

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10)

PL 442685 A1

(12)

## Opis zgłoszeniowy wynalazku (z daty zgłoszenia)

(21) Numer zgłoszenia: 442685

(22) Data zgłoszenia: 2022.10.28

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: 2024.04.29 BUP 18/2024

(51) MKP:

G01R 31/26 (2020.01)

H01L 21/66 (2006.01)

H03K 17/00 (2006.01)

H02M 1/00 (2006.01)

(71) Zgłaszający:

UNIWERSYTET MORSKI W GDYNI,  
Gdynia, PL

(72) Twórca(-y):

KRZYSZTOF GÓRECKI, Rumia, PL  
PAWEŁ GÓRECKI, Reda, PL

(74) Pełnomocnik:

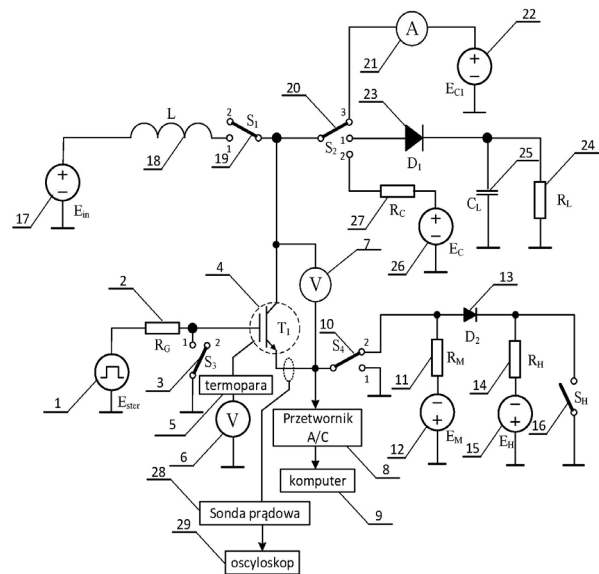
rzecz. pat. Magdalena Kukowska-Kaszuba,  
Gdynia, PL

(54) Tytuł:

**Sposób pomiaru energii włączania i wyłączenia tranzystorów bipolarnych mocy z izolowaną bramką i układ do pomiaru energii włączania i wyłączenia tranzystorów bipolarnych mocy z izolowaną bramką**

(57) Skróć opisu:

Przedmiotem zgłoszenia przedstawionym na rysunku jest sposób pomiaru energii włączania i wyłączenia tranzystorów bipolarnych mocy z izolowaną bramką i układ do pomiaru energii włączania i wyłączenia tranzystorów bipolarnych mocy z izolowaną bramką. Zgłoszenie ma zastosowanie przy kontroli jakości półprzewodnikowych przyrządów mocy dla przemysłu elektronicznego i elektrotechnicznego.



Sposób pomiaru energii włączania i wyłączania tranzystorów bipolarnych mocy z izolowaną bramką i układ do pomiaru energii włączania i wyłączania tranzystorów bipolarnych mocy z izolowaną bramką

Przedmiotem wynalazku jest sposób pomiaru energii włączania i wyłączania tranzystorów bipolarnych mocy z izolowaną bramką i układ do pomiaru energii włączania i wyłączania tranzystorów bipolarnych mocy z izolowaną bramką. Wynalazek ma zastosowanie przy kontroli jakości półprzewodnikowych przyrządów mocy dla przemysłu elektronicznego i elektrotechnicznego.

Z opisu patentowego PL191944 znane są sposób i układ do pomiaru rezystancji termicznej elementów półprzewodnikowych zawierających złącze p-n. W znanym sposobie pomiar wykonywany jest w trzech etapach. Pierwszy etap obejmuje pomiary współrzędnych czterech punktów leżących na izotermicznych charakterystykach spolaryzowanego w kierunku przewodzenia złącza p-n, zawartego w badanym elemencie, drugi etap polega na pomiarze współrzędnych jednego punktu na niezotermicznej charakterystyce tego złącza, w trzecim etapie obliczana jest wartość rezystancji termicznej przy wykorzystaniu znanego wzoru. Znany układ pomiarowy zawiera badany układ scalony, wzmacniacz pomiarowy, przełącznik, źródło prądu pomiarowego i grzejnego, przetwornik oraz komputer. Znany sposób wymaga pracy badanego układu scalonego w nietypowych dla niego warunkach zasilania.

Znane są z opisu patentowego PL224783 sposób i układ do pomiaru rezystancji termicznej tranzystora bipolarnego mocy z izolowaną bramką (IGBT). Sposób ten realizowany jest wieloetapowo i charakteryzuje się tym, że w czasie drugiego etapu pomiaru badany tranzystor pracuje w zakresie aktywnym, a wartości napięcia bramka-emiter wyznaczone są w 3 punktach pracy tranzystora (A, B, C) tak dobranych, aby prąd kolektora przyjmował ustaloną wartość, a wartości napięcia kolektor-emiter były tak dobrane, by wykres zależności  $u_{GE}(u_{CE})$  dla tych punktów był linią prostą. Wartość rezystancji termicznej jest wyliczana ze wzoru analitycznego i jest równa ilorazowi różnicy napięć bramka-emiter dla punktów A i C przez iloczyn różnicy napięć kolektor-emiter dla tych punktów przez prąd kolektora oraz nachylenie charakterystyki termometrycznej wyznaczone w pierwszym etapie pomiaru. Z kolei, układ do pomiaru rezystancji termicznej tranzystora bipolarnego mocy z izolowaną bramką charakteryzuje się tym, że

pierwszy zasilacz napięciowy przez pierwszy rezystor połączony jest z emiterem badanego tranzystora. Z kolei, drugi zasilacz napięciowy, przez szeregowo połączony drugi rezystor oraz amperomierz zasila kolektor badanego tranzystora. Bramka tranzystora jest zwarta do masy, natomiast woltomierze mierzą potencjały emitera i kolektora, a badany tranzystor umieszczony jest w termostacie. Znany sposób i układ może być stosowany do pomiarów rezystancji termicznej IGBT przy specyficznym dobranych współrzędnych jego punktu pracy.

Z noty aplikacyjnej o nr AN\_1907\_PL52\_1911\_144109 firmy Infineon Technologies znany jest sposób pomiaru strat przełączania w tranzystorze mocy i układ do pomiaru strat przełączania w tranzystorze mocy. Znany układ pomiarowy zawiera badany tranzystor, źródło napięcia stałego, induktor, kondensator, rezystor ograniczający prąd bramki tranzystora, generator przebiegu prostokątnego napięcia i drugi taki sam tranzystor bocznikujący obciążenie indukcyjne badanego tranzystora oraz oscyloskop i sondę prądową. Znany sposób polega na pobudzaniu bramki badanego tranzystora pracującego przy obciążeniu indukcyjnym ciągiem impulsów prostokątnych napięcia o poziomach tak dobranych, aby zapewnione było skuteczne włączenie i wyłączenie badanego tranzystora w każdym okresie sygnału sterującego. Rejestrowane są przebiegi czasowe napięcia kolektor-emiter oraz prądu kolektora, a następnie wyznaczany jest iloczyn tych przebiegów będący czasowym przebiegiem traconej mocy. Następnie wykonywane jest całkowanie tego przebiegu, przy czym granice całkowania są określone przez chwile osiągnięcia przez przebiegi  $U_{CE}(t)$  oraz  $I_C(t)$  ustalonych wartości. Znany sposób i układ pomijają wpływ pasożytniczych indukcyjności układu na wynik pomiaru.

Z opisu patentowego DE102011087764 znana jest metoda określania zużycia eksploatacyjnego m.in. tranzystora bipolarnego z izolowaną bramką w elektrowni wiatrowej, polegająca na wyznaczeniu charakterystyk cykli temperaturowych i wyznaczeniu odstępów serwisowych na podstawie tych cykli. Metoda ta polega na wyznaczeniu temperatury pracy przyrządu półprzewodnikowego na podstawie temperatury pracy przekształtników. Zużycie eksploatacyjne elementu półprzewodnikowego mocy jest określone na podstawie cykli temperatury roboczej. Metoda nie umożliwia wyznaczenia strat związanych z przełączaniem przyrządów półprzewodnikowych.

Zgodnie z opisem patentowym CN103033732 znany jest układ do wykrywania uszkodzeń tranzystora IGBT. Układ ten zawiera obwód wykrywania uszkodzenia IGBT, obwód wykrywania przetężenia IGBT, obwód wykrywania przepięcia IGBT i obwód sygnału zwrotnego. Układ ten może wykryć w czasie rzeczywistym, czy IGBT jest uszkodzony, czy występuje nadmierny prąd lub przepięcie. Niedogodnością tego układu jest brak możliwości wyznaczenia energii włączania i wyłączania.

Z opisu patentowego CN103675634 znana jest metoda testowania tranzystora IGBT oparta na oprogramowaniu LabVIEW. Metoda ta jest realizowana w dwóch etapach obejmujących pobudzenie badanego tranzystora i rejestrowanie sygnałów napięciowych i prądowych.

Opis patentowy CN104251965 ujawnia dynamiczne urządzenie do testowania wydajności tranzystora IGBT i metodę działania takiego urządzenia. Urządzenie według wynalazku zawiera obwód generujący prąd testowy, pierwszy system rejestrowania i stabilizacji temperatury, drugi system rejestrowania temperatury, oscyloskop, obwód sterujący IGBT. Umożliwia ono dynamiczne testowanie tranzystora IGBT.

Znane są z opisu patentowego CN105811944 urządzenie sterujące i metoda szacowania temperatury wnętrza modułu IGBT. Urządzenie składa się z testowanego modułu IGBT, modułu sterującego źródłem prądu stałego oraz platformy włączania bramki Millera, przy czym moduł sterujący źródłem prądu stałego służy do wyznaczenia parametru elektrycznego, który jest czujnikiem temperatury - napięcia włączania bramki. Układ i metoda pozwalają na wyznaczenie temperatury wnętrza modułu IGBT bez ryzyka uszkodzenia tego modułu.

Z opisu patentowego CN106291310 znana są metoda testowania i urządzenie do dynamicznej charakteryzacji przełączania tranzystora IGBT z wykorzystaniem technologii podwójnego impulsu. Sygnał podwójnego impulsu jest wytwarzany za pomocą procesora sygnałowego; testowany IGBT osiąga znamionowy prąd roboczy przez pierwszy impuls, a drugi impuls jest używany do testowania dynamicznych charakterystyk tego tranzystora. Dynamiczne parametry napięciowe i prądowe IGBT w procesie włączania/wyłączania są mierzone przy użyciu oscyloskopu i sondy różnicowej. Wśród mierzonych parametrów jest energia włączania i wyłączania. Niedogodnością znanej metody są pasożytnicze pojemności sond pomiarowych.

Znane są z opisu patentowego CN107807319 układ i metoda testowania tranzystora IGBT. Układ ten zawiera źródła prądowe, kondensator i induktor oraz przełączniki. W szczególności umożliwia on pomiary parametrów charakteryzujących rozważany tranzystor pracujący w układzie przełącznika.

Opis patentowy CN102445647 ujawnia metodę impulsowego testowania tranzystorów IGBT. Metoda ta wykorzystuje pobudzenie badanego tranzystora ciągiem impulsów prostokątnych wysokiej częstotliwości i rejestrację czasu trwania impulsu.

Z opisu patentowego CN109752638 znane są urządzenie i metoda do ciągłego pomiaru charakterystyki wyjściowej tranzystora IGBT. Urządzenie składa się z kondensatora, cewki indukcyjnej, testowanego IGBT, pomocniczego IGBT, diody zwrotnej, rezystora stanowiącego obciążenie, źródła napięcia stałego, generatora impulsów sterujących, urządzenia do pomiaru prądu i urządzenia do pomiaru napięcia. Pomiar wykonywany jest podczas ładowania i rozładowywania induktora.

Z opisanego powyżej stanu techniki znane są sposoby i układy do pomiaru charakterystyki tranzystorów IGBT, które jednak nie umożliwiają wyznaczenia energii włączania i wyłączania tranzystora bez wpływu pasożytniczych pojemności sond pomiarowych. Dodatkowo okazało się, że sposób pomiaru wymienionych parametrów tranzystorów IGBT można zrealizować z wyższą dokładnością i przy mniejszych kosztach.

Sposób pomiaru i układ do pomiaru według wynalazku w porównaniu do znanych sposobów i układów wykorzystują inną koncepcję pomiaru, tzn. wartości energii włączania i wyłączania są wyznaczone na podstawie pomiaru temperatury obudowy tranzystora w stanie ustalonym, co eliminuje potrzebę stosowania sond pomiarowych wprowadzających pasożytnicze pojemności do układu pomiarowego i będących przyczyną błędów pomiarowych. Poza tym, układ pomiarowy według wynalazku pozwala na wyznaczenie dodatkowo parametrów cieplnych mierzonego tranzystora w trakcie pomiaru energii włączania i wyłączania. Sposób według wynalazku jest dokładniejszy i wymaga mniej kosztownej aparatury pomiarowej.

Istotą wynalazku jest sposób pomiaru energii włączania i wyłączania tranzystorów bipolarnych mocy z izolowaną bramką realizowany metodą pośrednią i obejmuje pięć następujących kolejno etapów:

- a) Etap I - pomiar rezystancji termicznej między wnętrzem a obudową tranzystora  $R_{thj-c}$  przy wykorzystaniu znanej metody stykowej i rezystancji termicznej między wnętrzem a otoczeniem  $R_{thj-a}$  przy wykorzystaniu znanej pośredniej metody elektrycznej;
- b) Etap II – pobudzenie tranzystora, zawartego w układzie przetwornicy boost pracującej w trybie granicznym, ciągiem impulsów prostokątnych napięcia sterującego jego bramkę o ustalonej częstotliwości  $f$  i współczynniku wypełnienia  $d$  aż do uzyskania stanu ustalonego termicznie oraz zapewnienie pracy tej przetwornicy w trybie granicznym poprzez dobranie indukcyjność  $L$  induktora w tej przetwornicy zgodnie ze wzorem (1):

$$L = \frac{d \cdot (1-d)^2 \cdot R_L}{2 \cdot f} \quad (1),$$

gdzie  $R_L$  oznacza rezystancję obciążenia przetwornicy, natomiast w stanie ustalonym mierzona jest wartość napięcia  $U_{CE}$  na zaciskach wyjściowych tranzystora w stanie wyłączenia, prąd kolektora  $I_C$  płynący przez włączony tranzystor oraz temperatura obudowy  $T_C$  wyznacza się metodą stykową;

- c) Etap III – wyznaczenie sumy energii włączania  $E_{on}$  i wyłączenia  $E_{off}$  następuje przy wykorzystaniu wzoru (2):

$$E_{on} + E_{off} = \frac{T_C - T_a + (T_C - T_a) \cdot \frac{R_{thj-c}}{R_{thj-a} - R_{thj-c}} - P_{Cond}}{R_{thj-a} \cdot f} \quad (2),$$

gdzie  $P_{Cond}$  oznacza moc traconą na włączonym tranzystorze; przy czym gdy przetwornica pracuje w trybie granicznym, wartość energii  $E_{on}$  wynosi 0, stąd wartość sumy  $E_{off}$  i  $E_{on}$  jest równa  $E_{off}$ .

- d) Etap IV – pomiar wartości temperatury  $T_C$  w stanie termicznie ustalonym badanego tranzystora pracującego w układzie przełącznika z obciążeniem rezystancyjnym przy bardzo wysokiej częstotliwości  $f$  i rezystancji obciążenia  $R_L$  zapewniającej uzyskanie identycznego prądu  $I_{cmax}$  jak w etapie II;
- e) Etap V – wyliczenie wartości energii  $E_{on}$  równej różnicy prawej strony wzoru (2) oraz wartości energii  $E_{off}$  wyznaczonej w etapie III.

Istotą wynalazku jest układ do pomiaru energii włączania i wyłączania tranzystora bipolarnego mocy z izolowaną bramką. Układ ten składa się z badanego tranzystora 4, induktora 18, diody zwrotnej 23, diody impulsowej 13, pięciu rezystorów, pięciu źródeł napięcia stałego, generatora przebiegu prostokątnego napięcia 1, pięciu przełączników, dwóch woltomierzy, amperomierza 21, termopary 5, przetwornika A/C 8, sondy prądowej 28, oscyloskopu 29 oraz komputera 9. Układ charakteryzuje się tym, że generator przebiegu prostokątnego 1 jest połączony przez rezystor  $R_G$  2 z bramką badanego tranzystora 4 oraz przełącznikiem  $S_3$  3, którego drugie wyprowadzenie połączone jest do masy. Emiter badanego tranzystora 4 połączony jest z przełącznikiem  $S_4$  10 oraz wejściem przetwornika analogowo-cyfrowego 8, którego wyjście połączone jest z komputerem 9. Zacisk pierwszy przełącznika  $S_4$  10 podłączony jest do masy, a zacisk drugi tego przełącznika połączony jest z rezystorem  $R_M$  11 i anodą diody impulsowej 13. Katoda tej diody połączona jest z rezystorem  $R_H$  14 oraz jednym zaciskiem przełącznika  $S_H$  16, którego drugi zacisk połączony jest do masy. Ujemny zacisk źródła napięciowego  $E_M$  12 połączony jest z rezystorem  $R_M$  11. Ujemny zacisk źródła napięciowego  $E_H$  15 połączony jest z rezystorem  $R_H$  14. Dodatkowo zaciski źródeł  $E_M$  oraz  $E_H$  podłączone są do masy. Pierwszy woltomierz 6 połączony jest do zacisków termopary 5 zamocowanej na obudowie badanego tranzystora 4. Drugi woltomierz 7 włączony jest między zaciski kolektora i emitera badanego tranzystora 4. Kolektor tego tranzystora połączony jest do zacisków przełączników  $S_1$  19 i  $S_2$  20. Drugi zacisk przełącznika  $S_1$  19 połączony jest ze źródłem napięciowym  $E_{in}$  17 przez induktor 18. Przełącznik  $S_2$  20 jest trzypozycyjny, a do zacisku trzeciego tego przełącznika dołączone jest źródło napięcia stałego  $E_{C1}$  22 przez amperomierz 21. Z kolei, do zacisku drugiego tego przełącznika dołączone jest źródło napięcia stałego  $E_C$  26 przez rezystor  $R_C$  27, a do zacisku pierwszego tego przełącznika – anoda diody zwrotnej 23. Katoda tej diody połączona jest z kondensatorem 25 i rezystorem 24, a ich pozostałe wyprowadzenia połączone są do masy. Sonda prądowa 28 założona jest na przewodzie połączonym do emitera badanego tranzystora 4, a jej wyjście podłączone jest do wejścia oscyloskopu 29.

Korzystnym skutkiem zastosowania sposobu według wynalazku jest wyznaczenie energii włączania i wyłączania tranzystorów bipolarnych z izolowaną bramką w typowych warunkach pracy tego tranzystora z obciążeniem indukcyjnym.

Korzystnym skutkiem zastosowania układu według wynalazku jest wyznaczenie wartości energii włączania oraz wyłączenia tranzystora bipolarnego mocy z izolowaną bramką.

Przedmiot wynalazku przedstawiono na przykładzie wykonania nie ograniczającym wynalazku:

Sposób pomiaru energii włączania i wyłączenia tranzystorów bipolarnych mocy z izolowaną bramką według wynalazku realizowany jest metodą pośrednią obejmującą pięć następujących kolejno etapów:

- a) W pierwszym etapie mierzona jest rezystancja termiczna między wnętrzem a obudową tranzystora  $R_{th-c}$  przy wykorzystaniu znanej metody stykowej i rezystancja termiczna między wnętrzem a otoczeniem  $R_{th-a}$  przy wykorzystaniu znanej pośredniej metody elektrycznej. Podczas realizacji tego etapu pomiaru przełącznik  $S_3$  3 znajduje się w pozycji 1, przełącznik  $S_4$  10 w pozycji 2, przełącznik  $S_1$  19 jest rozarty, a przełącznik  $S_2$  20 znajduje się w pozycji 3. W czasie tego pomiaru najpierw wyznaczana jest charakterystyka termometryczna  $U_{GE}(T)$  stanowiąca zależność napięcia między bramką a źródłem badanego tranzystora 4 od temperatury otoczenia  $T_a$ . W czasie wyznaczania tej charakterystyki przełącznik  $S_H$  16 jest zwarty umożliwiając przepływ przez badany tranzystor 4 prądu na małej wartości (z zakresu od 1 do 10 mA) regulowanej przez dobór wartości rezystora  $R_M$  11 oraz napięcia na źródle  $E_M$  12. Potem przełącznik  $S_H$  16 jest rozwierany, co powoduje przepływ przez badany tranzystor prądu  $I_C$  o dużej wartości regulowanej przez dobór rezystancji rezystora  $R_H$  14 oraz napięcia na źródle  $E_H$  15. Wartość prądu  $I_C$  mierzona jest przez amperomierz 21, a wartość napięcia kolektor-emiter  $U_{CE}$  przez drugi woltomierz 7. Na skutek wydzielania mocy w tranzystorze 4 zachodzi w nim zjawisko samonagrzewania powodujące wzrost temperatury jego wnętrza  $T_j$  oraz temperatury obudowy  $T_C$ . Termopara 5 wraz z woltomierzem 6 umożliwiają pomiar temperatury  $T_C$ . Istotne jest, aby termopara stykała się z metalową częścią obudowy badanego tranzystora 4, który powinien być zamocowany na metalowym radiatorze. Należy monitorować na woltomierzu 6 zmiany wartości temperatury  $T_C$ , a na komputerze rejestrować mierzone za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego wartości napięcia  $U_{GE}$  aż do momentu uzyskania stanu ustalonego. W stanie tym zmiany

wartości temperatury  $T_C$  obserwowane w ciągu jednej minuty nie mogą przekroczyć rozdzielczości pomiaru tej temperatury. Po wykryciu stanu ustalonego należy zarejestrować wartości napięcia  $U_{CE}$ , prądu  $I_C$  oraz temperatury  $T_C$ . Następnie należy zewrzeć przełącznik  $S_H$  i zmierzyć wartość  $U_{GEH}$  napięcia  $U_{GE}$ . Wartości rezystancji termicznej  $R_{thj-c}$  oraz  $R_{thj-a}$  są wyliczane ze wzorów:

$$R_{thj-c} = \frac{T_C - T_a}{I_C \cdot U_{CE}} \quad (3)$$

$$R_{thj-c} = \frac{U_{GEH} - U_{GEK}}{I_C \cdot U_{CE} \cdot \alpha_T} \quad (4)$$

gdzie  $U_{GEK}$  jest wartością napięcia  $U_{GE}$  odczytaną z charakterystyki termometrycznej przy temperaturze  $T_a$ , zaś  $\alpha_T$  oznacza nachylenie tej charakterystyki.

- b) W drugim etapie pomiaru badany tranzystor 4 zawarty jest w układzie przetwornicy boost zasilanej ze źródła napięciowego  $E_{in}$  17 i pracującej w trybie granicznym. W tym etapie przełącznik  $S_3$  3 znajduje się w pozycji 2, przełącznik  $S_4$  10 – w pozycji 1, przełącznik  $S_1$  19 – w pozycji 1, a przełącznik  $S_2$  20 – w pozycji 1. Bramka tranzystora 4 pobudzana jest ciągiem impulsów prostokątnych napięcia o ustalonej częstotliwości  $f$  i współczynniku wypełnienia  $d$  z generatora  $E_{ster}$  1, aż do momentu uzyskania stanu ustalonego termicznie. Chcąc zapewnić pracę tej przetwornicy w trybie granicznym należy dobrać indukcyjność  $L$  induktora zgodnie z następującym wzorem:

$$L = \frac{d \cdot (1-d)^2 \cdot R_L}{2 \cdot f}, \quad (5)$$

gdzie we wzorze tym  $R_L$  oznacza rezystancję obciążenia przetwornicy. W stanie ustalonym mierzona jest wartość napięcia  $U_{CE}$  na zaciskach wyjściowych tranzystora w stanie wyłączenia za pomocą drugiego woltomierza 7, prąd kolektora  $I_C$  płynący przez włączony tranzystor 4 za pomocą sondy prądowej 28 podłączonej do wejścia oscyloskopu 29 oraz temperatura obudowy  $T_C$  metodą stykową za pomocą termopary 5 i woltomierza 6.

- c) W etapie trzecim wyznaczana jest suma energii włączania  $E_{on}$  i wyłączania  $E_{off}$  przy wykorzystaniu wzoru w postaci:

$$E_{on} + E_{off} = \frac{T_C - T_a + (T_C - T_a) \cdot \frac{R_{thj-c}}{R_{thj-a} - R_{thj-c}} - P_{Cond}}{f \cdot R_{thj-a}}, \quad (6)$$

gdzie we wzorze tym  $P_{Cond}$  oznacza moc traconą na włączonym tranzystorze. W związku z tym, że przetwornica pracuje w trybie granicznym, wartość energii  $E_{on}$  wynosi 0, a więc wartość sumy  $E_{off}$  i  $E_{on}$  jest równa  $E_{off}$ .

Moc ta wyznaczana jest z następującego wzoru będącego aproksymacją charakterystyki wyjściowej włączonego tranzystora IGBT:

$$P_{cond} = \frac{1}{I_{Cmax} - I_{Cmin}} \int_{I_{Cmin}}^{I_{Cmax}} (I_C \cdot R_S + U_{CE0}) \cdot I_C dI_C =$$

$$= \frac{I_{Cmax} + I_{Cmin}}{2} \cdot U_{CE0} + \frac{I_{Cmax}^2 + I_{Cmax} \cdot I_{Cmin} + I_{Cmin}^2}{3} \cdot R_S \quad (7)$$

gdzie  $I_{Cmax}$  i  $I_{Cmin}$  to odpowiednio maksymalny i minimalny prąd tranzystora IGBT w okresie jego pracy w stanie ustalonym,  $R_S$  i  $U_{CE0}$  to parametry aproksymacji odcinakmi liniowej jego charakterystyki wyjściowej.  $R_S$  wyznacza się ze wzoru:

$$R_S = \frac{U_{CE1} - U_{CE2}}{I_{C1} - I_{C2}} \quad (8)$$

gdzie:  $U_{CE1}$ ,  $U_{CE2}$ ,  $I_{C1}$  oraz  $I_{C2}$  to współrzędne punktów pracy tranzystora w liniowym zakresie charakterystyki wyjściowej włączonego tranzystora IGBT przy zachowaniu warunku, że  $I_{C1} > I_{C2}$ .  $U_{CE0}$  to miejsce zerowe prostej aproksymującej te dwa punkty.

- d) W etapie czwartym badany tranzystor pracuje w układzie przełącznika z obciążeniem rezystancyjnym przy wysokiej częstotliwości  $f$  i rezystancji obciążenia  $R_C$ , zapewniającej uzyskanie identycznego prądu  $I_{Cmax}$  jak w etapie III, aż do uzyskania stanu ustalonego. W tym etapie przełącznik  $S_3$  3 znajduje się w pozycji 2, przełącznik  $S_4$  10 – w pozycji 1, przełącznik  $S_1$  19 – w pozycji 2, a przełącznik  $S_2$  20 – w pozycji 2. W stanie tym mierzona jest wartość temperatury  $T_C$  za pomocą termopary 5 i woltomierza 6.

e) W etapie piątym wyliczana jest wartość energii  $E_{on}$  równa różnicy prawej strony równania (6) oraz wartości  $E_{off}$  wyznaczonej w etapie III.

Przedmiot wynalazku został uwidoczniony na rysunku:

Fig. 1. - przedstawia schemat blokowy układu do pomiaru energii włączania i wyłączenia tranzystora bipolarnego mocy z izolowaną bramką.

Układ według wynalazku zawiera badany tranzystor 4, induktor 18, diodę zwrotną 23, diodę impulsową 13, pięć rezystorów, pięć źródeł napięcia stałego, generator przebiegu prostokątnego napięcia 1, pięć przełączników, dwa woltomierze, amperomierz 21, termoparę 5, przetwornik A/C 8, sondę prądową 28, oscyloskop 29 oraz komputer 9. Układ charakteryzuje się tym, że generator przebiegu prostokątnego 1 jest połączony przez rezystor  $R_C$  2 z bramką badanego tranzystora 4 oraz przełącznikiem  $S_3$  3, którego drugie wyprowadzenie połączone jest do masy. Emiter badanego tranzystora 4 połączony jest z przełącznikiem  $S_4$  10 oraz wejściem przetwornika analogowo-cyfrowego 8, którego wyjście połączone jest z komputerem (9). Zacisk pierwszy przełącznika  $S_4$  10 podłączony jest do masy, a zacisk drugi tego przełącznika połączony jest z rezystorem  $R_M$  11 i anodą diody impulsowej 13. Katoda tej diody połączona jest z rezystorem  $R_H$  14 oraz jednym zaciskiem przełącznika  $S_H$  16, którego drugi zacisk połączony jest do masy. Ujemny zacisk źródła napięciowego  $E_M$  12 połączony jest z rezystorem  $R_M$  11. Ujemny zacisk źródła napięciowego  $E_H$  15 połączony jest z rezystorem  $R_H$  14. Dodatkowo zaciski źródeł  $E_M$  oraz  $E_H$  podłączone są do masy. Pierwszy woltomierz 6 połączony jest do zacisków termopary 5 zamocowanej na obudowie badanego tranzystora 4. Drugi woltomierz 7 włączony jest między zaciski kolektora i emitera badanego tranzystora 4. Kolektor tego tranzystora połączony jest do zacisków przełączników  $S_1$  19 i  $S_2$  20. Drugi zacisk przełącznika  $S_1$  19 połączony jest ze źródłem napięciowym  $E_{in}$  17 przez induktor 18. Przełącznik  $S_2$  20 jest trzypozycyjny, a do zacisku trzeciego tego przełącznika dołączone jest źródło napięcia stałego  $E_{C1}$  22 przez amperomierz 21. Z kolei, do zacisku drugiego tego przełącznika dołączone jest źródło napięcia stałego  $E_C$  26 przez rezystor  $R_C$  27, a do zacisku pierwszego tego przełącznika – anoda diody zwrotnej 23. Katoda tej diody połączona jest z kondensatorem 25 i rezystorem 24, a ich pozostałe wyprowadzenia połączone są do masy, natomiast sonda prądowa 28 założona jest na przewodzie połączonym do emitera badanego tranzystora 4, a jej wyjście podłączone jest do wejścia oscyloskopu 29.

## Wykaz stosowanych oznaczeń

- 1 – generator przebiegu prostokątnego napięcia  $E_{ster}$
- 2 – rezystor  $R_G$
- 3 – przełącznik  $S_3$
- 4 – badany tranzystor IGBT
- 5 – termopara
- 6 – pierwszy woltomierz
- 7 – drugi woltomierz
- 8 – przetwornik analogowo-cyfrowy
- 9 – komputer
- 10 – przełącznik dwupozycyjny  $S_4$
- 11 – rezystor  $R_M$
- 12 – źródło napięciowe  $E_M$
- 13 – dioda impulsowa  $D_2$
- 14 – rezystor  $R_H$
- 15 – źródło napięciowe  $E_H$
- 16 – przełącznik  $S_H$
- 17 – źródło napięciowe  $E_{in}$
- 18 – induktor  $L$
- 19 – przełącznik dwupozycyjny  $S_1$
- 20 – przełącznik trójpozycyjny  $S_2$
- 21 – amperomierz
- 22 – źródło napięciowe  $E_{c1}$
- 23 – dioda impulsowa  $D_1$
- 24 – rezystor  $R_L$
- 25 – kondensator
- 26 – źródło napięciowe  $E_c$
- 27 – rezystor  $R_c$
- 28 – sonda prądowa
- 29 – oscyloskop
- $R_{thj-c}$  – rezystancja termiczna między wnętrzem a obudową tranzystora
- $R_{thj-a}$  – rezystancja termiczna między wnętrzem a otoczeniem

$f$  – częstotliwość

$d$  – współczynnik wypełnienia

$L$  – indukcyjność induktora

$R_L$  – rezystancja obciążenia

$T_a$  – temperatura otoczenia

$T_C$  – temperatura obudowy

$U_{CE}$  – napięcie na zaciskach wyjściowych tranzystora w stanie wyłączenia

$U_{GE}$  – napięcie między bramką a emiterem tranzystora

$U_{GEH}$  – napięcie między bramką a emiterem tranzystora po wyłączeniu tranzystora

$U_{GEK}$  – napięcie między bramką a emiterem tranzystora na krzywej kalibracji przy temperaturze  $T_a$

$I_C$  – prąd kolektora płynący przez włączony tranzystor

$P_{Cond}$  – moc tracona na włączonym tranzystorze

$E_{on}$  – energia włączania tranzystora

$E_{off}$  – energia wyłączania tranzystora

## Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób pomiaru energii włączania i wyłączania tranzystorów bipolarnych mocy z izolowaną bramką realizowany metodą pośrednią **znamienny tym, że** obejmuje pięć następujących kolejno etapów:

- a) Etap I - pomiar rezystancji termicznej między wnętrzem a obudową tranzystora  $R_{thj-c}$  przy wykorzystaniu znanej metody stykowej i rezystancji termicznej między wnętrzem a otoczeniem  $R_{thj-a}$  przy wykorzystaniu znanej pośredniej metody elektrycznej;
- b) Etap II – pobudzanie tranzystora, zawartego w układzie przetwornicy boost pracującej w trybie granicznym, ciągiem impulsów prostokątnych napięcia sterującego jego bramką o ustalonej częstotliwości  $f$  i współczynniku wypełnienia  $d$  aż do uzyskania stanu ustalonego termicznie oraz zapewnienie pracy tej przetwornicy w trybie granicznym poprzez dobranie indukcyjność  $L$  induktora w tej przetwornicy zgodnie z wzorem (1):

$$L = \frac{d \cdot (1-d)^2 \cdot R_L}{2 \cdot f} \quad (1),$$

gdzie we wzorze  $R_L$  oznacza rezystancję obciążenia przetwornicy, natomiast w stanie ustalonym mierzona jest wartość napięcia  $U_{CE}$  na zaciskach wyjściowych tranzystora w stanie wyłączenia, prąd kolektora  $I_C$  płynący przez włączony tranzystor oraz temperatura obudowy  $T_C$  metodą stykową;

- c) Etap III – wyznaczenie sumy energii włączania  $E_{on}$  i wyłączania  $E_{off}$  przy wykorzystaniu wzoru (2):

$$E_{on} + E_{off} = \frac{T_C - T_a + (T_C - T_a) \cdot \frac{R_{thj-c}}{R_{thj-a} - R_{thj-c}} - P_{Cond}}{R_{thj-a} \cdot f} \quad (2),$$

gdzie we wzorze  $P_{Cond}$  oznacza moc traconą na włączonym tranzystorze; przy czym gdy przetwornica pracuje w trybie granicznym, wartość energii  $E_{on}$  wynosi 0, stąd wartość sumy  $E_{off}$  i  $E_{on}$  jest równa  $E_{off}$ .

- d) Etap IV – pomiar wartości temperatury  $T_c$  w stanie termicznie ustalonym badanego tranzystora pracującego w układzie przełącznika z obciążeniem rezystancyjnym przy wysokiej częstotliwości  $f$  i rezystancji obciążenia  $R_L$  zapewniającej uzyskanie identycznego prądu  $I_{cmax}$  jak w etapie II;
- e) Etap V – wyliczenie wartości energii  $E_{on}$  równej różnicy prawej strony równania (2) oraz wartości  $E_{off}$  wyznaczonej w etapie III.
2. Układ do pomiaru energii włączania i wyłączenia tranzystorów mocy z izolowaną bramką zawierający badany tranzystor, induktor, diodę zwrotną, diodę impulsową, pięć rezystorów, pięć źródeł napięcia stałego, generator przebiegu prostokątnego napięcia, pięć przełączników, dwa woltomierze, amperomierz, termoparę, przetwornik A/C, sondę prądową, oscyloskop oraz komputer, **znamienny tym, że** generator przebiegu prostokątnego (1) jest połączony przez pierwszy rezystor  $R_G$  (2) z bramką badanego tranzystora (4) oraz przełącznikiem  $S_3$  (3), którego drugie wyprowadzenie połączone jest do masy, emiter badanego tranzystora (4) połączony jest z przełącznikiem  $S_4$  (10) oraz wejściem przetwornika analogowo-cyfrowego (8), którego wyjście połączone jest z komputerem (9), zacisk pierwszy przełącznika  $S_4$  (10) podłączony jest do masy, zacisk drugi tego przełącznika połączony jest z rezystorem  $R_M$  (11) i anodą diody impulsowej (13), której katoda połączona jest z rezystorem  $R_H$  (14) oraz jednym zaciskiem przełącznika  $S_H$  (16), którego drugi zacisk połączony jest do masy, ujemny zacisk źródła napięciowego  $E_M$  (12) połączony jest z rezystorem  $R_M$  (11), ujemny zacisk źródła napięciowego  $E_H$  (15) z rezystorem  $R_H$  (14), a dodatnie zaciski tych źródeł podłączone są do masy, pierwszy woltomierz (6) połączony jest do zacisków termopary (5) zamocowanej na obudowie badanego tranzystora (4), drugi woltomierz (7) włączony jest między zaciski kolektora i emitera badanego tranzystora (4), kolektor tego tranzystora połączony jest do zacisków przełączników  $S_1$  (19) i  $S_2$  (20), drugi zacisk przełącznika  $S_1$  (19) połączony jest ze źródłem napięciowym  $E_{in}$  (17) przez induktor (18), przełącznik  $S_2$  (20) jest trzypozycyjny, a do zacisku trzeciego tego przełącznika dołączone jest źródło napięcia stałego  $E_{c1}$  (22) przez amperomierz (21), do zacisku drugiego tego przełącznika – źródło napięcia stałego  $E_c$  (26) przez rezystor  $R_c$  (27), a do zacisku pierwszego tego przełącznika – anoda diody zwrotnej (23), której katoda połączona jest z kondensatorem (25) i rezystorem (24), a ich pozostałe wyprowadzenia połączone są do masy, natomiast sonda prądowa (28) założona jest na

przewodzie połączonym do emitera badanego tranzystora (4), a jej wyjście podłączone jest do wejścia oscyloskopu (29).

*/2 zastrzeżenia/*

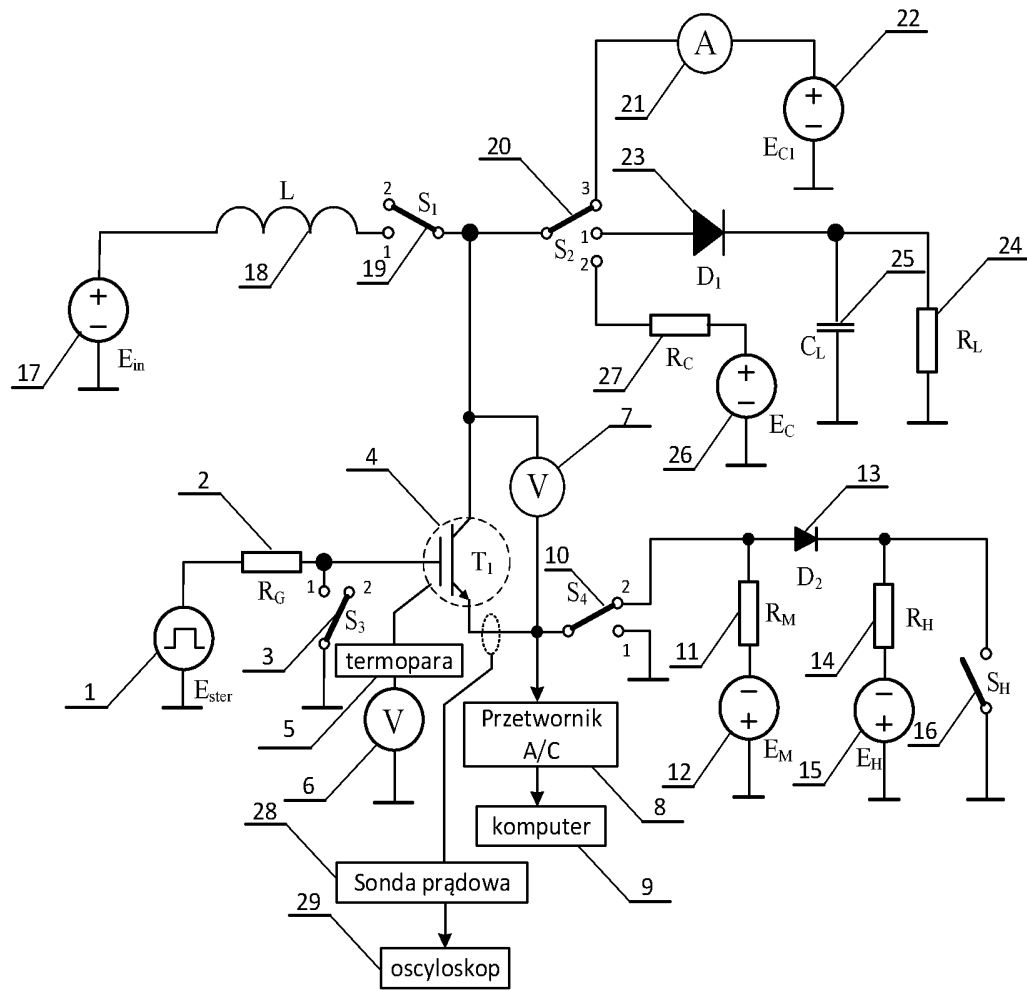


Fig. 1



SPRAWOZDANIE O STANIE TECHNIKI DO ZGŁOSZENIA NR P.442685

Klasyfikacja zgłoszenia: G01R 31/26, H01L 21/66, H03K 17/00, H02M 1/00		
Podklasy w których prowadzono poszukiwania: G01R, H01L, H03K, H02M		
Bazy komputerowe w których prowadzono poszukiwania: EPODOC, WPI, bazy UPRP, Google		
Kategoria dokumentu	Dokumenty - z podaną identyfikacją	Odniesienie do zastrz.
A	US2015032393 A1 (TEKTRONIX INC [US]) 29-01-2015	1-2
A	CN111579958 A (GLOBAL ENERGY INTERCONNECTION RES INST CO LTD; STATE GRID HUBEI ELECTRIC POWER CO LTD; STATE GRID CORP CHINA) 25-08-2020	1-2
A	CN111308308 A (YINHE ELECTRIC CO LTD) 19-06-2020	1-2
<input type="checkbox"/> Dalszy ciąg wykazu dokumentów na następnej stronie		
<p>A – dokument określający ogólny stan techniki, który nie jest uważany za posiadający szczególne znaczenie, E – dokument stanowiący wcześniejsze zgłoszenie lub patent, ale opublikowany w lub po dacie zgłoszenia, L – dokument, który może poddawać w wątpliwość zastrzegane pierwszeństwo(-wa), lub przytoczony w celu ustalenia daty publikacji innego cytowanego dokumentu lub z innego szczególnego powodu, O – dokument odnoszący się do ujawnienia ustnego przez zastosowanie, wystawienie lub ujawnienie w inny sposób, P – dokument opublikowany przed datą zgłoszenia, ale później niż zastrzegana data pierwszeństwa, T – dokument późniejszy, opublikowany po dacie zgłoszenia lub w dacie pierwszeństwa i niebędący w konflikcie ze zgłoszeniem, ale cytowany w celu zrozumienia zasad lub teorii leżących u podstaw wynalazku, X – dokument o szczególnym znaczeniu; zastrzegany wynalazek nie może być uważany za nowy lub nie może być uważany za posiadający poziom wynalazczy, jeżeli ten dokument brany jest pod uwagę samodzielnie, Y – dokument o szczególnym znaczeniu; zastrzegany wynalazek nie może być uważany za posiadający poziom wynalazczy, jeżeli ten dokument zostanie połączony z jednym lub kilkoma tego typu dokumentami, a takie połączenie będzie oczywiste dla znawcy, &amp; – dokument należący do tej samej rodziny patentowej.</p>		

Sprawozdanie wykonał/-a:

Mateusz Gaweł  
Asesor

Data:

27.07.2023

Podpis:

/podpisano kwalifikowanym podpisem elektronicznym/  
Pismo wydane w formie dokumentu elektronicznego

Uwagi do zgłoszenia

Sprawozdanie zostało wykonane w oparciu o zastrz. z dnia 28.10.2022 r.