

POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY PATENTU TYMCZASOWEGO

111229

Patent tymczasowy dodatkowy
do patentu nr _____

Zgłoszono: 10.12.77 (P. 202861)

Pierwszeństwo: _____

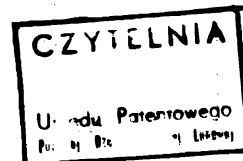
Zgłoszenie ogłoszono: 16.07.79

Opis patentowy opublikowano: 30.09.1981

Int. Cl².

G01R 31/26

G01R 19/16



Twórca wynalazku: Zbigniew Pióro

Uprawniony z patentu tymczasowego: Politechnika Warszawska.
Warszawa (Polska)

Sposób określania napięcia progowego tranzystorów typu MIS

Przedmiotem wynalazku jest sposób określania napięcia progowego tranzystorów typu MIS stosowany zwłaszcza do badania tranzystorów i układów scalonych typu MIS w przemyśle elektronicznym i laboratoriach badawczych.

Istnieje wiele sposobów określania napięcia progowego definiowanego jako wartość napięcia bramka — źródło przy której jest zapoczątkowany stan silnej inwersji w obszarze przypowierzchniowym półprzewodnika.

Znany sposób określania napięcia progowego polega na pomiarze wartości napięcia bramka — źródło tranzystora ze zwartymi elektrodami bramki i drenu dla dwóch wybranych z góry wartości prądu drenu, a następnie na określeniu napięcia progowego jako wartości napięcia bramka — źródło w punkcie przecięcia prostej przechodzącej przez punkty odpowiadające pomierzonym wartościom z osią napięcie bramka — źródło w układzie współrzędnych pierwiastek kwadratowy z prądu drenu, napięcie bramka — źródło.

Wadą tego sposobu jest powstawanie dużych błędów pomiaru, w przypadku gdy chociaż jeden z wybranych z góry punktów pracy tranzystora nie leży na prostoliniowym odcinku charakterystyki $I_D = f(U_{GS} = U_{DS})$ gdzie I_D oznacza prąd drenu, U_{GS} — napięcie bramka — źródło, U_{DS} — napięcie dren — źródło.

Istota sposobu według wynalazku polega na tym, że polaryzuje się tranzystor dla wymuszenia prądu drenu o kwadratowej zależności natężenia tego prądu od czasu i różniczkuje się napięcie bramka — źródło dla określenia przedziału czasu, w którym jej wartość jest stała. Z tak określonego przedziału czasu dowolnie wybiera się chwilę, w której mierzy się wartość napięcia bramka — źródło, wartość napięcia zróżniczkowanego i wartość sygnału wprost proporcjonalnego do przedziału czasu, w którym prąd drenu narasta od zera do wartości odpowiadającej tej wybranej chwili, przy czym wartość napięcia zróżniczkowanego i wartość sygnału proporcjonalnego do przedziału czasu, w którym prąd drenu narasta od zera do wartości odpowiadającej tej wybranej chwili mnoży się, a następnie odejmuje od wartości napięcia bramka — źródło w wybranej chwili czasu uzyskując wartość napięcia wprost proporcjonalną do wartości napięcia progowego.

Zgodnie z wynalazkiem z przedziału czasu, w którym wartość zróżniczkowanego napięcia bramka — źródło jest stała wybiera się dowolnie dwie chwile czasu, w których mierzy się wartości prądu drenu i wartości

napięcia bramka — źródło, po czym wartość napięcia progowego określa się zgodnie z zależnością:

$$U_T = U_{GS1} \frac{\sqrt{I_{D2}}}{\sqrt{I_{D2}} - \sqrt{I_{D1}}} - U_{GS2} \frac{\sqrt{I_{D1}}}{\sqrt{I_{D2}} - \sqrt{I_{D1}}}$$

gdzie: U_T oznacza napięcie progowe tranzystora typu MIS, U_{GS1} — wartość napięcia bramka — źródło zmierzona w pierwszej dowolnie wybranej chwili, U_{GS2} — wartość napięcia bramka — źródło zmierzona w drugiej chwili czasu, I_{D1} — wartość prądu drenu zmierzona w pierwszej chwili czasu, I_{D2} — wartość prądu drenu zmierzona w drugiej chwili czasu.

Według wynalazku z przedziału czasu, w którym wartość zróżniczkowanego napięcia bramka — źródło jest stała dowolnie wybiera się dwie chwile czasu, w których mierzy się wartości napięcia bramka — źródło i odmierza się czas jaki upłynął od chwili przyjętej za zerową do dowolnie wybranej pierwszej chwili czasu, co odpowiada przedziałowi czasu, w którym prąd drenu narasta od zera do wartości odpowiadającej tej pierwszej chwili i odmierza się czas jaki upłynął od chwili przyjętej za zerową do dowolnie wybranej drugiej chwili czasu, co odpowiada przedziałowi czasu, w którym prąd drenu narasta od zera do wartości odpowiadającej tej drugiej chwili jak również odmierza się różnicę czasu pomiędzy dowolnie wybranymi dwoma chwilami czasu, po czym wartość napięcia progowego określa się zgodnie z zależnością:

$$U_T = U_{GS1} \frac{t_2}{t_2 - t_1} - U_{GS2} \frac{t_1}{t_2 - t_1}$$

gdzie: U_T oznacza napięcie progowe tranzystora typu MIS, U_{GS1} jest to wartość napięcia bramka — źródło zmierzona w pierwszej chwili t_1 , a U_{GS2} jest to wartość napięcia zmierzona w drugiej chwili t_2 .

Sposób według wynalazku umożliwia szybki i dokładny, przeprowadzany automatycznie, pomiar napięcia progowego niezależnie od tego w jakim zakresie prądu drenu charakterystyka: pierwiastek kwadratowy z prądu drenu w funkcji napięcia bramka — źródło dla zwartych elektrod bramki i drenu mierzonego tranzystora typu MIS, jest liniowa.

Przykład stosowania sposobu jest bliżej wyjaśniony w oparciu o rysunek pozwalający lepiej zrozumieć proces jego stosowania, którego fig. 1 przedstawia schemat blokowy urządzenia do określania napięcia progowego mierzonego tranzystora typu MIS na podstawie pomiaru napięcia bramka — źródło, zróżniczkowanego napięcia bramka — źródło i przedziału czasu, fig. 2 — schemat blokowy urządzenia do określania napięcia progowego mierzonego tranzystora typu MIS na podstawie pomiaru dwóch wartości napięć bramka — źródło i dwóch wartości prądu drenu, fig. 3 — schemat blokowy urządzenia do określania napięcia progowego mierzonego tranzystora typu MIS w oparciu o pomiar dwóch wartości napięcia bramka — źródło i dwóch przedziałów czasu, natomiast fig. 4 — wykorzystywaną do określenia napięcia progowego charakterystykę tranzystora MIS oraz podstawowe zależności czasowe napięć występujących w urządzeniach pomiarowych, przy czym ze względu na zadaną zależność prądu drenu od czasu, zależność pierwiastka kwadratowego z wartości prądu drenu od napięcia bramka — źródło jest jakościowo równoważna zależności napięcia bramka — źródło od czasu.

Jak to jest uwidocznione na fig. 1 elektrody bramki G i drenu D tranzystora T typu MIS są zwarte i włączone pomiędzy źródło prądowe ZP połączone z generatorem taktującym GT, a pierwszy układ różniczkujący UR_1 , który poprzez drugi układ różniczkujący UR_2 połączony jest z układem identyfikacji UI. Jedno wyjście układu identyfikacji dołączone jest do rejestru R połączonego również z generatorem taktującym GT i generatorem zegarowym GZ. Drugie wyjście układu identyfikacji UI dołączone jest do wejść woltomierzy próbujących z pamięcią S—H₁ i S—H₂ przy czym drugie wejście woltomierza S—H₁ połączone jest z wyjściem pierwszego układu różniczkującego UR_1 zaś drugie wejście woltomierza S—H₂ połączone jest z wyjściem mierzonego tranzystora T. Wyjście woltomierza S—H₁ poprzez przetwornik cyfrowo-analogowy P dołączony do wyjścia rejestru R, połączone jest z ujemnym wejściem wzmacniacza różnicowego WR. Wyjście woltomierza S—H₂ połączone jest z dodatnim wejściem wzmacniacza różnicowego WR. Wyjście wzmacniacza WR stanowi wyjście urządzenia mierzącego wartość napięcia wprost proporcjonalnego do napięcia progowego U_T tranzystora T.

Ze źródła prądowego ZP uruchamianego z generatora taktowego GT w chwili przyjętej za zerową polaryzuje się tranzystor T dla wymuszenia prądu drenu I_D , którego wartość jest kwadratową funkcją czasu, a więc zmieniającego się zgodnie z zależnością $I_D = At^2$ gdzie A oznacza stały współczynnik. Przy tak spolaryzowanym tranzystorze T jego napięcie wyjściowe, a więc napięcie bramka — źródło U_{GS} doprowadza się do woltomierza próbującego z pamięcią S—H₂ dla zarejestrowania jego wartości U_{GS0} w chwili t_0 i ten sam sygnał różniczkuje się w układzie różniczkującym UR_1 dla określenia przedziału czasu, w którym jego wartość jest stała, przy czym uzyskane zróżniczkowane napięcie U_1 doprowadza się do woltomierza próbującego S—H₁ i do drugiego układu

różniczkującego UR_2 . Napięcie U_2 na wyjściu układu różniczkującego UR_2 przyjmuje wartość równą zero dla zakresu wartości napięć bramka – źródło UGS , dla których charakterystyka $\sqrt{I_D} = f(UGS)$ i równoważna jej charakterystyka $UGS = f(t)$ są prostoliniowe. Napięcie U_2 z wyjścia układu różniczkującego UR_2 doprowadza się do układu identyfikacji UI, na wyjściu którego dla dowolnie wybranej chwili t_0 z przedziału czasu, w którym wartość napięcia U_1 jest stała wytwarza się impulsysterowujący woltomierz $S-H_1$ i $S-H_2$ oraz blokujący rejestr R, który uruchamia się z generatora taktującego GT i który zlicza impulsy generowane przez generator zegarowy GZ.

Liczbę impulsów proporcjonalną do czasu jaki upłynął od chwili przyjętej za zerową do dowolnie wybranej chwili t_0 podaje się na wejścia cyfrowe przetwornika cyfrowo-analogowego P, do którego jednocześnie doprowadza się zmierzone dla chwili t_0 w woltomierzu $S-H_1$ napięcie U_1 otrzymując na wyjściu przetwornika sygnał analogowy proporcjonalny do iloczynu jego sygnałów wejściowych. Sygnał ten podaje się na ujemne wejście wzmacniacza różnicowego WR, przy czym na jego wejście dodatnie doprowadza się zapamiętane napięcie $UGSO$ zmierzone także dla chwili t_0 uzyskując na wyjściu wartość napięcia wprost proporcjonalnego do wartości napięcia progowego U_T czyli,

$$U_{wy} \div U_T = U_{GSO} - t_0 U_1 \quad \text{czyli}$$

$$U_T = U_{GS}(t_0) - t_0 \frac{dU_{GS}}{dt}(t_0)$$

gdzie: U_T oznacza napięcie progowe tranzystora T, U_{GSO} jest to napięcie bramka – źródło na wyjściu tranzystora T zmierzone w chwili t_0 , a $U_1 = \frac{dU_{GS}}{dt}(t_0)$ jest to wartość zróżniczkowanego napięcia bramka – źródło zmierzonego w chwili t_0 .

Jak to zostało uwidocznione na fig. 2 elektrody bramki G i drenu D tranzystora T typu MIS są zwarte i włączone pomiędzy źródło prądowe ZP połączone z generatorem taktującym GT, a układ różniczkujący UR połączony z układem identyfikacji UI. Urządzenie wyposażone jest w cztery woltomierze próbkujące z pamięcią $S-H_1$, $S-H_2$, $S-H_3$, $S-H_4$ o wyjściach dołączonych do układu arytmetycznego UA, z których dwa woltomierze $S-H_1$ i $S-H_3$ mają wejścia połączone z wyjściem tranzystora T, a pozostałe dwa $S-H_2$ i $S-H_4$ mają wejścia połączone ze źródłem prądowym ZP, przy czym woltomierze $S-H_1$ i $S-H_2$ także sterowane są z tego samego wyjścia układu identyfikacji UI, a woltomierze $S-H_3$ i $S-H_4$ sterowane są z drugiego wyjścia układu identyfikacji UI. Ze źródła prądowego ZP uruchamianego z generatora taktowego GT w chwili przyjętej za zerową polaryzuje się tranzystor T dla wymuszenia prądu drenu I_D o kwadratowej zależności od czasu czyli

$$I_D = At^2 \quad \text{gdzie } A \text{ oznacza stałą współczynnik.}$$

Przy tak spolaryzowanym tranzystorze T jego napięcie wyjściowe, a więc napięcie bramka – źródło UGS różniczkuje się dwukrotnie w układzie różniczkującym UR. Napięcie U_R na wyjściu układu różniczkującego UR przyjmuje wartość równą zero dla zakresu wartości napięć bramka – źródło UGS , dla którego charakterystyka $\sqrt{I_D} = f(UGS)$ i równoważna jej charakterystyka $UGS = f(t)$ są prostoliniowe, a więc tym samym określa się przedział czasu, dla którego te zależności są liniowe. Napięcie U_R doprowadza się do układu identyfikacji UI, który w dowolnie wybranych dwóch chwilach czasu t_1 i t_2 z tak określonego przedziału czasu wytwarza impulsy uruchamiające dla chwili czasu t_1 woltomierz $S-H_1$ i $S-H_2$, a dla chwili czasu t_2 woltomierz $S-H_3$ i $S-H_4$. Woltomierz $S-H_1$ mierzy wartość napięcia bramka – źródło UGS_1 , a woltomierz $S-H_2$ wartość prądu drenu I_{D1} w chwili czasu t_1 , zaś woltomierz $S-H_3$ mierzy wartość napięcia bramka – źródło UGS_2 , a woltomierz $S-H_4$ wartość prądu drenu I_{D2} w chwili t_2 . Napięcia wyjściowe woltomierzy próbkujących z pamięcią doprowadza się do układu arytmetycznego UA, którego napięcia wyjściowe wprost proporcjonalne do napięcia progowego U_T tranzystora T powiązane jest w zadany sposób z napięciami sterującymi:

$$U_{wy} \div U_T = U_{GS1} \frac{\sqrt{I_{D2}}}{\sqrt{I_{D2}} - \sqrt{I_{D1}}} - U_{G2} \frac{\sqrt{I_{D1}}}{\sqrt{I_{D2}} - \sqrt{I_{D1}}}$$

gdzie: U_T oznacza napięcie progowe tranzystora T, UGS_1 wartość napięcia bramka – źródło w chwili t_1 , UGS_2 wartość napięcia bramka – źródło w chwili t_2 , I_{D1} wartość prądu w chwili t_1 , I_{D2} wartość prądu w chwili t_2 .

W trzecim wariantcie rozwiązania jak to uwidocznione jest na fig. 3 elektrody bramki G i drenu D tranzystora T są zwarte i włączone pomiędzy źródło prądowe ZP połączone z generatorem taktującym GT, a układ

różniczkujący UR połączony z układem identyfikacji UI. Jedno wyjście układu identyfikacji UI dołączone jest do wejścia rejestru R_A i rejestru R_C , a także do wejścia woltomierza próbującego z pamięcią $S-H_1$ mierzącego wartość napięcia bramka – źródło U_{GS} w chwili czasu t_1 z tym, że do drugiego wejścia rejestru R_A i rejestru R_B doprowadzony jest sygnał z wyjścia generatora taktującego GT. Drugie wyjście układu identyfikacji UI dołączone jest do wejścia rejestru R_B i rejestru R_C oraz do woltomierza próbującego z pamięcią $S-H_2$ mierzącego wartość napięcia bramka – źródło U_{GS} w chwili t_2 . Do wejść rejestrów R_A , R_B , R_C doprowadzony jest także sygnał z wyjścia generatora zegarowego GZ. Wyjście rejestru R_C połączone jest z wejściem przetwornika cyfrowo-analogowego P_1 , do którego dołączone jest również wyjście rejestru R_B i wyjście woltomierza $S-H_1$, przy czym wyjście przetwornika P_1 połączone jest z dodatnim wejściem wzmacniacza różnicowego WR. Ujemne wejście wzmacniacza różnicowego WR połączone jest z wyjściem przetwornika cyfrowo-analogowego P_2 , wyjście którego połączone jest z wyjściem rejestru R_A , wyjściem rejestru R_C i wyjściem woltomierza $S-H_2$. Ze źródła prądowego ZP uruchamianego z generatora taktowego GT w chwili przyjętej za zerową polaryzuje się tranzystor T dla wymuszenia prądu drenu I_D o kwadratowej zależności od czasu czyli

$$I_D = At^2 \text{ gdzie } A \text{ oznacza stały współczynnik.}$$

Przy tak spolaryzowanym tranzystorze T jego napięcie wyjściowe, a więc napięcie bramka – źródło U_{GS} różniczkuje się dwukrotnie w układzie różniczkującym UR. Napięcie U_R na wyjściu układu różniczkującego UR przyjmuje wartość równą zero dla zakresu wartości napięć bramka – źródło U_{GS} , dla którego charakterystyka $\sqrt{I_D} = f(U_{GS})$ i równoważna jej charakterystyka $U_{GS} = f(t)$ są prostoliniowe, a więc tym samym określa się przedział czasu, dla którego te zależności są liniowe. Napięcie U_R doprowadza się do układu identyfikacji UI, który w dowolnie wybranych dwóch chwilach czasu t_1 i t_2 z tak określonego przedziału czasu wytwarza impulsy blokujące rejestr R_A i otwierające rejestr R_C w chwili czasu t_1 oraz blokujące rejestry R_B i R_C w chwili czasu t_2 . Jednocześnie impulsy te uruchamiają woltomierze próbujące z pamięcią, woltomierz $S-H_1$ w chwili czasu t_1 , a woltomierz $S-H_2$ w chwili czasu t_2 . Woltomierze te mierzą wartości napięcia bramka – źródło U_{GS1} i U_{GS2} . Rejestr R_A i rejestr R_B włącza się z generatora taktowego GT w chwili czasu przyjętej za zerową. W rejestrach R_A , R_B , R_C zlicza się impulsy generowane przez generator zegarowy GZ. Zawartość rejestru R_A jest zatem proporcjonalna do przedziału czasowego $(0, t_1)$, rejestru R_B do przedziału czasowego $(0, t_2)$ zaś rejestru R_C do przedziału czasu $(t_2 - t_1)$. Zawartości rejestrów R_B i R_C doprowadza się do przetwornika cyfrowo-analogowego P_1 , który na wejściu dla napięcia odniesienia steruje się napięciem bramka – źródło U_{GS1} zmierzonym w woltomierzu $S-H_1$ w chwili czasu t_1 .

Wykorzystując właściwość przetwornika cyfrowo-analogowego P_1 na jego wyjściu uzyskuje się sygnał proporcjonalny do iloczynu wartości napięcia U_{GS1} i zawartości rejestru R_B podzielonej przez zawartość rejestru R_C . Analogicznie zawartości rejestrów R_A i R_C doprowadza się do drugiego przetwornika cyfrowo-analogowego P_2 , który na wejściu dla napięcia odniesienia steruje się napięciem bramka – źródło U_{GS2} zmierzonym w woltomierzu $S-H_2$ w chwili czasu t_2 , przy czym na jego wyjściu uzyskuje się sygnał proporcjonalny do iloczynu wartości napięcia U_{GS2} i zawartości rejestru R_A podzielonego przez zawartość rejestru R_C . Napięcie wyjściowe przetwornika P_2 odejmuje się od napięcia wyjściowego przetwornika P_1 we wzmacniaczu różnicowym WR. Uzyskiwane na wyjściu wzmacniacza różnicowego WR napięcie jest wprost proporcjonalne do napięcia progowego U_T tranzystora T, co można zilustrować podaną zależnością:

$$U_{wy} \div U_T = U_{GS1} \frac{t_2}{t_2 - t_1} - U_{GS2} \frac{t_1}{t_2 - t_1}$$

gdzie: U_T oznacza wartość napięcia progowego tranzystora T, U_{GS1} jest to wartość napięcia bramka – źródło zmierzona w chwili czasu t_1 , a U_{GS2} – wartość napięcia bramka – źródło zmierzona w chwili czasu t_2 .

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób określania napięcia progowego tranzystorów typu MIS ze zwartymi elektrodami bramki i drenu w czasie pomiaru, z n a m i e n n y t y m, że polaryzuje się tranzystor (T) dla wymuszenia prądu drenu (I_D) o kwadratowej zależności natężenia tego prądu od czasu i różniczkuje się napięcie bramka – źródło (U_{GS}) dla określenia przedziału czasu, w którym jej wartość (U_1) jest stała, po czym z tak określonego przedziału czasu dowolnie wybiera się chwilę (t_0), w której mierzy się wartość napięcia bramka – źródło (U_{GS0}), wartość napięcia zróżniczkowanego (U_1) i wartość sygnału wprost proporcjonalnego do przedziału czasu $(0, t_0)$,

w którym prąd drenu (I_D) narasta od zera do wartości odpowiadającej tej wybranej chwili (t_0) przy czym wartość napięcia zróżniczkowanego (U_1) i wartość sygnału proporcjonalnego do przedziału czasu ($0, t_0$), w którym prąd drenu (I_D) narasta od zera do wartości odpowiadającej tej wybranej chwili (t_0) mnoży się, a następnie odejmuje od wartości napięcia bramka – źródło (U_{GS0}) uzyskując wartość napięcia wprost proporcjonalną do wartości napięcia progowego (U_T).

2. Sposób określania napięcia progowego tranzystorów typu MIS ze zwartymi elektrodami bramki i drenu w czasie pomiaru, z n a m i e n n y t y m, że polaryzuje się tranzystor (T) dla wymuszenia prądu drenu (I_D) o kwadratowej zależności natężenia tego prądu od czasu i różniczkuje się napięcie bramka – źródło (U_{GS}) dla określenia przedziału czasu, w którym jej wartość jest stała, po czym z tak określonego przedziału wybiera się dowolnie dwie chwile czasu (t_1, t_2), w których mierzy się wartości prądu drenu (I_{D1}, I_{D2}) i wartości napięcia bramka – źródło (U_{GS1}, U_{GS2}), po czym wartość napięcia progowego (U_T) określa się zgodnie z zależnością:

$$U_T = U_{GS1} \frac{\sqrt{I_{D2}}}{\sqrt{I_{D2}} - \sqrt{I_{D1}}} - U_{GS2} \frac{\sqrt{I_{D1}}}{\sqrt{I_{D2}} - \sqrt{I_{D1}}}$$

gdzie: U_T oznacza napięcie progowe tranzystora typu MIS, U_{GS1} wartość napięcia bramka – źródło zmierzona w chwili t_1 , U_{GS2} – wartość napięcia bramka – źródło zmierzona w chwili t_2 , I_{D1} – wartość prądu drenu zmierzona w chwili t_1 , I_{D2} – wartość prądu drenu zmierzona w chwili t_2 .

3. Sposób określania napięcia progowego tranzystorów typu MIS ze zwartymi elektrodami bramki i drenu w czasie pomiaru, z n a m i e n n y t y m, że polaryzuje się tranzystor (T) dla wymuszenia prądu drenu (I_D) o kwadratowej zależności natężenia tego prądu od czasu i różniczkuje się napięcie bramka – źródło (U_{GS}) dla określenia przedziału czasu, w którym jej wartość jest stała, po czym z tak określonego przedziału czasu dowolnie wybiera się dwie chwile czasu (t_1, t_2), w których mierzy się wartość napięcia bramka – źródło (U_{GS1}, U_{GS2}) i odmierza się czas jaki upłynął od chwili przyjętej za zerową do dowolnie wybranej pierwszej chwili czasu (t_1), co odpowiada przedziałowi czasu ($0, t_1$), w którym prąd drenu (I_D) narasta od zera do wartości odpowiadającej tej pierwszej dowolnie wybranej chwili czasu (t_1) i odmierza się czas jaki upłynął od chwili przyjętej za zerową do dowolnie wybranej drugiej chwili czasu (t_2), co odpowiada przedziałowi czasu ($0, t_2$), w którym prąd drenu (I_D) narasta od zera do wartości odpowiadającej tej dowolnie wybranej drugiej chwili czasu (t_2), jak również odmierza się różnicę czasu ($t_2 - t_1$) pomiędzy dowolnie wybranymi dwoma chwilami czasu (t_1, t_2), po czym wartość napięcia progowego (U_T) określa się zgodnie z zależnością:

$$U_T = U_{GS1} \frac{t_2}{t_2 - t_1} - U_{GS2} \frac{t_1}{t_2 - t_1}$$

gdzie: U_T oznacza napięcie progowe tranzystora typu MIS, U_{GS1} wartość napięcia bramka – źródło zmierzona w chwili czasu t_1 , U_{GS2} – wartość napięcia bramka – źródło zmierzona w chwili t_2 .

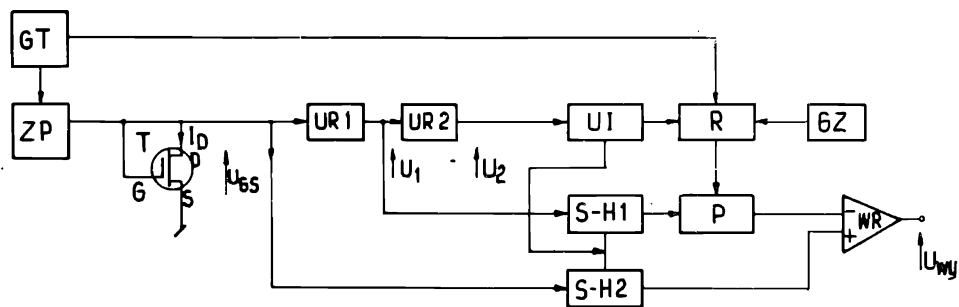


Fig.1

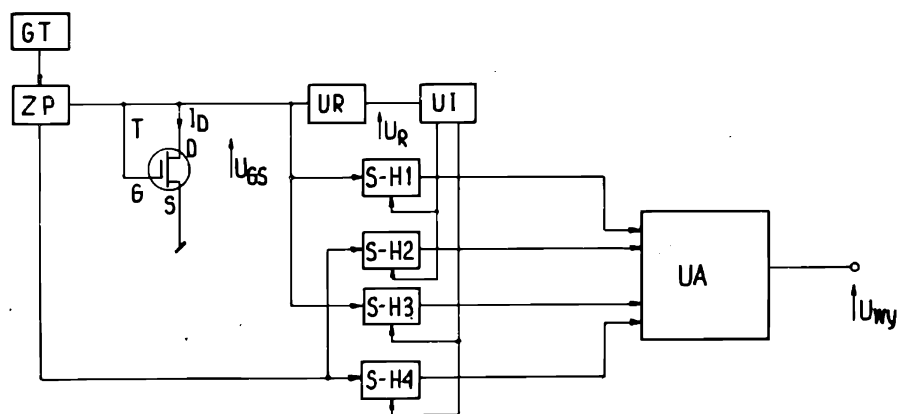


Fig.2

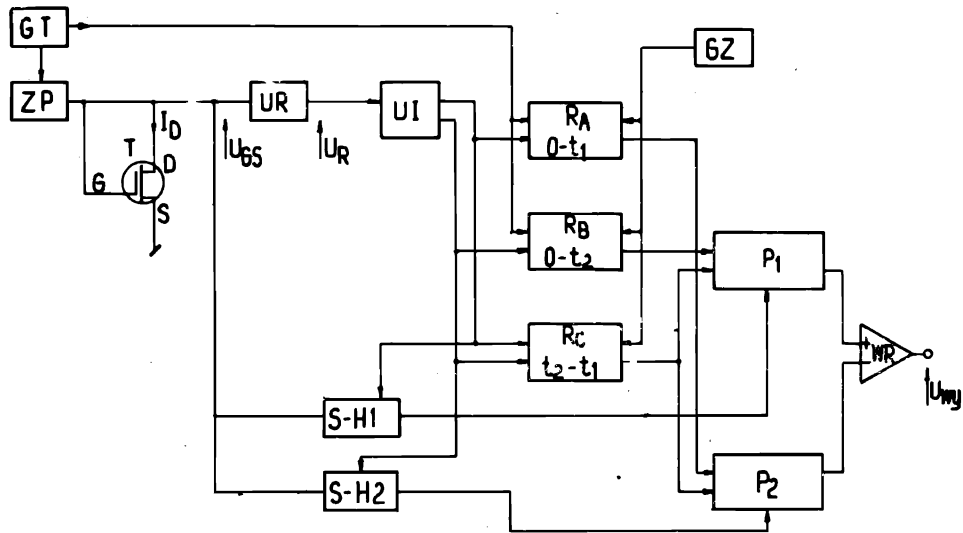


Fig. 3

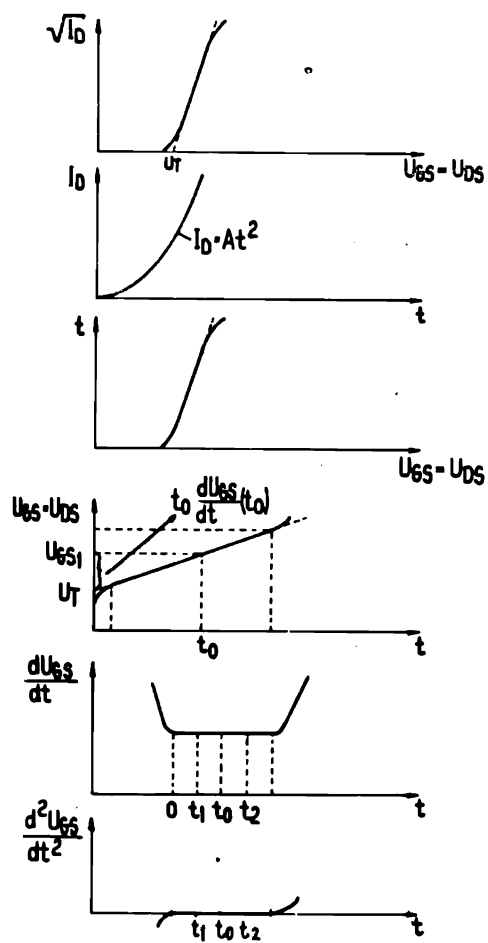


Fig. 4