

POLSKA  
RZECZPOSPOLITA  
LUDOWA



URZĄD  
PATENTOWY  
PRL

# OPIS PATENTOWY

90628

Patent dodatkowy  
do patentu \_\_\_\_\_

Zgłoszono: 18.07.74 (P. 172831)

Pierwszeństwo: \_\_\_\_\_

Zgłoszenie ogłoszono: 01.07.75

Opis patentowy opublikowano: 31.08.1978

MKP G01r 23/06

Int. Cl.<sup>2</sup> G01R 23/06



Twórca wynalazku: Leopold Kowalski

Uprawniony z patentu: Instytut Technologii Elektronowej,  
przy Naukowo-Produkcyjnym Centrum Półprzewodników,  
Warszawa (Polska)

## Sposób pomiaru częstotliwości granicznej waraktorów

Przedmiotem wynalazku jest sposób pomiaru częstotliwości granicznej waraktorów w oparciu o pomiary współczynnika fali stojącej w układzie z koncentryczną linią pomiarową i wykorzystaniu pojemności złącza badanego waraktora mierzonej przy niskiej częstotliwości dla określonego napięcia polaryzacji.

Jednym z podstawowych parametrów jakości waraktora jest częstotliwość graniczna, która określana jest następującą zależnością:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_s C_j} \quad (1)$$

gdzie  $R_s$  oznacza rezystancję szeregową a  $C_j$  pojemność złącza diody przy określonym napięciu polaryzacji.

Z wielu znanych dotychczas metod pomiaru częstotliwości granicznej waraktorów najczęściej stosowaną szczególnie w zakresie częstotliwości poniżej pasma X jest metoda w układzie z koncentryczną linią pomiarową wykorzystująca transformację impedancji złącza diody w układzie zastępczym zwanym transformatorem Weissflocha, w którym w ogólnym przypadku uwzględnia się niekorzystne wpływy strat układu pomiarowego na wyniki pomiarów częstotliwości granicznej. Z pomiarów impedancji na linii pomiarowej odniesionej do odpowiedniej płaszczyzny oraz z pomiarów parametrów zastępczych transformatora Weissflocha oblicza się w dość skomplikowany sposób częstotliwość graniczną diody. Oszacowanie wszystkich parametrów transformacji, szczególnie parametrów uwzględniających wpływ strat układu pomiarowego, jest tu bardzo trudne i problematyczne.

Przy pominięciu wpływu strat układu pomiarowego otrzymuje się liniową transformację impedancji pomiędzy impedancją złącza diody a impedancją na linii pomiarowej w płaszczyźnie rozwarcia określaną oprawką rozwartą diody. Częstotliwość graniczną oblicza się w tym przypadku już w mniej skomplikowany sposób z pomiarów składowych impedancji na linii pomiarowej. Niemniej jednak wykonywane czynności są tu nadal żmudne i bardzo pracochłonne.

Odmianą metody pomiaru częstotliwości granicznej waraktorów w układzie z koncentryczną linią pomiarową jest sposób podany w polskim opisie patentowym nr 73275. Sposób ten wymaga znajomości zależności pojemności złącza diody od napięcia polaryzacji i polega on na tym, że ustawia się sondę w minimum fali stojącej na linii pomiarowej, na końcu której jest dołączona dioda waraktorowa, a następnie mierzy się zależność między poziomem sygnału wskazywanego przez wskaźnik sondy połączony z wyjściem detektoratej sondy a napięciem polaryzującym diodę waraktorową. Częstotliwość graniczną diody oblicza się z wartości pojemności złącza diody dla napięć polaryzacji, które wywołują określone poziomy sygnału wskaźnika sondy w układzie z linią pomiarową, np. dla wygody z dwóch wartości pojemności złącza diody określonych odpowiednio dla napięć polaryzacji przy minimalnym poziomie sygnału wyjściowego linii pomiarowej i przy jego wzroście o 3 dB. Z uwagi na to, że wykorzystywana tu od obliczeń częstotliwości granicznej diody różnica pojemności złącza diody posiada najczęściej bardzo małe wartości w porównaniu do mierzonych wartości pojemności, więc dla uniknięcia znacznych błędów wymagania na dokładności ustalania napięć polaryzacji oraz na dokładności pomiaru pojemności są bardzo ostre i często niemożliwe do spełnienia. Ponadto w podanym sposobie nie zawsze spełnione są założenia stałości rezystancji złącza diody i stałości współczynnika fali stojącej od zmian napięcia polaryzacji oraz nie uwzględnia się tu bezpośrednio wpływu strat układu pomiarowego, co w sumie prowadzić może również do znacznego błędu pomiaru częstotliwości granicznej diody.

Celem wynalazku jest opracowanie sposobu pomiaru częstotliwości granicznej waraktorów zwłaszcza produkowanych seryjnie o znacznie zmniejszonej pracochłonności oraz pozbawieniu się wielu niedogodności i ograniczeń przy wykorzystaniu układu z koncentryczną linią pomiarową stosowanego w dotychczasowych metodach pomiarowych częstotliwości granicznej waraktorów.

Wytoczony cel zmniejszenia podanych niedogodności został rozwiązany zgodnie z wynalazkiem przez opracowanie nowego sposobu pomiaru częstotliwości granicznej waraktorów wykorzystujący właściwości liniowej transformacji impedancji złącza diody w warunkach niedopasowania w układzie z koncentryczną linią pomiarową oraz wykorzystujący pomiary pojemności złącza diody przeprowadzane przy niskiej częstotliwości, zwykle przy częstotliwości 1 MHz, dla określonego napięcia polaryzacji.

Sposób ten polega na tym, że dla określonego napięcia polaryzacji waraktora i określonej częstotliwości pomiarowej generatora sygnałowego w układzie z koncentryczną linią pomiarową obciążoną głowicą pomiarową z umieszczoną w niej badaną diodą wyznacza się współczynnik fali stojącej  $S$  obciążenia, a wartość częstotliwości granicznej  $f_c$  waraktora oblicza się z iloczynu wartości wyznaczonego współczynnika fali stojącej  $S$  i wartości wprowadzonego tu współczynnika  $A(C_j)$  określonego z wartości pojemności złącza  $C_j$  badanej diody przy znanych parametrach liniowej transformacji impedancji złącza diody w układzie z koncentryczną linią pomiarową przy określonej częstotliwości pomiarowej generatora sygnałowego.

Głównymi korzyściami rozwiązania według wynalazku jest możliwość wyznaczania częstotliwości granicznej waraktorów sposobem bardzo prostym, co wielokrotnie zmniejsza pracochłonność i zużycie przyrządów pomiarowych przy uniknięciu wielu niedogodności i ograniczeń w porównaniu do stosowanych dotychczas metod pomiarowych w układzie z koncentryczną linią pomiarową. Istnieje tu możliwość jednoczesnego uwzględnienia wpływu strat układu pomiarowego. Ponieważ wymagana tu pojemność złącza  $C_j$  jest jednocześnie parametrem katalogowym waraktorów, więc praktycznie w sposobie według wynalazku nie wykonuje się dodatkowo pomiaru tej pojemności. Sposób według wynalazku szczególnie nadaje się do pomiarów waraktorów produkowanych seryjnie, gdzie częstotliwość pomiarowa jest ustalona, parametry opravek są dostatecznie powtarzalne i raz przeprowadzone wstępne skalowanie celem określania parametrów liniowej transformacji impedancji złącza w układzie z linią pomiarową może służyć wielokrotnym pomiarom. Stosowany układ pomiarowy z koncentryczną linią pomiarową jest układem uniwersalnym i, w razie potrzeby może służyć jednocześnie pomiarom częstotliwości granicznej waraktorów innymi dotychczas znanymi metodami.

Wynalazek jest objaśniony na przykładzie wykonania. W przynależnym rysunku uwidacznia: fig. 1 schemat blokowy układu pomiarowego, fig. 2 schemat zastępczy głowicy z waraktorem i linią pomiarową, fig. 3 przykład wyznaczonego współczynnika  $A(C_j)$  dla waraktorów mierzonych w koncentrycznej linii pomiarowej o impedancji charakterystycznej  $Z_0 = 50 \Omega$  przy częstotliwości pomiarowej  $f = 3 \text{ GHz}$ .

Na fig. 1 sygnał z generatora  $G$  jest doprowadzony poprzez sondę do współosiowej linii pomiarowej  $LP$ , której obciążeniem jest głowica pomiarowa  $GP$  z umieszczonym w niej waraktorem spolaryzowanym napięciem stałym poprzez polaryzator  $P$  z zasilacza  $Z$ . Do linii pomiarowej  $LP$  poprzez polaryzator  $P$  dołączony jest detektor  $D$  z miernikiem współczynnika fali stojącej  $WFS$ .  $M$  jest miernikiem pojemności złącza diody przy niskiej częstotliwości, zwykle przy częstotliwości 1 MHz. Na fig. 2  $Z_k$  jest impedancją złącza diody składającą się z rezystancji szeregowej  $R_s$  i pojemności złącza  $C_j$ ; Głowica pomiarowa  $GP$  wraz z oprawką diody stanowi transformator impedancji  $T$ .  $A-A$  jest płaszczyzną wejścia transformatora  $T$  a  $B-B$  jest płaszczyzną odniesienia przy pomiarach impedancji na linii pomiarowej  $LP$ . Płaszczyzna odniesienia  $B-B$  jest płaszczyzną rozwarcia na linii pomiarowej przy rozwarciu impedancji złącza  $Z_k$  i może być określona oprawką rozwartą diody.

Przy pominięciu wpływu strat układu pomiarowego otrzymuje się transformację liniową impedancji złącza diody  $Z_k$ . W tym przypadku impedancja  $Z_1$  na linii pomiarowej w płaszczyźnie odniesienia B—B jest funkcją liniową impedancji złącza diody  $Z_k$  i częstotliwość graniczną badanej diody można wyznaczyć z następującej zależności:

$$f_c = f \cdot \frac{x_1 - x_2}{r_2} \quad (2)$$

gdzie  $f$  oznacza częstotliwość pomiarową,  $x_1$  — zredukowana w stosunku do impedancji charakterystycznej  $Z_0$  linii pomiarowej reaktancja impedancji  $Z_1$  przy zwarcu złącza diody prądem przewodzenia,  $x_2$  i  $r_2$  — zredukowane w stosunku do  $Z_0$  składowe impedancji  $Z_1$  dla polaryzacji diody, przy której określana jest częstotliwość graniczna. Na ogół rezystancja złącza  $R_s$  jest znacznie mniejsza od impedancji charakterystycznej  $Z_0$  linii pomiarowej i wyrażenia na składowe  $x_1$ ,  $x_2$ , oraz  $r_2$  przyjmują proste zależności:

$$x_1 = \operatorname{tg} \beta l_1 \quad (3)$$

$$x_2 = \operatorname{tg} \beta l_2 \quad (4)$$

$$r_2 = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \beta l_2}{S} \quad (5)$$

gdzie  $\beta$  oznacza stałą fazową,  $l_1$ ,  $l_2$  — położenia minimum fali stojącej na linii pomiarowej w stosunku do płaszczyzny odniesienia B—B odpowiednio dla stanu zwarcia złącza diody prądem przewodzenia oraz polaryzacji diody, przy której mierzona jest częstotliwość graniczna,  $S$  — współczynnik fali stojącej obciążenia dla polaryzacji diody, przy której mierzona jest częstotliwość graniczna. Podstawiając (3, 4, i 5 do 2) częstotliwość graniczną można wyrazić następującym prostym wzorem:

$$f_c = A \cdot S \quad (6)$$

gdzie współczynnik  $A$  określony jest przez:

$$A = f \cdot \frac{x_1 - x_2}{1 + x_2^2} \quad (7)$$

Dla danego typu waraktora lub typów o jednakowych parametrach oprawek przy określonej częstotliwości pomiarowej i określonej głowicy pomiarowej w układzie z koncentryczną linią pomiarową można wyznaczyć zależność współczynnika  $A$  wyrażonego równaniem (7) od pojemności złącza  $C_j$  diody. W tym celu należy wyznaczyć zależność zredukowanej reaktancji  $x_2$  na linii pomiarowej od zredukowanej reaktancji  $x_k$  złącza diody drogą zmian pojemności złącza  $C_j$  od zmian napięcia polaryzacji. Wartość reaktancji  $x_k$  wyznacza się z następującej zależności:

$$x_k = -\frac{1}{\omega C_j Z_0} \quad (8)$$

gdzie  $C_j$  oznacza pojemność złącza diody zależną od napięcia polaryzacji, która może być mierzona przy niskiej częstotliwości np. przy częstotliwości 1 MHz,  $Z_0$  — impedancja charakterystyczna linii pomiarowej,  $\omega = 2\pi f$  — pulsacja częstotliwości pomiarowej  $f$ .

Zależność reaktancji na linii pomiarowej w funkcji reaktancji złącza diody  $x_2(x_k)$  jest funkcją liniową i określić ją można następująco:

$$x_2 = x_1 + n^2 x_k \quad (9)$$

gdzie  $n^2$  i  $x_1$  są parametrami liniowej transformacji impedancji zależne od wyrazów macierzy impedancyjnej bezstratnego transformatora impedancji  $T$ ,  $n^2$  jest przekładnią liniowej transformacji impedancji złącza,  $x_1$  jest zredukowaną reaktancją zwarcia i jest wartością reaktancji  $x_2$  dla  $x_k = 0$ , co zachodzi przy zwarcu złącza diody

prądem przewodzenia. Dla poprawnego określenia parametrów  $n^2$  i  $x_1$  zależność (9) należy wyznaczyć najlepiej wykresnie przy możliwie wielu różnych wartościach napięcia polaryzacji dla kilku diod danego typu. Z zależności (7), (8) i (9) otrzymujemy wzór na współczynnik  $A(C_j)$ :

$$A(C_j) = f \cdot \frac{n^2}{\omega C_j Z_0} \cdot \frac{1}{1 + \left( x_1 - \frac{n^2}{\omega C_j Z_0} \right)^2} \quad (10)$$

gdzie poszczególne symbole określone są już wcześniej. Po tak przeprowadzonym skalowaniu w celu wyznaczenia parametrów liniowej transformacji impedancji  $n^2$  i  $x_1$  zależność (10) na współczynnik  $A(C_j)$  można przedstawić dostatecznie dokładnie w postaci wykresu lub tablicy numerycznej.

Straty układu pomiarowego, które mogą mieć znaczny wpływ na obniżenie mierzonych wartości współczynnika fali stojącej, nie mają tu wpływu na wartość wyznaczonego współczynnika  $A(C_j)$ , ponieważ nie mają znaczącego wpływu na położenie fazy impedancji na linii pomiarowej w warunkach występującego tu dużego niedopasowania. Przez wyznaczenie rzeczywistych wartości współczynników fali stojącej obciążenia lub w ogólnym przypadku sprawności układu pomiarowego, które są funkcjami mierzonych współczynników fali stojącej, można uwzględnić jednocześnie wpływ strat układu pomiarowego przy wyznaczaniu częstotliwości granicznej waraktorów. Dla przykładu, rzeczywiste wartości współczynników fali stojącej obciążenia z jednorodną linią pomiarową ze stratami, które najczęściej są stratami dominującego całego układu pomiarowego linii i głowicy, można wyrazić za pomocą następującego wzoru:

$$S = \frac{S_m}{1 - \alpha 1 S_m} \quad (11)$$

gdzie  $S_m$  oznacza zmierzoną wartość współczynnika fali stojącej na linii pomiarowej metodą podwojonego minimum,  $\alpha$  – współczynnik strat linii pomiarowej wyrażony w neperach na jednostkę długości linii przy określonej częstotliwości,  $1$  – odległość od mierzonej diody w głowicy do położenia minimum na linii pomiarowej przy pomiarach współczynnika fali stojącej.

Mając wartość współczynnika  $A(C_j)$  ze znajomości wartości pojemności złącza  $C_j$  określonej z pomiarów przy niskiej częstotliwości oraz wartość współczynnika fali stojącej  $S$  wyznaczonego w układzie z linią pomiarową obliczyć możemy natychmiast wartość częstotliwości granicznej waraktora.

#### Zastrzeżenie patentowe

Sposób pomiaru częstotliwości granicznej waraktorów w układzie z koncentryczną linią pomiarową, gdy znana jest z pomiarów przy niskiej częstotliwości dla określonego napięcia polaryzacji wartość pojemności złącza badanej diody, z n a m i e n n y t y m, że dla określonego napięcia polaryzacji waraktora i określonej częstotliwości pomiarowej generatora (G) w układzie z koncentryczną linią pomiarową (LP) obciążoną głowicą pomiarową (GP) z umieszczonym w niej badanym waraktorem wyznacza się współczynnik fali stojącej  $S$  obciążenia, a wartość częstotliwości granicznej  $f_c$  waraktora oblicza się z iloczynu wartości wyznaczonego współczynnika fali stojącej  $S$  i wprowadzonego tu współczynnika  $A(C_j)$  określonego z wartości pojemności złącza  $C_j$  badanej diody przy znanych parametrach liniowej transformacji impedancji złącza diody w układzie z koncentryczną linią pomiarową (LP) przy określonej częstotliwości pomiarowej generatora (G).

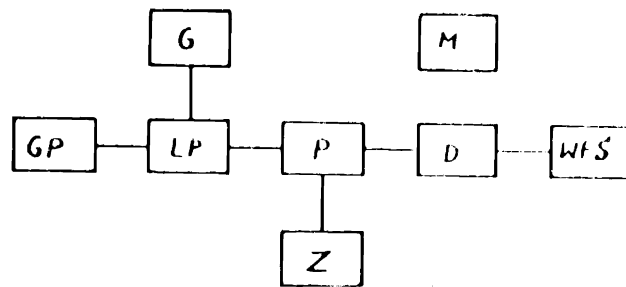


Fig. 1

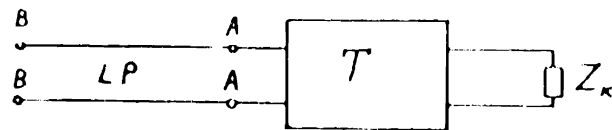


Fig. 2

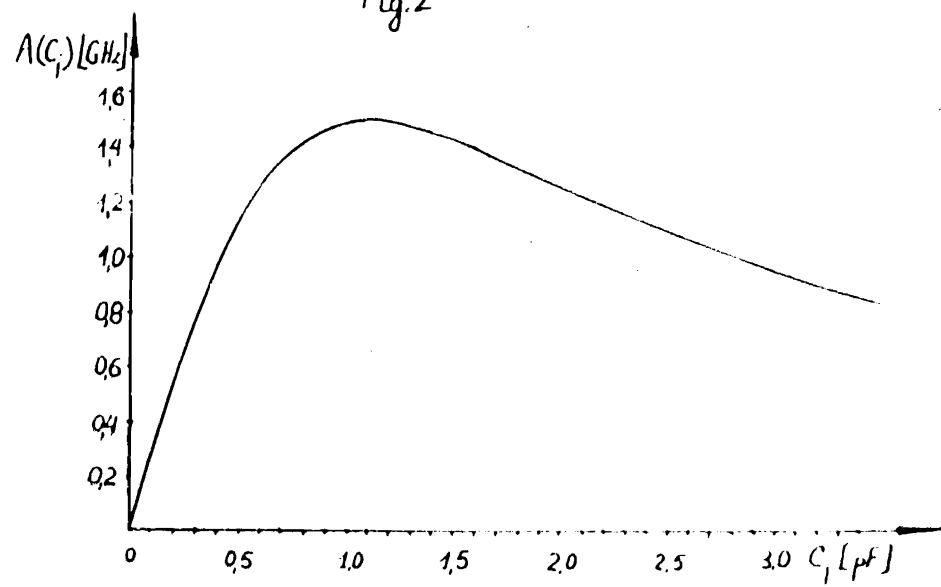


Fig. 3