

Impulsy EMP/HEMP

Zagrożenia i metody ochrony

Silne impulsy elektromagnetyczne, zarówno występujące naturalnie, jak i te, które mogą być wywoływane sztucznie i na przykład celowo używane jako broń, stanowią poważne zagrożenie dla urządzeń elektronicznych. Mogą destabilizować pracę krytycznych infrastruktur: energetycznej, informatycznej i komunikacyjnej, wpływając na kluczowe dla funkcjonowania społeczeństw i gospodarek dziedziny, takie jak przemysł, transport, służba zdrowia czy bankowość. W artykule skupiamy się na jednej z podgrup tego typu zaburzeń – impulsach EMP/HEMP (electromagnetic pulses/high altitude EMP). Opiszemy ich specyfikę, dotyczące normy oraz środki ochrony.

Do kategorii HEMP zaliczane są zaburzenia EMP, które powstały w wyniku zdetonowania bomby atomowej na bardzo dużej wysokości, od kilkudziesięciu do kilkuset kilometrów nad powierzchnią Ziemi. Takiemu wybuchowi towarzyszy emisja promieniowania gamma. Oddziałuje ono na cząsteczki rozrzedzonego powietrza w najwyższych warstwach atmosfery, wybijając z atomów elektrony oraz rozpędzając je do prędkości stanowiącej nawet około 90% prędkości światła. Ponieważ na dużej wysokości gęstość powietrza jest mniejsza, te ujemnie naładowane cząstki mogą poruszać się dużo swobodniej. Przez to intensywność oddziaływania promieniowania gamma jest większa. Następnie rozpędzone elektrony, pod wpływem ziemskiego pola magnetycznego, formują się w strumieniu, wytwarzając przy tym silne promieniowanie elektromagnetyczne destrukcyjne dla urządzeń elektronicznych.

Jaki jest zasięg zaburzeń HEMP?

Zasięg oddziaływania impulsu elektromagnetycznego typu HEMP, w zależności od liczby bomb, siły ich ładunku i wysokości detonacji, może obejmować ogromny obszar, o promieniu od setek do tysięcy kilometrów od epicentrum wybuchu atomowego, przechodzący przez

terytoria wielu krajów oraz różne strefy czasowe. To sprawia, że zagrożenie, w zależności od miejsca detonacji, może się stać międzynarodowym problemem.

Zostało to potwierdzone w latach 60. ubiegłego wieku. Przeprowadzono wówczas eksperyment, który polegał na zdetonowaniu bomby termojądrowej nad Oceanem Spokojnym na wysokości 400 kilometrów. Wybuch wywołał impuls elektromagnetyczny, który spowodował uszkodzenie urządzeń elektrycznych na Hawajach oddalonych od epicentrum eksplozji o około 1,5 tysiąca kilometrów. Skutki tego impulsu HEMP były odczuwalne nie tylko na Ziemi. Awarii, z powodu uszkodzenia paneli fotowoltaicznych przez sztucznie powstały pas radiacyjny, uległo również kilka satelitów.

Czy zagrożenie impulsem HEMP jest realne?

Na co dzień, w normalnych warunkach, detonacja bomby nuklearnej na dużej wysokości nad powierzchnią Ziemi wydaje się mało prawdopodobna. Przez to wiedza na temat związanych z tym zagrożeń nie jest powszechna. Jednakże, w związku z chociażby aktywnością terrorystów czy ambicjami państw, które pomimo sprzeciwów ze strony społeczności międzynarodowej rozwijają swój potencjał nuklearny, nie powinno się ich lekceważyć.

W podobny sposób jak impulsy EMP/HEMP destabilizująco na infrastrukturę krytyczną mogą oddziaływać naturalnie występujące zaburzenia elektromagnetyczne kształtujące pogodę kosmiczną. Do tych zaliczane są: koronalne wyrzuty masy oraz burze geomagnetyczne/zaburzenia geomagnetyczne.

Składowa E1 impulsu HEMP

Impuls HEMP ma trzy składowe: E1, E2 i E3 (rysunek 1). Różnią się one częstotliwością, energią oraz przebiegiem w czasie. Od tych cech zależy ich oddziaływanie na urządzenia elektroniczne.

Pierwsza składowa, która jest efektem wytrącenia elektronów z atomów przez promieniowanie gamma zaraz po wybuchu, jest bardzo krótka i szybka. Czas narastania wynosi w tym przypadku 20 ns, natomiast 50% wartości szczytowej jest osiągnięte w ciągu 500 ns. Natężenie pola elektrycznego składowej E1 sięga 50 kV/m, przy

szczytowej gęstości mocy przekraczającą 6 MW/m². Może ona wywołać przepływ prądu o natężeniu sięgającym 2,5 kA. Ze względu na takie parametry tradycyjne ochronniki odgromowe mogą okazać się nieskutecznym zabezpieczeniem.

Składowa E2

Składowa E2 impulsu HEMP przypomina zaburzenie generowane w czasie bliskiego wyładowania atmosferycznego, chociaż ma mniejszą moc. Wartość szczytowa prądu sięga 250 A. Składowa E2 ma większą energię niż E1, lecz jest bardziej od niej rozłożona w czasie. Częstotliwość wynosi 20 kHz – dla porównania w przypadku impulsu E1 mieści się w przedziale od 1 MHz do 300 MHz. Zaburzenia składowej E2 są tłumione w przewodach o długości krótszej niż 200 metrów.

Wystarczające zabezpieczenie przed składową E2 powinna stanowić ochrona odgromowa. Należy jednak zauważyć, że w chwili jej wystąpienia może ona już nie być skuteczna, jeżeli odgromniki, jak i inne elementy zabezpieczające, wcześniej zostały zniszczone przez impuls E1 albo nie zdążyły się po nim zregenerować i nie zapewniają odpowiedniej ochrony przed kolejnym zaburzeniem. Poza tym impuls E2, inaczej niż piorun, nie oddziałuje punktowo. Składowa E2 powstaje wówczas, gdy emitowane są neutrony rozpraszające promieniowanie gamma.

Składowa E3

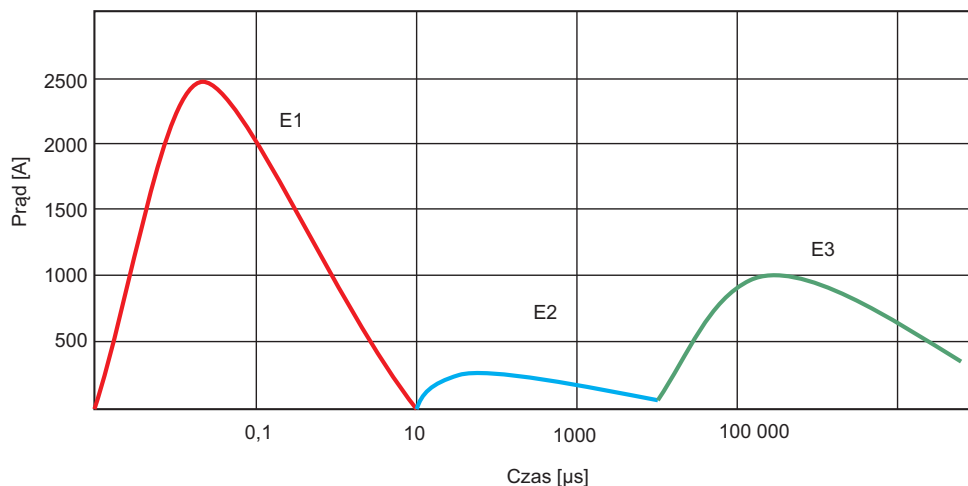
W porównaniu do komponentów E1 i E2, składowa E3 trwa dłużej – typowo od kilkudziesięciu do nawet kilkuset sekund i nie narasta tak szybko. Powstaje na skutek odpowiedzi ziemskiego pola magnetycznego na zaburzenie o dużej energii spowodowane wybuchem jądrowym. Impuls E3 bywa porównywany do bardzo silnej burzy geomagnetycznej, podobnie jak to zjawisko może bowiem indukować w długich przewodach prąd o bardzo dużym natężeniu. Dlatego na jego oddziaływanie narażone są przede wszystkim linie energetyczne (w tym podziemne).

Podsumowując, impuls HEMP stanowi zagrożenie przede wszystkim ze względu na złożoność – zawiera składowe o dużej energii i krótkim czasie trwania, które powodują powstawanie zaburzenia ze składowymi wysokoczęstotliwościowymi, na które wrażliwsze są urządzenia elektroniczne i komponenty, w których energia zaburzenia jest rozłożona w czasie. Te są groźniejsze dla większych systemów i instalacji elektrycznych. Przez to ochrona przed impulsami HEMP, żeby była skuteczna, powinna być kompleksowa.

Normy wojskowe a cywilne

Zagrożenia związane z wystąpieniem impulsu HEMP oraz wymogi w zakresie testowania odporności na niego i środków ochronnych budynków, infrastruktury elektrycznej i sprzętu zostały opisane m.in. w normach wojskowych. Przykładami takich norm są: MIL-STD-188-125-1/MIL-STD-188-125-2 oraz DEF-STAN-59-188-1/DEF-STAN-59-188-2.

Chociaż są to ważne opracowania, nie są one najodpowiedniejsze, jeśli chodzi o ochronę obiektów i wyposażenia cywilnego i w przemyśle. Zawarte w nich wytyczne są dopasowane do specyfiki zastosowań wojskowych oraz rządowych o krytycznym znaczeniu. Przeważnie wymagają bezwzględnej ciągłości działania wszystkich obiektów/instalacji/urządzeń. W zastosowaniach cywilnych natomiast z reguły dopuszczalne jest, żeby funkcjonowanie sprzętu zostało chwilowo zakłócone przez zaburzenie HEMP, o ile może on później powrócić do pełnej sprawności.



Rysunek 1. Impuls HEMP i jego trzy składowe: E1, E2 i E3

Podobnie jest w obiektach przemysłowych. Często nie jest konieczne zapewnienie bezwzględnie nieprzerwanej pracy wszystkich obiektów/instalacji/urządzeń. Zazwyczaj liczba systemów czy serwerów o znaczeniu krytycznym jest ograniczona, także pod względem terytorialnym do określonych części zakładu, a nawet wyłącznie do niektórych pomieszczeń. W związku z tym poziom ochrony w tych zastosowaniach nie musi być aż tak wysoki, jak w wojskowych.

Ważna norma IEC

Warto przy tym zwrócić uwagę na jeszcze jedną kwestię. Kompleksowe wdrożenie zaleceń norm wojskowych jest zwykle kosztowne oraz czasochłonne. Dlatego, dla oszczędności, spośród zapisanych w nich wymagań spełniane są tylko niektóre. Nie zawsze jest to dobrym rozwiązaniem, ponieważ standardy te nie zostały opracowane do wybiórczego stosowania. W związku z tym takie podejście może się odbić negatywnie na całościowym poziomie ochrony i jej skuteczności.

Powyższe ograniczenia norm wojskowych w zastosowaniach cywilnych/przemysłowych skłoniły organizację IEC do opracowania odpowiedników tych dokumentów właśnie do takich zastosowań. Przykładami są: IEC 61000-4-24 oraz IEC 61000-5-10. W pierwszym z wymienionych standardów, który zasadniczo dotyczy ochrony przed zaburzeniami przewodzonymi, została wprowadzona m.in. klasyfikacja poziomów ochrony. Wyróżniono trzy stopnie.

IEC 61000-4-24

Poziom trzeci, najwyższy, to odpowiednik stopnia ochrony zakładanych w standardach MIL-STD-188-125-1 oraz DEF-STAN-59-188-1, powinien być zatem zapewniony w obiektach wojskowych i innych, o podobnie wysokich wymaganiach. Poziom drugi jest rekomendowany w krytycznych zastosowaniach cywilnych/przemysłowych. Poziom pierwszy natomiast wtedy, gdy wymagania są niższe albo pewien stopień ochrony jest już zapewniony, bez konieczności wprowadzania dodatkowych rozwiązań.

W normie IEC 61000-4-24 można także znaleźć wymagania dla filtrów HEMP chroniących przed zaburzeniami przewodzonymi. Na przykład zalecane wartości szczytowego prądu resztkowego filtrów 250 V przy obciążeniu znamionowym 2 Ω dla składowej E1 dla poziomów 3, 2, 1 powinny wynosić odpowiednio: 353, 50 oraz 10 A.

W tytułowym dokumencie wprawdzie nie zostały określone poziomy ochrony przed zaburzeniami promieniowanymi, jednak przyjmuje się w tej kwestii pewne zalecenia. I tak w zakresie częstotliwości od 1 MHz do 1 GHz na poziomie 3 typowo wymagana jest skuteczność ekranowania 80 dB, na poziomach 1 i 2 60 dB w przypadku nowych budynków oraz 40 dB dla poziomów 1 i 2 w budynkach istniejących.

Ochrona w praktyce

Na rysunkach 2 oraz 3 zostały pokazane przykładowe konfiguracje systemów ochrony przed zaburzeniami HEMP. Pierwszy z nich jest lokalny, natomiast drugi kilkustopniowy.

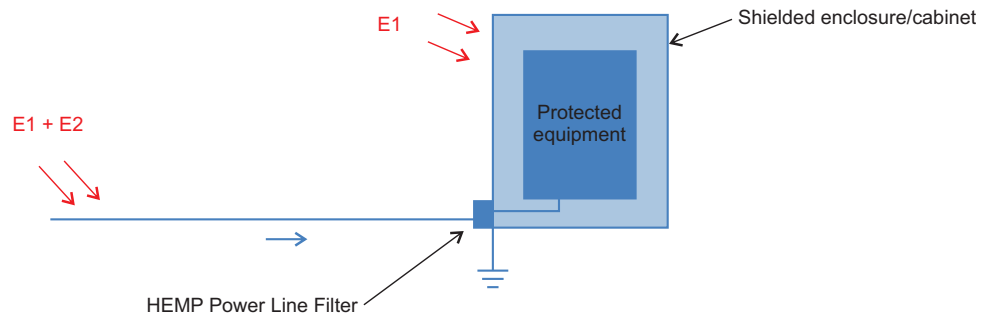
W pierwszym przypadku dla poszczególnych urządzeń (lub zbiorczo dla ich liczbowo niewielkiej grupy) stosowane są indywidualne zabezpieczenia w postaci obudowy o skuteczności ekranowania 80 dB (poziomy 3) lub 40...60 dB (poziomy 1/2) oraz filtru HEMP zapewniającego wymagany stopień ochrony przed zaburzeniami przewodzonymi na poziomie 3, 2 albo 1.

Na rysunku 3 pokazano rozwiązanie, w którym oprócz dodatkowych środków ochrony w postaci ekranowanych obudów i filtrów HEMP korzysta się z tych zapewnianych przez dany budynek. Przykładowo w budynkach z prętami zbrojenio- wymi skuteczność ekranowania wynosi typowo kilkanaście dB, można zatem oczekiwać zmniejszenia natężenia pola elektrycznego składowej E1 z 50 kV/m do poniżej 10 kV/m. Umieszczenie urządzenia w obudowie zapewniającej skuteczność ekranowania na poziomie 40 dB zmniejszyłoby tę wartość do poniżej 100 V/m, zaś przy 60 dB do mniej niż 10 V/m. Sprzęt prawdopodobnie byłby bezpieczny, oczywiście pod warunkiem zamontowania także odpowiednich filtrów HEMP.

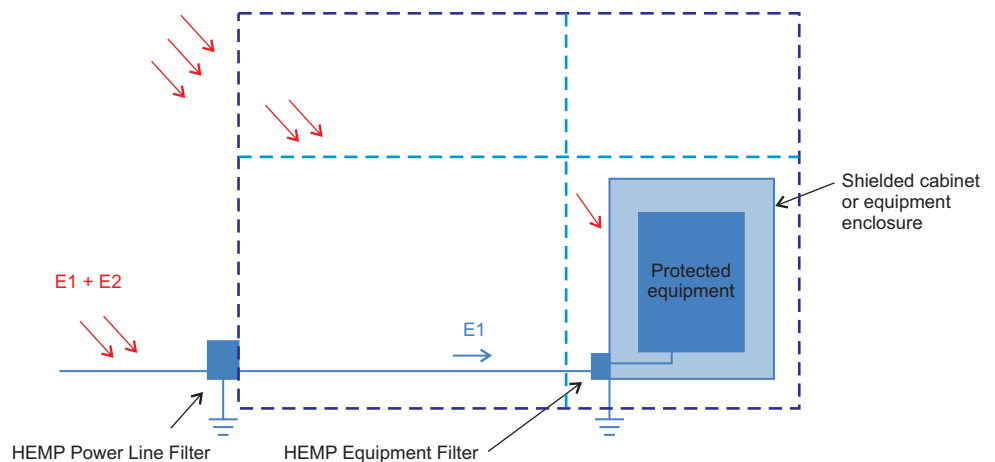
Pierwszym stopniem ochrony powinien być filtr HEMP w punkcie doprowadzenia zasilania do budynku. Blokują on zaburzenia przewodzone indukowane od składowych E1 oraz E2 impulsu HEMP. Dodatkową ochroną każdego urządzenia będzie filtr HEMP tłumiący resztkowe zaburzenia przewodzone od składowej E1.

Filtry HEMP

Na rynku dostępne są zarówno filtry HEMP spełniające wymagania norm wojskowych, jak i do zastosowań cywilnych/przemysłowych, zgodne z normą IEC 61000-4-24. Komponenty tego typu w czasie normalnej pracy powinny się charakteryzować wysoką impedancją, dzięki której nie wpływają na pracę chronionych obwodów.



Rysunek 2. Ochrona lokalna. HEMP power line filter – filtr HEMP, protected equipment – chronione urządzenie, shielded enclosure cabinet – obudowa ekranowana



Rysunek 3. Ochrona kilkustopniowa. Shielded cabinet or equipment enclosure – obudowa ekranowana, HEMP power line filter, HEMP equipment filter – filtr HEMP, protected equipment – chronione urządzenie

W momencie wystąpienia zaburzenia, po przekroczeniu napięcia zadziałania ochronnika, jego impedancja maleje. W rezultacie komponenty filtru zwiernają zaburzenie, absorbując jego energię. Dopóki napięcie nie spadnie poniżej progu przełączenia, niebezpieczny impuls jest tłumiony.

Poziom tłumienia wymagany w filtrach HEMP można uzyskać dzięki warystorom z tlenków metali MOV (*Metal Oxide Varistor*). Są to elementy o nieliniowej charakterystyce rezystancji, co oznacza, że przy niskim napięciu mają dużą rezystancję, a gdy przekroczy ono pewną wartość progową, specyficzną dla danego rodzaju warystora, ich rezystancja szybko maleje. Co więcej, rezystancja wpływu warystorów MOV maleje w funkcji częstotliwości, dzięki czemu przy wyższych częstotliwościach uzyskać można większe tłumienie.

Monika Jaworowska

REKLAMA

Wstąp do Klubu AVT Elektronika

będziesz miał prawo do korzystania z szeregu przywilejów:

- do 50% zniżki w Sklepie AVT
- darmowe prenumeraty Wydawnictwa AVT
- do 50% zniżki w Ulubionym Kiosku
- Zapraszamy do zapoznania się z zasadami Klubu!

<http://bit.ly/2GaDwtQ>

