BROŃ ELEKTROMAGNETYCZNA – ZAGROŻENIA W OBIEKTACH BUDOWLANYCH

ELECTROMAGNETIC WEAPONS – THREATS IN BUILDING OBJECTS

Marek KUCHTA, Jacek PAŚ
Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono wiadomości dotyczące oddziaływania impulsów elektromagnetycznych o dużej mocy i wysokiej częstotliwości (w.cz) na infrastrukturę techniczną obiektów budowlanych. Stosowanie nowoczesnych rozwiązań technicznych w zarządzaniu budynkiem inteligentnym tj. sterowanie zasobami ludzkimi i systemami automatyki, efektywne zarządzanie przestrzenią budynku wymaga zastosowania dużej liczby zintegrowanych systemów elektronicznych. Z technicznego punktu widzenia inteligentny budynek to taki obiekt budowlany, w którym wszystkie podsystemy (np. bezpieczeństwa technicznego, klimatyzacji, wentylacji i ogrzewania, oświetlenia, zasilania elektroenergetycznego, teleinformatycznego, itd.) współdziałając ze sobą tworząc przyjazne dla człowieka środowisko. Zastosowanie specjalizowanych układów elektronicznych, procesorów, mikrokontrolerów w tych podsystemach może być przyczynkiem zastosowania broni E jako alternatywy ataku terrorystycznego – obezwładniającego systemy automatyki zarządzania budynkiem [1,2].

Słowa kluczowe: zagrożenia, broń elektromagnetyczna, obiekty budowlane.

Abstract

This article presents electromagnetic pulses in appropriate technical parameters (high power and high frequency – weapon E) produced in targeted are terrorist threat which may dispose technical infrastructure of buildings [1]. The use of modern technologies in intelligent building management i.e. human resources, control and auto-mation systems, efficient buildings space management, requires using a large number of integrated electronic systems . From technical point of view, the intelligent building is a buildings in which all subsystems (eg. technical security, air conditioning, ventilation, lighting, power, electricity, etc.), interact with each other and create human-friendly environment. The use of specialized electronic systems, processors, microcontrollers in these subsystems may be a trigger of the use of weapons E as an alternative of terrorist attack – disabling automatic building management systems.

Keywords: threats, electromagnetic weapon, building objects.

1. WSTĘP

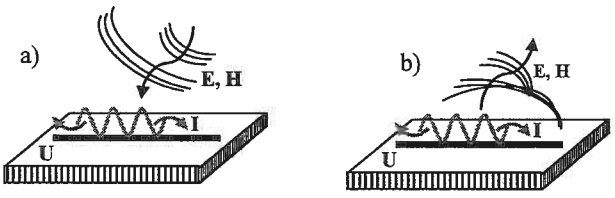
Broń mikrofalowa HPEM jest nowym typem uzbrojenia, w którym zastosowano nadajnik w.cz i antenę dookólną lub kierunkową. Impulsy promieniowania elektromagnetycznego HPEM indukują bardzo duże wartości prądów i napięć w obwodach elektronicznych powodując ich uszkodzenie lub zniszczenie – rys. 1. Szczególnie podatne na zniszczenie są urządzenia i systemy komputerowe, telekomunikacyjne [3,4]. Energia impulsów HPEM może docierać do wnętrza tych urządzeń zarówno przez interfejsy, nieszczelną obudowę, doprowadzenia sieciowe, ale również przez anteny nadawczo – odbiorcze systemów bezprzewodowych – rys.1. W takim przypadku terrorystyczne użycie urządzeń generujących impulsy HPEM w pobliżu budynków – centrów zawiadywania, dowodzenia, sterowania czy reagowania kryzysowego może mieć katastrofalne skutki dla bezpieczeństwa publicznego.

Rozwój technologiczny w ostatnich latach doprowadził do sytuacji, w której źródła silnych impulsów elektromagnetycznych HPEM stały się coraz bardziej wydajne i coraz bardziej dostępne, a jednocześnie z drugiej strony systemy teleinformatyczne stały się jeszcze bardziej wrażliwe na potencjalne ataki HPEM. Biorąc pod uwagę fakt, że przenośny, walizkowy generator sygnału HPEM można już wyprodukować za kilka tysięcy dolarów, to nie trudno sobie wyobrazić, że osoba niepowołana może z łatwością wejść w jego posiadanie i z powodzeniem wykorzystać w aktach terroru [6,7].

Rys. 1. Scenariusz ataku terrorystycznego z wykorzystaniem broni E

Impulsy HPEM charakteryzują się unikalnymi parametrami, które czynią z nich broń niezwykle skuteczną w działaniach i operacjach wojennych, ale również mogą być bardzo skuteczne w lokalnych działaniach terrorystycznych. Tymi charakterystycznymi parametrami są:
- wysoka moc emitowanych impulsów;
- bardzo krótki czas trwania impulsów;
- prędkość propagacji równa prędkości światła.

Zakres generowanych częstotliwości które mogą zakłócić pracę urządzeń (systemów elektronicznych) przez broń E zawiera się w paśmie częstotliwości od 1 GHz do 10 GHz. Poniżej częstotliwości 1 GHz anteny kierunkowe mają duże rozmiary i byłby mało przydatne operacyjnie podczas przeprowadzania ataków z użyciem tej broni. Wymiary anteny są proporcjonalne do długości fali emitowanej przez nadajnik. Jeżeli wyrazimy długość fali λ w metrach, to wzór na długość fali uprości się do następującej postaci: λ[m] = 300/f [MHz], gdzie dla częstotliwości f = 1 MHz długość fali wynosi λ = 300 [m], dla f = 1 GHz λ[m] = 0,3 [m] i odpowiednio dla f = 10 GHz to λ[m] = 0,03 [m] = 3 cm. W zakresie częstotliwości (f > 10 GHz) sygnał oddziałuje na elementy, urządzenia (systemy) elektroniczne poprzez generację sygnałów zakłócających i wytworzenie efektu cieplnego. Zwiększając częstotliwość sygnału w broni E powyżej częstotliwości 10 GHz powodujemy redukcję wartości amplitudy wytwarzanego sygnału zakłócającego kosztem zwiększenia tylko efektu cieplnego. Impuls o gęstości mocy 0,1 mJ/cm^2 jest słyszalny z powodu cieplnego efektu rozszerzania się materiałów włókienniczych w które mogą znajdować się sąsiedztwie ucha. Źle ekranowany kalkulator można zakłócić polem elektrycznym o natężeniu od 1 do 3 kV/m (takie pole elektryczne można wygenerować na wiele kilometrów od anteny nadawczej) – rys. 1. Wrażliwość (podatność oraz wytrzymałość) elementu, urządzenia (systemu) elektronicznego nadzorującego inteligentny budynek jest funkcją m.in.:
- częstotliwości i amplitudy sygnału zakłócającego – rys. 2;



Rys. 2. Przewód energetyczny, telekomunikacyjny, teleinformatyczny jako antena odbiorcza a) i antena nadawcza b) zakłóceń elektromagnetycznych

- położenia anteny nadawczej wytwarzającej sygnały zakłócające w budynku (odbicia od przewodzących konstrukcji budynku mogą tworzyć węzły lub strzałki stojących fal elektromagnetycznych);
- rodzaju modulacji sygnału wytwarzanego przez nadajnik zakłócający (modulacja amplitudy sygnału AM jest bardziej niekorzystna ze względu na wpływ na w/w systemy elektroniczne niż zastosowanie modulacji analogowej FM);
- parametrów wytwarzanych impulsów wysokiej częstotliwości, tj. czasu trwania, narastania, opadania, okresu powtarzania (repetycji), itd.;
- polaryzacji zakłócającej fali elektromagnetycznej.

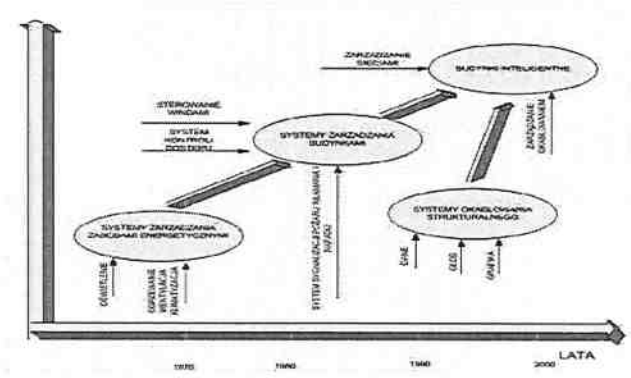
2. ZARZĄDZANIE I STEROWANIE W INTELIGENTNYCH BUDYNKACH

Pierwsze pojęcie – termin „inteligentny budynek" pojawił się w latach osiemdziesiątych. Pierwotnie założenia inteligentnego budynku obejmowały wyłącznie tylko instalacje alarmowe, oświetlenie i klimatyzację. Rewolucja w telekomunikacji i informatyce (specjalizowane mikroprocesory, sterowniki, pamięci, komputery a szczególnie ich cena) oraz zmiana standardów pracy biurowej spowodowały, że do budynków wdarły się sieci komputerowe, nowoczesne systemy automatyki i zabezpieczeń. Dzięki zastosowaniu komputerów i standaryzacji komponentów instalacji różnego typu, możliwe stało się obserwowanie procesów zachodzących w budynku i sterowanie nimi. Integracja systemów wymusiła efektywne zarządzanie zasobami budynku, a przy tym podwyższenie jego bezpieczeństwa i zapewnienie wysokiego komfortu pracy jego użytkowników. Z technicznego punktu widzenia inteligentny budynek to taki obiekt, w którym wszystkie podsystemy współdziałają ze sobą tworząc przyjazne dla człowieka środowisko. Posiadają zdolność automatycznego reagowania na wszelkiego rodzaju zagrożenia (elektroniczne systemy bezpieczeństwa) czy też zmiany warunków pracy przy minimalnej ingerencji człowieka i relatywnie niskich kosztach.

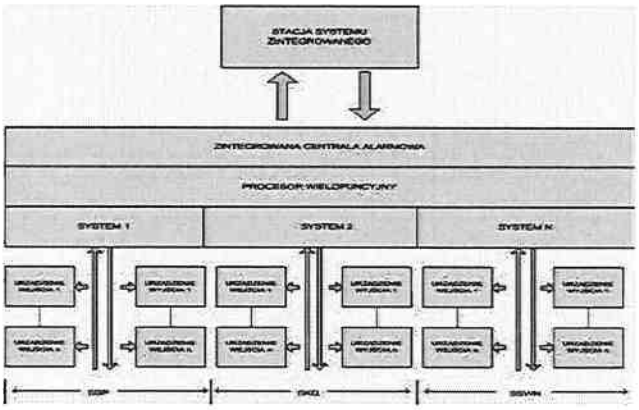
Zdaniem B. Wood'a inteligentny budynek osiąga i utrzymuje optymalną wydajność przez:
- automatyczne reakcje i dostosowywanie się do środowiska funkcjonowania i wymagań użytkowników;
- łatwą i efektywną ze względu na koszty, adaptację do zmian w wymaganiach użytkowników (np.: konfiguracji przestrzeni).

Wydajność odnosi się do: zdrowia, bezpieczeństwa, produktywności, energii i wpływu na środowisko wewnętrzne i zewnętrzne, kosztów eksploatacji, atrakcyjności rynkowej. Środowisko funkcjonowania dotyczy: klimatu, sposobu użytkowania, usług, „zajętości" przestrzeni. Polskie definicje inteligentnego budynku są dość zróżnicowane. Związane jest to z faktem, iż niektórzy identyfikują to pojęcie z automatyką budynkową uważając, że wystarczy, aby budynek posiadał system BAS (Building Automation System). Jeszcze inni są zdania, że prawdziwy inteligentny budynek powinien posiadać dwa zintegrowane systemy: zarządzania budynkiem i komunikacji. Zintegrowane działanie tych dwóch systemów może dopiero zapewnić obiektowi odpowiednią inteligentną infrastrukturę. Fazy integracji technologicznej tych dwóch systemów przedstawiono na rys. 3. Integrację systemów sterowania i zarządzania w budynku inteligentnym można przedstawić za pomocą integracji elektronicznych systemów bezpieczeństwa. Poszczególne elektroniczne systemy bezpieczeństwa w wersji skupionej, rozproszonej lub mieszanej są podłączone do centrali alarmowej która jest najważniejszym elementem w sy-

stemie. Poszczególne systemy – system sygnalizacji pożaru SSP, system kontroli dostępu SKD, czy system sygnalizacji włamania i napadu SSWiN nadzorowane są przez procesor wielofunkcyjny – rys. 4. Zintegrowana centrala alarmowa nadzoruje wszystkie w/w systemy komunikując się z systemem nadrzędnym za pomocą stacji systemu zintegrowanego. Aktywatory i sensory (urządzenia wejścia i wyjścia systemów alarmowych – rys. 4), centrale alarmowe wraz z okablowaniem tworzą elektroniczny system bezpieczeństwa który jest podatny na występujące zakłócenia elektromagnetyczne, w tym impuls HPEM. Poszczególne urządzenia systemu przed instalacją badane są m. in. na odporność elektromagnetyczną – pojęcie związane z kompatybilnością elektromagnetyczną.



Rys. 3. Fazy integracji systemów zarządzania zasobami energetycznymi, elektronicznymi systemami bezpieczeństwa, sieciami i okablowaniem



Rys. 4. Integracja elektronicznych systemów bezpieczeństwa w budynku inteligentnym

3. ODDZIAŁYWANIE IMPULSU HPEM NA WYBRANE URZĄDZENIA ELEKTRONICZNE

Autorzy opracowania o oddziaływaniu impulsów w. cz definiują środowisko elektromagnetyczne jako takie gdzie parametry wysoko-energetycznych sygnałów wynoszą odpowiednio [2]:

- moc wytworzona w impulsie przekracza wartość 100MW;
- częstotliwość impulsu [długość fali] zawiera się w przedziale od 300MHz [1m] – do 300GHz [1mm].

Norma IEC 61000-2-13 definiuje środowisko HPEM jako takie, gdzie szczytowa gęstość mocy przekracza wartość 26 [W/m^2] – natężenie E pola elektrycznego wynosi wtedy E=100 [V/m] a natężenie H pola magnetycznego H=0,27 [A/m]. Norma IEC 61000-4-35 dostarcza informacje nt. istniejącej grupy szerokopasmowych i wąskopasmowych symulatorów HPEM, gdzie szczytowa gęstość mocy przekracza wartość 663W/m^2 – (wartości składowych PEM osiągają odpowiednio wartości E=500 V/m i H=1,33 A/m).

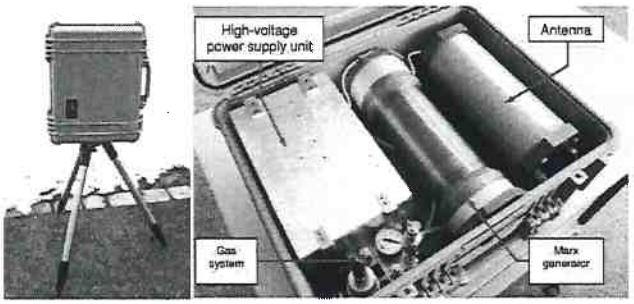
W przypadku oddziaływania impulsów HPEM na elementy, systemy i urządzenia elektroniczne – możemy wyróżnić cztery stany eksploatacyjne:

1. elementy, urządzenia i systemy techniczne **nie reagują** na zakłócenie zewnętrzne – poziom zakłóceń zbyt mały, nie został przekroczony dopuszczalny poziom zakłóceń (urządzenie znajduje się w odpowiedniej odległości od źródła zakłóceń lub jest ekranowane), system pozostaje w danym stanie eksploatacyjnym, w którym akurat się znajduje;
2. urządzenia wchodzące w skład systemu technicznego (np. radiotelefony) **samoczynnie likwidują zakłócenia** poprzez zastosowane rozwiązania techniczne które znajdują się w urządzeniu np. preselektory, filtry pasywne lub aktywne, podwójną przemianę częstotliwości, odpowiednią częstotliwość pośrednią, zabezpieczenia przed impulsami indukowanymi w postaci elementów elektronicznych – warystorów, triaków, tyrystorów itd.;
3. wystąpienie zakłócenia powoduje przejście systemu technicznego **ze stanu zdatności od stanu niezdatności** – przywrócenie stanu zdatności wymaga interwencji obsługi technicznej – system znajduje się w pobliżu źródła zakłóceń impulsowych HPEM lub występuje brak zabezpieczeń technicznych o których była mowa w pkt. 2;
4. wystąpienie zakłócenia w systemie technicznym powoduje **uszkodzenie systemu** – całkowite lub częściowe, system niezdatny – brak możliwości np. nawiązania łączności między poszczególnymi urządzeniami systemu nadzoru, stacjami nadawczo-odbiorczymi, itd.

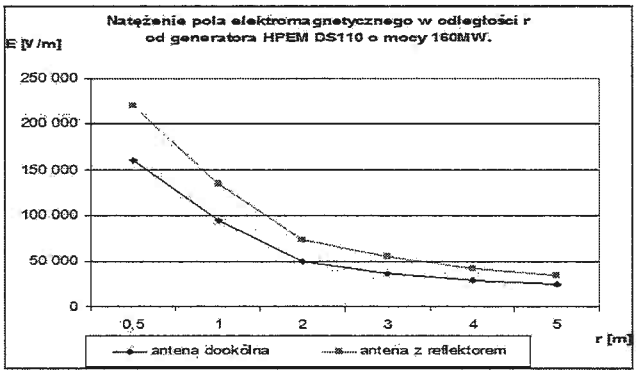
Rozpatrując oddziaływanie impulsu HPEM na elementy, urządzenia i systemy techniczne należy uwzględnić następujące kryteria:

- **odporności** systemu technicznego na impuls HPEM – którą można zdefiniować jako zdolność zachowania poprawnego działania systemu podczas występowania zakłóceń – w czasie trwania impulsu zakłócającego HPEM istnieje możliwość np. nadawania i odbioru sygnałów alarmowych;
- **podatności** systemu technicznego na impuls HPEM – tj. reakcji pracującego systemu na zakłócenia zewnętrzne lub wewnętrzne – zmiana parametrów technicznych urządzenia nadawczo-odbiorczego – np. czułości;
- **wytrzymałości** systemu technicznego na impuls HPEM – to znaczy zdolność do zachowania pierwotnych właściwości systemu po ustąpieniu zakłócenia, powrót do danego stanu eksploatacyjnego występującego przed impulsem zakłócającym – rys. 5.

Natężenie E pola elektrycznego wytwarzanego przez generator sygnałów w.cz typu DS 110 w funkcji odległości od anteny dookólnej i z reflektorem przedstawiono na rysunku 6. Natężenie E pola elektrycznego mierzono sondą typu D-dot AD -70 firmy Prodyn.



Rys. 5. Źródło HPEM – generator DS 110 firmy Diehl BGT Defence



Rys. 6. Wykres natężenia E pola elektromagnetycznego w odległości r od anteny generatora zmierzony w komorze bezodbiciowej

Sygnał elektromagnetyczny zakłócający o zakresie częstotliwości od 200 MHz do kilkudziesięciu GHz może spowodować zakłócenie, przerwanie pracy lub zniszczenie elementu, urządzenia lub systemu elektronicznego. Takie celowe oddziaływanie na systemy elektroniczne nazywane jest IEMI (Intentional Electromagnetic Interference) [4,6]. Oddziaływanie terrorystyczne (obezwładniające częściowo lub całkowicie) za pomocą impulsów pola elektromagnetycznego elementy, urządzenia lub systemy elektroniczne w ostatnich latach stał się bardziej realny ze względu na:

- wynalezienie przenośnych broni elektromagnetycznych o dużej mocy;
- urządzenia zostały zaprojektowane w celu wytwarzania i propagacji pola elektromagnetycznego dużej mocy na duże odległości;
- broń została wytworzona głównie do zastosowań wojskowych;
- technologia wykonania generatora HPEM nie jest skomplikowana;
- komercyjne urządzenia elektroniczne zwykle nie są zabezpieczone przeciwko tego typu narażeniom.

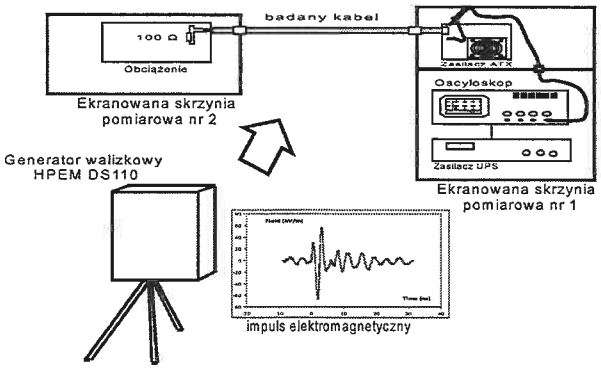
Istnieją dwa typy przebiegów elektromagnetycznych, które mogą być wytwarzane przez broń elektromagnetyczną:

- zakres częstotliwości szerokopasmowy – impulsowe pole wysokiej mocy (czas trwania impulsu mniejsza niż 100 ps), częstotliwość powtarzania do jednego miliona impulsów na sekundę;
- zakres częstotliwości wąskopasmowy – sygnał fali ciągłej, zakres częstotliwości do GHz, czas trwania impulsów kilka mikro sekund.

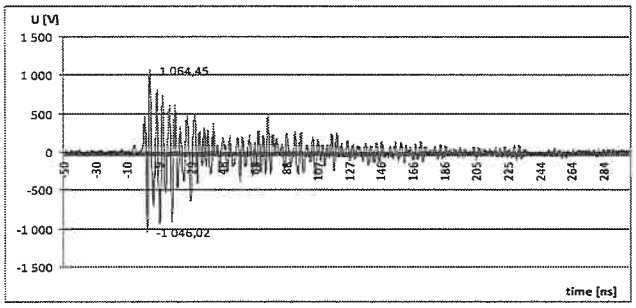
Efekty oddziaływania na element, system lub urządzenie które steruje budynkiem inteligentnym przez impuls HPEM można scharakteryzować następująco:

- ze względu na **mechanizm fizyczny** może być opisane jako: np. utrata bitów danych co prowadzi do przerwania transmisji lub zawieszania się oprogramowania, iskrzenia, palenie się lub topienia ścieżek w obwodach drukowanych oraz przewodów łączących moduły elektroniczne;
- ze względu na **czas trwania** zjawiska (brak efektu, efekt chwilowy lub ciągły np. trwałe uszkodzenie);
- ze względu na **wpływ na główne (krytyczne) funkcje systemu** elektronicznego (brak efektu, zakłócenie, degradacja, niepowodzenie misji).

W budynku inteligentnym poszczególne elementy, urządzenia i systemy elektroniczne zarządzające połączone są za pomocą kabli lub magistral telekomunikacyjnych. W wyniku oddziaływania impulsu HPEM na środowisko elektromagnetyczne wewnętrzne w budynku w poszczególnych kablach i magistralach telekomunikacyjnych będzie indukowało się napięcie zakłóceń. Stanowisko do przeprowadzania badań oddziaływania impulsu HPEM na kabel informatyczny przedstawiono na rys. 7. Badania indukowanych napięć przeprowadzono dla pięć różnych typów kabli używanych w telekomunikacji (teleinformatyce) do połączeń wewnętrznych i zewnętrznych urządzeń. Na rys. 8. przedstawiono sygnał napięciowy wyidukowany w kablu nieekranowanym typ LGY 25,0 mm2, 3 żyły – linka miedziana. Maksymalne napięcie indukowane podczas oddziaływania impulsu HPEM wynosi 2,11 kV [4,5,6].



Rys. 7. Schemat stanowiska pomiarowego do pomiaru poziomu napięć i prądów indukowanych w wiązkach kablowych



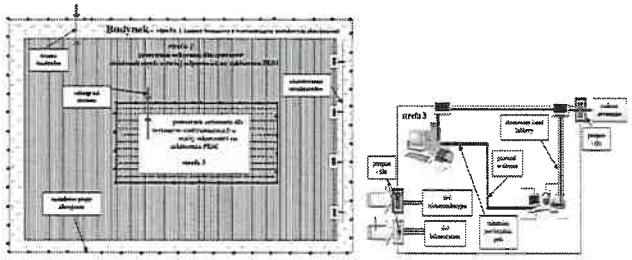
Rys. 8. Sygnał napięciowy wyidukowany w kablu nieekranowanym, maksymalne napięcie P_{pk}-P_{pk} wynosi 2,11 kV

4. WNIOSKI

Impulsy elektromagnetyczne o dużej mocy wytworzone w sposób celowy mogą posłużyć do ataku terrorystycznego [7,8]. W celu ograniczenia oddziaływania impulsów HPEM należy ograniczyć do minimum sprzężenie występujące pomiędzy źródłem sygnału HPEM a elementami, urządzeniami i systemami elektronicznymi. Sprzężenie pomiędzy źródłem zaburzenia (broń E) i narażonym urządzeniem elektronicznym można wystarczająco osłabić przez zastosowanie następujących środków:

1. elektromagnetyczne ekranowanie budynków, pomieszczeń i urządzeń elektronicznych w celu ograniczenia wpływu zakłóceń promieniowanych (można wykorzystać metalowe struktury konstrukcyjne budynku);
2. wykonanie kompleksowej sieci wewnętrznej związanej z wyrównywaniem potencjałów w budynku – uniknięcie niebezpiecznych różnic potencjałów pomiędzy poszczególnymi urządzeniami elektronicznymi systemu(ów) sterowania;
3. stosowanie skoordynowanych ograniczników napięć we wszystkich przewodach wykorzystywanych w budynku – okablowanie sterujące, elektroenergetyczne, telekomunikacyjne, itd. – ograniczenie wpływu zakłóceń przewodzonych indukowanych podczas występowania impulsu PEM;
4. zastosowanie indywidualnego ekranowania w/w przewodów i ich odpowiednie prowadzenie (rozmieszczenie w budynku) według określonych przepisów i norm;
5. odpowiednie usytuowanie (rozmieszczenie) w budynku sprzętu sterującego elektrycznego, komputerowego i elektronicznego – rys. 9;
6. stosowanie osobnych obwodów zasilających urządzenia pobierające różne prądy znamionowe i odkształcające sygnał z sieci przemysłowej zasilającej.

Zapewnie koordynacji tych środków może odbywać się przez zastosowanie tzw. koncepcji stref ochronnych (pojęcie znane z dziedziny kompatybilności elektromagnetycznej lub ochrony przed wyładowaniami atmosferycznymi). Projektant dzieli przestrzeń podlegającą ochronie na różne wewnętrzne strefy ponumerowane np. od 1 do n ustalając dla nich odpowiednie dopuszczalne poziomy zaburzeń elektromagnetycznych. Dopuszczalne poziomy zaburzeń elektromagnetycznych w określonych strefach muszą odpowiadać określonej odporności, podatności i wytrzymałości na zakłócenia dla poszczególnych urządzeń elektrycznych i elektronicznych zainstalowanych w budynku – rys. 9.



Rys. 9. Strefy ochrony w budynku przed impulsem HPEM

Literatura

[1] Wood B., BA. (Hons), Oxford Brookes University, U.K., "*Intelligent Building Maintenance*", Converence, 1998 Watford, U.K.

[2] J.Benford, J. Swegle „*High Power Microwaves*" Taylor & Francis Group, 2007

[3] Norma IEC 61000-2-13, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-13: Environment – High-power electromagnetic (HPEM) environments – Radiated and conducted, First edition* 2005-03

[4] M. Kuchta, A. Dukata, M. Szulim: „*Model numeryczny rozkładu pola elektromagnetycznego w budynku wywołanego zlokalizowanym źródłem harmonicznym*", XXII Sympozjum PTZE, Sandomierz, 2012r.

[5] M. Kuchta, R. Kubacki, L. Nowosielski, M. Dras, K. Wierny, R. Namiotko: „*Standardy bezpieczeństwa dla urządzeń teleinformatycznych zabezpieczające przed terroryzmem elektromagnetycznym*", XXII Sympozjum Środowiskowe PTZE, Sandomierz, 9-12.09.2012 r.

[6] M. Szulim, M. Kuchta, K. Kwiatos: „*Metoda szacowania skuteczności systemu bezpieczeństwa obiektu*". IX Szkoła-Konferencja Metrologia Wspomagana Komputerowo, Waplewo 24-27.05.2011 r.

[7] C. Simons: „*Dawn of the E-Bomb*", IEEE Spectrum. Nov., 2003R.

[8] E. V. Chernikih, A. N. Didenko, K. V. Gorbachev: „*High Power Microwave pulses generation from Vircator with inductive storage*", Materiały konferencyjne Międzynarodowej Konferencji EUROEM (Electronic Environments and Consequences), Bordeaux 1994 r.