

PRACE

**INSTYTUTU
ŁĄCZNOŚCI**

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
BIBLIOTEKA NAUKOWA

Nr



1992
100

PRACE INSTYTUTU ŁĄCZNOŚCI

Komitet Redakcyjny
Redaktor Naczelny: dr inż. Krystyn Plewko
Z-ca Redaktora Naczelnego: dr inż. Stanisław Sońta
Redaktorzy Działowi:
doc. dr inż. Włodzimierz Barjasz
doc. dr inż. Alina Karwowska-Lamparska
inż. Maria Łopuszniak

© Copyright by Instytut Łączności, Warszawa 1992

ISSN 0020-451X

Redaktor: mgr Krystyna Juszkiewicz

Skład komputerowy: techn. Danuta Pol, techn. Grażyna Woźnica

Instytut Łączności, Dział Ogólnotechniczny
ul. Szachowa 1, 04-894 Warszawa

SPIS TREŚCI

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
BIBLIOTEKA NAUKOWA

Nr

1. Andrzej Sowiński - Testowanie ścieżką brzegową - przyszłość testowania pakietów? (tekst w języku angielskim)	5
2. Jan Bogucki - Próba badań propagacji w pasmie Q	13
3. Ryszard Floryński, Andrzej Sowa, Leszek Augustyniak - Zakłócenia impulsowe wywołane przez wyładowanie atmosferyczne	27
4. Ryszard Floryński, Andrzej Sowa - Zakłócenia impulsowe powodowane przez impulsy elektromagnetyczne wybuchu jądrowego.....	101
Jubilaci	135

СОДЕРЖАНИЕ

1. Анджей Совиński - Проверка берегового поиска - будущее проверки печатных плат?	5
2. Ян Богуцки - Исследования распространения радиоволн в диапазоне Q	13
3. Рышард Флорыński, Анджей Сова, Лешек Аугустыняк - Импульсные помехи, создаваемые атмосферными разрядами	27
4. Рышард Флорыński, Анджей Сова - Импульсные помехи, создаваемые электромагнитными импульсами от ядерного взрыва	101

CONTENS

1. Andrzej Sowiński - Boundary scan test - the future of PCB testing?	5
2. Jan Bogucki - Examination tests of wave propagation in the Q band	13

3. Ryszard Floryński, Andrzej Sowa, Leszek Augustyniak - Impulse disturbances causing by atmospheric discharges	27
4. Ryszard Floryński, Andrzej Sowa - Impuls disturbances caused by nuclear explosion electromagnetic impulses	101

SOMMAIRE

1. Andrzej Sowiński - Test d'échantillonnage de bord - l'avenir de tests des cartes de circuits imprime (PCB)?	5
2. Jan Bogucki - Essais de test de la propagation des ondes dans la bande Q	13
3. Ryszard Floryński, Andrzej Sowa, Leszek Augustyniak - Perturbations impulsionnelles provoquées par décharges atmosphériques ..	27
4. Ryszard Floryński, Andrzej Sowa - Perturbations impulsionnelles dues aux impulsions électromagnétiques d'une explosion nucléaire.	101

INHALTSVERZEICHNIS

1. Andrzej Sowiński - Prüfung der Randdurchsuchung - Zukunft der PCB Prüfung?	5
2. Jan Bogucki - Versuch der Prüfungen der Wellenausbreitung in dem Q-Band	13
3. Ryszard Floryński, Andrzej Sowa, Leszek Augustyniak - Die durch atmosphärische Entladungen hervorgerufenen Störungen	27
4. Ryszard Floryński, Andrzej Sowa - Die durch elektromagnetische Impulse der Kernexplosion hervorgerufenen Impulsstörungen	101

Andrzej Sowiński

621.382.049.77:621.317.083

BOUNDARY SCAN TEST - THE FUTURE OF PCB TESTING?¹⁾

Boundary scan test (BST) supplies a standard means for providing electronic access to the insides of chip via a test access port (TAP) consisting of four or optionally five pins, a modest number considering that some ICs to day have more than 200 leads. The time required to develop system diagnostic software can be reduced by two - third. This principle can be included on PCB to facilitate testing in the field.

1. INTRODUCTION

Manufactures of high tech electronic products face higher testing costs as the complexity of the included printed circuit boards (PCBs) increases. The currently used bed of nails fixtures, term in-circuit method, have reached their technological limits. This has two main causes:

- Miniaturization:
 - the trace distances and withs on the PCB are coming down to 100 μm ,
 - the pitches of IC package pins are coming down from 2,5 mm to 0,3 mm,
 - the introduction of Surface Mounted Devices (SMD) on both sides of the PCB have made it practically impossible to access them with bed of the nails fixtures.
- Complex ICs:
 - ASICs are nowadays packaged in housings with 200 pins and more,
 - VLSI microprocessors may contain more than one million transistors.

To cope with these technology advances automatic test equipment (tester) to test PCBs became to much expensive.

BST methodology can drastically reduce these test costs.

¹⁾ Abridgement of the lecture presented at 6th Congress on Industrial Measurements, 9 October 1992, Wiesbaden, Germany.

2. BST ARCHITECTURE TO PCB TESTING

Idea BST to test PCB arises from the IC test technology. A functional tests applying the design for test methodology. This means that on the chip itself arrangements have been made to allow for built-in testing, e.g. a built in self test (BIST) feature.

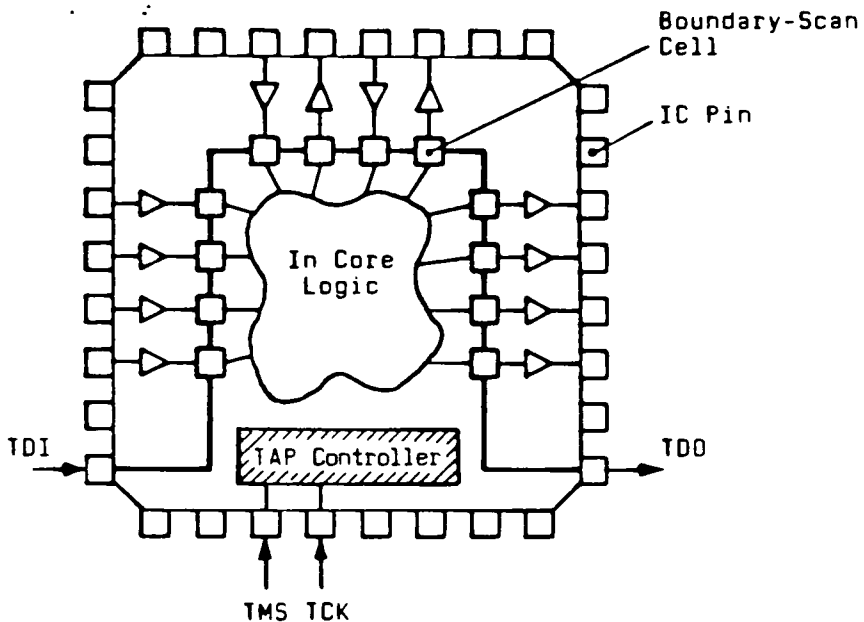


Fig. 1. IC including Boundary-Scan Register

TMS - Test Mode Select, TCK - Test Clock, TDI - Test Data Input, TDO - Test Data Output

In 1985 Philips Electronics formed Joint European Test Action Group (JETAG), after some time became JTAG, no longer specifically European. In February 1990 was approved the document IEEE Standard Test Port and Boundary Scan Architecture (IEEE Std 1149.1), recognized by American National Standards Institute (ANSI) too.

Architecture BST distinguishes four elements:

- the Test Access Port (TAP),
- the TAP Controller,
- the Instruction Register (IR) and
- a group of Test Data Registers (TDRs).

The boundary-scan technique involves the inclusion of a series of test access logic cells which are connected by shift register stages. There is a cell for each IC pin in use.

Such cells are called Boundary-Scan Cells (BSC). The whole series of BSC is called the Boundary - Scan Register (BSR). IC including BSR showed in fig.1.

The TAP input and output connections of the IC can be interconnected at PCB level in way the appropriate tests can be performed. In the fig.2. is showed PCB configuration with all IC BSRs connected in series.

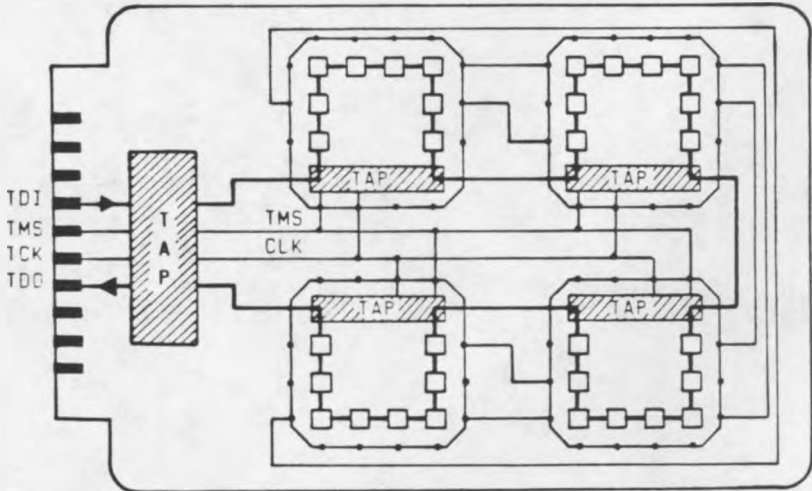


Fig.2. PCB configuration with all IC BSRs connected in series

Is possible connected with two parallel test paths too. Test instructions to be shifted into each IC along the PCB-level path allows the Instruction Register. At board level then all IC instruction registers are connected in series.

3. SOFTWARE

As we do not intend to go deeply into problems of software systems, we can only state that multiplicity of required features makes it impossible to choose one universal language for software of the whole system. That is why this is so important to create formats of data transmission between separate elements of the system, having software in various languages adequate for a given element. One can clearly see a tendency towards the application of object-oriented version of Language C, called C++.

One of the two reasons to introduce BST is the possibility to use this technology for PCB testing: Extest Instruction and Intest Instruction.

The Extest instruction is especially provided to allow board-level testing of opens, stuck-at or bridging errors etc. For the IEEE 1149.1 standard, the Extest is therefore a mandatory instruction, fig.3.

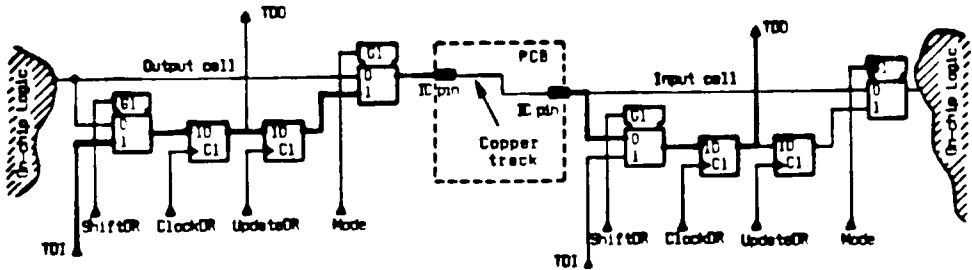


Fig.3. Data flow when the EXTEST instruction is executed

The second is Intest Instruction. It is optional instruction which, if provided, must also comply with the IEEE 1149.1 standard. The Intest Instruction allows testing of on-chip logic after the component is mounted on the PCB.

Following this instruction, test signals are shifted in one at a time and applied to the on-chip logic. When the Intest is selected, the BST substitutes testing by means of the bed-of-nails fixture and pin probing of automatic test equipment (ATE) for component (IC) testing. The last specification

requirement has been added to ensure that the test of an assembled PCB is independent of the versions of the components (ICs) mounted on it.

This is important when working in a maintenance or repair environment, in which the versions of the components used on the PCB are not known.

4. CONCLUSION

The BST technology was therefore proposed and introduced for PCB testing. With BST, the real nail-bed pins become virtual pins inside the IC, i.e. the Boundary-Scan Cell. Checking interconnects is now achieved through an imposed flow of digital signals between the BST cell of different ICs. With Boundary-Scan Cells that comply with the IEEE 1149.1 standard, it is possible to test the interconnects independently of the on-chip (in-core) logic of the ICs. The cells control the state of the input and output pins.

The in-circuit test can show a correct component while the path external to the Boundary-Scan cell may show a fault.

It can be stated that BST is very well suited for PCB testing. Test patterns from the design department are re-used in manufacturing and field service, saving a lot of test preparation time. This and the much lower costs for test equipment and their short set-up times save of total production costs BST : functional test = 2 : 7.

REFERENCES

1. Hławiczka A.: Design and testing light testability digital ICs and PCBs (Polish). Gliwice 1990.
2. Sowiński A.: Automatyczne testowanie w mikroelektronice. WKŁ, Warszawa 1991.
3. Sowiński A.: Current problems of PCB Testing, XI Kongres IMEKO, Pekin 1991. Prace IL, nr 99, 1992.
4. The ABC of Boundary-Scan Test, Philips Edition, Eindhoven 1991.

Andrzej Sowiński

TESTOWANIE ŚCIEŻKĄ BRZEGOWĄ - - PRZYSZŁOŚĆ TESTOWANIA PAKIETÓW?

Streszczenie

Metoda testowania za pomocą ścieżki brzegowej (ang. BST) stwarza możliwość dostępu do wnętrza układu przez port testowy (ang. TAP). Obejmuje on cztery do pięciu wyprowadzeń, wówczas gdy aktualnie liczba tych wyprowadzeń przekracza 200. Czas niezbędny do opracowania oprogramowania diagnostycznego może ulec zmniejszeniu o dwie trzecie. Metoda ta może także być zastosowana do testowania pakietów (ang. PCB) znacznie je ułatwiając.

Андрей Сови́нский

ПРОВЕРКА БЕРЕГОВОГО ПОИСКА - БУДУЩЕЕ ПРОВЕРКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ?

Резюме

Проверка берегового поиска (ПБП) предоставляет типичное средство электронного доступа во внутрь микросхемы через вентиль проверки (ВП) состоящий из четырех или пяти выводов, что является весьма небольшим количеством, если учесть что некоторые микросхемы имеют свыше 200 выводов. Время необходимое для разработки диагностического опrogramмирования системы может сократиться на 66%. Такой принцип может использоваться также для проверки печатных плат что облегчит проведение испытаний.

Andrzej Sowiński

**TEST D'ÉCHANTILLONAGE DE BORD - L'AVENIR DE TESTS
DES CARTES DE CIRCUITS IMPRIME (PCB)?**

R é s u m é

Test d'échantillonnage de bord (BST) devient d'un moyen typique qui assure un accès électronique à l'intérieur d'un microcircuit à travers de la porte d'accès de test. Cette porte est composée de quatre ou cinq bornes éventuellement ce qui fait un nombre modeste en prenant en considération que certains circuits intégrés ont plus que 200 bornes. Le temps nécessaire pour élaborer le logiciel diagnostic d'un système peut subir une diruinition de deux tiers. Ce principe peut englober aussi les circuits imprimés pour faciliter les essais.

Andrzej Sowiński

BOUNDARY SCAN TEST - ZUKUNFT DER PCB PRÜFUNG?

Z u s a m m e n f a s s u n g

Boundary Scan Test (ang. BST) gibt ermöglichendes elektronischen Zutritt in das Innere der Mikroschaltung durch der Port des Prüfzutritts (ang. TAP), bestehendes aus vier eventuell fünf Anschlüssen, kleine Anzahl nehmend in Betracht, dass manche integrierte Schaltungen über 200 Anschlüsse haben. Die Zeit notwendige zur Bearbeitung eines diagnostischen Programms des Systems kann um 2/3 verkürzt werden. Dieses Prinzip kann auch PCB umfassen die Prüfungen zu erleichtern.

Jan Bogucki

621.371.3.001.5.029.65

PRÓBA BADAŃ PROPAGACJI W PASMIE Q

W artykule podano parametry aparatury pomiarowej opracowanej w IPE-PW i IL oraz w ramach współpracy z BRL. Aparatura ta umożliwiła realizację eksperymentalnej linii radiowej o długości 15,4 km i częstotliwości 37115 MHz. Przedstawiono też wstępne wyniki badań propagacyjnych na tej trasie.

1. WPROWADZENIE

W Zakładzie Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji IL są prowadzone prace m.in. nad racjonalnym wykorzystaniem widma częstotliwości radiowych, ze szczególnym uwzględnieniem nowych zakresów fal dla systemów radiowych. Obecnie podjęto badania w zakresie pasma Q, tj. od 26 GHz do 40 GHz. W kraju dotychczas nie prowadzono badań propagacyjnych dotyczących tak wysokiego zakresu częstotliwości, dlatego nie było również odpowiedniej aparatury pomiarowej. Wynikła więc konieczność skonstruowania stosownych urządzeń. Odbiornik i nadajnik opracowano w Instytucie Podstaw Elektroniki Politechniki Warszawskiej, a anteny otrzymano z Bułgarii w ramach współpracy dwustronnej programu INTERKOSMOS. Wyposażenie dodatkowe wykonano w Instytucie Łączności. Uzyskana w ten sposób aparatura umożliwiła prowadzenie badań propagacyjnych na eksperymentalnej linii radiowej 37 GHz, uruchomionej na trasie o długości 15,4 km, na której już pracowały linie radiowe zakresu 12 i 18 GHz. Miało to na celu stworzenie możliwości porównywania tłumień występujących jednocześnie w tych liniach oraz pozwalało wykorzystać istniejące warunki techniczne do instalacji linii.

Mając na uwadze wysokie tłumienia fali w pasmie 37 GHz, przekraczające 120 dB w przypadku przecinania trasy fali przez kolumny intensywnych opadów przelotnych i zakres dynamiki odbiornika, ograniczonej zazwyczaj do 40-50 dB, przewidywano możliwość porównywania tłumień we wszystkich trzech

liniach przy opadach przelotnych o intensywnościach nie większych od 30-40 mm/h.

W niniejszym opracowaniu zamieszczono wstępne wyniki badań przeprowadzonych - po raz pierwszy w kraju - w pasmie Q.

2. TLUMIENIE WYWOLANE PRZEZ OPADY ATMOSFERYCZNE

Niezawodność działania linii radiowej na falach centymetrowych zależy w istotny sposób od opadów atmosferycznych (deszczu, śniegu) oraz mgieł. Występowanie opadów na trasie fali prowadzi do pochłaniania i rozpraszania fali. Zależności matematyczne opisujące to zjawisko podano w [8]. Szczególnie istotne pod względem tłumienia są opady przelotne o charakterze burzowym, chociaż mgły mają już wyraźny wpływ na propagację fal w pasmie Q [3, 6, 10]. Deszcz może doprowadzić do zaników odbioru fali na okres nawet kilkudziesięciu minut. Zmniejszenie prawdopodobieństwa tego rodzaju sytuacji do dopuszczalnej granicy, może być osiągnięte w fazie projektowania linii radiowej przez właściwy dobór jej parametrów technicznych, jeśli są znane statystyczne charakterystyki tłumienia fali.

Dlatego jednym z głównych problemów przy projektowaniu systemów telekomunikacyjnych w zakresie częstotliwości powyżej 10 GHz jest prognozowanie tłumień pochodzących od opadów deszczu lub śniegu albo gęstych mgieł. Konieczna zatem jest znajomość rozkładu (rozemieszczenia) opadów w przestrzeni i czasie oraz współczynników tłumienia przez nie wywoływanych.

Aktualne dokumenty CCIR podają charakterystyki statystyczne rozkładu intensywności opadów dla piętnastu klimatycznych stref opadowych, odpowiadających poszczególnym obszarom globu ziemskiego. Obszar Polski w około 2/3 należy do strefy E (część północno-zachodnia) i w około 1/3 do strefy H o większej intensywności opadów.

Jednak dane CCIR są oparte na materiałach uśrednionych w bardzo dużej skali. Zaleca się je stosować jedynie przy braku bardziej szczegółowych charakterystyk dla danego wydzielonego terytorium. Dla uściślenia podstaw planowa-

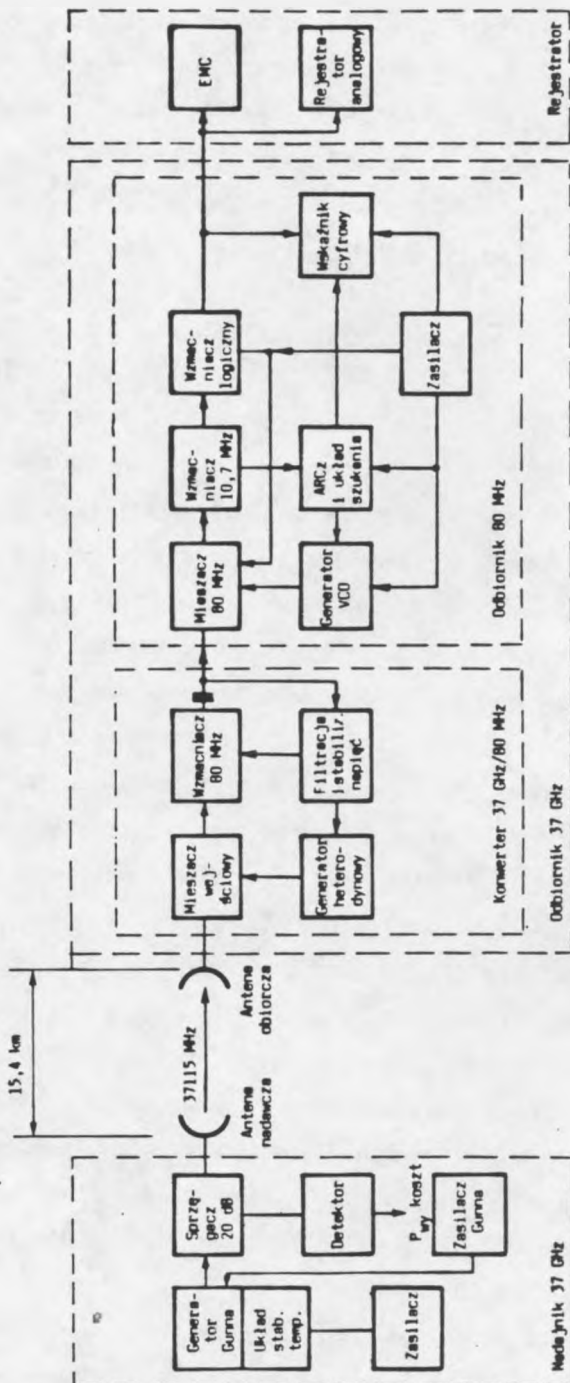
nia wynika więc potrzeba prowadzenia badań propagacyjnych - szczególnie w nowych zakresach częstotliwości - we wszystkich mikroregionach klimatycznych i w dostatecznie długich wielosezonowych okresach. Takie badania - jak już wspomniano na wstępie - rozpoczęto w Instytucie Łączności, opracowując aparaturę pomiarową, która pozwoliła na uruchomienie w 1990 roku eksperymentalnej linii radiowej pasma Q o bezpośredniej widoczności.

3. APARATURA POMIAROWA

Schemat eksperymentalnej linii radiowej pasma Q podano na rys. 1.

Odbiornik [5, 7] składa się z przyantennowego konwertera częstotliwości i odbiornika p.cz. 80 MHz. Konwerter zawiera mieszacz wejściowy zintegrowany z generatorem heterodyny i przedwzmacniaczem pierwszej częstotliwości pośredniej. Zrównoważony mieszacz wejściowy wykorzystuje połączenie dwóch ortogonalnych przewodnic falowych doprowadzających sygnał wejściowy i sygnał heterodyny do pary diod Schottky'ego pompowanych na częstotliwości podharmonicznej $f_n = (1/3) \cdot f_c$. Generator heterodyny wykonano jako generator tranzystorowy stabilizowany rezonatorem dielektrycznym. Otrzymany z konwertera sygnał jest doprowadzony do mieszacza podwójnie zrównoważonego pompowanego sygnałem drugiej heterodyny z generatora przestrajanego w zakresie częstotliwości od 70 MHz do 90 MHz. Wzmacniacz drugiej częstotliwości pośredniej 10,7 MHz ma pasmo 100 kHz i jest zrealizowany z zastosowaniem filtrów ceramicznych. Wzmacniacz ten dostarcza również sygnał do układu automatycznej regulacji częstotliwości oraz sygnał progowy informujący o dostrojeniu się odbiornika do odbieranego sygnału. Z wyjścia wzmacniacza p.cz. 10,7 MHz sygnał jest doprowadzony do wejścia wzmacniacza logarytmującego, który pracuje w zakresie od -1 dBm do -69 dBm, pokrywając zakres 68 dBm z dokładnością większą niż +0,5 dBm. Czulość tak skonstruowanego odbiornika wynosi -95 dBm.

Układ nadajnika zbudowano stosując generator z diodą Gunna [4, 7]. Diodę Gunna typu MA 49173 firmy Microwave Associates (USA) umieszczono



Rys. 1. Eksperymentalna linia radiowa pasma Q

w obwodzie rezonansowym, utworzonym z odcinka falowodu obniżonego do 1,5 mm. Tak skonstruowany generator emituje sygnał o częstotliwości 37115 MHz i mocy wyjściowej 100 mW.

Anteny (nadawcza i odbiorcza) są skonstruowane jako dwurefektorowe anteny paraboliczne [12]. Charakterystyczną cechą obu anten jest to, że są one "głębokie" - stosunek ogniskowej do średnicy wynosi 0,22. Trudności przy opracowaniu anteny z takimi reflektorami wynikają z konieczności wykonania układu oświetlającego o bardzo szerokiej wiązce - w tym przypadku 105°. Dlatego układ oświetlający tworzą dwa odcinki paraboliczne. Parametry anten są następujące: zysk - 39 dB; szerokość wiązki (3 dB) - 1,1°; średnica głównego reflektora - 500 mm; głębokość głównego reflektora - 137 mm.

4. REALIZACJA DOŚWIADCZALNEJ LINII RADIOWEJ PASMA Q

Realizowana eksperymentalna linia radiowa jest zorientowana na azymut trasy satelitarnej satelity "Olympus" i pokrywa się z już pracującymi liniami 11 GHz i 18 GHz. Nadajnik umieszczono w Piasecznie, a punkt odbiorczy w Miedzeszynie - realizując trasę o długości 15,4 km. Dynamika mierzalnych zmian sygnału zależy od czułości odbiornika, zysków anten, mocy generatora i tłumienia wolnej przestrzeni. Dwie anteny - nadawczą i odbiorczą o zysku $G_N = G_O = 39$ dB umieszczono w odległości $R_L = 15,4$ km. Nadajnik ma moc 100 mW (20 dBm) i pracuje na częstotliwości 37115 MHz. Moc sygnału P_{os} odbieranego przez antenę odbiorczą z wymienionego wyżej urządzenia nadawczego określa wzór:

$$P_{os} = 10 \cdot \lg \left[\frac{P_N \cdot G_N \cdot G_O \cdot \lambda^2}{(4 \cdot \Pi)^2 \cdot R_L^2} \right]$$

Podstawiając dane liczbowe, gdzie $\lambda = 8,1$ mm, otrzymujemy:

$$P_{os} = -50 \text{ dBm} .$$

Przyjmując jako dolną granicę stosunek sygnał/szum 0 dB, mierzalny zakres zmian sygnału odbieranego wynosi 45 dBm (przy danej czułości odbiornika

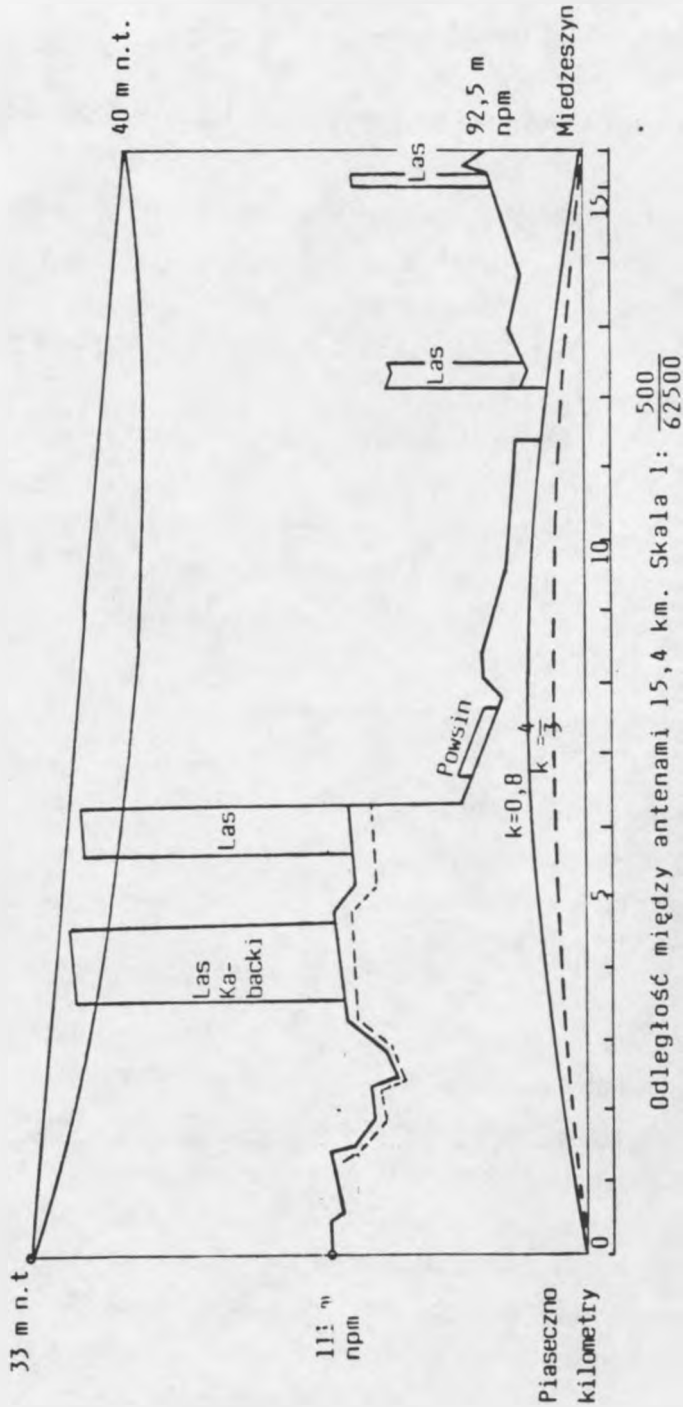
-95 dBm). A więc teoretycznie należy przewidywać [8, 11], że już przy intensywności deszczu większej od 15 mm/h, występującego na całej trasie, dynamika mierzalna linii będzie przekroczone. Nie ma jednak tak rozległych opadów o intensywności 15 mm/h. W tym przypadku można przewidywać opad przelotny o intensywności ok. 30-40 mm/h w postaci kolumny o średnicy ok. 3 km.

Nadajnik wraz z anteną umieszczono na dachu biurowca "Laminy" w Piasecznie, a konwerter wraz z anteną odbiorczą na wieży o wysokości 40 m w Miedzeszynie. Konwerter połączono przewodem współosiowym z odbiornikiem pomiarowym 80 MHz znajdującym się wraz z rejestratorem w laboratorium Instytutu.

Profil doświadczalnej trasy Piaseczno-Miedzeszyn przedstawiono na rys. 2. Wynika z niego, że dla rzeczywistego promienia Ziemi $R = 6370$ km i przy standardowej atmosferze, tj. przy równoważnym promieniu krzywizny Ziemi $R_z = (4/3) \cdot R$ trasa zachowuje widoczność bezpośrednią i całkowitą swobodę pierwszej strefy Fresnel'a. W warunkach subrefrakcji, wyrażanej zazwyczaj w obliczeniach projektowych współczynnikiem $k = 0,8$, widoczność bezpośrednia jest zachowana przy częściowym nieznaczonym naruszeniu I strefy Fresnel'a.

Wzdłuż trasy zainstalowano 4 deszczomierze, a wszystkie dane (tłumienie, natężenie opadu, temperatura, kierunek i siła wiatru) są rejestrowane na dysku komputera i następnie przetwarzane [9].

Jednak uruchomiona linia radiowa o częstotliwości 37115 MHz i długości trasy 15,4 km ma mierzalną dynamikę zmian sygnału mniejszą o 7 dB od wyliczonej. Wynika to zapewne stąd, że anteny nie mają katalogowego zysku, a parametry anten nie mogły być sprawdzone w Instytucie Łączności w normalnych warunkach pomiarowych. Drugim czynnikiem ograniczającym mierzalną dynamikę zmian sygnału jest zakłócanie pracy odbiornika przez stacje radiofoniczne UKF. Z tych względów ustawiono próg automatycznego dostrajania na 13 dB, w wyniku czego podwyższono dolną granicę pomiarów ze stosunku "sygnał/szum" równego 0 dB na 13 dB. Wobec tego, że maksymalny sygnał



Rys. 2. Profil trasy Piaseczno - Miedzeszyn

okazał się mniejszy o 7 dB, a próg pomiaru najmniejszych sygnałów podwyższono o 13 dB, przedział pomiarów zmalał do 25 dB.

5. WARUNKI PROPAGACYJNE NA TRASIE LINII RADIOWEJ PASMA Q

Decydującą rolę w tłumieniu sygnału odgrywa tłumienność międzyantenna, składająca się z dwu wielkości:

- tłumienności głównej, odpowiadającej tłumieniu sygnału na warunkach propagacji wolnej przestrzeni; dla trasy o długości 15,4 km i częstotliwości 37115 MHz wynosi ona 147,6 dB;
- tłumienności dodatkowej, powodowanej zanikami sygnału.

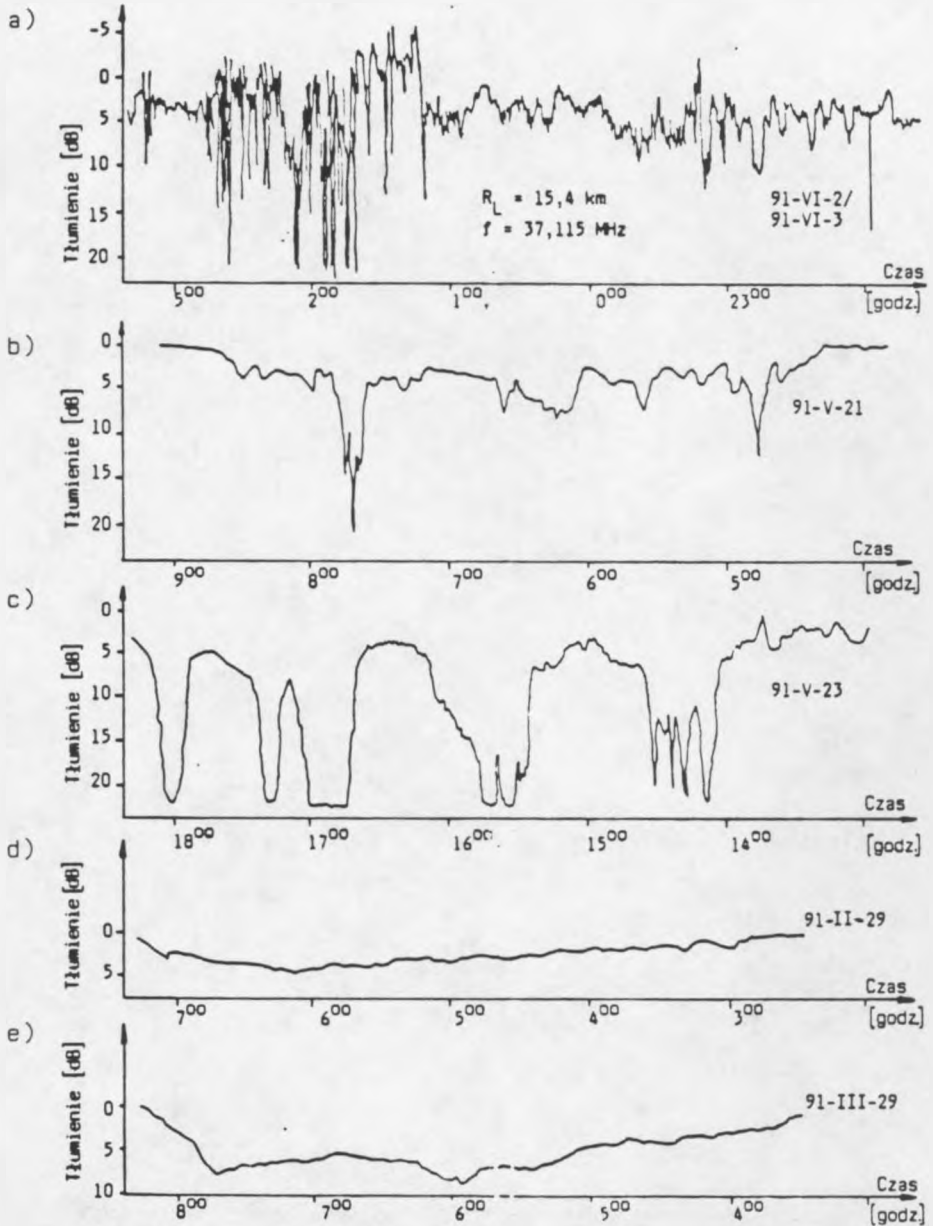
Tłumienność dodatkowa zmienia się w funkcji czasu oscylując wokół wartości zerowej w dobrych warunkach propagacyjnych i osiągając wartość nawet kilkudziesięciu decybeli w warunkach głębokich zaników. Wzrost tłumienności powoduje zmniejszenie się mocy sygnału na wejściu odbiornika i w konsekwencji wzrost mocy szumów w kanale.

Przykłady tłumienności dodatkowej na trasie eksperymentalnej linii pasma Q przedstawiono na rys. 3. Jest ona wywołana przez:

- a) zjawisko wielodrogowości (rys. 3a);
- b) opad deszczu (rys. 3b);
- c) opad gradu z deszczem (rys. 3c);
- d) opad śniegu (rys. 3d);
- e) mgłę (rys. 3e).

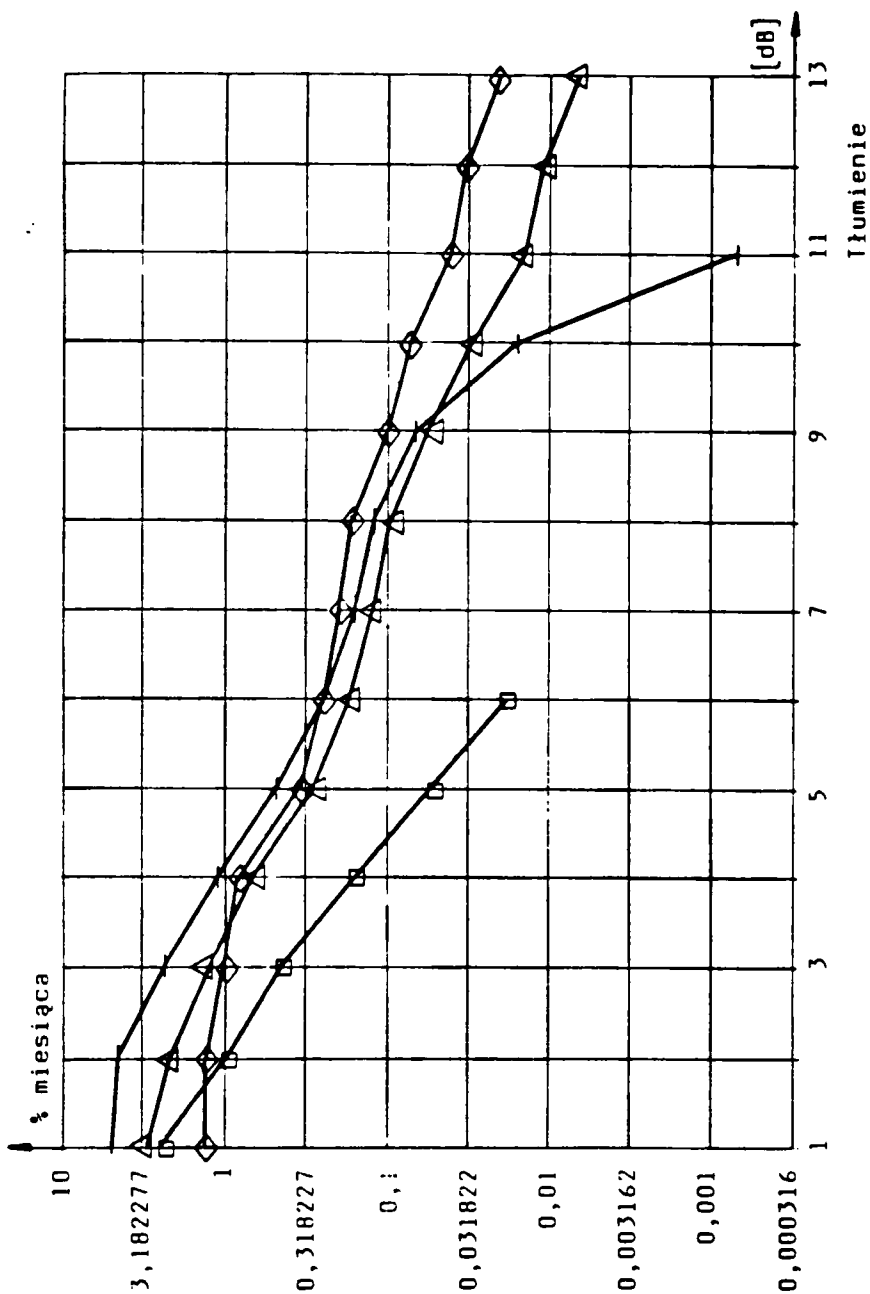
Miarą propagacji niezawodności linii radiowej jest prawdopodobieństwo przekroczenia danego tłumienia w określonym czasie. Właśnie w wyniku tych pomiarów otrzymuje się charakterystyki statystyczne przedstawiające procent czasu przekroczenia danego poziomu tłumienia. Na rys. 4 przedstawiono przykładowo rozkłady tłumień dla miesięcy zimowych (zima 1990/1991).

Z dotychczasowych pomiarów jest widoczna silna zależność tłumienia sygnału od warunków atmosferycznych panujących na trasie. Nawet niewielki opad deszczu czy śniegu powoduje już kilkudecybelowe tłumienia sygnału.



Rys. 3. Przebiegi tłumień zarejestrowane w eksperymentalnej linii radiowej pasma Q wywołane przez:

- a) zjawisko wielodrogowości; b) opad deszczu; c) opad deszczu z gradem;
d) opad śniegu; e) mgłę



Rys. 4. Rozkłady tłumień na trasie linii 37 GHz (zima 1990/91)
okresy: □ - 12.90; + - 01.91; ◇ - 02.91; △ - średnia

6. WNIOSKI

Uruchomiona linia doświadczalna 37 GHz umożliwia prowadzenie bardziej precyzyjnych badań propagacyjnych, niż pozwalają na to linie 12 GHz i 18 GHz. Obserwuje się, że nie tylko opad deszczu, ale śnieg czy zamglenia mają wyraźny wpływ na warunki propagacyjne. Można więc określić zależność tłumienia od tych zjawisk atmosferycznych.

Docelowo należałoby zwiększyć dynamikę mierzalnych zmian sygnału poprzez zastosowanie anten o większym zysku oraz przez skrócenie trasy, co obniży prawdopodobieństwo wystąpienia kolumny opadu przelotnego (w praktycznych rozwiązaniach długość odcinka linii w pasmie Q jest rzędu kilku kilometrów), względnie zmiany parametrów urządzeń linii, np. zwiększenie zysku anten. Również częstotliwość pierwszej pośredniej powinna być oddalona od zakłócających stacji UKF, a nadajnik musi mieć lepszą stabilizację temperaturową.

Otrzymane dotychczas wyniki pozwalają na zorientowanie się, z jakiego typu zjawiskami możemy mieć do czynienia w tym zakresie częstotliwości oraz poznanie wad opracowanej aparatury pomiarowej.

WYKAZ LITERATURY

1. CCIR: Rec. 697. Error performance objectives for the local-grade portion at each end of an isdn connection utilizing digital radio-relay systems. Düsseldorf 1990.
2. CCIR: Rep. 563-3. Radiometeorological data. Düsseldorf 1990.
3. CCIR: Rep. 719. Attenuation by atmospheric gases. Genewa 1982.
4. Faber M.T., Dobrowolski J., Markowski J.: Stabilized Ka-band CW transmitter. 9th Microwave Conference Mikon-91, Rydzyna 1991.
5. Faber M.T., Markowski J., Zimny K.: Subharmonically pumped Ka-band down converter. 9th Microwave Conference Mikon-91, Rydzyna 1991.
6. Hall M.P.M.: Effects of the troposphere on radio communication. Peter Peregrinus Ltd., New York 1979.
7. Instrukcja: Zestaw nadajnik-odbiornik fali ciągłej w pasmie Q (Ka). IPE Politechnika Warszawska, Warszawa 1989.

8. Kawecki A.: Kompleksowe badanie propagacji fal w liniach satelitarnych i horyzontowych. Biuletyn Informacyjny IL, nr 9-10, 1988.
9. Kawecki A., Bogucki J., Kocimowski B., Skonieczny W.: Doświadczalny ośrodek badań propagacji mikrofal na trasach horyzontowych i satelitarnych. Referaty Problemowe IL, z. 80, 1986.
10. Mathieu M.: Telecommunications par Faisceau hertzien. Dunod, Paris 1979.
11. Skonieczny W.: Pomiarы intensywności opadów deszczu dla potrzeb radiokomunikacji. Prace IL, nr 95, 1987.

Ян Богудки

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В ДИАПАЗОНЕ Q

Резюме

Приводятся параметры измерительной аппаратуры разработанной в НИО Варшавского Политехнического Института и в Институте Связи в г. Варшаве в сотрудничестве с Болгарией. Эта аппаратура обеспечивает реализацию экспериментальной радиорелейной линии продолжительностью в 15,4 км на частоте 37115 МГц.

Представлены предварительные результаты исследования радиоволя на этой трассе.

Jan Bogucki

EXAMINATION TESTS OF WAVE PROPAGATION IN THE Q BAND

Summary

In the paper, the parameters of the measuring apparatus, designed in IPE-PW and IL and worked out in cooperation with BRL, were presented. The apparatus has enabled the realization of the experimental radio link 15,4 km long and of the frequency 37115 MHz.

The preliminary results of the propagation tests on this route were also presented.

Jan Bogucki

**ESSAIS DE TEST DE LA PROPAGATION DES ONDES
DANS LA BANDE Q**

R é s u m é

L'article décrit les paramètres de l'appareillage d'essais élaboré par l'IPE de l'Université Technique (PW) de Varsovie et l'Institut de Télécommunication (IL) de Varsovie, dans le cadre de la coopération avec Bulgarie.

Cet appareillage a permis de réaliser une liaison expérimentale à faisceau hertzien de la longueur de 15,4 km et de fréquence de 37115 MHz. On démontré aussi des résultats intermédiaire des essais de la propagation de cette route.

Jan Bogucki

**VERSUCH DER PRÜFUNGEN DER WELLENAUSBREITUNG
IN DEM Q-BAND**

Z u s a m m e n f a s s u n g

In dem Artikel wurden die Parameter der im IPE-PW und IL und in Rahmen der Zusammenarbeit mit VRB bearbeiteten Messapparatur gegeben. Die Apparatur ermöglichte die Realisation der experimentalen Richtfunklinie mit der Länge 15,4 km und Frequenz 37115 MHz.

Es wurden auch die Vorresultate der Ausbreitungsmessungen auf dieser Strecke dargestellt.

Ryszard Floryński
Andrzej Sowa
Leszek Augustyniak

621.391.821

ZAKŁÓCENIA IMPULSOWE WYWOŁANE PRZEZ WYLADOWANIA ATMOSFERYCZNE

Przedstawiono opis matematyczny przebiegów czasowych prądu piorunowego oraz wartości podstawowych jego parametrów wraz z wynikami pomiarów impulsów elektromagnetycznych burzowych (LEMP) w warunkach naturalnych. Wskazano na metody obliczeń i opisy matematyczne napięć zakłóceń pochodzących od wyladowań atmosferycznych indukowanych w liniach sygnałowych, sieciowych i w obudowach wewnątrz budynku.

1. WPROWADZENIE

Zastosowanie elementów i układów półprzewodnikowych do budowy urządzeń telekomunikacyjnych spowodowało znaczne zmniejszenie ich wymiarów przy jednoczesnym zwielokrotnieniu możliwości ich działania. Nowo budowane urządzenia charakteryzuje jednak zmniejszona odporność na działanie impulsowych sygnałów zakłócających. Zagrożenie to związane jest z:

- bezpośrednim oddziaływaniem na urządzenia impulsowego pola elektromagnetycznego,
- działaniem udarów napięciowych/prądowych dochodzących do urządzeń z linii przesyłu sygnałów oraz z sieci zasilającej.

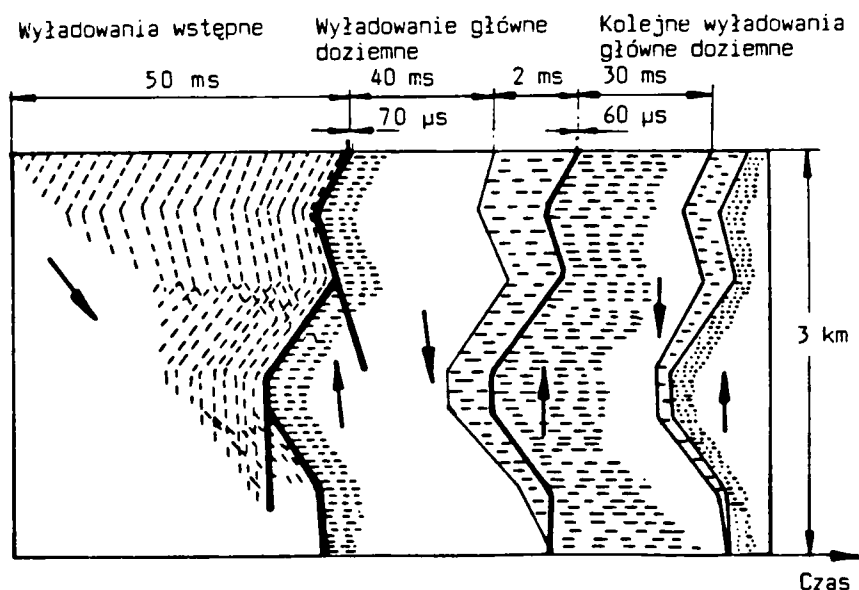
Podstawowym źródłem zakłóceń impulsowych, których zasięg działania obejmuje znaczne obszary, jest wyladowanie atmosferyczne. Uwzględniając ten fakt, w niniejszym artykule podjęto próbę kompleksowej analizy parametrów charakteryzujących impulsy wywołane przez wyladowania atmosferyczne. Przedstawione dane mogą być wykorzystane przy:

- ocenie zagrożenia piorunowego urządzeń telekomunikacyjnych,

- wyborze parametrów sygnałów testujących odporność udarową urządzeń,
- doborze elementów i układów zabezpieczających urządzenia.

Procesy fizyczne zachodzące podczas wyładowania atmosferycznego, które są źródłami impulsów elektromagnetycznych, można podzielić na następujące etapy.

1. Rozwijające się skokowo od centrum ładunku w chmurze do ziemi tzw. wyładowania wstępne. Wyładowania wstępne mogą również rozwinąć się od powierzchni ziemi w tzw. wyładowania oddolne.
2. Po pokonaniu przez wyładowania wstępne odległości między chmurą a ziemią następuje tzw. wyładowanie główne doziemne, charakteryzujące się przepływem prądów o dużych wartościach szczytowych w kanale wyładowania między chmurą a ziemią.
3. W utworzonym kanale mogą nastąpić kolejne wyładowania główne. Średnio w kanale występuje kilka wyładowań głównych.



Rys. 1. Rozwój doziemnego wyładowania atmosferycznego

Przykład rozwoju typowego wyładowania atmosferycznego, uwzględniający rozwój wyładowań wstępnych i wyładowań głównych, przedstawiono na rys. 1.

W czasie burzy występują również wyładowania w chmurach lub między chmurami. W przypadku takiego typu wyładowania można wyodrębnić także wyładowania wstępne i wyładowania główne.

2. IMPULSY ELEKTROMAGNETYCZNE POWSTAJĄCE PODCZAS BURZY

Ocena stopnia zagrożenia piorunowego elektronicznych urządzeń telekomunikacyjnych wymaga określenia wartości szczytowych oraz przebiegów czasowych impulsów natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wywołanych przez prądy udarowe, płynące w różnych fazach rozwoju wyładowania atmosferycznego. Rejestracje impulsów elektromagnetycznych powstających podczas burzy są prowadzone już od kilkudziesięciu lat, ale od kilku lat można zaobserwować gwałtowny wzrost zainteresowania wynikami tych pomiarów. Dotyczy to szczególnie rejestracji nanosekundowych zmian natężeń pól elektrycznego i magnetycznego. Zdaniem autorów, jest to związane nie tylko z faktem stosowania coraz bardziej wrażliwych urządzeń elektronicznych, ale także wynika z pewnego podobieństwa tych impulsów do impulsów elektromagnetycznych wytwarzanych przez eksplozje nuklearne. Równoległe z obserwacjami impulsów elektromagnetycznych są prowadzone analizy teoretyczne zjawisk zachodzących podczas burzy.

2.1. Wyniki pomiarów prowadzonych w warunkach naturalnych

Dotychczasowe obserwacje impulsów elektromagnetycznych powstających podczas burzy obejmowały najczęściej rejestracje impulsów wywołanych przez wyładowania główne. Dopiero od kilku lat są podejmowane również próby pomiarów zmian natężenia pola elektrycznego wywołanego przez rozwijające się wyładowania wstępne.

2.1.1. Impulsy elektromagnetyczne wywołane przez główne wyładowania doziemne

Rejestracje impulsów elektromagnetycznych wywołanych przez prądy wyładowań głównych LEMP (ang. Lightning Electro-Magnetic Puls) można podzielić na dwie grupy:

- równoczesne rejestracje zmian pól elektromagnetycznych oraz odległości pomiędzy aparaturą rejestrującą i miejscem uderzenia piorunu;
- rejestracje zmian pola elektromagnetycznego w różnych odległościach od stacji, w którą uderzały pioruny prowokowane.

Poniżej wypunktowano podstawowe informacje uzyskane podczas obserwacji LEMP.

1. Natężenie pola elektrycznego w pobliżu kanału wyładowania osiąga wartości kilkuset kV/m. Maksymalną zaobserwowaną wartość, ok. 400 kV/m, zarejestrowano w odległości kilku metrów od wieży uderzonej przez piorun. Na działanie tak silnych impulsów mogą być tylko narażone urządzenia pracujące w budynkach uderzonych przez piorun.
2. W miarę oddalania się od miejsca uderzenia piorunu wartości natężeń pola elektrycznego maleją i w odległości kilkudziesięciu metrów osiągają kilkadziesiąt kV/m.
3. Zasięg działania LEMP obejmuje znaczne obszary. Wyniki pomiarów wykazały możliwość wystąpienia natężeń pola elektrycznego o wartościach przekraczających 100 V/m w odległości kilku - kilkunastu km od miejsca uderzenia piorunu.
4. Średnio w kanale wyładowania występuje w odstępach ms kilka - kilkanaście wyładowań głównych. Wartości natężeń pól elektrycznych wywołanych przez kolejne wyładowania są mniejsze w porównaniu z tymi, jakie powstają podczas pierwszego wyładowania głównego w kanale (punkty 1, 2 i 3).

5. Otrzymane oscylogramy umożliwiają określenie wartości średnich czasów narastania natężenia pola elektrycznego w przypadku pierwszego i kolejnych wyładowań głównych w danym kanale.

Wyniki pomiarów zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Wartości charakteryzujące podstawowe parametry impulsowego pola elektromagnetycznego wywołanego przez wyładowania główne

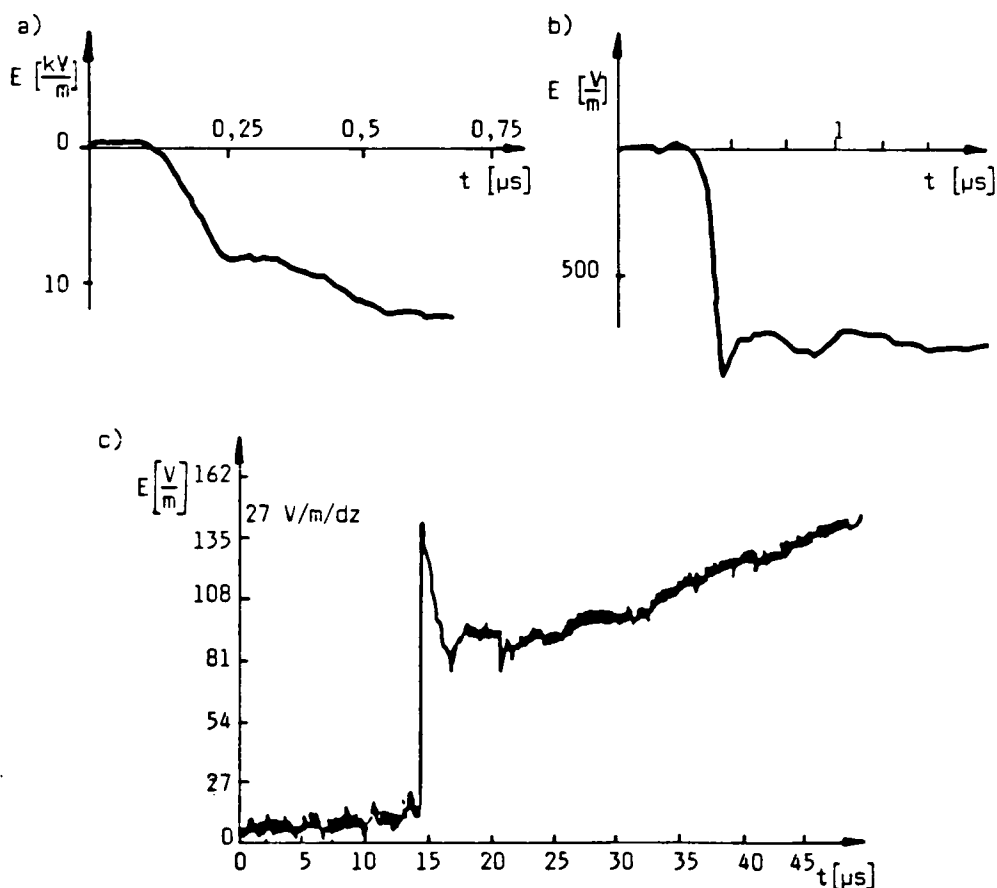
Parametr	Typ wyładowania	
	pierwsze wyładowanie główne	kolejne wyładowanie główne
Wartość szczytowa natężenia pola elektrycznego	kilkadziesiąt-kilkaset kV/m (kilka-kilkaset m od kanału)	kilka-kilkadziesiąt kV/m (kilka-kilkaset m od kanału)
Czas narastania natężenia pola elektrycznego	2,5 - 4 ^{*)} μ s	1 - 2 ^{*)} μ s
Wartość szczytowa natężenia pola magnetycznego	kilkaset A/m - kilka kA/m (kilka-kilkaset m od kanału)	kilkaset A/m - kilka KA/m (kilka-kilkaset m od kanału)
Czas narastania natężenia pola magnetycznego	kilka μ s	od dziesiątych części do kilku μ s
*) Podano wartości średnie.		

Należy zaznaczyć, że przedstawione wartości otrzymano analizując oscylogramy pełnych przebiegów zmian natężenia pól elektrycznych rejestrowanych podczas wyładowań głównych. Ograniczając zakres obserwacji tylko do szybkozmiennych części przebiegów LEMP, stwierdzono, że występują dwie fazy zmian podczas narastania pola elektrycznego:

- 1) faza wolnozmienna, trwająca w przypadku pierwszego wyładowania głównego od 2 μ s do 8 μ s, podczas której natężenie pola elektrycznego zmienia się od 0 do 50% wartości maksymalnej;
- 2) faza szybkich zmian, w której obserwuje się trwające 100-200 ns gwałtowne narastanie natężenia pola elektrycznego do wartości maksymalnej; w przypadku kolejnego wyładowania głównego faza wolnozmienna trwa

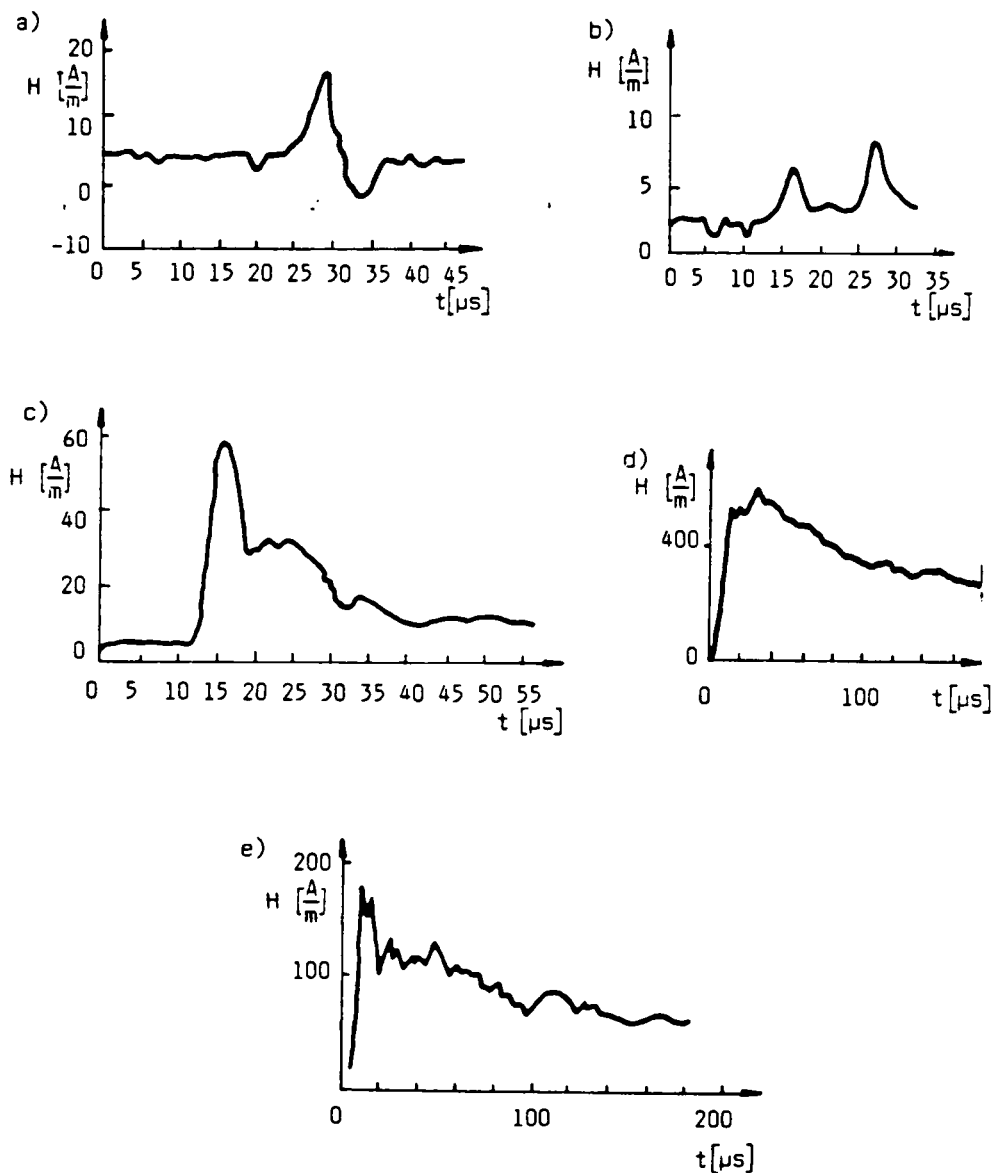
$0,5 + 1 \mu\text{s}$, a natężenie pola elektrycznego narasta do 20% wartości maksymalnej. Czasy trwania fazy drugiej wynoszą od 100 ns do 200 ns.

Przykładowe oscylogramy przedstawiające charakter zmian składowej pionowej natężeń pól elektrycznych podano na rys. 2. Natomiast przykłady zmian natężenia pola magnetycznego wywołanego przez przepływ prądów piorunowych zaprezentowano na rys. 3.



Rys. 2. Przebiegi składowej pionowej natężenia pola elektrycznego

a) odległość 50 m od kanału wyładowania; b) odległość 5 km od kanału wyładowania;
c) odległość 10 km od kanału wyładowania



Rys. 3. Przykłady zarejestrowanych przebiegów składowej poziomej natężenia pola magnetycznego

a), b), c) pole w odległości ponad 2 km od miejsca uderzenia piorunu; d), e) pole w bliskiej, kilkudziesięciometrowej, odległości od kanału wyładowania

Tablica 2

Podstawowe parametry charakteryzujące przebieg zmian natężenia pola elektrycznego promieniowanego przez wyladowania wstępne

Źródło danych	Fazy rozwoju wyladowania wstępnego	Czas narastania	Czas do półszczytu	Czas trwania	Wartość amplitudy ^{*)}	Czas między impulsami
E.P. Krider G.J. Radda [38, 64]	środkowa	3 + 10 μ s	3 + 10 μ s	15 + 40 μ s	0,1 (0,07)	-
	końcowa	0,4 + 5 μ s średnio 1 μ s	1 + 3 μ s	2 + 10 μ s	0,11 (0,04)	10 + 20 μ s
E.P. Krider i inni [38]	środkowa ^{**)}	0,2 (0,3) μ s	0,4 (0,5) μ s	-	-	15,9 (25) μ s
	końcowa	-	-	-	0,13 (0,07)	6,5 (7,8) μ s
M.A. Uman [65]	środkowa	0,1 μ s	-	1 μ s	-	50 μ s
V. Cooray V. Scuka [13]	blisko chmur	0,1 + 0,5 μ s	0,3 + 10 μ s	-	-	10 + 50 μ s
	środkowa	0,3 + 0,5 μ s	0,4 + 2 μ s	-	-	5 μ s
	w chmurze	1 + 5 μ s	10 μ s	-	-	10 + 50 μ s

^{*)} Wartości szczytowa natężenia pola elektrycznego wywołane przez wyladowania wstępne porównano z wartościami szczytowymi wywołanymi przez wyladowania główne.

^{**) Podano wartości otrzymane z dwóch stanowisk pomiarowych, jedna z wartości w nawiasie.}

2.1.2. Wyładowania wstępne

Główne wyładowanie doziemne jest poprzedzone wyładowaniami wstępnymi rozwijającymi się skokowo od chmury burzowej do ziemi. W wyniku takiego procesu powstaje od kilkunastu do kilkudziesięciu impulsów pola elektromagnetycznego, których amplitudy są znacznie mniejsze w porównaniu z impulsami, jakie wywołują główne wyładowania doziemne. Impulsy te powodują najczęściej jedynie zakłócenia w pracy czułych urządzeń cyfrowych. W tabelicy 2 zestawiono wartości podstawowych parametrów charakteryzujących zarejestrowane przebiegi natężenia pola elektrycznego wywołanego przez wyładowania wstępne. W większości przypadków zaobserwowano znaczne różnice pomiędzy przebiegami wywołanymi przez wyładowania wstępne zachodzące w sąsiedztwie chmur burzowych oraz wyładowania wstępne w pobliżu powierzchni ziemi, bezpośrednio poprzedzające wyładowania główne. Analizując krytycznie dane podane w tabl. 2 należy stwierdzić, że otrzymane wartości są najczęściej odczytywane z oscylogramów przedstawiających zmiany pola zachodzące podczas całego procesu wyładowania. Wyznaczenie z takich oscylogramów czasu charakteryzującego zmiany natężenia pola wywołanego przez wyładowania wstępne jest bardzo trudne i mało dokładne.

2.1.3. Wyładowania w chmurze lub między chmurami

Impulsy elektromagnetyczne wywołane przez wyładowania w chmurze burzowej lub między chmurami można podzielić na dwie grupy

- a) impulsy jednobiegunowe o przeciętnym czasie narastania czoła ok. $0,2 \mu\text{s}$ i czasie trwania ok. $0,75 \mu\text{s}$; w czasie trwającym od $100 \mu\text{s}$ do $400 \mu\text{s}$ impulsy te występują regularnie w odstępach czasowych wynoszących ok. $5 \mu\text{s}$;
- b) impulsy o dwubiegunowym charakterze zmian i znacznie większych amplitudach w porównaniu z impulsami z punktu a); przeciętny czas trwania takiego impulsu wynosi ok. $63 \mu\text{s}$, a odstęp czasowy między impulsami ok. $680 \mu\text{s}$.

Wstępnie wysunięto hipotezę, że impulsy o krótkich czasach trwania (grupa a) są wywołane przez wyładowania wstępne podobne do tych, jakie występują w czasie wyładowań doziemnych. Wyładowania te formują przewodzący kanał, w którym zaczynają płynąć prądy o dużych amplitudach wytwarzające wolnozmiennie impulsy pola elektrycznego (grupa b).

2.2. Metody wyznaczania impulsów elektromagnetycznych wywołanych przez wyładowania atmosferyczne

W przypadku wyładowań głównych do opisu matematycznego zachodzących zjawisk są wykorzystywane:

- tzw. model klasyczny [26, 64],
- model zaproponowany przez F. Heidlera [31, 32].

Złożoność procesów zachodzących podczas wyładowania głównego spowodowała konieczność przyjęcia w obu modelach następujących założeń upraszczających:

- wyładowanie piorunowe odbywa się nad idealnie przewodzącą ziemią,
- fala prądowa porusza się w kanale wyładowania wzdłuż osi z w prostokątnym układzie współrzędnych,
- kanał, w którym płynie prąd piorunowy jest prostopadły do płaszczyzny ziemi.

Podstawowym zadaniem procedur obliczeniowych jest określenie w dowolnym punkcie $P(r, \varphi, h)$ składowych natężeń pola elektromagnetycznego wywołanego przez prąd uderowy poruszający się wzdłuż kanału wyładowania. Prowadząc takie obliczenia należy mieć podstawowe dane charakteryzujące przebiegi czasowe prądów piorunowych pierwszego i kolejnych wyładowań głównych.

2.2.1. Wartości podstawowych parametrów charakteryzujących przebiegi czasowe prądów piorunowych

Poniżej rozpatrzono tylko te parametry, które są czynnikami zagrożenia dla telekomunikacyjnych urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Nie będzie

omawiane zagrożenie piorunowe ludzi, gdyż nie jest to tematem niniejszego artykułu.

Ocena zagrożenia piorunowego urządzeń wymaga określenia następujących wartości prądu piorunowego:

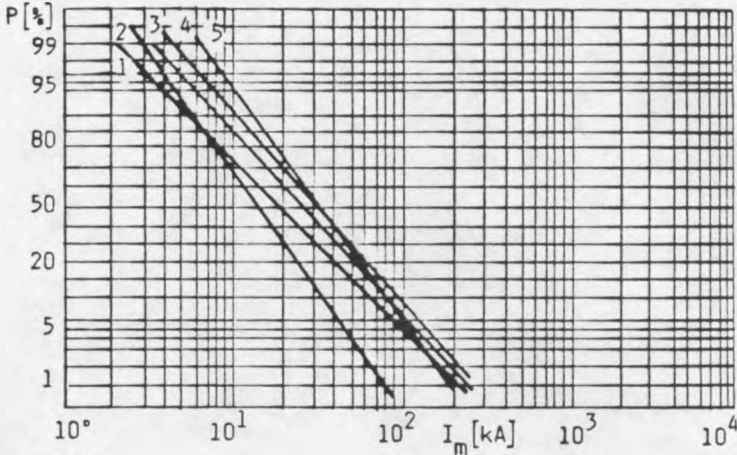
- wartości szczytowej I_m ,
- maksymalnej stromości narastania $S_{max} = (di_p/dt)_{max}$,
- ładunku przenieszonego przez prąd $Q = \int i_p dt$,
- impulsu kwadratu prądu $W = \int i_p^2 dt$ (energia właściwa wydzielona przez prąd piorunowy na rezystancji 1Ω).

W niektórych przypadkach są wykorzystywane również parametry uzupełniające, do których należą:

- czas trwania czoła T_1 i czas trwania do półszczytu na grzbiecie fali prądu piorunowego T_2 ,
- liczba udarów prądowych w wyładowaniu wielokrotnym.

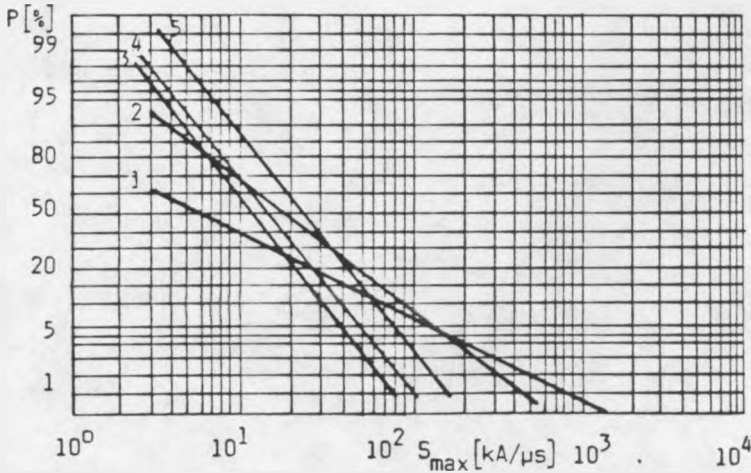
Wartości przedstawionych parametrów są rozłożone w sposób losowy. Różnorodność typów wyładowań, rozkładów ładunku w kanale wyładowania i w chmurze oraz warunków geograficznych powoduje, że dostępne dane doświadczalne służą najczęściej do wykreślania rozkładów statystycznych wartości powyższych parametrów. Dokładne, wyznaczone na podstawie dostępnych danych, rozkłady statystyczne następujących wartości I_m , S_{max} , Q , W oraz T_1 , T_2 pokazano na rys. 4+9.

Podjmuje się próby uzależnienia wartości szczytowych i przebiegów czasowych prądu piorunowego od wymaganego poziomu niezawodności działania urządzeń elektronicznych lub prawdopodobieństwa występowania takich prądów w warunkach naturalnych. Wartości podstawowych parametrów charakteryzujących prąd piorunowy pierwszego i kolejnego głównego wyładowania doziemnego, określane w dostępnych zaleceniach lub normach, przedstawiono w tabl. 3 i 4. W przypadku oceny zagrożenia piorunowego urządzeń elektronicznych podstawowe znaczenie mają wartości I_m i S_{max} oraz wzajemne



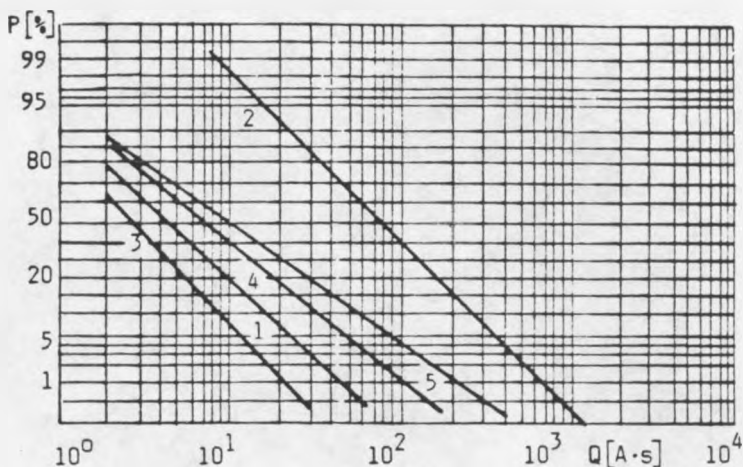
Rys. 4. Rozkłady wartości szczytowego prądu piorunowego wyladowania doziemnego wg danych:

- 1 - N.Cianosa i E.Pierce'a [19], 2 - G.Browna i S.Thunandera [19], 3 - F.Popolanskiego [54],
4 - K. Bergera [9], 5 - R.B. Andersona i S. Thunandera [3]



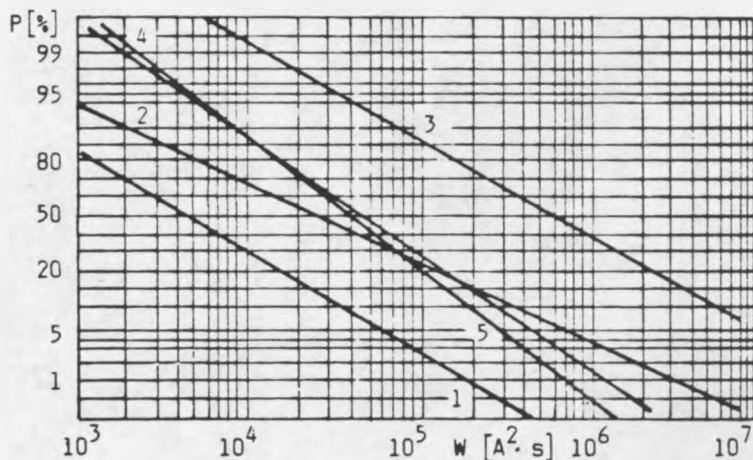
Rys. 5. Rozkłady maksymalnych stromości narastania prądu piorunowego wg danych:

- 1 - F.Popolanskiego [54], 2 - O.A. Kulijewa [65], 3 - K.Bergera i H.Kroningera (pierwsza składowa prądu) [8], 4 - F.Garbagnatego (pierwsza składowa prądu) [20,21], 5 - N. Cianosa i E.T.B. Pierce'a [19]



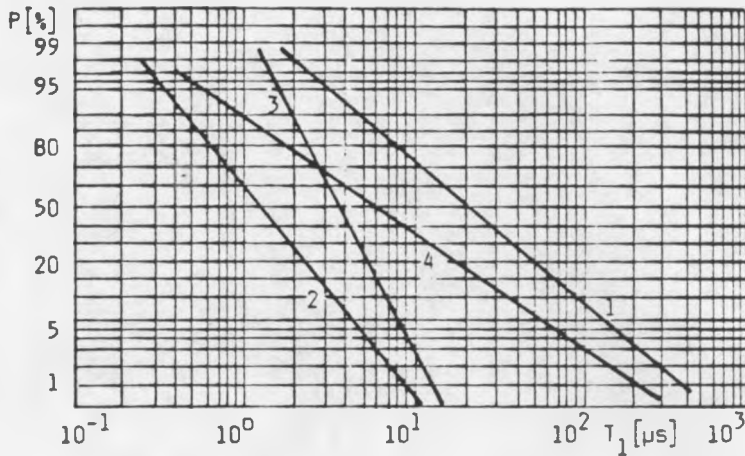
Rys. 6. Rozkłady wartości ładunku przenieszonego przez wyładowania piorunowe wg danych:

1 - E. Garbagnatego [20, 21], 2 - K. Bergera [9], 3 - K. Bergera i H. Kroningera [21], 4 - projektu zaleceń międzynarodowych, 5 - K. Bergera i H. Kroningera [8]



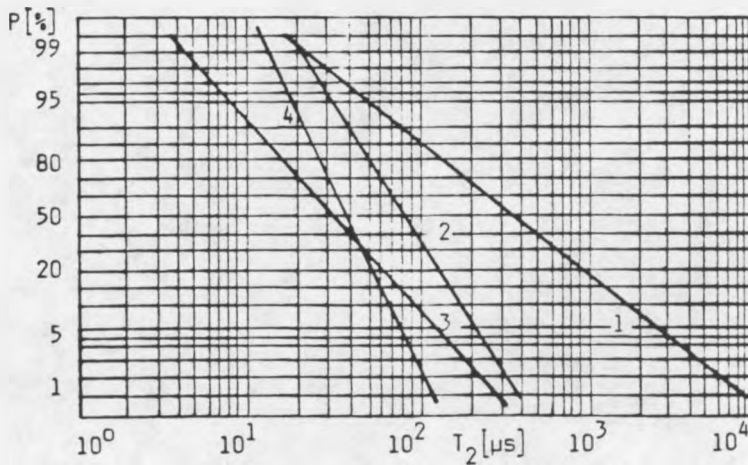
Rys. 7. Rozkłady wartości energii właściwej wyładowania piorunowego wg danych:

1 - K. Bergera [9], 2 - projektu zaleceń międzynarodowych [19], 3 - K. Bergera [9], 4 - E. Garbagnatego [20], 5 - K. Bergera [9]



Rys. 8. Rozkłady wartości czasu trwania czosła impulsu prądowego wyładowań piorunowych wg danych:

1 i 2 - K. Bergera [9], 3 - G. Ikedy [34], 4 - E. Garbagnatiego [20]



Rys. 9. Rozkłady wartości czasu do półszczytu na grzbiecie uderu piorunowego wg danych:

1 i 2 - K. Bergera [9], 3 - G. Ikedy [34], 4 - E. Garbagnatiego [20]

Tablica 3

Zalecane wartości podstawowych parametrów charakteryzujących przebiegi prądu piorunowego pierwszego wyładowania głównego

Zalecenie lub norma	Amplituda [kA]	Szybkość narastania [kA/ μ s]	Czas czosła [μ s]	Czas do półszczytu [μ s]	Ładunek [C]	Impuls
SEV 4022(1987)	w.s. ^{*)} w.m.	20 200				
VG - 96900	100 200					
IEC/TC 81	200 150 100		10 10 10	350 350 350	100 75 50	10 MJ/ Ω 5,6 2,5
Zal. włoskie	10-30 250	10 >80	2 30	40 250	2,5 20	
Zal. niemieckie (wyl. ujemne)	70 80 100	40 60 100	10 8 5	200 200 200		
Zal. niemieckie (wyl. dodatnie)	300 400 500	7 10 15	70 60 50	500 500 500		

^{*)} - w.s. wartość średnia, w.m. wartość maksymalna,

^{**)} - p. 95%, p. 98% odpowiednio prawdopodobieństwo wystąpienia 95% i 98%,

^{***)} - p. I, p. II, p. III odpowiednio poziomy stwarzanego zagrożenia,

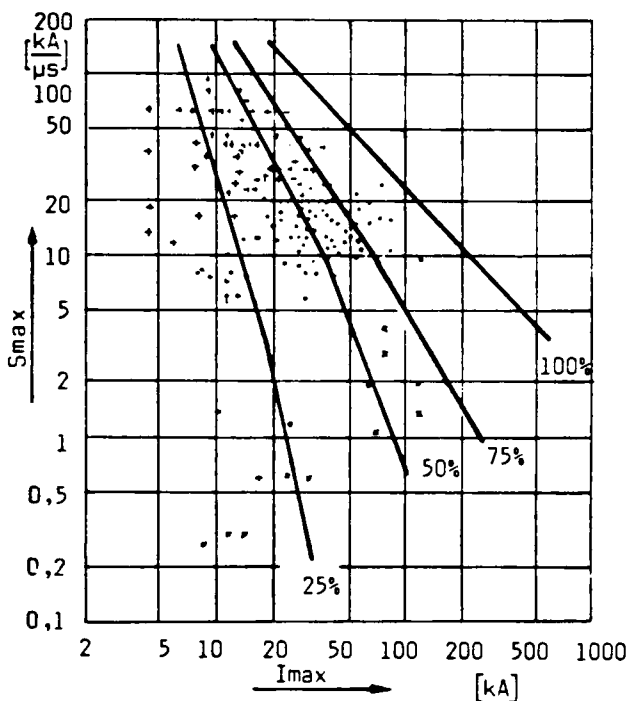
^{****)} - n, w, e odpowiednio wartości wynikające z poziomów niezawodności działania urządzeń, gdzie: n - niski poziom niezawodności; w - wysoki; e - bardzo wysoki.

Tablica 4

Zalecane wartości podstawowych parametrów charakteryzujących przebiegi prądu piorunowego kolejnych wyładowań głównych ujemnych

Zalecenie lub norma	Amplituda [kA]	Szybkość narastania [kA/ μ s]	Czas czoła [μ s]	Czas do półszczytu [μ s]	Ładunek [C]	Impuls
VG - 96900	25					
p. 95%***						
p. 98%	50					
IEC/TC 81	50			100		
p. I****			0,25			
p. II	37,5		0,25	100		
p. III	25		0,25	100		
Zal. niemieckie	30	30	0,30	150		
n****)						
w	40	150	0,25	150		
e	50	200	0,25	150		
Oznaczenia jak w tabl. 3.						

zależności między tymi wartościami. Dotychczasowe próby określenia wzajemnych relacji między tymi wartościami nie dały zadowalających wyników [19, 21, 64]. Można jedynie zauważyć, że następuje zmniejszanie maksymalnej szybkości narastania prądu, jeżeli wzrasta jego wartość szczytowa. Przykładowe wyniki pomiarów, których celem było powiązanie parametrów I_m i S_{max} , zestawiono na rys. 10.



Rys. 10. Zarejestrowane dane [19, 61] przedstawiające zależności między wartościami szczytowymi prądu piorunowego a maksymalnymi stromościami jego narastania

- - ujemne pierwsze wyładowanie główne; + - ujemne kolejne wyładowanie główne;
- x - wyładowanie dodatnie

Zaprezentowane na rys. 10 dane próbowano uporządkować kreśląc krzywe, które obejmowały 25%, 50%, 75% i 100% zarejestrowanych wartości. Do rozważań teoretycznych przyjmowano, że wyładowanie piorunowe o wartościach parametrów wyznaczonych przez krzywą 100% stanowi tylko ok. 1%

ogólnej liczby wyladowań i wartości te są najczęściej przyjmowane do analizy zagrożenia piorunowego urządzeń elektronicznych. Uwzględniając przedstawione dane na rys. od 4 do 10 oraz dane w tabl. 3 i 4 przyjęto, że do celów obliczeniowych najbardziej odpowiednie będą wartości zestawione w tabelicy 5. Jest to propozycja wstępna i podane wartości można zmienić, jeśli wyniki prowadzonych rejestracji prądów piorunowych wykażą taką konieczność.

Tabela 5

Wstępnie ustalone wartości podstawowych parametrów
charakteryzujących przebiegi prądu piorunowego

Parametr	Rodzaj wyladowania	
	pierwsze wyladowanie główne	kolejne wyladowanie główne
Amplituda [kA]	wartość średnia 100 wartość max. 200	wartość średnia 25 wartość max. 50
Szybkość narastania prądu [kA/ μ s]	wartość średnia 20 wartość max. 100	wartość średnia 50 wartość max. 200
Czas czola [μ s]	10	0,25
Czas do półszczytu [μ s]	350	350
Ładunek [C]	wartość średnia 50 wartość max. 200	wartość średnia 20 wartość max. 50
Impuls kwadratu prądu	wartość średnia 5 wartość max. 10	wartość średnia 2 wartość max. 5

2.2.2. Opis matematyczny przebiegu czasowego prądu piorunowego

Prowadzenie nawet prostych analiz teoretycznych wymaga opisanego przebiegu prądu piorunowego równaniem umożliwiającym:

- możliwie dokładne odwzorowanie jego rzeczywistego przebiegu,
- łatwe wykorzystanie w prowadzonych obliczeniach.

Najczęściej wykorzystywane równania zestawiono w tabelicy 6, w której przedstawiono zarówno równania opisujące cały przebieg prądu piorunowego, jak i równania opisujące oddzielnie przebieg czola oraz grzbietu tego prądu.

Tablica 6

Równania opisujące przebieg prądu piorunowego

Lp.	Źródło danych	Równanie	Zalecane wartości współczynników	
			pierwsze wyładowanie główne	kolejne wyładowanie główne
1.	[1, 19, 27, 35, 67]	$i(t) = k \cdot I_m (e^{-\alpha_1 t} - e^{-\beta_1 t})$	brak zalecanych danych	brak zalecanych danych
2.	[31, 32, 33]	$i(t) = \frac{I_m}{\eta} \frac{(t/T)^n}{1 + (t/T)^n} e^{-t/\tau}$	brak zalecanych danych $I_m = 100$ kA - normalny $I_m = 200$ kA - wysoki $\eta = 0,93$, $T = 19 \mu s$ $n = 10$, $\tau = 485 \mu s$	$I_m = 25$ kA - normalny $I_m = 50$ kA - wysoki $\eta = 0,993$, $T = 0,454$ $n = 10$, $\tau = 143 \mu s$
3.	[19]	- czoło prądu piorunowego $i(t) = I_m \exp \left[-\frac{\alpha_1 t - T_1 }{T_1} \right]$ - grzbiet prądu $i(t) = I_m \exp \left[-\frac{\alpha_2 t - T_1 }{T_2 - T_1} \right]$	$T_1 = 10 \mu s$, $T_2 = 50 \mu s$ $\alpha_1 = 3$, $\alpha_2 = 0,7$	$T_1 = 1 \mu s$, $T_2 = 50 \mu s$ $\alpha_1 = 3$, $\alpha_2 = 0,7$
4.	[60]	$i(t) = \sum_{i=1}^n t^{\gamma_i} A_i e^{-\alpha_i t}$	$n = 4$, $V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = 2$ $A_1 = 100500$ A/ μs^2 , $\alpha_1 = 0,99$ 1/ μs $A_2 = 390$ A/ μs^2 , $\alpha_2 = 0,063$ 1/ μs $A_3 = 2100$ A/ μs^2 , $\alpha_3 = 0,18$ 1/ μs $A_4 = 14500$ A/ μs^2 , $\alpha_4 = 0,41$ 1/ μs	$n = 4$, $V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = 2$ $A_1 = 270000$ A/ μs^2 , $\alpha_1 = 3,3$ 1/ μs $A_2 = 40000$ A/ μs^2 , $\alpha_2 = 1,26$ 1/ μs $A_3 = 4800$ A/ μs^2 , $\alpha_3 = 0,44$ 1/ μs $A_4 = 360$ A/ μs^2 , $\alpha_4 = 0,125$ 1/ μs

Zestawiając dane do tabl. 5 pominięto, wykorzystywany w początkowych opracowaniach, opis matematyczny zakładający skokową zmianę prądu piorunowego od wartości 0 do wartości maksymalnej i utrzymywanie się tej wartości w czasie poruszania się fali prądowej w kanale wyładowania. Pominięto także opis matematyczny, który umożliwiał otrzymanie przebiegu prądu narastającego liniowo od wartości 0 do wartości maksymalnej, a następnie liniowo opadający. Są to przebiegi obecnie nie stosowane do analizy zagrożenia piorunowego urządzeń elektronicznych i telekomunikacyjnych. Należy również zauważyć, że do opisu przebiegu czasowego prądu piorunowego są wykorzystywane także równania będące drobnymi modyfikacjami równań przedstawionych w tabl. 6. Wśród takich modyfikacji występują następujące równania:

$$i_p(t) = I_0(e^{-a \cdot t} - e^{-b \cdot t}) + I_1(e^{-\gamma \cdot t} - e^{-\delta \cdot t}) \quad (1)$$

$$i_p(t) = I_1(e^{-a_1 \cdot t} - e^{-b_1 \cdot t}) + I_2 \cdot e^{-\gamma_1 \cdot t} \quad (2)$$

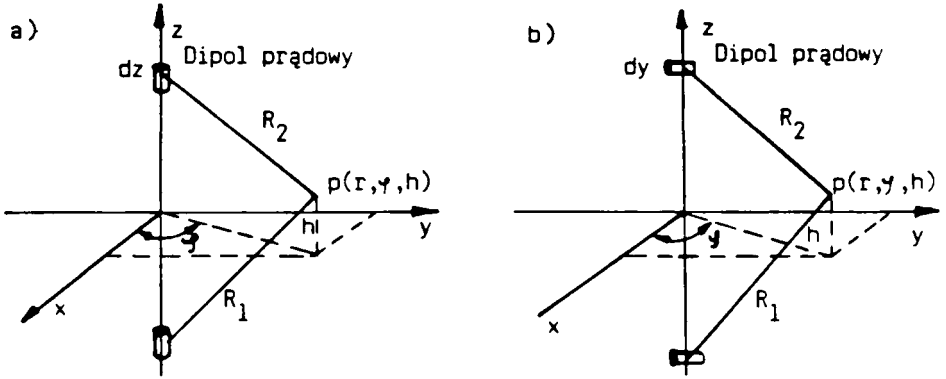
$$i_p(t) = I_3(e^{-a_2(t \cdot T_0)} - e^{-b_2(t \cdot T_0)^2}) \quad (3)$$

$$i_p(t) = \frac{I_4}{e^{-(t-t_0)/\tau_f} + e^{(t-t_0)/\tau_r}} \quad (4)$$

Wśród równań zaprezentowanych w tabl. 6 do obliczeń przepięć atmosferycznych są wykorzystywane najczęściej równania 2 i 4.

2.3. Modele matematyczne głównego doziemnego wyładowania piorunowego

Niezależnie od przyjętego modelu rozwoju głównego wyładowania doziemnego podstawowym elementem procedur obliczeniowych jest określenie w dowolnym punkcie P przestrzeni składowych natężeń pola elektrycznego i magnetycznego wywołanych przez dipole prądowe nad powierzchnią ziemi (rys. 11a,b).



Rys. 11. Układ przestrzenny dipol prądowy - punkt $P(r, \varphi, h)$
 a) dipol pionowy; b) dipol poziomy

Uwzględniając opóźnienie powstające podczas pokonania przez fale elektromagnetyczne odległości dipol prądowy - punkt $P(r, \varphi, h)$ poszczególne składowe natężenia pola elektrycznego i magnetycznego określają zależności:

- dipol pionowy

$$\begin{aligned}
 E_r(t) = & \frac{dz}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{(h-z) \cdot r}{c_0^2 \cdot R_2^3} \cdot \frac{d}{dt} \cdot i\left(t - \frac{R_2}{c_0}\right) + \frac{3(h-z) \cdot r}{c_0 R_2^4} \cdot i\left(t - \frac{R_2}{c_0}\right) \right. \\
 & + \frac{3(h-z) \cdot r}{R_2^5} \int_0^t i\left(\tau - \frac{R_2}{c_0}\right) d\tau + \frac{(h+z) \cdot r}{c_0^2 R_1^3} \cdot \frac{d}{dt} i\left(t - \frac{R_1}{c_0}\right) \\
 & \left. + \frac{3(h+z) \cdot r}{c_0 R_1^4} i\left(t - \frac{R_1}{c_0}\right) + \frac{3(h+z)}{R_1^5} \int_0^t i\left(\tau - \frac{R_1}{c_0}\right) d\tau \right] \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_z(t) = & \frac{dz}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{2(h-z)^2 - r^2}{c_0 R_2^4} i\left(t - \frac{R_2}{c_0}\right) - \frac{r^2}{c_0^2 R_2^3} \cdot \frac{d}{dt} i\left(t - \frac{R_2}{c_0}\right) \right. \\
 & + \frac{2(h-z)^2 - r^2}{R_2^5} \int_0^t i\left(\tau - \frac{R_2}{c_0}\right) d\tau + \frac{2(h+z)^2 - r^2}{c_0 R_1^4} \cdot i\left(t - \frac{R_1}{c_0}\right) \\
 & \left. - \frac{r^2}{c_0^2 R_1^3} \cdot \frac{d}{dt} i\left(t - \frac{R_1}{c_0}\right) + \frac{2(h+z)^2 - r^2}{R_1^5} \int_0^t i\left(\tau - \frac{R_1}{c_0}\right) d\tau \right] \quad (6)
 \end{aligned}$$

$$H_{\varphi}(t) = \frac{dz}{4\pi} \left[\frac{r}{c_0 R_2^2} \frac{d}{dt} I\left(t - \frac{R_2}{c_0}\right) + \frac{r}{R_2^3} I\left(t - \frac{R_2}{c_0}\right) + \frac{r}{c_0 R_1^2} \frac{d}{dt} I\left(t - \frac{R_1}{c_0}\right) + \frac{r}{R_1^3} I\left(t - \frac{R_1}{c_0}\right) \right] \quad (7)$$

- dipol poziomy

$$E_r(t) = \frac{dy}{4\pi c_0} \cdot \cos \varphi \left[\left(\frac{3r^2}{R_2^4} - \frac{1}{c_0 R_2^2} \right) i\left(t - \frac{R_2}{c_0}\right) - \left(\frac{r^2}{c_0^2 R_2^3} + \frac{1}{c_0 R_2} \right) \frac{d}{dt} i\left(t - \frac{R_2}{c_0}\right) + \left(\frac{1}{R_2^3} - \frac{3r^2}{R_2^5} \right) \int_0^t i\left(\tau - \frac{R_2}{c_0}\right) d\tau + \left(\frac{3r^2}{R_1^4} - \frac{1}{c_0 R_1^2} \right) i\left(t - \frac{R_1}{c_0}\right) - \left(\frac{r^2}{c_0^2 R_1^3} + \frac{1}{c_0 R_1} \right) \frac{d}{dt} i\left(t - \frac{R_1}{c_0}\right) + \left(\frac{1}{R_1^3} - \frac{3r^2}{R_1^5} \right) \int_0^t i\left(\tau - \frac{R_1}{c_0}\right) d\tau \right] \quad (8)$$

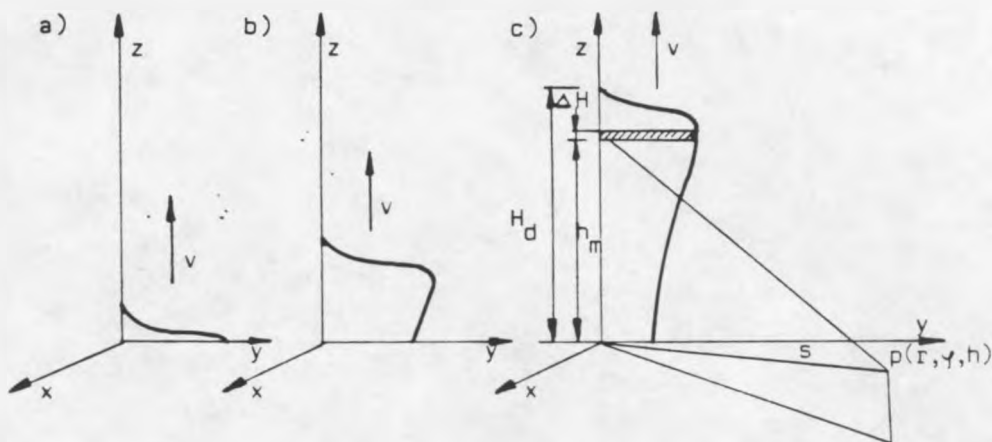
$$E_z(t) = \frac{dy}{4\pi \epsilon_0} \cdot \cos \varphi \left[\frac{(h-z)r}{c_0^2 R_2^3} \frac{d}{dt} i\left(t - \frac{R_2}{c_0}\right) + \frac{3(h-z)r}{c R_2^4} i\left(t - \frac{R_2}{c_0}\right) + \frac{3(h-z)r}{R_2^5} \int_0^t i\left(\tau - \frac{R_2}{c_0}\right) d\tau + \frac{(h+z)r}{c_0^2 R_1^3} \frac{d}{dt} i\left(t - \frac{R_1}{c_0}\right) + \frac{3(h+z)r}{c_0 R_1^4} i\left(t - \frac{R_1}{c_0}\right) + \frac{3(h+z)r}{R_1^5} \int_0^t i\left(\tau - \frac{R_1}{c_0}\right) d\tau \right] \quad (9)$$

$$E_{\varphi}(t) = -\frac{dy}{4\pi \epsilon_0} \cdot \sin \varphi \left[-\frac{1}{c_0 R_2^2} i\left(t - \frac{R_2}{c_0}\right) + \frac{1}{c_0^2 R_2^2} \frac{d}{dt} i\left(t - \frac{R_2}{c_0}\right) + \frac{1}{R_2^3} \int_0^t i\left(\tau - \frac{R_2}{c_0}\right) d\tau + \frac{1}{c_0 R_1^2} i\left(t - \frac{R_1}{c_0}\right) - \frac{1}{c_0^2 R_1^2} \frac{d}{dt} i\left(t - \frac{R_1}{c_0}\right) - \frac{1}{R_1^3} \int_0^t i\left(\tau - \frac{R_1}{c_0}\right) d\tau \right] \quad (10)$$

2.3.1. Model klasyczny rozwoju wyładowania atmosferycznego

W modelu klasycznym głównego wyładowania doziemnego zakładano, że fala prądowa porusza się od ziemi do chmury z prędkością v mniejszą od

prędkości światła c_0 ($v < c_0$). Schematycznie zjawiska zachodzące w modelu klasycznym przedstawiono na rys. 12.



Rys. 12. Klasyczny model rozwoju wyładowania atmosferycznego

a) $t = 0$; b) $t_0 > s/c_0$; c) $T_d > t_0$

Obserwacje zmian natężenia pola elektromagnetycznego rozpoczynają się w chwili $t = 0$, w której prąd piorunowy wpływa do kanału wyładowania. Skróczona prędkość poruszania się fali elektromagnetycznej w przestrzeni powoduje, że impuls elektromagnetyczny pojawi się w dowolnym punkcie, np. w punkcie $P(r, \varphi, h)$, dopiero po upływie czasu t_0 ($t_0 > s/c_0$). W dowolnej chwili $T_d > t_0$ impuls ten wywołany jest przez prąd $i_p(t)$, który przepłynął wzdłuż kanału wyładowania odcinek od ziemi do wysokości H_d [60]:

$$H_d = \frac{T_d(c_0^2/v) - \sqrt{c_0^2 \cdot T_d^2 + s^2 c_0^2/v^2 - s^2}}{(c_0/v)^2 - 1} \quad (11)$$

W kolejnym etapie prowadzonej analizy należy podzielić część kanału, w której płynie prąd piorunowy, na odcinki o założonej długości ΔH i opisać prądy płynące w poszczególnych odcinkach. Wartość prądu i_{hm} płynącego na odcinku ΔH na wysokości $h_m = m \cdot \Delta H$ (rys. 12) wyznacza zależność:

$$i_{hm} = i_p(t) \quad (12)$$

gdzie:

$$t_m = T_d - \left[\left(\frac{h_{m1} + h_m}{2v} \right) + \frac{\sqrt{s^2 + [(h_{m1} + h_m)/2]^2}}{c_0} \right] \quad (13)$$

$$h_{m1} = (m + 1) \cdot \Delta H$$

W analogiczny sposób określono pochodną prądu di_{nm}/dt oraz całkę $\int_0^{t_m} i_{nm} dt$.

Do określenia natężenia pola elektromagnetycznego wywołanego przez prąd i_{nm} płynący w odcinku ΔH kanału wyładowania należy wykorzystać równania opisujące pole elektromagnetyczne promieniowane przez dipol prądowy. W chwili T_d całkowitą wartość natężenia pola elektrycznego i magnetycznego otrzymujemy w wyniku superpozycji natężeń wytworzonych przez prądy płynące we wszystkich odcinkach, na które został podzielony kanał wyładowania.

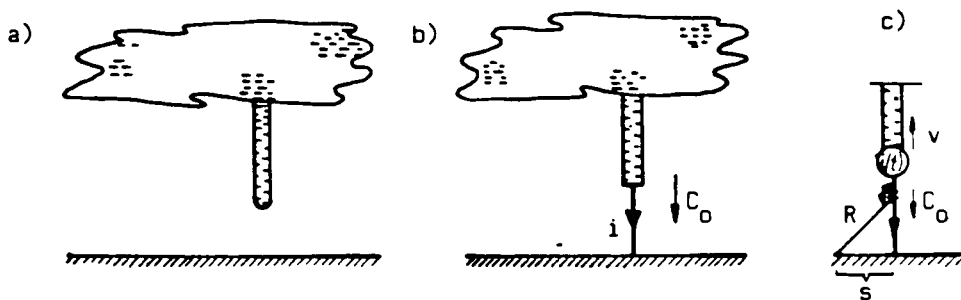
2.3.2. Model poruszającego się źródła prądowego

Odmienny model matematyczny, opisujący zjawiska zachodzące podczas głównego wyładowania doziemnego, opracował F. Heidler [31, 32]. W modelu tym przyjęto, że w kanale wyładowania od powierzchni ziemi do chmury porusza się z prędkością v_x źródło fali prądowej. Fala prądowa wytworzona przez to źródło porusza się w kierunku przeciwnym - od źródła prądowego do ziemi - z prędkością światła c_0 (rys. 13).

W punkcie na powierzchni ziemi zależności określające składowe natężenia pól magnetycznego i elektrycznego wywołanych przez poruszającą się falę prądową określają równania:

- składowa pozioma natężenia pola magnetycznego H_φ

$$H_\varphi = - \frac{1}{2\pi} \int_0^{h_x} \frac{\sin\theta}{c_0 R_{nx}} \frac{di_p(tm)}{dt} dz - \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{s}{c_0} \cdot \frac{v_x}{s^2 + h_x^2} \cdot i_p(t_{m1/h}) - \frac{1}{2\pi} \int_0^{h_x} \frac{\sin\theta}{R^2} i_p(t_m) dz \quad (14)$$



Rys. 13. Model rozwoju wyładowania atmosferycznego wykorzystujący zasadę poruszającego się źródła prądowego

a) rozwijające się od chmury wyładowania wstępne; b) rozwijające się wyładowanie główne; c) schematyczne przedstawienie poruszania się fali prądowej wyładowania głównego

- składowa pionowa natężenia pola elektrycznego E_z

$$E_z = \frac{1}{2\Pi\epsilon_0} \int_0^{h_x} \frac{\sin^2\theta}{c_0^2 R} \frac{di_p(t_m)}{dt} dz + \frac{1}{2\Pi\epsilon_0} \frac{s^2}{c_0^2} \frac{v_x}{(\sqrt{s^2 + h_x^2})^3} i_p(t_{m/h}) +$$

$$+ \frac{1}{2\Pi\epsilon_0} \int_0^{h_x} \frac{3\sin^2\theta - 2}{c_0 R^2} i_p(t_m) dz + \frac{1}{2\Pi\epsilon_0} \int_0^{h_x} \frac{3\sin^2\theta - 2}{R^3} \int_{t_{mz}}^{t_m} i_p(\tau) d\tau dz$$
(15)

gdzie:

$$h_x(t) = \frac{v}{c_0^2 - v^2} \left(c_0^2 \cdot t - \sqrt{v^2 c_0^2 \cdot t^2 + c_0^2 \cdot s^2 - v^2 s^2} \right)$$

$$V_x(t) = \frac{v}{1 - (v/c_0)^2} \left(1 - \frac{v^2 \cdot t}{\sqrt{v^2 c_0^2 t^2 + c_0^2 s^2 - v^2 s^2}} \right)$$

$$t_{m/z} = t - R/c_0 + z/c_0 \quad t_{m/h} = h_x(1/v + 1/c_0)$$

$$z = v(t - R/c_0)$$

Wyznaczając przybliżone przebiegi natężenia pola elektrycznego i magnetycznego powyższe zależności można uprościć do postaci podanej w tabelicy 7.

Tabela 7

Uprozczone zależności określające składowe pola elektromagnetycznego
wywołanego przez prąd piorunowy

Uprozczone zależności określające pole elektromagnetyczne	
w pobliżu kanału wyładowania $s < 100$ m [33]	w dalszej odległości od kanału $s > 100$ m [33]
$H_{\varphi}(t) = \frac{1}{2\pi s} \cdot \frac{v^t \cdot t}{\sqrt{(v^t \cdot t)^2 + s^2}} \cdot i_o(t)$ $E_z(t) = \frac{1}{2\pi \epsilon_o} \cdot v^t \int_0^t \frac{\tau \cdot i_o(\tau) d\tau}{(\sqrt{(v^t \cdot \tau)^2 + s^2})^3}$ $+ \frac{i_o(t)}{2c_o} \left\{ \frac{3v^t \cdot t}{s^2 + (v^t \cdot t)^2} - \frac{1}{s} \arctg\left(\frac{v^t \cdot t}{s}\right) \right\}$ $+ \frac{1}{c_o s} \left\{ k i_o(kt) - i_o(t) \right\}$	$H_{\varphi}(t) = \frac{1}{2\pi s} \frac{v^t \cdot t \cdot i_o(t)}{\sqrt{(v^t \cdot t)^2 + s^2}}$ $+ k \cdot i_o(kt) - i_o(t)$ $E_z(t) = \frac{1}{c_o s} \left\{ k \cdot i_o(kt) - i_o(t) \right\}$

W prowadzonych obecnie analizach o wykorzystywaniu jednego z powyższych modeli decydują w większości przypadków przyzwyczajenia prowadzącego obliczenia, a nie względy merytoryczne. Trudno także porównywać otrzymywane wyniki, gdyż do opisu prądu piorunowego w przedstawionych modelach są wykorzystywane najczęściej odmienne funkcje. W modelu klasycznym są to funkcje dwuwykładnicze, a w poruszającym się źródle prądowym - funkcja opisana równaniem:

$$i(t) = \frac{I_m}{\eta} \frac{(t/T)^{\eta}}{1 + (t/T)^{\eta}} e^{-t/\tau}$$

W przygotowanych przez autorów programach komputerowych istnieje możliwość przeprowadzenia obliczeń natężenia pola elektrycznego i magne-

tycznego za pomocą obu modeli i dowolnej funkcji opisującej falę prądową wyładowania atmosferycznego.

Analiza otrzymanych wyników wykazała, że:

- a) w promieniu od kilku do kilkuset metrów od miejsca uderzenia piorunu wyznaczone za pomocą obu modeli przebiegi natężenia pola magnetycznego i elektrycznego wykazują nieznaczne różnice;
- b) w bliskim sąsiedztwie kanału wyładowania obliczone przebiegi natężenia pola magnetycznego są prawie identyczne jak przebiegi wyznaczone za pomocą prostej zależności:

$$H(t) = \frac{i_p(t)}{2\pi r}$$

gdzie:

$i_p(t)$ - przebieg prądu piorunowego,

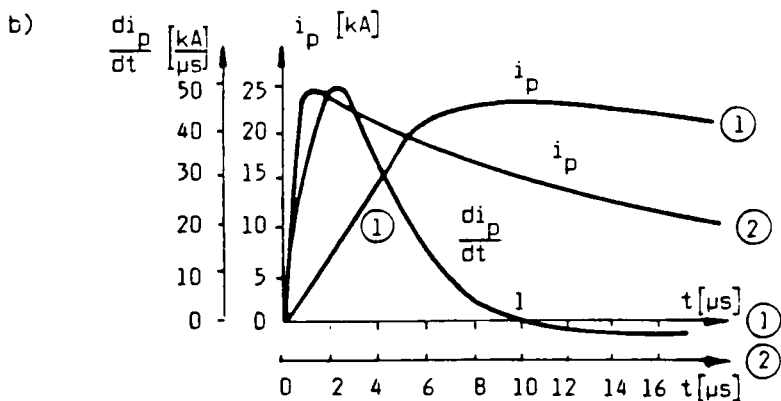
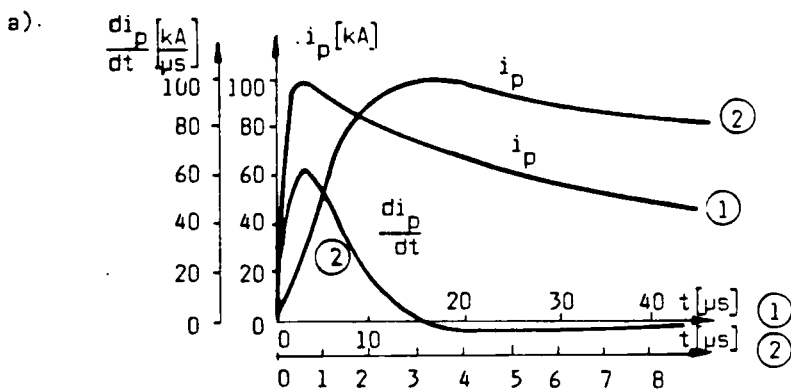
r - odległość pomiędzy kanałem wyładowania a punktem, w którym obliczano natężenia pola magnetycznego;

- c) wzrost odległości pomiędzy kanałem a punktem, w którym obliczano natężenie pola elektromagnetycznego, powoduje zwiększanie różnic pomiędzy przebiegami wyznaczonymi za pomocą przedstawionych modeli zachodzących zjawisk;
- d) w miarę wzrostu odległości od miejsca uderzenia piorunu charakter zmian natężenia pola elektromagnetycznego jest coraz bardziej uzależniony od składników związanych z pochodną po czasie funkcji opisującej przebieg prądu piorunowego; fakt ten powoduje wzrost szybkości narastania obliczonych przebiegów; bardziej gwałtowny charakter zmian wykazują przebiegi obliczone za pomocą modelu wyładowania wykorzystującego poruszające się źródło fali prądowej.

Przykłady obliczonych przebiegów natężeń pól magnetycznego i elektrycznego wywołanych przez prąd głównego wyładowania doziemnego podano na

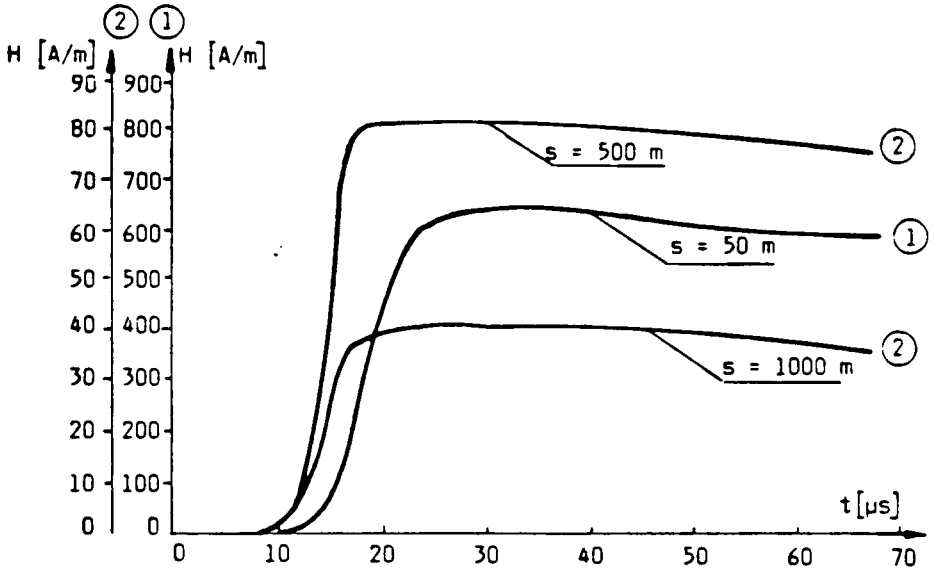
rys. 15 + 20. Na rys. 14 + 17 oznaczono liczbami ① i ② przebiegi oraz osie, w których zostały one przedstawione. W prowadzonych obliczeniach zastosowano przebiegi czasowe pokazane na rys. 14, które otrzymano wykorzystując równanie:

$$I(t) = \sum_{k=1}^n t^{n_k} A_k e^{-a_k t}$$

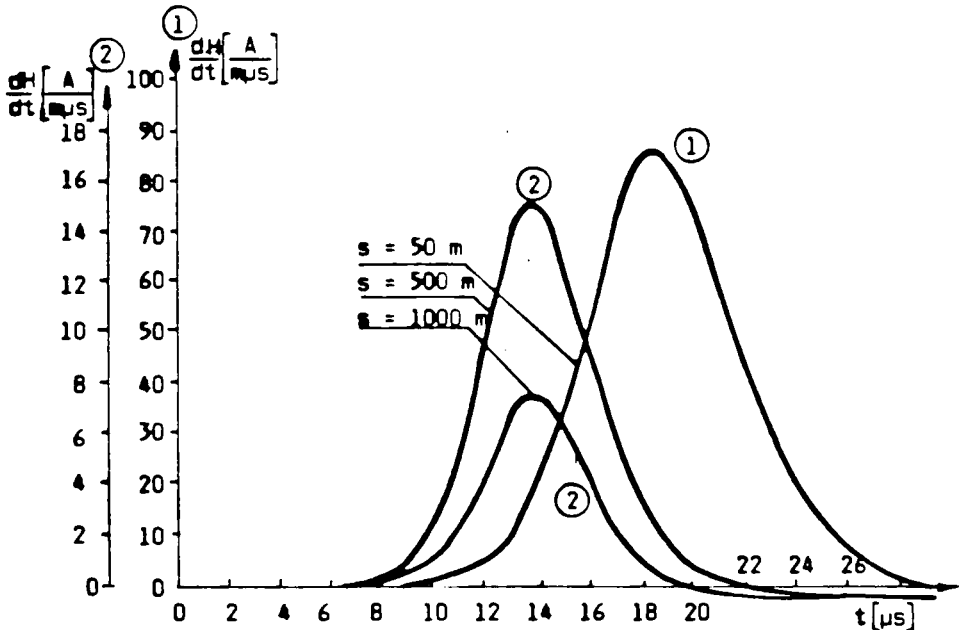


Rys. 14. Przebiegi czasowe prądów piorunowych

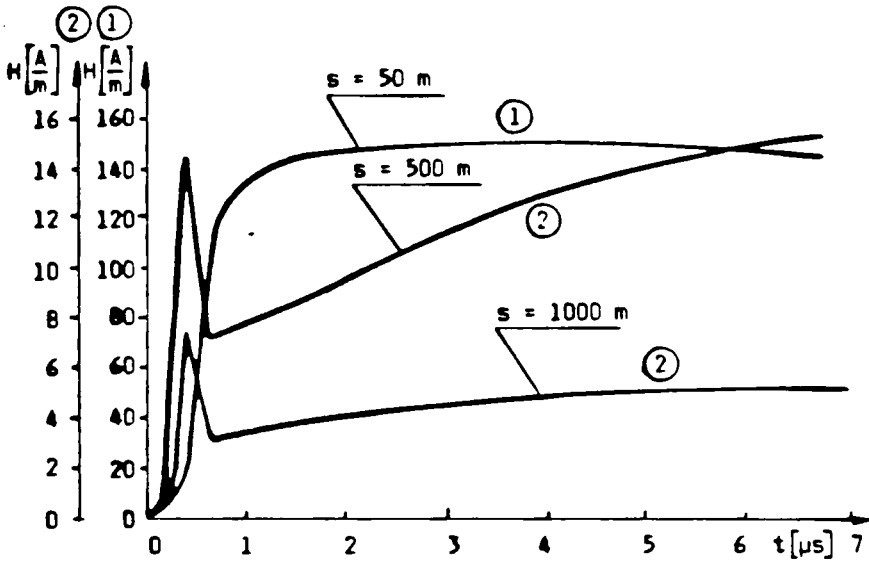
a) pierwsze wyładowanie główne w kanale; b) kolejne wyładowanie główne w kanale



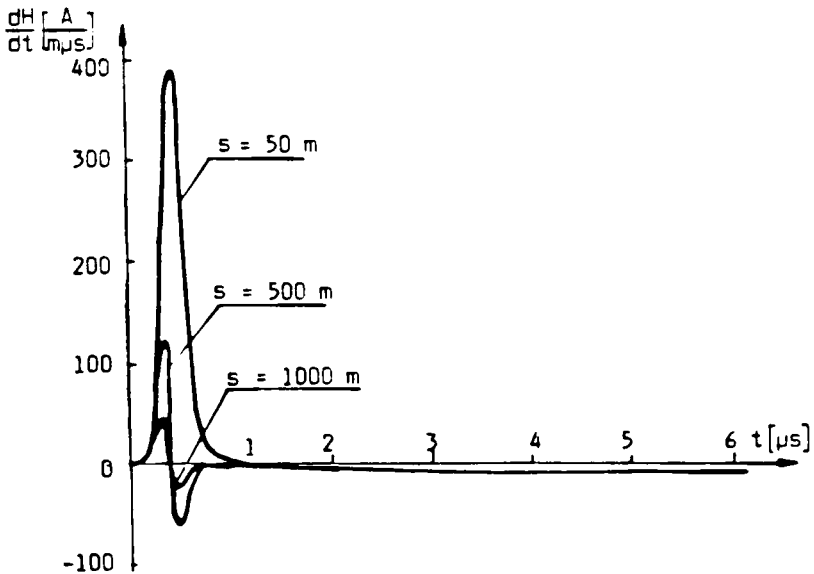
Rys. 15. Przebiegi natężenia pola magnetycznego wywołanego przez wyładowanie główne w różnych odległościach od miejsca uderu



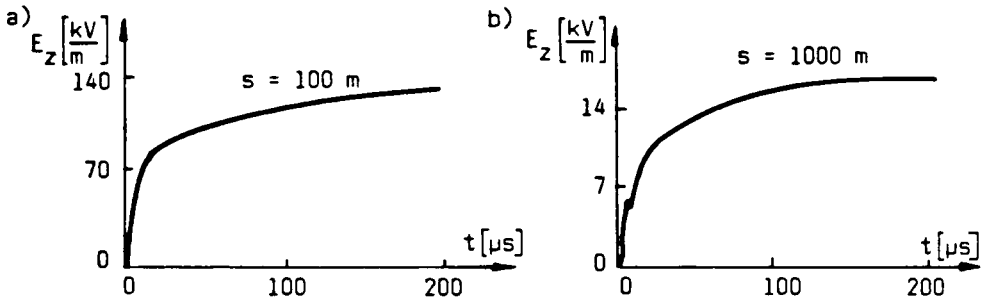
Rys. 16. Przebiegi pochodnej po czasie natężenia pola magnetycznego wywołanego przez wyładowanie główne



Rys. 17. Przebiegi zmian natężenia pola magnetycznego wywołanego przez kolejne wyładowanie główne

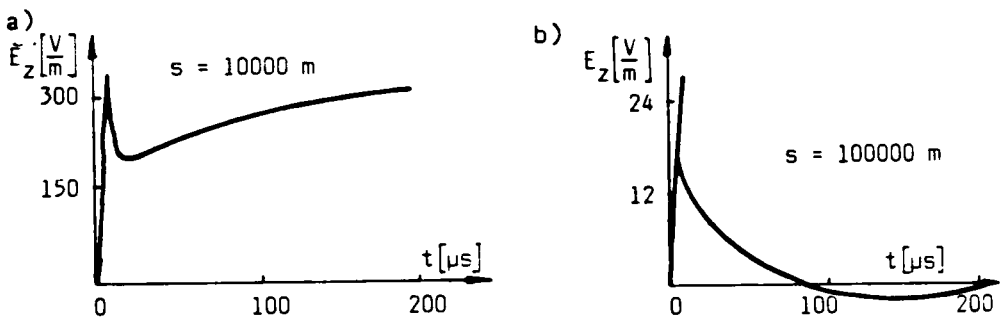


Rys. 18. Przebiegi pochodnej po czasie natężenia pola magnetycznego wywołanego przez kolejne wyładowanie główne



Rys. 19. Przebiegi składowej pionowej natężenia pola elektrycznego wywołanego przez pierwsze wyładowanie główne (bliskie odległości)

a) w odległości $s = 100 \text{ m}$; b) $s = 1000 \text{ m}$



Rys. 20. Przebiegi czasowe składowej pionowej natężenia pola elektrycznego wywołanego przez pierwsze wyładowanie główne (dalekie odległości)

a) w odległości $10\,000 \text{ m}$; b) w odległości $100\,000 \text{ m}$

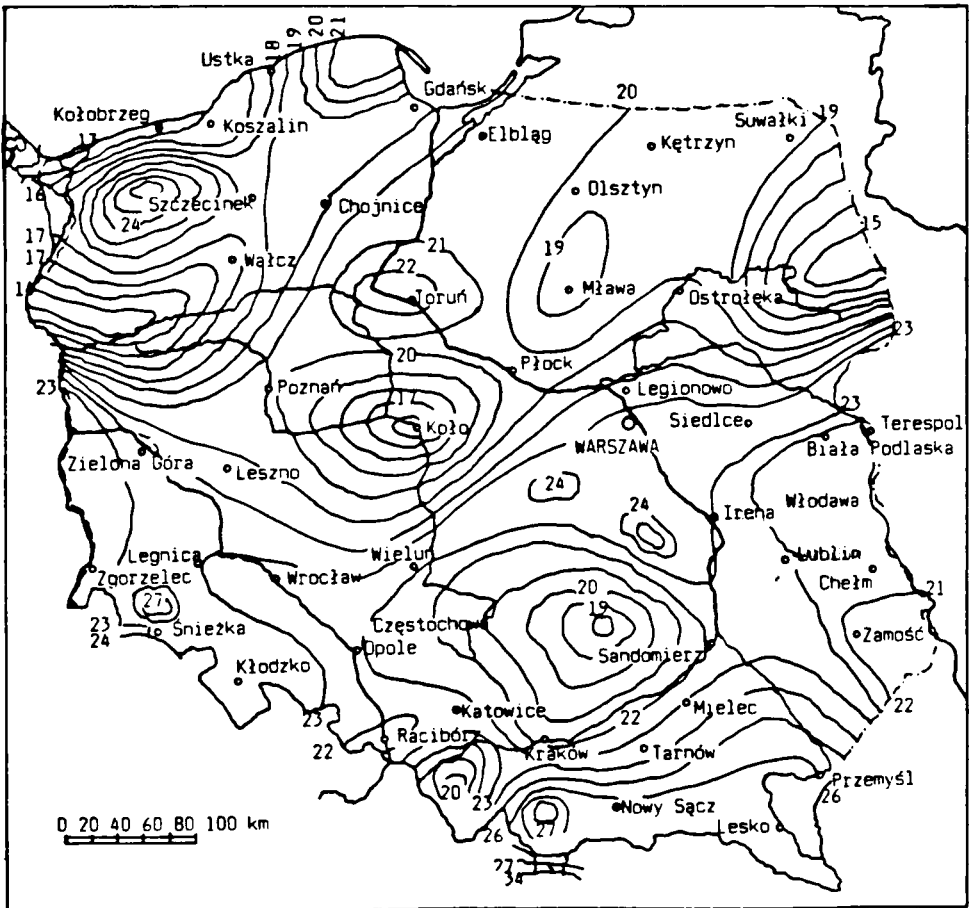
2.4. Liczba uderzeń prądowych w wielokrotnym wyładowaniu głównym

Istnienie wielu centrów ładunku w chmurze burzowej sprawia, że najczęściej procesy zachodzące podczas wyładowania atmosferycznego nie kończą się na pojedynczym wyładowaniu głównym. W większości przypadków po pierwszym głównym wyładowaniu doziemnym występują kolejne wyładowania. Przeciętny odstęp między poszczególnymi wyładowaniami głównymi wynosi od 33 ms do 80 ms [8, 26]. Odsetek pojedynczych wyładowań określany jest na

ok. 20%. Maksymalna liczba wyładowań wynosi od 40 do 50. Przeciętnie w wyładowaniu wielokrotnym występuje od 3 do 4 wyładowań składowych.

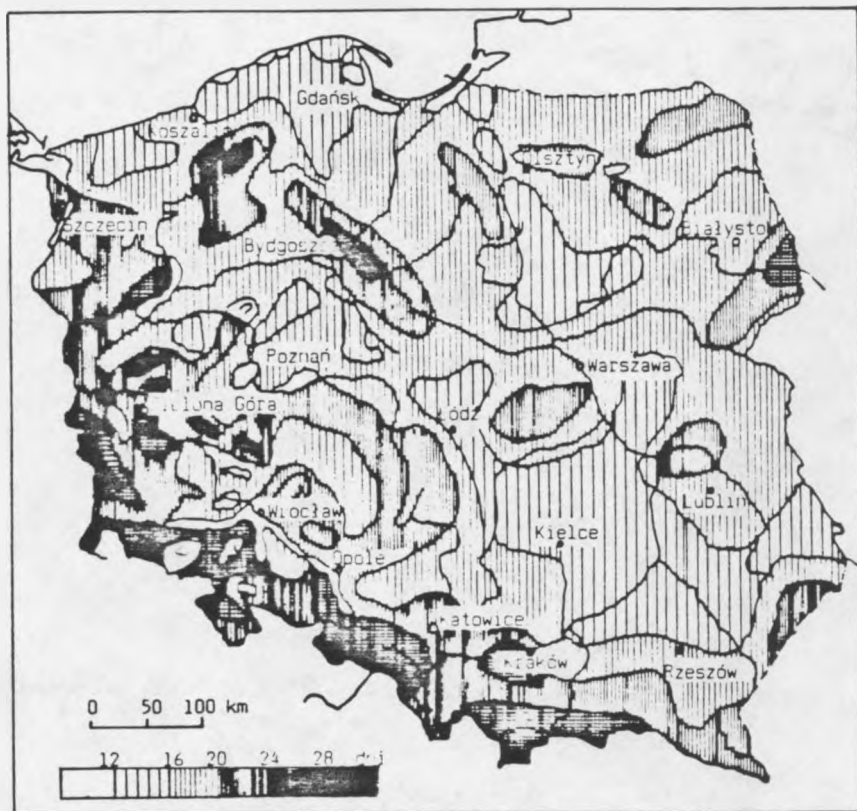
2.4.1. Częstość wyładowań piorunowych w ziemi

Stopień zagrożenia piorunowego telekomunikacyjnych urządzeń elektronicznych jest ściśle związany z intensywnością (aktywnością) burzową na danym terenie. Początkowo intensywność burzową oceniano na podstawie



Rys. 21. Mapa burzowa Polski obejmująca lata 1946 - 1955

obserwacji liczby dni burzowych, jakie występują na danym terenie w ciągu roku. Otrzymane wyniki obserwacji pozwalały opracować mapy burzowe, na których oznaczano linie izokerauniczne, łączące obszary o jednakowej liczbie dni burzowych w ciągu roku. W Polsce obserwacje dni burzowych prowadzono dwukrotnie. Po raz pierwszy przez 40 lat do roku 1930 [19, 35], a następnie przez 10 lat do roku 1955 [19, 35]. Otrzymane wyniki obserwacji zaprezentowano na rys. 21 i 22. Dla niektórych obszarów kraju otrzymane dane różniły się zasadniczo między sobą, co utrudniało dokładne wyznaczenie liczby dni burzowych dla tych obszarów. Należy również zauważyć, że przedstawione dane otrzymano prowadząc wizualne i akustyczne śledzenie burz. Są to wyniki mało



Rys. 22. Mapa burzowa Polski obejmująca lata 1891 - 1903

dokładne. Dlatego najczęściej zalecane jest przyjęcie 20 dni burzowych w roku dla większości obszaru kraju, a 25 + 30 dni burzowych w roku dla północno-zachodniego krańca Polski.

Znacznie bardziej dokładne wyniki można otrzymać prowadząc rejestracje licznikowe lub wykorzystując systemy zdalnie lokalizujące miejsca uderzeń piorunów, które rozpowszechniły się w Ameryce [38, 64] oraz w krajach skandynawskich [13, 58]. Takie pomiary zapoczątkowały nowy etap badań nad częstością wyładowań doziemnych. Wyniki tego typu badań umożliwiają wyznaczenie liczby dni burzowych w roku oraz coraz częściej stosowanej wielkości N_r , określającej liczbę wyładowań piorunowych przypadających na 1 km² powierzchni terenu.

W Polsce dotychczas takich metod pomiarowych nie wykorzystywano i liczba wyładowań piorunowych przypadających na 1 km² powierzchni N_r będzie wyznaczona z zależności:

$$N_r = a \cdot N^b \quad (16)$$

gdzie:

a i b - współczynniki liczbowe,

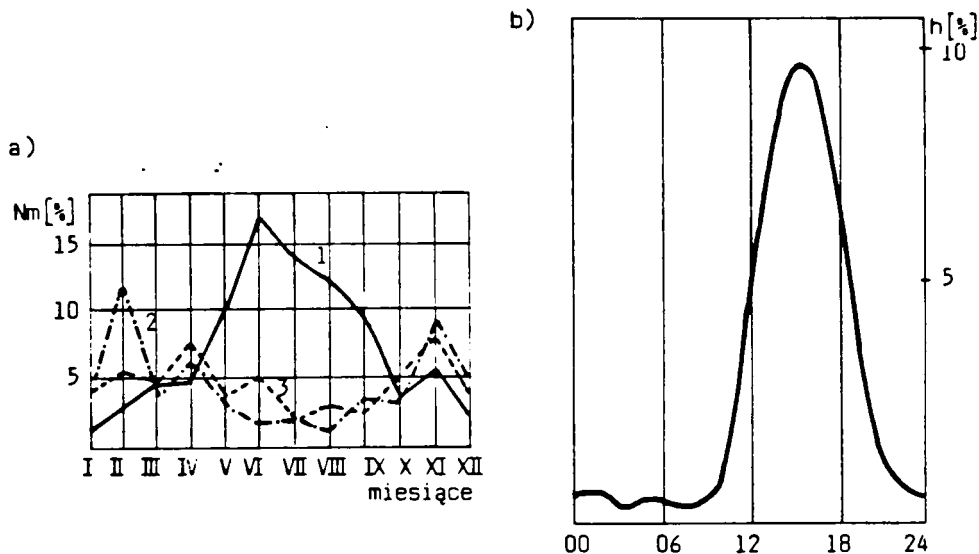
N - liczba dni burzowych w roku na danym obszarze.

W warunkach polskich za najbardziej prawdopodobne wartości można przyjąć $a = 0,036$ i $b = 1,3$. Podstawienie tych wartości do powyższego równania pozwala stwierdzić, że w Polsce na 1 dzień burzowy przypada ok. 0,09 + 0,1 wyładowania na 1 km², co dobrze koresponduje z danymi statystycznymi.

Należy zauważyć, że roczne i dobowe częstości występowania burz nie są równomierne. W warunkach europejskich najwięcej burz przypada na okres wiosenno-letni. Na rys. 23 przedstawiono procentowy rozkład występowania burz w poszczególnych miesiącach otrzymany z zależności:

$$N_m = \frac{\text{liczba dni burzowych w miesiącu}}{\text{liczba dni burzowych w roku}} \cdot 100\% \quad (17)$$

Najwięcej burz występuje w godzinach popołudniowych między godz. 12.00 a 18.00. Procentowy rozkład występowania burz w ciągu dnia pokazano na rys. 23b.



Rys. 23. Procentowy rozkład występowania burz

a) w poszczególnych miesiącach w roku [58]; b) w różnych godzinach w ciągu dnia [58, 64]

1 - Europa środkowa, 2 - Europa północno-wschodnia, 3 - Europa południowa

3. NAPIĘCIA ATMOSFERYCZNE INDUKOWANE W TELEKOMUNIKACYJNYCH LINIACH PRZESYŁU SYGNAŁÓW

Podstawowym źródłem informacji o napięciach atmosferycznych powstających w liniach przesyłu sygnałów są wyniki bezpośrednich rejestracji prowadzonych w rzeczywistych obwodach. Wykonanie takich badań jest zadaniem bardzo pracochłonnym i wymagającym znacznych nakładów finansowych. W krajowych liniach takich rejestracji do tej pory nie prowadzono i dlatego do wstępnej oceny zagrożenia piorunowego urządzeń elektronicznych i telekomu-

nikacyjnych zostaną wykorzystane wyniki obserwacji prowadzonych przez ośrodki zagraniczne. Dotychczasowe pomiary ograniczały się najczęściej do rejestracji przepięć wywołanych przez główne wyładowania doziemne. Wśród udarów napięciowych rejestrowanych w liniach przesyłu sygnałów zaobserwowano przepięcia, które można aproksymować krzywymi o przebiegach:

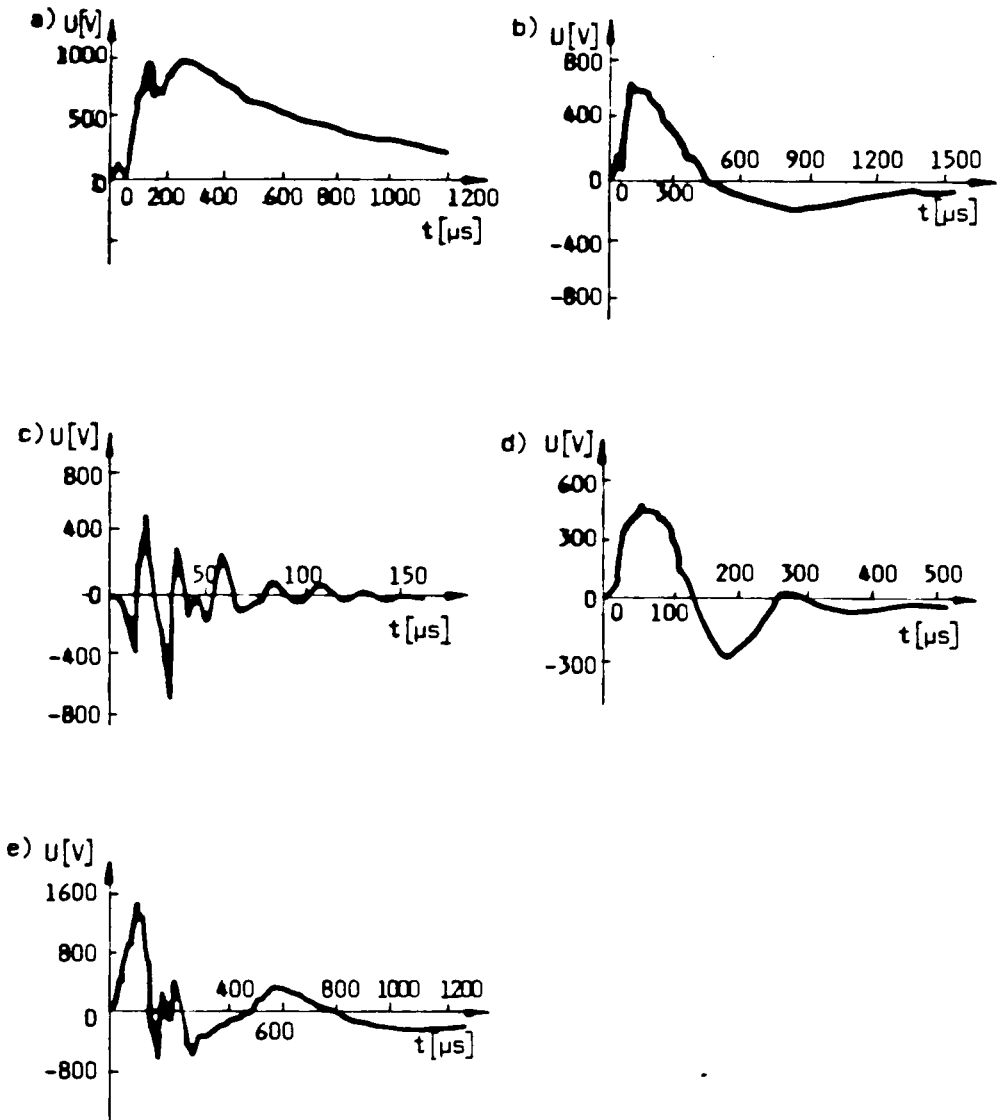
- dwuwykładniczym,
- oscylacyjnym tłumionym,
- narastającym liniowo do wartości maksymalnej i następnie przechodzącym w tłumione oscylacje.

Przykłady typowych kształtów przepięć atmosferycznych rejestrowanych we włoskich liniach telekomunikacyjnych przedstawiono na rys. 24. Należy zaznaczyć, że przebieg większości przepięć atmosferycznych można aproksymować krzywą dwuwykładniczą, której podstawowymi parametrami są:

- wartość szczytowa napięcia U_m ,
- czas trwania czoła przepięcia T_c ,
- czas do półszczytu na grzbiecie fali napięciowej T_p ,
- stromość narastania napięcia du/dt .

Wyniki rejestracji, przedstawiającą wartości średnie lub wartości nie przekraczane przez 99,9% podstawowych parametrów charakteryzujących napięcia atmosferyczne, zaprezentowano w formie tablic lub wykresów obrazujących prawdopodobieństwo ich występowania. Zestawienie takich wartości, charakteryzujących parametry przepięć atmosferycznych, podano w tabl. 8 i 9. Wykonano również wykresy przedstawiające prawdopodobieństwo występowania następujących podstawowych wartości charakteryzujących napięcie atmosferyczne (rys. 25 + 33):

- wartości szczytowej,
- czasu czoła,
- czasu do półszczytu na grzbiecie udaru.



Rys. 24. Typowe przebiegi czasowe najczęściej rejestrowanych przepięć atmosferycznych powstających we włoskich liniach telekomunikacyjnych

a,b) przewodowych liniach napowietrznych; c,d) napowietrznych liniach kablowych;
 e) zakopanych kablach telekomunikacyjnych

Tablica 8

Wartości podstawowych parametrów charakteryzujących przepięcia atmosferyczne
w liniach telekomunikacyjnych

Autorzy	Typ linii telekomunikacyjnej	Amplituda [V]	Czas czola [μ s]	Czas do podlicztytu [μ s]
Bennison E. Ghazi A.J Ferland P. [6]	przewody napowietrzne napowietrzne i podziemne kable z wiązkami parowymi podziemne kable współosiowe	2000 1000 800	4 5 10	1000 4000 7500
Yamamoto M. [67]	przewody napowietrzne u abonenta w centralli	30000 30000	20 60	100 250
Meineri G. Pomponi R. [53]	przewody napowietrzne kable symetryczne napowietrzne kable symetryczne zakopane kable współosiowe napowietrzne kable współosiowe zakopane	2000 700 + 2000 700 + 1000 150 + 700 150 + 700	4 + 400 0,6 + 7000 4 + 3000 5 + 8000 6 + 7000	13 + 1000 20 + 4000 60 + 3200 300 + 6000 25 + 7000

Tablica 9

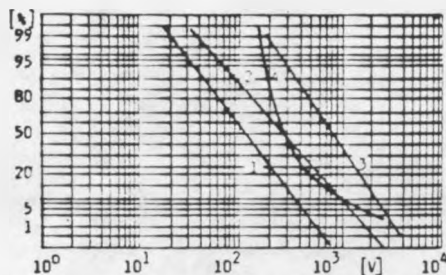
Wartości podstawowych parametrów charakteryzujących przebiegi atmosferyczne w liniach telekomunikacyjnych^{*)}

Typ linii telekomunikacyjnej	Amplituda		Czas czola		Czas do półszczytu	
	w. średnia [V]	w. max [V]	w. średnia [μ s]	w. max [μ s]	w. średnia [μ s]	w. max [μ s]
Przewody napowietrzne	500-800	kV ^{**)}	0,1-20	0,1-2	20-200	250-800
Napowietrzne kable z wiązkami parowymi	300-500	1500-2500	20-500	5-20	300-800	1000-2000
Napowietrzne kable współosiowe	200-300	500-700	100-300	10-30	500-100	1000-2000
Zakopane kable z wiązkami parowymi	100-200	500-600	50-100	7-10	1000-1500	2000-7000
Zakopane kable współosiowe	50-150	500	200-500	50-100	500-1500	2000-300

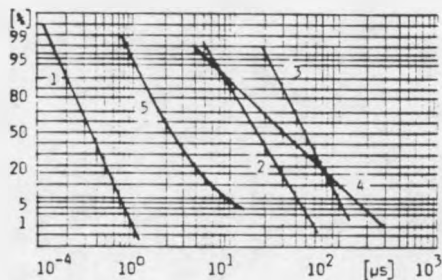
*) Przedstawiono wartości średnie oraz nie przekraczane przez 99% zarejestrowanych udarów.

**) Przy bezpośrednim uderzeniu piorunu wartości napięcia wynikają z wytrzymałości udarowej izolatorów lub izolacji kabli.

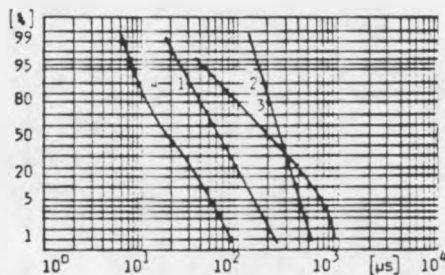
NAPIĘCIA INDUKOWANE W PRZEWODOWYCH LINIACH NAPOWIETRZNYCH



Rys. 25. Krzywe rozkładu statystycznego wartości szczytowych napięć indukowanych w przewodowej linii napowietrznej wg danych
1, 2 - kanadyjskich [6], 3 - francuskich [27], 4 - włoskich [16]

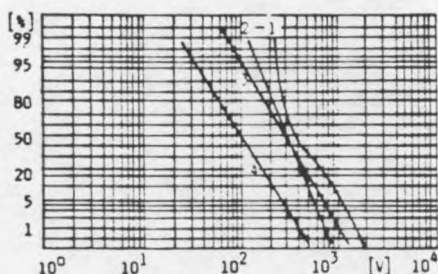


Rys. 26. Krzywe rozkładu statystycznego wartości czasów czoła napięć indukowanych w przewodowej linii napowietrznej wg danych:
1 - francuskich [27], 2 - japońskich (przebiecia u abonenta) [36], 3 - japońskich (przebiecia w centrali) [36], 4 - kanadyjskich [6], 5 - włoskich [16]

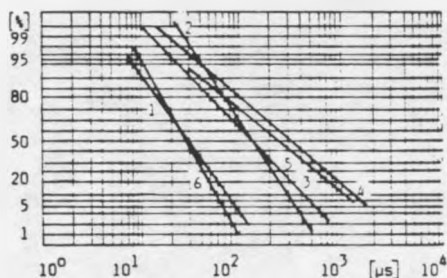


Rys. 27. Krzywe rozkładu statystycznego wartości czasów do półszczytu na grzbiecie udarów napięciowych indukowanych w przewodowej linii napowietrznej wg danych:
1 - japońskich (u abonenta) [67], 2 - japońskich (w centrali) [67], 3 - kanadyjskich [6], 4 - włoskich

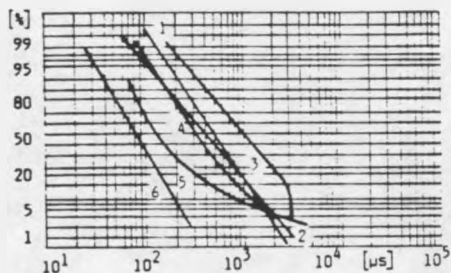
NAPIĘCIA INDUKOWANE W LINIACH KABLOWYCH BIEGNĄCYCH NAD POWIERZCHNIĄ ZIEMI



Rys. 28. Krzywe rozkładu statystycznego wartości szczytowych napięć indukowanych w liniach kablowych biegnących nad powierzchnią ziemi wg danych: 1,2 - amerykańskich [10], 3 - kanadyjskich (kable z wiązkami parowymi) [6], 4 - kanadyjskich (kable współosiowe) [6]

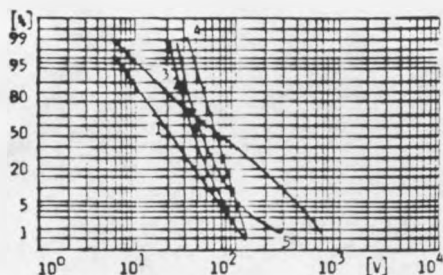


Rys. 29. Krzywe rozkładu statystycznego wartości czasów czoła napięć indukowanych w liniach kablowych biegnących nad powierzchnią ziemi wg danych: 1 - kanadyjskich (kable z wiązkami parowymi) [6], 2,3 - amerykańskich [10], 4 - kanadyjskich (wiązki parowe) [6], 5 - kanadyjskich (kable współosiowe) [6], 6 - japońskich (przebiecia u abonenta) [67]



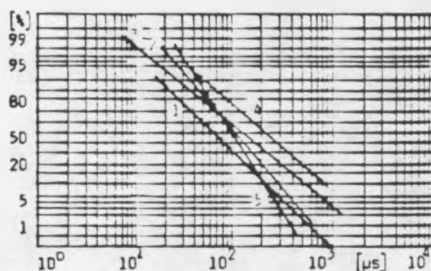
Rys. 30. Krzywe rozkładu statystycznego wartości czasów do półszczytu uderów napięciowych indukowanych w liniach kablowych nad powierzchnią ziemi wg danych: 1,2,4,5 - amerykańskich [10], 3 - kanadyjskich [6], 6 - japońskich (przebiecia u abonenta) [36]

NAPIĘCIA INDUKOWANE W ZAKOPANYCH KABŁACH TELEKOMUNIKACYJNYCH



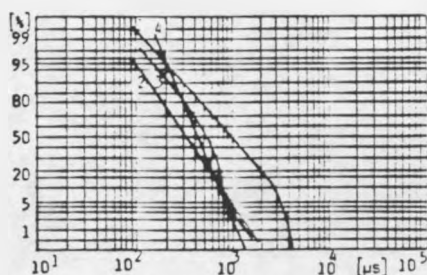
Rys. 31. Krzywe rozkładu statystycznego wartości szczytowych napięć indukowanych w zakopanych kablach telekomunikacyjnych wg danych:

1 - kanadyjskich (kable współosiowe) [6], 2,3 - amerykańskich [10], 4,5 - niemieckich [15],



Rys. 32. Krzywe rozkładu statystycznego wartości czasów czoła napięć indukowanych w zakopanych kablach telekomunikacyjnych wg danych:

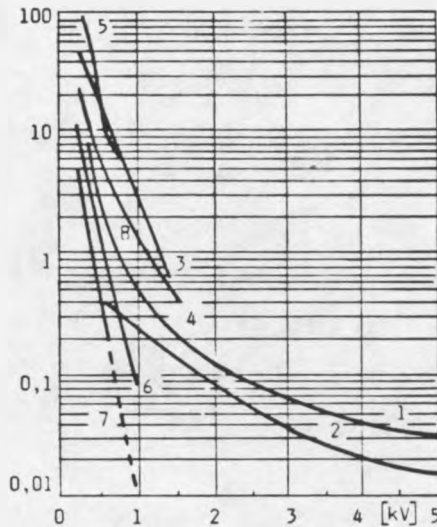
1,3 - kanadyjskich (kable z wiązkami parowymi) [6], 2 - amerykańskich [10], 4 - kanadyjskich (kable współosiowe) [6], 5 - japońskich [36]



Rys. 33. Krzywe rozkładu statystycznego wartości czasów do półszczytu napięć indukowanych w zakopanych kablach telekomunikacyjnych wg danych:

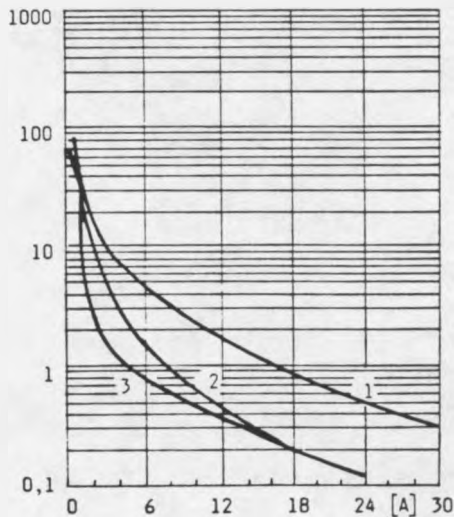
1 - kanadyjskich (kable z wiązkami parowymi) [6], 2,3 - amerykańskich [10],
4 - japońskich [36]

LICZBY UDARÓW INDUKOWANYCH W LINIACH TELEKOMUNIKACYJNYCH



Rys. 34. Liczby przepięć o różnych amplitudach występujących w linii telekomunikacyjnej podczas dnia burzowego wg danych:

1, 5 - japońskich [36], 2 - kanadyjskich [6], 3, 4, 7 - amerykańskich [10], 6 - francuskich [24], 8 - niemieckich [15]



Rys. 35. Liczby udarów prądowych o różnych amplitudach występujących w linii telekomunikacyjnej podczas dnia burzowego wg danych:

1, 3 - amerykańskich [10], 2 - kanadyjskich [6]

Dostępne dane umożliwiają również przybliżone określenie przeciętnej liczby udarów o różnych wartościach szczytowych powstających w linii telekomunikacyjnej podczas dnia burzowego. Zebrane wyniki obejmują głównie udary napięciowe (rys. 34). Pewnym uzupełnieniem przedstawionych informacji są wyniki rejestracji udarów prądowych powstających podczas burzy w liniach przesyłu sygnałów obciążonych impedancjami o małych wartościach (rys. 35). Analizując przedstawione liczby udarów napięciowych/prądowych, jakie mogą wystąpić podczas dnia burzowego, należy stwierdzić, że podane liczby są w większości przypadków zaniżone. Wynika to najczęściej z faktu stosowania aparatury pomiarowej, która nie jest w stanie zarejestrować wszystkich pojawiających się udarów atmosferycznych. Dotyczy to szczególnie impulsów wywołanych przez wielokrotne doziemne wyładowania piorunowe. Pewnym potwierdzeniem tego spostrzeżenia są wyniki rejestracji prowadzonych w Japonii, na podstawie których zaproponowano zależności umożliwiające określenie liczby przepięć o dowolnej wartości szczytowej, jaka może wystąpić w ciągu roku w telefonicznej linii kablowej. Zależności te mają postać:

- liczba przepięć u abonenta

$$N_A = 2,5 \cdot 10^2 \cdot N \cdot \delta^{-0,9} \cdot U^{-1,8} \quad (18)$$

- liczba przepięć w centrali

$$N_C = 4,2 \cdot 10^3 \cdot N \cdot \delta^{-0,9} \cdot U^{-1,8} \quad (19)$$

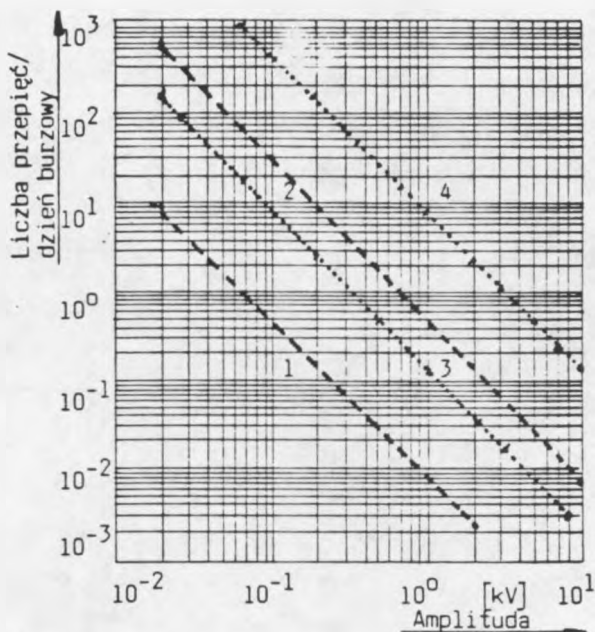
przy czym:

N - liczba dni burzowych w roku,

δ - przewodność gruntu [S/m],

U - wartość szczytowa powstającego przepięcia [V].

Krzywe odpowiadające zależnościom $N_A = f(U)$ i $N_C = f(U)$ dla jednego dnia burzowego w roku oraz przewodności gruntu 0,001 S/m /krzywe (2) i (4)/ i 0,1 S/m /krzywe (1) i (3)/ pokazano na rys. 36.



Rys. 36. Liczby przepięć o różnych amplitudach, które mogą powstać podczas dnia burzowego w kablowej linii telefonicznej wyznaczone za pomocą przedstawionych równań. Krzywe (1), (2) - przepięcia w centrali telefonicznej; (3) i (4) - u abonenta

Należy zaznaczyć, że przedstawione dane obejmują w większości przypadków przepięcia indukowane przez wyładowania w sąsiedztwie linii przesyłu sygnałów. Przepięcia o znacznie większych wartościach szczytowych wystąpią podczas bezpośredniego uderzenia piorunu w różne elementy linii, np. słupy, przewody.

Wartości szczytowe przepięć wywołanych przez bezpośrednie wyładowania w linii zależą od ich impedancji udarowych oraz od amplitud prądów piorunowych. Proste obliczenia dla typowych wartości parametrów prądów piorunowych oraz typowych linii napowietrznych wykazały, że napięcia pomiędzy przewodem a ziemią mogą osiągnąć wartości kilku tysięcy kV i powodują przeskoki na izolatorach lub uszkodzenie izolacji linii.

W zależności od właściwości izolacyjnych linii napowietrznych (typ linii, stosowane izolatory itp.) i zastosowanych słupów część prądu piorunowego

popłynie do ziemi i udar o zmniejszonej wartości szczytowej będzie rozprzestrzeniał się wzdłuż linii. W przypadku typowych izolatorów stosowanych w krajowych napowietrznych liniach przewodowych brak informacji o ich wytrzymałości na działanie udarów napięciowych.

Dane w dostępnej literaturze [60] wykazują, że napięcia przeskoku izolatorów wynoszą:

- linie główne 80 kV, 100 kV,
- linie abonenckie 50 kV, 70 kV.

W praktyce wartości tych napięć będą mniejsze (na zmniejszenie wytrzymałości wpływa zabrudzenie izolatorów, warunki atmosferyczne) i wynoszą przeciętnie od 30 kV do 40 kV.

Kable podziemne nie są również całkowicie bezpieczne. W przypadku uderzenia piorunu w ziemię, w punkcie udaru powstaje duży gradient potencjału, którego wartość jest tym większa, im wyższa jest rezystywność gruntu. Jeśli do gruntu o dużej rezystywności wpływa prąd o dużej amplitudzie, to istnieje możliwość przeskoku iskrowego między punktem uderzenia a przewodem kablowym w pobliżu tego punktu. Odległość, jaką może pokonać iskra w czasie przeskoku wynosi nawet ponad 30 m. Przeciętne wartości odległości zawierają się w granicach od 5 m do 10 m. W przypadku przeskoku do przewodu kablowego cały prąd piorunowy rozptywa się wzdłuż kabla w obu kierunkach od punktu, w którym nastąpił przeskoc. Jeśli przeskoc nie nastąpi, to występujące zagrożenie będzie uzależnione od budowy kabla. Nieizolowany metalowy płaszcz kabli będzie początkowo znajdował się w równowadze elektrycznej z gruntem.

W pobliżu punktu uderzenia piorunu prąd w płaszczu jest mały oraz wzrasta gwałtownie w obu kierunkach i ostatecznie zanika. Jeśli kabel ma metalowy płaszcz pokryty powłoką izolacyjną, wówczas istnieje możliwość, zwłaszcza w gruncie o dużej rezystywności, przebicia powłoki i uszkodzenia płaszczka kabla. Może nastąpić nawet całkowite przebicie izolacji kabla. Podobne zjawiska mogą wystąpić w przypadku kabli nie posiadających płaszczki metalowych. Zagrożone są zarówno przewody, jak i izolacja kablowa.

4. NAPIĘCIA ATMOSFERYCZNE W PRZEWODACH SIECI ZASILAJĄCYCH

Jednym z podstawowych elementów zagrożenia piorunowego telekomunikacyjnych urządzeń elektronicznych są przepięcia dochodzące do nich z sieci zasilającej. Zagrożenie jest szczególnie duże w przypadku urządzeń pracujących w obiektach zasilanych z linii napowietrznych lub z zakopanych przewodów kablowych, do których są dołączone odcinki linii napowietrznych. Dotyczy to głównie obiektów w strefach podmiejskich, osadach i wsiach. Mniejsze zagrożenie występuje w miastach, gdzie praktycznie nie istnieje możliwość bezpośredniego przepływu prądu piorunowego w przewodach sieci zasilającej. Podstawowe informacje o przepięciach atmosferycznych powstających w sieciach zasilających uzyskano, prowadząc długotrwałe obserwacje w rzeczywistych obwodach.

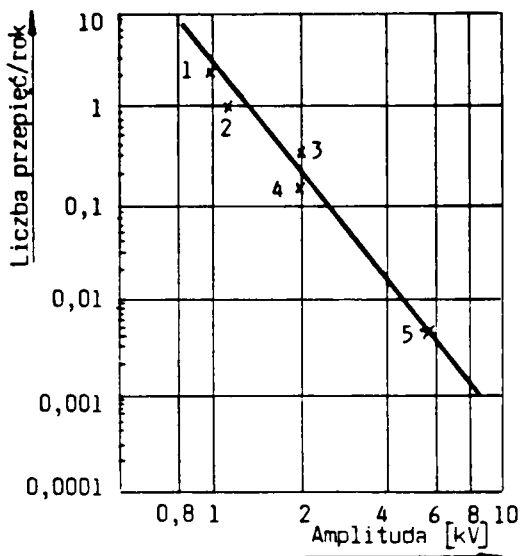
Dotychczas obserwacje prowadzono w:

- liniach zasilających przewodowych oraz kablowych napowietrznych lub zakopanych;
- miejscach dojścia przewodów zasilających do budynków mieszkalnych, szpitali, zakładów przemysłowych itp.;
- układach przewodów zasilających ułożonych w budynkach.

Otrzymane wyniki wskazują, że przeciętnie w sieci zasilającej w ciągu roku występują przepięcia o następujących amplitudach:

300 - 500 V kilkadziesiąt przypadków,
500 - 1000 V kilkanaście przypadków,
ponad 1000 V kilka przypadków przepięć.

Przykłady wyników otrzymanych przez różne ośrodki badawcze zestawiono na rys. 37 i 38. Przedstawione liczby przepięć o różnych amplitudach otrzymano uśredniając wyniki badań, które prowadzono przez kilka-kilkanaście lat. Zdarzały się również przypadki wystąpienia znacznie większego zagrożenia. Podczas 2-tygodniowych badań prowadzonych w obszarze, w którym wystąpiło kilka dni burzowych, zarejestrowano w sieci zasilającej kilkanaście udarów o wartościach szczytowych przekraczających 2 kV, z których jeden osiągnął ok. 5600 V [40, 41].



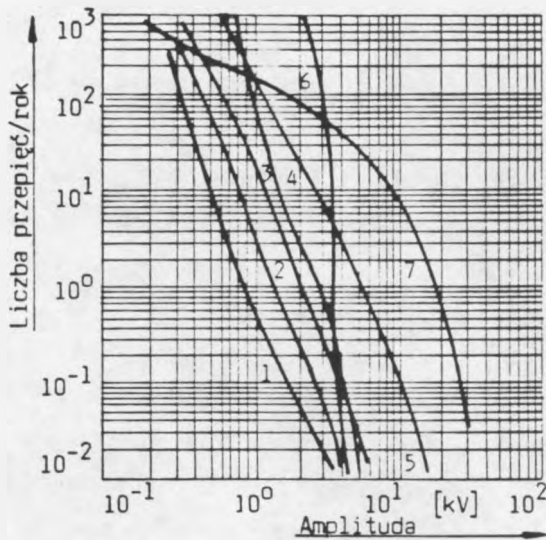
Rys. 37. Liczby przepięć o różnych amplitudach zarejestrowane w ciągu roku w niskonapięciowych obwodach zasilających w USA.

Rejestracje prowadzone przez: 1 - pracowników Bell Laboratories, 2 - F.D. Martzloff'a, 3 - pracowników GFCl, 4, 5 - pracowników General Electric

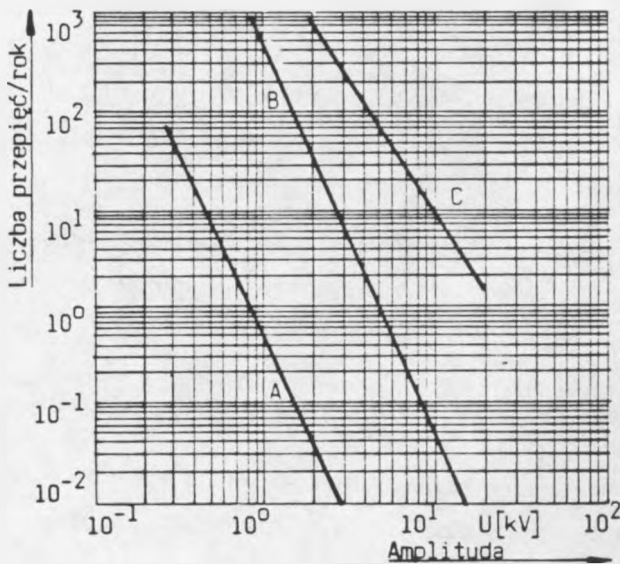
W USA podjęto próbę uporządkowania wyników rejestracji i opracowania zaleceń umożliwiających wyznaczenie liczby przepięć o dowolnej amplitudzie, jakie mogą wystąpić w sieci zasilającej. Na podstawie dostępnych danych wyznaczono krzywe określające liczby przepięć o różnych wartościach szczytowych, jakie mogą wystąpić w ciągu roku w niskonapięciowych obwodach sieci zasilającej. Przedstawione na rys. 39 krzywe określono uwzględniając różny "stopień wystawienia" obwodów zasilających na działanie impulsów zakłócających.

Krzywe A, B i C są wykorzystywane do wyznaczenia liczby przepięć powstających w następujących przypadkach:

- krzywa A (małe wystawienie na zakłócenia); przepięcia w podziemnych kablach zasilających ułożonych w miastach;
- krzywa B (wystawienie średnie); przepięcia w biegnących przez tereny podmiejskie kablach podziemnych z dołączonymi odcinkami linii napowietrznych;



Rys. 38. Liczby przepięć o różnych amplitudach pojawiające się w ciągu roku w sieciach zasilających różnego rodzaju obiekty (wyniki badań prowadzonych w Szwajcarii). Układy zasilające: 1 - małą kotłownią, 2 - pokój na 4 piętrze¹, 3 - całe 2 piętro¹, 4 - laboratorium, 5 - cały budynek¹, 6 - bank, 7 - budynek na wsi, ¹ - przepięcia w dużym budynku mieszkalnym.



Rys. 39. Krzywe określające liczby przepięć o różnych wartościach szczytowych powstających w ciągu roku w sieci zasilającej

- krzywa C (wystawienie duże); przepięcia w biegnących przez tereny nie zabudowane liniach napowietrznych.

Jeżeli wartość szczytowa przepięcia nie przekracza 3500 V, to należy przyjąć, że połowa liczby przepięć wyznaczonych z wykresu jest wywołana przez wyładowania atmosferyczne. Przepięcia o amplitudzie przekraczającej 3500 V są wywoływane tylko przez wyładowania atmosferyczne.

4.1. Przebiegi czasowe powstających napięć

Na podstawie wyników rejestracji prowadzonych w rzeczywistych warunkach, badań laboratoryjnych oraz podejmowanych prób analiz teoretycznych można stwierdzić, że przebiegi czasowe większości przepięć atmosferycznych mają formę tłumionych oscylacji o częstotliwości od ok. 30 kHz do kilkuset kHz. Badając częstotliwości rezonansowe typowych niskonapięciowych obwodów zasilających [40, 41], otrzymano wyniki zawierające się w przedziale 5 kHz do 500 kHz. Fakt ten sugeruje, że impulsy elektromagnetyczne wywołane przez wyładowania główne pobudzają do drgań obwody zasilające. Zaobserwowano także przepięcia mające w przybliżeniu dwuwykładniczy przebieg. Przepięcia takie najczęściej występowały w sieciach zasilających, składających się z długich odcinków linii napowietrznych lub zakopanych.

Analizując krytycznie dostępne wyniki pomiarów należy uwzględnić następujące uwagi:

- w części przypadków z obwodów, w których prowadzono pomiary nie usunięto wszystkich urządzeń chroniących przed przepięciami, co powodowało zmniejszanie amplitud rejestrowanych udarów;
- w dostępnych publikacjach brak informacji o parametrach sieci, w których rejestrowano przepięcia atmosferyczne;
- stosowanie samoczynnie rejestrujących urządzeń pomiarowych utrudniało, a czasami nawet uniemożliwiało, jednoznaczną ocenę źródła zakłóceń.

Przedstawionych wad są pozbawione badania napięć indukowanych w obwodach zasilających, które rozpoczęto w Szwecji [58, 59] i RFN [61].

Podczas pomiarów prowadzonych przez te ośrodki rejestruje się jednocześnie impulsy elektromagnetyczne oraz udary napięciowe indukowane przez te impulsy.

W Polsce nie prowadzono dotychczas długotrwałych obserwacji przepięć w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia. Należy jednak sądzić, że może wystąpić w nich znacznie większa liczba przepięć o dużych wartościach szczytowych. Wynika to z faktu znacznego udziału linii napowietrznych niskiego napięcia w krajowym systemie elektroenergetycznym oraz braku nowoczesnych ochronników przepięciowych w tych liniach.

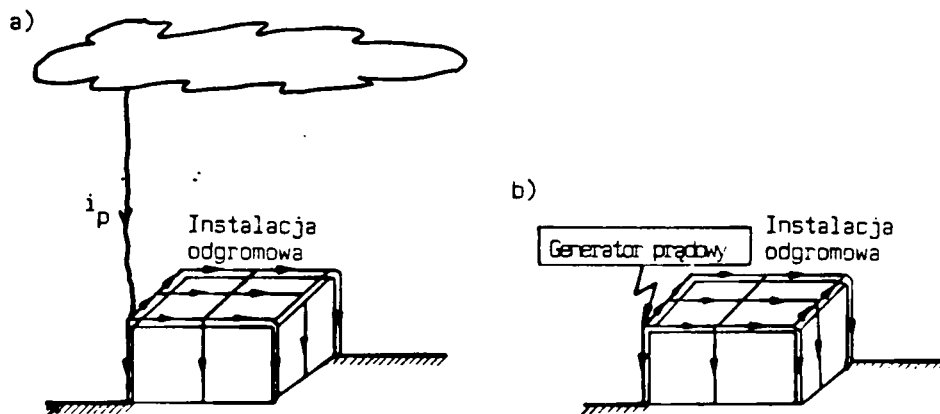
5. PRZEPIĘCIA ATMOSFERYCZNE INDUKOWANE WEWNĄTRZ OBIEKTÓW UDERZONYCH PRZEZ PIORUNY

Od kilkunastu lat są podejmowane próby oceny zagrożenia telekomunikacyjnych urządzeń elektronicznych występującego podczas bezpośrednich uderzeń piorunów w budynki, w których pracują te urządzenia. Poniżej opisano metody pomiarów umożliwiające symulację zjawisk zachodzących w naturze oraz zestawiono otrzymane wyniki. Dodatkowo podjęto próbę opracowania metod teoretycznej analizy przepięć indukowanych w układach przewodów wewnątrz budynków uderzonych przez pioruny.

5.1. Symulacyjne metody pomiaru indukowanych napięć

Metody pomiarowe symulujące zjawiska zachodzące podczas uderzeń piorunów w budynki polegają na wymuszeniu przepływu prądu udarowego w przewodach instalacji odgromowych i równoczesnej rejestracji napięć indukowanych w układach przewodów ułożonych wewnątrz badanych obiektów. Wytwarzany "sztucznie" prąd udarowy symuluje przepływ prądu piorunowego w budynku. Schematycznie zjawiska zachodzące w naturze i podczas badań symulacyjnych przedstawiono na rys. 40.

Dotychczas takie badania były prowadzone w różnego rodzaju obiektach w Szwajcarii [45, 46], Austrii [12], RFN [30, 61], Francji [26] oraz w USA [63, 64] i Japonii [36].



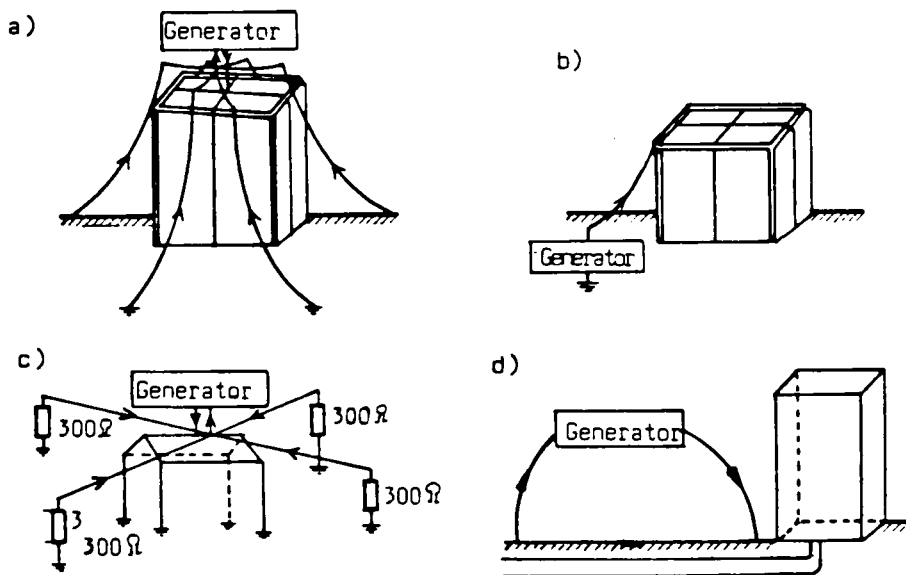
Rys. 40. Uderzenie piorunu w budynek

a) zjawiska zachodzące w naturze; b) zasada badań symulacyjnych

W prowadzonych badaniach symulacyjnych źródłem prądu udarowego był generator, który umieszczano na dachu lub obok budynku. W przypadku zainstalowania generatora prądowego na dachu obiekty należy ułożyć dodatkowe "przewody powrotne" łączące generator z ziemią. Zastosowanie "przewodów powrotnych" umożliwia zamknięcie obwodu przepływu prądu. Otrzymujemy obwód prądowy składający się z generatora - przewodów instalacji odgromowej - ziemi - przewodów powrotnych - generatora. Instalowane dodatkowe "przewody powrotne" należy układać możliwie w jak najdalszej odległości od budynku. Dzięki temu zmniejsza się oddziaływanie prądu płynącego w "przewodach powrotnych" na badane obwody niskonapięciowe ułożone wewnątrz budynku. Przykłady różnorodnych rozwiązań układów badawczych z generatorami umieszczonymi na dachach obiektów przedstawiono na rys. 41a,c.

Warunki znacznie bardziej odlegające od występujących w naturze uzyskujemy umieszczając generator udarowy na ziemi w pobliżu budynku (rys. 41b). W takim przypadku generator jest łączony przewodem z dowolnym

punktem instalacji odgromowej leżącym na obrzeżu dachu obiektu. Prąd udarowy płynie w obwodzie: generator - przewód dodatkowy - przewody instalacji odgromowej - ziemia - generator. Należy jednak zauważyć, że w takim obwodzie rozptyw prądu udarowego ogranicza się tylko do przewodów instalacji odgromowej leżących w pobliżu miejsca doprowadzenia prądu do instalacji. Utrudnia to ocenę rzeczywistego zagrożenia stwarzanego przez prąd piorunowy rozptywiający się w całej instalacji odgromowej. Podobną symulacyjną metodę pomiarową próbuje się również wykorzystać do określenia wartości napięć atmosferycznych indukowanych w przewodach dochodzących do budynków lub ułożonych pomiędzy budynkami. W takich przypadkach przepływ prądu udarowego jest "wymuszany" w ekranie kabla lub w metalowych elementach konstrukcji traktów, w których są ułożone przewody (rys. 41d).



Rys. 41. Układy połączeń stosowane podczas badań symulacyjnych przepięć atmosferycznych powstających w obwodach niskonapięciowych znajdujących się w budynkach, w które uderzają pioruny

- a), c) umieszczenie generatorów udarowych na dachach obiektów; b) doprowadzanie udaru z generatora stojącego obok obiektu; d) doprowadzanie udarów do traktów kablowych

Obwód prądowy składa się z następujących elementów: generator - przewód dodatkowy - metalowy element konstrukcji lub ekran kabla - przewód dodatkowy - generator.

W każdej z przedstawionych metod symulacyjnych wartości szczytowe prądu udarowego oraz ich kształty są uzależnione od parametrów generatora (pojemność zastosowanego kondensatora, wartość szczytowa napięcia, do jakiej ten kondensator został naładowany). Istnieje również możliwość dodatkowej regulacji parametrów prądu udarowego poprzez wprowadzanie dodatkowych rezystancji do obwodów prądowych. Względy techniczne i ekonomiczne powodują, że najczęściej wartości szczytowe prądów udarowych otrzymywane podczas badań symulacyjnych są znacznie mniejsze w porównaniu z wartościami szczytowymi prądów piorunowych. Fakt ten powoduje, że ocena wartości napięć atmosferycznych na podstawie badań symulacyjnych wymaga dokonania odpowiednich przeliczeń. W zależności od różnic występujących między kształtami prądów płynących w czasie badań w naturze są wykorzystywane zależności:

$$U_{atm} = U_{pom} \frac{I_p}{I_{pom}} \quad (20)$$

lub

$$U_{atm} = U_{pom} \frac{(di_p/dt)_{max}}{(di_{pom}/dt)_{max}} \quad (21)$$

gdzie:

U_{atm} , U_{pom} - odpowiednio wartości szczytowe napięcia atmosferycznego oraz napięcia zmierzonego podczas badań symulacyjnych,

I_p , I_{pom} - odpowiednio wartości szczytowe prądu piorunowego oraz prądu udarowego płynącego podczas badań symulacyjnych,

$(di_p/dt)_{max}$ - odpowiednio maksymalne wartości pochodnych względem $(di_{pom}/dt)_{max}$ czasu prądu piorunowego oraz prądu płynącego podczas badań symulacyjnych.

Należy zaznaczyć, że w chwili obecnej przedstawione metody badań symulacyjnych są stosowane do oceny zagrożenia piorunowego w szczególnie ważnych obiektach. Przeprowadzenie takich badań wymaga zastosowania unikalnego sprzętu pomiarowego, udostępnienia obiektów oraz dokładnych danych o układach niskonapięciowych, w których będą mierzone napięcia.

Podjęmowane są również próby uogólniania wyników badań symulacyjnych na układy o innych długościach, które zostałyby ułożone w miejsce obwodów badanych w budynkach o podobnych wymiarach. W takich przypadkach do wyznaczenia napięć atmosferycznych jest wykorzystywana zależność:

$$U_{atm} = U_{pom} \frac{I_p}{I_{pom}} \frac{d_r}{d_{pom}} \quad (22)$$

gdzie:

U_{atm}, U_{pom} - odpowiednio wartości szczytowe napięcia atmosferycznego oraz napięcia zmierzonego podczas badań symulacyjnych,

I_p, I_{pom} - odpowiednio wartości szczytowe prądu piorunowego oraz prądu płynącego podczas badań symulacyjnych,

d_r, d_{pom} - odpowiednio długości układu analizowanego oraz układu zakłócanego podczas badań symulacyjnych.

Stosowanie powyższego równania jest zbyt dużym uproszczeniem zachodzących zjawisk i może doprowadzić do otrzymywania napięć o wartościach znacznie odbiegających od tych, jakie wystąpią w rzeczywistości. Dlatego wartości napięć otrzymane w wyniku uogólnienia rezultatów badań symulacyjnych pozwalają jedynie w dużym przybliżeniu ocenić ewentualne zagrożenia piorunowe.

W tablicy 10, w celu porównania wyników otrzymanych przez różne ośrodki badawcze, zestawiono obliczone wartości szczytowe napięć indukowanych w różnego rodzaju układach przewodów przez prąd udarowy o stromości narastania $100 \text{ kA}/\mu\text{s}$ i amplitudzie 100 kA .

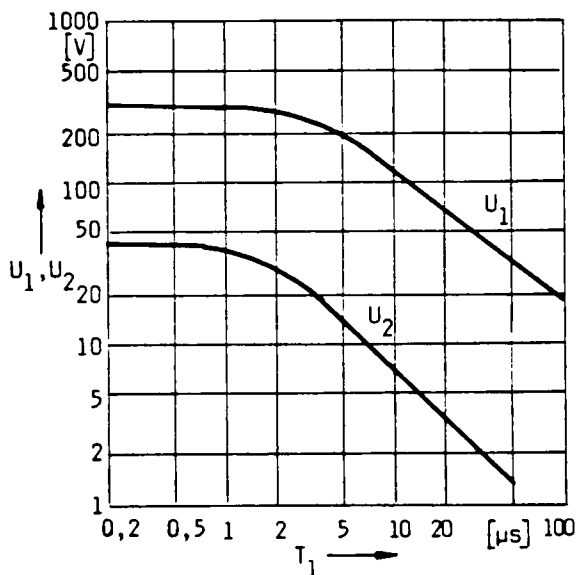
Otrzymane wyniki badań symulacyjnych, a dotyczy to szczególnie kabli wielożyłowych, wykazały, że przepięcia mają formę wysokoczęstotliwościowo-

Tablica 10

Wartości napięć indukowanych w różnego rodzaju układach przewodów
wyznaczone na podstawie badań symulacyjnych

Autorzy	Badany obiekt	Parametry prądu udarowego	Zakłócany układ	Przewidywane amplitudy indukowanych napięć
A. Habinger	kilku piętrowy budynek	brak danych	linie sygnalizacji i sterowania	4 - 5 kV
W. Breunig	budynki od parterowych do 11-piętrowych	50 A, 1,2/50 μ s 50 A, 10/700 μ s	proste pętle tworzone z przewodów	ok. 2500 V
E. Montandon	dwupiętrowy budynek	brak danych	pętle z przewodów	ok. 1500 V
H. Steinbigler H. Beierl	parterowy niewielki budynek	100 A $T_c = 0,1 + 5 \mu$ s	napięcia pomiędzy fasadą budynku a przewodem zerowym	ok. 2500 V
H. Neuhaus F. Pigler	kabel biegnący między budynkami	100 A $T_c = 0,1 + 3 \mu$ s	kabel koncentryczny	kilkadziesiąt V
Badania autorów	dwupiętrowy budynek	do 350 A $T_c = 1 + 3 \mu$ s	skręcona para przewodów	kilka kV
			pętla: przewód-el. uziemiony	kilkadziesiąt kV
			kabel ekranowany długości ok. 30 m	300 + 400 V
			pętle tworzone z przewodów	1 + 20 kV

wych tłumionych oscylacji powstających w czasie trwania czoła prądu udarowego. W kablach tych zauważono także, że zmniejszanie czasu trwania czoła prądu udarowego płynącego w ekranie (przy stałej jego amplitudzie) do pewnej granicznej wartości, zależnej od parametrów kabla, powoduje prawie proporcjonalny wzrost wartości indukowanych napięć. Po przekroczeniu tej wartości granicznej dalsze zwiększanie szybkości narastania prądu udarowego nie wywołuje wzrostu amplitudy indukowanego napięcia. Przykłady zmian amplitudy indukowanego napięcia w funkcji czasu narastania prądu udarowego przedstawiono na rys. 42.



Rys. 42. Zmiany amplitudy napięcia indukowanego w przewodzie kablowym w funkcji czasu narastania prądu piorunowego

U_1 - napięcie pomiędzy ekranem a żyłą, U_2 - napięcie między żyłami kabla

Analizując krytycznie dane podane w tabelicy 10 należy zauważyć, że ich obliczenia oraz porównanie utrudniają następujące czynniki:

- brak dokładnych informacji o parametrach układów zakłócających oraz miejscu ich ułożenia wewnątrz budynków,

- różne wartości szczytowe i przebiegi czasowe udarów prądowych symulujących prądy piorunowe,
 - różnego rodzaju instalacje odgromowe i typy budynków,
 - różne punkty doprowadzania udarów prądowych do przewodów instalacji odgromowej.
- Powyższe czynniki utrudniają uogólnianie wyników na inne niż badane obiekty, gdyż otrzymane wyniki mogą być znacznie mniejsze od rzeczywistych, co może doprowadzić do lekceważenia zagrożenia piorunowego. Fakt ten powoduje, że oceniając zagrożenie piorunowe obiektów należy przeprowadzić w każdym z nich badania symulacyjne.

W Polsce metodę badań symulacyjnych dotychczas zastosowali tylko autorzy niniejszego opracowania do oceny zagrożenia piorunowego urządzeń elektronicznych w budowanej w Warszawie (na Ursynowie) centrali telefonicznej. Symulując przypadek uderzenia piorunu w instalację odgromową rejestrowano napięcia indukowane w pętlach o wymiarach 2 m x 10 m, 5 m x 15,6 m, 2 m x 18,6 m tworzonych z przewodów, które układano w różnych miejscach na podłodze lub ścianach bocznych w pomieszczeniach na drugim piętrze wewnątrz obiektu.

Źródłem wywołującym przepływ prądu był generator udarowy umieszczony na dachu obiektu. Prąd doprowadzano do przewodów instalacji odgromowej. Zamknięcie obwodu prądowego uzyskano stosując izolowane przewody powrotne, łączące generator z punktem odległym o ok. 60 m od budynku, a następnie ułożone na ziemi i uziemiane w pobliżu (odległość 2-3 m) pionowych przewodów instalacji piorunochronnej. Zastosowany generator, którego głównym elementem był kondensator o pojemności 11,6 μF ładowany do napięcia ok. 9 kV, umożliwiał wytworzenie udarów prądowych o wartościach szczytowych dochodzących do ok. 350 A. Czas czoła otrzymanych udarów prądowych wynosił ok. 2 + 3 μs , a czas do półszczytu przekraczał 700 μs .

Badając przepięcia indukowane w pętlach tworzonych z przewodów stwierdzono, że gdyby popłynął prąd udarowy o amplitudzie 100 kA i szybkości narastania 100 kA/ μs , to:

- w każdym z badanych obwodów wartości szczytowe indukowanych napięć będą większe od 1 kV,
- maksymalne wyznaczone wartości nie przekroczyłyby 20 kV.

W obecnej chwili doświadczenie pracowników Wojskowego Instytutu Łączności i Politechniki Białostockiej oraz zgromadzona aparatura pomiarowa umożliwiają wykonywanie badań symulacyjnych w dowolnym obiekcie.

6. OBLICZANIE INDUKOWANYCH NAPIĘĆ ATMOSFERYCZNYCH

Źródłem informacji o parametrach napięć atmosferycznych są także wyniki analiz teoretycznych, których przeprowadzenie wymaga stworzenia modeli matematycznych opisujących:

- zjawiska zachodzące podczas wyładowania piorunowego,
- zakłócanie układów przewodów.

Opracowanie i wykorzystywanie metod obliczeniowych wymaga znacznie mniejszych nakładów finansowych w porównaniu z tymi, które należałoby przeznaczyć na prowadzenie obserwacji w rzeczywistych układach.

Gwałtowny wzrost zainteresowania metodami obliczeniowymi nastąpił pod koniec lat siedemdziesiątych. Obliczenia prowadzono m.in. w Japonii [36, 37, 44, 67], USA [39, 50, 64] oraz w wielu krajach europejskich [22, 26, 27, 55].

Indukowane napięcia wyznaczano w:

- liniach jedno- lub wieloprzewodowych biegnących nad ziemią,
- napowietrznych liniach kablowych,
- zakopanych przewodach kablowych.

W metodach wyznaczania napięć indukowanych przez wyładowania atmosferyczne można wyodrębnić następujące etapy postępowania:

- wybór modelu opisującego zjawiska zachodzące podczas wyładowania głównego;

- wyznaczenie zależności opisujących przebiegi LEMP, wywołane przez prądy wyładowania głównego, a czasami także przez ładunki w chmurze burzowej;
- wyznaczenie równań opisujących stany nie ustalone w analizowanych układach przewodów;
- wyznaczenie zależności opisujących stany nie ustalone w układach przewodów w przypadku oddziaływania na te układy impulsowego pola elektromagnetycznego.

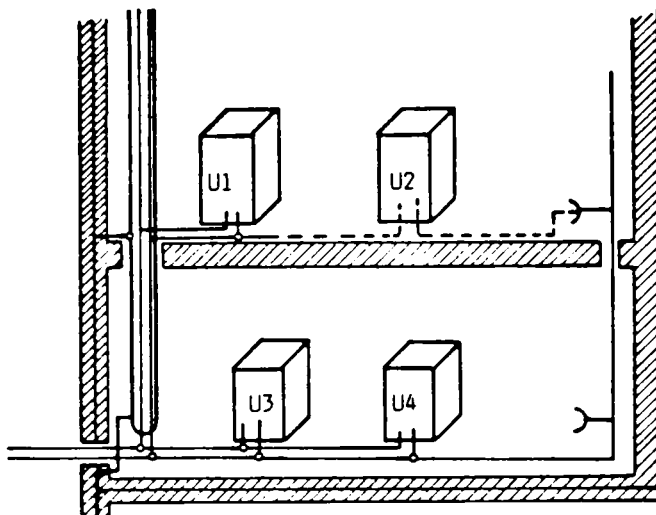
Podobny sposób postępowania zastosowano w niniejszym opracowaniu. Do opisu zjawisk zachodzących podczas przepływu prądu głównego wyładowania piorunowego będą wykorzystane modele przedstawione w pkt. 2. Poniżej omówiono sposoby obliczeń napięć atmosferycznych indukowanych w układach przewodów wewnątrz budynku, w który uderzył piorun.

6.1. Układy przewodów wewnątrz budynków

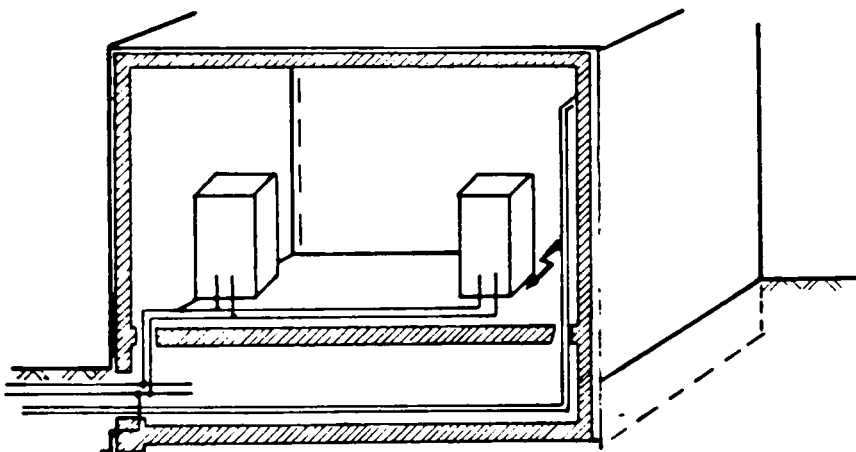
Podczas bezpośredniego uderzenia piorunu w budynek prąd piorunowy rozpryskujący się w instalacji odgromowej lub przewodzących elementach konstrukcyjnych obiektu indukuje:

- napięcia/prądy w układach przewodów zasilających oraz liniach przesyłu sygnałów ułożonych wewnątrz budynku,
- napięcia w dużych pętlach tworzonych przez przewody sieci zasilającej, linie przesyłu sygnałów oraz uziemione elementy wewnątrz budynku.

W tym ostatnim przypadku powstające napięcia mogą wywołać przebicia izolacji lub przeskoki iskrowe, co najczęściej powoduje uszkodzenie urządzeń elektronicznych lub stwarza zagrożenie dla pracowników. Przykłady układów, w których mogą powstać napięcia atmosferyczne zaprezentowano na rys. 43, 44, 45.



Rys. 43. Napięcie atmosferyczne indukowane między przewodami zasilającymi a liniami przesyłu sygnałów
U - urządzenie telekomunikacyjne

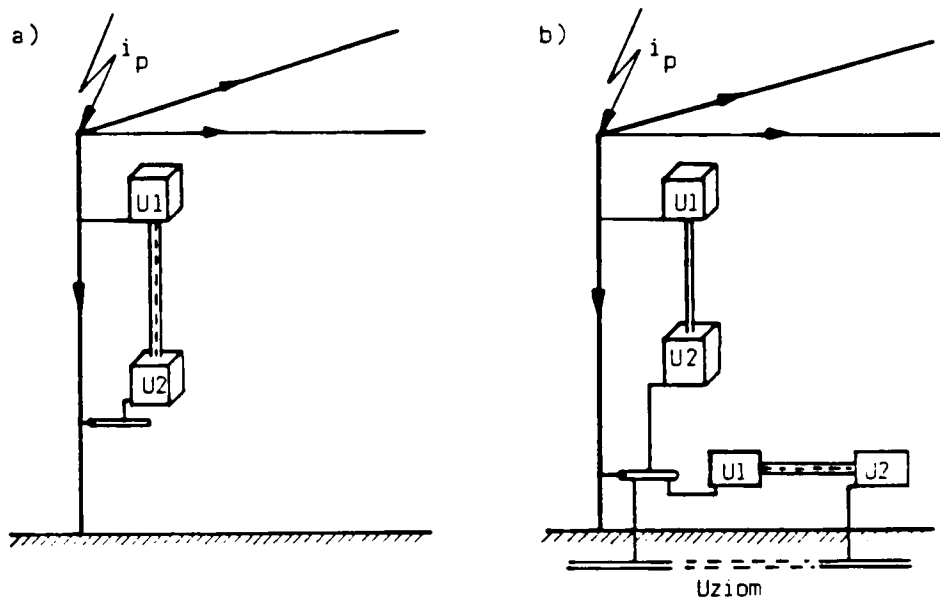


Rys. 44. Napięcia atmosferyczne indukowane w dużych pętlach

Przedstawione na rys. 43 napięcia są indukowane w pętlach, tworzonych z przewodów zasilających i linii przesyłu sygnałów. Równie groźne są napięcia

indukowane w dużych pętliach tworzonych przez przewody zasilające lub interfejsowe oraz elementy uziemione w budynku (np. instalacja wodno-kanalizacyjna, co, rury gazowe).

Przykład zagrożenia występującego w takim przypadku pokazano na rys. 44.



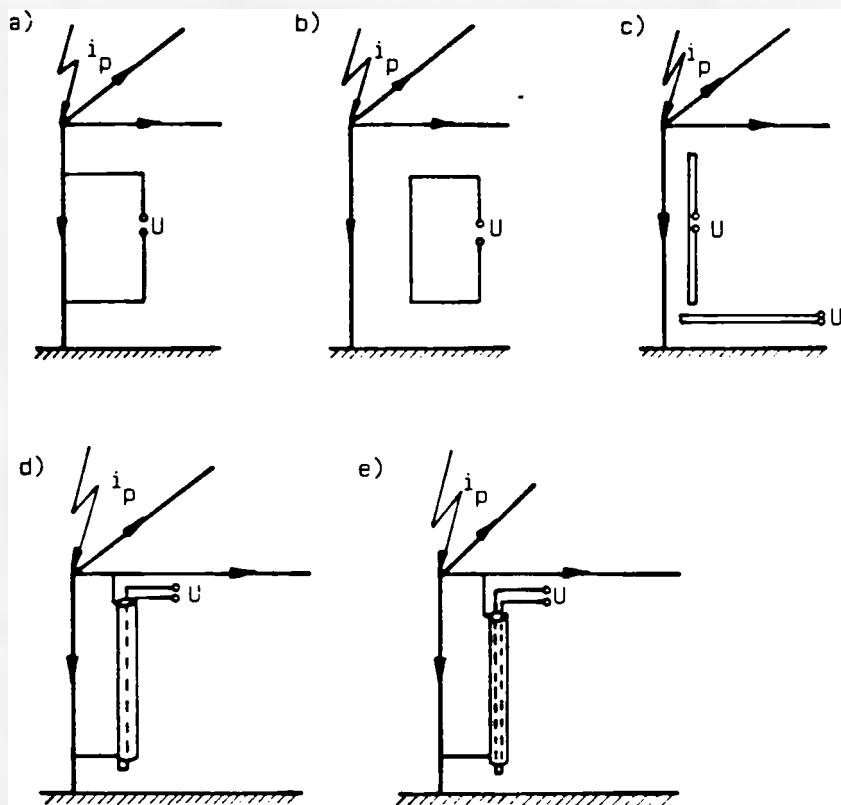
Rys. 45. Przykłady powstawania napięć piorunowych w układach przewodów wewnątrz budynku

- a) napięcia w ekranowanym przewodzie; b) napięcia w ekranowanych i nieekranowanych przewodach
U - urządzenie telekomunikacyjne

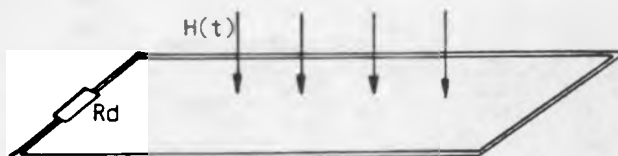
Układy pętli występujących w naturalnych warunkach można przedstawić w postaci uproszczonej i ograniczyć analizę tylko do kilku podstawowych obwodów, które zestawiono na rys. 46.

Napięcia atmosferyczne indukowane w takich układach przez prąd piorunowy najwygodniej wyznaczyć stosując klasyczną teorię obwodów. Wynika to z faktu mikrosekundowego charakteru zmian prądu piorunowego oraz stosunkowo niewielkich wymiarów zakłócanych obwodów. W czasie uderzenia pio-

runu w budynek przedstawione układy przewodów znajdują się w obszarze działania zmiennego pola magnetycznego (rys. 47).



Rys. 46. Uproszczone układy, w których indukowane są napięcia atmosferyczne
a), b) duże pętle; c) pętle z przewodów; d), e) ekranowane przewody



Rys. 47. Oddziaływanie zmiennego pola magnetycznego na pętlę
tworzoną z przewodów

Zjawiska zachodzące w takim układzie opisuje równanie:

$$L \frac{di(t)}{dt} + R_c \cdot i(t) = - \frac{d\phi_c}{dt} \quad (23)$$

gdzie:

- $i(t)$ - prąd indukowany w zakłócanej pętli,
- L - indukcyjność własna zakłócanej pętli,
- $R_c = R_1 + R_0$ - rezystancja w pętli (rezystancja przewodów R_1 oraz rezystancja dodatkowa R_0),
- ϕ_c - zewnętrzny strumień magnetyczny wywołany przez rozpryskujący się prąd piorunowy.

W naturalnych warunkach podstawowe znaczenie mają dwa przypadki, opisywane równaniami:

a) pętla zwarta ($L \cdot di/dt \gg R_c \cdot i$)

$$L \frac{di(t)}{dt} = - \frac{d\phi_c}{dt} = - \frac{\mu_0 \cdot dH(t) \cdot s}{dt} \quad (24)$$

b) pętla rozwarta ($R_c = \alpha$)

$$e = - \frac{d\phi_c}{dt} = - \frac{\mu_0 \cdot dH(t) \cdot s}{dt} \quad (25)$$

gdzie:

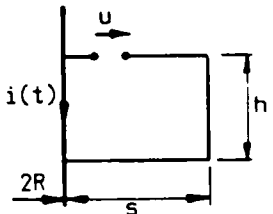
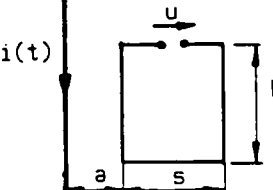
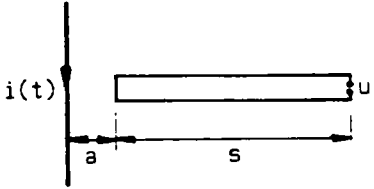
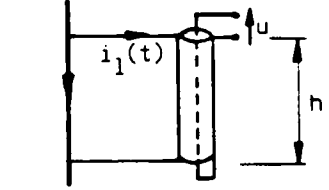
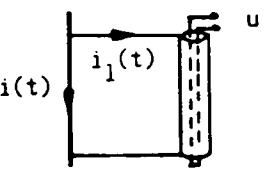
- s - powierzchnia pętli,
- H - wektor natężenia pola magnetycznego przenikający powierzchnię analizowanej pętli,
- μ_0 - przenikalność magnetyczna powietrza.

W obu przypadkach zasadniczym problemem jest wyznaczenie strumienia magnetycznego przenikającego analizowaną pętlę.

Uprozczone zależności umożliwiające obliczenia napięć indukowanych przez prąd udarowy zestawiono w tablicy 11.

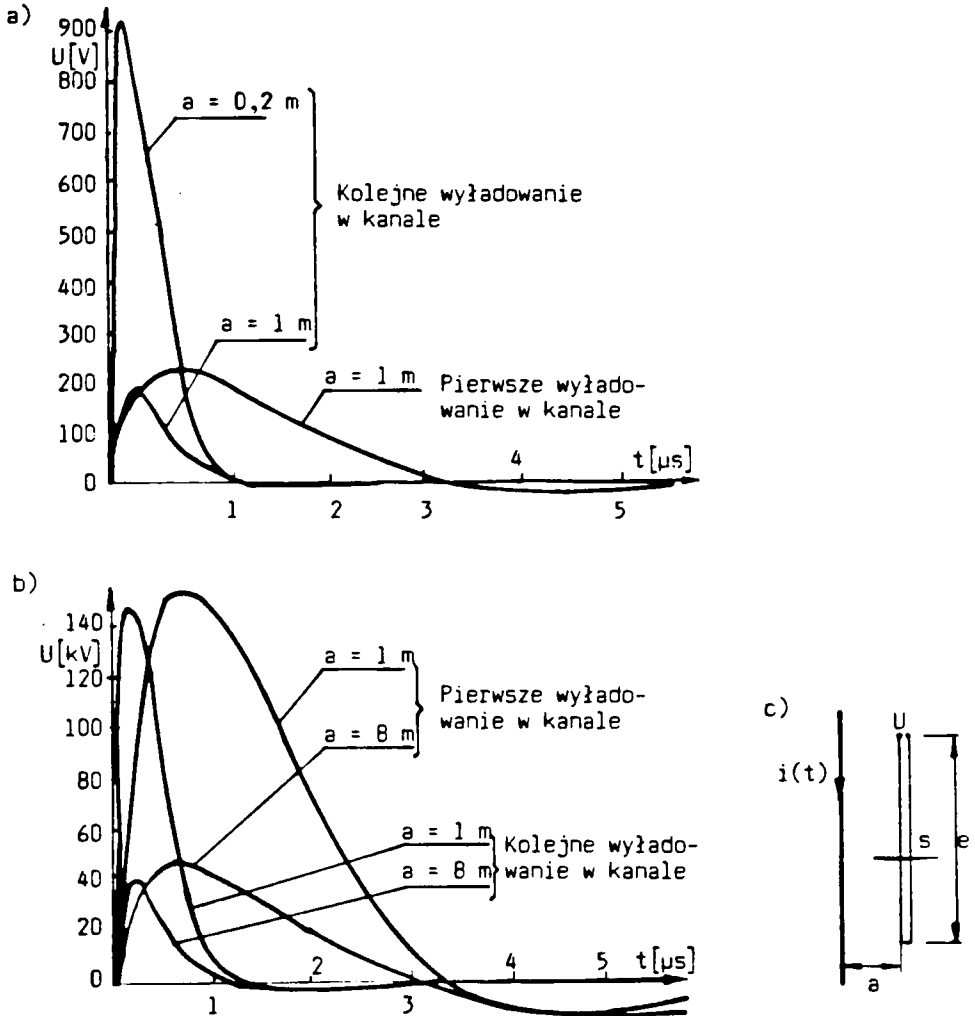
Tablica 11

Zależności określające napięcia indukowane przez prąd udarowy
płynący w pojedynczym przewodzie

Schemat układu	Zależności określające indukowane napięcie
	$U(t) = \frac{di(t)}{dt} \cdot \frac{\mu_0}{2\Pi} \cdot h \cdot \ln\left(\frac{s+R}{R}\right)$
	$U(t) = \frac{di(t)}{dt} \cdot \frac{\mu_0}{2\Pi} \cdot h \cdot \ln\left(\frac{a+s}{a}\right)$
	$U(t) = \frac{di(t)}{dt} \cdot \frac{\mu_0}{2\Pi} \cdot h \cdot \ln\left(\frac{a+s}{a}\right)$
	$U(t) = Z_r \cdot i_1(t) \cdot h$ <p>Z_r - impedancja przejścia ekranu kabla [mΩ/m]</p>
	$U(t) = 0$

Zależności podane w tabl. 11 określają napięcia indukowane w otwartej pętli przez prąd piorunowy płynący w pojedynczym przewodzie. Przypadki takie występują, jeżeli prąd płynie w kanale wyładowania lub w pojedynczym zwo-

dzie pionowym wysokim. Przykłady wyznaczonych wartości napięć indukowanych przez prąd piorunowy o przebiegu z rys. 14 przedstawiono na rys. 48.



Rys. 48. Przykłady obliczonych przebiegów napięć indukowanych przez prąd piorunowy w różnego rodzaju układach przewodów

a) pętla z przewodów; b) duże pętla; c) wzajemne ułożenie przewodu z prądem $i(t)$ i pętli

W przypadku uderzenia piorunu w budynek należy uwzględnić rozptył prądu piorunowego w obiekcie. Wyznaczając wartości szczytowe i charakter

zmian napięć indukowanych w układach przewodów ułożonych wewnątrz budynku należy:

- określić położenie analizowanego układu przewodów względem przewodów instalacji odgromowej lub elementów konstrukcji obiektu, w których płynie prąd udarowy;
- przyjęc, w zależności od przeznaczenia obiektu oraz założonej niezawodności działania urządzeń elektronicznych, wartość szczytową i przebieg czasowy prądu piorunowego wpływającego do obiektu;
- określić przybliżone wartości prądów płynących w pionowych i poziomych przewodach instalacji odgromowej lub elementach przewodzących budynku;
- wyznaczyć wartości napięcia indukowanego w analizowanym układzie przewodów z zależności:

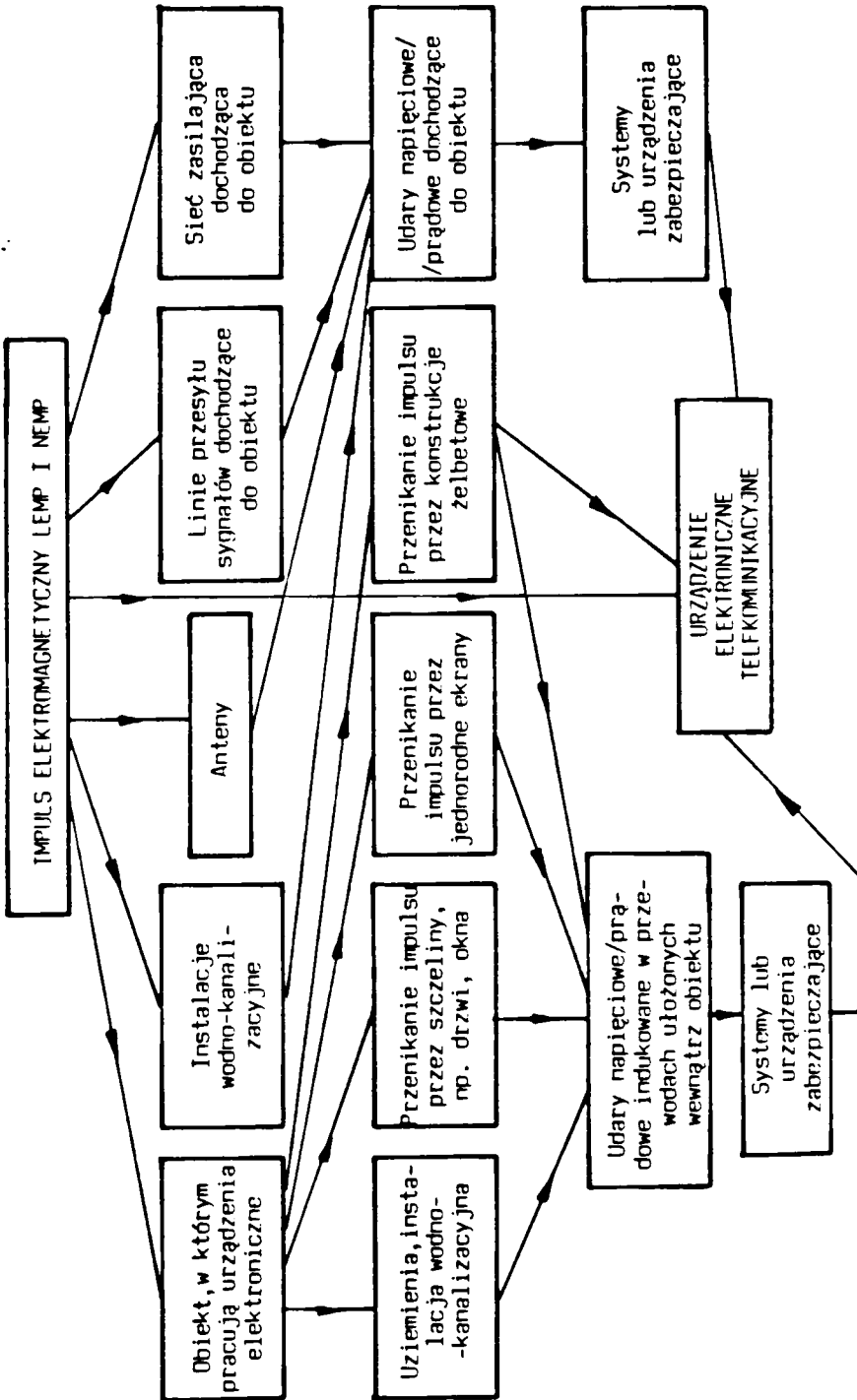
$$u(t) = \sum_{i=1}^n U_i \quad (26)$$

przy czym:

- i - liczba pionowych i poziomych odcinków przewodów, z których składa się instalacja odgromowa,
- U_i - napięcie indukowane przez prąd płynący w dowolnym i-tym przewodzie instalacji.

Określając stopień zagrożenia piorunowego urządzeń elektronicznych należy wyznaczyć wartości napięć indukowane w układach przewodów i porównać je z wartościami napięcia dopuszczalnego dla danego urządzenia lub z wytrzymałością przerw iskrowych, jakie są tworzone przez układy przewodów. Dokładna analiza rozptywu prądów piorunowych w budynkach oraz indukowane przez te prądy napięcia będą szczegółowo analizowane w kolejnym etapie badań prowadzonych przez autorów.

Zakres przewidywanej analizy zagrożenia pokazano w formie blokowej na rys. 49. Na rysunku uwzględniono LEMP (oddziaływanie piorunowe) i NEMP (oddziaływanie wybuchu jądrowego).



Rys. 49. Zakres przewidywanej analizy zagrożenia impulsowym polem elektromagnetycznym

WYKAZ LITERATURY

1. Aquet M., Ianovici M.: An Approach to calculation of lightning induced currents on aerial and buried cables. 17 ICLP, Haga 1983, pp. 105-109.
2. Anderson R.B., Eriksson A.J.: Lightning parameters for engineering application. Elektra, No 69, 1980, pp. 65-101.
3. Anderson R.B.: Lightning research in Southern Africa. Trans. Electrical Engineers, Vol. 71, No 4, 1980, pp. 1-27.
4. Anzelm P., Kouteynikoff P.: Voltages Induced by Lightning Strokes and Ground Faults on Coaxial Telecommunication Circuit Enclosed inside Composite Earthwire. Trans. IEEE, PAS-104, No 2, 1985, pp. 250-256.
5. Baatz H.: Mechanismus des Gewitters und Blitzes. Grundlagen des Blitzschutz von Bauten. VDE- Verlag GmbH, 1978.
6. Bennison E., Ghazi A.J., Ferland P.: Lightning Surges in Open Wire, Coaxial and Paired Cables. Trans. IEEE, COM-21, No 10, 1973.
7. Beierl O., Steinbigler H.: Induzierte Überspannungen in Bereich von Ableitungen bei Blitzschutzanlagen mit Maschenformigen. 18 ICLP, Monachium 1985.
8. Berger K., Anderson R.B., Kroninger H.: Parameters of Lightning Flashes. Elektra, No 41, 1975, pp. 23-27.
9. Berger K.: Extreme Blitzströme und Blitzschutz. Bull. SEV, No 9, S. 460-464.
10. Bodle D.W., Gresh P.A.: Lightning Surges in Paired Telephone Cables Facilities. Bell Syst. Techn. J. Vol. 10, No 2, pp. 517-576.
11. Boyce C.F.: Protection of telecommunication systems. Edited by R.H. Golde, Academic Press 1977, LIGHTNING. Vol. 2, Lightning Protection.
12. Breunig W.: Österreichische Bestimmung für Elektrotechnik: Schutz gegen Schädigende transiente Überspannungen. 18 ICLP, Monachium 1985, S. 385-394.
13. Cooray V.: A Novel Method to Identify the Radiation Fields Produced by Positive Return Strokes and their Submicrosecond Structures. J. Geophys. Res. Vol. 91, 1986, pp. 7907-7911.
14. Dickman W., Neuhaus H.: Potentialausgleich zwischen Blitzschutzanlagen und Funktions-erdnung Elektronischer Anlagen. 17 ICLP, Haga 1983.
15. Dutt J.: Overvoltages on Subscriber Lines. Electrical Communication, Vol. 54. No 2, 1979, pp. 32-36.
16. Esposito F., Meineri G., Guglielmina M., Pomponi R.: Lightning Surge Measured on Telephone Lines. Symposium EMC-87, Zurich 1987, pp. 277-282.

17. Fleszyński J., Lisiecki J., Hejnowicz G., Łejdy B.: Odporność konstrukcji żelbetowych jako uziomów naturalnych na działanie prądów udarowych. Prace Naukowe Instytutu Energetyki Politechniki Wrocławskiej, 1977.
18. Flisowski Z.: Przewody urządzenia piorunochronnego obiektów o konstrukcji żelbetowej. Przegląd Elektrotechniki, nr 8-9, 1983.
19. Flisowski Z.: Trendy rozwojowe ochrony odgromowej budowli. Część 1: Wyladowania piorunowe jako źródło zagrożenia. PWN, Warszawa 1983.
20. Garbagnati E., Piparo G.B.: Parameters von Blitzstromen. etz Bd 103, 1982, S. 61-65.
21. Garbagnati E. i in.: Parameters of lightning currents. Interpretation of the results obtained in Italy. 16 ICLP, Szeged 1981, R-1.03.
22. Golde R.H.: Lightning. Vol. 1,2.. Academic Press, London 1977.
23. Habinger A.: Isolierung Elektronischer Fernmeldetechnischer Einrichtung als Blitzschutzmassnahme. 19 ICLP, Graz 1988.
24. Hadrian W.: Research into electromagnetic disturbances caused by lightning in buildings. Symposium on EMC-78. Wrocław 1978.
25. Hadrian W.: Reduction of electromagnetic disturbances in buildings caused by lightning using conductive facade. Symposium on EMC-79, Rotterdam 1979, pp. 405-410.
26. Hamelin J., Djebari B., Barreau R., Fontaine J.: Electromagnetic Fields resulting from lightning discharge, surge induced on overhead lines, mathematical model. Symposium on EMC-79, Rotterdam 1979, pp. 439-444.
27. Hamelin J., Djebari B.: Surges induced on overhead telecommunication lines by a lightning. 15 ICLP, Uppsala 1979.
28. Hamelin J., Leteiturier C., Nocot L., Weidman C.: Submicrosecond structure of the radiation fields produced by lightning flashes. Symposium on EMC-86, Wrocław 1986.
29. Hart W., Malone E.: Lightning and Lightning protection. Multi Volume EMC Encyclopedia Series, 1965.
30. Hasse P., Wiesinger J.: Handbuch für Blitzschutz und Erdnung. 3 Aufl. Berlin, VDE-VERLAG GmbH, 1989.
31. Heidler F.: Traveling current source model for LEMP calculation. Symposium on EMC-85, Zurich 1985, pp. 157-162.
32. Heidler F.: Some deduction from traveling current source model. Symposium on EMC-86, Wrocław 1986, pp. 245-252.
33. Heidler F.: E-dot measurements by video type recorder. Symposium on EMC-87, Zurich 1987, pp. 69-74.
34. Ikeda J.: Lightning parameters in Japan. IEC National Comitee of Japan. May 1984.
35. Jakubowski J.L.: Podstawy teorii przepięć w układach elektroenergetycznych. PWN, Warszawa 1968.

36. Koga H., Motomitsu T., Taguhi M.: Lightning Surge Waves Induced on Overhead Lines. *Trans. of IECE of Japan*, Vol. E62, No 4, 1979, pp. 216-223.
37. Koga H., Motomitsu T.: Lightning-Induced Surges in Paired Telephone Subscriber Cables in Japan. *Trans. IEEE, EMC-27*, 1985, pp. 152-161.
38. Krider E.P., Weidman C.D., Noggle R.C.: The Electric Fields Produced by Lightning Stepped Leaders. *J. Geophys. Res.* Vol. 82, No 6, 1977, pp. 951-960.
39. Lin Y.T.: Lightning return-stroke models. Diss. Florida Technical University, 1978.
40. Martzloff F.D., Hahn G.J.: Surge Voltages in Residential and Industrial Power Circuits. *Trans. IEEE, Vol. PAS-89*, No 6, 1970.
41. Martzloff F.D.: Coordination of Surge Protectors in Low-Voltage AC Power Circuits. *Trans. IEEE, Vol. PAS-99*, No 1, 1980.
42. Martzloff F.D., Wilson P.F.: Fast transient test-trivial of terminal pursuit. Symposium on EMC-87, Zurich 1987, pp. 283-288.
43. Mazzeti C., Nucci C.A., Ianovici F., Rochidi F.: Frequency Analysis of Lightning Stroke Electromagnetic Fields. Symposium on EMC-87, Zurich 1987, pp. 79-84.
44. Mitani H.: Magnitude and Frequency of Transient Voltages in Low-Voltages Control Circuits of Power Station and Substation. *Trans. IEEE, Vol. PAS-99*, No 5, 1980, pp. 1871-1877.
45. Montandon E.: Lightning induced overvoltages in buildings and installed equipment and recommendation for optimum protection. Symposium on EMC-79, Rotterdam 1979, pp. 415-420.
46. Montandon E.: Blitzschutzkonzept für das PTT-Mehrzweckgebäude St. Chrischona. *Technische Mitteilungen PTT*, Nr. 9, 1981, S. 343-356.
47. Montandon E.: Messung der Blitzstrom-beeinflussung in Grossflaschen Gebäuden. 17 ICLP, Haga 1983, S. 81-88.
48. Mork E.: Overvoltages in telecommunication Networks. *Ericsson Review*, No 2, 1980, pp. 52-57.
49. Neuhaus H.: Blitzschutzanlagen. VDE-VERLAG GmbH, 1983, Berlin.
50. Nordgard J.D., Chin-Lin Chen: Lightning Induced Transient in buried Shielded Transmission Lines. *Trans. IEEE, EMC-21*, No 3, 1979, pp. 171-181.
51. Pfeiffer G., Bernet G.: Zur Berechnung der durch Blitzströme verursachten Berührungsspannungen in Gebäuden. *Elektric* 32, 1978, No 7, S. 380-383.
52. Pflugel K., Poop E.: Ermittlung der in Kleineren Fernmeldegebäuden zu Erwartenden Blitzüberspannungen durch Simulation von Blitzschlägen. 18 ICLP, Monachium 1985, S. 283-289.
53. Pomponi R., Solbiati G.: Induzione elettromagnetica dalle linea elettriche sulle linea di telecomunicazione. *Lelettrotecnica*. No 7, 1975.

54. Popolansky F.: Generalization of model measurements results of impulse characteristics of concentrated earth. Koloquimsbericht, CIGRE SC 33-80, Trondheim, 1980.
55. Popp E.: Theoretische berechnung der durch Wolkenblitze in Leitungen Verursachten Überspannungen. 15 ICLP, 1979, S. 122-151.
56. Price J.H., Agrawal A.K.: The Response of a transmission Lines Illuminated by Lightning-Induced Electromagnetic Fields. Trans. IEEE, EMC-22, No 4, 1980, pp. 150-156.
57. Refi J.J., Swiderski M.J.: Lightning Surges in Burued, Filled Telephone Distribution Cables. Techn. Raport, pp. 264-273.
58. Scuka V.: EMI of lightning with digital communication systems. Symposium on EMC-84, Wrocław 1984.
59. Scuka V.: Lightning and transient protection of a satelite control station. 19 ICLP, Graz 1988.
60. Sowa A.: Analiza zagrożenia piorunowego urządzeń elektronicznych. Rozprawy Naukowe. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 1990.
61. Steinbigler H., Beier O.: Berechnung der Stromverteilung in Gebauden bei Direkten Blitzschlägen. 18 ICLP, Monachium 1985, S. 137-144.
62. Szpor S., Samula J.: Ochrona odgromowa. Tom 1. Wiadomości podstawowe. WNT, Warszawa 1983.
63. Tiller J.A., Uman A., Lin Y.T.: Electric field statistics for close lightning return stroke near Gainesville Florida. J. Geophys. Res. Vol. 81, No 24, 1976, pp. 4430-4434.
64. Uman M.A., Krider E.P.: A Review of Natural Lightning Experimental Data and Modelind. Trans. IEEE, EMC-24, No 2, 1982, pp. 79-111.
65. Uman M.A.: Lightning. Dover Publication Inc, New York 1984.
66. Weidman C.D., Krider E.P.: The submicrosecond structure of the electromagnetic fields radiated by lightning. 17 ICLP, Haga 1983, pp. 65-74.
67. Yokoyama S., Miyake K., Mitani H., Tagushi A.: Simultaneous Measurements of Lightning Induced Voltages with Associated Stroke Currents. Trans. IEEE, Vol. PAS-102, No 8, 1983, pp. 2420-2429.

Рышард Флорыньскі
Анджей Сова
Лешек Аугустыняк

ИМПУЛЬСНЫЕ ПОМЕХИ, СОЗДАВАЕМЫЕ АТМОСФЕРНЫМИ РАЗРЯДАМИ

Резюме .

Представлено математическое описание временных характеристик молниевотока и значения его основных параметров вместе с результатами измерений электромагнитных молниевых импульсов (LEMP) в естественных условиях. Указаны методы вычислений и математические описания напряжений помех, происходящих от атмосферных разрядов, индуцируемых по сигнальным и сетевым линиям, а также по цепям внутри здания.

Ryszard Floryński
Andrzej Sowa
Leszek Augustyniak

IMPULSE DISTURBANCES CAUSING BY ATMOSPHERIC DISCHARGES

S u m m a r y

Mathematical describe of lightning current timing and values of basic parameters together with electromagnetic lightning (LEMP) impuls measurement results in natural environment are shown. It is pointed on methods of calculating and mathematical describing of disturbance voltage derived from atmospheric discharges which are including-in exterior or interior signal network lines.

Ryszard Floryński
Andrzej Sowa
Leszek Augustyniak

**PERTURBATIONS IMPULSIONNELLES PROVOQUEES
PAR DECHARGES ATMOSPHERIQUES**

R é s u m é

On a présenté la description mathématique des caractéristiques temporelles du courant induit par la foudre ainsi que des valeurs de base des ces paramètres avec les résultats des mesures des impulsions électromagnétiques de l'orage (LEMP) dans les conditions naturelles. On a démontré les méthodes des calculs mathématiques des tensions des perturbations provoqués par décharges atmosphériques induits en lignes des signalisation, en celles de réseaux ainsi que dans les cages à l'intérieur d'un bâtiment.

Ryszard Floryński
Andrzej Sowa
Leszek Augustyniak

DIE DURCH ATMOSPHÄRISCHE ENTLADUNGEN HERVORGERUFENEN STÖRUNGEN

Z u s a m m e n f a s s u n g

Es wurde die mathematische Beschreibung der Zeitverläufe des Blitzstromes und der Grundwerte seiner Parameter zusammen mit den Messresultaten der elektromagnetischen Sturmimpulse (LEMP) in den natürlichen Bedingungen dargestellt. Es wurden die Berechnungsmethoden und die mathematischen Beschreibungen der durch atmosphärische Entladungen hervorgerufenen in Signallinien, in Netzlinien und in Gehäusen innen des Gebäudes induzierten Störspannungen gezeigt.

Ryszard Floryński
Andrzej Sowa

621.391.82:623.454.86

ZAKŁÓCENIA IMPULSOWE POWODOWANE PRZEZ IMPULSY ELEKTROMAGNETYCZNE WYBUCHU JĄDROWEGO

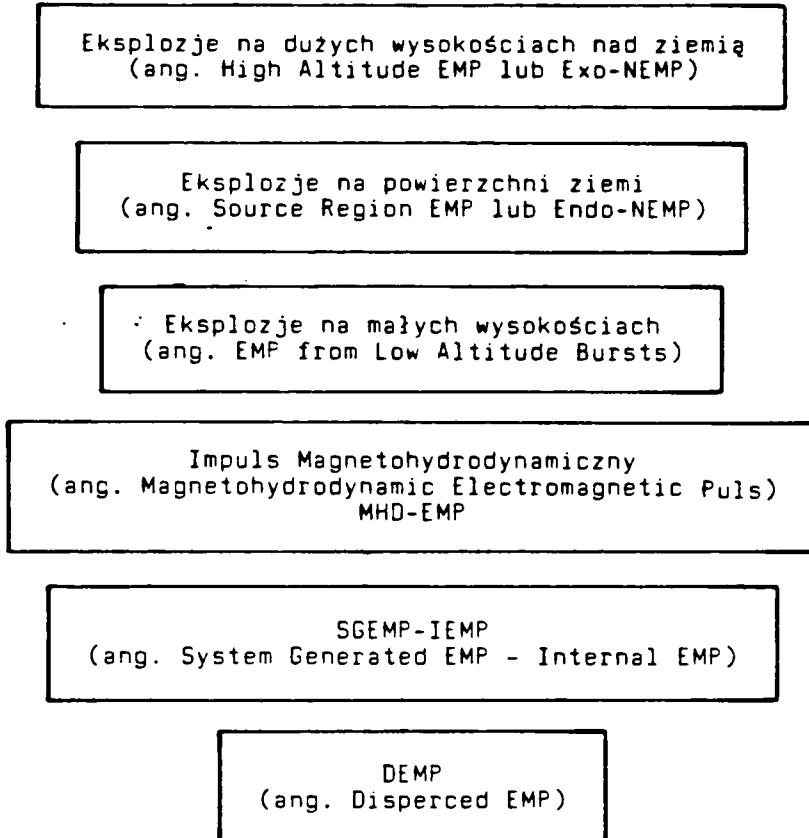
Przedstawiono historię badań oddziaływania impulsów elektromagnetycznych pochodzenia nuklearnego (NEMP) na urządzenia elektroniczne. Opisano zjawisko fizyczne wywołujące NEMP, jak również wartości parametrów charakteryzujących NEMP i udarów indukowanych. Zaprezentowano ogólne zasady analizy zagrożeń, stwarzanych przez te impulsy dla urządzeń i systemów elektronicznych.

1. WPROWADZENIE

Zapewnienie niezawodnej i bezawaryjnej pracy systemów łączności wymaga zabezpieczenia części urządzeń telekomunikacyjnych przed działaniem zakłóceń wywołanych przez impulsy elektromagnetyczne występujące podczas eksplozji nuklearnej, tzw. NEMP (ang. Nuclear Electro-Magnetic Puls). Działanie NEMP jest w niektórych przypadkach jedynym elementem zagrożenia urządzeń elektronicznych podczas wybuchu jądrowego. Poprawne zaprojektowanie i wykonanie zabezpieczeń chroniących urządzenia i systemy telekomunikacyjne przed działaniem NEMP wymaga posiadania niezbędnych informacji o powstającym zagrożeniu. Próbę usystematyzowania dostępnych danych o zagrożeniu stworzonym przez NEMP podjęli autorzy niniejszego artykułu.

2. IMPULSY ELEKTROMAGNETYCZNE WYTWORZONE PRZEZ EKSPLOZJE NUKLEARNE

Na rys. 1 zaprezentowano w formie blokowej różnego rodzaju typy impulsów elektromagnetycznych powstających w czasie eksplozji nuklearnych.



Rys. 1. Impulsy elektromagnetyczne wywoływane przez wybuchy jądrowe

2.1. Historia badań oddziaływania NEMP na urządzenia elektroniczne

Poniżej przedstawiono krótki opis historii badań oddziaływania NEMP na urządzenia i systemy elektroniczne.

1945 r. E. Fermi, przewidując wystąpienie w czasie eksplozji nuklearnej impulsów elektromagnetycznych, zalecił ekranowanie aparatury kontrolno-pomiarowej stosowanej do rejestracji parametrów eksplozji.

1951 + Shuster, Cowan i Reines przeprowadzili pierwsze obserwacje potwierdzające istnienie NEMP.
1952 r.

- 1952 r. Podczas pierwszej brytyjskiej eksplozji nuklearnej część urządzeń została uszkodzona przez NEMP.
- 1954 r. E. Garwin prawidłowo przewidział, że wywołane przez promieniowanie prądy Comptona są podstawowym źródłem NEMP.
- 1957 r. Bethe próbował oszacować parametry NEMP, wykorzystując model dipola elektrycznego.
- 1957 r. Wykonano pierwsze pomiary impulsowego pola magnetycznego podczas serii eksplozji PLUMBBOB.
- 1958 r. A. S. Kompaneets (ZSRR) opublikował w ogólnodostępnym czasopiśmie jedną z pierwszych prac omawiających NEMP.
- 1958 + W Honolulu i na Wyspach Marschalla podczas amerykańskich eksplozji
1962 r. nuklearnych zaobserwowano zakłócające i niszczące działanie NEMP.
- 1959 r. E. Pomham i R. Taylor przedstawili teorię powstawania NEMP.
- 1959 r. Podjęto próbę oceny możliwości sprzężenia NEMP do podziemnych kabli systemu raketowego MINUTEMAM.
- 1962 r. Wykonano pomiary NEMP wywołane przez wybuchy na dużych wysokościach (testy FISHBOWL - 11 eksplozji).
- 1962 r. Przeprowadzono pomiary NEMP wywołane przez eksplozje na powierzchni ziemi (test SMALL BOY).
- 1962 r. W "The Effect of Nuclear Weapons" umieszczono informacje o NEMP. We wcześniejszych wydaniach tej książki (1950, 1957) NEMP nie był przedstawiany.
- 1963 r. Na otwartych konferencjach międzynarodowych pojawiły się publikacje dotyczące NEMP.
- 1963 r. Wszedł w życie układ o zakazie dokonywania próbnych wybuchów nuklearnych w atmosferze, co ograniczyło możliwości obserwacji NEMP i wywoływanych zakłóceń.
- 1963 + Air Force Weapons Laborator (AFWL) wykonało pierwsze badania
1964 r. testujące oddziaływanie NEMP.
- 1967 r. Ukończono budowę ALECS'a pierwszego symulatora fali biegnącej, w którym istniała możliwość prowadzenia kompleksowych badań sprzętu wojskowego.

- 1969 r. Odkryto się pierwsze oficjalne seminarium, dotyczące tylko zagadnień NEMP.
- 1970 r. Schaefer dokładnie opisał test podziemnego NEMP.
- 1974 + Wykonano testy podziemne: MING BLADE, DINING CAR, MIGH-
1975 r. TY EPIC.
- 1978 r. Ukazało się specjalne wydanie IEEE Trans. on Antennas and Propagation opisujące NEMP, zasady testowania, impulsy udarowe napięciowe i prądowe indukowane przez NEMP.

Od chwili pierwszego seminarium, dotyczącego zagadnień NEMP (1969 r.) coraz częściej pojawiają się artykuły omawiające zakłócające i niszczące oddziaływanie NEMP. W Europie takim forum są międzynarodowe sympozja kompatybilności elektromagnetycznej, które odbywają się w Zurichu (lata nieparzyste) oraz we Wrocławiu (lata parzyste). Problemy te pojawiają się również na międzynarodowych konferencjach zajmujących się zagadnieniami awiacji, które odbywają się w Wielkiej Brytanii.

Gwałtowny rozwój nastąpił także w dziedzinie laboratoryjnych badań odporności urządzeń na działanie NEMP. Symulatory dużych rozmiarów są budowane w USA przez Air Force Weapons Laboratory, Naval Surface Weapons Center, Harry Diamond Laboratory. Dostępne dane, charakteryzujące największe z dotychczas zbudowanych symulatorów zestawiono w tabl. 1.

Tablica 1

Podstawowe dane o symulatorach NEMP

Symulatory składające się z dwu równoległych płaszczyzn		
Nazwa symulatora	Natężenie pola elektrycznego	Obszar do badań a b h (m)
ALECS	50 kV/m	30 30 10
ARES	70 kV/m	40 30 30
ATLAS 1	50 kV/m	80 80 75
TEFS	65 kV/m	40 40 10
Symulatory promieniujące falę elektromagnetyczną		
RES 1	1 kV/m	r = 100 m (polar. pozioma)
RES 2	1 kV/m	r = 100 m (polar. pionowa)
AESOP	15 kV/m	r = 200 m (polar. pozioma)
VEMP	5 kV/m	r = 200 m (polar. pionowa)

3. ZJAWISKA FIZYCZNE WYWOŁUJĄCE NEMP

Fakt powstawania podczas eksplozji nuklearnej impulsowego pola elektromagnetycznego przewidywano, pomimo nieznaności mechanizmów jego powstawania, już w 1945 r. Obecnie zjawiska fizyczne, które są źródłem NEMP poznano na tyle dokładnie, że istnieje możliwość określenia przybliżonych wartości szczytowych i przebiegów czasowych powstających impulsów elektromagnetycznych.

Szczegółowy opis zachodzących zjawisk fizycznych wykracza poza ramy tego artykułu. W niniejszym punkcie ograniczono się tylko do krótkiego i bardzo ogólnego przedstawienia zasad wytwarzania NEMP. Jest to jednak zakres wystarczający dla specjalistów zajmujących się zagadnieniami niszczącego lub zakłócającego oddziaływania pola elektromagnetycznego na urządzenia elektroniczne. Ogólny schemat blokowy zjawisk zachodzących od momentu wybuchu jądrowego do chwili powstania NEMP przedstawiono na rys. 2.

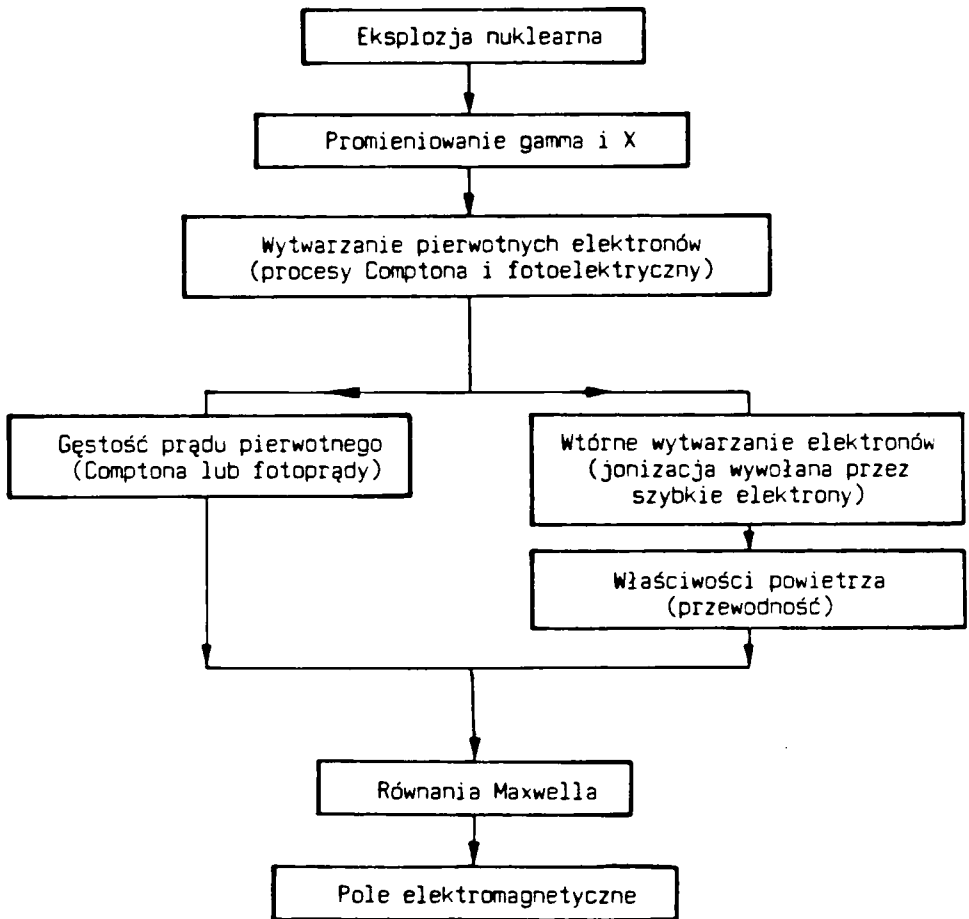
Rozpatrując zachodzące zjawiska należy zwrócić szczególną uwagę na powstające podczas eksplozji nuklearnej promieniowanie gamma (fotony posiadające energię [ok. 1 MeV] i promieniowanie X [fotony o energii kilku keV]). Przenikaniu wytworzonych fotonów przez różnego rodzaju ośrodki (np. atmosferę ziemską, obudowy satelitów, ściany obiektów) towarzyszą zjawiska Comptona i fotojonizacji, co powoduje powstawanie wolnych elektronów (tzw. pierwotne elektrony) i jonów dodatnich. Poruszające się elektrony tworzą tzw. prąd pierwotny. Elektrony te, zderzając się z atomami ośrodka, wybijają z nich elektrony i równocześnie wytrącają swoją prędkość. Wybite elektrony (tzw. wtórne elektrony) poruszają się wzdłuż lokalnych linii sił pola elektrycznego, a powstający prąd jest uzależniony od przewodności ośrodka. Powstające prądy przewodzenia dążą do kasowania panującego pola elektrycznego. Jeżeli jesteśmy w stanie określić gęstość prądu pierwotnego i prądu przewodzenia, to wartość szczytowa i przebieg czasowy NEMP można wyznaczyć, rozwiązując równania Maxwella w postaci:

$$\left. \begin{aligned} \mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \nabla \times \vec{E} &= 0 \\ -\epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \nabla \times \vec{H} &= \vec{I}^c + \gamma \vec{E} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

gdzie: E, H - odpowiednio natężenie pola elektrycznego i magnetycznego,

\vec{I}^c - prądy Comptona, γ - konduktywność powietrza.

Poniżej omówiono bardziej szczegółowo mechanizm powstawania NEMP.



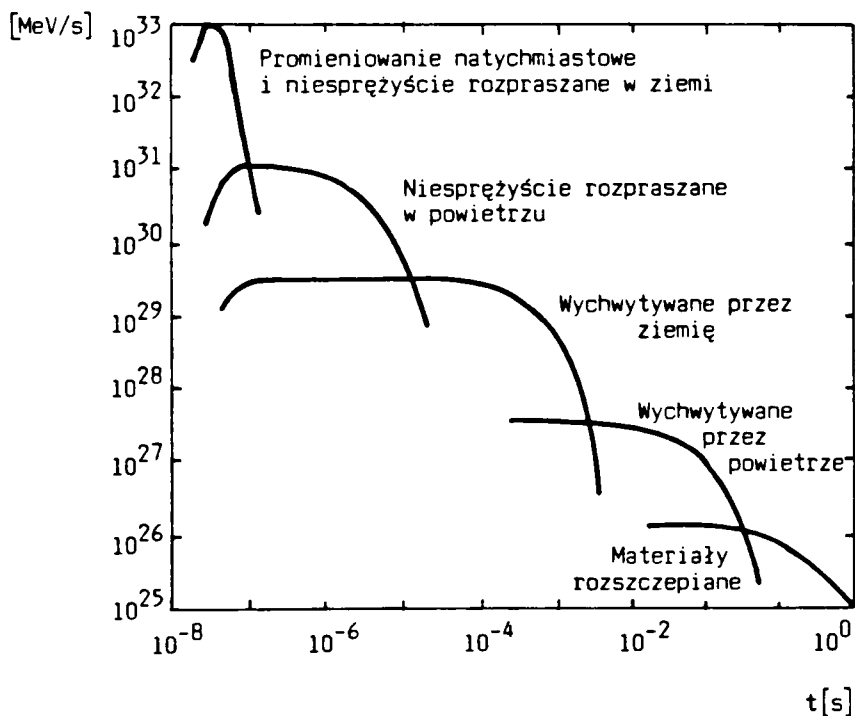
Rys. 2. Schemat blokowy zjawisk powodujących wytworzenie NEMP

3.1. Podstawowe źródła impulsu elektromagnetycznego

Zgodnie z przedstawionym na rys. 2 schematem blokowym zachodzących zjawisk, impuls elektromagnetyczny jest wytwarzany na skutek oddziaływania promieniowania gamma i X, których źródła zostaną opisane.

3.1.1. Promieniowanie gamma

W celu zaprezentowania zachodzących zjawisk zostanie rozpatrzona eksplozja nuklearna w powietrzu na niewielkiej wysokości nad ziemią (przypadek eksplozji na powierzchni ziemi). Przewidywany, ale nietypowy przykład źródeł promieniowania gamma od eksplozji o mocy 1 Mt przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Intensywność różnych źródeł promieniowania gamma w funkcji czasu podczas eksplozji o 1 Mt na powierzchni ziemi

Podczas eksplozji można wyodrębnić kilka źródeł promieniowania gamma, z których każde charakteryzuje inny czas opóźnienia. W zależności od sposobu powstawania możemy wyróżnić:

- natychmiastowe impulsowe promieniowanie gamma pochodzące bezpośrednio od eksplozji nuklearnej (intensywność promieniowania wzrasta w ciągu kilku ns i opada w kilkadziesiąt ns);
- niesprężyste rozproszone promieniowanie gamma powstające podczas zderzeń neutronów szybkich z:
 - a) ziemią w pobliżu miejsca eksplozji (intensywność promieniowania zmienia się analogicznie jak promieniowania natychmiastowego),
 - b) powietrzem (jeżeli energia > 6 keV);
- wychwytywane promieniowanie gamma wytwarzane przez neutrony poruszające się w dół i wychwytywane przez ziemię lub powietrze (wychwytywanie w powietrzu zachodzi znacznie dłużej ze względu na mniejszą jego gęstość w porównaniu z gęstością gruntu);
- promieniowanie wytwarzane przez materiały rozszczepialne (jest to działające źródło promieniowania).

Jeżeli wzrasta wysokość miejsca eksplozji nad powierzchnią ziemi, to wystąpienie niesprężyste rozproszonego i wychwytywanego promieniowania opóźni się. Fakt ten wynika z konieczności pokonania przez neutrony drogi od miejsca eksplozji do ziemi.

Wzrost wysokości powoduje również zmniejszenie intensywności promieniowania powstającego przy niesprężystym rozpraszaniu i wychwytywaniu przez powietrze. W przypadku eksplozji na bardzo dużych wysokościach czynnik ziemi nie występuje, a oddziaływanie neutronów z powietrzem pojawi się po osiągnięciu atmosfery ziemi (wysokość rzędu 30 km).

3.1.2. Promieniowanie X

Promieniowanie X jest znacznie bardziej tłumione w porównaniu z promieniowaniem gamma, co powoduje jego drugoplanowe znaczenie przy powstawaniu

impulsu elektromagnetycznego. Zmiany intensywności promieniowania są również bardzo gwałtowne (czasy narastania ok. 10 ns).

3.2. Prądy Comptona

Po dojściu promieniowania do atmosfery następuje jego rozpraszanie. Podczas tego procesu są wybijane elektrony, które poruszają się najczęściej w kierunku zgodnym z kierunkiem poruszania się promieniowania gamma. Energia powstających elektronów jest równa połowie energii padającego promieniowania gamma. Poruszające się elektrony zderzając się z atomami tracą swoją energię, powodując wybijanie kolejnych elektronów, które mogą również wybijać elektrony. Występujące pole geomagnetyczne może odchyłać wybite elektrony, tworząc składowe prądu Comptona poruszającego się w innym kierunku niż padające promieniowanie. Efekt ten jest szczególnie istotny podczas wybuchu na dużych wysokościach. Należy zaznaczyć, że poruszające się elektrony same są źródłem pola oraz same znajdują się w obszarze działania pól wytworzonych przez inne elektrony.

Powstający prąd Comptona składa się z prądu poruszającego się promieniowo I^e , (zgodnie z ruchem promieniowania gamma) oraz prądu odchyłonego I^e_{\perp} . Porównanie wartości prądów I^e i I^e_{\perp} wykazało, że oddalając się od powierzchni ziemi zwiększa się wartość prądu I^e . Na wysokości 30 km wartości obu prądów są porównywalne. Przepływ prądu powodują także zjawiska fotoelektryczne związane z działaniem promieniowania X. Wartość tego prądu jest mała w porównaniu z wartością prądu Comptona.

Wyznaczenie prądu Comptona I^e umożliwi obliczenie wytwarzanych składowych pola elektromagnetycznego wywołanego przez eksplozje nuklearne za pomocą równań Maxwella (1).

Rozpatrując zagadnienie w układzie współrzędnych sferycznych otrzymujemy $\nabla \times \vec{H} = 0$ i jeżeli prąd I^e ma tylko składową promieniową ześrodkowaną w miejscu wybuchu, to drugie z równań Maxwella przyjmuje postać:

$$\epsilon_0 \frac{\partial E_r}{\partial t} + \gamma E_r = -I_r^c \quad (2)$$

W takim przypadku pole elektryczne jest tylko promieniowe. Zakładając, że w chwili początkowej składnik γE_r jest pomijalnie mały, otrzymujemy następujące rozwiązanie powyższego równania:

$$E_r = \frac{1}{\epsilon_0} \int_{-\infty}^t I_r^c dt \quad (3)$$

Otrzymane pole elektryczne E_r narasta wykładniczo, podobnie jak prąd I_r^c [27]. Po pewnym czasie prąd przewodzenia γE_r może być porównywalny z prądem przesunięcia i składową E_r opisaną równaniem:

$$E_r = -\frac{I_r^c}{\gamma} \quad (4)$$

Przedstawione równania umożliwiają przybliżone wyznaczenie składowej E_r natężenia pola elektrycznego.

3.3. Eksplozje na dużych wysokościach nad ziemią

Szczególnie groźne są eksplozje na dużych wysokościach nad ziemią ($h > 100$ km). W takim przypadku poruszające się w kierunku ziemi promienie gamma zaczynają oddziaływać dopiero w górnych warstwach atmosfery (na wysokości od 40 do 20 km), tworząc prądy Comptona. Tworzony prąd Comptona ma dwie składowe: składową zgodną z kierunkiem poruszania się promieniowania gamma i składową prostopadłą do tego kierunku. W układzie współrzędnych prostokątnych zachodzące zjawiska opisują równania:

$$\left. \begin{aligned} \mu_0 \frac{\partial H_y}{\partial t} &= -\frac{\partial E_x}{\partial z} \\ \epsilon_0 \frac{\partial E_x}{\partial t} + \gamma E_x + I_x^c &= -\frac{\partial H_y}{\partial z} \\ \epsilon_0 \frac{\partial E_z}{\partial t} + \gamma E_z + I_z^c &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Upraszczając maksymalnie zachodzące zjawiska, co zostało przedstawione w pracy K. S. H. LEE [27], zjawiska te opisuje równanie:

$$2 \frac{\partial E_x}{\partial z} + Z_0 \gamma E_x = -Z_0 I_x^c \quad (6)$$

gdzie: Z_0 - impedancja falowa środowiska.

Maksymalna wartość składowej wynosi:

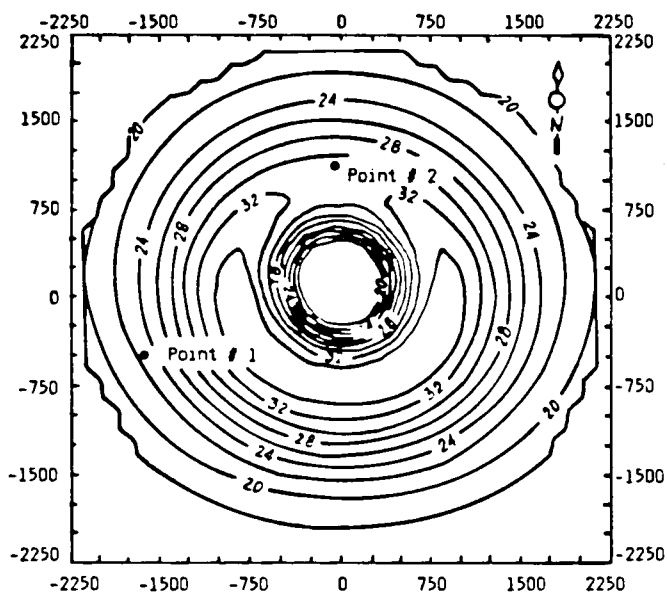
$$E_x = -\frac{I_x^c}{\gamma} = 6 \cdot 10^4 \text{ V/m} \quad (7)$$

Należy zaznaczyć, że powyższa wartość składowej E_x natężenia pola elektrycznego jedynie w dużym przybliżeniu określa jego wartość. Prowadzi się również bardziej dokładne analizy zachodzących zjawisk, a także rozważa się różne aspekty fizyczne zachodzących zjawisk oraz zagadnienia matematyczne związane z ich opisem. Przykład obliczonych obszarów występowania NEMP o różnych wartościach oraz wyznaczony przebieg czasowy przedstawiono na rys. 4 i 5.

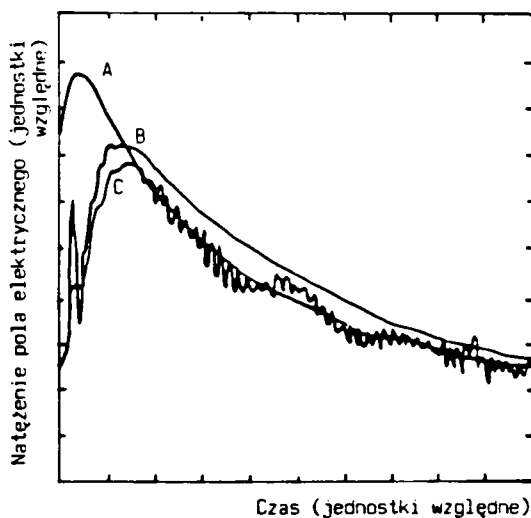
Z punktu widzenia badań dotyczących ochrony przed działaniem NEMP rozważania te mają małą wartość, gdyż do oceny zagrożenia jest wybierany najczęściej impuls elektromagnetyczny o ściśle określonych parametrach (takie dane podano w pkt. 4).

3.4. Eksplozje na powierzchni ziemi

W przypadku eksplozji bezpośrednio nad ziemią lub oceanem wytwarzanie prądów Comptona odbywa się w sposób analogiczny do już przedstawionego. Obszar obejmowany przez rozchodzące źródła wytwarzające impulsy elektromagnetyczne ma kształt półkuli, gdyż powstające promieniowanie nie wnika w sposób znaczący do gruntu [27]. Promieniowo skierowany prąd Comptona wywołuje promieniowo ukierunkowane natężenie pola elektrycznego. Asymetria wprowadzana przez ziemię powoduje wytworzenie poprzecznych składowych natężenia pola elektrycznego, które mogą rozchodzić się na znaczne odległości, znacznie większe w porównaniu z rejonem źródła impulsów.



Rys. 4. Rozkład natężenia pola elektrycznego na ziemi wywołany przez eksplozję na dużej wysokości



Rys. 5. Przebieg czasowy natężenia pola elektrycznego wywołanego przez eksplozję nuklearną na dużej wysokości (porównanie przebiegów obliczonych i zmierzonych). Przebiegi: A - teoretyczny; B - teoretyczny po przejściu przez układ pomiarowy; C - zmierzony

W sferycznym układzie współrzędnych zachodzące zjawiska można opisać za pomocą równań:

$$\left. \begin{aligned} \mu_0 \frac{\partial H_\phi}{\partial t} &= -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rE_\theta) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} E_r \\ \epsilon_0 \frac{\partial E_\theta}{\partial t} + \gamma E_\theta + I_\theta^c &= -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rH_\phi) \\ \epsilon_0 \frac{\partial E_r}{\partial t} + \gamma E_r + I_r^c &= \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (\sin \theta H_\phi) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

gdzie: I_r^c i I_θ^c składowe powstającego prądu Comptona,

γE - prąd przewodzenia.

Rozwiązanie powyższych równań, podobnie jak zjawiska zachodzące podczas eksplozji, można rozpatrywać w trzech fazach:

- 1) początkowej, gdy wytwarzany prąd przewodzenia jest mały w porównaniu z prądem przesunięcia;
- 2) gdy wartość prądu przewodzenia przekracza wartość prądu przesunięcia i ten ostatni może być pominięty;
- 3) gdy składowa poprzeczna pola elektrycznego jest mniejsza w porównaniu ze składową wzdłużną (faza quasistacjonarna).

W każdej z przedstawionych faz inaczej jest rozwiązywany układ równań opisujących zachodzące zjawiska. Przeprowadzone obliczenia wykazały, że w fazie pierwszej składową natężenia pola magnetycznego można w przybliżeniu opisać równaniem:

$$H_\phi = \sqrt{\frac{2}{\alpha \mu_0}} \frac{I^c}{\sqrt{\gamma}} \quad (9)$$

W tej fazie γ i I^c są wielkościami narastającymi wykładniczo wobec tego natężenie pola magnetycznego także narasta wykładniczo. W drugiej fazie charakter zmian natężenia pola magnetycznego opisuje równanie:

$$H_\phi = \frac{I^c}{\gamma} \sqrt{\gamma t} \quad (10)$$

W fazie trzeciej, quasistacjonarnej dywergencja całkowitej gęstości prądu znika i natężenie pola elektrycznego jest wyprowadzane z równania opisującego potencjał elektryczny φ :

$$\nabla \cdot (\gamma \nabla \varphi) = \nabla \cdot \vec{J}^c \quad (11)$$

Należy zauważyć, że celem pracy jest analiza zakłóceń wytwarzanych przez NEMP i dlatego zjawiska fizyczne zachodzące podczas eksplozji opisano w sposób bardzo pobieżny, wystarczający jednak do prowadzonych rozważań w dalszej części artykułu.

4. WARTOŚCI PARAMETRÓW CHARAKTERYZUJĄCYCH IMPULSY ELEKTROMAGNETYCZNE EKSPLOZJI NUKLEARNYCH

Przedstawione na rys. 1 różnego rodzaju typy impulsów elektromagnetycznych wywołanych przez wybuchy jądrowe obecnie zostaną szczegółowo omówione. Pominięto jedynie tzw.:

- DEMP (DISPERCED EMP), czyli impuls wywołany przez wybuch na dużej wysokości, który omija powierzchnię ziemi i może następnie oddziaływać na obiekty latające;
- SGEMP/IEMP (SYSTEM-GENERATED EMP/INTERNAL EMP), tj. przykład oddziaływania promieni X lub gamma bezpośrednio na system, np. satelity, rakiety. W następstwie takiego oddziaływania mogą powstać impulsy elektromagnetyczne.

4.1. Eksplozje na dużych wysokościach nad ziemią

Największe zagrożenie dla urządzeń elektronicznych stwarzają impulsy elektromagnetyczne wywołane przez eksplozje nuklearne nad atmosferą ziemską, na wysokościach przekraczających 100 km. W takim przypadku na powierzchni ziemi wystąpi tylko NEMP, któremu nie towarzyszą inne rodzaje promieniowania, efekty cieplne oraz fala uderzeniowa. Obszar działania takiego impul-

su obejmuje bardzo duże obszary. Przykładowo NEMP wywołany przez wybuch jądrowy na wysokości 100 km nad powierzchnią ziemi wystąpi na obszarze o średnicy ok. 2000 km. W literaturze impulsy elektromagnetyczne wywołane przez takie wybuchy są oznaczane jako HEMP (ang. High Altitude EMP) lub Exo-NEMP. Powstające impulsy charakteryzuje szybki czas narastania czoła, rzędu kilku nanosekund oraz duże wartości szczytowe natężeń pola elektrycznego (od kilku kV/m do ok. 100 kV/m) i magnetycznego (ok. 130 - 150 A/m). Tak szybkie zmiany silnego pola elektromagnetycznego mogą spowodować powstanie sygnałów zakłócających w bardzo szerokim pasmie częstotliwości.

HEMP można rozpatrywać jako falę płaską opisaną równaniami:

$$\begin{aligned} E(r, t) &= \dot{f}(t - n \cdot r / c) \\ H(r, t) &= (1/Z_0) \cdot n \cdot f(t - n \cdot r / c) \end{aligned} \quad (12)$$

gdzie: r - wektor miejsca, n - jednostkowy wektor wskazujący kierunek ruchu fali, c - prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej w powietrzu, Z_0 - impedancja falowa powietrza ($Z_0 = 377$ omów), $f(t)$ - funkcja opisująca kształt fali płaskiej.

W prowadzonych obecnie rozważaniach teoretycznych do opisu przebiegu czasowego fali najczęściej są wykorzystywane funkcje:

$$\begin{aligned} f_1(t) &= E_0 [\exp(-a \cdot t) - \exp(-b \cdot t)] \\ f_2(t) &= \frac{E_0}{\exp[-(t - t_0) / \tau_1] - \exp[-(t - t_0) / \tau_2]} \end{aligned} \quad (13)$$

Należy zaznaczyć, że funkcja $f_1(t)$ jest stosowana znacznie częściej. W rozważaniach teoretycznych bardzo często są wykorzystywane także równania opisujące falę płaską w dziedzinie częstotliwościowej. Równania te mają postać:

$$\begin{aligned} E(r, \omega) &= p \cdot F(\omega) \cdot \exp(-j \cdot k_0 \cdot n \cdot r) \\ H(r, \omega) &= (1/Z_0) \cdot n \cdot E(r, \omega) \end{aligned} \quad (14)$$

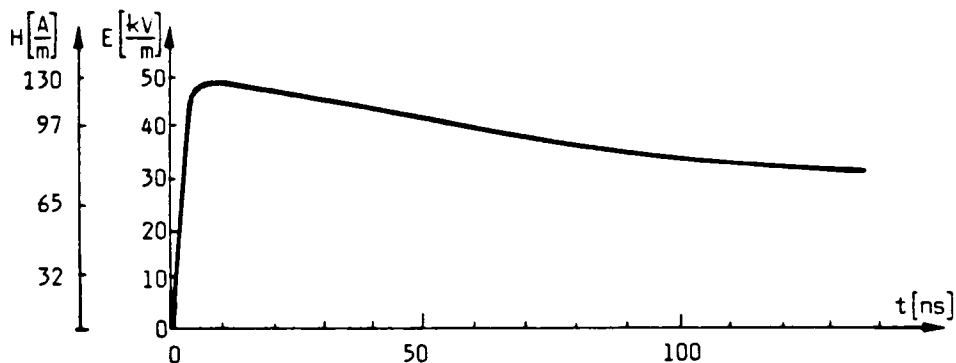
Na podstawie dostępnych informacji w tabl. 2 zestawiono podstawowe dane charakteryzujące przebiegi HEMP. Przykłady najczęściej stosowanych przebie-

Tablica 2

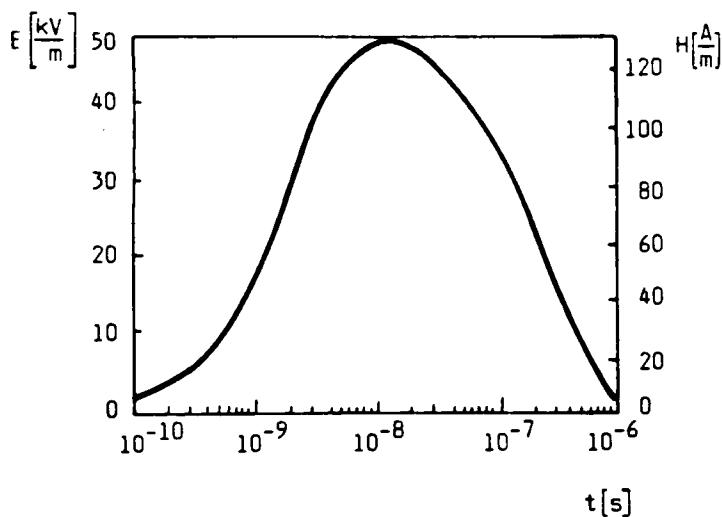
Wielkości podstawowych parametrów charakteryzujących impulsy elektromagnetyczne wybuchu jądrowego (NEMP)

Autoryzy	Rodzaj wybuchu	Równania opisujące NEMP	Podstawowe parametry NEMP		
			wartość szczytowa	czas czola	czas do półszczytu
Normy niemieckie VG 96900	Exo-NEMP	$E(t) = 5.25 \cdot 10^4 [\exp(-4 \cdot 10^6 \cdot t) - \exp(-4.76 \cdot 10^6 \cdot t)]$ $H(t) = E(t) / Z_0 \quad \text{gdzie: } Z_0 = 377 \Omega$	50 kV/m 133 A/m	5 ns 5 ns	200 ns 200 ns
	Endo-NEMP	$E(t) = 1.9 \cdot 10^4 [\exp(-4.0 \cdot 10^7 \cdot t) - 2.6 \exp(-3 \cdot 10^6 \cdot t) + 1.6 \exp(-1 \cdot 10^5 \cdot t)]$ $H(t) = 1.1 \cdot 10^5 [\exp(-6 \cdot 10^7 \cdot t) - 2.4 \exp(-3 \cdot 10^6 \cdot t) + 1.4 \exp(-2 \cdot 10^4 \cdot t)]$	40 kV/m 200 A/m	6 ns 6 ns	400 μ s 20 μ s
R.L. Gardner L. Backer	Exo-NEMP	$E(t) = E_0 (e^{-t/\tau_1} - e^{-t/\tau_2})$ gdzie: $\tau_1 = 250$ ns, $\tau_2 = 2$ ns	60 kV/m		
D. Jeager R. Rode	NEMP	$E(t) = 52.6 \cdot 10^3 [\exp(-4 \cdot 10^6 \cdot t) - \exp(-4.4 \cdot 10^6 \cdot t)]$	50 kV/m	5 ns	600 ns
EMC-MIL Std 461	NEMP		50 kV/m	5 ns	550 ns
A. Merz T. Aepli	NEMP		100 kV/m 1000 A/m	10 ns 10 ns	1000 ns 1000 ns
E. Gockenbach M. Lutz	NEMP (z. NATO)		50 kV/m	10 ns	200 ns
K. Tanner	Exo-NEMP		50 kV/m 140 A/m	50 ns 50 ns	kilka μ s kilka μ s
	Endo-NEMP		50 kV/m 1000 A/m	50 ns 50 ns	kilka μ s 50 ns

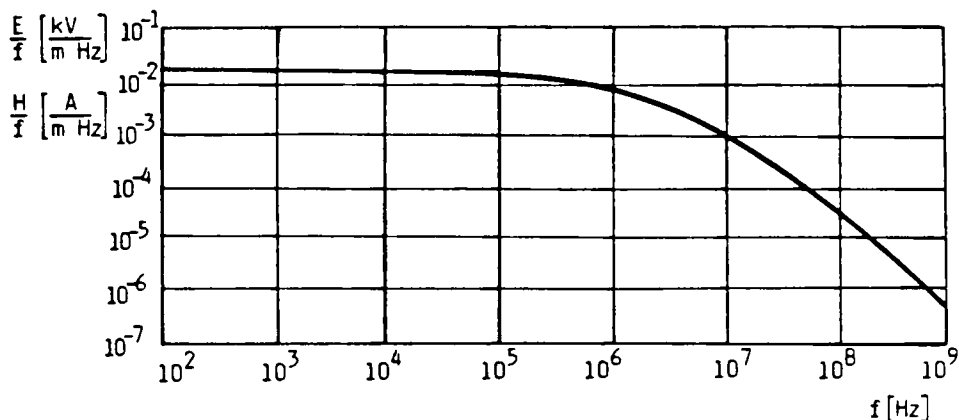
gów czasowego natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wywołanych przez wybuchy jądrowe na dużych wysokościach nad ziemią oraz charakterystyki amplitudowe tych przebiegów pokazano na rys. 6, 7 i 8. W celu lepszego zobrazowania zmian HEMP przebiegi czasowe przedstawiono w skali liniowej i logarytmicznej.



Rys. 6. Przebieg czasowy natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wywołanego przez eksplozję nuklearną na dużej wysokości



Rys. 7. Zmiany E i H impulsu HEMP przedstawione w skali logarytmicznej



Rys. 8. Charakterystyki amplitudowe przebiegu natężeń pola elektrycznego i magnetycznego HEMP

4.2. Eksplozje na powierzchni ziemi

Silny impuls elektromagnetyczny powstaje także podczas wybuchu jądrowego na powierzchni ziemi lub niewielkiej wysokości nad ziemią (oceanem). Określa się go jako SREMP (ang. Source Region EMP) lub Endo-NEMP. Jego zasięg działania jest znacznie mniejszy w porównaniu z HEMP i obejmuje obszar o średnicy od kilku do kilkunastu kilometrów. Na rys. 9 przedstawiono zmiany wartości maksymalnych natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wraz ze wzrostem odległości R od miejsca eksplozji oraz mocy ładunku.

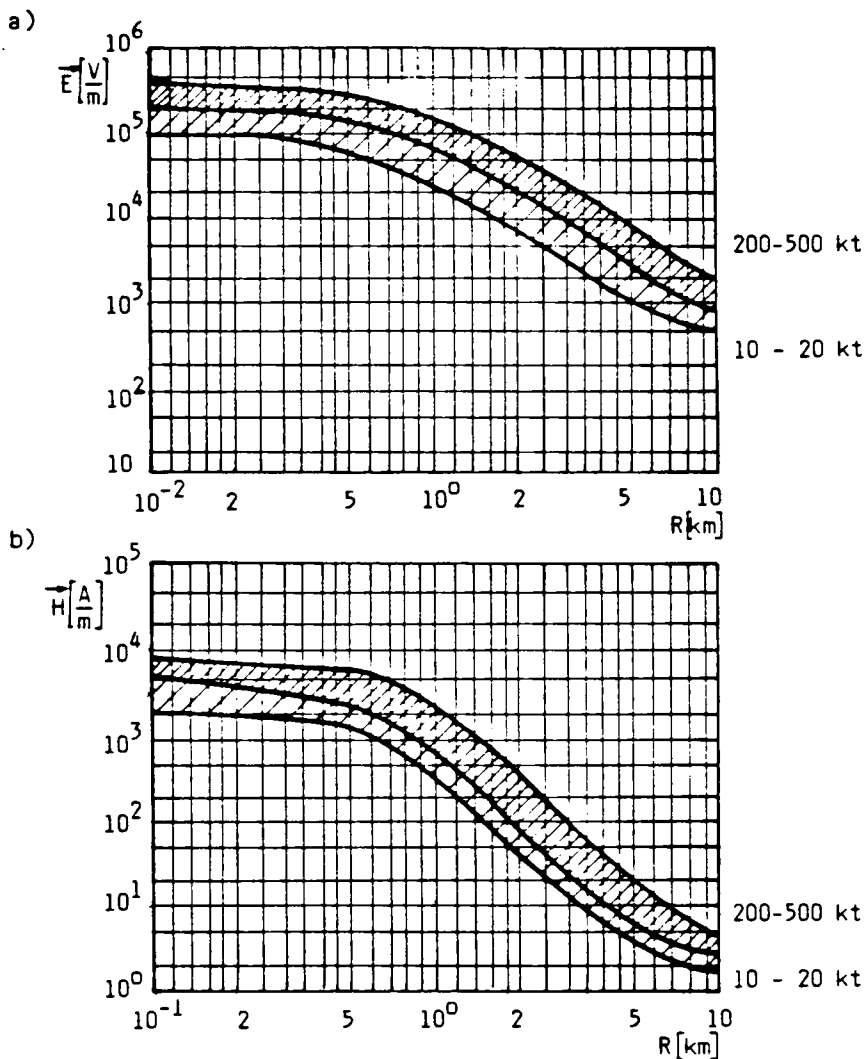
Czasy narastania powstających impulsów wynoszą od kilku do kilkunastu ns. Przebiegi czasowe powstających fal kulistych opisać można za pomocą równań:

$$E(t) = E_{m1} [\exp(-a_1 \cdot t) - \beta_1 \cdot \exp(-b_1 \cdot t) + \beta_2 \cdot \exp(-c_1 \cdot t)] \quad (15)$$

$$H(t) = H_{m1} [\exp(-a_1 \cdot t) - \beta_3 \cdot \exp(-b_1 \cdot t) + \beta_4 \cdot \exp(-c_1 \cdot t)]$$

Przebiegi czasowe SREMP wyznaczone za pomocą powyższych równań w skali liniowej i logarytmicznej oraz charakterystyki amplitudowe tych przebiegów zestawiono na rys. 10 i 11.

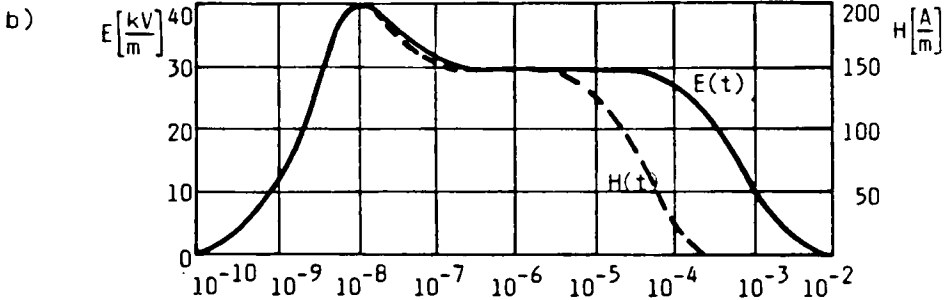
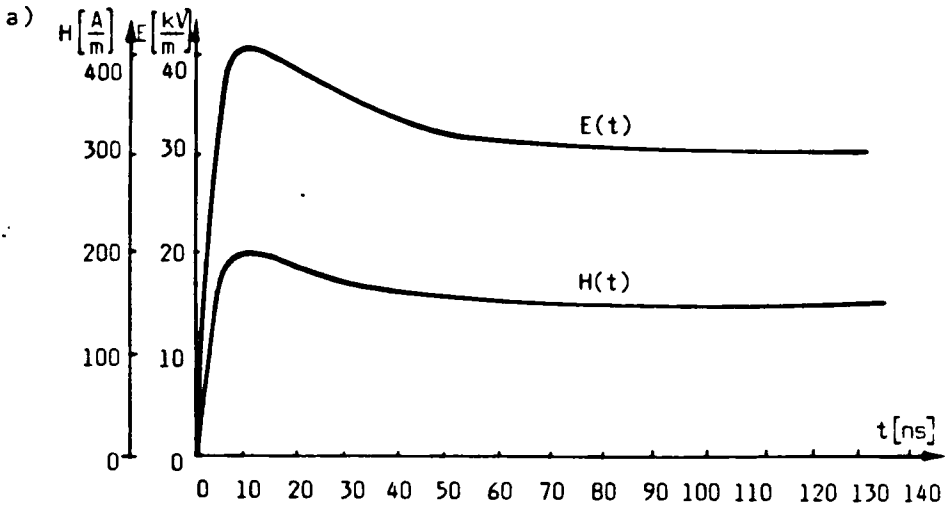
W niektórych przypadkach, w obszarach znacznie oddalonych od miejsca wybuchu jądrowego na małej wysokości, przebiegi czasowe natężenia pola elektrycznego charakteryzują się przejściem z wartości dodatnich na ujemne.



Rys. 9. Zmiany wartości maksymalnych natężenia pola elektromagnetycznego w funkcji odległości R od miejsca eksplozji
 a) natężenie pola elektrycznego; b) natężenie pola magnetycznego

Przykładowy kształt takiego impulsu przedstawiono na rys. 12a. Do opisu matematycznego tego przebiegu proponuje się wykorzystać równanie:

$$E(t) = E_{m2} [\exp(-a_3 \cdot t) - \exp(-b_3 \cdot t)] \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi) \quad (16)$$



Rys. 10. Przebiegi natężenia pola elektrycznego i magnetycznego SREMP

a) skala logarytmiczna; b) skala liniowa

W celu przedstawienia przebiegu z rys. 12a należy zastosować następujące wartości współczynników występujących w powyższym równaniu:

$$E_{m2} = -80 \text{ V/m},$$

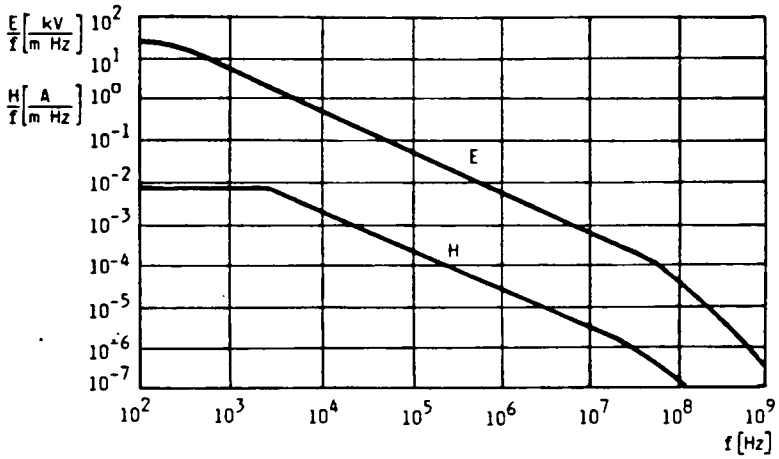
$$a_3 = 0,025 \cdot 10^6 \text{ l/s}$$

$$w = 0,085 \cdot 10^6 \text{ l/s}$$

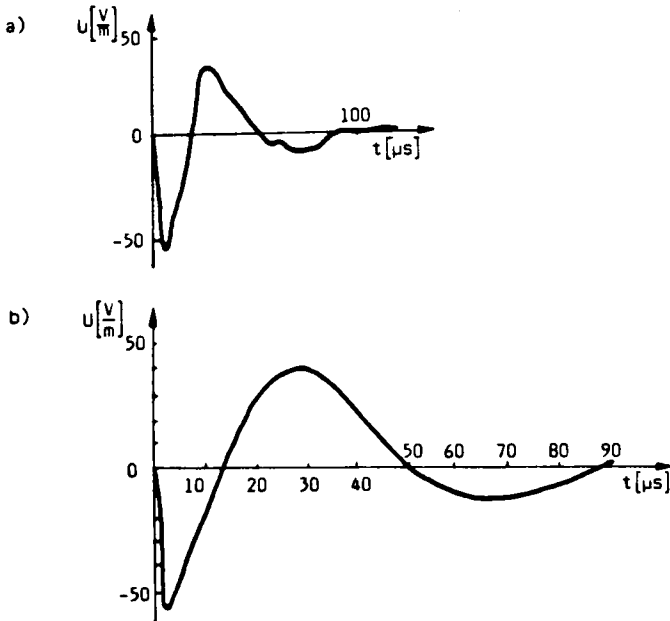
$$b_3 = 3,0 \cdot 10^6 \text{ l/s}$$

$$\Phi = 0,5$$

Obliczony przebieg natężenia pola elektrycznego podano na rys. 12b.



Rys. 11. Charakterystyki amplitudowe natężeń pola elektrycznego i magnetycznego impulsu SREMP



Rys. 12. Przebiegi czasowe natężenia pola elektrycznego wywołanego przez wybuch na powierzchni ziemi

a) przebieg zarejestrowany; b) przebieg obliczony

4.3. Eksplozje na małych wysokościach

Pośrednią formą pomiędzy HEMP i SREMP są impulsy elektromagnetyczne wywołane przez wybuchy jądrowe na wysokościach od kilku do kilkunastu km nad powierzchnią ziemi (tzw. ang. EMP from low altitude bursts). Analiza zjawisk zachodzących w takich przypadkach jest bardzo trudna, a charakter zmian powstających impulsów jest uzależniony od wysokości, na jakiej nastąpił wybuch. Wartości amplitud impulsów elektromagnetycznych są mniejsze w porównaniu z HEMP i SREMP.

4.4. Magnetohydrodynamiczny impuls

Dotychczas przedstawione impulsy powstawały w początkowej fazie rozprzestrzeniania się promieniowania (czasy μs lub ms). Impulsy elektromagnetyczne powstające także po czasie znacznie dłuższym, np. kilkadziesiąt sekund po wybuchu, zostały nazwane impulsami magnetohydrodynamicznymi MHD EMP. Amplitudy takich impulsów są małe i wynoszą ok. 10 V/m, a czas trwania zawiera się w granicach od kilkadziesiątu do kilkuset sekund.

5. UDARY INDUKOWANE PRZEZ NEMP

Jednym z podstawowych źródeł zagrożenia stwarzanego przez NEMP są napięcia/prądy indukowane w liniach przesyłu sygnałów oraz przewodach sieci zasilających. Zagadnienia dotyczące zasad wyznaczania indukowanych udarów zostaną przedstawione poniżej. Stanowią one jedynie krótki przegląd dostępnych danych charakteryzujących parametry powstających udarów napięciowych lub prądowych. Należy zaznaczyć, że pomimo prowadzonych analiz udarów indukowanych przez NEMP otrzymane wyniki są omawiane najczęściej bardzo pobieżnie. W tablicy 3 podano dane charakteryzujące wartości podstawowych parametrów impulsów napięciowych lub prądowych indukowanych przez NEMP w różnego rodzaju układach przewodów.

Tablica 3

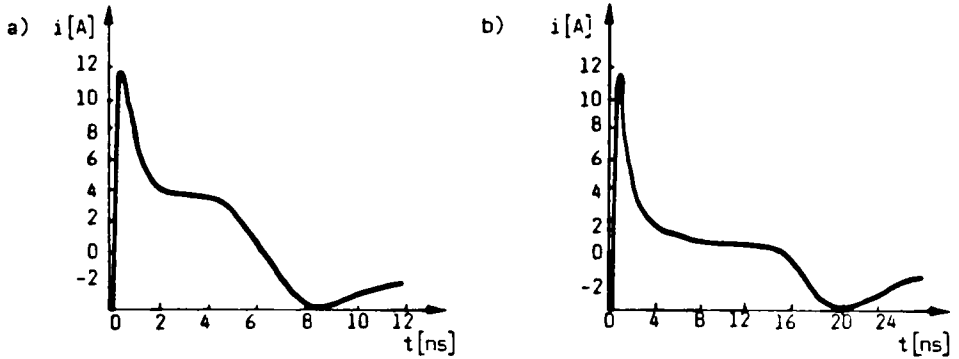
Parametry uderów napięciowych/prądowych wywołanych przez NEMP

Autorzy	Zakłócaný układ	Parametry impulsu
D. Jeager	linie elektroenergetyczne	kilkadziesiąt kA, kilkaset kV
	anteny	kilka kA, kilka kV
	elementy konstrukcyjne	kilkadziesiąt kA
M. W. Wik	impulsy w instalacji elektrycznej, wywołane przez (a) HEMP, (b) SREMP	(a) 1 + 10 kV/ μ s, 100 kA (b) 1 + 10 kV/ μ s, 10 kA
M. W. Wik	linia napowietrzna	$I = 5$ kA, $T_c = 0,1$ μ s, $T_p = 1$ μ s $di/dt = 50$ kA/ μ s
	zakopany kabel	$I = 1,5$ kA, $T_c = 0,1 + 0,5$ μ s $T_p = 1 + 5$ μ s, $di/dt = 15$ kA/ μ s
	przewody ułożone wewnątrz budynku	$I = 1 + 20$ A, oscylacje o częstotliwości 1-10 MHz
M. Aquet H. Sauvain	linia nieskończenie długa	$I = 5 + 8$ kA, $T_m = 100$ ns + 2 μ s
	jednostronnie nieskończona	$U = 2 + 6$ MV, $T_m = 0,1 + 1$ μ s
	linia długości 3 km	$U = 2$ MV, $T_m = 1$ μ s
	linia elektroenergetyczna 345 kV	$U = 1 + 3$ MV, $T_m = 1$ μ s
K. W. Klein P. R. Barnes	linia elektroenergetyczna zakłócana impulsem SREMP wybuch 12 km od linii	$i(t) = I_0[\exp(-at) - \exp(-bt)]$ $I_0 = 180,3$ kA, $a = 3800$ 1/s, $b = 200$ 1/s
F. M. Tesch P. R. Barnes	linie elektroenergetyczne o wysokościach $h = 10$ m, 20 m	$U = 600$ kV dla $h = 10$ m $U = 1$ MV dla $h = 20$ m
K. Gronhaug	anteny zainstalowane na okręcie wojennym	$I = 1000$ A ($h = 5$ m) tłumione $I = 45$ A ($h = 24$ cm) oscylacje
M. Ianoz	współosiowe ekranowane podziemne kable	$I = 600$ A, odcinki kabli o długości 300 m, 1000 m

Przebiegi czasowe tych impulsów mają najczęściej formę:

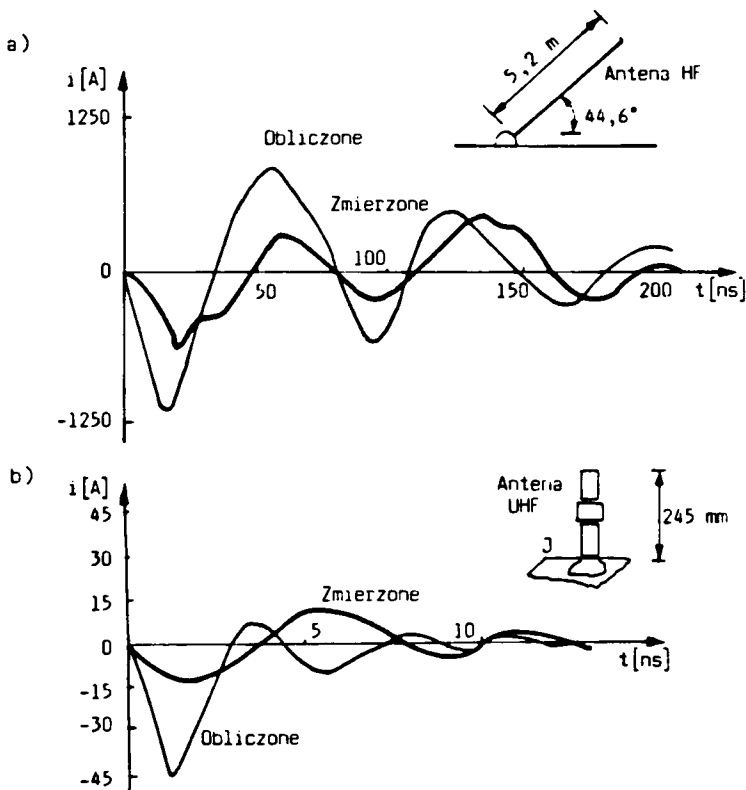
- dwuwykładniczą,
- dwuwykładniczą z nałożonymi tłumionymi oscylacjami,
- tłumionych oscylacji.

Przykłady najczęściej spotykanych przebiegów czasowych przedstawiono na rys. 13 + 16.

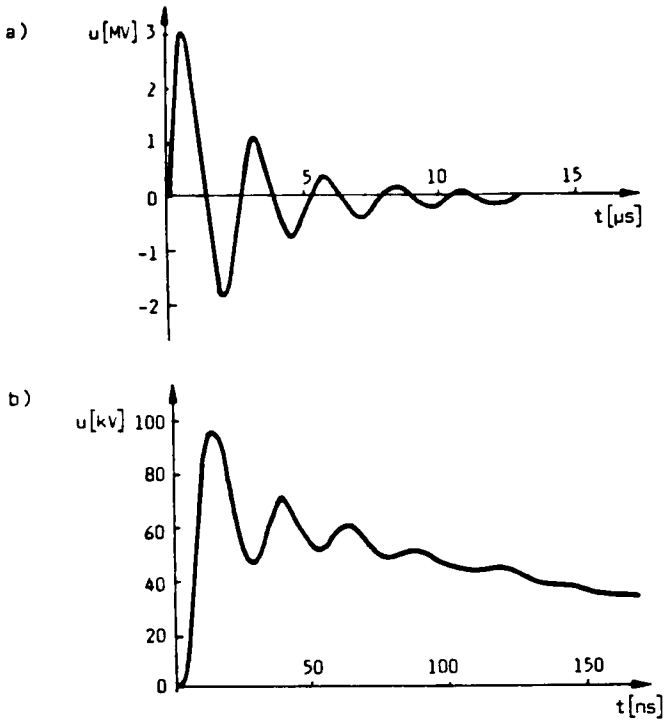


Rys. 13. Prądy indukowane przez NEMP w ekranowanym kablu współosiowym ułożonym na głębokości 1 m (parametry impulsu: amplituda 1 kV/m, czas czoła 10 ns, czas zaniku 200 ns).

a) $l = 300$ m; b) $l = 1000$ m

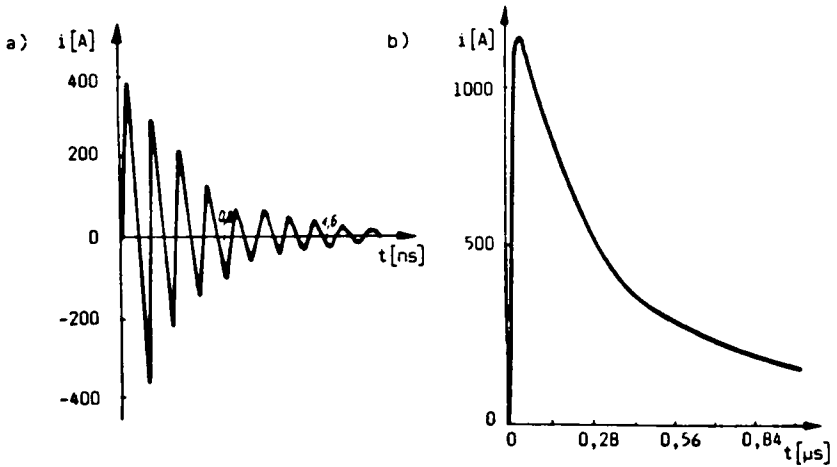


Rys. 14. Udry prądowe indukowane przez NEMP w różnego rodzaju antenach zainstalowanych na amerykańskim okręcie wojennym



Rys. 15. Napięcia wywołane przez NEMP

a) w długim odcinku linii napowietrznej, b) w antenie o długości kilku metrów



Rys. 16. Impulsy prądowe indukowane przez NEMP

a) w krótkiej kilkumetrowej antenie; b) w przewodzie linii napowietrznej

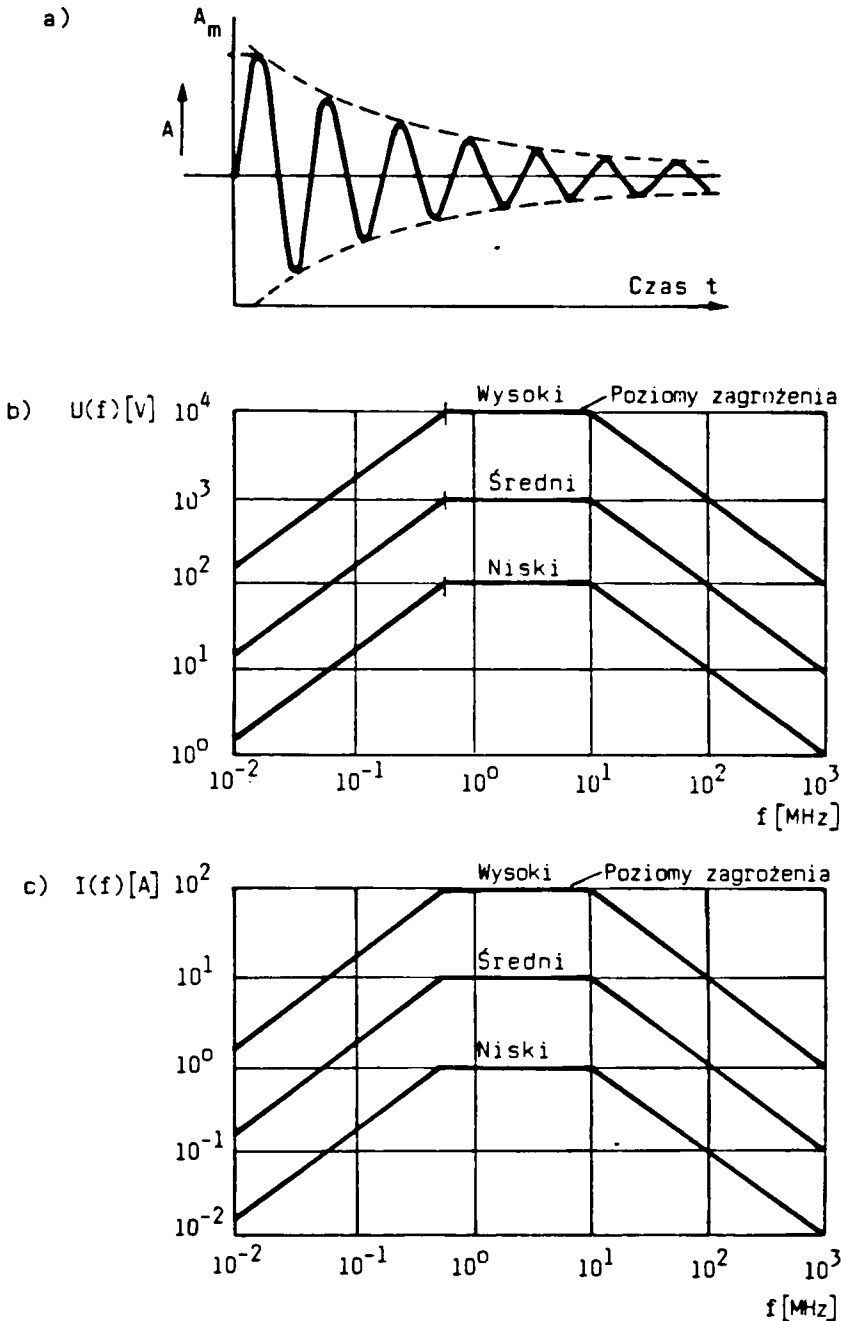
5.1. Parametry uderzeń testujących

Stosowną informacją o wartościach szczytowych i charakterze zmian impulsów wywołanych przez NEMP, a równocześnie przedstawiającą istniejące zagrożenie, są wartości parametrów uderzeń napięciowych lub prądowych wykorzystywanych do badań odporności urządzeń. W tabelicy 4 zestawiono dostępne dane o parametrach impulsów doprowadzonych do urządzeń od strony sieci zasilającej lub linii przesyłu sygnałów.

Tabela 4

Parametry napięciowych i prądowych uderzeń testujących do badania odporności urządzeń elektronicznych na działanie NEMP

Autorzy	Parametry impulsu			Uwagi
	wartość maksymalna	czas czola	czas do półszczytu	
P.A. Marz T. Aepli	4 kV	10 ns		udar o płaskim grzbiecie trwający 300 ns
K. Tanner	10 kV	0,5 μ s	250 μ s	badanie urządzeń od strony zasilania
F.D. Martzloff F.A. Fischer	0,1 + 1000 A 1 + 100 A			prostokąt, $T_1 = 3 + 10 \mu$ s* tl. osc. $f = 10^4 + 10^{8**}$
MIL-Std 461 B	Funkcje opisujące impulsy $u(t) = 1,05 \cdot U(f) \cdot e^{-0,2+1t} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$ $i(t) = 1,05 \cdot I(f) \cdot e^{-0,2+1t} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$			wartości parametrów oraz przebiegi czasowe funkcji przedstawiono na rys. 17
M. Bauman	do 12 kV	10 ns 10 ns	200 ns 600 ns	częstotliwość powtarzania do ok. 1 Hz
J. Gut	do 12 kV	10 ns	600 + /-200	dwuwykładniczy
	1 MHz			tłumione oscylacje
M. Lutz E. Gockenbach	10 kV/100A	5 ns	200 ns	strefa o mniejszym zagrożeniu
	1 + 10 MHz tłumione oscylacje			
	50 kV/500A	5 ns	200 ns	strefa większego zagrożenia
	1 MHz tłumione oscylacje			



Rys. 17. Udry testujące urządzenia elektroniczne

a) przebieg czasowy udaru; b), c) wykresy umożliwiające określenie parametrów udarów testujących opisanych za pomocą równania z tabl. 4

6. OGÓLNE ZASADY ANALIZY ZAGROŻENIA STWARZANEGO PRZEZ NEMP W ROZBUDOWANYCH SYSTEMACH ELEKTRONICZNYCH I TELEKOMUNIKACYJNYCH

Analiza zagrożenia stwarzanego przez impulsowe pole elektromagnetyczne na urządzenia pracujące w rozbudowanych systemach połączeń jest zadaniem bardzo skomplikowanym. W rozbudowanych systemach elektronicznych (telekomunikacyjnych) NEMP lub LEMP oddziałuje m. in. na:

- biegnące nad ziemią lub zakopane linie przesyłowe dochodzące do obiektów,
- układy przewodów ułożone w obiektach,
- różnego rodzaju anteny,
- konstrukcje stalowe budynków, instalacje wodno-kanalizacyjne, systemy uziemienia urządzeń,
- urządzenia, w sposób bezpośredni lub po przejściu przez stosowane ekrany.

W rozbudowanym systemie elektronicznym lub telekomunikacyjnym trudności wywołuje zarówno całościowe jego rozpatrywanie, jak i określenie elektrycznych właściwości poszczególnych elementów składowych. W chwili obecnej podstawowym sposobem rozwiązania tego zagadnienia jest rozkładanie rozbudowanych systemów na poszczególne, proste i stosunkowo niezależne części składowe. Określenie sposobów oddziaływania NEMP lub LEMP na wyodrębnione części jest mniej skomplikowane i łatwiejsze do przeprowadzenia. Wykonując taki podział, należy uwzględnić stopień wystawienia poszczególnych części na działanie impulsów elektromagnetycznych.

W kolejnym etapie, wykorzystując wyniki otrzymane dla poszczególnych części składowych, podejmuje się próby określenia zagrożenia stwarzanego dla całego systemu przez impulsy elektromagnetyczne. Taki sposób rozwiązania tego problemu nazwano *"Topological Decomposition of Systems"*. W metodzie tej podstawową sprawą jest odpowiednie wydzielenie obszarów, w których występuje jednakowe zagrożenie. Takie postępowanie wymaga określenia właściwości:

- ekranujących poszczególnych naturalnych i sztucznych ekranów,
- sposobów przenikania impulsów elektromagnetycznych przez różnego rodzaju szczeliny w ekranach.

Uwzględniając powyższe uwagi, należy stwierdzić, że istnieją dwa sposoby rozwiązania przedstawionego problemu:

1. Tworzenie rozbudowanych programów obliczeniowych, które są opracowywane przez duże zespoły badawcze, składające się z praktyków i teoretyków, zajmujących się różnymi działami elektrotechniki teoretycznej i informatyki. Wyniki badań weryfikuje się podczas badań symulacyjnych laboratoryjnych lub terenowych. Są to bardzo kosztowne i długotrwałe badania, dlatego wykonuje się je tylko w kilku krajach (USA, Wielka Brytania, ZSRR, prawdopodobnie Chiny i Indie). Zespoły takie zajmują się tylko zagadnieniami oddziaływania NEMP.
2. Opracowanie prostych programów obliczeniowych, które odpowiednio połączone umożliwiają przeprowadzenie przybliżonej analizy zagrożeń różnego rodzaju rozbudowanych systemów. Zagadnienia są rozwiązywane przez kilkuosobowe zespoły specjalistów zajmujących się najczęściej kompleksową analizą zagrożenia impulsowego (eksplozje nuklearne, wyładowania atmosferyczne, stany nie ustalone w liniach elektroenergetycznych itp.). Jest to niewątpliwie rozwiązanie znacznie tańsze, ale taki sposób postępowania może być równie efektywny jak pierwszy. W ten sposób problemy oddziaływania impulsów elektromagnetycznych analizuje się m.in. w Szwajcarii, Szwecji, Austrii.

Należy zaznaczyć, że nieodłącznym uzupełnieniem analizy teoretycznej są badania laboratoryjne lub terenowe. Tworząc laboratorium trzeba także uwzględnić możliwości prowadzenia badań odporności urządzeń na różnego rodzaju zakłócenia impulsowe. Takie rozwiązanie jest znacznie tańsze i umożliwia wybór optymalnych sposobów ochrony. Zagadnienie opracowania koncepcji oraz stworzenia takiego laboratorium nie jest jednak tematem niniejszego referatu.

W przypadku analizy teoretycznej, na podstawie dostępnych danych oraz przemyśleń autorów artykułu, wyodrębniono wiele zagadnień wymagających rozpatrzenia przy rozwiązywaniu problemów oddziaływania NEMP i LEMP na rozbudowane systemy. Zagadnienia te, z podaniem szczegółowych tematów, zestawiono w tablicy 5. Zdaniem autorów niniejszego opracowania rozwiązanie

przedstawionych zagadnień oraz stworzenie laboratorium badawczego umożliwi podejmowanie działań, których celem będzie zapewnienie bezawaryjnego działania telekomunikacyjnych urządzeń elektronicznych.

Tablica 5

Tematy wymagające rozwiązania podczas analizowania zagrożeń stwarzanych przez NEMP i LEMP

Zagadnienia	Problemy wymagające rozwiązania
Tematy podstawowe omawiające NEMP i LEMP	opis matematyczny impulsów pola elektromagnetycznego
Impulsy NEMP i LEMP	fala padająca na powierzchnię ziemi, rozpraszanie fal, przenikanie fal do gruntu
Ekranowanie	pochłanianie fal elektromagnetycznych i współczynniki ekranowania
Przenikanie pola elektromagnetycznego przez szczeliny	właściwości szczelin o różnych kształtach, zasady ekranowania pomieszczeń z otworami, np. okna, drzwi
Oddziaływanie pola elektromagnetycznego na ekranowane przewody	przewody o ekranach jednorodnych i plecionych z drutu, szczeliny w ekranach, napięcia indukowane
Oddziaływanie pola elektromagnetycznego na układy przewodów	wyznaczanie napięć/prądów indukowanych w układach przewodów ułożonych nad lub pod powierzchnią ziemi
Ochrona przepięciowa urządzeń	własności elementów, modelowanie matematyczne elementów i układów zabezpieczających
Ochrona kompleksowa rozbudowanych systemów elektronicznych	zasady układania przewodów, zasady uziemiania urządzeń, sposoby doprowadzania przewodów do obiektów

WYKAZ LITERATURY

1. Appert K.: On the EMP of high altitude nuclear explosions. Symposium on EMC-75, Montreux 1975, pp. 202-204.
2. Aquet M., Sauvain H.: Concept d'une protection des reseaux electriques contre les "HANEMP". SEV, Bern, 1985.
3. Bardet C., Cantaloube M., Dafif O., Jecko B.: Mecanisme de l'evolution des champs electromagnetiques dans un simulateur de grandes dimensions. Project d'un simulateur semi-rhombique. Ann. Telecommun., No. 7-8, 1986, pp. 381-391.
4. Baum C.: Electromagnetic Topology: A formal Approach to the Analysis and Design of Complex Electronic Systems. Symposium on EMC-81, Zurich 1981, pp. 209-214.
5. Bauman M.: Prufgeneratoren zur Simulation von breitbandigen Storgrossen. Bull. ASE/USC 75, (1984), pp.374-379.

6. Clark O.M.: Suppression of fast rise-time transients. Symposium on EMC-87, Zurich 1987, pp. 301-306.
7. Croft D., Raisch B.Z.: Systems Protection Against EMP Transients Using High Speed Fold Back Devices. Symposium on EMC-87, Zurich 1987, pp. 213-218.
8. Dommel H.W., Meyer S.W.: Computation of Electromagnetic Transients. Proc. of the IEEE, Vol. 62, No. 7, 1974, pp. 983-993.
9. Floryński R., Sowa A.: Ochrona urządzeń oraz systemów elektronicznych i telekomunikacyjnych przed zakłóceniami impulsowymi LEMP i NEMP. Biuletyn Informacyjny IŁ (w druku).
10. Ford T.R.: Enhancing Electromagnetic Compatibility (EMC) on Naval Ships with Radar Absorbing Material. Symposium on EMC-83, Washington 1983, pp. 130-132.
11. Gallon I.L.: HEMP: Field System Impact. Symposium on EMC-87, Zurich 1987, pp. 197-198.
12. Gardner R.L., Baker L.: Comparison of Lightning with the Domain HEMP Waveforms on the Surface of Aircraft. Symposium on EMC-85, Zurich 1985, pp. 175-180.
13. Gardner R.L.: High Power Electromagnetics: A Generalization of EMP Technology. Symposium on EMC-89, Zurich 1989, pp.153-156.
14. Ghose R.N.: EMP Environment and Systems Hardness Design. Don White Consultants Inc., 1984.
15. Gilbert J.L., Longmire G.L.: Surface Burst EMP Environments and Coupling. Symposium on EMC-89, Zurich 1989, pp. 175-178.
16. Gockenbach E., Lutz M.: Systeme zur NEMP-simulation. Informationstagung über den Nuclearen Electromagnetischen Impuls (NEMP), SEV, Bern 1985.
17. Gronhaug K.L.: EMP Test of Fast Patrol Boats. Symposium on EMC-87, Zurich 1987, pp. 229-232.
18. Gut J.: Die Tätigkeit des Forschungsinstituts für militärische Bautechnik in Bereich des EMP. SEV, Bern 1985.
19. Hansen D., Schaer H., Koenigstein, Haitink H.: Response of an Overhead Wire Near a NEMP Simulator. IEEE Trans. Electromagn. Compat, Vol. 32, No. 1, 1990, pp. 18-24.
20. Harris D.W., Gray R., Creede G.: A Four-Port Model of the EMP Response of the Coaxial Cable. Symposium on EMC-90, Washington 1990, pp. 333-337.
21. Horak O.: Der elektromagnetischer Puls (EMP) als Gefahr für die Welt der Elektronik. E und M., J. 101, Heft 7, s. 322-336.
22. Ianovici M., Tesche F.M.: EMP Effects on HV Network. Symposium on EMC-84, Tokyo 1984, pp. 33-336.

23. Ianoz M.: Activites EMC at EMP a l'EPFL et en Suisse. Bull. ASE/UCS (1986) 23, pp. 1490-1496.
24. Jeager D., Rode R.: NEMP and Lightning Protection Requirements for Modeling Aircraft Equipment. Symposium on EMC-85, Zurich 1985, pp. 181-186.
25. Johl W.: A general and systematic survey of NEMP protection measurements. Symposium on EMC-75, Montreux 1975, s. 311-315.
26. Kruse V.J., Rackliffe G.B., Barnes P.R.: Load Flow Studies in the Presence of Magnetohydrodynamic Electromagnetic Pulse. IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 5, No. 2, 1990, pp. 1158-1163.
27. Lee K.S.H. (editor): Emp Interaction Principles, Techniques and Reference Data. HAndbuch for Use Verkshop at the EMC-81, Zurich 1981.
28. Longmire C.L.: On the Electromagnetic Puls Produced by Nuclear Explosions. IEEE Trans. on Electromagn. Compat., Vol. EMC-20, No. 1, 1978, pp. 3-13.
29. Lutz M., Frey O.: The Simulation of the EMP and EMI Effects and Their Influence on measuring and Control Equipment. IEEE Symposium on EMC-83, Washington 1983, pp. 152-156.
30. Matrlloff F.D.: The Development of an IEEE Guide of Surge Testing for Equipment Connected to Low-voltage AC Power Circuit. Symposium on EMC-85, Zurich 1985, pp. 407-412.
31. Marztloff F.D., Wilson P.F.: Fast transient Test-Trivial or Terminal Pursuit. Symposium on EMC-87, Zurich 1987, pp. 283-288.
32. McConnell B.W., Barnes P.R.: A research program to assess the impact of the electromagnetic pulse on electric power systems. Symposium on EMC - 87, Zurich 1987, pp. 297-300.
33. Merz O.A., Aepli T.: A NEMP, Lightning and Power Line Induced Surge Protection Network of Low Capacitance for Transmission Equipment. Symposium on EMC-79, Rotterdam 1979, pp.351-360.
34. Rackliffe G.B., Crouse J.C., Legro J.R., Kruse V.J.: Simulation of Geomagnetic Currents Induced in Power System by MHD EMP. IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 3, No. 1, 1988, pp.392-397.
35. Richman P.: Changes to Clasic Surge-Test Waves Required by Back-Filters Used for Testing Powered Equipment. Symposium on EMC-85, Zurich 1985, pp. 413-418.
36. Smith I.D.: The Pulse Power Technology of High Altitude Simulators. Symposium on EMC-83, Zurich 1983, pp. 157-162.
37. Tanner K.: Der EMP-Schutz in Zivilschutzanlagen. SEV Bern 1986.
38. Tesche F.M.: An Ovierview of High Altitude EMP Effects on Power Systems. Symposium on EMC-87, Zurich 1987, pp. 293-296.
39. Tesche F.M., Barnes P.R.: Transiens response of a Distribution Circuit Recloser and Control Unit to a High-Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) and Lightning. IEEE Trans. Electromagn. Compat., Vol. 32, No. 2, 1990, pp.113-124.

40. Wilhelm J.: Nuclear-electromagnetischer Puls (NEMP). Entstehung, Schutzmassnahmen,, Messtechnik. Technische Akademie Fort und Weiterbildungszentrum, 1983.
41. Wik M.W.: Double Exponentiale Puls Model for Comparison of Lightning, Nuclear and Electrostatic Discharge Spectra. Symposium on EMC-85, Zurich 1985, pp. 169-174.
42. Wik M.W.: Hardening of Telecommunication Networks Against Electromagnetic Pulses. Ericsson Revue, No. 1, 1984.
43. Vance E.F.: EMP Hardening of Systems. Symposium on EMC-81, Zurich 1981, pp. 215-219.
44. VG 96900 + 96907 Schutz gegen Nuclear-Electromagnetischem Puls (NEMP) und Blitzschlag, 1982 + 1990.

Рышард Флорыньски,
Анджей Сова

ИМПУЛЬСНЫЕ ПОМЕХИ, СОЗДАВАЕМЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ ОТ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

Резюме

Представлена история исследований воздействия электромагнитных импульсов ядерного происхождения (NEMP) на электронную аппаратуру. Описаны физические явления, вызывающие NEMP и значения параметров, характеризующих как NEMP, так и индуцируемые удары. Указаны общие принципы анализа напряжений, создаваемых этими импульсами для электронной аппаратуры в систем.

Ryszard Floryński,
Andrzej Sowa

IMPULS DISTURBANCES CAUSED BY NUCLEAR EXPLOSION ELECTROMAGNETIC IMPULSES

Summary

History of investigation of influence of nuclear descent electromagnetic impulses (NEMP) as well the values of characteristic parameters for NEMP and for inducing strokes is described. General rules of analysis of menaces created by these impulses for electronic devices and systems are shown.

Ryszard Floryński,
Andrzej Sowa

**PERTURBATIONS IMPULSIONNELLES DUES AUX IMPULSIONS
ELECTROMAGNETIQUES D'UNE EXPLOSION NUCLEAIRE**

R é s u m é

L'article présente l'histoire des recherches concernant l'influence des impulsions de champ électromagnétique d'origine nucléaire (IEMN) sur les équipements électroniques. On a décrit le phénomène physique qui provoque IEMN ainsi que les valeurs des paramètres caractéristiques de l'IEMN et des courants induits. On a présenté des principes généraux d'analyse des menaces dues par impulsion en question pour les équipements et systèmes électroniques.

Ryszard Floryński,
Andrzej Sowa

**DIE DURCH ELEKTROMAGNETISCHE IMPULSE DER KERNEXPLOSION
HERVORGERUFENEN IMPULSSTÖRUNGEN**

Z u s a m m e n f a s s u n g

Es wurde die Geschichte der Untersuchungen der Einwirkung der elektromagnetischen Impulse der Nuklearherkunft (NEMP) auf die elektronischen Einrichtungen dargestellt. Es wurden der NEMP - hervorgerufene physische Effekt, die Werte der NEMP - charakterisierenden Parameter und die Werte der induzierten Stöße beschrieben. Es wurden die allgemeinen Grundsätze der Analyse der durch diese Impulse für die elektronischen Einrichtungen und Systeme hervorgerufenen Gefährdungen dargestellt.

J U B I L A C I

Profesor Witold Nowicki urodził się 11.01.1903 r. W latach przedwojennych pracował w Państwowym Instytucie Telekomunikacyjnym, którego sukcesorem i kontynuatorem jest Instytut Łączności. Bezpośrednio po wojnie został wicedyrektorem PIT. Po utworzeniu Instytutu Łączności (w 1956 r.) był przez 37 lat członkiem i wiceprzewodniczącym Rady Naukowej IŁ.



Profesor Juliusz Grabowski urodził się dnia 29.01.1908 r. Przez 23 lata był członkiem Rady Naukowej IŁ i przewodniczącym zespołu kwalifikacyjnego kadr naukowych Instytutu. Ponadto w latach 1976-1990 pracował w Instytucie Łączności (na części etatu).

Z okazji zbliżających się rocznic urodzin prof. Witolda Nowickiego i prof. Juliusza Grabowskiego, których działalność od wielu lat jest nierozdzielnie związana z Instytutem Łączności, Redakcja *"Prac Instytutu Łączności"* postanowiła zamieścić życiorysy obu Szanownych Jubilatów, zaprezentowane przez prof. inż. W. Majewskiego i dr inż. K. Plewko.

Życzymy obu Panom Profesorom dużo zdrowia, pomyślności oraz sił do dalszej działalności dla dobra polskiej telekomunikacji.

JUBILEUSZ 90-LECIA URODZIN PROFESORA WITOLDA NOWICKIEGO

Prof. dr inż. Witold Nowicki urodził się w Wilnie 11 stycznia 1903 roku. Świadectwo maturalne uzyskał w 1922 r. w Gimnazjum Państwowym im. Króla Zygmunta Augusta w Wilnie. Studia wyższe na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej ukończył w 1930 roku. Podczas studiów brał czynny udział w pracach Bratniej Pomocy Studentów Politechniki Warszawskiej, Koła Naukowego Elektryków oraz Akademickiego Koła Wilnian (był prezesem tej organizacji).

W latach 1925-1931 był asystentem, a następnie starszym asystentem w Katedrze Mechaniki Teoretycznej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Po ukończeniu studiów, w 1930 roku rozpoczął pracę w Laboratorium Teletechnicznym Przy Ministerstwie Poczty i Telegrafów - był to początek pracy badawczej Profesora w dziedzinie telekomunikacji. Jednocześnie w latach 1930-1933 prof. Nowicki wykładał i prowadził ćwiczenia laboratoryjne w Państwowej Szkole Teletechnicznej - był to początek pracy dydaktycznej Profesora w telekomunikacji. Pracując w Laboratorium Teletechnicznym prof. Nowicki zajmował się głównie pomiarami związanymi z instalowaniem i konserwacją urządzeń teletransmisyjnych w międzymiastowych liniach napowietrznych.

W 1934 roku nastąpiło włączenie Laboratorium Teletechnicznego do tworzonego wówczas Państwowego Instytutu Telekomunikacji (PIT). Od tego momentu prof. Nowicki został pracownikiem PIT. Zajmował się konstruowaniem pierwszych polskich urządzeń telefonii jedno- i trójprzewodowej dla linii napowietrznych. Należy tu wyjaśnić, że kabli telekomunikacyjnych wtedy w sieci polskiej nie było; zresztą byłyby one pupinizowane, a więc nieodpowiednie dla telefonii nośnej. Stopniowo prof. Nowicki stał się kierownikiem kilkunastoposobowego zespołu pierwszych polskich specjalistów z dziedziny tworzonej przez Profesora - teletransmisji przewodowej. Działalność konstrukcyjna prof. Nowickiego była powiązana z działalnością naukową i projektową z teorii

czwórników i filtrów. Ponadto Profesor opracował modele kilku przyrządów pomiarowych.

W Państwowym Instytucie Telekomunikacyjnym prof. Nowicki zajmował stanowisko kierownika Działu Telefonii Nośnej (1934-1936), a następnie stanowisko kierownika Działu Studiów (1937-1939) w Wydziale Teletechniki, którego kierownikiem był inżynier Konstanty Dobrski. Dyrektorem PIT był prof. Janusz Groszkowski.

Działalność konstruktorska i naukowa Profesora znajdowała swoje odbicie w działalności publikacyjnej. W okresie przedwojennym prof. Nowicki opublikował 18 prac o objętości ok. 26 arkuszy wydawniczych. Opracowania te były poświęcone miernictwu teletransmisyjnemu i teletransmisyjnym systemom telefonii nośnej. Wygłosił też kilka odczytów. Bezpośrednio przed wybuchem wojny powierzono Profesorowi funkcję redaktora *"Przeglądu Telekomunikacyjnego"* i *"Kwartalnika Telekomunikacyjnego"*. Pod Jego redakcją ukazał się tylko jeden numer *"Przeglądu Telekomunikacyjnego"*.

Profesor brał też czynny udział w próbie kształcenia na poziomie wyższym specjalistów z dziedziny teletransmisji przewodowej. Kształcenie prowadzone do tego czasu na Politechnice Warszawskiej pod kierunkiem, bardzo zasłużonego dla telekomunikacji, prof. Romana Trehcińskiego, dotyczyło - jak byśmy dzisiaj powiedzieli - telekomutacji, oczywiście elektromechanicznej. Od roku 1937 Politechnika Lwowska podjęła, w uzgodnieniu z PIT, kształcenie studentów w zakresie teletransmisji przewodowej (wg dzisiejszej terminologii). Prof. Nowicki, działając z upoważnienia PIT, rozpoczął w 1937 roku wykład zlecony pt.: *"Pomiary teletechniczne"* rozpoczynając równocześnie - pod kierunkiem profesora Tadeusza Malawskiego - organizowanie Laboratorium Teletechnicznego. Wybuch wojny uniemożliwił dokonanie promocji pierwszych absolwentów z dziedziny teletransmisji.

Pracę doktorską rozpoczął Profesor - pod kierunkiem prof. Romana Trehcińskiego - w 1938 roku. Tematem rozprawy były *"Czwórniki Środkowoopóźniające i metoda ich projektowania"*. Część laboratoryjna pracy została zakończona przed wybuchem wojny. Obrona nastąpiła w 1945 roku.

Podczas okupacji Profesor podjął działania w celu uruchomienia Państwowego Liceum Telekomunikacyjnego, działającego przed wojną w gmachu późniejszego GUTM przy ul. Barbary. Ostatecznie - za zgodą władz niemieckich - udało się w roku 1940 uruchomić zajęcia szkolne na terenie Politechniki Warszawskiej w uzgodnieniu z rektorem prof. Kazimierzem Drewnowskim (nazywanym przez Niemców "Zarządzającym Politechniką"). Następnie w roku 1941 władze niemieckie połączyły Liceum z Wydziałem Elektrycznym Szkoły im. Wawelberga i Rotwanda, tworząc dwuwydziałową Szkołę Elektryczną II stopnia. Dyrektorem Szkoły był prof. Roman Trechciński. Prof. Nowicki kierował Wydziałem Telekomunikacyjnym Szkoły. Do roku 1944 odbyło się 5 promocji absolwentów Wydziału, otrzymujących tytuł technika telekomunikacji. Liczbę absolwentów można oszacować na 125 osób.

W roku 1943 Profesor - jednocześnie z pracą w Szkole - rozpoczął pracę w Spółdzielni "Grupa Techniczna". Zamierzeniem prof. Nowickiego uzgodnionym z kierownictwem "Grupy Technicznej" było utworzenie wydziału, który po wojnie byłby przekształcony w zakład przemysłowy małoseryjnej produkcji aparatury pomiarowej dla telekomunikacji. Ponadto Profesor został włączony do zespołu opracowującego plany organizacji szkolnictwa zawodowego w przyszłej Polsce. Oczywiście była to działalność konspiracyjna, realizowana za zgodą Delegatury Rządu RP na Kraj.

Działalność okupacyjna Profesora została przerwana w kwietniu 1944 roku aresztowaniem przez Gestapo. Profesor osadzony na Pawiaku i w obozie koncentracyjnym w Stutthofie doczekał się wyzwolenia; trzech młodszy koledzy Profesora, z nim aresztowani, nie przeżyli obozu. Kierownictwo Wydziału Telekomunikacyjnego Szkoły objął po aresztowaniu prof. Nowickiego inż. Józef Możejko. Szkoła działała do wybuchu Powstania Warszawskiego.

W 1945 roku na zaproszenie prof. Janusza Groszkowskiego, dyrektora PIT, prof. Nowicki objął stanowisko wicedyrektora. Równocześnie - także od prof. Groszkowskiego, Profesor otrzymał propozycję zorganizowania i prowadzenia w Politechnice Warszawskiej nowej (nie istniejącej przed wojną) Katedry Transmisji Przewodowej. Profesor Nowicki był kierownikiem tej Katedry najpierw

jako zastępca profesora, a od 1947 roku jako profesor nadzwyczajny, a następnie - od 1956 - jako profesor zwyczajny. Podobne katedry zostały w latach następnych powołane także w niektórych innych uczelniach. W Warszawie powstała druga Katedra Teletransmisyjna, a następnie Katedra Teletransmisyjnych Urządzeń Przewodowych. Łączna liczba absolwentów obu katedr teletransmisyjnych w latach 1945-1970 może być oszacowana na 500 osób. W roku 1949 prof. Nowicki zrezygnował z pracy w PIT, poświęcając się całkowicie działalności w Politechnice Warszawskiej.

W 1970 roku łączono zbliżone tematycznie katedry, tworząc instytuty. W ten sposób, tzn. po przejściu z Instytutu Radioelektroniki grupy pracowników kierowanych przez prof. Sławińskiego, powstał Instytut Teleelektroniki, nazwany następnie Instytutem Telekomunikacji. W skład nowo powołanej placówki weszły obie katedry teletransmisyjne, a jej dyrektorem w latach 1970-1973 był prof. Nowicki.

Zainteresowania naukowe Profesora koncentrowały się w latach 1945-1973 na teorii czwórników, filtrów, korektorów, transformatorów, torów przewodowych i radiowych. Prof. Nowicki zajmował się też problemami struktury sieci telekomunikacyjnych oraz ogólnymi problemami telekomunikacji. Pod jego osobistym kierunkiem opracowano odtłumiki dwójnikowe i czwórnikowe, lampowe i tranzystorowe. Oczywiście zakres prac prowadzonych w Katedrze Teletransmisji Przewodowej, a tym bardziej w Instytucie Telekomunikacji, był szerszy. Wiele prac podjęto z inicjatywy Profesora. Inne, inicjowane przez współpracowników, spotykały się z Jego życzliwością i zrozumieniem. Można tu wymienić prace z zakresu miernictwa cyfrowego i teorii układów logicznych rozpoczęte w połowie lat sześćdziesiątych.

Naukowa działalność Profesora wiązała się oczywiście z działalnością dydaktyczną i publikacyjną. W latach 1945-1973 dorobek publikacyjny prof. Nowickiego obejmował:

- 2 skrypty w 8 zeszytach (objętość ok. 60 arkuszy wydawniczych);
- 6 książek (objętość ok. 208 ark.);
- 16 monografii i artykułów przyczynkowych (ok. 45 ark.);

- 24 artykuły naukowe o charakterze problemowym, przeglądowym albo popularnonaukowym (ok. 35 arkuszy).

Wydawcami powyższych publikacji były: Państwowy Instytut Telekomunikacyjny i Wojskowa Akademia Techniczna (skrypty), PWT (WNT), PWN i WKiŁ (książki) oraz Towarzystwo Naukowe Warszawskie, Politechnika Warszawska, Archiwum Elektrotechniki, *"Przegląd Elektrotechniczny"*, *"Przegląd Telekomunikacyjny"* i inne czasopisma (monografie, artykuły). Sam Profesor za najbardziej udaną swą książkę uważa - chyba słusznie - publikację *"Telekomunikacja współczesna. Próba syntezy"* (PWN, 1966). Książka ta, mimo rozwoju techniki, zachowała w istotnej części swą aktualność, chociaż nie omawia oczywiście rozwiązań nowszych.

Aktywność naukowa prof. Nowickiego przejawiała się także na innych terenach działalności. Był redaktorem naczelnym *"Rozpraw Elektrotechnicznych"* - czasopisma PAN od 1955 roku (tj. od roku założenia) do 1985 roku. Brał czynny udział w pracach kilku komitetów redakcyjnych. Był lub jest nadal członkiem komitetów naukowych PAN, rad naukowych, komitetów SEP. M.in. był przez wiele lat członkiem i wiceprzewodniczącym Rady Naukowej Instytutu Łączności.

Profesor charakteryzował się wielkim zaangażowaniem w sprawy, którymi się zajmował. Dlatego uznawał za naturalne prowadzenie działań w zakresach pokrewnych ze swą działalnością podstawową. Działania te nazwał później Profesor "akcjami". W latach 1945-1973 były to trzy następujące akcje:

akcja pierwsza: *"O kulturę pojęć w telekomunikacji"*,

akcja druga: *"O szybszy rozwój i usprawnienie telekomunikacji w Polsce"*,

akcja trzecia: *"O rozwój precyzyjnego przemysłu małoseryjnego w Polsce"*.

Akcja pierwsza powstała w wyniku zainteresowania profesora Nowickiego porządkowaniem pojęć z dziedziny telekomunikacji. Porządkowanie to obejmowało stworzenie listy pojęć, podanie ich definicji i wprowadzenie nazw tych pojęć - te trzy etapy składają się na proces tworzenia współczesnej terminologii. Profesor był organizatorem i kierownikiem działań w latach 1960-1973, które

doprowadziły do wydania 11 zeszytów pod nazwą *"Słownictwo telekomunikacyjne"*.

Akcja druga związana była z przekonaniem Profesora, że telekomunikacja w Polsce jest zaniedbana, chociaż powinna być rozwijana znacznie szybciej i skuteczniej niż dotąd. Prof. Nowicki łączył zresztą przekonanie o konieczności przełomu w technice telekomunikacji z głęboko humanistycznym przekonaniem o potrzebie wykorzystania możliwości technicznych telekomunikacji w celach szlachetnych, nie zaś do negatywnej z moralnego punktu widzenia propagandy. Swoje przekonanie przedstawił Profesor najdobitniej na Zjeździe Sekcji Telekomunikacyjnej SEP w Szczecinie w 1948 roku. Wyrazem zewnętrznym działań Profesora było kilkanaście artykułów, wiele memoriałów i wystąpień, wydanie książki *"Teraźniejszość i przyszłość telekomunikacji gospodarczej"* (WKiŁ, 1960). Profesor ocenia, że wyniki jego działań były znikome. Osobiście myślę, że działania te odegrały jednak istotną rolę. Przede wszystkim Profesor wychował grono ludzi przeświadczonych o konieczności dokonania przewrotu w telekomunikacji. W ciągu minionych lat bywały zresztą krótkotrwałe okresy przyspieszenia tempa rozwoju telekomunikacji. Także obecnie stosunek do telekomunikacji uległ istotnej zmianie. Sądzę, że to zasługa prof. Nowickiego.

Akcja trzecia wiązała się z poglądem Profesora, że niezbędne jest utworzenie w Polsce precyzyjnego przemysłu do produkcji małoseryjnej. Prof. Nowicki uważał, że modny i intensywnie rozwijany przemysł kluczowy nie jest w stanie sprostać pewnym potrzebom życia gospodarczego. Szczególnie wyraźnie sytuacja taka istniała, zdaniem Profesora, w telekomunikacji zwłaszcza w odniesieniu do aparatury pomiarowej. Prof. Nowicki był autorem wielu publikacji, referatów i wystąpień w tej sprawie. Staraniem Profesora przy Katedrze Teletransmisji Przewodowej Politechniki Warszawskiej utworzono zakład przeznaczony do produkcji małoseryjnej aparatury pomiarowej ZOTAP (Zakład Opracowań Teletransmisyjnej Aparatury Pomiarowej). Następnie powstało kilka podobnych zakładów przy innych katedrach Wydziału Elektroniki. Prof. Nowicki ocenia wyniki swych działań negatywnie. Jednak patrząc z dzisiejszej perspektywy

można uważać, że pewne idee Profesora są realizowane. Obecna polityka – gospodarcza preferuje przecież właśnie małe zakłady przemysłowe.

Po przejściu na emeryturę Profesor pozostał czynny. Realizował trzy akcje, stanowiące przedłużenie akcji pierwszej z okresu do 1973 r. Te trzy akcje oznaczam tu literami A, B, C.

Akcja A została nazwana przez Profesora *"O kulturę pojęć i kulturę słowa w technice"*. Swoje poglądy przedstawił Profesor w 40 odcinkach publikowanych w *"Przeglądzie Telekomunikacyjnym"* w latach 1976-1985 pod wspólnym tytułem *"Poradnik terminologiczno-językowy"*. Część tego materiału opublikowano też w 6 odcinkach w *"Przeglądzie Elektrotechnicznym"* pod wspólnym tytułem *"Analiza poprawności niektórych terminów ogólnych i elektrycznych"*. Wreszcie w 1978 roku ukazała się książka Profesora pt.: *"O ścisłość pojęć i kulturę słowa w technice"* (WKiŁ) wykorzystująca materiał *"Poradnika"*.

Akcja B nazwana przez Profesora *"O unowocześnienie systemu pojęciowego telekomunikacji"* stanowiła ścisłą kontynuację akcji pierwszej z lat 1945-1973 z zakresu terminologii telekomunikacyjnej. W wyniku realizacji tej akcji z inicjatywy i pod kierunkiem Profesora zaczyna powstawać dzieło pt.: *"Glosarium Telekomunikacji"*. Pierwsze zeszyty już się ukazały.

Akcja C została nazwana przez Profesora *"O upowszechnienie w Polsce wiedzy z zakresu teorii terminologii i metodyki prac terminologicznych"*. Studia Profesora związane z teorią terminologii doprowadziły do powstania licznych Jego publikacji. Ukazały się 4 artykuły w *"Nauce Polskiej"*, 5 artykułów w *"Zagadnieniach Naukoznawstwa"*, 1 monografia (w wydawnictwach "Sigma"), książka *"Podstawy terminologii"* (w wydawnictwie Ossolineum) i inne publikacje.

Kolejna akcja realizowana przez Profesora została przez niego nazwana *"O gruntowną przebudowę gospodarki kraju"*. Akcja ta zawiera w sobie elementy akcji drugiej i trzeciej z poprzedniego okresu. Profesor działał tu wspólnie z prof. Janem Podoskim i prof. Czesławem Mejro. Jednak w połowie lat osiemdziesiątych działania Profesora znowu nie spotkały się ze zrozumieniem. Dopiero

w obecnej przebudowie gospodarki polskiej wykorzystuje się - może jest to zbieżność przypadkowa - wiele myśli i poglądów Profesora oraz jego kolegów.

Działalność Profesora była wysoko oceniana. Był odznaczony Krzyżem Komandorskim, Oficerskim i Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski, innymi odznaczeniami państwowymi, odznakami honorowymi NOT, SEP, Zasłużonego Pracownika Łączności, wieloma medalami i dyplomami honorowymi. Jest także Honorowym Członkiem Stowarzyszenia Elektryków Polskich.

Jak podsumować wielki i wszechstronny dorobek profesora Nowickiego? Jest On przede wszystkim pionierem telekomunikacji polskiej, a także twórcą teletransmisji przewodowej w Polsce nie tylko jako dziedziny techniki, lecz również jako dziedziny nauki. Wychował liczne rzesze specjalistów telekomunikacji i teletransmisji, tworząc niewątpliwie polską "szkołę naukową" teletransmisji. Jego działalność charakteryzowała się zawsze gruntownością i starannością. Stąd zapewne Jego prace terminologiczne i językoznawcze. Miał zawsze skłonności do rozważań ogólnych i syntetyzujących. Jest to chyba rys charakterystyczny jego twórczości naukowej. Zresztą Jego dorobek przyczynkowy jest także bogaty. Działalność Profesora charakteryzowała się też wielkim zaangażowaniem. Wszystko to, co zrobił, robił z pasją, nie licząc się, jak jego poglądy będą przyjmowane. Dopiero później okazywało się, że w pełni miał rację. Profesor jest nie tylko technikiem, ale także humanistą. Łączy zainteresowania zawodowe z terminologicznymi i językoznawczymi. Wreszcie jest turystą i żeglarzem.

Środowisko telekomunikacyjne - z okazji 90 rocznicy urodzin - składa Profesorowi wyrazy głębokiego szacunku i uznania za Jego postawę i osiągnięcia, życząc Mu dalszych osiągnięć, dobrego zdrowia i długiego życia dla dobra polskiej telekomunikacji.

Władysław Majewski

JUBILEUSZ 85-LECIA URODZIN PROF. JULIUSZA GRABOWSKIEGO

Profesor mgr inż. Juliusz Grabowski urodził się dnia 29 stycznia 1908 r. w Nizianach. Po ukończeniu Gimnazjum im. Króla Zygmunta Augusta w Wilnie studiował w latach 1928-1937 na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej i w kwietniu 1945 r. uzyskał stopień inżyniera-elektryka, równoważny stopniowi magistra inżyniera. W okresie studiów czynnie uczestniczył w studenckim ruchu naukowym, pełnił m.in. funkcję prezesa Naukowego Koła Elektryków studentów Politechniki Warszawskiej.

Pracę zawodową rozpoczął w Państwowych Zakładach Tele- i Radiotechnicznych w Warszawie w roku 1936 na stanowisku młodszego konstruktora.

W latach wojny Profesor przebywał na Litwie, Wileńszczyźnie i Nowogródzku. W styczniu 1943 r. został żołnierzem Armii Krajowej Okręgu "Nów" (obejmującego Nowogródzki). Zajmował się zapewnieniem łączności radiowej terenowej siatki konspiracyjnej oddziału AK "Łąka", działającej w Szczuczynie Nowogródzkim, z Komendą Główną AK. Brał bezpośredni udział w akcji: "Burza - Ostra Brama", zmierzającej do wyzwolenia Wilna i Wileńszczyzny przez oddziały Armii Krajowej. W tym okresie (czerwiec - wrzesień 1944) był odpowiedzialny technicznie za radiostację Okręgu "Nów" o symbolu "W-20", służącą do stałej łączności radiowej z Rządem R.P. w Londynie i z Komendą Główną AK. Likwidacja tej stacji przez NKWD nastąpiła 8 września 1944 r. Za swoją działalność konspiracyjną i bojową został przedstawiony do odznaczenia m.in. Krzyżem Walecznych. Ma Honorową Odznakę Żołnierza Armii Krajowej okręgów "Wiano" i "Nów". Jest członkiem Światowego Związku Żołnierzy AK.

Po powrocie do Warszawy w roku 1945 prof. Juliusz Grabowski kontynuuje swoją przedwojenną pracę w PZTiR, a następnie, w latach 1948-1957, pracuje (w trybie przeniesienia służbowego) w Zakładach Wytwórczych Materiałów Teletechnicznych, Zakładach Radiowych im. Kasprzaka, Przemysłowym Instytu-

cie Telekomunikacji i Instytucie Tele- i Radiotechnicznym w Warszawie, kolejno na stanowiskach: kierownika wydziału wzmacniakowego, głównego konstruktora, głównego konstruktora, zastępcy kierownika i kierownika Zakładu Teletransmisji.

Pracę naukowo-badawczą i dydaktyczną rozpoczął w r. 1945 w Politechnice Warszawskiej i w Szkole Inżynierskiej im. Wawelberga i Rotwanda, zajmując kolejno stanowiska: st. asystenta, profesora kontraktowego, zastępcy profesora, a od r. 1956 - docenta etatowego w Katedrze Teletransmisji Przewodowej, następnie w Katedrze Urządzeń Teletransmisyjnych i Telegraficznych, później w Instytucie Teleelektroniki, a następnie Telekomunikacji (do czasu przejścia na emeryturę w roku 1978). Pełnił w tym czasie funkcje: zastępcy kierownika Katedry Teletransmisji Przewodowej, kierownika Katedry Urządzeń Teletransmisyjnych i Telegraficznych, prodziekana Wydziału Łączności, kierownika Wieczorowego Studium Zawodowego, kierownika Zakładu Urządzeń Teletransmisyjnych, kierownika Zakładu, a później Zespołu Systemów Teletransmisyjnych, zastępcy dyrektora Instytutu Teleelektroniki ds. naukowo-badawczych (1971-1973), dyrektora Instytutu Teleelektroniki (1973-1975) oraz docenta, a później profesora kontraktowego, w niepełnym wymiarze, w Instytucie Łączności w latach 1976-1990.

Tytuł naukowy docenta przyznała Mu Centralna Komisja kwalifikacyjna dla Pracowników Nauki w roku 1956, a w roku 1983 uzyskał tytuł naukowy profesora nadzwyczajnego.

Opublikowany i nie opublikowany dorobek naukowy prof. J. Grabowskiego obejmuje około 50 pozycji, w tym połowę wykonanych indywidualnie. Wchodzą w to prace będące wynikiem badań naukowych, prace informacyjne o postępach wiedzy i techniki, prace wykonane dla gospodarki narodowej, w tym o charakterze specjalnym.

Głównym kierunkiem działalności naukowej prof. J. Grabowskiego są przede wszystkim prace związane z rozwojem polskiej techniki teletransmisyjnej, w której to dziedzinie jest przodującym i zasłużonym naukowcem. Należy

tu zaliczyć wiele prac rozpoznawczych, koncepcyjnych, projektowych, konstrukcyjnych i technologicznych w zakresie systemów i urządzeń teletransmisyjnych, analogowych i dyskretnych. Tak więc w okresie przedwojennym (1936-1939) opracował samodzielnie wiele urządzeń radiofonicznych, radiotelefonicznych i teletransmisyjnych systemów naturalnych, stosując nowoczesne rozwiązania oraz wdrażając je do produkcji przemysłowej. Na podkreślenie zasługuje opracowanie teorii i zastosowań ujemnego sprzężenia zwrotnego we wzmacniakach. W tamtym okresie było to przedsięwzięcie pionierskie w technice krajowej i światowej, które przyniosło później daleko idące konsekwencje dla wprowadzenia postępu technicznego w zakresie rozwiązań układowych i systemowych, zwłaszcza w dziedzinie telefonicznych systemów nośnych. Po zakończeniu wojny Profesor kontynuował te prace, kierując odbudową i rozbudową krajowego przemysłu teletransmisyjnego, a zwłaszcza jego zaplecza naukowo-technicznego.

W latach 1952-1963 prowadził prace naukowe i projektowe w zakresie telefonicznych systemów nośnych analogowych o torach symetrycznych, a głównie o torach współosiowych (K-1920, TN-300), organizując bazę potrzebną do prowadzenia prac naukowych nad tymi systemami oraz rozbudowując zespoły pracowników naukowo-badawczych i technicznych na uczelni oraz w zakładach przemysłowych. Prace te kontynuował również w Politechnice po roku 1964 w kierowanej przez siebie Katedrze Urządzeń Teletransmisyjnych i Telegraficznych, szeroko rozbudowując zaplecze naukowe i dydaktyczne dla polskiego przemysłu telekomunikacyjnego. Prowadzone przez prof. J. Grabowskiego prace nad systemami współosiowymi (m.in. TN 960) były objęte Narodowym Planem Gospodarczym i problemem węzłowym oraz w szerokim zakresie zostały wdrożone do produkcji przemysłowej.

Za wymieniony kompleks prac prof. J. Grabowski i kierowany przez Niego Zespół otrzymał wiele nagród: Przewodniczącego KNiT, Ministra Łączności oraz Rektora PW (pięciokrotnie).

Drugim, o bardzo dużej wadze, kierunkiem prac naukowo-badawczych prowadzonych przez Profesora są prace z zakresu systemów i urządzeń transmisji

danych o średniej szybkości modulacji. Zespół, który pod Jego ogólnym kierunkiem pracował od 1964 r. nad tymi zagadnieniami, był przez Niego rozbudowany, szkolony i organizowany. Do 1971 r. zespół opracował dwa systemy transmisji danych o średniej szybkości modulacji 600/1200/2400 bodów (system śledzący z wykrywaniem błędów UTD-1 oraz system z kanałem powrotnym i z korekcją błędów UTD-1200). Urządzenia te, częściowo o charakterze specjalnym, zostały wdrożone do produkcji i charakteryzowały się wysokimi parametrami technicznymi, taktycznymi i eksploatacyjnymi. Za wymienione prace Zespołowi kierowanemu przez prof. J. Grabowskiego przyznano nagrody zespołowe: cztery nagrody Przewodniczącego KNiT, nagrodę pierwszego stopnia Ministra Oświaty i Szkolnictwa Wyższego, nagrodę Szefa Sztabu Generalnego, cztery nagrody Rektora PW oraz przyznaną przez Komitet Nagród Państwowych w maju 1972 r. nagrodę państwową II stopnia.

Trzecim kierunkiem prac naukowych prof. J. Grabowskiego są prace naukowo-badawcze z dziedziny miernictwa teletransmisyjnego. Wynikiem ich jest liczna grupa wyspecjalizowanej aparatury kontrolno-pomiarowej niezbędnej w nowoczesnych metodach kontroli produkcji w przemyśle teletransmisyjnym. Urządzenia te wykonane w Zespole zorganizowanym i bezpośrednio kierowanym przez Profesora były wdrożone w przemyśle i stosowane z pełnym powodzeniem do kontroli produkcji.

Cała działalność naukowo-badawcza prof. J. Grabowskiego była skierowana na rozwiązywanie zagadnień naukowych i technicznych ważnych dla gospodarki narodowej i polskiej telekomunikacji. Dużo pracy włożył w rozwój zaplecza naukowo-technicznego polskiego przemysłu teletransmisyjnego.

Profesor uprawiał również działalność w zakresie upowszechniania wiedzy, wygłaszając referaty naukowe na konferencjach, których w wielu przypadkach był współorganizatorem.

Ma On również duże osiągnięcia w działalności dydaktyczno-wychowawczej. W latach 1950-1966 był współorganizatorem Wieczorowej Szkoły Inżynierskiej i kierownikiem Sekcji Teletransmisji. Prowadził wykłady z dziedziny telekomunikacji, m.in. z przedmiotów: urządzenia teletransmisyjne, systemy

teletransmisyjne, miernictwo teletransmisyjne, specjalne układy teletransmisyjne oraz wzmacniacze małej częstotliwości. Pod Jego kierunkiem wykonano około 40 prac dyplomowych magisterskich oraz 60 - inżynierskich. Był promotorem pięciu zakończonych przewodów doktorskich. Jako wychowawcę szczególnie cenila Go młodzież. Zawdzięczała Mu ona między innymi organizowanie wartościowych praktyk zagranicznych, licznych wycieczek naukowych dla zaznajomienia studentów z techniką krajową i zagraniczną.

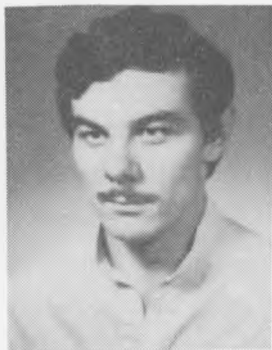
Profesor Juliusz Grabowski uprawiał także działalność społeczną i społeczno-naukową, m.in. w Związku Nauczycielstwa Polskiego PW, Spółdzielni Mieszkaniowej "Politechnika", a także w Stowarzyszeniu Elektryków Polskich. Współpracował również z instytucjami naukowo-technicznymi, a głównie z Komitetem Elektroniki i Telekomunikacji PAN, Komisją Główną Elektroniki i Telekomunikacji KNiT (członek i przewodniczący Zespołu Teletransmisji), Radą Naukowo-Techniczną przy Ministrze Łączności, Radą Naukową Instytutu Łączności (kierownik zespołu kwalifikacyjnego), Radą Naukową Wojskowego Instytutu Łączności, Radą Naukową Wydzielonego Biura Rozwojowego Zakładów Materiałów Magnetycznych "Polfer", Radą Naukową Krajowej Komisji Międzynarodowego Komitetu Doradczego Telefonicznego i Telegraficznego CCITT (członek Prezydium), z Polskim Komitetem Automatycznego Przetwarzania Informacji NOT oraz Radą Naukowo-Techniczną przy Ministrze Przemysłu Ciężkiego.

Za działalność naukową, techniczną, organizacyjną i społeczną prof. J. Grabowski otrzymał wiele odznaczeń państwowych i społecznych, a wśród nich m.in. krzyże Komandorski i Kawalerski Orderu Odrodzenia Polski, Złoty Krzyż Zasługi, Medal Komisji Edukacji Narodowej, Złotą Odznakę Zasłużonego dla Politechniki Warszawskiej, Srebrny i Brązowy Medal za Zasługi dla Obronności Kraju, Złotą Honorową Odznakę Zasłużonego Pracownika Łączności, Złotą Honorową Odznakę SEP, Złotą Honorową Odznakę NOT. Prof. J. Grabowski jest także wyróżniony tytułami: Honorowego Członka SEP i Zasłużonego Seniora SEP oraz medalami SEP: im. prof. Pożaryskiego, im. prof. Kazimierza Szpołtańskiego i im. prof. Janusza Groszkowskiego.

Profesor Juliusz Grabowski jest niezmiennie aktywny zawodowo i społecznie. Od około 30 lat jest kierownikiem Działu Teletechniki w Izbie Rzecznawców SEP, przewodniczącym Komisji Historii i Tradycji Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej, członkiem Centralnego Kolegium Sekcji Telekomunikacyjnej SEP, a także członkiem Polskiego Komitetu Optoelektroniki.

Krystyn Plewko

AUTORZY



Mgr inż. Leszek Augustyniak ma 31 lat. Jest absolwentem Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej, a obecnie pracownikiem tego Wydziału. Pracuje w zespole prowadzącym badania w dziedzinie kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Jest współautorem dwóch patentów związanych z projektowanymi i konstruowanymi przez zespół unikalnymi w kraju stanowiskami do pomiaru stopnia ochrony urządzeń elektrycznych i elektronicznych przed zakłóceniami impulsowymi. Wynikiem badań nad wrażliwością i odpornością urządzeń na udary napięciowe, prądowe oraz bezpośrednie oddziaływania impulsowego pola elektromagnetycznego i ochroną przeciwzakłóceniovą są m.in. także liczne publikacje i artykuły na krajowe oraz zagraniczne sympozja i konferencje naukowe. Zajmuje się zagadnieniami zakłóceń szybkich (LEMP, NEMP) oraz ochroną przed nimi linii sygnałowych i zasilających urządzeń oraz rozbudowanych systemów urządzeń. Hobby: radio - elektronika.



Dr inż. Andrzej Sowa urodził się w Warszawie w 1951 r. W 1969 r. rozpoczął studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej, które ukończył w 1974 r. W tym samym roku rozpoczął studia doktoranckie na kierunku Energo- i Teleelektryka w Politechnice Warszawskiej. W roku 1979 obronił pracę doktorską pt.: "Metody wyznaczania udarów probierczych do odtwarzania narażeń układów sterowniczych przepięciami indukowanymi pochodzenia piorunowego". Od roku

1978 pracuje na Wydziale Elektrycznym Politechniki Białostockiej na stanowisku adiunkta, a od 1992 r. kieruje Zakładem Aparatury Elektronicznej. Jego zainteresowania badawcze dotyczą głównie problematyki oddziaływania na czułe urządzenia techniczne impulsowych sygnałów zakłócających wywołanych przez wyładowania atmosferyczne i eksplozje nuklearne. Opublikował ponad 70 artykułów w czasopismach technicznych oraz w różnych materiałach z konferencji naukowych, zarówno krajowych jak i międzynarodowych. Jest również współautorem dwóch patentów.

Inż. Jan Bogucki - notkę biograficzną wydrukowano w Pracach Instytutu Łączności, z. 1(77), 1975.

Dr inż. Ryszard Floryński - notkę biograficzną wydrukowano w Pracach Instytutu Łączności, nr 95, 1987.

Prof. dr inż. Andrzej Sowiński - notkę biograficzną wydrukowano w Pracach Instytutu Łączności, nr 99, 1992.

KWARTALNIK ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS QUARTERLY

Czasopismo to jest bezpośrednią kontynuacją wydawanego od 38 lat pod auspicjami Polskiej Akademii Nauk kwartalnika pt. "Rozprawy Elektrotechniczne".

Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji jest czasopismem Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji Polskiej Akademii Nauk i w związku z tym na jego łamach są publikowane prace naukowe, dotyczące podstaw teoretycznych i zastosowań z zakresu elektroniki i telekomunikacji, mikroelektroniki, optoelektroniki, radiotechniki i elektroniki medycznej. Prezentowane są prace oryginalne, w tym przyczynkowe oraz zawierające analizy porównawcze metod lub systemów, syntetycznie ujęcia określonej dziedziny wiedzy, omówienia aktualnego stanu lub postępu danej gałęzi techniki oraz omówienia perspektyw rozwojowych. Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji jest przeznaczony dla specjalistów oraz studentów zajmujących się wymienioną tematyką. W kwartalniku są zamieszczane artykuły w języku polskim lub angielskim, wybranym przez Autora.

Kwartalnik redaguje: Redaktor Naczelny - prof. dr hab. inż. WIESŁAW WOLIŃSKI, Zastępca Redaktora Naczelnego - dr inż. KRYSZTYN PLEWKO, Sekretarz Odpowiedzialny - mgr KRYSZYNA LELAKOWSKA. Adres redakcji: 00-665 Warszawa, ul. Nowowiejska 15/19, pokój 470, Politechnika, Instytut Telekomunikacji, Gmach im. prof. Janusza Groszkowskiego.

W skład Rady Redakcyjnej Kwartalnika wchodzi: Przewodniczący - prof. dr inż. ADAM SMOLIŃSKI członek rzeczywisty PAN. Członkowie: prof. dr hab. inż. DANIEL JÓZEF BEM, prof. dr hab. inż. MICHAŁ BIAŁKO - czł. koresp. PAN, prof. dr hab. inż. STEFAN HAHN, - czł. koresp. PAN, prof. dr inż. ANDRZEJ HAŁAS, prof. dr inż. ZDZISŁAW KACHLICKI, prof. dr hab. inż. BOHDAN MROZIEWICZ, prof. dr inż. JERZY OSIOWSKI, prof. dr inż. WITOLD ROSIŃSKI - czł. rzecz. PAN, prof. dr hab. inż. STEFAN WĘGRZYN - czł. rzecz. PAN, prof. dr hab. inż. WIESŁAW WOLIŃSKI - czł. koresp. PAN, prof. dr inż. ANDRZEJ ZIELIŃSKI, prof. dr inż. MARIAN ZIENTALSKI.

PRENUMERATA

Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji można prenumerować i kupować w Ośrodku Rozpowszechnienia Wydawnictw Naukowych Polskiej Akademii Nauk ORPAN:

- w Warszawie: Pałac Kultury i Nauki, 00-901 Warszawa, centrala tel. 20-02-11, w. 21-05, Dział Wydawnictw Krajowych
- w Białymstoku: 15-882 Białystok, ul. Świętojańska 13, tel. 415-070 w. 175
- w Lublinie: 20-031 Lublin, pl. Marii Skłodowskiej-Curie 5, tel. 375-413
- w Katowicach: 40-007 Katowice, ul. Bankowa 11, tel. 587-709
- w Krakowie: 31-020 Kraków, ul. Św. Marka 22, tel. 215-314
- w Poznaniu: 61-725 Poznań, ul. Mielżyńskiego 27/29, tel. 524-516

Prenumeratę czasopisma prowadzi również Zakład Kolportażu Wydawnictwa Czasopism i Książek Technicznych SIGMA-NOT. Zamówienia na prenumeratę na 1993 r. na należy składać do 20 listopada 1992 r.

Warunkiem przyjęcia prenumeraty jest wpłata wartości zamówionych egzemplarzy. Wpłat na prenumeratę należy dokonywać na blankietach wpłat na rachunki bankowe na konto: Zakład Kolportażu Wydawnictwa SIGMA-NOT Sp. z o.o. 00-950 Warszawa nr PBK III O/Warszawa 370015-1573-139-11.

Zakład Kolportażu oferuje możliwość zamawiania prenumeraty ze zleceniem wysyłki za granicę. Jej cena jest dwukrotnie wyższa od ceny prenumeraty normalnej. Zlecający powinien podać dokładny adres odbiorcy. Dodatkowych informacji udziela Zakład Kolportażu Wydawnictwa SIGMA-NOT Sp. z o.o. 00-716 Warszawa, skr. poczt. 1004, ul. Bartycka 20, Telefony: 40-30-86, 40-35-89, 40-00-21 w. 249, 295, 299.

Cena poszczególnych zeszytów "Kwartalnika Elektroniki i Telekomunikacji" wynosi 30 000 zł za jeden numer (120 000 zł za rocznik). W przypadku trudności w zaprenumerowaniu lub nabyciu zeszytów kwartalnika prosimy o informowanie o tym redakcji: 00-665 Warszawa, ul. Nowowiejska 15/19, pokój 470, Gmach Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej, telefony: 628-89-81 lub 21-007-737.

W celu lepszego zorientowania przyszłych czytelników o charakterze publikacji zamieszczonych w Kwartalniku, poniżej podano spis treści artykułów w tomie XXXVIII - wydanym w roku 1992.

SPIS TREŚCI DO TOMU XXXVIII - 1992

ZESZYT Nr 1

- K. W a w r y n: Opis języka formalnego do projektowania analogowych układów CMOS
- K. B a s z c z y Ń s k i, A. M a t e r k a: Metoda komputerowej identyfikacji dla wybranej klasy układów nieliniowych rzędu drugiego
- A. M a j e w s k i: Solitony w światłowodach: właściwości propagacyjne
- B. K a l i n i n: Badania korelacji wzajemnej między obwiedniami sygnałów wyjściowych filtrów pasmoprzepustowych
- J. M o d e l s k i, A. B u c h o w i c z: Procedura filtracji liniowej obrazu
- J. K i s i e l e w i c z: Algorytm obliczania wielokanałowego korektora minimalizującego błąd średniokwadratowy
- J. H o s z a, T. S t a c h o w i a k: Analiza efektywności pracy sieci lokalnej z dostępem rywalizacyjnym
- M. Ż ó ł t o w s k i: Optymalne pętle cyfrowe z niejednostajnym próbkowaniem
- M. Ż ó ł t o w s k i: Cyfrowe pętle fazowe - wybrane problemy
- A. N a p i e r a l s k i: Półprzewodnikowe układy dużej mocy - technologia, analiza, projektowanie
- P. H e m p o w i c z: Tyrystorowy wzmacniacz dużej mocy o małych zniekształceniach
- P. H e m p o w i c z: Filtr aktywny wstrzykujący w zastosowaniu do wygładzania napięcia wyjściowego przekształtników tyrystorowych
- F. W y s o c k a - S c h i l l a k: Czebyszewowska aproksymacja charakterystyki amplitudowej dolnoprzepustowego filtra cyfrowego SOI o liniowej fazie

- F. W y s o c k a - S c h i l l a k: Czebyszewowska aproksymacja charakterystyki częstotliwościowej dolnoprzepustowego filtra interpolacyjnego
- M. S t a s i a k: Obliczanie prawdopodobieństwa blokady wewnętrznej punkt-punkt w układach komutacyjnych o różnych typach grafów kanałowych

ZESZYT Nr 2 - 3

- H. B u d z i s z: Analiza symboliczna struktur czwórnikowych
- H. B u d z i s z: Generowanie grafów sygnałowych opisujących struktury filtrów aktywnych
- S. S k o c z o w s k i: Metoda uproszczonej identyfikacji parametrów modelu Strejca na podstawie pierwszych próbek odpowiedzi skokowej
- A. J a w o r e k: Odpowiedź czasowa układu wzmacniacza operacyjnego na skokową zmianę wartości immitancji w jego obwodzie
- W. P o d m i o t k o: Modelowanie rezystancji w stanie włączenia wysokonapięciowych tranzystorów LDMOS metodą odwzorowań koforemnych
- Z. W r ó b e l: Wrażliwość funkcji strukturalnych grafów układów dwójników i czwórników składających się z dwóch rodzajów elementów
- A. B o g u s z, St. K u t a: Metoda optymalizacji wartości parametrów elementów składowych dużego analogowego układu elektronicznego
- M. T. F a b e r: Niskoszumne odbiorniki z detektorami termicznymi zakresu fal prawie milimetrowych
- A. D o m a n s k i: Procesy ograniczające wpływ zakłóceń w komputerowych urządzeniach pomiarowych
- A. J a w o r e k: Błędy pomiarowe detektorów fazoczułych spowodowane napięciami i prądami niezrównoważenia
- J. W o j a s: Modulacja fotoemisji
- Z. K u r z y Ń s k i, A. K a l b a r c z y k, W. W o l i Ń s k i: Modelowanie temperatury translacyjnej w laserowym wzmacniaczu CO₂ typu TEA z prejonizacją UV

- R. R a k o w s k i: Przestrzeń probabilistyczna sumowania błędów instrumentalnych. Ogólne zasady doboru wyrażań na błędy graniczne i obliczanie poziomów ufności
- A. S z a t k o w s k i: Synteza neuralnych systemów komórkowych dla zagadnień podejmowania decyzji. Część I: Systemy selekcji-identyfikacji
- A. S z a t k o w s k i: Synteza neuralnych systemów komórkowych dla zagadnień podejmowania decyzji. Część II: Systemy mnogościowo-logiczne oraz ogólne komórkowe sieci neuralne
- T. O s t r o w s k i: Wspomaganie bazą wiedzy wstępnego etapu cyfrowego przetwarzania obrazów

ZESZYT Nr 4

- P. K ł o n e c k i, Z. L a n g o w s k i: Zastosowanie metody różnic skończonych do analizy niesymetrycznych linii mikropaskowych
- T. A d a m s k i: Systoliczne układy rozplatające wykorzystujące algorytm Nahmana-Guillaume'a
- T. A d a m s k i: Uwagi dotyczące układu detektora fazy
- J. W o j a s, W. L. W o j a s: Dyskusja teorii fotoemisji
- A. Z a b ł u d o w s k i, B. D u b a l s k i: Analiza własności statystycznych wielowartościowych sekwencji pseudolosowych generowanych przez k równoległe pracujące rejestry
- M. G o t f r y d: Analiza układów impulsowych do zmniejszania zniekształceń prądu sieciowego - zależności podstawowe
- M. G o t f r y d: Analiza układów impulsowych do zmniejszania zniekształceń prądu sieciowego - zależności energetyczne
- R. R a k o w s k i: Względność poziomów ufności sumowania błędów narzędzi pomiarowych
- E. K o r n a t o w s k i: Zastosowanie filtracji cyfrowej 2-D do oceny jakości pól elektromagnetycznych

- J. T e t e r w a k:** Widmo sygnałów próbkowanych nierównomiernie: możliwości zastosowania do identyfikacji błędu określenia momentu próbkowania w cyfrowych rejestratorach sygnału
- A. S z a t k o w s k i:** Synteza neuralnych systemów komórkowych dla zagadnień nieliniowej syntezy transmitacji
- J. P u c h a l s k i:** Komputerowe metody wyznaczania torów elektronów w polu elektrostatycznym na przykładzie elektronooptycznego wzmacniacza obrazu.
- F. W y s o c k a - S c h i l l a k:** Projektowanie cyfrowego filtra SOI o charakterystyce częstotliwościowej monotonicznej w pasmie przepustowym i równomiernie falistej w pasmie zaporowym
- J. K i s i l e w i c z:** Porównanie korektorów wielokanałowych
- J. W o j a s:** Analiza promieniowania elektromagnetycznego w fotoelektronowych badaniach powierzchniowych

