

# Czy bomba E zniszczy nasze komputery?

Stanisław BEDNAREK

Nie ulega wątpliwości, że w ostatnich latach obserwuje się niezwykle szybki wzrost liczby komputerów, sprzętu telekomunikacyjnego i innych urządzeń elektronicznych. Wszystkie te urządzenia znajdują zastosowanie w bardzo różnych dziedzinach aktywności człowieka – poczynając od rozrywki, edukacji i sztuki, poprzez naukę, przemysł, opiekę zdrowotną, aż po administrację państwową i wojsko. Nic więc dziwnego, że trudno wyobrazić sobie funkcjonowanie bez nich współczesnego społeczeństwa. Z tego faktu dobrze zdają sobie sprawę specjaliści od techniki wojskowej, pracujący nad nowym rodzajem broni nazywanej bombą E. Doszli oni do wniosku, że obecnie o wygraniu ewentualnej wojny może zdecydować szybkie zniszczenie urządzeń elektronicznych przeciwnika. Temu właśnie celowi ma służyć bomba E.

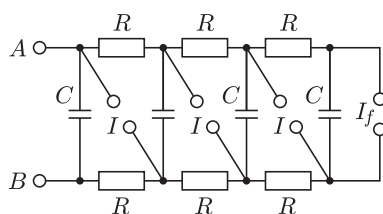
Niszczące działanie bomby E polega na tym, że wysyła ona przez bardzo krótki czas, nieprzekraczający milionowych części sekundy, niezwykle silną falę elektromagnetyczną, której moc osiąga miliardy watów. Długość tej fali wynosi od kilkudziesięciu centymetrów do ułamków milimetra, a więc jest to fala należąca do zakresu mikrofalowego. Wysłana fala rozchodzi się w otaczającej przestrzeni i dociera do wszelkiego rodzaju urządzeń elektronicznych. Zmienne pola elektryczne i magnetyczne, stanowiące tę falę, indukują zmiany napięcia w obwodach wspomnianych urządzeń, powodując ich zniszczenie lub poważne zakłócenia pracy. Jednocześnie okazuje się, że taka fala elektromagnetyczna jest praktycznie nieszkodliwa dla ludzi i innych organizmów żywych. Dlatego też bomba E nazywana jest często bronią humanitarną.

Pomysł wykorzystania fal elektromagnetycznych do zakłócania pracy urządzeń elektronicznych nie jest nowy. Już w czasie drugiej wojny światowej, a więc około sześćdziesięciu lat temu, stosowane były nadajniki skutecznie zakłócające pracę radarów. Podczas próbných wybuchów bomb jądrowych w drugiej połowie lat czterdziestych ubiegłego wieku zauważono powstawanie tzw. burzy elektromagnetycznej, uniemożliwiającej nawet przez kilkadziesiąt minut prowadzenie łączności radiowej i funkcjonowanie urządzeń elektronicznych. Przyczyną tego zjawiska było wytworzenie w momencie wybuchu dużej liczby szybkich elektronów, kwantów promieniowania  $\gamma$  i zjonizowanych atomów. Elektrony, oddziałując z kwantami  $\gamma$ , ulegały rozproszeniu Comptona. Z kolei zjonizowane atomy ponownie przyłączały elektrony, ulegając rekombinacji. W wyniku tych efektów oddawana była energia w postaci fal elektromagnetycznych powodujących zakłócenia.

Zainteresowanie bombą E gwałtownie wzrosło w ostatnich latach. Przyczyny tego to zwiększenie liczby i znaczenia wszelkiego rodzaju urządzeń elektronicznych, wykorzystujących elementy półprzewodnikowe, które są bardzo podatne na uszkodzenia przez niewielkie skoki napięcia – w granicach 1–2 V oraz opracowanie metod wytwarzania impulsów promieniowania

elektromagnetycznego o bardzo dużej mocy. Procesory stosowane we współczesnych komputerach zasilane są napięciem wynoszącym 1,4–1,6 V. Zwiększenie tego napięcia nawet o 1 V prowadzi zwykle do zniszczenia procesora. Dla porównania, stosowane dawniej lampy elektronowe wymagały napięcia anodowego 200–300 V i wytrzymywały jego zmiany wynoszące 40–50 V. Niewielkie zmiany napięcia, powodujące zniszczenie elementów półprzewodnikowych, mogą być indukowane właśnie przez silne i szybkozmienne pole elektromagnetyczne, które wytwarza bomba E.

Pierwszym etapem, prowadzącym do wytworzenia takiego pola elektromagnetycznego, jest przepływ impulsu prądu o bardzo dużym natężeniu. Impuls ten uzyskuje się przez rozładowanie specjalnego układu kondensatorów, stanowiącego generator Marxa, którego schemat przedstawia rysunek 1.

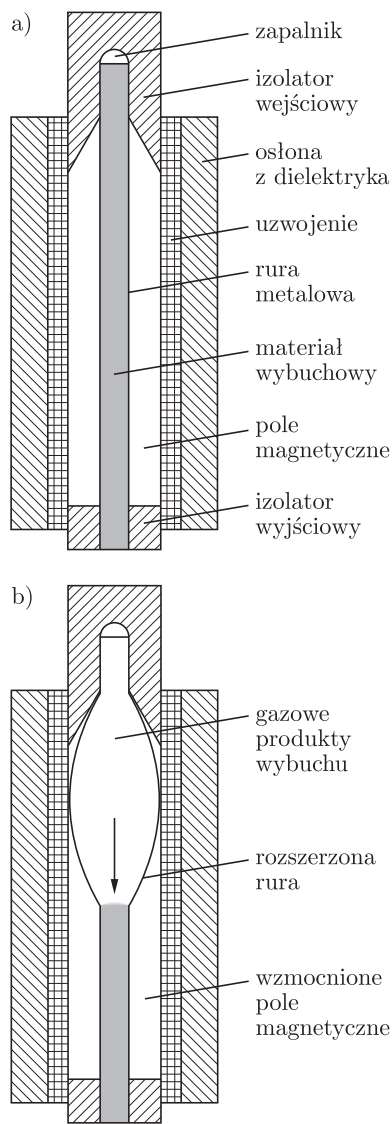


Rys. 1

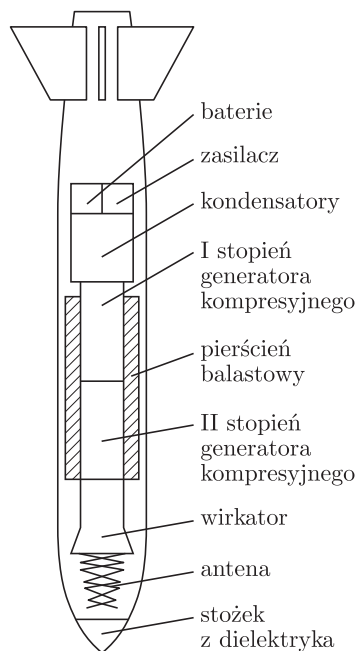
Oprócz tego, do sąsiednich kondensatorów przyłączone są iskierniki  $I$ , a do końcowego kondensatora iskiernik główny  $I_f$ . Każdy iskiernik składa się z dwóch rozsuniętych na odpowiednio dobraną odległość metalowych kulek i stanowi przerwę w obwodzie elektrycznym. Po naładowaniu kondensatorów do dostatecznie wysokiego napięcia między kulkami iskierników zapala się łuk elektryczny. Iskierniki zaczynają przewodzić i zmieniają początkowo równoległe połączenie kondensatorów na szeregowe, w którym napięcia na poszczególnych kondensatorach sumują się. Dzięki temu uzyskuje się zwielokrotnienie napięcia zasilacza, co powoduje przepływ bardzo silnego prądu podczas rozładowania wszystkich kondensatorów przez iskiernik główny.

Uzyskany z generatora Marxa impuls prądu zasila z kolei uzwojenie wytwarzające silne pole magnetyczne. Wewnątrz tego uzwojenia (rys. 2a), na dwóch pierścieniowych izolatorach, umieszczona jest metalowa rura wypełniona materiałem wybuchowym. W momencie, gdy natężenie prądu zasilającego osiąga wartość maksymalną, zostaje uruchomiony zapalnik znajdujący się na końcu rury. Na skutek tego rozpoczyna się wybuch, któremu towarzyszy wydzielanie dużej ilości gazów (rys. 2b). Wydzielające się gazy tworzą falę uderzeniową, rozprzestrzeniającą się wzdłuż rury i powodującą jej rozepchnięcie aż do wypełnienia wnętrza uzwojenia. Początkowo cała przestrzeń między rurą a uzwojeniem wypełniona jest polem magnetycznym, któremu przypisać można pewien strumień magnetyczny. Wartość tego strumienia

Początkowo kondensatory  $C$ , rozdzielone opornikami  $R$ , przyłączone są równoległe do biegunów zasilacza  $AB$ .



Rys. 2

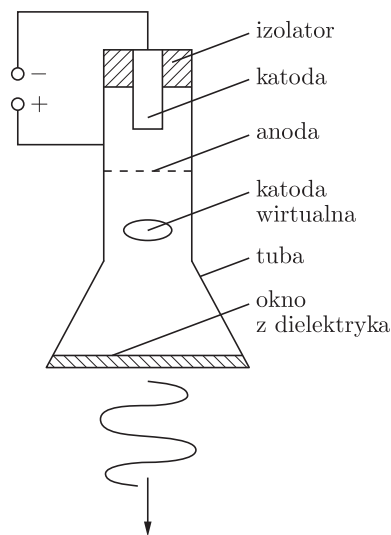


Rys. 4

pozostaje w rozważanym układzie stała. Poruszające się ścianki rury powodują wypchnięcie strumienia na zewnątrz w kierunku uzwojenia. Ponieważ wartość strumienia nie zmienia się, jest on przez to ściskany między rurą i uzwojeniem, a pole magnetyczne, przenikające uzwojenie, staje się przez to silniejsze. Zwiększające się pole magnetyczne indukuje w uzwojeniu dodatkowy prąd elektryczny, wzmacniający początkowy impuls prądu wytworzony przez generator Marxa. W rezultacie urządzenie to, zwane generatorem z kompresją strumienia, wytwarza jeszcze silniejszy impuls prądu o natężeniu dochodzącym do milionów amperów. W celu uzyskania jeszcze silniejszych impulsów prądu stosuje się dwustopniowe generatory tego typu, w których impuls wytworzony przez pierwszy generator służy do zasilania drugiego, większego generatora.

Elementem wytwarzającym w bombie E fale elektromagnetyczne jest generator mikrofal z wirtualną katodą, nazywany z angielska wirkatorem. Budowę wirkatora przedstawia rysunek 3. Katoda w postaci metalowego walca umieszczona jest wewnątrz metalowej tuby i oddzielona od niej pierścieniowym izolatorem.

Naprzeciw katody znajduje się anoda wykonana z siatki metalowej i połączona z tubą. Wylot tuby zamknięty jest oknem z dielektryka. Katoda i tuba przyłączone są do biegunów generatora z kompresją strumienia magnetycznego. Po zadziałaniu tego generatora z katody emitowana jest chmura elektronów i przyspieszana w kierunku anody. Ponieważ anodę wykonano z siatki, większość elektronów przez nią przechodzi, tworząc za anodą chmurę nazywaną wirtualną katodą. Przy takim rozkładzie ładunków wewnątrz tuby wzbudzają się drgania elektryczne o wielkiej częstotliwości, których energia wypromieniowana zostaje w postaci krótkotrwałego, lecz bardzo silnego impulsu mikrofal.



Rys. 3

Budową bomby E zainteresowane są niektóre kraje, a szczególnie Stany Zjednoczone. Badania nad źródłami wysyłającymi impulsy mikrofal o bardzo dużej mocy prowadzi się w stanie Nowy Meksyk. Oczywiście, szczegóły techniczne dotyczące konstrukcji podzespołów takiej bomby objęte są ściśle tajemnicą. Domniemaną budowę jednego z rodzajów bomby E przedstawia schematycznie rysunek 4. Jest to bomba wysyłająca ukierunkowaną wiązkę mikrofal o wąskim przedziale częstotliwości. Bomba ta, oznaczona kryptonimem Mk.84, ma masę około 900 kg, długość 3,84 m i maksymalną średnicę 0,46 m. Zawiera 2 kg materiału wybuchowego i potrafi zniszczyć lub uszkodzić urządzenia elektroniczne na obszarze o promieniu około 1 km. Prawdopodobnie tego typu bomba E została zdetonowana nad Bagdadem w początkowym etapie interwencji wojsk sojuszników w Iraku wiosną 2003 r. Spowodowała ona uszkodzenie i zaprzestanie działania m.in. nadajnika irackiej telewizji. Budowane są również bomby E niemające wirkatora i emitujące jedynie impuls promieniowania elektromagnetycznego wytworzony przez dwustopniowy generator kompresyjny. Impuls taki charakteryzuje się większą głębokością wnikania w elementy przewodzące niż mikrofałe. W celu uzyskania jeszcze większych natężeń prądu i silniejszych pól elektromagnetycznych rozważa się również zastosowanie w bombie E elementów wykonanych z nadprzewodników.

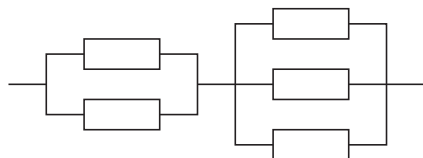
Odpowiadając na zadane w tytule pytanie należy stwierdzić, że ewentualne użycie bomby E może, ale nie musi zagrozić naszym komputerom i urządzeniom elektronicznym. Jest tak dlatego, ponieważ mikrofałe, trafiając na powierzchnię przewodnika, wnikają do niego tylko na pewną głębokość, która jest tym mniejsza, im mniejsza jest długość mikrofal oraz im większa przewodność właściwa i przenikalność magnetyczna przewodnika. Ponadto, natężenie mikrofal

w dobrym przewodniku bardzo szybko maleje wraz z odległością od jego powierzchni. Dla przykładu, na głębokości równej długości mikrofal natężenie to wynosi już tylko 0,05% natężenia mikrofal padającej. Ograniczone wnikanie mikrofal do przewodnika spowodowane jest indukowaniem w nich prądów elektrycznych przez zmienne pola magnetyczne i elektryczne. W wyniku tego mikrofałe ulegają częściowemu pochłonięciu i odbiciu od powierzchni przewodnika, nie wnikając do jego wnętrza. Umożliwia to budowę osłon, zwanych też ekranami, zabezpieczających urządzenia elektroniczne. Łatwo więc wyobrazić sobie osłonę w kształcie szczelnego pudełka wykonanego z przewodnika o odpowiednich właściwościach i grubości, zabezpieczającą np. nasz

komputer osobisty czy kalkulator. Niestety, stosowane obecnie obudowy komputerów stacjonarnych są tylko częściowo wykonane z blachy i ponadto zbyt cienkie, natomiast obudowy komputerów przenośnych wytwarza się zwykle z tworzyw sztucznych. Z kolei wszelkie anteny, np. urządzeń radiokomunikacyjnych czy radarów, należy wyposażyć w bardzo szybkie wyłączniki przepięciowe odłączające je w przypadku pojawienia się zbyt silnego sygnału. Wynika stąd, że zabezpieczenie urządzeń elektronicznych przed skutkami ewentualnego użycia bomby E jest możliwe, choć zapewne związane ze zwiększeniem ich ceny i masy. Już obecnie można spotkać reklamy przenośnych komputerów przeznaczonych dla wojska, których cena trzykrotnie przewyższa cenę ich „cywilnych” wersji.

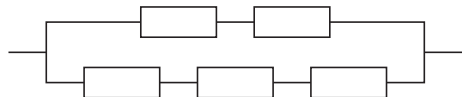
## Indukcja matematyczna ...w układach oporników

Rozważmy układ oporników o jednakowym oporze  $r$ , połączonych – na przykład – tak, jak na rysunku.



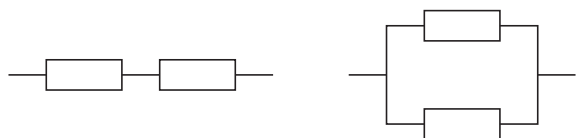
Ograniczamy się tylko do przypadku, gdy oporniki połączone są w sposób szeregowo-równoległy, tzn. nie ma żadnych gwiazdek, trójkątów itp.

Zmieniamy wszystkie połączenia równoległe na szeregowe, a szeregowe – na równoległe.



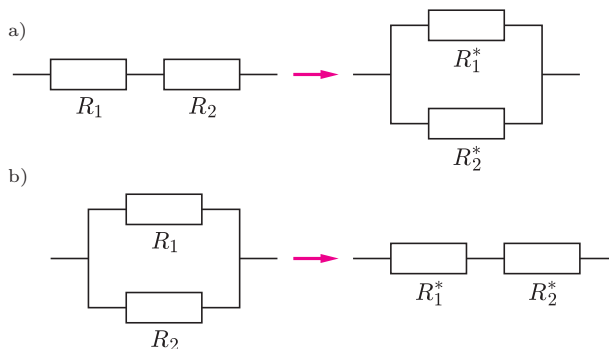
Jak łatwo obliczyć, opór zastępczy wyjściowego układu jest równy  $\frac{5}{6}r$ , a zmienionego  $\frac{6}{5}r$ . Zauważmy, że iloczyn współczynników bezwymiarowych jest równy 1, czyli jeden z nich jest odwrotnością drugiego. Nie jest to przypadek. Wykażemy, że jeśli mamy układ  $n \geq 2$  oporników o jednakowym oporze  $r$  i jego opór zastępczy jest równy  $kr$ , to – po zamianie wszystkich połączeń szeregowych na równoległe i odwrotnie – opór zastępczy nowego układu oporników jest równy  $\frac{1}{k}r$ .

Zastosujemy zasadę indukcji matematycznej względem  $n$ . Dla  $n = 1$  twierdzenie jest trywialne. Dla  $n = 2$  mamy dwie możliwości.



Nasze twierdzenie jest wówczas prawdziwe, gdyż opór zastępczy połączenia szeregowego jest równy  $2r$ , równoległego zaś  $\frac{1}{2}r$ .

Niech  $n$  będzie ustaloną liczbą naturalną. Załóżmy, że twierdzenie jest prawdziwe dla wszystkich liczb naturalnych nie większych od  $n$ . Wykażemy, że jest ono prawdziwe dla układu  $n + 1$  oporników. W tym celu rozbijemy go na dwa podukłady. Połączenia „końcowe” tych podukładów można przedstawić tak, jak na rysunkach.



$R_1 = k_1r$  i  $R_2 = k_2r$  oznaczają opory zastępcze podukładów, a  $R_1^*$  i  $R_2^*$  oznaczają opory zastępcze podukładów, w których połączenia równoległe zastąpiono szeregowymi i odwrotnie. Z założenia indukcyjnego otrzymujemy

$$R_1^* = \frac{1}{k_1}r \quad \text{i} \quad R_2^* = \frac{1}{k_2}r.$$

Opór zastępczy układu w przypadku a) jest równy

$$(1) \quad R = R_1 + R_2 = (k_1 + k_2)r.$$

Obliczamy opór zastępczy  $R^*$  po zmianie. Mamy

$$\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R_1^*} + \frac{1}{R_2^*} = \frac{k_1}{r} + \frac{k_2}{r},$$

skąd

$$(2) \quad R^* = \frac{1}{k_1 + k_2}r.$$

Wobec tego, na podstawie równości (1) i (2) mamy tezę indukcyjną.

Rozważania w przypadku b) są podobne.

Witold BEDNAREK