnętrznej. Im impedancja kabla

jest mniejsza tym dobroć kabla jest lepsza.

Impedancja transferu dla kabli pełno płaszczykowych maleje w sposób ciągły wraz ze wzrostem częstotliwości, natomiast dla ekranowanych w oplocie występuje wzrost tej impedancji w górnym zakresie częstotliwości. Ponadto pole elektromagnetyczne może przeniknąć przez otwory (szczeliny, okienka, pozbawione osłon przepusty kablowe).

Jeżeli główny wymiar otworu (np.: długość szczeliny) ma wartość równą połowie długości fali, wtedy szczelina ta pracując w warunkach rezonansu, działa na wnętrze obudowy jak antena (promiennik szczelinowy) i wysyła w otaczającą ją przestrzeń przede wszystkim pole magnetyczne. Otwory, których główny wymiar ma wartość mniejszą od połowy długości fali, powodują jedynie pomijalne sprzężenia.

Tłumienność obudowy

Tłumienność ekranowej obudowy zależy od tłumienności samej obudowy ekranowej oraz tłumienności zamierzonych i niezamierzonych nieszczelności. Do nieszczelności zaliczamy:

- otwory do prowadzenia przewodów (przewody sygnałowe, przewody zasilające, itp.),
- otwory dla elementów obsługi (klawiatura, ekran, złącza, przepusty kabli),
- otwory wentylacyjne,
- spoiny obudowy, połączenia śrubowe i nitowe, pokrywy.

Przy szacowaniu wypadkowej tłumienności uwzględniane są tylko te nieszczelności, których tłumienności wyrażone w dB, są albo tego samego rzędu jak dla obudowy lub mniejsze. Całkowita tłumienność ekranowania zależy przede wszystkim od nieszczelności o najmniejszych wartościach tłumienności.

Wpływ zakłóceń na urządzenia wrażliwe (zakłócanie)

Sygnał zakłóceniaowy dochodzący do urządzenia wrażliwego, w wyniku istnienia sprzężeń różnego charakteru, nakłada się na sygnał użyteczny. W schemacie zastępczym pracy urządzenia wrażliwego można to uwzględnić w postaci źródła napięciowego lub natężeniowego umieszczonego w obwodzie

wyjściowym. Zdefiniowanie parametrów tych źródeł umożliwia zaprojektowanie skutecznych metod ich likwidacji, co w przypadku obrabiarek skrawających może zabezpieczyć przed wystąpieniem, lub zminimalizowaniem odchyłek wykonawczych.

Skuteczność likwidacji skutków zakłócenia jest tym mniejsza im częstotliwość sygnałów zakłócających jest zbliżona do częstotliwości sygnałów użytecznych.

Jeżeli częstotliwość zakłócająca leży powyżej zakresu częstotliwości roboczych urządzenia, to zakłóceń można się pozbyć za pomocą czułych filtrów obwodów wyjściowych. W związku z tym, dla częstotliwości większych od roboczych, urządzenia są mniej wrażliwe. Przy większych częstotliwościach zmniejsza się jednakże tłumienność ekranowania obudowy, a zwiększa się impedancja transferu kabla, co powoduje zwiększenie wpływu sygnałów zakłócających na urządzenie zakłócające.

Wpływ sygnałów zakłócających na analogowe układy spowodowany jest przesunięciem punktów pracy tranzystorów, które z kolei może powodować między innymi:

- pozorny, nagły spadek wzmocnienia,
- wzmocnienie osiągające szybko wartości graniczne,
- nieoczekiwane duże wahania napięcia przy jego regulacji.

Efekty przesunięcia punktu pracy mogą zostać powiększone przy oddziaływaniu sygnałów zakłócających dużej częstotliwości (w.cz.) modulowanych sygnałem małej częstotliwości.

Ciągłe sygnały zakłócające w.cz. wpływają przede wszystkim na analogowe układy, natomiast pojedyncze, tzn.: zakłócenia impulsowe mogą utrudniać pracę obwodów cyfrowych.

Jeżeli w obwodach cyfrowych lub mikroprocesorowych zostanie wzbudzone zakłócenie impulsowe, to obwody te mogą pracować nieprawidłowo także po wygaśnięciu zakłócenia. Tego typu zakłócenia mogą spowodować w mikroprocesorach opuszczenie programu inicjującego i przejście do nieskończonej, zamkniętej pętli działania. Powrót do programu może nastąpić poprzez otrzymanie sygnału RESET lub przez wyłączenie i ponowne włączenie.

Zakłócenia pracy urządzeń wrażliwych można podzielić na odwracalne i niszczące. Z zakłóceniem odwracalnym mamy do czynienia wówczas gdy układ elektroniczny samodzielnie przestawia się na prawidłową pracę po zaniku zakłócenia. Dotyczy to przede wszystkim układów analogowych, np.: przetworników, wzmacniaczy.

Z zakłóceniami niszczącymi mamy do czynienia wówczas gdy nastąpi nieodwracalne zniszczenie elementów elektronicznych, pod wpływem wysokoenergetycznych impulsów napięcia udarowego.

Progi wrażliwości elementów energetycznych

W systemach z analogową obróbką sygnałów próg zakłóceń jest funkcją amplitudy sygnału roboczego. Przykładowo, w telefonii tolerowany stosunek sygnału roboczego do sygnału zakłócającego nie przekracza 10 dB, natomiast w radiofonii UKF zakłócenia są wyraźnie odczuwalne dopiero przy 60 dB.

W systemach cyfrowych, często występujących w układach sterowania obrabiarek, rozróżnia się odporność statyczną i dynamiczną. Jeżeli czas zakłócenia impulsowego jest dłuższy od czasu sygnału roboczego to mamy do czynienia ze statyczną odpornością zakłócającą.

Dla układów cyfrowych podaje się próg niszczący odporności zakłócającej, powyżej którego układ ulega zniszczeniu i bez naprawy nie można przywrócić jego poprawnego działania, także po ustaniu wpływu zakłócenia. Który z parametrów elektrycznych (napięcie, moc lub energia) powoduje zniszczenie elementów elektronicznych, zależy od technologii ich wytwarzania oraz od przebiegu zakłócenia elektromagnetycznego w czasie. Półprzewodniki bipolarne niszczone są przede wszystkim przez przenoszoną przez nie energię (przy czasie impulsu mniejszym niż 10 ns) lub przez zbyt dużą moc obciążenia (przy czasie impulsu większym niż 10 s).

Podsumowanie

W celu zapewnienia możliwości prawidłowej pracy urządzenia zawierającego w swojej strukturze konstrukcyjnej elementy emitujące sygnały, które mogą zakłócać zarówno własny proces stero-

wania jak i oddziaływać negatywnie na inne, pracujące w sąsiedztwie maszyny, najpierw trzeba zidentyfikować wszystkie możliwe ich źródła. Sytuacja taka ma miejsce w przypadku parku maszynowego zakładów produkcyjnych wszystkich praktycznie branż.

Przedstawione wyżej przyczyny zakłóceń, a także niektóre sposoby minimalizowania ich skutków stanowią jedynie wskazówkę, w jakim kierunku należy modyfikować zaplecze badawcze producentów obrabiarek w celu stworzenia możliwości stwierdzenia czy wspomniane wyżej warunki zostały zapewnione.

Literatura

1. Charoy A.: Kompatybilność elektromagnetyczna. Zakłócenia w urządzeniach elektronicznych. Źródła, sprzężenia, skutki. Zasady i porady instalacyjne, t. 1. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
2. Horyashchenko S., Matuszewski M., Oborski I.L., Styp-Rekowski M.: Rozwój układów sterowania i zespołów wrzeczionowych czynnikiem determinującym postęp w budowie obrabiarek skrawających. Obróbka Metalu nr 3/2017, s. 11-14.
3. Katalog firmy CP Clare Corporation. Surge Protection Products.
4. Łakomiec K., Spadło S., Duś-Spadło J., Mijas S., Serwicki T., Skowron E.: Badania kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) instalacji elektronicznych obrabiarek. Obróbka Metalu nr 4/2017, s. 19-22.
5. PN-IEC 801-2. Kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń do pomiaru i sterowania procesami przemysłowymi. Wymagania dotyczące wyładowań elektrostatycznych.
6. PN-IEC 801-4. Kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń do pomiaru i sterowania procesami przemysłowymi. Wymagania dotyczące serii szybkich elektrycznych zakłóceń impulsowych.
7. PN-T-01030. Kompatybilność elektromagnetyczna – Terminologia.
8. PN-86/E-06600. Automatyka i pomiary przemysłowe – Kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń. Ogólne wymagania i badania.
9. Szóstka J.: Fale i anteny, wyd. 3. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2016. ■