# ELEKTRONIKA

1 9 5 8

3

W-T

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT ELEKTRONIKI

# ELEKTRONIKA

## BIULETYN TECHNICZNY
PRZEMYSŁOWEGO INSTYTUTU ELEKTRONIKI

K PWL 00146

WARSZAWA — MARZEC — 1958

ROK IV NR 3(29)

KOLEGIUM REDAKCYJNE

Przewodniczący
*doc. mgr inż. Wiesław Barwicz*

Członkowie

*mgr inż. Florian Fortunko*
*mgr inż. Emil Gruszczyński*
*mgr inż. Jan Hennel*
*mgr inż. Kazimierz Malikowski*
*mgr Kazimiera Morkowska*
*mgr Stanisław Morkowski*
*mgr inż. Kazimierz Orłowski*
*mgr inż. Henryk Poniewierski*
*mgr inż. Andrzej Taczanowski*

SPIS TREŚCI

*Z. Bartz* — Oporniki węglowe w przemyśle tele- i radiotechnicznym (Cz. I.) . . . . . 3
*A. Królikowski* — Lampa pamięciowa typu grafechon 33
*J. Klamka* — Konstrukcje oraz właściwości elektryczne germanowych diod warstwowych . . . . . 47
Przegląd czasopism . . . . . 62

Redaktor naczelny *mgr inż. Jan Baranowski*
Sekretarz redakcji *Anna Czarkowska*

Okładkę projektował *Stefan Łukaszewski*

Wydawca: Przemysłowy Instytut Elektroniki w Warszawie. Adres Redakcji: Warszawa, ulica Długa 44/50, tel. 6-14-81/5. Ark. wyd. 6. Ark druk. 5,332 A5. Format B5. Papier ilustracyjny klasy V, 70 g/m², 700 × 1000/16. Maszynopis oddano do składania 10.II.1958 r. Druk ukończono w maju 1958 r. Nakład 800 egzemplarzy. Cena zł 6.—
Drukarnia im. Rewolucji Październikowej w Warszawie. Zamówienie Nr 263c/58 A-12.

*ZBIGNIEW BARTZ*
WRBK L7, Kraków

# OPORNIKI WĘGLOWE W PRZEMYŚLE TELE- I RADIOTECHNICZNYM

W artykule omówiono zasadnicze parametry oporników węglowych oraz metody badania i prób, zestawiono najważniejsze systemy produkcji i procesów technologicznych w Polsce i za granicą oraz omówiono kierunki rozwojowe produkcji oporników w kraju.

Część pierwsza

## 1. ZARYS ROZWOJU PRODUKCJI OPORNIKÓW

Oporniki węglowe jako artykuł przemysłowy pojawiają się w latach 1914—1918. Stosowane były one wówczas do wzmacniaczy oporowych wielkiej częstotliwości. Stosowane do tych celów początkowo oporniki drutowe w postaci cewek wykazywały dużą nawet jak na ówczesne wymagania zależność oporności od częstotliwości. Wadę tę usunięto przez zastosowanie oporników wykonanych z mieszaniny węgla i gumy wulkanizowanej wprasowanej do rurki wykonanej z impregnowanego papieru. Oporniki takie były zaopatrzone w końcówki metalowe. Należy je uważać za prototyp dzisiejszych oporników objętościowych, gdyż angielski patent na takie oporniki został ogłoszony w 1885 roku.

W latach dwudziestych pojawiają się pierwsze oporniki warstwowe o oporności rzędu megomów. Mają one postać kresek i pasków grafitu nałożonych na płytki ebonitowe. Zalanie parafiną zabezpieczało je przed wpływami zewnętrznymi. Oporniki te można uważać za prototyp dzisiejszych oporników warstwowych.

Olbrzymi rozwój radiofonii począwszy od 1926 r. wywołuje wzrost produkcji i polepszanie jakości oporników. Pojawiają się w tym czasie oporniki firmy Loeve, oporniki warstwowe z warstwą oporową nałożoną metalicznie na szklany pręcik umieszczony następnie w szklanej rurce, z której wypompowano powietrze. Oporniki te, przeważnie o dużej oporności

Aby rozwiązać problem ilościowy, przemysł amerykański był zmuszony do przyjęcia i rozwinięcia technologii oporników objętościowych jako dającej największe możliwości automatyzacji i miniaturyzacji. Uzyskano również dobre wyniki w poprawie jakości tych oporników. Ogólnie rzecz biorąc, oporniki objętościowe ustępują opornikom pyrolitycznym w podstawowych parametrach, w przeważającej jednak liczbie urządzeń spełniają one wymagania stawiane przez eksploatację.

W okresie tym w Europie produkowano zdecydowanie oporniki warstwowe pyrolityczne uzyskując doskonałe rezultaty pod względem jakości (firma Siemens i Halske), lecz doprowadzając tę technologię tylko do częściowej automatyzacji. W zakresie miniaturyzacji również nie uzyskano większych rezultatów.

Konieczność zastosowania oporników bardzo wysokiej klasy w urządzeniach pomiarowych i laboratoryjnych doprowadziła do rozpoczęcia produkcji oporników warstwowych metalowych, w których bardzo cienką warstwę stopu różnych metali nakłada się na wałeczek wykonany z odpowiedniego gatunku porcelany. Pierwsze patenty na tego rodzaju oporniki pojawiły się w latach 1919—1928 (J. Krementzky, Dr. Loeve, F. Pellin). W chwili obecnej oporniki te rokują duże nadzieje pod względem jakości i rozmiarów, a prace nad składem metali oraz metodami nakładania stopów na podłoże ceramiczne trwają do dnia dzisiejszego.

Streszczając ten krótki zarys rozwoju produkcji oporników węglowych należy stwierdzić, że w technice światowej panują dwie zasadnicze metody produkcyjne: technologia oporników warstwowych z przewagą oporników o warstwie jednorodnej, pyrolitycznej, stosowana głównie w Europie, oraz technologia oporników objętościowych, stosowana głównie w Stanach Zjedn. Am. Płn. Rzecz jasna, że nie można ustalić ścisłej granicy stosowania tych metod.

W ostatnich kilku latach rozpoczęto próby stosowania do obwodów drukowanych oporników powierzchniowych o masach różnorodnych, a prace nad składem masy oporowej i nad systemami produkcji ciągle jeszcze trwają. Decydującym czynnikiem przyjęcia takiej lub innej metody będą zawsze wymagania techniczne i eksploatacyjne oraz względy ekonomiczne.

## 2. ZASTOSOWANIE OPORNIKÓW WĘGLOWYCH

Oporniki węglowe są jednym z podstawowych elementów konstrukcyjnych urządzeń tele- i radiotechnicznych. Zakres stosowanych oporności jest bardzo szeroki i waha się w granicach od 10 Ω do 20 MΩ dla przeciętnie produkowanych urządzeń.

Z punktu widzenia pracy w układach oporniki można podzielić na następujące grupy:

a) oporniki pracujące w układzach wielkiej i małej częstotliwości,

b) oporniki pracujące w układach detekcyjnych o oporności w granicach $5 \div 50$ kΩ,

c) oporniki stosowane w urządzeniach zasilających (oporniki redukcyjne) o oporności w granicach $0{,}2 \div 3$ kΩ,

d) oporniki stosowane w dzielnikach napięć o oporności w granicach $1 \div 100$ kΩ,

e) oporniki redukcyjne stosowane w obwodach anodowych lamp o oporności w granicach $20 \div 250$ kΩ,

f) oporniki stosowane w obwodach siatkowych o oporności w granicach $0{,}1 \div 20$ MΩ,

g) oporniki stosowane w obwodach filtrujących o oporności w granicach $0{,}1 \div 100$ kΩ.

### 2.1. Znamionowa moc obciążenia oporników węglowych

W produkcji światowej przyjęto obecnie następujące wartości obciążenia znamionowego:

0,05 — 0,1 — 0,25 — 0,5 — 1 — 2 — 5 — 10 W

Należy zaznaczyć, że firmy produkujące oporniki podają największe wartości napięcia prądu stałego lub zmiennego, jakie może być doprowadzone do końcówek opornika o danej mocy obciążenia. W granicach tego napięcia firmy te gwarantują zachowanie określonych parametrów.

### 2.2. Tolerancje oporników węglowych

Jako normalne tolerancje produkcyjne przyjęto:

20 — 10 — 5% dla urządzeń tele- i radiotechnicznych,

2 — 1 — 0,5% dla specjalnych urządzeń, np. laboratoryjnych.

### 2.3. Oporność oporników węglowych

Dla pokrycia w sposób ciągły w granicach danej tolerancji całego zakresu wartości oporności oraz dla zmniejszenia asortymentu i odpadów przyjmuje się coraz częściej system oparty na szeregu logarytmicznym. Zasada tego systemu jest następująca:

Jeżeli między dwiema wartościami $a$ i $b$ trzeba umieścić $n$ wartości, to każda następna wartość będzie się różniła od poprzedniej o wartość $\sqrt[n]{\frac{b}{a}}$. Na przykład, jeżeli założyć przedział 1—10, to dla tolerancji ±20% należy umieścić w tym przedziale 6 wartości, a więc $\sqrt[6]{\frac{10}{1}} = 1{,}47$.

O liczbę tę będzie się różniła każda następna wartość w tym przedziale. W ten sposób otrzymuje się następujący szereg (mnożnik 10):

10 — 15 — 22 — 33 — 47 — 68 dla tolerancji ±20%

Dla tolerancji ±10% ($n = 12$) szereg powyższy zostanie uzupełniony następującymi wartościami:

12 — 18 — 27 — 39 — 56 — 82 —

a dla tolerancji ±5% ($n = 24$) wartościami:

11 — 13 — 16 — 20 — 24 — 30 — 36 — 43 — 51 — 62 — 75 — 91

W ten sposób otrzymany szereg przy zastosowaniu mnożnika 0,1; 1; 10; 100; 1000 daje pełną możliwość pokrycia w sposób ciągły całego zakresu wartości oporników, a zarazem jak największe zmniejszenie asortymentu wartości oporności w produkcji.

## 3. PODZIAŁ OPORNIKOW ZE WZGLĘDU NA TECHNOLOGIĘ PRODUKCJI

Produkowane obecnie oporniki węglowe można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

a) oporniki, w których warstwa oporowa jest wykonana z materiału różnorodnego,

b) oporniki, w których warstwa oporowa jest wykonana z materiału jednorodnego.

W grupie pierwszej masa oporowa składa się w zależności od technologii ze składników przewodzących (np. sadzy, grafitu, tlenków metali), wypełniaczy, rozpuszczalników itd., które w końcowej fazie produkcji są poddane obróbce cieplnej. Do grupy tej należy zaliczyć oporniki warstwowe, w których masa oporowa jest nałożona w postaci warstwy na wałeczek ceramiczny, oporniki objętościowe, w których element przewodzący stanowi cały przekrój masy oporowej wyprasowanej w postaci wałeczka, oraz oporniki powierzchniowe, stosowane w obwodach drukowanych.

Do grupy drugiej należą oporniki warstwowe, w których warstwa oporowa składa się z kryształów węgla lub kryształów węgla i boru zmieszanych i osadzonych na podłożu ceramicznym podczas procesu rozkładu wę-

glowodoru w próżni w wysokiej temperaturze (proces pyrolizy), oraz oporniki powstałe przez nałożenie odpowiednio cienkiej warstwy metalu na podłoże nie przewodzące.

## 4. WŁAŚCIWOŚCI OPORNIKÓW WĘGLOWYCH I ICH POMIARY

Stały rozwój urządzeń tele- i radiotechnicznych powoduje ustalenie następujących wymagań dla oporników węglowych: stałości oporności w czasie, małej zależności oporności od temperatury, wilgotności i doprowadzonego napięcia, możliwości pracy w obwodach wielkiej częstotliwości, małego napięcia szumów własnych, małych rozmiarów oraz zastosowania ze względów montażowych wyprowadzeń osiowych.

Wymagania te, które są przedmiotem stałych badań laboratoryjnych oraz licznych prób technologicznych i użytkowych dotyczących doboru i ulepszenia metod produkcyjnych, doprowadziły do ustalenia następujących zasadniczych parametrów oraz metod badania oporników węglowych.

### 4.1. Zależność oporności opornika od temperatury

Zmiana wartości oporności w zależności od temperatury jest jednym z zasadniczych problemów technologii produkcji oporników węglowych, a uzyskanie małych wartości współczynnika zmian oporności w danym zakresie temperatury jest jednym z głównych sprawdzianów jakości oporników.

Temperatura, w jakiej przeprowadza się badania, zawiera się w granicach —60 do +75 °C.

Dla sprzętu miniaturowego zakres ten rozszerzono w kierunku temperatury wyższej, do +105 °C, a ostatnio pojawiły się oporniki pokryte lakierem sylikonowym o całkowicie dobrej wartości współczynników dla temperatury w zakresie od —60 do +200 °C.

Temperaturą odniesienia jest z reguły temperatura 20 °C. W niektórych przypadkach stosuje się temperaturę 0 °C, a ostatnio istnieje tendencja przyjęcia jako temperatury odniesienia temperatury 40 °C.

Współczynniki temperaturowe oporności wyznacza się z reguły oddzielnie dla zakresu poniżej i powyżej temperatury odniesienia. Pomiary wykonuje się na opornikach nie obciążonych prądem elektrycznym, w kąpieli parafinowej lub w termostacie o jednolitym rozkładzie temperatury lub w strudze gorącego powietrza, przy czym opornik jest oddzielony od parafiny cienkościenną rurką szklaną.

Przed rozpoczęciem pomiaru opornik powinien być wysuszony; w tym celu trzyma się go przez kilka godzin w temperaturze 60 °C.

Wyniki pomiarów zmian oporności w zależności od temperatury podaje się w postaci:

a) zmiany procentowej wartości oporności w stosunku do wartości oporności w temperaturze odniesienia

$$\alpha_1 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} 100$$

przy czym $\alpha_1$ [%]; $R_1$ — oporność w temperaturze odniesienia; $R_2$ — oporność w temperaturze końcowej;

b) zmiany procentowej wartości oporności na 1 °C

$$\alpha_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot \Delta T} 100$$

przy czym: $\alpha_2$ [%/°C]; $\Delta T = t_2 - t_1$, gdzie $t_1$ — temperatura odniesienia, $t_2$ — temperatura końcowa;

c)
$$\alpha_3 = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot \Delta T} 10^{-6}$$

przy czym $\alpha_3$ [°C].

Postać c jest najczęściej używana.

Wartość współczynnika temperaturowego oporności jest zależna od znamionowej wartości oporności opornika (rys. 1).

Rozpatrując ogólnie zależność wartości oporności opornika od temperatury dla danego typu opornika można stwierdzić, że:

a) zależność $R = f(t)$ jest funkcją ciągłą i wtedy można mówić o współczynniku temperaturowym w całym zakresie badanych temperatur;

b) zależność $R = f(t)$ nie jest funkcją ciągłą lub ma histerezę (nie jest jednowartościowa), przebieg jest nieregularny i nie można mówić o wyznaczeniu współczynnika temperaturowego, a tylko o największych zmianach wartości oporności w okolicy danej temperatury.

Ciągłość funkcji $R = f(t)$ jest sprawdzianem prawidłowości przebiegu procesu technologicznego. Przebieg prawidłowy mają na ogół oporniki warstwowe pyrolityczne. Dla oporników objętościowych i warstwowych niepyrolitycznych w przebiegu tej krzywej występują często nieregularności i skoki.

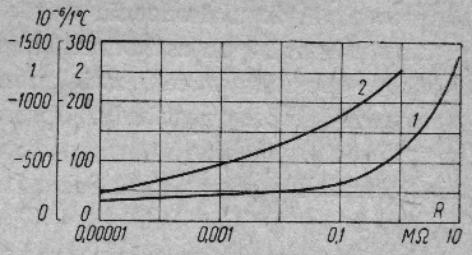
Wartość współczynnika temperaturowego oporności waha się w szerokich granicach w zależności od typu opornika oraz technologii wykonania i może być zarówno ujemna, jak i dodatnia.

Wartość ujemną współczynnika temperaturowego oporności mają z reguły oporniki warstwowe pyrolityczne dla całego zakresu temperatury.

Zagadnienie to będzie omówione obszerniej w drugiej części niniejszego artykułu. Należy zaznaczyć, że niektóre oporniki tego typu mogą wykazywać w zakresie temperatur niskich niewielkie dodatnie wartości współczynnika $\alpha$.

Oporniki warstwowe różnorodne i objętościowe mogą wykazywać zarówno dodatnie, jak i ujemne wartości współczynnika $\alpha$; jest to związane z zawartością grafitu w masie oporowej oraz jego postacią. W układzie wielokrystalicznym grafit ma ujemny współczynnik $\alpha$.

Wartość współczynnika $\alpha$ dla oporników pyrolitycznych zależy w wysokim stopniu od grubości warstwy oporowej. Ujemna wartość tego współczynnika zwiększa się bardzo w przypadku warstw cienkich. Jest to przyczyną wielu trudności przy uzyskiwaniu odpowiednich wartości współczynnika $\alpha$ przy produkcji oporników o oporności większej niż 1 MΩ.




Rys. 1. Zależność wartości współczynnika temperaturowego oporności od znamionowej wartości oporności opornika w zakresie temperatur od —55 do 105 °C
*1* — oporniki pyrolityczne 0,1 W według Bellugue [9]; *2* — oporniki objętościowe 0,5 W produkcji firmy IRC

Również poważny wpływ na wartość współczynnika $\alpha$ w opornikach pyrolitycznych ma budowa krystaliczna warstwy oporowej, jej układ i wzajemne powiązanie poszczególnych nałożonych na siebie warstw kryształów. Wymagania dotyczące podłoża ograniczają się do jakości obróbki powierzchniowej porcelany, jej gładkości i stopnia porowatości, co ma decydujący wpływ na przyczepność warstwy oporowej oraz na powstawanie i rozkład na powierzchni zarodników mikrokryształów węgla.

W opornikach warstwowych pyrolitycznych wartość współczynnika $\alpha$ jest inna dla warstwy oporowej jednolitej i inna dla warstwy oporowej po nacięciu spirali. Stwierdzono wpływ liczby zwojów spirali, jej jakości i głębokości nacięcia. Wartość liczbowa współczynnika $\alpha$ dla warstwy jednolitej jest mniejsza od jego wartości dla warstwy naciętej.

Ogólnie można stwierdzić, że najmniejsze zmiany wartości oporności w zależności od wartości temperatury wykazują oporniki pyrolityczne z dodatkiem boru, największe zaś zmiany wykazują oporniki warstwowe z masą różnorodną oraz oporniki powierzchniowe — drukowane. Oporniki objętościowe zajmują miejsce pośrednie wykazując szeroki zakres wartości w zależności od rodzaju masy oporowej i technologii wykonania.

## 4.2. Zależność temperatury opornika od obciążenia

Po doprowadzeniu napięcia do opornika występują dwa rodzaje zjawisk cieplnych, które mają wpływ na pracę opornika.

Pierwszym zjawiskiem jest normalne wydzielanie się ciepła i podwyższenie się temperatury opornika. Chłodzenie odbywa się przez konwekcję otaczającego powietrza oraz przez odprowadzanie ciepła za pośrednictwem przewodów lub — w układach miniaturowych — przez zastosowanie obejm miedzianych, którymi opornik jest przymocowany do podstawy.

Drugim zjawiskiem, występującym przy napięciu wyższym, jest nadmierne nagrzewanie się miejsca styku odprowadzenia z warstwą oporową, co jest przyczyną dużego wydzielania się ciepła, zmiany wartości oporności styku i wartości oporności opornika. W skrajnym przypadku może to doprowadzić do uszkodzenia warstwy oporowej.

Aby uniknąć tych uszkodzeń, stosuje się grafitowanie lub miedziowanie końców opornika w celu zwiększenia wartości oporności styku; miedziowanie daje lepsze rezultaty. Operację tę przeprowadzają coraz liczniejsi wytwórcy, zwłaszcza w przypadku oporników wyższej klasy. Wykonuje się ją metodą galwaniczną lub natryskową za pomocą specjalnych automatów.

Próby srebrzenia za pomocą różnych past i roztworów koloidalnych dały znacznie gorsze wyniki i zostały zaniechane.

Ogólnie można stwierdzić, że ilość wydzielanego ciepła, a więc i temperatura opornika zależy od jego typu i technologii wykonania, rodzaju doprowadzeń i masy oporowej. Ten ostatni czynnik wpływa na rozkład wydzielonego ciepła wzdłuż powierzchni masy oporowej. Dla oporników warstwowych o masie różnorodnej rozkład ten nie jest jednostajny wzdłuż całej powierzchni, gdyż struktura takiej warstwy wykazuje nieregularne skupiska cząstek przewodzących w otoczeniu cząstek wypełniacza i mas izolacyjnych. Powoduje to miejscowe nadmierne nagrzanie i ewentualnie uszkodzenie warstwy oporowej wskutek podwyższenia się temperatury w danym miejscu. Dla tego typu oporników przy obciążeniu znamionowym dopuszcza się podwyższenie temperatury o 40 ÷ 70 °C ponad temperaturę odniesienia. Dla oporników pyrolitycznych warstwa krystaliczna węgla jest na ogół rozłożona równomiernie i rozkład temperatury wzdłuż opornika jest jednostajny. Pozwala to na większe obciążenie cieplne tych oporników. Dopuszczalna temperatura opornika może w tym przypadku osiągać wartość 100 ÷ 110 °C.

Pomiar temperatury opornika odbywa się termometrem stykowym włączonym w środku opornika po upływie 15 min po doprowadzeniu napięcia.

Opornik jest zawieszony poziomo w powietrzu o określonej temperaturze (20 lub 40 °C). Pomiar ten można również wykonać przez ustalenie przyrostu oporności kilku zwojów drutu pomiarowego nawiniętego ciasno w środku mierzonego opornika.

### 4.3. Zmiana wartości oporności przy obciążeniu ciągłym i udarowym

Pod wpływem obciążenia lub przeciążenia występują w opornikach chwilowe lub trwałe zmiany wartości oporności. Warunki techniczne podają dokładnie metody badania i stopnie przeciążenia, ich liczbę i czas trwania.

Wartość obciążenia jest ograniczona dopuszczalnym napięciem, jakie można doprowadzić do opornika. Napięcie to (prądu zarówno stałego, jak i zmiennego) jest określone przez wytwórców dla każdej wartości mocy znamionowej opornika. Przeciętne wartości są następujące:

| Moc znamionowa [W] | 0,05 | 0,1 | 0,25 | 0,5 | 1 | 2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Napięcie doprowadzone [V] | | | | | | |
| dla oporników pyrolitycznych | 70 | 250 | 500 | 750 | 750 | 1000 |
| dla oporników warstwowych różnorodnych i objętościowych | — | — | 200 | 350 | 500 | 750 |

Obecnie coraz częściej stosuje się do pomiarów tylko prąd stały, gdyż przy obciążeniu prądem zmiennym występuje szereg zjawisk dodatkowych, dających często duże różnice w wynikach pomiarów w porównaniu z wynikami prób przeprowadzanych przy obciążeniu prądem stałym.

Przyczyna powstawania tych zjawisk nie jest dostatecznie wyjaśniona, a wielkość różnicy w wynikach pomiarów zależy od szeregu czynników, jak jakość porcelany, grubość warstwy oporowej itd.

Pomiary zmian oporności pod wpływem obciążenia prądem przeprowadza się w odniesieniu do temperatury początkowej 20 lub 40 °C. W przypadku temperatury 40 °C opornik nagrzewa się w ciągu 1 godziny. Mierzy się wartość początkową jego oporności, a wartość doprowadzonego obciążenia znamionowego jest ograniczona wartością napięcia obliczanego według wzoru

$$E = \sqrt{RW}$$

w którym: $E$ — napięcie [V]; $R$ — oporność [Ω]; $W$ — moc [W].

W celu zorientowania się, jak zachowuje się opornik pod wpływem obciążenia go prądem, oblicza się:

a) zmianę wartości oporności przy obciążeniu znamionowym z ograniczeniem wysokości napięcia,

b) zmianę wartości oporności przy określonych przeciążeniach, przy czym napięcie nie może przekroczyć wartości $E = 2\sqrt{RW}$.

Moc znamionowa opornika jest to moc, która doprowadzona do końcówek opornika przez określony czas i w określonej temperaturze otoczenia powoduje określoną i niezmienną w czasie zmianę oporności. Dlatego z punktu widzenia użyteczności ważny jest przebieg krzywej obrazującej zmianę oporności w funkcji czasu trwania obciążenia. Czas badania wynosi na ogół 500 lub 1000 godzin.

Dla celów użytkowych najbardziej interesujący jest przebieg i czas ustalania się zmian oporności pod wpływem obciążenia. Charakter i przebieg krzywych, wielkość zmian dodatnich lub ujemnych oraz czas stabilizacji zależy od typu opornika, wartości znamionowej oporności, temperatury otoczenia i wartości obciążenia.

W przypadku oporników warstwowych stwierdzono poważny wpływ jakości wałeczka porcelanowego, jego obróbki i stanu powierzchni.

Stabilizacja w czasie dla danych warunków jest tym lepsza, im warstwa oporowa jest bardziej jednolita. Również rodzaj lakieru ma pewien wpływ na przebieg krzywych.

Najlepiej pod tym względem zachowują się oporniki warstwowe pyrolityczne z dodatkiem boru, a największe zmiany oraz długi okres stabilizacji wykazują oporniki objętościowe oraz warstwowe różnorodne, które w cyklu produkcyjnym muszą przejść kilka okresów sztucznego starzenia.

W eksploatacji przyjmuje się następujące użytkowe wartości obciążenia: 80% wartości obciążenia znamionowego dla oporników warstwowych pyrolitycznych i 50% wartości obciążenia znamionowego dla oporników objętościowych. Wartości zmian wahają się w granicach od $\pm 0{,}25$ do $\pm 10\%$ przy obciążeniu znamionowym w zależności od klasy i typu opornika. Oporniki objętościowe stabilizują się znacznie szybciej niż oporniki warstwowe różnorodne i wykazują duże zmiany, rzędu od $-4$ do $+5\%$.

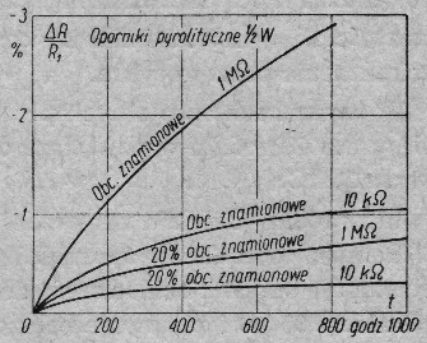
Badania przy obciążeniu o wartości $2 \div 4$-krotnej obciążenia znamionowego przeprowadza się w temperaturze otoczenia 20 lub 40 °C. Napięcie prądu stałego nie powinno przekraczać wartości $2\sqrt{RW}$. Pomiary wykonuje się przy stałym przeciążeniu opornika w okresie $10 \div 24$ godzin, a pomiar wartości końcowej przeprowadza się po upływie 15 minut od przerwania doprowadzania obciążenia.

Często stosuje się badania cykliczne, w których cykl trwa 2 minuty. W pierwszej minucie opornik jest obciążony dwukrotną mocą znamiono-

wą, w drugiej minucie pozostaje bez obciążenia. Liczba takich cykli wynosi 5000 ÷ 10000. Pomiar końcowy wykonuje się po upływie 12 godzin od zakończenia badań.

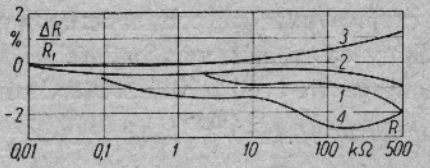
Badania przy obciążeniu udarowym wykonuje się przy obciążeniu mocą 25-krotnie większą od mocy znamionowej w czasie 1 sekundy z wyłączeniem prądu na okres 25 sekund. Liczba udarów wynosi 5000 ÷ 10000.

Rys. 2. Krzywe zmian wartości oporności w zależności od czasu trwania obciążenia według Lotha [2]




Rys. 3. Zmiany wartości oporności pod wpływem obciążenia w zależności od znamionowej wartości oporności opornika przy obciążeniu znamionowym i w temperaturze otoczenia 40 °C [3]

*1* — oporniki warstwowe różnorodne; *2* — oporniki warstwowe pyrolityczne; *3* — oporniki warstwowe pyrolityczne z dodatkiem boru; *4* — oporniki objętościowe




Pomiar końcowy wykonuje się w temperaturze otoczenia wynoszącej 20 °C po upływie 12 godzin od zakończenia badań.

Przy tego rodzaju próbach zmiany oporności w zależności od typu opornika wahają się w granicach od ±0,5 do 3%.

Wyniki badań podaje się często w postaci współczynnika obciążenia wyrażonego w procentach

$$K_o = \frac{R_2 - R_1}{R_1} 100 = \frac{\Delta R}{R_1} 100$$

### 4.4. Współczynnik niezmienności (stałości)

W celu zorientowania się, jak zachowuje się opornik przy zmianach temperatury i obciążenia, oraz w celu ustalenia w pewnym zakresie sposobu zachowania się warstwy oporowej w stosunku do podłoża i warstwy ochronnej stosuje się badania, w czasie których opornik jest poddawany działa-

niu różnych temperatur i różnych obciążeń. W przypadku przeprowadzania badań w specjalnie zaostrzonych warunkach rozszerza się zakres temperatury do wartości poniżej 0 °C i dodatkowo opornik nawilgaca się.

Badanie takie ma przebieg następujący:

Nie obciążony opornik ogrzewa się w ciągu 1 godziny w temperaturze 60 °C. Następnie przebywa on przez 1 godzinę w temperaturze 0 °C. Cykl ten powtarza się jeszcze raz i bezpośrednio potem obciąża się opornik przez 100 godzin mocą znamionową, prądem stałym z ograniczeniem napięcia do wartości $E = \sqrt{RW}$. Pomiar końcowy wykonuje się po upływie 2 godzin od zakończenia pełnego cyklu.

W warunkach specjalnych przed rozpoczęciem cyklu opornik nawilgaca się przez 48 godzin w powietrzu o wilgotności względnej 85% w temperaturze 20 °C.

Inny rodzaj badania ma przebieg następujący:

Pomiar początkowy oporności przeprowadza się w temperaturze 20 °C. Następnie opornik ochładza się do temperatury —60 °C, nagrzewa do temperatury 85 °C i ponownie ochładza do temperatury 20 °C. Czas trwania każdego cyklu wynosi 1 ÷ 2 godzin. Cykli takich wykonuje się 5, po czym przeprowadza się pomiar końcowy w temperaturze 20 °C po upływie 1 godziny od zakończenia badań.

W czasie tych badań stwierdzono, że współczynnik niezmienności, podawany w postaci $\frac{\Delta R}{R_1}$ 100 i obliczany w procentach, jest zależny od wartości znamionowej oporności opornika oraz mocy znamionowej. Stwierdzono również wpływ jakości podłoża i sposobu jego obróbki.

Ogólnie można powiedzieć, że najmniejsze zmiany oporności wykazują oporniki pyrolityczne z dodatkiem boru, przy czym zmiany te zawierają się w granicach 0,1 ÷ 0,3%. Częściowo tłumaczy się to pewnego rodzaju hartowaniem, jakie przechodzą oporniki pyrolityczne w czasie nawęglania w piecach próżniowych w wysokiej temperaturze. Pozostałe typy oporników wykazują znacznie większe zmiany wahające się w granicach 2 ÷ 15%.

### 4.5. Badanie trwałości oporników

Badanie trwałości oporników przeprowadza się w kilku cyklach, w zależności od założonych warunków. Oporniki bada się w temperaturze 20 °C przy obciążeniach wynoszących $^1/_2$, $^1/_1$ i $^3/_2$ obciążenia znamionowego. Badanie ma przebieg następujący:

Jeden cykl trwa na przykład tydzień. Przez okres 5 dni oporniki pozostają pod określonym obciążeniem o wartości podanej wyżej. W celu uzys-

kania krzywych zmian oporności pomiary wykonuje się 2 ÷ 3 razy dziennie. Po upływie 5 dni wyłącza się obciążenie i przez pozostałe 2 dni oporniki mierzy się dla stwierdzenia, czy powracają do początkowej wartości. W ten sposób po 3 ÷ 5 cyklach ustala się pewna wartość końcowa oporności różna od wartości początkowej.

Współczynnik trwałości (w procentach) dla danego opornika oblicza się według wzoru

$$K_{tr} = \frac{\Delta R}{R_1} 100$$

Najlepszy współczynnik trwałości posiadają oporniki pyrolityczne z dodatkiem boru i pyrolityczne zwykłe, dla których wartość tego współczynnika waha się w granicach dziesiątych procentu. W przypadku oporników warstwowych różnorodnych i objętościowych po 5 cyklach wartość współczynnika trwałości zawiera się w granicach 2 ÷ 10%.

### 4.6. Współczynnik starzenia

Przy badaniu opornik jest obciążony mocą znamionową, prądem stałym z ograniczeniem napięcia do wartości $E = \sqrt{RW}$ przez określoną liczbę godzin, która ogólnie zawiera się w granicach 500 ÷ 5000, zależnie od warunków technicznych. Pomiar wartości początkowej i końcowej wykonuje się na 2 godziny przed rozpoczęciem badania i po upływie 2 godzin od zakończenia badania. Szczegółowe warunki prób mogą również określić liczbę godzin dopuszczalnych przerw w obciążeniu.

Współczynnik starzenia określa się w procentach i oblicza według zależności

$$K_s = \frac{\Delta R}{R_1} 100$$

Wartość współczynnika starzenia waha się w granicach 0,4 ÷ 7% w zależności od typu i oporności opornika.

Przebieg krzywej zależności wartości współczynnika starzenia od czasu trwania badania dla danego opornika wykazuje największe zmiany w początkowym okresie, w którym wartość współczynnika $K_s$ może — w zależności od typu i wartości znamionowej oporności opornika — przybierać wartości dodatnie lub ujemne.

Krzywa zależności współczynnika $K_s$ od oporności znamionowej opornika danego typu wykazuje dla oporników pyrolitycznych i pyrolitycznych z dodatkiem boru przebieg stały do oporności rzędu 50 ÷ 100 kΩ, począw-

szy od których to wartości następuje widoczny wzrost wartości współczynnika w kierunku wartości dodatnich dla oporników pyrolitycznych z dodatkiem boru i wartości ujemnych dla oporników pyrolitycznych zwykłych.

Oporniki objętościowe i warstwowe różnorodne wykazują przebieg tej zależności bardziej nieregularny i z zasady w obszarze ujemnych wartości współczynnika $K_s$.

## 4.7. Współczynnik składowania

Współczynnik składowania wyznacza zmianę oporności badanego opornika w określonym czasie składowania w normalnych warunkach składowania.

Podczas procesu tworzenia warstwy węgla krystalicznego następują zniekształcenia w układzie krystalicznym na powierzchni porcelany i warstwy oporowej. Wpływ na to ma również następująca potem operacja nacinania spirali i lakierowania, która jest przyczyną występowania dodatkowych zmian oporności z biegiem czasu, gdy budowa krystaliczna ulega ostatecznej stabilizacji. Dlatego konieczne okazało się składowanie oporników.

W zależności od typu opornika okres składowania waha się w granicach od 20 dni do 6 miesięcy. Dla oporników pyrolitycznych z dodatkiem boru współczynnik składowania, który ma postać $\frac{\Delta R}{R_1}$ 100, zawiera się w granicach 0,1 ÷ 0,5%. Dla pozostałych rodzajów oporników współczynnik ten waha się w granicach 2 ÷ 15% w zależności od typu opornika i technologii jego produkcji.

## 4.8. Wpływ lutowania na wartość oporności opornika

Miejscowe nadmierne nagrzanie opornika podczas lutowania powoduje zmiany oporności, które posiadają często charakter trwały i występują w czasie montażu urządzenia, czyli po wszystkich ewentualnych próbach i badaniach. Zagadnienie to nabrało znaczenia w miarę zmniejszania się rozmiarów urządzeń i połączonego z tym skracania połączeń.

Przykładowy sposób przeprowadzania badania jest następujący:

Badany opornik zanurza się na głębokość 3,5 mm w specjalnym termostacie w temperaturze 350 °C na przeciąg 3 sekund. Po ostygnięciu, w ciągu 5 minut wykonuje się pomiar oporności.

Inny rodzaj badania ma przebieg następujący:

Przewód prowadzący nagrzewa się przez 3 sekundy kolbą o mocy 120 W w odległości 10 mm od końca opornika. Zmianę oporności mierzy się po upływie 5 minut od odjęcia kolby.

Wyniki tych badań można ująć w postać współczynnika $\frac{\Delta R}{R_1}100$, którego wartość waha się w granicach od —1 do +2% w zależności od typu opornika i wartości znamionowej jego oporności.

### 4.9. Zmiana oporności w zależności od wartości doprowadzonego napięcia (współczynnik napięciowy)

W przypadku oporników węglowych w zależności od typu opornika występuje brak proporcjonalności zmian między napięciem doprowadzonym do końcówki opornika a prądem. Badanie tego zjawiska przeprowadza się z reguły przy użyciu prądu stałego. Pomiar taki jest w zasadzie bardzo trudny, gdyż technika jego musi uwzględniać tylko wpływ zmian napięcia, a wyeliminować wpływ zmian temperatury.

Najwłaściwszą metodą pomiarową jest zastosowanie napięcia impulsowego o odpowiednio długich przerwach między impulsami, tak aby wpływ temperatury ze względu na zjawisko bezwładności można było pominąć. Przy stosowaniu tej metody bada się prąd przepływający przez opornik, przy czym wartość tego prądu nie jest proporcjonalna do wartości napięcia. Obserwowanie i pomiary tych odchyleń pozwalają na ustalenie zależności między napięciem a opornością. Metodę tę należy uznać za klasyczną, ale bardzo trudną i dlatego pomiar współczynnika napięciowego wykonuje się tylko w przypadku badania typu opornika.

Druga metoda pomiarowa, szybsza, lecz mniej dokładna, przedstawia się następująco:

Do opornika doprowadza się napięcie stałe i obciąża się go mocą wynoszącą 0,2% obciążenia znamionowego. Temperatura otoczenia powinna wynosić 20 lub 40 °C. W przypadku dokonywania pomiarów w temperaturze 40 °C opornik przed rozpoczęciem pomiarów należy ogrzewać w ciągu 1 godziny. Następnie obciąża się go mocą wynoszącą 100 lub 200% mocy znamionowej, lecz z ograniczeniem napięcia do wartości $E = \sqrt{RW}$ i mierzy się wartość oporności $R_2$. Pomiar ten musi być wykonywany bardzo szybko lub też opornik musi być chłodzony, aby zmniejszyć wpływ nagrzewania na wartości oporności.

Jeżeli wysokość napięcia dla badanego opornika przekracza wartość $E = \sqrt{RW}$, początkowy pomiar oporności $R_1$ wykonuje się przy obciążeniu równym 0,1% obciążenia znamionowego, a wartość końcową oporności $R_2$

oblicza się dla obciążenia odpowiadającego największemu napięciu dopuszczalnemu dla danego opornika.

Wartość współczynnika napięciowego, obliczanego w procentach, wyznacza się według wzoru

$$K_n = \frac{\Delta R}{R_1} 100 \quad \text{lub} \quad K_n = \frac{\Delta R}{\Delta U \cdot R_1} 10^{-6}$$

przy czym: $\Delta U = E_2 - E_1$; $\Delta R = R_2 - R_1$; gdzie: $R_1$ — oporność przy obciążeniu równym 0,2% obciążenia znamionowego; $R_2$ — oporność przy obciążeniu równym 200% obciążenia znamionowego; $E_1$ — napięcie przy obciążeniu równym 0,2% obciążenia znamionowego; $E_2$ — napięcie przy obciążeniu równym 200% obciążenia znamionowego.

Przed rozpoczęciem pomiarów opornik powinien być suszony przez $2 \div 3$ godziny w temperaturze $60 \div 70$ °C, a następnie ochłodzony do temperatury 20 °C w ciągu 30 minut.

Wartości współczynnika napięciowego są ujemne i wahają się — w zależności od typu opornika i wartości jego oporności — w granicach 10 do $250 \cdot 10^{-6}$ na 1 V. Są to wartości średnie dla oporników warstwowych jednorodnych. Dla oporników warstwowych różnorodnych oraz dla oporników objętościowych wartości współczynnika napięciowego są również ujemne, lecz kilkakrotnie wyższe.

Na ogół można stwierdzić, że wartość liczbowa współczynnika napięciowego maleje ze wzrostem wartości oporności znamionowej i mocy znamionowej. Nie stwierdzono natomiast zasadniczych różnic między wynikami pomiarów przy zastosowaniu do badań napięcia zmiennego.

## 5. NAPIĘCIE SZUMÓW WŁASNYCH

Jedną z przyczyn istnienia szumów własnych w rozmaitych urządzeniach radiotechnicznych są szumy wytwarzane przez oporniki.

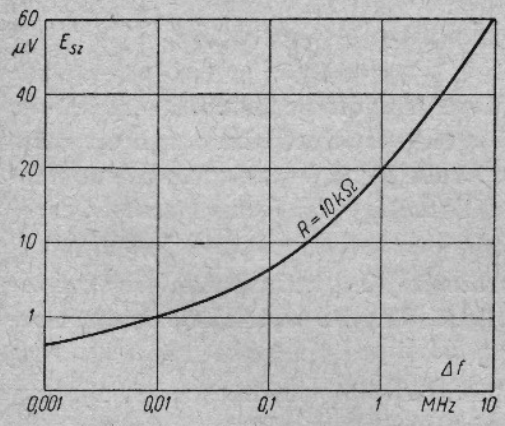
Zagadnienie szumów własnych oporników wysunęło się ostatnio na jedno z pierwszych miejsc przy dokonywaniu pomiarów właściwości oporników. Dla osiągnięcia wymaganych wartości SEM szumów przeprowadzono w ostatnich latach szereg pomiarów i badań o charakterze statystycznym, dostosowano i zmieniono technologię oraz ulepszono i rozwinięto metody pomiarowe.

W opornikach węglowych występują w zasadzie dwa rodzaje szumów: pierwszy — to szumy cieplne, nazywane również szumami Johnsona, który pierwszy w 1927 r. rozpoczął badanie tych zjawisk, drugi rodzaj — to szumy prądowe. Badanie tych szumów na szerszą skalę rozpoczął w r. 1934 Bernamont.

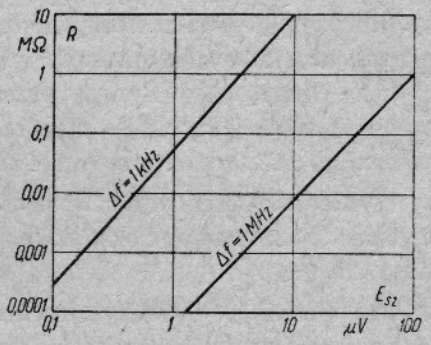
Pierwszy rodzaj szumów występuje we wszystkich typach oporników zarówno obciążonych, jak i nie obciążonych. Dają się one szczególnie zauważyć w obwodach i wzmacniaczach wielkiej częstotliwości. Przyczyną pojawienia się szumów Johnsona są ruchy swobodnych elektronów w układzie cząsteczkowym pod wpływem ciepła. Pod wpływem działania sił termodynamicznych następuje zakłócenie równowagi w ruchach elektronów swobodnych i pojawienie się ruchów bezwładnych nakładających się na ruchy elektronów będących pod wpływem napięcia doprowadzonego. Powoduje to powstanie dodatkowych elementarnych spadków napięć, będących właśnie SEM szumów. Częstotliwość tych zmian napięcia tworzy pasmo o szerokim zakresie częstotliwości. Wartość SEM szumów jest proporcjonalna do wartości znamionowej oporności opornika oraz temperatury. Zależność tę określa wzór podany przez Oakesa [6]

$$E_{sz} = 7{,}4\sqrt{R \cdot T \cdot \Delta f}\ 10^{-6}$$

w którym: $E_{sz}$ — siła elektromotoryczna szumów [μV]; $R$ — oporność badanego opornika [Ω]; $T$ — temperatura [°K]; $\Delta f$ — szerokość pasma częstotliwości pomiarowej [Hz].




Rys. 4. Zależność wartości siły elektromotorycznej szumów $E_{sz}$ od szerokości pasma częstotliwości pomiarowej $\Delta f$ według Dummera [5]




Rys. 5. Zależność wartości siły elektromotorycznej szumów cieplnych $E_{sz}$ od wartości oporności opornika badanego $R$ przy szerokości pasma częstotliwości $\Delta f = 1$ kHz oraz 1 MHz według Dummera [5]

Przykład typowej zależności szumów od szerokości pasma przedstawia rys. 4. Dla danej szerokości pasma pomiarowego zależność między SEM szumów a opornością badanych oporników przedstawiono na rys. 5.

Wartość SEM składowej szumów cieplnych jest niezależna od wartości napięcia doprowadzonego oraz od jego częstotliwości.

Drugi rodzaj szumów występujących w opornikach węglowych — to szumy prądowe. Powstają one w czasie przepływu prądu przez opornik w normalnej temperaturze otoczenia. Mechanizm ich powstawania można wytłumaczyć pojawieniem się nieregularnych zmian w strukturze materiału warstwy oporowej, co powoduje przypadkowe zmiany iloczynów cząstkowych *ir*. Zjawisko to można również określić jako pewnego rodzaju modulację oporową, przy czym badania wykazały, że średni kwadrat zmiany napięcia szumów jest proporcjonalny do kwadratu prądu stałego przepływającego przez opornik. W praktyce proporcjonalność ta jest ściśle zachowana tylko przy małych wartościach prądu. Przy większych wartościach prądu zależnie od typu opornika występują pewne odchylenia; pojawiają się one bardzo silnie w opornikach warstwowych różnorodnych i objętościowych, gdzie rozkład cząstkowych gęstości prądu jest różny wzdłuż długości opornika, co powoduje powstawanie zakłóceń w proporcjonalnej zależności napięcia szumów od wartości prądu. Na przykład przy opornikach objętościowych o mocy $^1/_3$ W proporcjonalność zachowana jest tylko dla prądów rzędu kilkunastu mikroamperów. Dla prądów większych krzywa zależności zbliża się do paraboli [8].

Na podstawie badań przeprowadzonych przez wielu autorów [9] można ustalić następujący związek:

$$E^2 = K R^2 I^2 f^{-1}$$

w którym: $E$ — siła elektromotoryczna szumów na jednostkę szerokości pasma częstotliwości szumów [μV/V]; $R$ — oporność badanego opornika [Ω]; $I$ — prąd stały płynący przez opornik [A]; $f$ — częstotliwość mierzonych szumów [Hz]; $K$ — współczynnik zależny od formy geometrycznej opornika oraz od temperatury.

Wykładnik potęgowy $-1$ przy wyrażeniu $f$ jest ważny tylko przy częstotliwości pomiarowej do 20 kHz, np. dla 500 kHz wykładnik osiąga wartość 1,7.

Dla oporników pyrolitycznych miniaturowych otrzymana zależność przy dużej liczbie przeprowadzonych pomiarów dla określonego pasma częstotliwości szumów jest następująca:

$$E \approx 0{,}675 \sqrt{\frac{R}{10000}} \ [\mu V/V]$$

Poza zależnością wartości SEM szumów od wartości przepływającego prądu, wartości oporności, typu opornika, jego formy geometrycznej i zastosowanej technologii szumy prądowe zależą również od mocy znamionowej opornika. Im opornik badany posiada większą moc znamionową przy tych samych napięciach, tym SEM szumów jest mniejsza.

Dla oporników objętościowych wartość SEM szumów jest odwrotnie proporcjonalna do objętości opornika i bardzo często dla tego rodzaju oporników podaje się [8] wartość szumów w funkcji $l^2/AV$, gdzie $l$ — długość opornika; $A$ — powierzchnia opornika; $V$ — objętość opornika.

Pomiary wykonane dla dużej liczby oporników o tej samej wartości oporności znamionowej wykazują duży rozrzut wartości SEM szumów prądowych, co tłumaczy się zależnością wartości tych szumów od technologii wykonania opornika. Rozrzut ten jest znacznie większy dla oporników objętościowych i warstwowych oporników różnorodnych, co wynika ze struktury ich warstwy oporowej.

Dla ustalenia wartości szumów całkowitych przy zasilaniu prądem stałym dla znamionowej wartości oporności dochodzącej do 10 MΩ można napisać za Dummerem [5] zależność ważną dla oporników zarówno jednorodnych, jak i różnorodnych

$$E \approx 2 + \lg\left(\frac{R}{1000}\right)$$

przy czym $E$ [μV/V]. Szerokość pasma wynosi 200 ÷ 10000 Hz.

Przykład zależności SEM szumów od wartości znamionowej przedstawia rys. 6.

Szumy prądowe i cieplne są typowymi szumami występującymi w opornikach węglowych. W niektórych przypadkach mogą wystąpić szumy mające źródło w reakcjach chemicznych związków użytych do produkcji. Szumy te mogą powstać np. w okresie składowania pod wpływem wilgoci, temperatury itd. i na ogół nie są związane z przepływem prądu.

Następnym powodem powstawania dodatkowych szumów są wpływy mechaniczne. Niewłaściwe rozwiązanie konstrukcyjne końcówek lub doprowadzeń, niewłaściwa technologia produkcji może się stać przy wibracjach i wstrząsach źródłem modulacji prądu przepływającego, co w rezultacie daje wzrost napięcia szumów. Zjawisko to jest zależne od wartości przepływającego prądu. Dla uniknięcia tego zjawiska coraz więcej firm produkujących oporniki, zwłaszcza bardzo dobrej jakości, stosuje grafitowanie lub miedziowanie końców opornika, co w dużym stopniu usuwa możliwość powstawania szumów dodatkowych przy wibracjach.

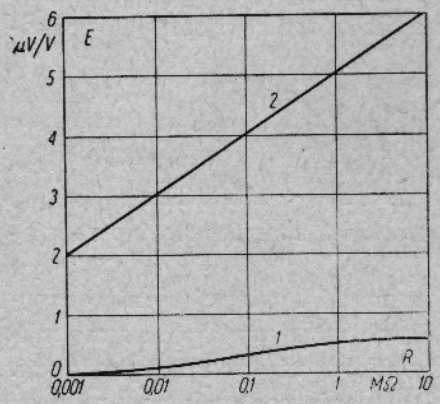
Układ do pomiaru SEM szumów metodą klasyczną przedstawia rys. 7.

Po nastawieniu za pomocą opornika $R$ odpowiedniego napięcia na oporniku badanym $R_x$ przełącza się wzmacniacz na oporność $R_x$ regulując jego wzmocnienie aż do otrzymania pewnego wychylenia wskaźnika końcowego. Następnie wzmacniacz przełącza się na układ generatora częstotliwości 1000 Hz i za pomocą potencjometru $P$ reguluje się napięcie wejściowe wzmacniacza aż do otrzymania poprzedniego wychylenia wskaźnika koń-

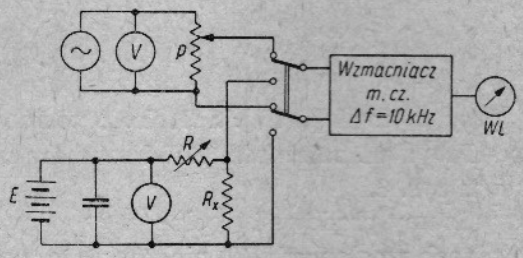
cowego. Położenie potencjometru daje wartość szumów w mikrowoltach. Wartość ta podzielona przez wartość napięcia stałego doprowadzonego do opornika badanego daje współczynnik szumów wyrażony w mikrowoltach na wolt.

Wartość napięcia stałego doprowadzonego do badanego opornika wynosi na ogół połowę wartości napięcia znamionowego danego opornika.

Właściwe wykonanie tego pomiaru, dającego rzeczywisty obraz poziomu szumów, jest bardzo trudne i wymaga starannego wykonania aparatury pomiarowej, a specjalnie wzmacniacza o szerokiej wstędze, dużym wzmocnieniu i znikomym poziomie szumów własnych.




Rys. 6. Zależność wartości siły elektromotorycznej szumów $E$ na jednostkę szerokości pasma częstotliwości przy $\Delta f$ = const od znamionowej wartości oporności $R$ opornika badanego według Dummera [5]
*1* — oporniki warstwowe pyrolityczne; *2* — oporniki warstwowe różnorodne




Rys. 7. Schemat urządzenia do pomiaru siły elektromotorycznej szumów
$R_x$ — opornik badany; $R$ — opornik do regulacji napięcia; $P$ — potencjometr wycechowany w μV/V

Dla zbliżenia się do stanu rzeczywistego i dokładniejszego uchwycenia poziomu szumów w zależności od badanych parametrów stosuje się jako źródła wzorcowe szumów specjalne diody dające SEM szumów zbliżoną do SEM szumów występującej w rzeczywistości w opornikach. Ten zmodyfikowany układ pomiarowy, obecnie powszechnie używany do badań, podaje między innymi Campbell i Chipman [7].

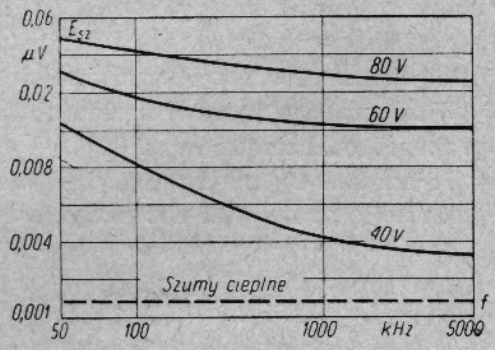
Pomimo zachowania odpowiednich środków ostrożności pomiary wartości SEM szumów należy uważać raczej za porównawcze i mające znaczenie orientacyjne dla produkcji. Z tego też powodu obserwuje się jednocześnie bezpośrednio urządzenia użytkowe.

## 5.1. Szumy przy obciążeniu opornika prądem wielkiej częstotliwości

O ile badania szumów własnych oporników przy przepływie prądu stałego były przeprowadzane, zwłaszcza w ostatnich latach, dosyć intensywnie, o tyle zainteresowanie się zagadnieniem szumów przy obciążeniu oporników prądami wielkiej częstotliwości pojawiło się zasadniczo dopiero w ostatnich latach [10].

Badania te nastręczają duże trudności techniczne, gdyż poza koniecznością posiadania źródła wielkiej częstotliwości o szerokim zakresie częstotliwości i napięcia istnieje problem rozdzielenia częstotliwości zasilania od częstotliwości szumów. Wymaga to stosowania systemu filtrów górno- i dolnoprzepustowych. Jako generator szumów wzorcowych stosuje się układ ze specjalną diodą.

Przeprowadzone pomiary [10] rozmaitych typów oporników (objętościowe i warstwowe) o oporności 10 kΩ i mocy 0,5 W wykazują, że przy obciążeniu oporników prądem wielkiej częstotliwości poziom szumów w odniesieniu do obciążenia prądem stałym maleje wraz z częstotliwością obciążenia (przy stałej szerokości pasma częstotliwości mierzonych szumów wynoszącego 5,5 kHz) i w praktyce ustala się przy częstotliwości około 1 MHz nie wykazując większych zmian ze wzrostem częstotliwości. Efekt ten daje się wyjaśnić zjawiskiem naskórkowości oraz zachowaniem się układu pojemność — oporność przy wzroście częstotliwości.




Rys. 8. Zależność wartości siły elektromotorycznej szumów $E_{sz}$ przy obciążeniu opornika prądem wielkiej częstotliwości od wartości częstotliwości $f$ i wartości napięcia obciążenia dla opornika objętościowego 10 kΩ, 0,5 W produkcji firmy IRC według Montagnona [10]

Dla orientacji należy dodać, że dla danego opornika i danej wartości napięcia obciążenia wartość napięcia szumów przy obciążeniu prądem stałym jest trzykrotnie większa od wartości napięcia szumów przy obciążeniu prądem o częstotliwości 50 kHz. Stwierdzono również dużą zależność wartości SEM szumów od wartości napięcia obciążenia.

Wyniki pomiarów szumów dla oporników objętościowych firmy IRC przedstawia rys. 8.

Według Bellugue'a [9] przy obciążeniu opornika prądem o częstotliwości 100 kHz w praktyce występują tylko szumy cieplne. Ogólnie można

stwierdzić, że typy oporników posiadające niski poziom szumów przy zasilaniu prądem stałym mają również niski poziom przy zasilaniu prądem wielkiej częstotliwości oraz że poziom tych szumów jest znacznie wyższy dla oporników objętościowych i warstwowych różnorodnych niż dla oporników pyrolitycznych.

### 5.2. Oporniki węglowe w obwodach wielkiej częstotliwości

W obwodach wielkiej częstotliwości oporniki należy traktować jako element posiadający pewną indukcyjność, pojemność oraz oporność. W związku z tym występują zarówno w układzie, jaki w samym oporniku zmiany wartości zasadniczych parametrów w odniesieniu do układu z prądem stałym.

Interesujące są następujące parametry:

a) pojemność między końcami opornika, która występuje wtedy, kiedy opornik pracuje w obwodzie, w którym obie końcówki nie są uziemione;

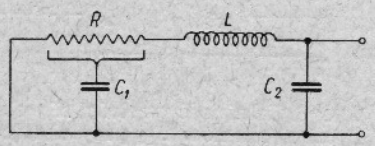
b) pojemność całkowita, która występuje wówczas, gdy jeden z końców opornika jest uziemiony;

c) indukcyjność;

d) zmiana oporności w zależności od częstotliwości.

W najprostszej postaci można obwód zastępczy oporników przedstawić w sposób pokazany na rys. 9.

Pojemność $C_1$ między końcami opornika należy uważać za sumę pojemności cząstkowych rozłożonych wzdłuż opornika i dających w rezul-




Rys. 9. Układ zastępczy opornika włączonego w obwód wielkiej częstotliwości według Dummera [5]

tacie pojemność skupioną. Wartość tej pojemności wypadkowej jest funkcją granulacji warstwy oporowej (pojemność poszczególnych kryształów lub cząstek węgla). Pojemność $C_2$ jest pojemnością montażową.

Ogólnie można powiedzieć, że wartość oporności opornika w obwodzie wielkiej częstotliwości maleje ze zwiększaniem się wartości częstotliwości.

Według Howe'a [11] opornik można przedstawić jako linię długą o długości równej połowie długości opornika i o zależności $flCR_{_} = f(C,R_{\sim})$ używając linii koncentrycznej ze szczeliną i urządzenia do pomiaru zawady. Metody tej używa się dla częstotliwości rzędu 3000 MHz.

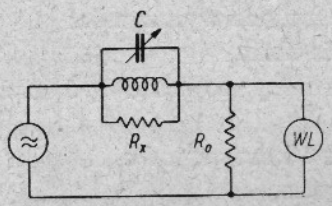
W zależności wyżej podanej: $l$ — długość linii [cm]; $C$ — pojemność cząstkowa [pF/cm]; $R_{_}$ — oporność dla prądu stałego [Ω]; $R_{\sim}$ — oporność dla prądu zmiennego [Ω]; $f$ — częstotliwość [Hz].

Dla częstotliwości mniejszych zachowanie się opornika przy zasilaniu prądem wielkiej częstotliwości można ustalić:

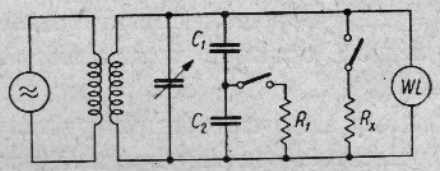
a) za pomocą mostka wielkiej częstotliwości (np. General Radio 821-A) dla zakresu częstotliwości do 30 MHz i dla wartości oporności powyżej 1000 Ω — odczytuje się wówczas wartość $\frac{1}{R}$ i wartość pojemności równoległej;

b) za pomocą Q-metru — wartość pojemności odczytuje się bezpośrednio, wartość oporności zaś oblicza się na podstawie wskazań Q-metru.

Dla częstotliwości mniejszych niż 60 MHz można stosować układ dzielnika napięć pokazany na rys. 10.

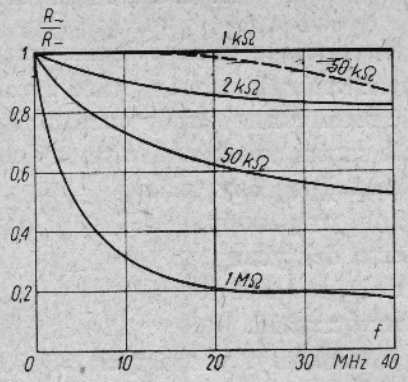



Rys. 10. Układ do pomiaru zmian wartości oporności opornika przy obciążeniu prądem wielkiej częstoliwości, $f \leqslant 60$ MHz




Rys. 11. Układ do pomiaru zmian wartości oporności opornika przy obciążeniu prądem wielkiej częstotliwości, $f \leqslant 250$ MHz

Rys. 12. Zależność stosunku oporności $R_\sim/R_-$ od częstotliwości $f$ dla różnych wartości oporności opornika według Kende'a [3] i Dummera [5]
Linia ciągła — oporniki warstwowe różnorodne, linia przerywana — oporniki warstwowe pyrolityczne




Dostrajając do rezonansu (minimum wskazań na woltomierzu lampowym $WL$) pojemnością $C$ obwód z wyłączonym i włączonym opornikiem $R_x$ otrzymuje się na podstawie wskazań kondensatora $C$ wartość pojemności między końcami opornika. Wartość oporności $R_\sim$ oblicza się na podstawie różnicy wskazań woltomierza lampowego $WL$ przy włączonym i wyłączonym oporniku $R_x$. Oporność opornika $R_d$ musi być niezależna od częstotliwości w granicach częstotliwości stosowanych przy pomiarach.

Przy częstotliwości rzędu 250 MHz stosuje się metodę podstawienia (rys. 11)

$$R_x = R_1\left(1+\frac{C_2}{C_1}\right)^2$$

$$R_1 \geqslant \frac{1}{C_2\omega}$$

Badania różnych typów oporników wykazały, że oporniki warstwowe, zwłaszcza pyrolityczne, posiadające grubość warstwy oporowej rzędu $10^{-5}$ mm, wykazują małe zmiany oporności i bardzo dobrze nadają się do pracy aż do częstotliwości 1000 MHz. Oporniki objętościowe i warstwowe różnorodne wykazują znacznie większe zmiany. Ogólnie, dla uzyskania możliwie małych zmian należy spełnić następujące wymagania:

a) wymiary opornika muszą być możliwie małe,

b) długość opornika w stosunku do średnicy powinna być możliwie duża,

c) należy stosować oporniki pyrolityczne i borowęglowe,

d) połączenia powinny być możliwie krótkie,

e) wartość oporności powinna być możliwie mała.

Przykłady typowych zależności wartości oporności oporników od częstotliwości przedstawia rys. 12.

### 5.3. Badania klimatyczne

Stale wzrastające zastosowanie urządzeń elektronowych w rozmaitych dziedzinach techniki stawia przed tymi urządzeniami i podzespołami konieczność nienagannej pracy w rozmaitych warunkach klimatycznych.

Ogólnie można rozróżnić następujące zasadnicze strefy klimatyczne:

a) klimat pustynny suchy,

b) klimat tropikalny,

c) klimat arktyczny,

d) klimat wysokościowy,

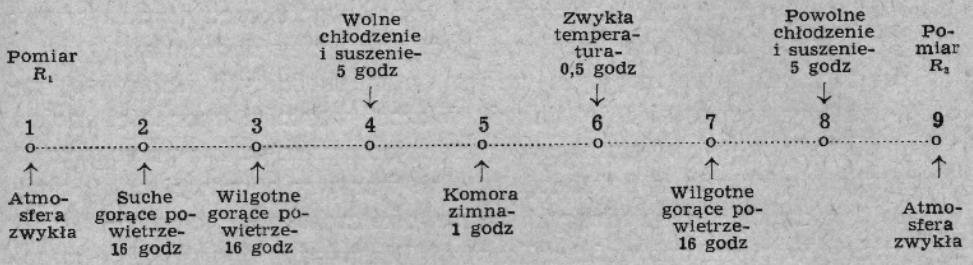
e) klimat morski.

Cechą charakterystyczną tych stref są specyficzne temperatury dzienne i nocne, dobowe skoki temperatury, wilgotność względna, maksymalna temperatura w miejscach specjalnie narażonych na działanie promieni słonecznych, ciśnienie barometryczne, piasek, owady, zawartość soli itd. Wszystkie te parametry posiadające duży wpływ na eksploatację sprzętu powinny być uwzględnione w technologii produkcji jak również w sposobie przeprowadzania badań i pomiarów.

Cechą charakterystyczną przeważnej liczby tych badań, mających stwierdzić przydatność danego wyrobu do pracy w danych warunkach

klimatycznych, jest cykliczność. Pochodzi to z tego, że w pewnych strefach klimatycznych należy się liczyć z dużą i szybką zmianą niektórych parametrów nawet w czasie jednej doby. Na przykład w strefie pustynnej temperatura waha się w ciągu doby od $-10$ do $+60$ °C. W strefie tropikalnej należy liczyć się z wahaniami wilgotności aż do granic nasycenia. Stąd też wynika konieczność opracowania takich warunków przeprowadzania badań, które byłyby najbardziej zbliżone do rzeczywistych warunków pracy. Przykładowo, dla oporników cykl takich badań może przedstawiać się następująco:

I. Normalne badania klimatyczne




II. Specjalne badania klimatyczne

Badania te mogą różnić się od poprzednich wskutek wprowadzenia obciążenia opornika mocą znamionową przez określony czas oraz wprowadzenia wilgotnego powietrza nasyconego solą.

Cykl taki może przedstawiać się następująco:




III. Badania wpływu klimatu tropikalnego

Badania te odbywają się w komorze wilgotności np. przez 14 dni. Wilgotność w komorze powinna wynosić $95 \div 98\%$. W ciągu doby zmienia się temperaturę w komorze wilgotności w określony sposób od 20 do 40 °C. Następnie suszy się oporniki przez $1 \div 2$ godz w zwykłej atmosferze i dokonuje pomiaru oporności. Bada się również ewentualne pojawienie się śladów korozji na metalowych częściach opornika.

### 5.4. Wpływ wilgotności na zmianę oporności (współczynnik wilgotności)

Największe zmiany oporności powoduje nawilgocenie oporników i dlatego badania wpływu wilgotności należą do typowych prób, którym podlegają nawet oporniki nie przeznaczone do pracy w specjalnie ostrych warunkach klimatycznych. Pomiary wykazały, że nawilgocenie zasadniczych typów oporników obecnie produkowanych powoduje wzrost oporności, której wartość zależna jest od typu opornika, technologii oraz jakości warstwy ochronnej.

Zmiana oporności może być trwała lub przemijająca, zależna przede wszystkim od przyczepności wzajemnej trzech współpracujących warstw: powierzchni izolatora, warstwy oporowej i warstwy ochronnej.

Drugim czynnikiem mającym wpływ na wielkość tych zmian jest rodzaj warstwy oporowej i jej jakość. Wzrost wartości oporności można w przybliżony sposób wytłumaczyć następująco: para wodna przechodząca przez warstwę ochronną dyfunduje w głąb warstwy oporowej powiększając izolację cząstek przewodzących i oporności cząstkowej, co w rezultacie daje wzrost wartości oporności całkowitej. Dla warstw oporowych o zwartej budowie krystalicznej i dobrej przyczepności do podłoża wpływ wilgotności jest mniejszy aniżeli dla warstw różnorodnych, najczęściej o budowie porowatej i słabej przyczepności do podłoża.

Dużą rolę odgrywa również jakość i rodzaj warstwy ochronnej, którą z reguły jest odpowiedni lakier. Warstwa ta powinna być mało przepuszczalna również w temperaturach podwyższonych i powinna mieć dobrą przyczepność do warstwy oporowej, ale mniejszą od przyczepności warstwy oporowej do podłoża. Również dużą rolę odgrywa elastyczność i trwałość warstwy ochronnej w podwyższonej temperaturze. W ten sposób można uniknąć trwałych zmian wartości oporności, które mogą ewentualnie wystąpić przy suszeniu oporników po nawilgoceniu. Najlepsze rezultaty pod tym względem uzyskano z lakierami melaminowymi i sylikonowymi.

Badania oporników przeprowadza się bez obciążenia, w specjalnych komorach wilgotności, w których możliwa jest regulacja wilgotności i temperatury. Przed badaniem opornik powinien być przez określony czas suszony, a czas nawilgacania, temperatura i stopień wilgotności określają odpowiednie i żądane warunki techniczne.

Współczynnik wilgotności wyrażony w procentach oblicza się według zależności

$$K_w = \frac{R_2 - R_1}{R_1} 100$$

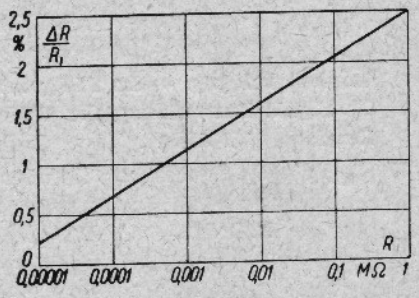
w której: $K_w$ [%]; $R_1$ — wartość oporności przed włożeniem do komory

wilgotności; $R_2$ — wartość oporności zmierzona po upływie 30 min po wyjęciu z komory wilgotności.

W celu ustalenia, czy wilgotność nie pozostawiła trwałych zmian w wartości oporności, badany opornik po wykonaniu pomiaru oporności $R_2$ wstawia się do eksykatora z chlorkiem wapniowym na okres 24 godz w temp. 20 °C. Po wyjęciu dokonuje się pomiaru oporności $R_3$.

Współczynnik ilustrujący trwałą zmianę wartości oporności (wyrażony w procentach) oblicza się według wzoru

$$K'_w = \frac{R_3 - R_1}{R_1} 100$$




Rys. 13. Zależność procentowych zmian wartości oporności od wartości oporności opornika pyrolitycznego; czas nawilgacania 200 godz, wilgotność 90 ÷ 95%, temperatura odniesienia 40 °C

Jak już wspomniano, decydujący wpływ na wartość zmian oporności ma jakość pokrycia oraz typ opornika i jego znamionowa wartość oporności. Największe zmiany wykazują oporniki warstwowe różnorodne i objętościowe, najmniejsze zaś oporniki pyrolityczne. W wielu przypadkach w celu wyeliminowania wpływu wilgotności używa się oporników wprasowanych w tworzywa sztuczne lub umieszczanych w rurkach szklanych w próżni.

## 5.5. Badania mechaniczne oporników

Ze względu na rozmaite warunki pracy oporników w urządzeniach podlegających wstrząsom i wibracjom opornik jako element konstrukcyjny powinien odpowiadać określonym warunkom mechanicznym.

Do zasadniczych prób i pomiarów należy zaliczyć:

a. Badanie wytrzymałości mechanicznej opornika, które przeprowadza się przez obciążenie opornika podpartego w obu końcach ciężarem 1 ÷ 5 kG zawieszonym w środku. Po odjęciu obciążenia mierzy się zmianę wartości oporności oraz stan powierzchni opornika.

b. Badania na skręcanie i zginanie wyprowadzeń opornika według ustalonych warunków technicznych.

c. Badania zmian znamionowej wartości oporności podczas wibracji i wstrząsów.

Badania te określone są warunkami technicznymi w zależności od przeznaczenia opornika do pracy w urządzeniach lądowych, morskich i lotniczych. Badaniom poddaje się zmiany wartości oporności i poziom szumów własnych.

Najmniejsze zmiany podczas tych badań wykazują oporniki miedziowane i zaopatrzone w końcówki ośmioboczne ze spawanym wyprowadzeniem osiowym.

## WYKAZ LITERATURY


1. Artykuł wstępny. — *La TSF pour tous* Juin 1946 Nr 212.
2. Loth H.: Entwicklung für Widerstande für elektronische Geräte. — *Elektron. Rundsch.* 1955 Nr 10.
3. Kende G.: Borocarbon Resistor Characteristics. — *Tele-Tech.* August 1952.
4. Boczkarew B. I.: Postajonnyje neprowołoczyje soprotiwlenja — *Elektriczestwo* 1956 Nr 8.
5. Dummer G.W.A.: Characteristics of Fixed Resistors. — *Wireless Wld.* June 1956.
6. Oakes F.: Noise in Fixed Resistors. — *Electron. Engng.* February 1950.
7. Campbell R. H. Chipman R. A.: Noise from Current Carrying Resistors. — *Proc. Inst. Radio Engrs.* Vol. 37 1949 p. 938.
8. Bell D. A., Cong K. Y.: Current Noise in Composition Resistors. — *Wireless Engr.* June 1954.
9. Bellugue M.: Le résistance à usage radioélectique, leurs charakctéristiques, leurs limites d'emploi. — *L'Onde electr.* 1956 Nr 336.
10. Montagnon N. B.: L. F. Noise in Resistors. — *Wireless Engr.* October 1954 p. 263, November 1954 p. 301.
11. Howe G. W. O. — *Wireless Engr.* 1940 Nr 17 p. 471.


*З. Бартц*

**УГОЛЬНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ СРЕДСТВ СВЯЗИ**

Статья посвящена вопросам основных параметров угольных сопротивлений, методам испытания и измерений, сопротивлению важнейших систем производства и технологических процессов в Польше и за рубежом, а также обсуждению путей развития отечественного производства сопротивлений.

*Z. Bartz*

**CARBON RESISTORS IN TELECOMMUNICATION-AND RADIO INDUSTRY**

In the article the principal carbon resistor parameters as well as the control- and test methods have been discussed, the most important systems of production and technological processes used in Poland and abroad have been presented and also development directions of the resistor production in the country have been given.

*Z. Bartz*

**KOHLENWIDERSTÄNDE IN DER FERNMELDE-UND RUNDFLUNKINDUSTRIE**

Es werden die Kennwerte der Kohlenwiderstände sowie die Prüfungs- und Messmethoden dargestellt, die wichtigsten Methoden von Erzeugung und technologische Prozesse in Polen und im Auslande zusammengestellt und Entwicklungrichtungen der Kohlenwiderstände im Lande besprochen.

*ALFRED KRÓLIKOWSKI*
Przemysłowy Instytut Elektroniki

# LAMPA PAMIĘCIOWA TYPU GRAFECHON

W artykule omówiono zasadę działania lampy pamięciowej typu grafechon, jej konstrukcję oraz zastosowanie jako przetwornika impulsów pochodzących z radaru panoramicznego na obraz telewizyjny jak również jej zastosowania jako oscyloskopu pamięciowego.

## 1. WSTĘP

Zasadę zjawiska pamięci elektrostatycznej i ramowy przegląd zasadniczych lamp pamięciowych podano w artykule pt. „Przegląd lamp obrazowych — lampy pamięciowe" (Elektronika 1957 Nr 8 (22). Obecnie omówiona zostanie nieco szerzej jedna z najbardziej interesujących lamp pamięciowych, a mianowicie lampa typu grafechon.

Lampa ta została skonstruowana w 1949 r. przez amerykańskiego uczonego L. P e n s a k a w Laboratorium RCA w Princeton. Francuska wytwórnia lamp CSF produkuje te lampy oznaczając je symbolem TMA 403. Nazwa lampy pochodzi z języka greckiego (graphe — pisać, echo — zatrzymywać). Jak wynika z dosłownego tłumaczenia, jest to lampa służąca do zatrzymywania zapisu.

Grafechon jest lampą pamięciową, pozwalającą na zapisanie pewnej funkcji w postaci impulsów elektrycznych na tarczy stanowiącej część składową lampy, a następnie — na odczytanie tej funkcji po upływie pewnego czasu, znów w postaci pewnych impulsów elektrycznych.

## 2. BUDOWA GRAFECHONU

Grafechon można uważać za zawarte we wspólnej bańce dwie lampy telewizyjne: nadawczą — ikonoskop i odbiorczą — kineskop. Zamiast mozaiki lampy nadawczej i ekranu kineskopu mają one wspólną tarczę o zna-

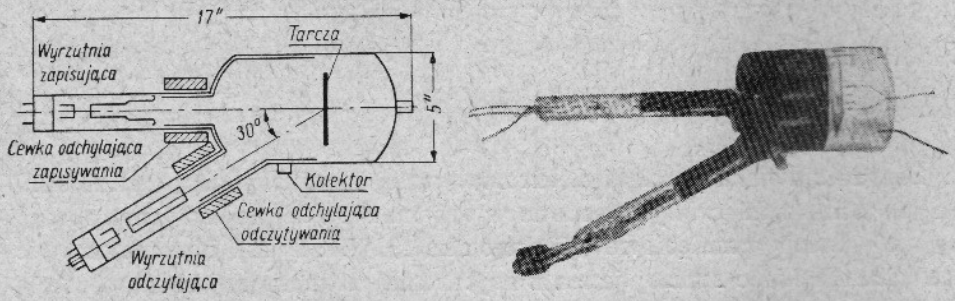
cznej pojemności, tzw. tarczę pamięciową. Wyrzutnia elektronów części nadawczej stanowi w grafechonie część zapisującą lampy, wyrzutnia zaś części odbiorczej — część odczytującą.

Zależnie od potrzeb grafechon posiada różne odmiany konstrukcyjne.

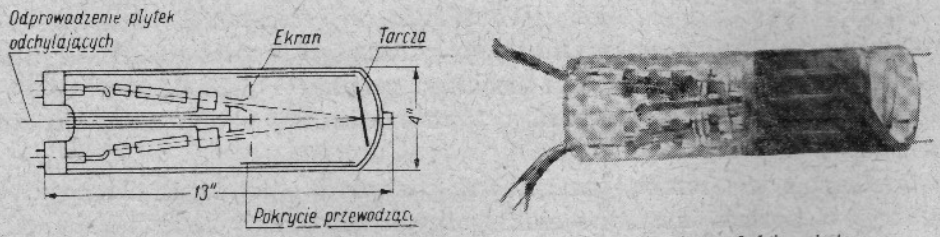
## 2.1. Konstrukcja grafechonu

Na rys. 1 pokazano szkic grafechonu z odchyleniem magnetycznym i obiema wyrzutniami (zapisującą i odczytującą), umieszczonymi po jednej stronie tarczy pamięciowej.

Kąt, pod jakim osadzono wyrzutnię zapisującą względem wyrzutni odczytującej, wynosi 30°, tzn. jest on taki sam jak w ikonoskopie standartowym.




Rys. 1. Grafechon jednostronny z odchylaniem magnetycznym

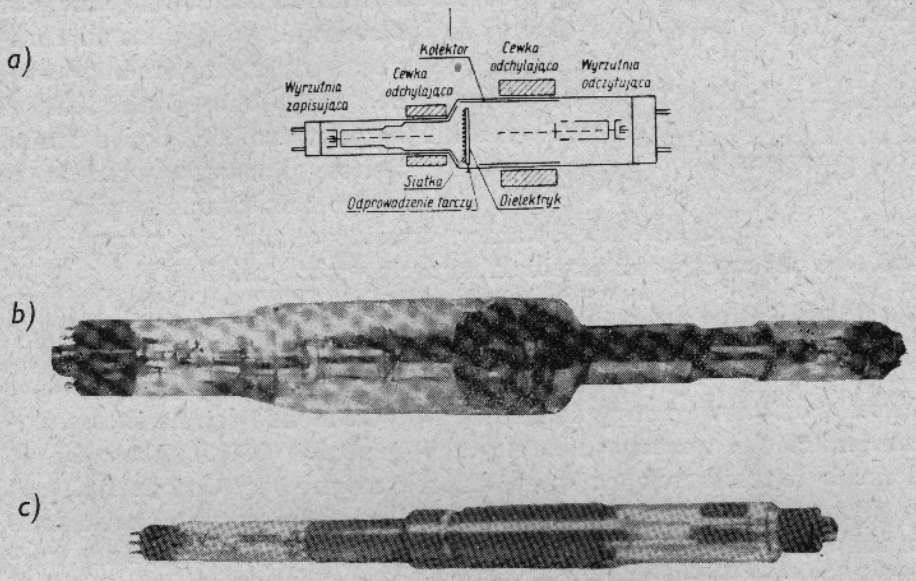



Rys. 2. Grafechon jednostronny z odchylaniem i ogniskowaniem elektrostatycznym

Rozmiary bańki lampy są uzależnione od wielkości tarczy pamięciowej i od wielkości cewek odchylających. Na rysunku podane są najczęściej spotykane wymiary: długość lampy wynosi 17″ (tj. 43,2 cm), szerokość wynosi 5″ (tj. 12,7 cm) oprócz odchylonego ramienia z wyrzutnią czytającą.

Na rys. 2 przedstawiono pewną odmianę omawianej lampy, a mianowicie grafechon z odchylaniem i ogniskowaniem elektrostatycznym. I tu, jak widać, obie wyrzutnie osadzone są po jednej stronie tarczy pamięciowej.

Grafechon z ogniskowaniem i odchylaniem elektrostatycznym stanowi odmianę dogodniejszą dla operacji oscylograficznych, ma on jednak mniejszą czułość analizowania wskutek odchylania elektrostatycznego. Rozmiary tej lampy są następujące: długość wynosi 13″ (tj. 33 cm), szerokość całkowita zaś 4″ (tj. 10,2 cm).




Rys. 3. Grafechon dwustronny z wyrzutniami współosiowymi: a)schemat; b) wykonania amerykańskie; c) wykonanie francuskie

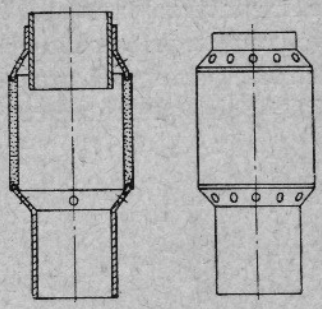
Trzecią odmianą grafechonu jest lampa, w której obie wyrzutnie elektronów osadzone są na wspólnej osi po obu stronach tarczy pamięciowej (rys. 3). Jest to stosunkowo najnowsze rozwiązanie tej lampy.

## 2.2. Wyrzutnie elektronów

Zapisywanie w grafechonie następuje przy napięciu przyspieszającym równym 6 ÷ 10 kV.

Jako wyrzutnię zapisującą w grafechonie z odchyleniem magnetycznym można stosować standartową wyrzutnię kineskopową z ogniskowaniem magnetycznym (np. typu 12 DP 7) bądź z ogniskowaniem elektrostatycznym (np. typu 12 AP 4).

Do odczytywania, które się odbywa przy napięciu 800 ÷ 1000 V, można stosować standartowe wyrzutnie ikonoskopu. Każda z tych wyrzutni zawiera katodę żarzoną, siatkę kontrolną (siatka Nr 1), siatkę przyspiesza-



Rys. 4. Izolator wysokiego napięcia

jącą (siatka Nr 2), elektrodę ogniskującą (siatka Nr 3) oraz elektrodę przyspieszającą i kolektor (siatka Nr 4). Kolektor wykonany jest w postaci pokrycia na ściance bańki w okolicy tarczy. Części metalowe wyrzutni wykonane są z dość dużą dokładnością. Jako materiał stosuje się kupronikiel. W wykonaniu francuskim lampy tolerancja przy średnicy walca 40 mm wynosi $\pm$ 0,02 mm. Części izolujące wyrzutni wykonywano początkowo z miki, następnie z tlenku glinowego, wreszcie ze szkła prasowanego i matowanego piaskiem. Na rys. 4 przedstawiono izolatory wysokiego napięcia, pozwalające zastosować bez możliwości przebicia napięcie wyższe niż 10 kV.

## 2.3. Tarcza pamięciowa

Tarcza pamięciowa lampy składa się z płytki metalowej, na której osadzona jest cienka warstwa dielektryczna, grubości 6000 Å (około 0,5 μ). Dielektryk ten (siarczek cynkowy, fluorek magnezowy, kriolit itp.) napyla się w próżni ($p = 10^{-5}$ Tr) nagrzewając płytkę w tyglu molibdenowym lub tantalowym. Dla dokładniejszego osadzenia równomiernej warstwy płytkę umieszcza się na uchwycie obrotowym. Grubość napylonej warstwy mierzy się badając jej przezroczystość. Dzięki wykorzystaniu zjawiska interferencji pomiar ten można przeprowadzić z dokładnością do 1/20 μ.

W przypadku lampy, w której obie wyrzutnie znajdują się po tej samej stronie tarczy, stosuje się płytkę metalową dostatecznie grubą, aby mogła być osadzona sztywno bez dodatkowej podpórki. W lampach z wyrzutniami osadzonymi po przeciwnych stronach tarczy, płytka metalowa — jak to wyniknie z dalszego opisu działania lampy — musi być dostatecznie cienka, aby mogły przejść przez nią elektrony. W wykonaniu francuskim płytka składa się z folii aluminiowej o grubości około 1/20 μ, na której osadzono warstwę siarczku cynkowego grubości około 0,5 μ.

Dla nadania folii dostatecznej sztywności osadza się błonkę organiczną na delikatnej siatce metalowej o dużym współczynniku przezroczystości. Następnie na błonkę napyla się cienką warstwę aluminium, a na to z kolei warstwę dielektryka. Wyrzutnię zapisującą umieszcza się po stronie siatki. Siatka taka musi być dostatecznie delikatna, żeby nie utrudniała odczytywania. Ma ona zwykle około 20 oczek na 1 mm (tzn. 400 oczek na 1 $mm^2$).

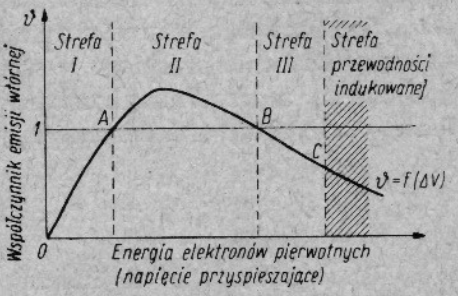
W grafechonie o współosiowym rozmieszczeniu wyrzutni duże znaczenie ma dokładność wymiarów geometrycznych lampy. Szczególnie ważne

jest tu skalibrowanie i osadzenie obu wyrzutni względem siebie, gdyż wpływa ono na tzw. błąd pozycyjny (Keystone position error [2]). Błąd ten polega na tym, że przy jednakowym napięciu obu cewek odchylających wiązki poszczególnych wyrzutni trafiają w różne punkty tarczy.

## 3. ZASADA DZIAŁANIA GRAFECHONU

### 3.1. Zasada zapisywania i odczytywania

Jak wiadomo z literatury [7], gdy powierzchnia dielektryka zostanie poddana bombardowaniu promieniem elektronowym, emituje ona elektrony wtórne, których liczba zależy od wartości energii posiadanej przez elektrony pierwotne (bombardujące). Zależność tę ilustruje krzywa zależności współczynnika emisji wtórnej[1]) od napięcia przyspieszającego (rys. 5). Jak widać, krzywa ta wykazuje pewne maksimum znajdujące się między punktami $A$ i $B$, dla których $\vartheta = 1$, tzn. takimi, dla których liczba elektronów wtórnych wybitych z tarczy jest równa liczbie elektronów pierwotnych padających na tarczę. Jej przebieg da się podzielić na cztery strefy:




Rys. 5. Krzywa zależności współczynnika emisji wtórnej od napięcia przyspieszającego

strefa I — do pierwszego punktu $\vartheta = 1$,
strefa II — od pierwszego do drugiego punktu $\vartheta = 1$,
strefa III — od drugiego punktu $\vartheta = 1$ do pewnej wartości napięcia $U_C$, dla którego pojawia się tzw. przewodność indukowana,
strefa IV — strefa przewodności indukowanej.

W grafechonie elektrony promienia zapisującego są przyspieszane napięciem 1500 V, a ich działanie przypada w strefie maksimum emisji wtórnej.

W wyniku bombardowania elektronami zapisującymi potencjał powierzchni płytki dielektrycznej podnosi się do potencjału kolektora. Elementy tarczy nawiedzane promieniem elektronowym można uważać za kondensatory elementarne, których okładziny stanowią: z jednej strony elektroda sygnałowa (płytka metalowa), a z drugiej strony powierzchnia war-

[1]) Współczynnik emisji wtórnej jest to stosunek prądu elektronów wtórnych $i_w$ do prądu elektronów pierwotnych $i_p$, czyli prądu promienia bombardującego: $\vartheta = \frac{i_w}{i_p}$.

stwy dielektryka bombardowana elektronami. Ponieważ kondensatory elementarne są utworzone za pomocą dielektryka o bardzo małej przewodności powierzchniowej, mogą one mimo bliskiego sąsiedztwa, w jakim się znajdują względem siebie, posiadać różne ładunki.

Kondensatory elementarne otrzymują ładunki za pośrednictwem promienia zapisującego, który wytwarza na tarczy obraz potencjałów. Rozładowywanie kondensatorów elementarnych (czyli proces odczytywania) jest wykonywane za pomocą promienia elektronów czytających. Elektrony te są przyspieszane napięciem 10000 V, a ponieważ płytka dielektryczna jest cienka (ok. 0,5 μ), energia ich jest dostatecznie duża, aby mogły przeniknąć przez dielektryk. Przenikając przez dielektryk elektrony powodują rozładowanie w wyniku zwiększenia przewodności ładunków zawartych w kondensatorach elementarnych i podają modulowane tymi ładunkami impulsy na elektrodę sygnałową, z której odbiera się impulsy odpowiadające składowanej funkcji. Dlatego też mówi się, że odczytywanie w grafechonie przebiega w strefie przewodności indukowanej.

Z chwilą zaprzestania bombardowania promieniem zapisującym, dielektryk odzyskuje swe własności izolatora.

### 3.2. Charakterystyki grafechonu

Rozładowywanie, czyli inaczej charakterystyka odczytywania, jest funkcją wielu parametrów, a mianowicie: pojemności tarczy, potencjału elektrody sygnałowej, szybkości analizowania i wielkości ładunku na tarczy.

Benner i Seeberger [4] wykonali pewną liczbę pomiarów mających na celu ustalenie zależności między rozmiarami plamki a prądem promienia, przy czym posługiwali się oni potencjałem powierzchni dielektryka po stronie wyrzutni odczytującej jako miarą stopnia rozładowania tarczy.

Dla dokonania tych pomiarów z możliwie dużą dokładnością i niezależnie od wymiarów geometrycznych zapisywania bombardowano tarczę promieniem elektronowym nieodchylanym, o znanej amplitudzie, rozmiarach i czasie trwania impulsów, podczas gdy promień czytający odchylano według standardu telewizyjnego.

Wielkość ładunku wytworzonego w ten sposób na powierzchni dielektryka była ustalana za pomocą pomiarów takich wielkości jak początkowa amplituda sygnału widzialnego w obwodzie odczytywania oraz długość czasu potrzebnego do zupełnego usunięcia promieniem czytającym obrazu ładunków na tarczy (czasu pamięci). Wielkości te wyznaczono zatem na podstawie przebiegu amplitudy sygnału odczytywanego, spowodowanego zapisem podanym w postaci funkcji czasu. Pomiary przeprowadzane były dla lamp o normalnej grubości błonki dielektrycznej (0,5 μ) i o cienkiej

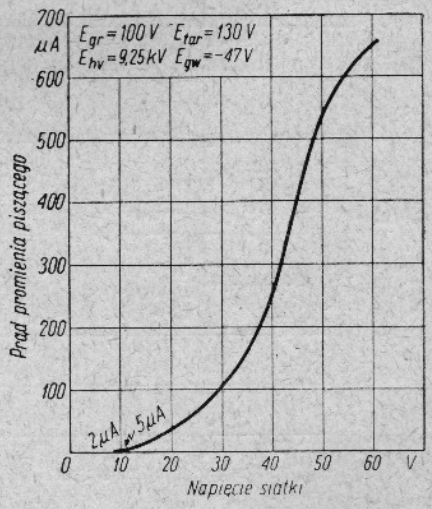
błonce dielektrycznej (0,16 μ). W trakcie pomiarów początkowych zwrócono uwagę na pewnego rodzaju bezwładność przy zapisywaniu. Mianowicie w przypadku wygaszenia promienia zapisującego przez czas około 10 s istnieje w obwodzie tarczy i kolektora prąd szczątkowy (residual writting beam).

Benner i Seeberger tłumaczą to zjawisko wynikiem emisji elektronów z siatki. Dopuszczają oni jednak i inne wyjaśnienie, a mianowicie zjawisko to występuje, ich zdaniem, jako skutek fotoemisji z elementów wyrzutni lub pochłaniacza pod wpływem zewnętrznych lub wewnętrznych źródeł światła (np. włókno żarzenia). Wyżej opisane zjawisko w dużej mierze utrudniało przeprowadzenie właściwych pomiarów.

### *3.2.1. Całkowity prąd promienia zapisującego*

Całkowity prąd promienia zapisującego jako funkcja wzbudzenia siatki zapisującej był ustalony przy dostatecznie wysokim dodatnim potencjale tarczy w celu zabezpieczenia zbierania przez nią wszystkich wybitych elektronów wtórnych. W obwodzie tarczy umieszczono znaczną pojemność, a promień zapisujący był modulowany napięciem siatki zapisującej $e_{gw}$.

Wyniki tych pomiarów uwidoczniono za pomocą krzywej na rys. 6. Krzywa ta będzie pomocna w wyjaśnieniu nieliniowego charakteru sygnałów wielo-impulsowych podawanych na tarczę, gdyż — jak widać — sam jej przebieg charakteryzuje się dużym stopniem nieliniowości.



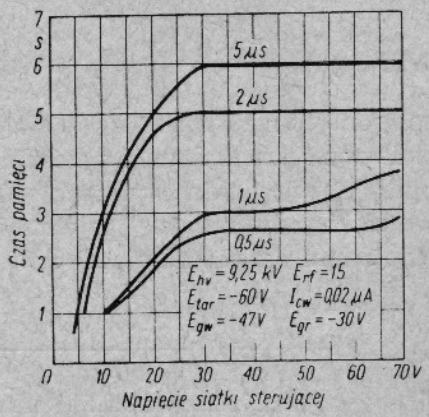

Rys. 6. Krzywa zależności prądu promienia zapisującego z plamki pojedynczej od napięcia siatki zapisującej
$E_{gr}$ — napięcie stałe (ujemne) między siatką sterującą a katodą wyrzutni odczytującej; $E_{tar}$ — napięcie tarczy w stosunku do kolektora; $E_{hv}$ — napięcie ujemne na katodzie wyrzutni zapisującej; $E_{gw}$ — napięcie stałe między siatką sterującą a katodą wyrzutni zapisującej

### *3.2.2. Czas pamięci*

Czas pamięci jest jedną z najważniejszych cech charakterystycznych grafechonu. Krzywe na rys. 7 uwidaczniają zmiany czasu pamięci w lampie grafechonu o normalnej tarczy w postaci funkcji wzbudzenia siatki zapisującej przy pojedynczym impulsie dla czterech różnych długości cza-

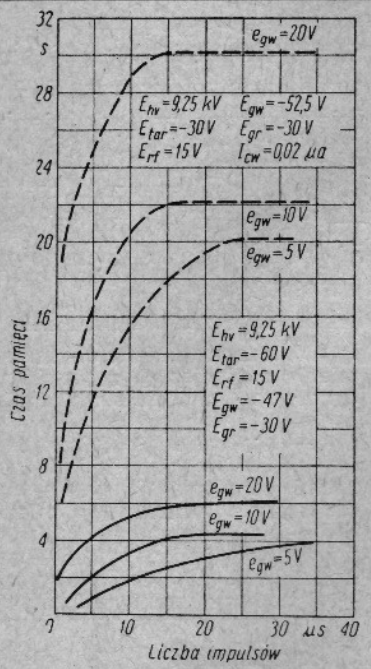
su trwania impulsu. Z krzywych tych widać, że w każdym z obserwowanych przypadków osiągnięte jest pewne „nasycenie" pamięci, ale poniżej 30 V w każdym z przypadków czas pamięci gwałtownie maleje. Czas pamięci mierzono od rozpoczęcia czytania aż do chwili, gdy sygnał zanikał w szumie.

Inną rodzinę krzywych przedstawiono na rys. 8. Są to krzywe zależności czasu pamięci od długości impulsu dla trzech różnych amplitud impulsu zapisywanego o długościach zmienianych w granicach 0,5 ÷ 45 μs. Dla każdej amplitudy uzyskiwano tu stan „nasycenia", ale czas pamięci maleje wyraźnie dla impulsu o wielkości poniżej 15 μs.




Rys. 8. Krzywe zależności czasu pamięci od długości pobudzania przy zapisie. Każda krzywa przedstawia pojedynczy impuls o podanej amplitudzie
$e_{gw}$ — szczytowa wartość amplitudy modulacji sygnału widzialnego istniejącej między siatką sterującą a katodą wyrzutni zapisującej; pozostałe oznaczenia jak na rys. 6 i 7

Rys. 7. Krzywe zależności czasu pamięci od impulsu na siatce sterującej. Każda krzywa odnosi się do pewnego impulsu o podanej długości
$E_{gr}$, $E_{tar}$, $E_{hv}$, $E_{gw}$ jak na rys. 6; $E_{rf}$ — wartość szczytowa modulacji częstotliwości radiowej, którą mierzono między siatką sterującą a katodą wyrzutni odczytującej; $I_{cw}$ — prąd piszący kolektora




Rys. 9. Krzywe zależności czasu pamięci od liczby impulsów podanych na siatkę zapisującą. Impulsy zapisywana w czasie $n \times 0{,}5$ s
oznaczenia jak na rys. 6, 7 i 8; linia ciągła — lampa z tarczą normalną; linia przerywana — lampa z tarczą cienką

Wreszcie na rys. 9 pokazano krzywe zależności czasu pamięci od ilości impulsów. Na tarczę podawano różne liczby impulsów o długości 1,0 μs, o trzech różnych amplitudach. Krzywe te wykazują, że $n$ impulsów o amplitudzie $a$ nie mają bynajmniej tego samego czasu pamięci co $n/2$ impulsów o amplitudzie $2a$. Wytłumaczyć to można na podstawie nieliniowego przebiegu krzywej pokazanej na rys. 6. W wyniku tej nieliniowości całkowity ładunek złożony na tarczy w obu przypadkach różni się zasadniczo, a zatem w konsekwencji różny jest czas pamięci.

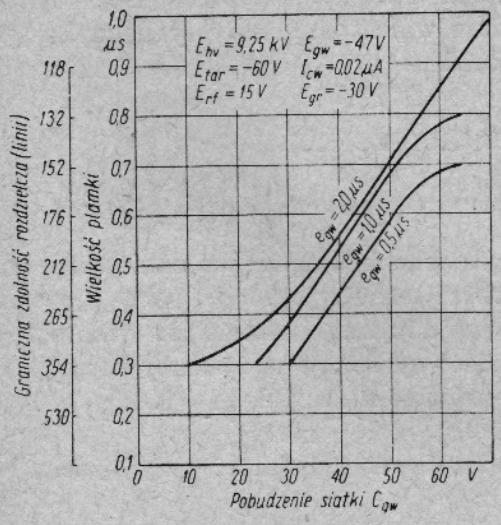
Doświadczenia nie wykazały zależności czasu pamięci od całkowitego ładunku promienia i od gęstości ładunku promienia[1]). Można stąd wnioskować, że czas pamięci zależy nie tylko od ładunku promienia lub jego gęstości, ale także od innych czynników, jak np. od emisji wtórnej [8,9].

### 3.2.3. *Rozmiary promienia*

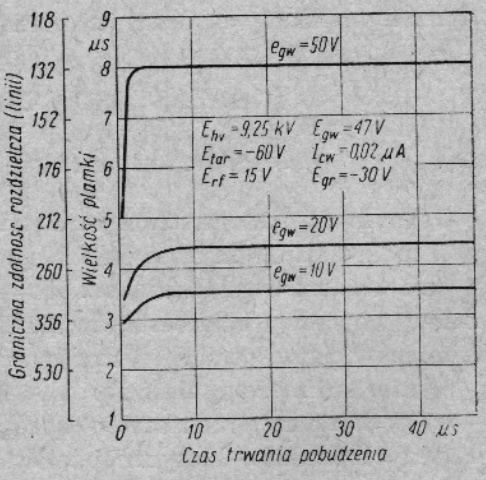
Krzywe pokazane na rysunkach 10 i 11 ilustrują zależność zachodzącą między wielkością plamki a wielkością i czasem trwania pobudzenia siatki zapisującej.

Widać z nich, że gdy osiągnięty zostaje warunek nasycenia, wzrost czasu trwania pobudzenia zapisu powoduje mały stosunkowo wzrost rozmiarów

[1]) Jako całkowity ładunek promienia rozpatrywano prąd promienia pomnożony przez czas trwania pobudzenia siatki zapisującej. Gęstość ładunku promienia oznacza ładunek promienia podzielony przez powierzchnię plamki.




Rys. 10. Zależność rozmiarów plamki na tarczy od pobudzenia siatki zapisującej oznaczenia jak na rys. 6, 7 i 8




Rys. 11. Zależność rozmiarów plamki od czasu trwania pobudzenia siatki zapisującej oznaczenia jak na rys. 6, 7 i 8

plamki w porównaniu ze zmianami wynikającymi ze wzrostu amplitudy pobudzenia zapisu.

W czasie przeprowadzanych doświadczeń tarcza była bombardowana promieniem czytającym w ten sposób, żeby czas przejścia promienia przez średnicę tarczy wynosił w przybliżeniu 53 μs. Rozmiary plamki mierzono w mikrosekundach w odcinkach odpowiadających połowie wielkości amplitudy w trakcie trwania odczytu. Dla uproszczenia założono, że nakładające się ładunki z dwóch przylegających do siebie elementów dodają się liniowo.

*3.2.4. Zjawisko wzrostu amplitudy*

W trakcie doświadczeń zauważono zaobserwowane już uprzednio zjawisko wzrostu amplitudy. Zjawisko to polega na tym, że amplituda sygnału wyjściowego w grafechonie wzrasta w miarę przebiegania odczytu od swojej wartości początkowej do pewnej wartości maksymalnej, a następnie opada do zera. Twórca grafechonu L. Pensak tłumaczy to zjawisko faktem, że dielektryk w trakcie zapisywania ładuje się ujemnie tylko w tych miejscach, w których przypadają oczka siatki. Te miejsca, na które przypada cień drutów, z których zrobiono siatkę, mają ładunek ujemny mniejszy. W czasie odczytywania nie wszystkie elektrony wtórne wyrzucane z miejsc bombardowanych (oczka siatki) padają na kolektor, ale osiadają częściowo na sąsiednich miejscach dielektryka, tam gdzie zasłonięty on jest drutami siatki. W ten sposób po jakimś czasie dochodzi do wyrównania potencjału między tymi miejscami i wtedy wszystkie elektrony wtórne padają na kolektor, co powoduje wzrost amplitudy sygnału. Zanikanie amplitudy zachodzi już normalnie.

## 4. ZASTOSOWANIE GRAFECHONU

### 4.1. Przetwornik obrazu radarowego

Jednym z ważniejszych zastosowań grafechonu jest przetwarzanie wskazań radaru panoramicznego (ppi) na obraz telewizyjny.

Jak wiadomo, urządzenia radarowe znajdują zastosowanie nie tylko do celów wojskowych, ale stanowią nieodzowny sprzęt w życiu cywilnym, a mianowicie w lotnictwie, marynarce, służbie ruchu itd.

Grafechon może znaleźć zastosowanie:

a) w łatwym przenoszeniu obrazu na pewne odległości przy użyciu zwykłych środków klasycznej telewizji;

b) w zastąpieniu wskaźników radarowych, możliwych do odczytywania jedynie w ciemnym pomieszczeniu, odbiornikami telewizyjnymi, na których obraz obserwować można przy pełnym oświetleniu;

c) w obserwacjach zmian w położeniu i ruchu obserwowanego obiektu dzięki znacznej pamięci elektrycznej tarczy grafechonu;

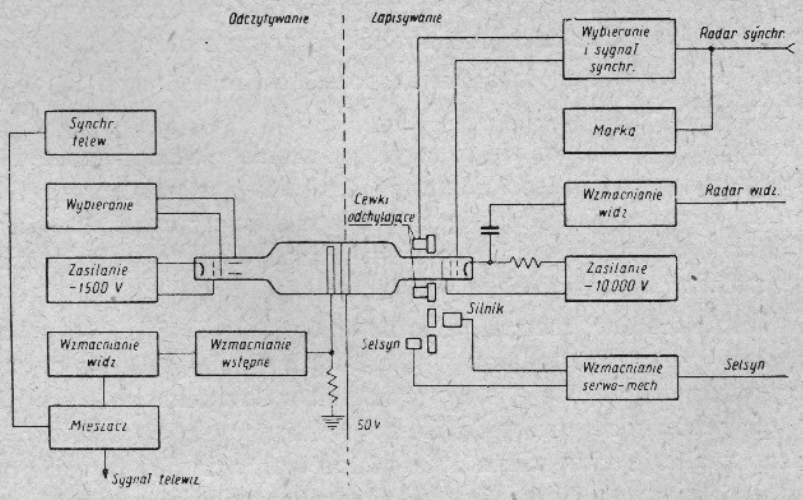
d) w nakładaniu obserwowanego obrazu na mapie lub też w komasowaniu go z innymi sygnałami.

Użycie grafechonu w obwodzie transformacji sygnałów radarowych na telewizyjne było w pewnej mierze konsekwencją niezależności przebiegu odczytywania od przebiegu zapisywania. W wyniku tej niezależności istnieje możność stworzenia różnicy częstotliwości sygnałów zapisywanych i odczytywanych.

Urządzenie takie, którego schemat przedstawiono na rys. 12, składa się zasadniczo z dwóch obwodów: obwodu zapisywania i obwodu odczytywania.

Obwód zapisywania złożony jest z klasycznych elementów indykatora radaru panoramicznego, a mianowicie: ze wzmacniacza sygnału widzialnego, z obwodu analizowania, markowania, zasilania cewek, z serwomechanizmu i zasilacza regulowanego wysokiego napięcia (10 kV). Obwód odczytywania obejmuje: wzmacniacz sygnału wizyjnego, generator napięcia piłowego obrazu i linii, generator synchro-telewizji, mieszacz oraz zasilacz 1500 V. Całe urządzenie zainstalowane jest w szafie o rozmiarach zewnętrznych 1,5 × 1 × 0,5 m.

W opisywanym przetworniku promień zapisujący jest modulowany częstotliwością w tym samym zakresie co sygnał wyjściowy wizji, w wyniku czego nie ma możliwości rozdzielenia tych dwóch sygnałów na podstawie ich częstotliwości. Można natomiast stworzyć różnicę częstotliwości między sygnałami zapisywanymi a sygnałami odczytywanymi przez modulo-




Rys. 12. Schemat ideowy przetwornika wskazań indykatora radaru panoramicznego na obraz widzialny telewizji

wanie promienia czytającego sygnałami o częstotliwości znacznie większej niż maksymalna częstotliwość występująca w sygnale zapisującym. Sygnał wyjściowy przenosi więc amplitudę modulowaną wielką częstotliwością, która może być wzmacniana i prostowana dla uzyskania żądanego sygnału widzialnego.

### 4.2. Oscyloskop pamięciowy

Innym zastosowaniem grafechonu jest tak zwany oscyloskop pamięciowy [3].

Stały wzrost szybkości przebiegania procesów w elektronice stwarza trudny problem obserwacji tych zjawisk o bardzo krótkich czasach trwania. Na przykład w zakresie mikrofal spotykamy się z koniecznością badania impulsów o długości 1 μs lub nawet krótszych. Podobnie przy badaniu różnych procesów jądrowych spotykamy procesy trwające nie dłużej niż $10^{-9}$ s.

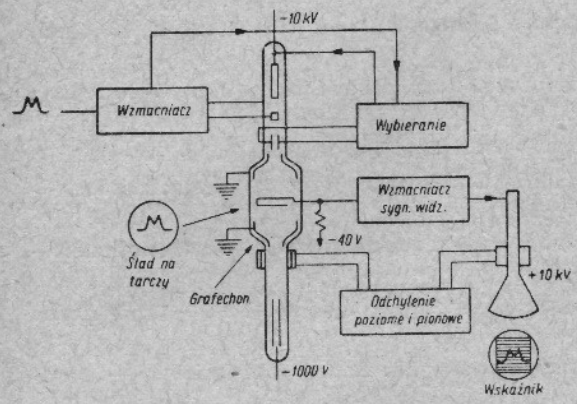
Ogólnie w takich przypadkach stosowane są dwie metody obserwacji. Jedną z nich jest obserwacja na ekranie fosforyzującym z utrzymaniem obrazu, druga zaś opiera się na własnościach pamięciowych grafechonu. W lampie tej bowiem istnieje, jak wiadomo, możność wytworzenia na tarczy pamięciowej obrazu badanego impulsu rozciągniętego w czasie, a następnie przeniesienia tego obrazu na ekran lampy telewizyjnej kineskopowej, gdzie może już bez specjalnych trudności być obserwowany wzrokowo.

Użycie grafechonu w układzie oscyloskopu pamięciowego wymaga zasilania promienia punktującego tarczę pamięciową, wzmocnienia obrazu elektronów wtórnych, a następnie rozłożenia go na monitorze.

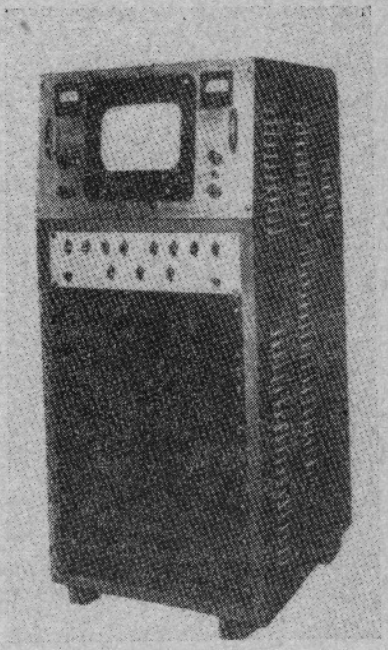
Schemat ideowy takiego urządzenia przedstawiono na rys. 13, jego wygląd zewnętrzny — na rys. 14.

Część odczytująca składa się ze zwykłego wzmacniacza sygnału widzialnego, układu odchylającego i lampy ekranowej z zasilaczem. Należy wspomnieć, że promień odczytujący jest modulowany częstotliwością rzędu 25 MHz, co pozwala stosować typowe wzmacniacze telewizyjne pośredniej częstotliwości dla sygnałów wizji.

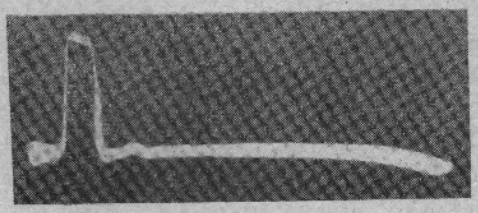
Odtwarzanie śladów metodą analizowania telewizyjnego pozwala na nieosiągalną innymi metodami giętkość tych śladów. Stosunkowo małe rozmiary tarczy pamięciowej w porównaniu z ekranem monitora pozwalają na otrzymanie obrazu widzialnego o dużej czułości. Opisany wyżej oscyloskop znajduje szczególnie duże zastosowanie do obserwacji przebiegu zjawisk jądrowych. Kilka śladów różnych przebiegów uzyskanych za pomocą oscyloskopu pamięciowego pokazano na rysunkach od 15 do 18.



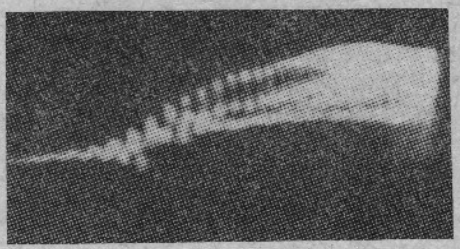

Rys. 13 Schemat ideowy oscyloskopu pamięciowego



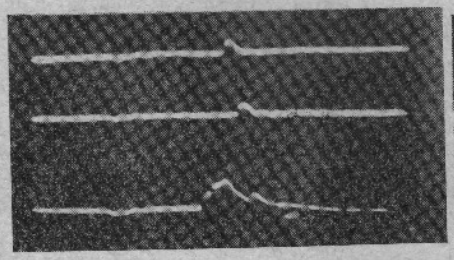
Rys. 14. Oscyloskop pamięciowy



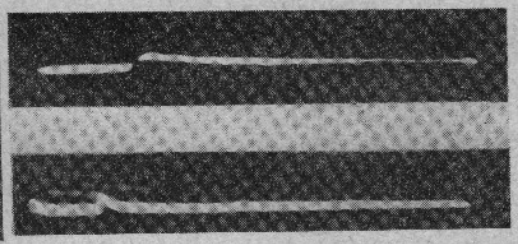
Rys. 15. Zdjęcie fotograficzne impulsu pojedynczego o długości 0,5 μs. Czas narastania wynosi $10^{-8}$ s



Rys. 16. Zdjęcie fotograficzne narastających impulsów oscylatora 50 MHz



Rys. 17. Zdjęcie fotograficzne impulsów wyjściowych z licznika scyntylacji widzialnych na oscyloskopie pamięciowym. Wszystkie ślady mają długość 1 μs



Rys. 18. Zdjęcie fotograficzne impulsu wychodzącego z licznika scyntylacji, odpowiadającego pojedynczemu elektronowi na wyjściu

## WYKAZ LITERATURY


1. Pensak L.: Graphechon — A Picture Storage Tube. — *RCA Rev.* Vol. 10 March 1949 p. 59—73.
2. Dyall W. T.: Development of an Improved Graphechon Storage Tube. — *RCA Rev.* Vol. 13 December 1952 p. 546—557 .
3. Flory L. E.: A Storage Oscilloscope. — *RCA Rev.* Vol. 12 June 1951 p. 220—229.
4. Benner A. H., Seeberger L. M.: Graphechon Writting Characteristics. — *RCA Rev.* Vol. 12 June 1951 p. 230—247.
5. Choffart P.: Technologie des tubes cathodiques à mémoire électrostatique. — *Onde électr.* Octobre 1956 p. 815—821.
6. Aste R.: Le transformateur d'image PPI — Télévision de la S.F.R. — *Onde électr.* Octobre 1956 p. 822—828.
7. Królikowski A.: Przegląd lamp obrazowych. Lampy pamięciowe. — *Elektronika* 1957 Nr 8 (22).
8. Litting C. N. W.: The Physics of Cathode Ray Storage Tubes. — *J. sci. Instrum.* Vol. 31 October 1954 p. 351—356.
9. Barbier P. A.: Depôt et retrait de charges électriques sur des isolants par emission secondaire. — *Ann. Radioélectr.* 1955 Nr 40 p. 192—214, Nr 41 p. 303—323.


*А. Круликовский*

### ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА С НАКОПЛЕНИЕМ ЗАРЯДОВ ТИПА ГРАФЕХОН

В статье обсуждено принцип действия электронно-лучевой трубки с накоплением зарядов типа графехон, её конструкцию и использование её в качестве преобразователя импульсов, передаваемых из пространственного радара на телевизионную картину, а также в качестве осциллоскопа с накоплением зарядов.

*A. Królikowski*

### STORAGE TUBE OF GRAFECHON TYPE

The principle of the grafechon type storage tube work is presented, also ist design and application as a converter of panoramic radar impulses into television image and as a storage oscilloscope.

*A. Królikowski*

### BILDSPEICHERRÖHRE GRAFECHON

Es werden Grundsätze der Arbeit einer Bildspeicherröhre Grafechon, deren Konstruktion und Verwendung als Umformer der Impulse vom panoramischen Radar auf das Fernsehbild sowie als Oszillograph mit einer Bildspeicherröhre besprochen.

*JERZY KLAMKA*
Zakł. Elektroniki IPPT PAN

621.315.592

# KONSTRUKCJE ORAZ WŁAŚCIWOŚCI ELEKTRYCZNE GERMANOWYCH DIOD WARSTWOWYCH

W artykule omówiono wartości parametrów charakterystyki statycznej diody warstwowej, wartości strat mocy powstałych w wyniku jej wysterowania, sprawność oraz zagadnienie chłodzenia (opracowane na podstawie danych z literatury). Oprócz tego opisano konstrukcje diod oraz podano parametry elektryczne prototypów diod mocy opracowanych przez autora w Zakładzie Elektroniki IPPT PAN

## 1. WSTĘP

Rozpatrując działanie elementu prostującego należy określić jego właściwości i parametry. W idealnym przypadku oporność w kierunku przewodzenia prostownika powinna być równa zeru, natomiast oporność w kierunku wstecznym powinna być nieskończenie wielka. W praktyce jednak żaden prostownik nie spełnia tych warunków, w związku z czym na elemencie prostującym powstają straty mocy powodujące nagrzewanie się go oraz wywołujące cieplną niestabilność charakterystyki statycznej. Powstaje więc zagadnienie odprowadzenia wytworzonego ciepła z diody, a więc zagadnienie chłodzenia jej.

Diody germanowe odznaczają się dużą gęstością prądu, której wartość przekracza 100 A/cm$^2$ przy spadku napięcia równym 0,6 V, podczas gdy w prostownikach selenowych wynosi ona 0,025 A/cm$^2$, a w miedziowych 0,1 A/cm$^2$ przy tym samym spadku napięcia. Przeciętne wartości napięć wstecznych, osiągane w pojedynczych elementach są następujące: w selenowych ok. 40 V, w miedziowych kilka woltów, a w germanowych 200 V.

Z przytoczonych danych liczbowych wynika, że w przypadku zastosowania prostowników germanowych uzyskuje się bardzo dużą sprawność prostowania, a także bardzo małe rozmiary urządzeń zasilających.

Niniejsza praca jest dalszym ciągiem artykułu pt. Technologia złącz $p$-$n$, zamieszczonego w Nr 10—11 z 1957 roku.

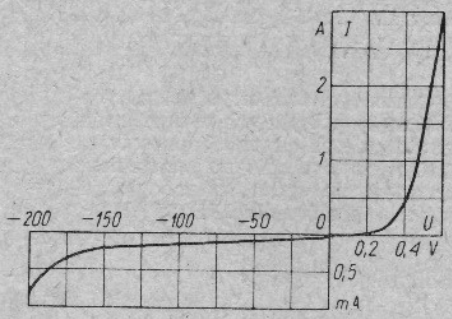
## 2. PARAMETRY CHARAKTERYSTYKI STATYCZNEJ DIODY WARSTWOWEJ

Na podstawie pomiarów różnych diod warstwowych wykonanych w Zakładzie Elektroniki oraz za granicą można przyjąć, że charakterystyka statyczna w kierunku przewodzenia ma przebieg taki, jak pokazano na rys. 1. Charakterystyka statyczna w kierunku wstecznym jest w dużym

L. H. — 151

zakresie prawie liniowa, a jej nachylenie w wysokim stopniu zależy od wielkości powierzchni złącza.

Część prostoliniowa charakterystyki w kierunku przewodzenia zaczyna się już przy napięciu o wartości ok. 0,45 V, a jej nachylenie w tym zakresie odpowiada oporności wewnętrznej diody. W praktyce jednak przebieg charakterystyki w kierunku przewodzenia można uważać za liniowy z tym zastrzeżeniem, że prosta nie zaczyna się w punkcie *0,0*, lecz jest przesunięta o około $U^* = 0{,}4$ V (rys. 1). Oporność właściwa przewodzenia $r_p$ wyznaczona nachyleniem prostej (rys. 1) wynosi dla diod warstwowych około $2 \cdot 10^{-3}$ $\Omega cm^2$. Gęstość prądu $i_p$, obliczana zwykle przy napięciu o wartości 0,6 V, osiąga wartość 100 $A/cm^2$.




Rys. 1. Charakterystyka statyczna diody germanowej z uwzględnieniem gęstości prądu

Wsteczna charakterystyka statyczna diody w zakresie prądu nasycenia jest dość płaska i w obliczeniach technicznych można ją uważać za liniową. Wartość napięcia wstecznego $U_w$ oblicza się w punkcie, w którym występuje już znaczne zakrzywienie charakterystyki (rys. 1).

Wartość prądu wstecznego $I_w$ odpowiada wartości napięcia wstecznego $U_w$ i nie przekracza jednej tysięcznej części wartości prądu wyprostowanego przewidzianego dla danej diody. Zależy to od powierzchni czynnej złącza $p$-$n$ oraz od warunków jej chłodzenia.

## 3. STRATY MOCY W DIODZIE WARSTWOWEJ ORAZ JEJ SPRAWNOŚĆ

Znając przebieg charakterystyki statycznej diody można stwierdzić, jakie w czasie jej wysterowania wystąpią straty mocy, wywołane zarówno prądem przewodzenia, jak i prądem wstecznym. Ze względu na dużą sprawność układu jest rzeczą konieczną, aby spełnione były następujące warunki:

dla kierunku przewodzenia

$$R_p \ll R_{obc} \tag{1}$$

dla kierunku wstecznego

$$R_w \gg R_{obc} \tag{2}$$

przy czym: $R_p = r_p/s$, gdzie $r_p$ [$\Omega cm^2$], $s$ [$cm^2$]; $R_w$ — oporność wsteczna diody.

Powyższe zależności wpływają bezpośrednio na wymiary powierzchni skutecznej złącza p-n diody pracującej z określonym obciążeniem $R_{obc}$.

Biorąc pod uwagę warunek (1) otrzymuje się, praktycznie biorąc, sinusoidalny przebieg prądu przewodzenia, $I_p = I_0 \sin \omega t$, co usprawiedliwia uproszczenie charakterystyki w kierunku przewodzenia. Prąd w obwodzie jest określony głównie przez oporność obciążenia. Jeśli dioda zostanie spolaryzowana w kierunku wstecznym, to przy spełnieniu warunku (2) cały spadek napięcia przypadnie na element prostujący.

### 3.1. Straty mocy w kierunku przewodzenia

W chwili gdy na diodę przypadnie połowa napięcia sinusoidalnego, polaryzująca ją w kierunku przewodzenia, wówczas spadek napięcia na diodzie według charakterystyki przyjętej w p. 2 będzie następujący:

$$U_p(t) = U^* + i_p r_p \tag{3}$$

Dla przebiegu sinusoidalnego jest

$$U_p(t) = U^* + r_p i_0 \sin \omega t \tag{4}$$

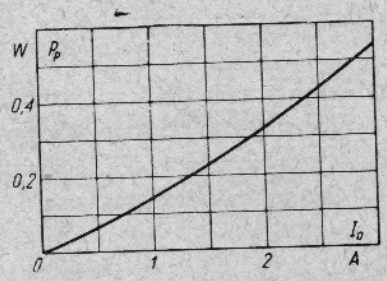
gdzie $i_0$ — amplituda gęstości prądu przewodzenia [A/cm$^2$].

Straty mocy powstałe wskutek spolaryzowania diody połową okresu w kierunku przewodzenia

$$P_p = \frac{1}{T}\int_0^{T/2} S \cdot i_p(t) \cdot U_p(t)\,dt \approx \frac{Si_0}{2\pi}\int_0^{\pi} [U^* + r_p i_0 \sin \omega t] \sin \omega t \cdot d\omega t \approx$$

$$\approx S\left[\frac{i_0 U^*}{\pi} i_0 + \frac{r_p}{4} I_0^2\right] \approx \frac{U^*}{\pi} I_0 + \frac{R_p}{4} I_0^2 \tag{5}$$

gdzie: $S$ — powierzchnia skuteczna złącza $p$-$n$; $I_0$ — amplituda prądu przewodzenia.




Rys. 2. Przebieg strat mocy powstałych na diodzie w czasie jej spolaryzowania w kierunku przewodzenia w zależności od prądu wyprostowanego (zależność teoretyczna)

Straty występujące na jednostkę powierzchni skutecznej złącza $p$-$n$ w kierunku przewodzenia

$$P_{ps} = \frac{P_p}{S} = \frac{U^*}{\pi} i_0 + \frac{r_p}{4} i_0^2 \approx 13 \cdot 10^{-2} I_0 + 5 \cdot 10^{-4} I_0^2 \tag{6}$$

### 3.2. Straty mocy w kierunku wstecznym

Jeżeli do układu prostowniczego doprowadzi się napięcie sinusoidalne $U_0 \sin \omega t$ w kierunku wstecznym, to całe napięcie przypadnie na diodę zgodnie z wyrażeniem (2). Zakładając, że oporność w kierunku wstecznym jest stała, otrzyma się prąd wsteczny również o charakterze sinusoidalnym

$$I_w = I_{w0} \sin \omega t \tag{7}$$

Straty mocy powstałe na diodzie przy spolaryzowaniu jej w kierunku wstecznym

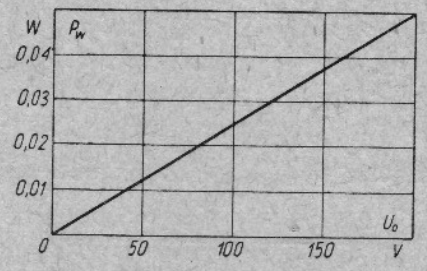
$$P_w = \frac{I_{w0} U_0}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin^2 \omega t \cdot \mathrm{d}\omega t = \frac{1}{3} I_{w0} U_0 \tag{8}$$

Jeśli amplituda doprowadzonego napięcia zmiennego jest równa napięciu wstecznemu diody, tzn. $U_0 = U_w$, to

$$P_w = \frac{1}{4} I_w U_w \tag{9}$$

Moc strat na jednostkę powierzchni jest zatem

$$P_{ws} = \frac{P_w}{S} = \frac{1}{4} i_{w0} U_0 \tag{10}$$




Rys. 3. Przebieg strat mocy powstałych na diodzie w czasie jej spolaryzowania w kierunku wstecznym w zależności od amplitudy doprowadzonego napięcia (zależność teoretyczna)

Amplitudę prądu wstecznego można odczytać na podstawie charakterystyki statycznej znając amplitudę wysterowania. Jeżeli dioda jest w pełni obciążona, należy uwzględnić aktualną wartość prądu wstecznego, która zwiększa się w miarę nagrzewania się diody.

### 3.3. Moc całkowita

W czasie pełnego okresu zarówno na diodzie, jak i na oporniku obciążenia wydziela się moc. Moc całkowita składa się wobec tego z mocy strat występujących na diodzie w czasie spolaryzowania jej w kierunku prze-

wodzenia i w kierunku wstecznym oraz z mocy użytecznej wydzielonej na oporniku obciążenia. W praktyce nie bierze się pod uwagę mocy wydzielonej na oporniku obciążenia w czasie spolaryzowania diody zaporowo, ponieważ — zgodnie z założeniem (2) — całe napięcie w tym przypadku występuje na diodzie.

Moc całkowita za pełny okres

$$P_c = P + P_w \tag{11}$$

przy czym

$$P = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} I_0 U_0 \sin^2 \omega t \cdot \mathrm{d}\pi t = \frac{1}{4} I_0 U_0 \tag{12}$$

jest to moc wydzielona w całym obwodzie podczas spolaryzowania diody w kierunku przewodzenia.

W praktyce wartość mocy $P$ odpowiada wartości mocy wyprostowanej.

## 3.4. Sprawność

Sprawność elementu prostującego

$$\eta = \frac{P_c - P_p - P_w}{P_c} = 1 - \frac{P_p}{P_c} - \frac{P_w}{P_c} \tag{13}$$

Moc całkowita według zależności (9), (8) i (5)

$$P_c = \frac{1}{4} I_0 U_0 + \frac{1}{4} I_{w0} U_0 = \frac{1}{4} I_0 U_0 \left(1 - \frac{I_{w0}}{I_0}\right) \tag{14}$$

Ponieważ

$$\frac{I_{w0}}{I_0} \ll 1$$

przeto wyrażenie (12) można napisać w postaci uproszczonej

$$P_c \approx P = \frac{1}{4} I_0 U_0 \tag{15}$$

Poszczególne składniki wyrażenia (13) są następujące:

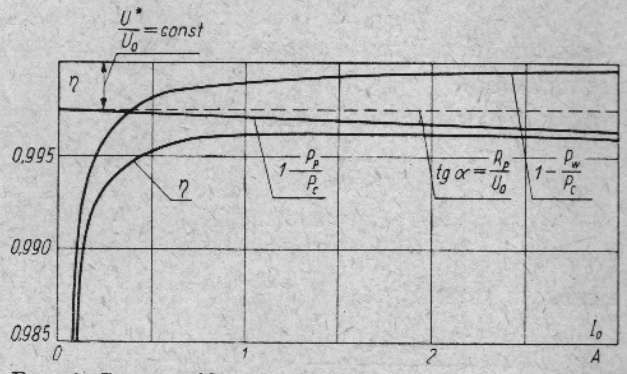
$$\frac{P_p}{P_c} = \frac{\frac{1}{\pi} S U^* i_0 + \frac{1}{4} S r_p i_0^2}{\frac{1}{4} I_0 U_0} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{U^*}{U_0} + R_p \frac{I_0}{U_0} \tag{16}$$

$$\frac{P_w}{P_c} = \frac{\frac{1}{4} U_0 I_w}{\frac{1}{4} U_0 I_0} = \frac{I_w}{I_0} \tag{17}$$

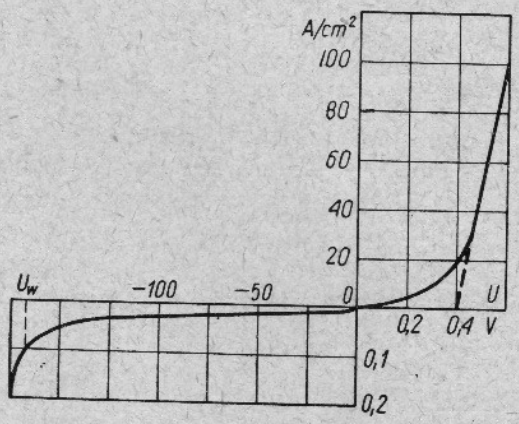
a więc sprawność

$$\eta = 1 - \frac{4}{\pi} \cdot \frac{U^*}{U_0} - R_p \frac{I_0}{U_0} - \frac{I_w}{I_0} \tag{18}$$

Z wykresu na rys. 4 widać, że jeżeli stosunek prądu przewodzenia do prądu wstecznego przekroczy wartość 500, to krzywa sprawności będzie miała przebieg dostatecznie płaski. Zwiększając znaczenie wartości prądu




Rys. 4. Sprawność $\eta$ w zależności od amplitudy przewodzenia $I_0$ dla diody o prądzie wyprostowanym $I_{śr}$ = = 1 A ($I_w$ = 1 mA)




Rys. 5. Charakterystyka statyczna diody jednoamperowej (DGM20-1)

wyprostowanego otrzymuje się niewielkie zmniejszenie sprawności. Nachylenie krzywej jest tym większe, im oporność diody w kierunku przewodzenia jest większa, a więc im mniejsza jest powierzchnia skuteczna złącza *p-n*. Podwyższenie napięcia wstecznego diody (w założeniu, że jest ono całkowicie wykorzystane) powoduje zmniejszenie się nachylenia tej krzywej. Wartość tego napięcia zależy jednak od powierzchni skutecznej złącza; maleje ona w miarę zwiększania się powierzchni zł

cza. Tak więc ze względu na sprawność należy dobrać pewne optimum powierzchni skutecznej złącza $p$-$n$.

### 3.5. Przykład obliczania parametrów diody

W celu zorientowania się o wartości różnych parametrów przytoczono przykład obliczenia diody o prądzie $I_{śr} = 1$ A, której charakterystyka jest pokazana na rys. 5, a konstrukcja na rys. 10. Pozostałe wielkości są następujące: $S = 3$ mm$^2$; $R_p = 0{,}07\ \Omega$; $U_0 = 200$ V; $I_0 = \pi = 3{,}14$ A.

Moc strat w kierunku przewodzenia według wzoru (5)

$$P_p = \frac{0{,}4 \cdot 3{,}14}{3{,}14} + \frac{0{,}07}{4} 3{,}14^2 = 0{,}4 + 0{,}18 \approx 0{,}6\ \text{W}$$

Moc strat w kierunku wstecznym według wzoru (9)

$$P_w = \frac{1 \cdot 10^{-2} \cdot 200}{4} = 0{,}05\ \text{W}$$

Suma strat mocy na diodzie wynosi 0,65 W. Straty tego rzędu wypadają również na podstawie pomiarów dokonanych za pomocą termistora. Temperatura była mierzona bezpośrednio na złączu, termistor był wyskalowany w funkcji mocy.

Sprawność diody według wzoru (18)

$$\eta = 1 - \frac{4}{\pi} \cdot \frac{0{,}4}{200} - 0{,}07 \frac{3{,}14}{200} - \frac{10^{-3}}{3{,}14} = 0{,}996$$

Moc wyprostowana według wzoru (10)

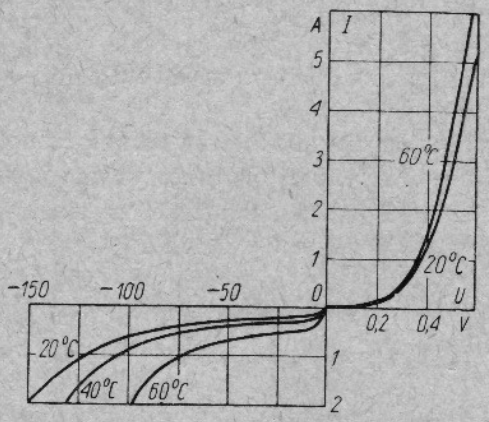
$$P = \frac{1}{4} 3{,}14 \cdot 200 = 157\ \text{W}$$

Obciążenie stratami mocy powierzchni złącza wynosi $\frac{0{,}65}{3} = 0{,}2$ W/mm$^2$.

## 4. CHŁODZENIE

Chłodzenie jest poważnym problemem w dziedzinie konstrukcji elementów półprzewodnikowych. Straty mocy $P_p$ oraz $P_w$ powodują nagrzewanie się płytki germanu ze złączem $p$-$n$, co z kolei wywołuje zwiększenie się poszczególnych strat wskutek zmiany charakterystyki statycznej diody przy różnych temperaturach (rys. 6). Jak widać z wyżej wspomnianej charakterystyki, część wsteczna w większym stopniu zależy od temperatury

niż część przewodząca, w związku z czym kilkakrotnie zwiększają się straty mocy $P_w$, podczas gdy straty mocy $P_p$ nieznacznie maleją. Należy więc dobrać optymalną powierzchnię skuteczną złącza $p$-$n$ przy założonej wartości prądu wyprostowanego $I_{śr}$ oraz doprowadzonego napięcia $U_0$, tak aby wielkości poszczególnych strat po nagrzaniu się prostownika były odpowiednio proporcjonalne.




Rys. 6. Charakterystyka statyczna diody germanowej DGM15-2 dla różnych temperatur złącza $p$-$n$

W diodach mocy wymaga się, aby $P_p > P_w$. Spełnienie tego warunku jest konieczne ze względu na pewność pracy diody. Jeżeli dioda jest przeciążona, prowadzi to do niestabilności cieplnej, gdyż kilkakrotne zwiększenie się wartości strat mocy w czasie pracy stwarza nadmiar wytworzonego ciepła, które nie może być w odpowiednim czasie odprowadzone przez daną powierzchnię chłodzącą, co ostatecznie prowadzi do zniszczenia diody.

Przy założonych wartościach napięcia $U_0$ oraz prądu $I_{śr}$ dla danej diody straty stabilizują się w wyniku powstania równowagi między wartością mocy chłodzenia $P_{ch}$ a wartością mocy strat $P_{str}$

$$P_{ch} = P_{str} = P_p + P_w \tag{19}$$

Chłodzenie zależy od rozkładu temperatur oraz od różnicy między temperaturą elementu prostującego $T_p$ a temperaturą otoczenia $T_0$

$$P_{ch} = \alpha (T_p - T_0) \tag{20}$$

Najwyższą temperaturę pracy złącza $p$-$n$ zakłada się dla germanu o temperaturze 65 °C. Jest ona nieco niższa od najwyższej temperatury pracy germanu wynoszącej 80 °C, w której zachodzą już pewne zjawiska fizyczne powodujące nieodwracalne zmiany charakterystyki statycznej w zależności od temperatury.

Współczynnik odprowadzania ciepła $\alpha$ charakteryzuje chłodnicę diody. Jego wartość zależy od materiału i powierzchni blach chłodzących, ich geometrycznego kształtu oraz czynnika chłodzącego, a więc wody, powietrza itp. Wartość współczynnika odprowadzania ciepła ustala się na podstawie wyników doświadczeń lub — w przypadkach mniej skomplikowanych — oblicza się matematycznie.

W praktyce wartość współczynnika $\alpha$, a więc dobroć chłodnicy można zwiększyć przez zwiększenie średnicy blach chłodzących. Jest to możliwe

do pewnej granicy, po przekroczeniu której radiatory są prawie zupełnie niewykorzystane. Na przykład jednym z kryteriów jest warunek, aby różnica temperatur na radiatorze była mniejsza od różnicy między temperaturą blachy a temperaturą otoczenia.

W przypadku diod warstwowych, w których wartości średnic złącz $p$-$n$ zawierają się w granicach od jednego do kilku milimetrów, wystarczy aby zadania radiatora wykonywała blacha miedziana grubości 1 mm, o średnicy od kilku do kilkunastu centymetrów. Wytworzone ciepło jest odprowadzane przez promieniowanie i przewodzenie.

Diody germanowe średniej i dużej mocy (wartość prądu wyprostowanego zawiera się w granicach od kilkudziesięciu do kilkuset amperów) wymagają bardziej intensywnego chłodzenia za pomocą na przykład wody lub powietrza.

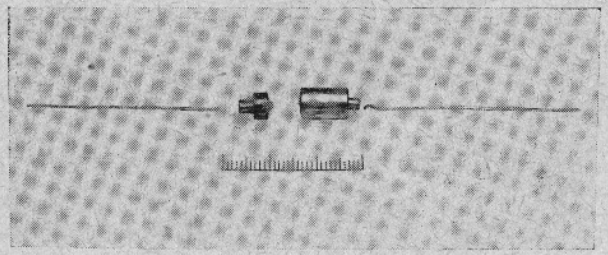
## 5. PROTOTYPY GERMANOWYCH DIOD WARSTWOWYCH

W zależności od przeznaczenia diody warstwowe mogą mieć różne konstrukcje. Zwykle ze względu na lepsze odprowadzenie ciepła mają one postać oprawek metalowych.

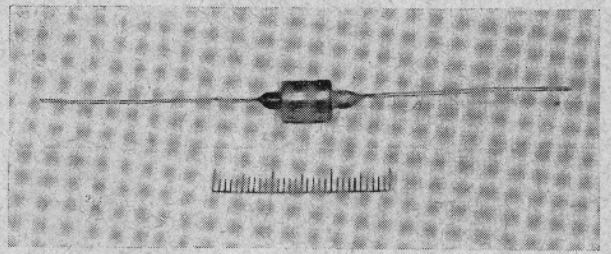
Diody małej mocy o prądzie wyprostowanym dochodzącym do 300 mA nie wymagają dodatkowych radiatorów — są one wystarczająco chłodzone przez własną obudowę. W tego rodzaju diodzie złącze $p$-$n$ jest przylutowane w próżni do podstawki miedzianej mającej kształt tłoczka. W powietrzu przylutowuje się elektrodę do indu, a następnie nakłada się aluminiowy cylinder z izolacyjnym przepustem, przez który elektroda przechodzi do indu. Po tej operacji cylinder zagina się u dołu do wewnątrz (drekowanie) umieszczając go na uchwycie wirującym. Końcową czynnością jest przylutowanie dolnej elektrody do tłoczka oraz zalutowanie przepustu.

O wiele prostszą konstrukcję posiada dioda jednoamperowa. Złącze $p$-$n$ jest umieszczone na śrubie miedzianej, którą po przylutowaniu górnej elektrody wykonanej z linki miedzianej wkręca się do oprawki z okrągłym radiatorem. Wystającą linkę obcina się, a następnie zalutowuje się wyjście. Rurka wystająca z przepustu izolacyjnego jest specjalnie wydłużona, aby móc do niej dołączyć się za pomocą kapturka podobnie jak w lampach pokazanych na rys. 10.

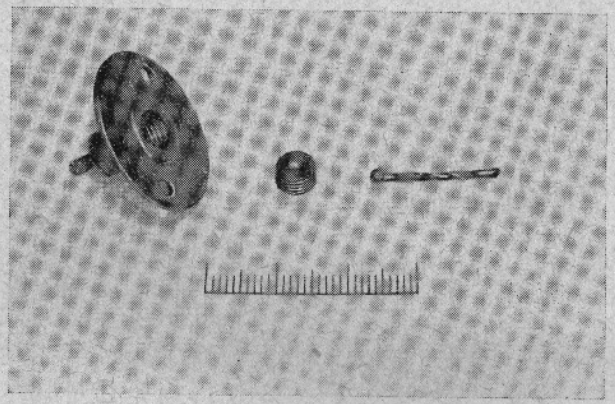
Diody warstwowe przeznaczone do prostowania prądów 2, 5 i 10 A mają konstrukcje w postaci śruby, którą wkręca się do blachy chłodzącej, na przykład do podstawy metalowej. Oprawki wykonane są z miedzi ze względu na jej dobre właściwości przewodzenia ciepła. Diody prostujące



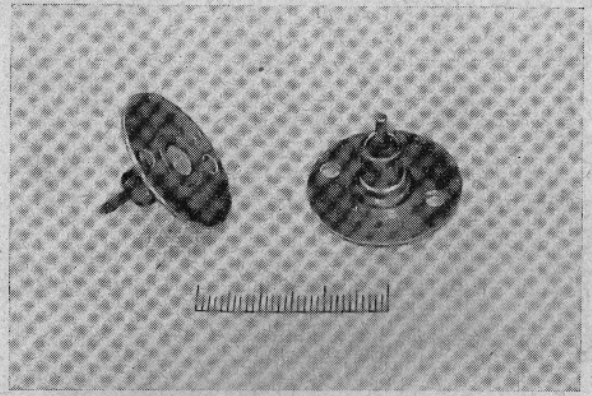
Rys. 7. Części składowe diody warstwowej o prądzie wyprostowanym 300 mA



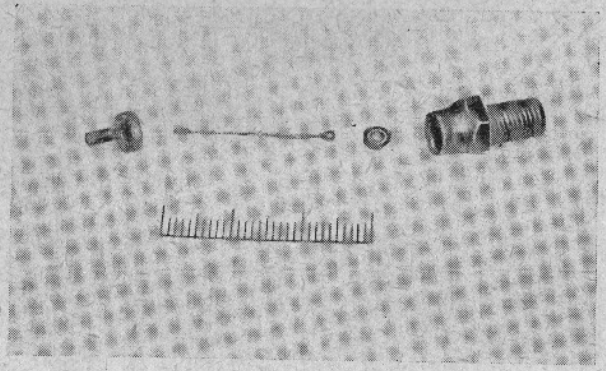
Rys. 8. Warstwowa dioda germanowa DGM30-03 o prądzie wyprostowanym 300 mA i napięciu dochodzącym do 300 V



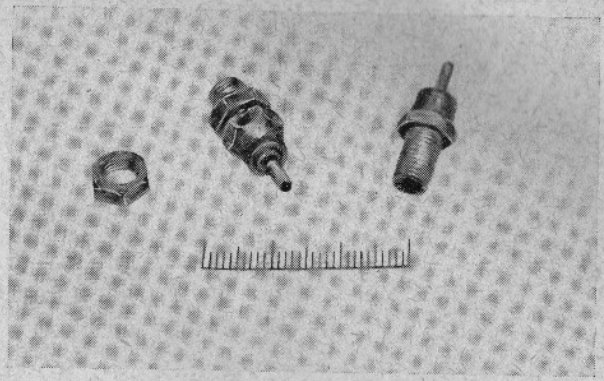
Rys. 9. Części składowe diody o prądzie wyprostowanym 1 A z własnym radiatorem chłodzącym



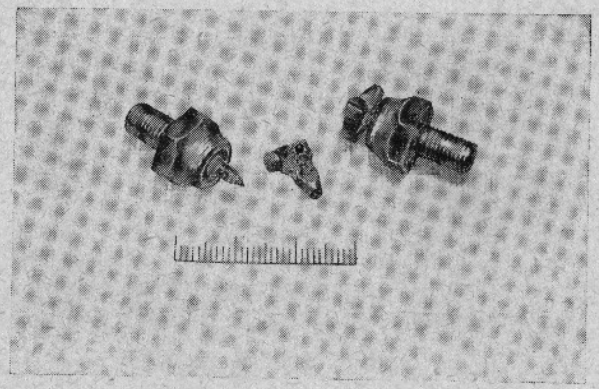
Rys. 10. Warstwowa dioda germanowa o prądzie wyprostowanym 1 A i napięciu wstecznym dochodzącym do 200 V



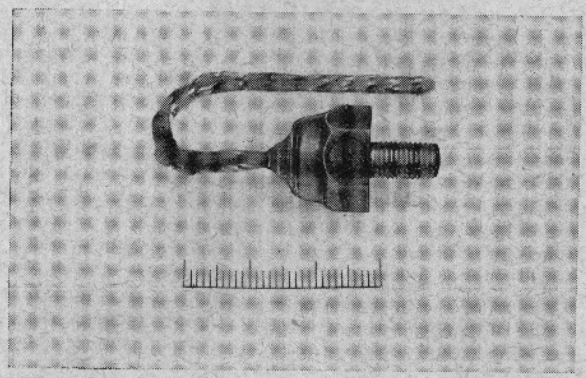
Rys. 11. Części składowe diody o prądzie wyprostowanym 2 A



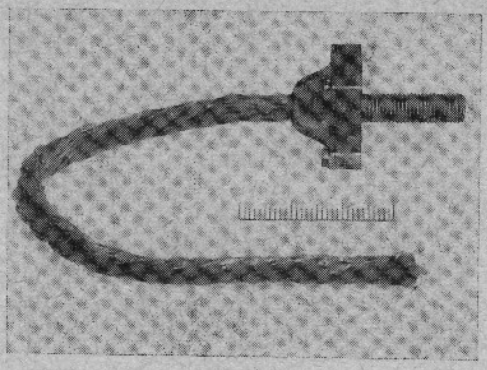
Rys. 12. Germanowa dioda warstwowa o prądzie wyprostowanym 2,5 A i napięciu wstecznym dochodzącym do 150 V



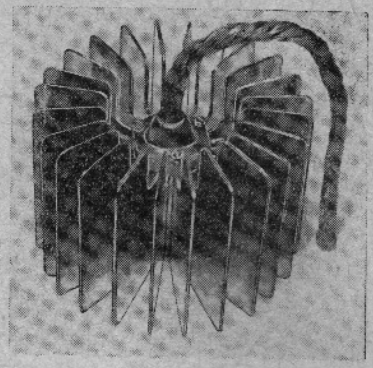
Rys. 13. Germanowa dioda warstwowa o prądzie wyprostowanym 5 A i napięciu wstecznym 100 V



Rys. 14. Germanowa dioda warstwowa o prądzie wyprostowanym 10 A i napięciu wstecznym 80 V



Rys. 15. Germanowa dioda warstwowa o prądzie wyprostowanym 20 A i napięciu wstecznym dochodzącym do 70 V, przeznaczona do pracy ze specjalnym radiatorem chłodzącym



Rys. 16. Germanowa dioda warstwowa (taka sama jak pokazana na rys. 15) z radiatorem chłodzonym powietrzem

prąd kilkudziesięciu amperów wymagają bardziej intensywnego chłodzenia na przykład strumieniem powietrza.

We wszystkich wspomnianych konstrukcjach german jest przylutowany do masy diody, ponieważ jego zdolność przewodzenia ciepła jest dwukrotnie większa niż indu. Złącza *p-n* są zalewane masą epoksydową chroniącą je przed wpływem atmosfery i wilgoci.

## 6. ELEKTRYCZNE WŁAŚCIWOŚCI PROTOTYPÓW DIOD GERMANOWYCH

Diody germanowe mają małe rozmiary, dużą sprawność (rzędu ok. 99%) oraz małą oporność w kierunku przewodzenia. Posiadają one wady, jak na przykład duży wpływ temperatury na parametry diody, występowanie prądu wstecznego oraz nieprzydatność do pracy przy częstotliwości większej niż 100 kHz.

Skonstruowanie warstwowych diod germanowych stanowi duży krok naprzód w dziedzinie prostowników stykowych. Prostowniki germanowe przewyższają na przykład prostowniki selenowe zarówno sprawnością, jak i napięciem wstecznym (ok. 10 razy) oraz gęstością prądu (ok. 4000 razy przy $U_p = 0{,}6$ V).

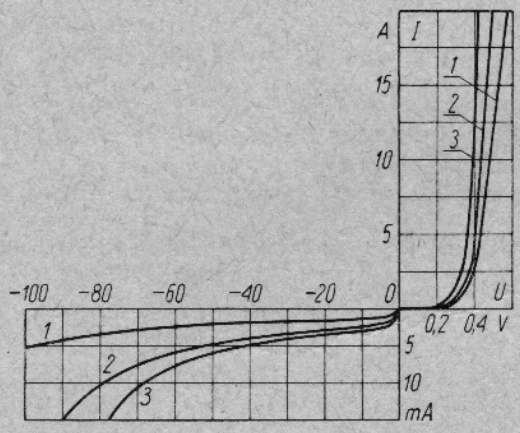
Poniżej podane są niektóre parametry elektryczne prototypów diod germanowych, których konstrukcja została opisana w p. 5. Oczywiście, podano prawie najwyższe napięcia i największe prądy, jakie uzyskano dla danego typu diod.

W podanych oznaczeniach diod litery DKM są symbolem germanowej diody warstwowej, pierwsza lub dwie pierwsze cyfry po literach oznaczają wartość napięcia zmiennego w dziesiątkach woltów, następne cyfry (po kresce) oznaczają wartość prądu wyprostowanego w amperach, przy czym jeżeli przed cyfrą występuje zero, to oznacza to dziesiąte części ampera.

Najwyższe napięcie zmienne jest określone jako skuteczna wartość napięcia dla prostownika w układzie jednopołówkowym z obciążeniem rzeczywistym i wynosi $U_w/\sqrt{2}$. Jeżeli na wyjściu prostownika znajduje się filtr pojemnościowy, to wartość ta będzie dwukrotnie mniejsza, tzn.

$$\frac{U_w}{2\sqrt{2}} \approx \frac{U_w}{3}$$

Tak samo określa się najwyższe napięcie zmienne dla diod w układzie dwupołówkowym z obciążeniem rzeczywistym i pojemnościowym.




Rys. 17. Charakterystyki statyczne germanowych diod warstwowych o prądzie wyprostowanym 5, 10 i 20 A

Największy prąd wyprostowany oblicza się na podstawie wielkości złącza $p$-$n$ oraz przewidzianych możliwości chłodzenia dla danej oprawki. Spadek napięcia przy pełnym obciążeniu odpowiada średniej wartości prądu wyprostowanego i wartość tę można odczytać z charakterystyki statycznej. Pozostałe parametry opisane są w p. 3.

Charakterystyki statyczne tych diod pokazano na rys. 5, 6 i 17, konstrukcje zaś na rys. 8, 10, 12, 13, 14 i 16.

| Oznaczenie diody | DGM30-03 | DGM20-1 | DGM15-2 | DGM10-5 | DGM8-10 | DGM7-20 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Najwyższe napięcie zmienne [V] (wartość skuteczna) | 210 | 140 | 150 | 70 | 55 | 50 |
| Największy prąd wyprostowany [A] (wartość średnia) | 0,3 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 |
| Napięcie wsteczne [V] (wartość szczytowa) | 300 | 200 | 150 | 100 | 80 | 70 |
| Prąd wsteczny [mA] odpowiadający napięciu wstecznemu | 1 | 1 | 2 | 5 | 10 | 10 |
| Spadek napięcia [V] przy pełnym obciążeniu | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,45 | 0,45 | 0,45 |
| Moc wyprostowana diody [W] przy $U_w = U_0$ | 71 | 157 | 237 | 395 | 635 | 1110 |
| Strata mocy w kierunku przewodzenia [W] | 0,15 | 0,6 | 1,1 | 2,9 | 5,7 | 11 |
| Strata mocy w kierunku wstecznym [W] | 0,07 | 0,05 | 0,07 | 0,12 | 0,20 | 0,18 |

## WYKAZ LITERATURY

1. Brunke F.: Eigenschaften und Herstellung von Selen- und Kupferoxydulgleichtern. Halbleiterprobleme W. Schottky Bd. I.
2. Herlet A., Hoffman A.: Thermische Stabilität und Kühlprobleme bei Leistungsgleichrichtern. Halbleiterprobleme W. Schottky Bd. II.

3. Machin C. F.: Semiconductor High Power Rectifiers. — Research Vol. 8 July 1955.
4. Klamka J.: Germanowe diody mocy. — Elektronika 1957 Nr 6.
5. Majewski Z., Klamka J.: Prostowniki germanowe. — *Prz. telekom.* 1956 Nr 11.

*E. Клямка*

## КОНСТРУКЦИИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕРМАНИЕВЫХ ПЛОСКОСНЫХ ДИОДОВ

На основании данных специальной литературы приведены величины параметров статической характеристики плоскостного диода, величины потерь мощности управления, коэффициент полезного действия, а также обсуждены вопросы его охлаждения.

Кроме того указаны: конструкции диодов, электрические параметры прототипов диодов мощности, разработанных автором в Лаборатории Электроники Института Основных Проблем Техники Польской Академии Наук.

*J. Klamka*

## DESIGNS AND ELECTRICAL PROPERTIES OF GERMANIUM JUNCTION DIODES

Values of static characteristic parameters of the junction diode, values of the power-losses which follow as a result of the diode operation in a dynamic circuit and also capacity and the cooling problem (based on data from the literature) are discussed. Furthermore diode designs are presented and electrical parameters of high-power rectifier prototypes are given which are worked out by the author in the Electronic Laboratory of the Institute for Fundamental Technical Problems at the Polish Academy of Science.

*J. Klamka*

## KONSTRUKTION UND ELEKTRISCHE EIGENSCHAFTEN DER GERMANIUMFLÄCHENDIODEN

In dem Artikel sind Kennwerte von Parametern der statischen Kennlinien einer Flächendiode, Werte der Verlustleistung, die als Resultat deren Steuerung entstehen, Leistungswert und Probleme der Kühlung besprochen (bearbeitet auf dem Grunde der Fachliteratur).

Es werden auch Diodenkonstruktionen und elektrische Kennwerte von Prototypen der Leistungsdioden beschrieben, die von dem Verfasser in dem Laboratorium der Elektronik der Polnischen Akademie der Wissenschaften bearbeitet waren.

## PRZEGLĄD CZASOPISM

**Katody tlenkowe z „zapasowym" źródłem baru.** T. I m a i: Barium Supplied Oxide Coated Cathodes. — *J. Phys. Soc. Japan* 1957 p. 831.

Bez względu na to, jaki jest mechanizm działania katody tlenkowej wolny metaliczny bar odgrywa zasadniczą rolę w procesie emisji katody.

Przeprowadzono prace badawcze nad uzyskaniem katod tlenkowych o dużej aktywności. Odpowiednia ilość domieszek redukujących w niklu, który stanowi podłoże dla warstwy tlenków, sprzyja wytworzeniu aktywnej warstwy emisyjnej. Tworzy się jednak również warstwa pośrednia, która ujemnie wpływa na charakterystykę lampy w czasie jej pracy. Z tego powodu należy ograniczać ilość domieszek do niklu katodowego. Stąd też wynika konieczność znalezienia źródła baru pochodzącego nie z reakcji między warstwą tlenkową a metalem podłoża, lecz ze źródła „zapasowego".

Próbowano zastosować dwa rozwiązania. Pierwsze polegało na umieszczeniu źródła baru w szparce między dwiema rurkami katodowymi, przy czym na zewnętrzną rurkę nanoszono zwykłą warstwą tlenków. Rurki niklowe były wykonane z niklu elektrolitycznego. Drugie rozwiązanie polegało na wykonaniu katody analogicznej do katody typu L, lecz wykonanej nie z niklu. Zbiornik baru przykrywała szczelnie płytka z porowatego niklu.

Przeprowadzono próby z katodami wykonanymi w sposób pierwszy i porównano wyniki z wynikami uzyskiwanymi przy zastosowaniu zwykłych katod tlenkowych. W celu porównania dopływu baru zatruto katody przez gwałtowne nagrzanie do temperatury 920 °C. Po takim zatruciu emisja katody z „zapasowym" źródłem baru zaczęła się zwiększać osiągając po paru godzinach wartości wyższe od wartości początkowych. Emisja katody zwykłej zmniejszyła się i katody nie udało się reaktywować.

W ciągu trwającej 4 tys. godz. próby trwałości emisja katody z „zapasowym" źródłem baru była stabilna, podczas gdy emisja katody zwykłej systematycznie zmniejszała się. Katoda o konstrukcji zbliżonej do konstrukcji katody typu L posiadała podobnie korzystne właściwości jak katoda rurkowa wyżej opisana.

Wydaje się, że zasadniczą korzyścią wynikającą ze stosowania katod z „zapasowym" źródłem baru jest niska temperatura pracy katody (np. 800 °K), dzięki czemu długi jest czas życia katody.

Opracował *A. T.*

**Właściwości elektryczne monokryształów boru.** W. C. Shaw, D. E. Hudson, G. C. Danielson: Electrical Properties of Boron Single Crystals. — *Physical Rev.* 1957 p. 419.

Autorzy badali po raz pierwszy właściwości monokryształów boru. Monokryształy otrzymane metodą redukcji trójbromku boru wodorem przy zetknięciu się z nagrzaną taśmą tantalową miały wymiary maksymalne $0{,}1 \times 0{,}1 \times 0{,}3$ mm.

Wykonano pomiary oporności właściwej w zależności od temperatury. W przypadku typowego zachowania się kryształów zmiany temperatury w zakresie od 200 do 1000 °K powodują zmniejszenie się oporności właściwej o 10 rzędów wielkości.

Nagrzewanie kryształów do temperatury o kilkaset stopni wyższej zmniejsza oporność właściwą w niskiej temperaturze przez wprowadzenie dodatkowych domieszek donorowych.

Wykonano również pomiary stałej Halla. Okazało się, że ruchliwość dziur w borze jest większa od ruchliwości elektronów oraz że ruchliwości te są małe w porównaniu z ruchliwością dziur i elektronów w innych półprzewodnikach.

Badania zjawiska termoelektrycznego doprowadziły do wniosku, że przewodnictwo dziurowe przeważa w wyższych temperaturach; w niskich temperaturach przewodnictwo dziurowe przeważa w kryształach o dużej oporności właściwej, w kryształach zaś o małej oporności właściwej może przeważać przewodnictwo elektronowe.

Kryształy boru wykazywały słaby efekt prostujący ze stykiem ostrzowym. Pod wpływem światła oporność malała o $10 \div 50\%$.

Wielkość przerwy energetycznej otrzymanej przez autorów wynosi 1,58 eV. Jest to wartość większa od otrzymanej przez innych badaczy.

Opracował *S. Rouppert*

## PRZEGLĄD CZASOPISM

**Katody tlenkowe z „zapasowym" źródłem baru.** T. I m a i: Barium Supplied Oxide Coated Cathodes. — *J. Phys. Soc. Japan* 1957 p. 831.

Bez względu na to, jaki jest mechanizm działania katody tlenkowej wolny metaliczny bar odgrywa zasadniczą rolę w procesie emisji katody.

Przeprowadzono prace badawcze nad uzyskaniem katod tlenkowych o dużej aktywności. Odpowiednia ilość domieszek redukujących w niklu, który stanowi podłoże dla warstwy tlenków, sprzyja wytworzeniu aktywnej warstwy emisyjnej. Tworzy się jednak również warstwa pośrednia, która ujemnie wpływa na charakterystykę lampy w czasie jej pracy. Z tego powodu należy ograniczać ilość domieszek do niklu katodowego. Stąd też wynika konieczność znalezienia źródła baru pochodzącego nie z reakcji między warstwą tlenkową a metalem podłoża, lecz ze źródła „zapasowego".

Próbowano zastosować dwa rozwiązania. Pierwsze polegało na umieszczeniu źródła baru w szparce między dwiema rurkami katodowymi, przy czym na zewnętrzną rurkę nanoszono zwykłą warstwą tlenków. Rurki niklowe były wykonane z niklu elektrolitycznego. Drugie rozwiązanie polegało na wykonaniu katody analogicznej do katody typu L, lecz wykonanej nie z niklu. Zbiornik baru przykrywała szczelnie płytka z porowatego niklu.

Przeprowadzono próby z katodami wykonanymi w sposób pierwszy i porównano wyniki z wynikami uzyskiwanymi przy zastosowaniu zwykłych katod tlenkowych. W celu porównania dopływu baru zatruto katody przez gwałtowne nagrzanie do temperatury 920 °C. Po takim zatruciu emisja katody z „zapasowym" źródłem baru zaczęła się zwiększać osiągając po paru godzinach wartości wyższe od wartości początkowych. Emisja katody zwykłej zmniejszyła się i katody nie udało się reaktywować.

W ciągu trwającej 4 tys. godz. próby trwałości emisja katody z „zapasowym" źródłem baru była stabilna, podczas gdy emisja katody zwykłej systematycznie zmniejszała się. Katoda o konstrukcji zbliżonej do konstrukcji katody typu L posiadała podobnie korzystne właściwości jak katoda rurkowa wyżej opisana.

## Warunki prenumeraty „ELEKTRONIKI"

Zamówienia i przedpłaty na prenumeratę „Elektroniki" przyjmują Urzędy Pocztowe i listonosze. Instytucje i zakłady pracy mające siedzibę w miejscowościach, w których znajdują się oddziały względnie delegatury „Ruchu" zamawiają prenumeratę w tychże jednostkach „Ruchu".

Instytucje centralne zamawiające prenumeratę dla podległych im jednostek terenowych w skali krajowej zgłaszają zamówienia do Centrali Kolportażu Prasy i Wydawnictw „Ruchu", Warszawa, ul. Srebrna 12, konto PKO I-6-100020.

Cena w prenumeracie na 1958 r.:

kwartalnie zł 18.—, półrocznie zł 36.—, rocznie zł 72.—.

Termin zgłaszania przedpłat:

do dnia 10-go miesiąca poprzedzającego okres prenumeraty.

Zlecenie na wysyłkę wydawnictw polskich za granicę przyjmuje Przedsiębiorstwo Kolportażu Wydawnictw Zagranicznych „Ruch", Warszawa ul. Wilcza 46.

Cena zł 12,—