



Impulsowe pola elektromagnetyczne a użytkowanie urządzeń i systemów elektronicznych w budynkach inteligentnych

JACEK PAŚ

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Systemów Elektronicznych,
00-950 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2, jacek.pas@wat.edu.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono wiadomości dotyczące oddziaływania impulsów pola elektromagnetycznego na infrastrukturę techniczną urządzeń i systemów elektronicznych w budynkach inteligentnych. 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. Zakłócenia impulsowe, wyładowanie atmosferyczne lub elektrostatyczne jako zjawiska naturalne są zaliczane do najbardziej odpowiedzialnych za występowanie zakłóceń w magistralach, liniach przesyłowych systemów, w instalacjach elektrycznych, urządzeniach i systemach elektronicznych użytkowanych w budynkach inteligentnych. W dużym stopniu wiążą się z tym uszkodzenia katastroficzne, które mogą wystąpić w urządzeniach elektronicznych lub całych systemach inteligentnego budynku, np. eleinformatycznych, bezpieczeństwa itd. pod wpływem indukowanych napięć i prądów sygnałów zakłócających.

Słowa kluczowe: zakłócenia, elektryczność statyczna, wyładowanie atmosferyczne

DOI: 10.5604/12345865.1210590

1. Wstęp

Niemal w całym okresie rozwoju życia na Ziemi środowisko, którego jednym naturalnych elementów są pola elektromagnetyczne, kształtowało się dzięki działaniu czynników naturalnych [1, 5, 6, 7, 10, 12]. Dopiero w wieku XX zapoczątkowane zostały nieodwracalne zmiany środowiska elektromagnetycznego Ziemi dzięki wprowadzeniu niezliczonych sztucznych źródeł promieniowania. Produkcja, przesyłanie

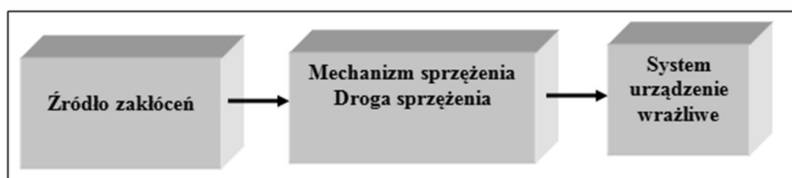
i przetwarzanie energii elektrycznej w odbiornikach elektrycznych i elektronicznych spowodowały wytwarzanie zamierzonego i niezamierzonego pola elektromagnetycznego o dość szerokim widmie częstotliwości. Dzięki temu w niezmiernie krótkim okresie w dziejach ludzkości środowisko elektromagnetyczne w najbliższym otoczeniu człowieka uległo znacznym zmianom (powstanie tzw. elektrosmogu). Oprócz quasi-stacjonarnych źródeł promieniowania elektromagnetycznego, w otaczającej nas rzeczywistości wytwarzane są impulsowe pola elektromagnetyczne które mogą towarzyszyć naturalnym zjawiskom przyrodniczym lub być wytwarzane w sposób celowy, a charakteryzują się szerokim widmem zakłóceń (tab. 1). W budynkach inteligentnych sterowanie i zarządzanie procesem eksploatacji realizowane jest poprzez dedykowane systemy lub urządzenia elektroniczne. Wzajemne „porozumiewanie” się między systemami podrzędnymi i nadrzędnymi odbywa się poprzez sygnały elektryczne — analogowe lub cyfrowe (przewodowe lub bezprzewodowe). Każdy sygnał elektryczny (prąd, napięcie, natężenie pola elektromagnetycznego) zawiera składową użyteczną i składową pasożytniczą. Składowa użyteczna jest niezbędna do pracy systemów i urządzeń w poszczególnych podsystemach użytkowanych w budynku inteligentnym (np. kamery systemu telewizji dozorowej — CCTV, czujki systemu sygnalizacji pożarowej — SSP, itd.). Składowa pasożytnicza to wynik przekształcenia sygnału użytecznego w rzeczywistych urządzeniach, układach i elementach systemów elektronicznych wykorzystywanych w budynkach inteligentnych [11, 20, 21].

TABELA 1

Charakterystyka impulsowych źródeł zakłóceń, które mogą wystąpić w budynku inteligentnym podczas jego eksploatacji [1, 4, 5, 15, 18]

Charakterystyka	Wyładowanie elektrostatyczne	Włączenie indukcyjności	Piorun, przebiegi łączeniowe	Krótkie przerwy zasilania w sieci
Zjawisko	Wyładowanie elektrostatyczne	Wiązka impulsów	Fala — udar	Mikroprzerwy
Napięcie U	Do 15 kV	Do 4 kV	Do 4 kV	Napięcie sieci
Energia przy max. napięciu ładowania	Mniejsza niż 10 mJ	300 mJ	300 J	–
Częstotliwość powtarzania	Pojedynczy impuls	Impulsy wielokrotne — 5 KHz	Max. 6 impulsów na minutę	Podstawą jest częstotliwość sieci 50 Hz
Górna częstotliwość graniczna	Około 1 GHz	Około 200 MHz	Około 350 MHz	Około 100 KHz

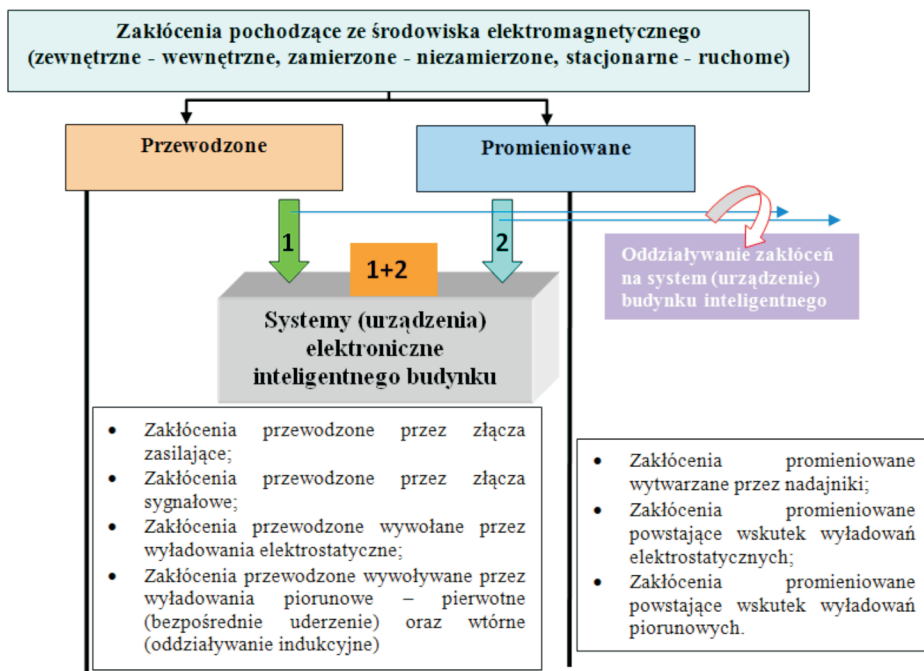
Składowe pasożytnicze są najczęściej wynikiem zastosowanych materiałów konstrukcyjnych lub rzeczywistych elementów urządzeń, tj. np. charakterystyk przetwarzania sygnałów. Występowanie tych zjawisk podczas eksploatacji inteligentnego budynku jest jednocześnie nieuniknione. Składowe te tworzą sygnały zakłócające. W wielu przypadkach (intencjonalne źródła zakłóceń) sygnały użyteczne dla jednych urządzeń czy systemów są pożądane, dla innych stają się sygnałami zakłócającymi. Ważną grupą zakłóceń są zjawiska naturalne, które mogą występować w najbliższym otoczeniu człowieka, np. wyładowania atmosferyczne, elektrostatyczne czy przepięcia indukowane. Sygnały zakłócające (zaburzające) mogą spowodować wadliwe działanie urządzenia, systemu lub jego całkowite zniszczenie, jeżeli między źródłem zakłóceń a urządzeniem wrażliwym istnieje mechanizm (droga) sprzężenia (rys. 1) [3, 8, 9, 12, 14, 17].



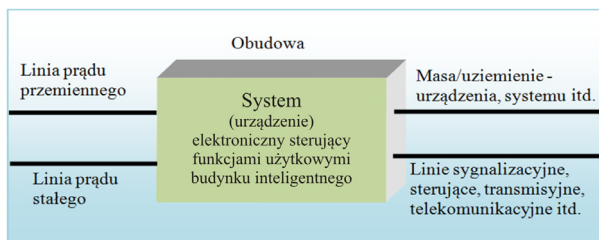
Rys. 1. Oddziaływanie źródła zakłóceń na urządzenia i systemy zlokalizowane w budynku inteligentnym

Ze względu na złożoną strukturę pola elektromagnetycznego i różne jego własności w pobliżu źródła (pole bliskie) i w pewnym oddaleniu od źródła (pole dalekie — odległość jest funkcją częstotliwości), sprzężenie przez pole elektromagnetyczne dzielone jest na sprzężenie indukcyjne lub pojemnościowe w polu bliskim oraz promieniowanie elektromagnetyczne w polu dalekim (rys. 2) [1, 3, 9, 11, 14, 16].

Zakłócenia elektromagnetyczne które oddziałują na urządzenia i systemy elektroniczne użytkowane w budynku inteligentnym w zależności od zakresu (pasma) częstotliwości mogą w różny sposób docierać do wrażliwych elementów, układów, urządzeń np. poprzez linie zasilające prądu AC lub DC, linie sygnalizacyjne lub sterujące, magistrale telekomunikacyjne, linie uziemień lub bezpośrednio poprzez promieniowane pole elektromagnetyczne (rys. 3). Podczas wystąpienia wyładowania elektrostatycznego — występują wszystkie rodzaje sprzężeń — przewodzone, pojemnościowe, indukcyjne oraz promieniowane poprzez pole elektromagnetyczne. Decyduje o tym górna częstotliwość graniczna sygnału impulsowego zakłócającego (tab. 1).



Rys. 2. Podział zakłóceń oddziałujących na urządzenia i systemy elektroniczne zlokalizowane w budynku inteligentnym



Rys. 3. Mechanizm sprzężenia zakłóceń z elementem, urządzeniem, systemem instalacji alarmowej, sterującej, elektrycznej itd. w budynku inteligentnym

2. Wyładowanie atmosferyczne źródłem impulsowych zakłóceń w budynku inteligentnym

Wyładowania atmosferyczne jako zjawiska naturalne są najczęściej odpowiedzialne za występowanie zaburzeń w liniach przesyłowych, w instalacjach elektrycznych, urządzeniach elektrycznych i systemach elektronicznych użytkowanych w budynkach inteligentnych. W dużym stopniu wiążą się z tym uszkodzenia w urządzeniach elektronicznych lub całych systemach, np. telekomunikacyjnych,

pod wpływem indukowanych napięć i prądów. Przyczyną wystąpienia uszkodzeń katastroficznych systemów elektronicznych są bardzo silne pola elektryczne i magnetyczne towarzyszące wyładowaniu atmosferycznemu. Przykładowo, w pobliżu kanału głównego wyładowania powstają pola elektryczne o natężeniu do $E_{\max} = 400 \text{ kV/m}$ oraz pola magnetyczne o indukcji B rzędu kilku mT.

Do oceny zagrożenia piorunowego elementów, urządzeń i systemów elektronicznych zainstalowanych w budynku inteligentnym wymaga się określenia następujących wartości charakteryzujących prąd piorunowy [1, 3, 9]:

- wartość szczytowa prądu — I_m ;
- maksymalna stromość narastania impulsu

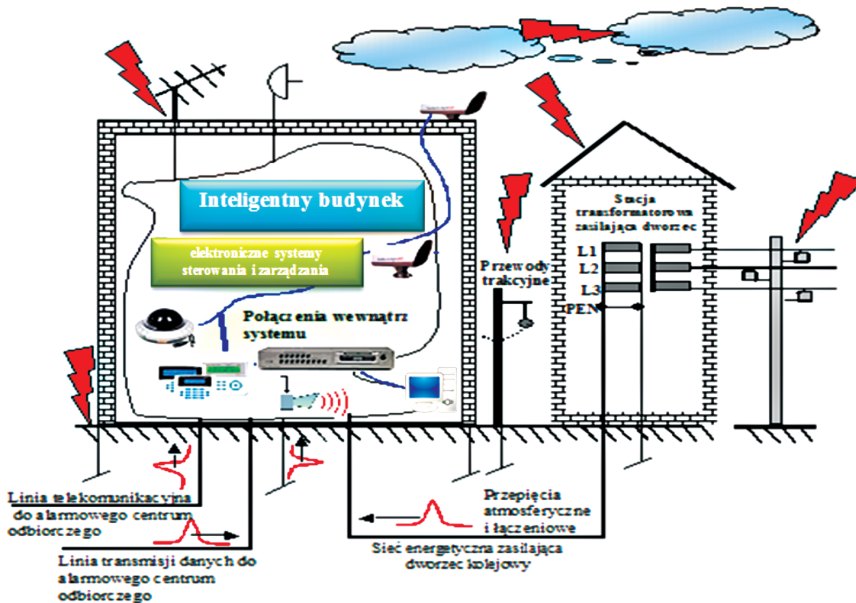
$$S_{\max} = \left(\frac{di_p}{dt} \right)_{\max} ; \quad (1)$$

- ładunek przenoszony przez prąd udarowy

$$Q_{\max} = \int i_p dt ; \quad (2)$$

- impuls kwadratu prądu

$$W = \int i_p^2 dt \text{ (energia wydzielona na } R = 1\Omega\text{)}. \quad (3)$$



Rys. 4. Urządzenia i systemy instalowane w budynku inteligentnym znajdującym się w pobliżu szlaku kolejowego — drogi indukowania się napięć zakłócających

Do opisu matematycznego przebiegu czasowego pierwszego i kolejnych doziemnych wyładowań atmosferycznych stosuje się równanie 4:

$$i(t) = k_i I_m [\exp(-\alpha t) - \exp(-\beta t)], \quad (4)$$

gdzie: I_m — wartość maksymalna prądu; k_i — współczynnik korekcyjny, α, β — współczynniki określające czas trwania czoła i czas do półszczytu.

Widmo prądu wyładowania można przedstawić za pomocą równania 5

$$I(w) = k_i I_m \left(\frac{1}{\alpha + jw} - \frac{1}{\beta + jw} \right) = \frac{k_i I_m (\beta - \alpha)}{(\alpha + jw)(\beta + jw)}. \quad (5)$$

Wiele zależności opisujących przebiegi prądu wyładowań atmosferycznych budowanych jest na podstawie wzoru Heidler'a [1, 3] określonego wyrażeniem 6

$$i(t) = \frac{I_m}{\eta} \frac{(t/\tau_1)^N}{1 + (t/\tau_1)^N} \exp(-t/\tau_2), \quad (6)$$

gdzie: $2 \leq N \leq 10$, a współczynnik korekcyjny η można opisać wyrażeniem 7

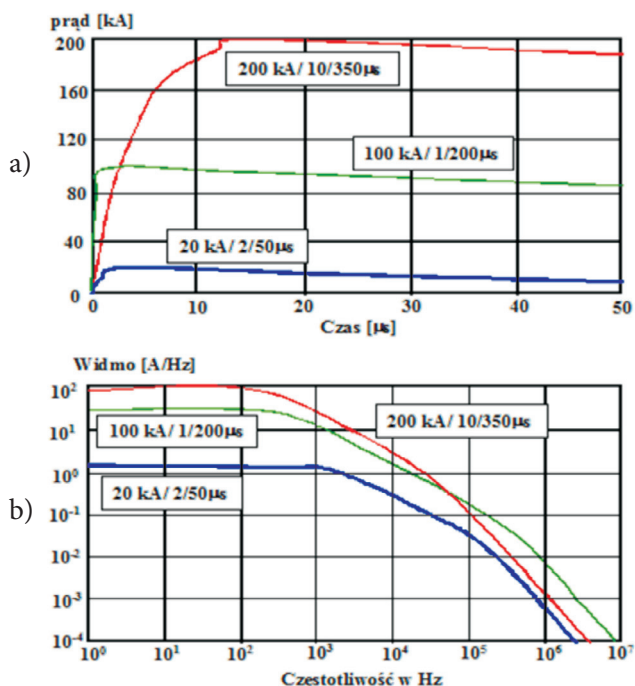
$$\eta = \exp\left[-\left(\frac{\tau_1}{\tau_2}\right) \left(N \frac{\tau_2}{\tau_1}\right)^{\frac{1}{N}}\right]. \quad (7)$$

Wartość szczytowa impulsów przepięć indukowana w elektronicznych urządzeniach i systemach sterowania, kablach energetycznych, zasilania sieciowego, teleinformatycznych itd. uzależniona jest od środowiska, w którym są zainstalowane dane elementy, urządzenia systemu lub samo okablowanie. Aby ocenić środowisko, należy uwzględnić:

- a) czynniki związane z właściwościami terenu (zabudowany, niezabudowany, górzysty, płaski, wysokości budynków itd.), a także samego budynku z jakich materiałów wykonano budynek — tj. przegrody budowlane, jak przebiegają trasy sieci kablowych itd., na którym zainstalowano urządzenia i systemy;
- b) stopień wyekspozowania urządzeń i systemów elektronicznych na działanie wyładowań atmosferycznych — elementy systemu na zewnątrz i wewnątrz obiektu budowlanego (np. kamery, sterowanie pogodowe, anteny, kable itd.);
- c) jakie warunki eksploatacji zostały stworzone wewnątrz budynku inteligentnego i w poszczególnych pomieszczeniach obiektu (np. rezystancja uziemienia, ekranowanie, usytuowanie i rozmieszczenie sieci teleinformatycznych i zasilania — tunele kablowe, rodzaj kabli — koncentryczny, światłowód, skrętka itd.).

Przeprowadzając analizę widmową przebiegu wyładowania atmosferycznego w kanale głównym (rys. 5), można stwierdzić, że w paśmie do kilkudziesięciu kHz zgromadzona jest większa część energii wyładowania impulsu głównego [1, 4, 9]:

- poniżej 1 kHz zawarte jest około 80% całkowitej energii tego impulsu;
- w paśmie do 10 kHz zawarte jest około 99,5% całkowitej energii tego impulsu;
- w paśmie poniżej 100 kHz zawarte jest około 99,6% całkowitej energii wyładowania kanału głównego (rys. 6) [1, 9].



Rys. 5. Przebiegi czasowe impulsów wyładowania atmosferycznego a) oraz odpowiadające im widma amplitudowe b) [1]

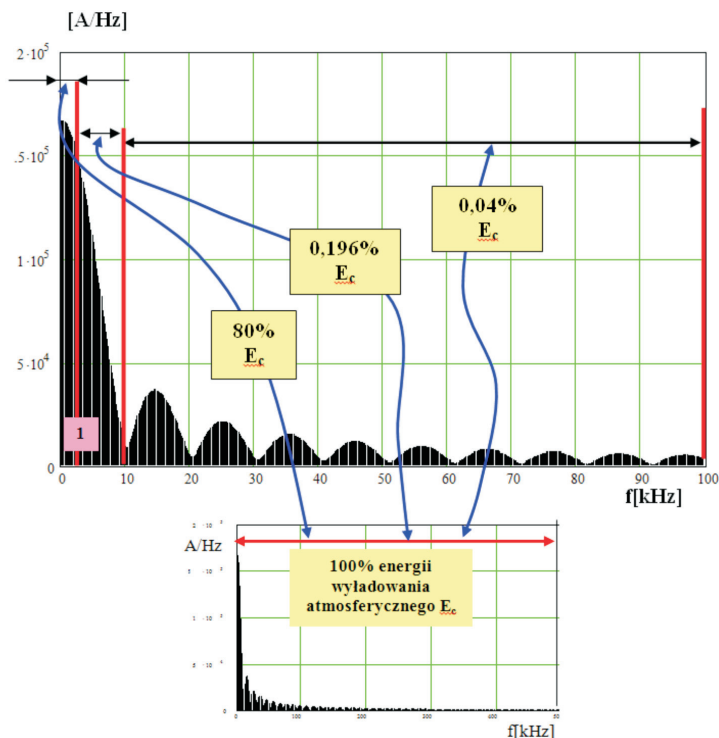
Do wyznaczenia widma impulsu wyładowania atmosferycznego przyjęto następujące wartości parametrów prądu wyładowania głównego według modelu opracowanego przez IEC (dla $N = 10$): $I_{\max} = 100$ kA, czasy: czoła impulsu $t_n = 10$ μs; czas do półszczytu na grzbiecie udaru $t_p = 350$ μs. Wartości pozostałych parametrów przebiegu określone równaniem 6 zostały przedstawione w tabeli 2.

W wyniku przeprowadzenia analizy widmowej impulsu wyładowania atmosferycznego w oparciu o program komputerowy otrzymano widmo, które zostało przedstawione na rysunku 6. Większość energii wyładowania atmosferycznego zawarta jest w paśmie częstotliwości do 100 kHz.

TABELA 2

Parametry impulsu przebiegu głównego wyładowania atmosferycznego o parametrach 100 kA, 10/350 μ s [1, 3, 9]

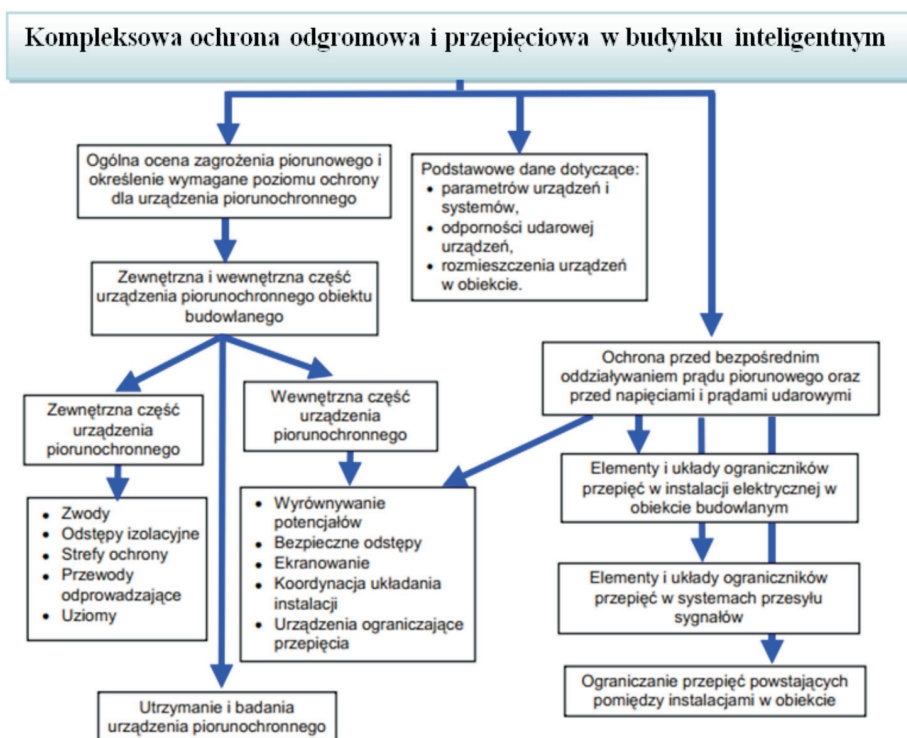
Współczynnik korekcyjny	η	–	0,93
Współczynnik czasu opadania	τ_1	μ s	19
Współczynnik czasu opadania	τ_2	μ s	485



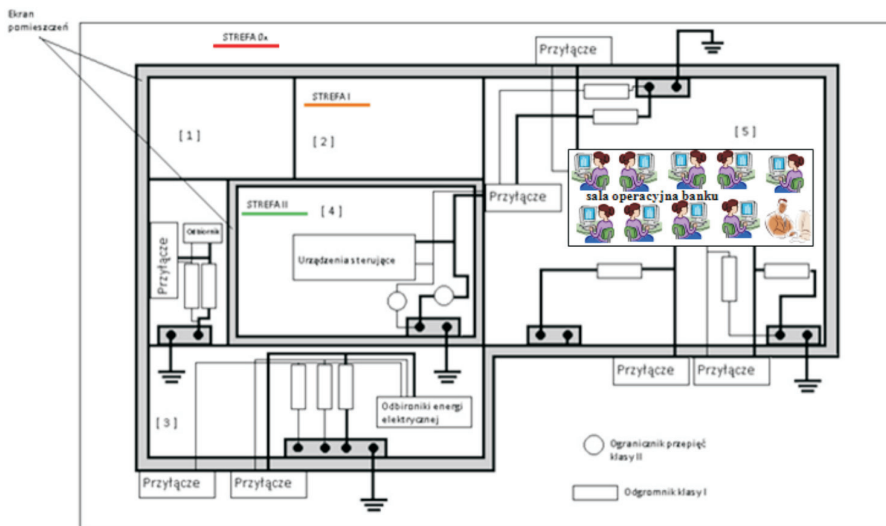
Rys. 6. Przebieg widma impulsu wyładowania atmosferycznego dla przypadku wartości prądu 100 kA oraz czasów 10/350 μ s

Zmniejszając czas narastania czoła impulsu oraz czas do półszczytu przebiegu impulsu wyładowania atmosferycznego, zwiększamy szerokość pasma zajętego przez widmo sygnału. Wartości tych parametrów mają decydujący wpływ na kształt odrębnych fragmentów widma. Czas do półszczytu decyduje o kształcie widma dla stosunkowo małych częstotliwości (kilkudziesięciu kHz), natomiast czas trwania czoła — o kształcie widma dla większych częstotliwości. Jednak większość energii impulsu wyładowania atmosferycznego nadal mieści się w paśmie częstotliwości do 100 kHz.

Tak mały zakres pasma częstotliwości jest szczególnie trudny do ekranowania ze względu na właściwości pola elektromagnetycznego, tj. propagację fali w środowisku. Poszczególne składowe widma sygnału zakłócającego (rys. 6) indukują napięcia i prądy poprzez sprzężenia lub przewodzenie w elementach metalowych budynku (zbrojenia metalowe stropów, ścian) i infrastrukturze okablowania budynku sygnałów zakłóceń, które mogą uszkodzić elementy, urządzenia bądź całe systemy. Indukowane impulsowe prądy rozprzestrzeniają się w poszczególnych przewodach, osiągając różne wartości I , U , które uzależnione są od wartości, np. rezystancji poszczególnych linii. Urządzenia, systemy elektroniczne inteligentnego budynku posiadają elementy elektroniczne, które są szczególnie podatne na występowanie przepięć: np. układy scalone — zakres odporności na zakłócenie to tylko 10^{-10} - 10^{-7} energii impulsu w dżulach. Odległość od kanału pioruna do urządzeń elektronicznych, która może spowodować uszkodzenia szacowana jest do 1,5 km, czasami nawet więcej. Przy projektowaniu instalacji odgromowej i przeciwprzebieciowej należy uwzględnić wiele czynników. Na rysunku 7 przedstawiono etapy projektowania zabezpieczenia dla budynku inteligentnego. Schemat ideowy przykładowej instalacji zabezpieczeń przed impulsem wyładowania atmosferycznego w budynku inteligentnym przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 7. Zasady tworzenia systemu ochrony odgromowej i przebieciowej w budynku inteligentnym



Rys. 8. Schemat ideowy przykładowej instalacji zabezpieczeń przed impulsem wyładowania atmosferycznego w budynku inteligentnym z zaznaczonymi strefami ochrony wewnątrz pomieszczeń

3. Impulsy wyładowania elektrostatycznego

Ładunek elektryczny ciała (lub układu ciał) to fundamentalna właściwość materii przejawiająca się w oddziaływaniu elektromagnetycznym ciał, które obdarzone są tym ładunkiem. Ciała posiadające ładunek mają zdolność wytwarzania pola elektromagnetycznego oraz oddziaływania z tym polem. Oddziaływanie ładunku z polem elektromagnetycznym może być określone przez siłę Lorentza i jest jednym z oddziaływań podstawowych. Ładunek elektrostatyczny może powstać w wyniku:

- kontaktu danego materiału (przedmiotu) z materiałem (lub przedmiotem) naładowanym, w czasie którego dojdzie do przejścia części jego ładunku;
- zmiany stanu skupienia lub rozwarstwiania, rozrywania, łamania, kruszenia, rozpylania i rozbryzgiwania albo oddziaływania mechanicznego — tzw. efekt piezoelektryczny;
- procesów elektrochemicznych, jonizacji cząstek lub absorpcji jonów;
- polaryzacji w polu elektrycznym oraz indukcji w polu elektrycznym itd. [3, 4, 8].

Sztucznymi źródłami pól elektrostatycznych są dielektryki, na powierzchni których pojawia się ładunek elektrostatyczny. W najbliższym otoczeniu człowieka, który użytkuje budynek inteligentny, źródłami tych pól mogą być:

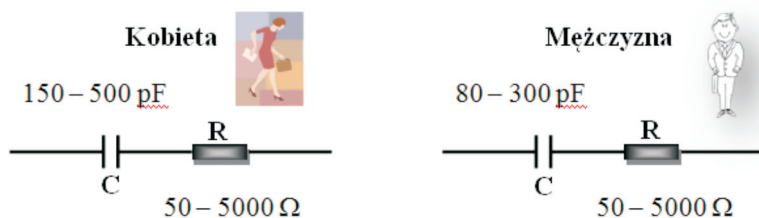
- wykładziny podłogowe, chodniki, dywany i meble z tworzyw sztucznych lub o powierzchniach lakierowanych, lub folie PCV wykorzystywane jako opakowania;

- bielizna i odzież wykonana z włókien syntetycznych lub obuwie na spodach o właściwościach izolacyjnych, lub paski klinowe i taśmy przENOŚNIKÓW, węże, przewody rurowe;
- przepływające ciecze lub przesypany materiał proszkowy;
- wykonane z tworzyw sztucznych obudowy urządzeń elektrycznych i elektronicznych itd.

Niekorzystne oddziaływanie elektryczności statycznej na organizm ludzki występuje po przekroczeniu pewnych wartości krytycznych parametrów:

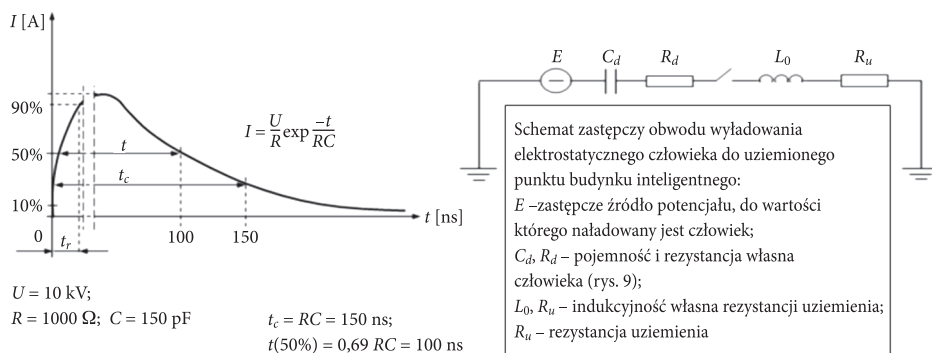
- rezystywność skrośna tworzywa $\rho_v > 10^7 \Omega\text{m}$, powierzchniowa $\rho_s > 10^{10} \Omega$;
- napięcie na powierzchni tworzywa $U > 200 \text{ V}$ i energia wyładowania $w_w > 1 \text{ mJ}$;
- rezystancja upływu ciała człowieka $R_u > 10^9 \Omega$;
- napięcie elektrostatyczne wytworzone na ciele człowieka $U > 10^3 \text{ V}$ [3, 4, 8].

Istotne znaczenie dla efektu wyładowania mają same parametry elektryczne człowieka, które przedstawiono na rysunku 9 (zróznicowane dla kobiet i mężczyzn).



Rys. 9. Parametry elektryczne człowieka wpływające na wyładowanie elektrostatyczne

Silne odczucie przez człowieka wyładowania elektrostatycznego do uziemionego punktu wiąże się z przepływem prądu rozładowania rzędu 70 A w czasie około 30 ns (tab. 3) [3, 4, 8]. Ładunek elektrostatyczny zgromadzony na ciele ludzkim może wytwarzać potencjał (napięcie) od 20 kV do 35 kV (rys. 10). Najkorzystniejszym sposobem ochrony przed oddziaływaniem elektryczności statycznej jest stosowanie materiałów nieulegających elektryzacji.



Rys. 10. Typowy kształt impulsu rozładowania elektrostatycznego

TABELA 3

Klasy energetyczne impulsów wyładowania elektrostatycznego

Nazwa klasy	Pojemność [pF]	Napięcie [kV]	Energia [mJ]
Przypadek ekstremalny	500	40	400
Przypadek najgorszy	250	25	78
Przypadek typowy	150	15	17
Minimum warte zabezpieczenia	100	6	2

4. Wnioski

Wrażliwość urządzeń i systemów elektronicznych, które użytkowane są w budynkach inteligentnych, wiąże się ściśle z wrażliwością zastosowanych elementów, z których zbudowane są układy [11, 13, 14, 18, 19]. Wrażliwość elementów można określić przez podanie wartości energii impulsu (o czasie trwania np. jednej mikrosekundy), która powoduje trwałe uszkodzenie tego elementu. Stwierdza się bardzo duży rozrzut wartości tych energii, od $1 \div 10^4$ mJ w przypadku lamp elektronowych, poprzez $10^{-1} \div 10$ mJ dla tranzystorów małej mocy, aż do $10^{-6} \div 10^{-3}$ mJ w przypadku układów scalonych wielkiej skali integracji. Z zestawienia tych danych wynika złożoność i waga problemów związanych z zagrożeniem powodowanym przez elektromagnetyczne zakłócenia impulsowe. Współczesne systemy elektroniczne sterujące i nadzorujące proces eksploatacji w budynkach inteligentnych są wykonane w technologii układów scalonych wielkiej skali integracji, dlatego należy odpowiednio zabezpieczać szczególnie wrażliwe urządzenia poprzez stosowanie: ekranowania, filtrów EMC, wyłączników przepięciowych, elementów elektronicznych lub odpowiednich rozmieszczeń systemów w budynku. Elektroklimat w pomieszczeniach może być znacznie zniekształcony w wyniku

powszechnie występującej elektryczności statycznej. Jej niekorzystny wpływ na zdrowie człowieka jest bardziej odczuwalny niż innych zjawisk, związanych np. z niejonizującym promieniowaniem elektromagnetycznym [2, 3, 6, 9]. Sprawcą tego jest przede wszystkim efekt wyładowań. Elektryczność statyczna stanowi bardzo duże zagrożenie dla urządzeń elektronicznych. Stosowanie półprzewodnikowych układów scalonych o wysokim stopniu integracji oraz wykorzystywanie technologii zawierającej struktury MOS (z cienkimi warstwami dielektryku) stało się przyczyną uwrażliwienia układów elektronicznych na impulsowe zagrożenia towarzyszące wyładowaniom elektrostatycznym. Im wyższy stopień zaawansowania w technologii elektronicznej, tym większa wrażliwość urządzeń elektronicznych na oddziaływanie elektryczności statycznej.

Praca finansowana z Projektu Badawczego Statutowego nr 833/2015 r.

Artykuł opracowany na podstawie referatu wygłoszonego na XXIX Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Ekomilitaris 2015. Inżynieria bezpieczeństwa — ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń”, Zakopane 15-18.09.2015 r.

Artykuł wpłynął do redakcji 25.11.2015 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 14.04.2016 r.

LITERATURA

- [1] PAŚ J., *Analiza niezawodnościowa systemu zasilania energią elektryczną mobilnych systemów biometrycznych*, Prace Naukowe Transport, z. 100, Politechnika Warszawska, 2013, s. 153-164.
- [2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów PEM w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów, Dz. U. Nr 192, poz. 1883.
- [3] KORNIWICZ H. i in., *Wpływ rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych na zagrożenia zdrowia przez elektryczność statyczną*, I Krajowe Sympozjum Naukowe — Wpływ Rozwiązań Materiałowo-Konstrukcyjnych w budownictwie na zdrowie człowieka, Warszawa, 1980, s. 186-194.
- [4] PIELICHOWSKI J., STARZYK F., *Elektryzacja tworzyw sztucznych i jej wpływ na otoczenie*, I Krajowe Sympozjum Naukowe — Wpływ rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych w budownictwie na zdrowie człowieka, Warszawa, 1980.
- [5] MIKOŁAJCZYK H., *Wpływ mikroklimatu i elektroklimatu pomieszczeń mieszkalnych na zdrowie człowieka*, I Krajowe Sympozjum Naukowe — Wpływ rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych w budownictwie na zdrowie człowieka, Warszawa, 1980, s. 162-171.
- [6] STRZYŻEWSKI J., ROTTERMUND H., *Elektryczność w twoim domu*, WNT, Warszawa, 1985, s. 201-209.
- [7] ŁĄCZYŃSKI J., *Wpływ elektryczności statycznej na pracę ludzką i urządzeń cyfrowych automatyki oraz sposoby jej likwidacji*, Wiadomości Elektrotechniczne, 17-18, 1986, s. 345-348.
- [8] JANUSZEWSKI J., *Wyładowania elektrostatyczne (EDS) — weryfikacja parametrów impulsów i badania odporności urządzeń. Impulsowe narażenia elektromagnetyczne*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, 1994.

- [9] KARPIŃSKI L., *Odporność urządzeń elektronicznych i elektrycznych na zakłócenia elektromagnetyczne*, RADWAR, seminarium, Warszawa, 1996, s. 1-7.
- [10] PAŚ J., DUER S., *Determination of the impact indicators of electromagnetic interferences on computer information systems*, Neural Computing & Applications, vol. 23, iss. 7-8, Special Issue: SI, 2013, pp. 2143-2157.
- [11] DYDUCH J., PAŚ J., ROSIŃSKI A., *The basis of the exploitation of transport electronic systems*, Publisher Technical University of Radom, Radom, 2011.
- [12] CHOROMAŃSKI W., DYDUCH J., PAŚ J., *Minimizing the Impact of Electromagnetic Interference Affecting the Steering System of Personal Rapid Transit in the Context of the Competitiveness of the Supply Chain*, Archives of Transport, Polish Academy of Sciences Index 201 901, vol. 23, iss. 2, Warsaw, 2011.
- [13] ROSIŃSKI A., *Modelling the maintenance process of transport telematics systems*, Publishing House Warsaw University of Technology, Warsaw, 2015.
- [14] SIERGIEJCZYK M., ROSIŃSKI A., *Analysis of power supply maintenance in transport telematics system*, Solid State Phenomena, vol. 210, 2014, pp. 14-19.
- [15] SIERGIEJCZYK M., PAŚ J., ROSIŃSKI A., *Evaluation of safety of highway CCTV systems maintenance process*, The monograph „Telematics — support for transport”, eds. Mikulski J., given as the monographic publishing series — „Communications in Computer and Information Science”, vol. 471, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2014, pp. 69-79.
- [16] PAŚ J., *Operation of electronic transportation systems*, Publishing House University of Technology and Humanities in Radom, Radom, 2015.
- [17] KUCHTA M., PAŚ J., *Terroryzm elektromagnetyczny — zagrożenia w obiektach budowlanych*, Biuletyn WAT, 2, vol. 64, nr 2, 2015, s. 135-148.
- [18] SIERGIEJCZYK M., PAŚ J., ROSIŃSKI A., *Train call recorder and electromagnetic interference*, Diagnostyka, vol. 16, no. 1, 2015, pp. 19-22.
- [19] PAŚ J., CHOROMAŃSKI W., *Impact electric component of the electromagnetic field on electronic security and steering systems in personal rapid transit*, Wydawnictwo: Springer, Telematics-Support for Transport CCIS 471, Communications in Computer and Information Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, nr CCIS 471, 2014, s. 252-262.
- [20] SIERGIEJCZYK M., PAŚ J., ROSIŃSKI A., *Train call recorder and electromagnetic interference*, Diagnostyka, vol. 16, no. 1, 2015, s. 19-22.
- [21] KUCHTA M., DUKATA A., PAŚ J., KUBACKI R., *Analiza propagacji pola elektromagnetycznego do wewnętrznych struktur wybranego obiektu budowlanego*, [w:] *Wybrane zagadnienia diagnozowania i użytkowania urządzeń i systemów*, (red.) Dąbrowski T., Radkowski S., WAT, Warszawa, 2015, s. 125-140.

J. PAŚ

Influence of pulse electromagnetic fields on electronic equipment and systems in smart buildings

Abstract. The article presents information about the impact of electromagnetic fields' impulses on technical infrastructure of electronic equipment and systems in intelligent buildings. The use of modern technical solutions in intelligent building management, i.e., human resources control and automation systems, efficient building space management, requires a large number of integrated electronic systems. Impulse interference, lightning or electricity as natural phenomena are among the most responsible for the occurrence of interference in buses, transmission lines systems, electrical installations, equipment

and electronic systems used in intelligent buildings. To a large extent, it is associated with catastrophic damages that may occur in electronic devices or in completed systems such as intelligent building, e.g. ICT, security, etc. under the influence of induced voltages and interfering signals' currents.

Keywords: noise, static electricity, lightning

DOI: 10.5604/12345865.1210590

