

BADANIE I STARZENIE ELEMENTÓW PÓLPRZEWODNIKOWYCH

ED:621.382 - Półprzewodniki
621.382.2 - Diody krystaliczne
IF:4.0.1.0 - Elektryczne urządzenia regulacji i sterowania oraz elementy tych urządzeń
/prace ogólne/

W artykule opisano szybką metodę pomiaru charakterystyk dużej serii diod półprzewodnikowych przy różnych temperaturach i zastosowaniu automatycznego przełączania za pomocą wybieraka telefonicznego. Omówiono również metody starzenia diod, m. in. metodę stosowaną w zakładach "Siemens" w Karlsruhe /RRF/.

1. W s t ę p

Przy wykonywaniu układów elektronicznych istotną sprawą jest z jednej strony poznanie dokładnych charakterystyk używanych elementów półprzewodnikowych z uwzględnieniem zarówno rozrzutu parametrów poszczególnych egzemplarzy, jak i wpływu temperatury i histerezy termicznej na ich charakterystykę. Z drugiej natomiast – zapewnienie stałości charakterystyk elementów na przestrzeni wielu lat, a także wyeliminowanie elementów niepewnych, co uzyskuje się drogą odpowiedniego starzenia.

Problem dokładnego i szybkiego pomiaru charakterystyk dużej ilości diod krzemowych wystąpił w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów przy pracach nad diodowymi przetwornikami funkcji. Z tym bezpośrednio związane były zagadnienia starzenia diod.

2. Szybka metoda pomiaru charakterystyk diod w różnych temperaturach

2.1. Zagadnienia wstępne

Ze względu na przebieg charakterystyki diody półprzewodnikowej najważniejsze jest przyjmowanie natężenia prądu jako zmiennej niezależnej, a napięcia jako zmiennej zależnej. Ma to znaczenie z uwagi na to, że zazwyczaj interesuje nas pewien zakres zmienności natężenia prądu; napięcie jest w tym przypadku niejako parametrem wtórnym. Szczególnie zalecane jest to przy jednoczesnym wykonywaniu charakterystyk wielu diod, ponieważ diody łączymy wówczas szeregowo i mierzymy napięcia na poszczególnych egzemplarzach /oczy-

wistym warunkiem jest wówczas stosowanie woltomierza, praktycznie nie pobierającego prądu/.

Drugą istotną sprawą jest wpływ temperatury otoczenia. Ponieważ charakterystyka diody półprzewodnikowej przeszuwa się ok. $2+3$ mV/deg [1] /por. też rys. 4/ przy wykonywaniu charakterystyk musimy zapewnić zachowanie określonej stałej temperatury. Przy dokładnych pomiarach elementów półprzewodnikowych niemal konieczną rzeczą jest stabilizacja temperatury otoczenia uzyskiwana przez umieszczenie badanych elementów w termostacie lub przez stabilizację temperatury w specjalnym pomieszczeniu przeznaczonym do celów pomiarowych. Ta ostatnia metoda stosowana jest np. w Zakładach Siemens w Karlsruhe, gdzie pomiary elementów półprzewodnikowych, pracujących w bardziej "odpowiedzialnych" miejscach układów wykonywane są w pokoju, w którym temperatura utrzymywana jest w granicach $24 \pm 1^\circ\text{C}$. Pokój ten posiada zawsze zamknięte, znajdujące się od północnej strony okna i umieszczony jest na parterze wielopiętrowego budynku /te ostatnie warunki są istotne ze względu na okres letni/. Jest to jednak metoda umożliwiająca pomiar tylko w jednej temperaturze. Ponadto temperatura badanych elementów pod wpływem ciepła wydzielanego przez osoby wykonujące pomiar częstokroć może być nieco wyższą od temperatury otoczenia i z tego względu w czasie pomiaru może ulegać nieznacznym zmianom.

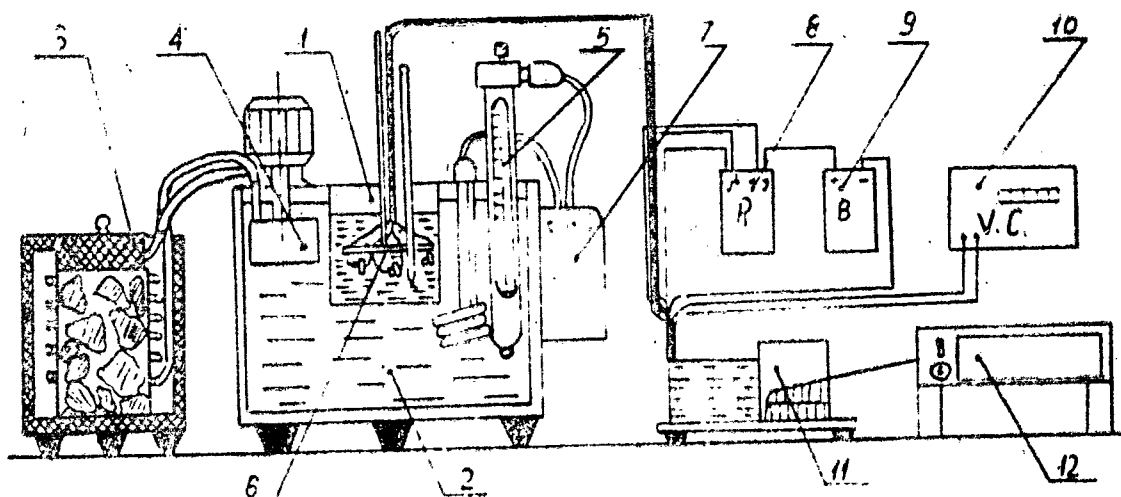
Należy pamiętać, że wahania temperatury $\pm 1^\circ\text{C}$ wywołują zmiany napięcia na diodzie $\pm 0,3 + 0,5\%$. Jeżeli więc celem pomiarów jest orientacja w zmianach charakterystyk diod, wywołanych np. starzeniem, i konieczne jest wykonanie w pewnych odstępach czasu charakterystyk tej samej diody z możliwie dużą dokładnością i w możliwie stałej jednakowej temperaturze, to temperaturę należy utrzymywać z dokładnością nawet do $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Z tych względów przy dokładnych pomiarach konieczne staje się użycie termostatu.

2.2. Układ do wykonywania charakterystyk diod półprzewodnikowych

Badane diody, w maksymalnej ilości 25 sztuk, połączone były szeregowo i przylutowane do końcówek lutowniczych wcisniętych do okrągłej płytki tekstolitowej. Z drugiej strony płytki do końcówek przylutowane były giętkie przewody połączone z układem pomiarowym. Płytką z diodami umieszczona była w naczyniu z olejem transformatorowym, znajdującym się w ultratermostacie /rys. 1/.

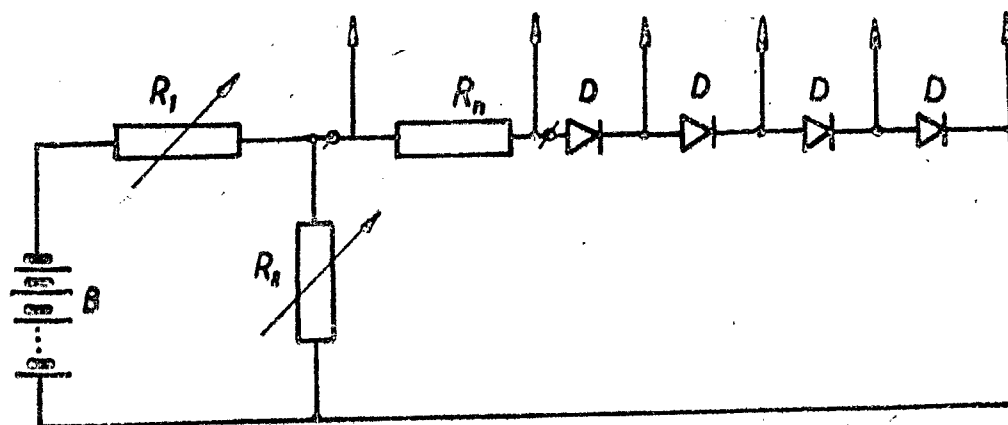
Wymiennik ciepła napełniony suchym lodem konieczny był do uzyskania temperatur niższych od temperatury otoczenia /w danych warunkach do -10°C /.

Prąd płynący przez diody mierzony był przy pomocy woltomierza cyfrowego, przyłączonego do wysokiej klasy laboratoryjnego opornika, tzw. normalnego połączonego szeregowo z diodami /rys. 2/. Ten sam woltomierz przełączany był kolejno na każdą diodę przy pomocy urządzenia automatycznego.



Rys. 1. Zestaw aparatury do wykonywania termiczno-napięciowych charakterystyk diod

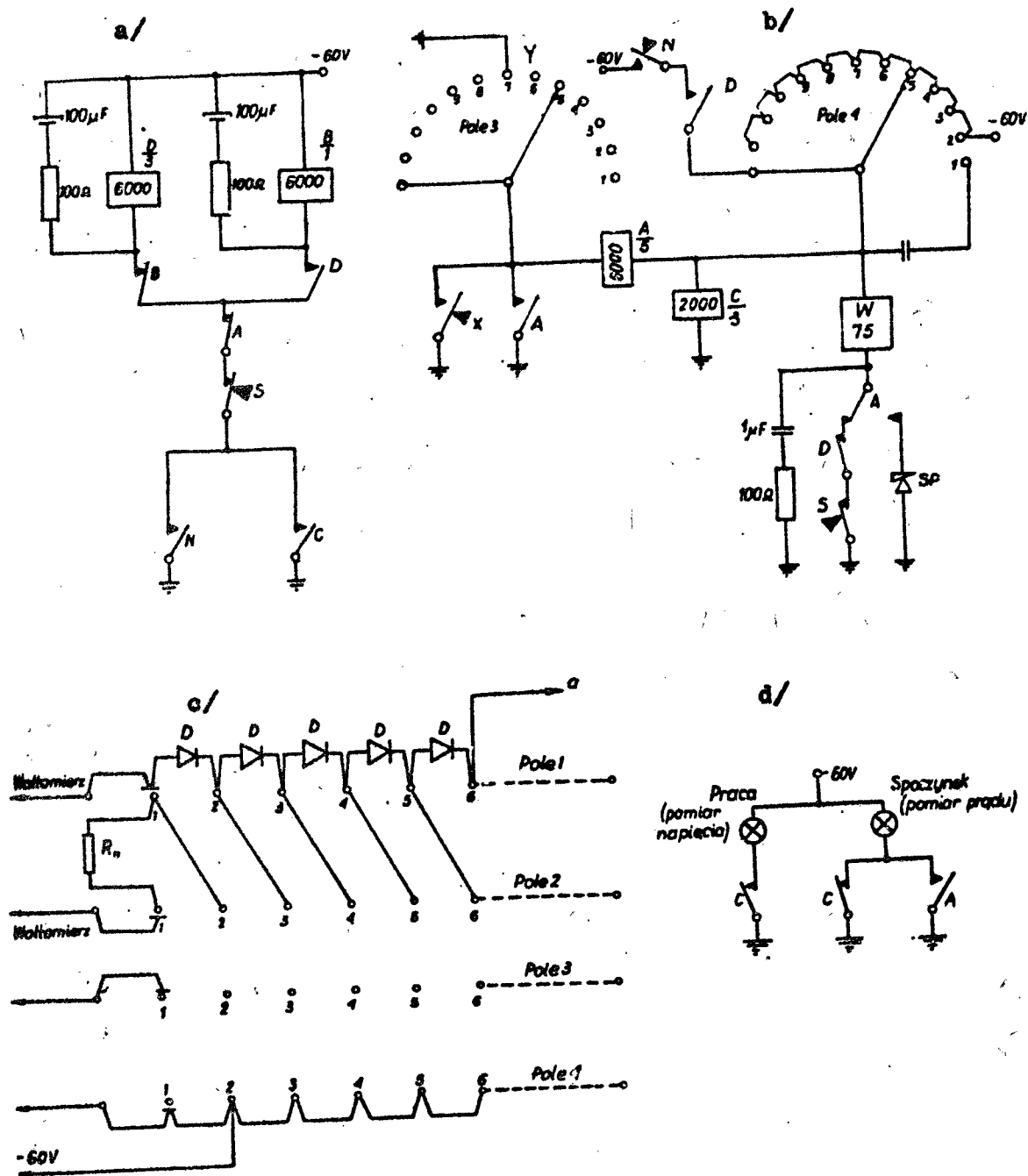
1. naczynie z olejem, 2. termostat, 3. wymiennik ciepła, 4. pompa przetłaczająca, 5. termometr kontaktowy, 6. płytka z zamocowanymi diodami, 7. przekaźnik wyłączający grzałkę, 8. opornik normalny, 9. bateria akumulatorów, 10. woltomierz cyfrowy, 11. wybierak telefoniczny, 12. impulsator i pulpit sterowniczy.



Rys. 2. Obwód diod mierzonych

Konstrukcja automatycznego urządzenia przełączającego oparta była o następujące założenia:

1. Aby umożliwić precyzyjne ustawienie żądanej wartości natężenia prądu woltomierz lampowy w położeniu spoczynkowym powinien być przyłączany do opornika normalnego R_n /rys. 2/.



Rys. 3. Schemat automatycznego urządzenia przełączającego

a - impulsator, b,- układ sterowania wybieraka, c - połączenie pól stykowych wybieraka, d - sygnalizacja świetlna, A, B, C - przekaźniki telefoniczne /styki w pozycji spoczynkowej/, W - wybierak o czterech polach styków, SP - styki szybkiego powrotu wybieraka, N - styki pozycji niestabilnej klucza - uruchomienie automatycznego przełączania

2. Woltomierz powinien być włączany na ręczny sygnał /przy pomocy odpowiedniego przycisku/, przy czym po upływie czasu wystarczającego do odczytania i zanotowania wartości napięcia, tj. 3-4 s, powinno nastąpić samoczynne przełączanie przyrządu na następną, kolejną diodę.

3. Należało uwzględnić możliwość zatrzymania układu przełączającego w dowolnym momencie oraz jego dalszego uruchomienia.

4. Należało uwzględnić możliwość przerywania działania układu przełączającego i szybkiego powrotu do pozycji początkowej /pomiar prądu/.

5. Po pomiarzeniu napięć na wszystkich diodach /niezależnie od ich ilości, która może być mniejsza niż 25/ układ powinien samoczynnie i szybko powrócić do pozycji początkowej.

6. Należało przewidzieć sygnalizację optyczną, wskazującą, czy w danym momencie dokonywany jest pomiar napięcia, czy też natężenia prądu.

Schemat automatycznego urządzenia przełączającego, skonstruowanego przez inż. J. Małojło i inż. M. Trzaskowskiego przedstawia rys. 3 a, b, c, d [2] w momencie wyjściowym wybierak W znajduje się w pozycji 1; woltomierz lampowy przyłączony jest wówczas do oporu R_n i mierzy natężenie prądu.

Po ustawieniu i odczytaniu żądanej wartości natężenia zawieramy na chwilę styki N. Rozpocznie wówczas działanie przerzutnik - impulsator /rys. 3a/, wybierak W /po zadziałaniu przełącznika D/ przejdzie w pozycję 2 oraz zadziała przełącznik C. Przełączniki B i D tworzące układ przerzutnika będą impulsować z częstotliwością ok. 0,3 Hz, określoną pojemnością kondensatora elektrolitycznego /100 μ F/ i opornością cewki /6 k Ω /, przerzucając wybierak za pośrednictwem styków przełącznika D na kolejne diody.

Z chwilą dojścia szczotki pola 3 wybieraka do styku z przylutowanym przewodem Y zadziała przełącznik A i wybierak W wróci samoczynnie do pozycji 1 /przy współdziale styków "SP" - samoczynny powrót/. Jednocześnie impulsator przerwie pracę i zapali się lampka "spoczynek". Podobny skutek wywrze zwarcie przycisku X: układ wraca szybko do pozycji 1.

Rozwarcie styków 3 spowoduje tylko przerwę pracy impulsatora i zatrzymanie się wybieraka W na danej chwilowo pozycji. Po zwarcu styku S układ pracuje dalej.

Należy zwrócić jeszcze uwagę na pewien specyficzny problem występujący przy zasilaniu badanych diód. Otóż napięcie baterii B zasilającej diody powinno być znacznie /ok. dwukrotnie/ wyższe od napięcia na diodach. Jeżeli bowiem napięcie to jest wyższe, tylko nieznaczne, to niewielkie /przypadkowe/ wahania napięcia zasilającego wywołują znaczne wahania prądu.

Stosunek względnych zmian natężenia prądu płynącego przez diodę półprzewodnikową do względnych zmian napięcia na diodzie daje się łatwo obliczyć:

$$K = \frac{\frac{dI}{I}}{\frac{dU}{U}} = \frac{U}{I} \cdot \frac{1}{\frac{dU}{dI}} = \frac{U}{I} \cdot \frac{1}{\frac{d}{dI} / A \ln I + B /} = \frac{U}{A} \quad /1/$$

Dla diod krzemowych $A \approx 50 \text{ mV}$ [1], a $U = 0,5 + 1,5 \text{ V}$, wobec czego K zawiera się w granicach ok. $10 + 30$. Oczywiście ta sama wartość występuje dla wiązki diod połączonych szeregowo. Widać więc, że np. 0,5% wahań napięcia na diodzie może wywołać nawet do 15% wahań natężenia prądu. Oczywiście rozważanie to dotyczy diody /wzgl. diod/ włączonych bezpośrednio /bez oporu szeregowego/ do źródła napięcia. Opór szeregowy zmniejszy te wahania w bardzo wydatny sposób. Współczynnik K wyniesie wówczas:

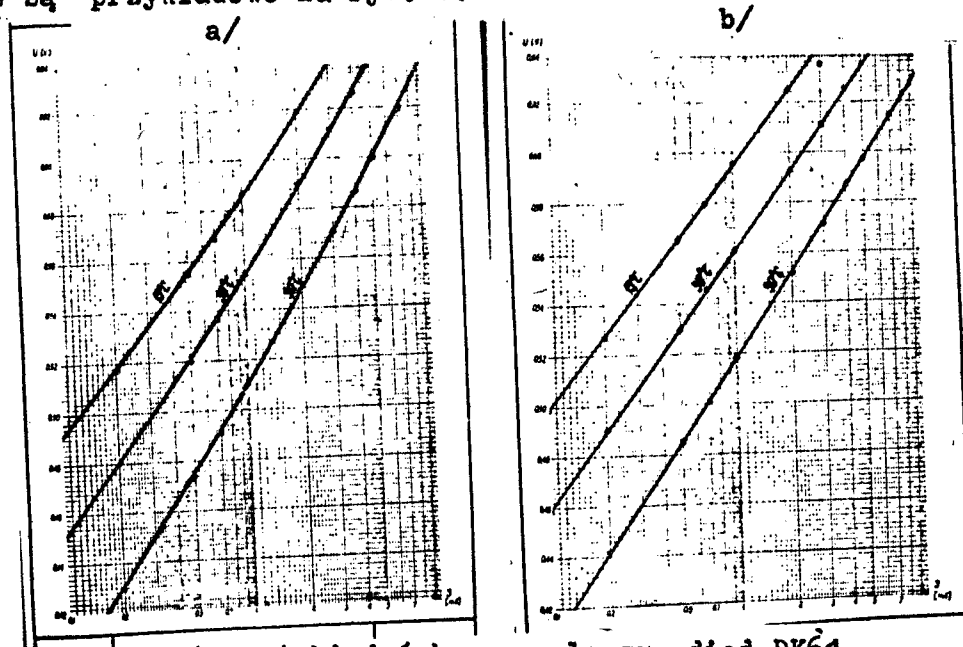
$$K = \frac{U}{I} \cdot \frac{1}{\frac{d}{dI} / A \ln I + B + IR /} = \frac{U}{A + IR} = \frac{U_D + U_R}{A + U_R} \quad /2/$$

gdzie:

- R - opór szeregowy,
- U_D - napięcie na diodzie,
- U_R - napięcie na oporze.

Dla wiązki diod połączonych szeregowo wielkość U_D będzie oczywiście sumą napięć na wszystkich diodach, a U_R - napięciem na oporze szeregowym włączonym w szereg ze wszystkimi diodami.

Charakterystyki dwóch diod DK61 wykonane dla kilku temperatur podane są przykładowo na rys. 4.



Rys. 4. Charakterystyki dwóch egzemplarzy diod DK61

3. Starzenie elementów półprzewodnikowych

3.1. Zagadnienia ogólne

Jak powiedziano wyżej, starzenie elementów półprzewodnikowych ma na celu z jednej strony zmniejszenie powolnych zmian czasowych /trwających latami/ charakterystyk oraz wyeliminowanie elementów niepewnych, które mogłyby po pewnym czasie pracy /wielokrotnie większym w każdym razie od czasu starzenia/ ulec uszkodzeniu.

Istnieją dwie metody starzenia elementów półprzewodnikowych: prądowa i termiczna.

Starzenie prądowe polega na przepuszczaniu przez element nominalnego prądu przez czas rzędu dziesiątków godzin.

Starzenie termiczne polega na utrzymywaniu starzonych elementów przez pewien czas w temperaturze otoczenia bliskiej dopuszczalnej górnej temperatury granicznej. Stosuje się również wielokrotne wahania temperatury według określonego programu, a także umieszczanie elementu w próżni i w wodzie dla wyeliminowania elementów nieszczelnych.

3.2. Metoda starzenia stosowana w Zakładach Siemens w Karlsruhe

Według posiadanych informacji w Zakładach Siemens w Karlsruhe przeprowadzane jest starzenie elementów elektronicznych pracujących w specjalnie odpowiedzialnych miejscach przyrządów, niezależnie od starzenia przeprowadzonego w zakładzie produkującym diody i tranzystory.

Starzenie elementów germanowych przeprowadzane jest w następujący sposób:

1. Przechowywanie przez 120 godzin w temperaturze $+70^{\circ}\text{C}$.
2. Umieszczenie na czas 45 min. w próżni.
3. Bezpośrednio po tym pogrążenie na 30 min. w wodzie.
4. Pięciokrotne umieszczanie elementów na zmianę w temperaturach -30°C i $+75^{\circ}\text{C}$ każdorazowo przez okres 30 min.

Dla elementów krzemowych stosuje się odpowiednio wyższą górną temperaturę.

Po przeprowadzeniu starzenia wykonuje się pomiary elementów w kilku charakterystycznych punktach.

L i t e r a t u r a

1. Simpson J. H.: "Theory of the Temperature Coefficient of the Forward Voltage of a P-N Junction". SCP and Solid State Technology, 7, 22 - 25 /Nr 9, 1964/, 36 - 39 i 47 /Nr 10, 1964/.
2. Małojło J.: "Analogowy układ kwadratuujący" /praca dyplomowa/. Wieczorowa Szkoła Inżynierska, Warszawa, 1965 /nie publikowana/.