



PODZESPOŁY I UKŁADY SCALONE MOCY

Ćwiczenie A15

Charakterystyki blokowania tranzystorów wysokonapięciowych

Ramowy plan pracy

15'	30'	45'	1 ^h	1 ^h 15'	1 ^h 30'	po zajęciach

Opracowanie ćwiczenia i instrukcji:
Łukasz Starzak

Łódź 2010

wer. 1.1.2. 8.4.2010

Spis treści

B Wprowadzenie do ćwiczenia	5
1. Cel i przebieg ćwiczenia.....	5
C Doświadczenie	7
2. Pomiary	7
2.1. Przygotowanie układu pomiarowego.....	7
Charakterograf przyrządów półprzewodnikowych mocy.....	7
Konfiguracja charakterografu.....	8
2.2. Charakterystyki blokowania tranzystorów mocy.....	8
Pomiary dla tranzystora BJT	8
Dalsze tranzystory	10
Zakończenie.....	10
D Wyniki	11
3. Opracowanie i analiza wyników	11
3.1. Wyznaczenie charakterystyk	11
3.2. Analiza wyników.....	12
E Informacje	13
4. Literatura	13

Wprowadzenie do ćwiczenia

1. Cel i przebieg ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest doświadczalne zbadanie właściwości tranzystorów mocy różnych typów w zakresie blokowania wysokich napięć. Badania będą dotyczyć zarówno polaryzacji obwodu głównego w kierunku przewodzenia (ściśłego stanu blokowania), jak i polaryzacji w kierunku wstecznym (stanu zaworowego). W tym celu zostaną zmierzone i porównane statyczne charakterystyki przyrządów w obu kierunkach.

Niezbędne wiadomości teoretyczne podano w literaturze [1] i instrukcjach [2–5].

2. Pomiary

2.1. Przygotowanie układu pomiarowego

Charakterograf przyrządów półprzewodnikowych mocy

W ćwiczeniu wykorzystywany jest charakterograf przyrządów półprzewodnikowych mocy. W wykorzystywanym trybie pracy działa on jako generator napięcia stałego. W wyniku tego na ekranie wyświetlany jest zawsze tylko jeden punkt, odpowiadający temu napięciu (współrzędna X) i prądowi upływu płynącemu przez obwód wyjściowy badanego przyrządu (współrzędna Y).

Ze względu na szумы występujące w przyrządzie, prąd wykazywać będzie pewne wahania, widoczne szczególnie na niskich zakresach prądu; objawiać się one będą rozszczepieniem prądu na dłuższy lub krótszy pionowy odcinek. Ze względu na losowy charakter szumów, wartość prądu należy odczytywać dla punktu leżącego dokładnie na środku tego odcinka.

Badaniu poddane zostaną elementy podane w tab.

Tab. 1. Badane przyrządy półprzewodnikowe

Symbol	Typ	Budowa	Znamionowy prąd ciągły ($T_c = 25^\circ\text{C}$)	Napięcie znamionowe
BU1508AX	BJT		8 A	700 V (CEO) 1500 V (CES)
BU1508DX	BJT	dioda przeciwrównoległa, opornik BE	8 A	700 V (CEO) 1500 V (CES)
IRFB9N60A	MOSFET	VDMOS	9,2 A	600 V
IRG4BC10K	IGBT		9 A	600 V
IRG4BC10KD	IGBT	dioda przeciwrównoległa	9 A	600 V

Jak można stwierdzić, wszystkie one charakteryzują się zbliżoną wytrzymałością napięciową i posiadają podobne prądy znamionowe. Tranzystory należy umieszczać w niebieskim gnieździe przystawki włączonej na stałe w prawe gniazda charakterografu.

Ze względu na ryzyko przebicia bramki w wyniku wyładowania elektrostatycznego, przed uchwyceniem tranzystora polowego należy uziemić się np. przez dotknięcie bolca przewodu ochronnego w listwie zasilającej. Tranzystor należy przenosić trzymając go za metalowy radiator wbudowany, połączony elektrycznie z drenem lub kolektorem, zaś unikać chwywania za nóżki, szczególnie nóżkę bramki.

Podstawowe funkcje charakterografu opisane są w dodatkowej instrukcji dostępnej na stanowisku. W instrukcji tej znajduje się również rysunek charakterografu z zaznaczeniem poszczególnych przełączników, przycisków i pokręteł. Niniejsza instrukcja odwołuje się do oznaczeń literowo-cyfrowych z tego rysunku.

Konfiguracja charakterografu

1. Włączyć komputer. Wyszukać i otworzyć karty katalogowe tranzystorów wymienionych wyżej. Znaleźć rysunki pokazujące kolejność wyprowadzeń.
2. Przygotować charakterograf do pracy zgodnie z procedurą podaną w ramce „Przygotowanie charakterografu do pracy” w instrukcji do charakterografu.
3. Wyjąć czerwony wtyk zewnętrznego zielonego złącza z gniazda charakterografu. Zapewnić, że zielone gniazdo nie będzie dotykać żadnego metalowego elementu, a czerwony wtyk nie zetknie się przypadkowo z żadnym metalowym elementem podczas wykonywania pomiarów.

Niewykonanie powyższego punktu rodzi ryzyko porażenia napięciem o wartości do 1,2 kV w przypadku pomyłki w obsłudze charakterografu!

4. Skalibrować położenie plamki na ekranie charakterografu: wcisnąć *Zero [C6]* i jeżeli plamka nie znajduje się dokładnie w lewym dolnym rogu podziałki (nie licząc linii przerywanych), należy nie puszczając przycisku *Zero* wyregulować jej położenie jasnoszarymi pokrętłami $\updownarrow$ *Position [C2]* i $\leftrightarrow$ *Position [C3]*. Zadbaj o to, by jasność plamki przez cały czas wykonywania pomiarów nie była zbyt duża, gdyż doprowadzi to do przepalenia luminoforu ekranu (pokrętko Intensity w sekcji C).
5. Wprowadzić na charakterografie następujące ustawienia:
 - tryb pomiaru prądu upływu – pokrętko Mode [A5] przestawić na Leakage;
 - ograniczenie mocy 2,2 W – pokrętko Max Peak Power [A1] przestawić na 2.2 (patrz opis pokrętkła w instrukcji do charakterografu).

2.2. Charakterystyki blokowania tranzystorów mocy

Pomiary dla tranzystora BJT

1. W gniazdo przystawki włączyć tranzystor BJT (bez diody) wskazany wyżej, zgodnie z opisem końcówek na przystawce w charakterografie oraz rysunkiem układu końcówek w karcie katalogowej. Pokrętkiem konfiguracji końcówek [D1] wybrać układ wspólnego emitera (Emitter Grounded) i rozwarć bazy (Base Term Open).
2. Wybrać dodatnią polaryzację obwodu głównego – pokrętko Polarity [A4] przestawić na +.
3. Wprowadzić na charakterografie następujące ustawienia wyjściowe:
 - pomiar napięcia głównego w skali 1 V/dz – pokrętko Horizontal Volts/Div [C7] przestawić na Collector 1;
 - skala prądu upływu 1 μ A/dz – pokrętko Vertical Current/Div [C1] przestawić na Emitter 1 μ A;
4. Załączyć zasilanie elementu badanego przestawiając przełącznik Left-Off-Right [D2] w pozycję Right. Stwierdzić, czy bieżący tranzystor przy bieżącej polaryzacji obwodu głównego wykazuje zdolność blokowania napięcia: lekko zwiększyć napięcie zasilania obwodu głównego pokrętkiem Variable Collector Supply [A3] i stwierdzić, czy tranzystor przechodzi od razu w stan przewodzenia przy nieznacznym spadku napięcia (brak zdolności blokowania), czy też płynie

przezeń niewielki prąd upływu przy napięciu narastającym wraz ze zmianą nastawy Variable Collector Supply (występuje zdolność blokowania). W zależności od wyniku wykonać odpowiednio pkt 5 lub 6.

5. Jeżeli tranzystor wykazuje stan blokowania:

- a) nastawę Variable Collector Supply [A3] sprowadzić do zera;
- b) pokrętle Max Peak Volts [A1] zwiększyć maksymalne napięcie główne do 75 V; zwiększając nastawę Variable Collector Supply [A3] spróbować doprowadzić do przebicia tranzystora – uzyskać napięcie, przy którym prąd zaczyna gwałtownie rosnąć – lub do wyczerpania zakresu pokrętła Variable Collector Supply; jeżeli punkt wykracza poza ekran w pionie, zwiększyć nastawę Vertical Current/Div [C1]; jeżeli punkt wykracza poza ekran w poziomie, zwiększyć nastawę Horizontal Volts/Div [C7];
- c) jeżeli doprowadzenie do przebicia nie było możliwe przy nastawie 75 V, sprowadzić nastawę Variable Collector Supply [A3] do zera, pokrętle Max Peak Volts [A1] zwiększyć maksymalne napięcie główne do 1500 V i spróbować ponownie;
- d) nastawę Variable Collector Supply [A3] sprowadzić do wartości, przy której napięcie na przyrządzie wyniesie 1 dz (przy aktualnych nastawach);
- e) nastawę Vertical Current/Div [C1] dostosować tak, aby możliwe było jak najdokładniejsze odczytanie wartości prądu upływu w bieżących warunkach; odczytać z ekranu i zanotować:
 - współrzędną pionową punktu w działkach I^* ,
 - współrzędną poziomą punktu w działkach U^* ,
 - bieżącą nastawę Vertical Current/Div k_I ,
 - bieżącą nastawę Horizontal Volts/Div k_U ;

Jeżeli na ekranie widoczny jest nie punkt lecz odcinek, należy zastosować się do wskazówek podanych w par. 2.1. Jeżeli jeden z końców odcinka znajduje się poza podziałką, można przesunąć cały obraz o pół ekranu (5 działek) w poziomie ciemnoszarym pokrętle $\uparrow$ Position [C2], pamiętając o późniejszym przywróceniu go do położenia środkowego.

- f) zwiększając nastawę Variable Collector Supply [A3], przesunąć punkt na ekranie z krokiem 1 dz w poziomie, po każdym kroku powtarzając podpunkt e), aż tranzystor wejdzie w zakres przebicia;
 - g) w zakresie przebicia, zwiększając nieznacznie nastawę Variable Collector Supply [A3], przesunąć punkt na ekranie w pionie, wykonując po 1 pomiarze dla każdej nastawy Vertical Current/Div [C1] będącej wielokrotnością 10 (tj. 1, 10, 100) jak w podpunkcie e), aż do nastawy 100 μ A lub do wyczerpania zakresu pokrętła Variable Collector Supply [A3];
 - h) sprowadzić nastawę Variable Collector Supply [A3] do zera i poczekać na rozładowanie kondensatorów wewnątrz charakterografu, o czym świadczyć będzie powrót punktu do początku układu współrzędnych; odłączyć zasilanie od elementu badanego przestawiając przełącznik Left-Off-Right [D2] w pozycję Off; pokrętle Max Peak Volts [A1] przywrócić bezpieczne maksymalne napięcie główne 15 V.
6. Jeżeli tranzystor wykazuje stan przewodzenia:
- a) nastawę Vertical Current/Div [C1] sprowadzić do wartości 100 nA; pokrętle Variable Collector Supply [A3] ustawić punkt mniej więcej pośrodku ekranu w pionie; nastawę Horizontal Volts/Div [C7] zmniejszyć tak, aby możliwe było jak najdokładniejsze odczytanie wartości napięcia w bieżących warunkach;
 - b) zwiększając nieznacznie nastawę Variable Collector Supply [A3], przesunąć punkt na ekranie w pionie, wykonując po 1 pomiarze dla każdej nastawy Vertical Current/Div [C1] (począwszy od bieżącej) będącej wielokrotnością 10 (tj. 1, 10, 100), aż do nastawy 100 μ A; jeżeli punkt wykroczy poza ekran w poziomie, zwiększyć nastawę Horizontal Volts/Div [C7]; w każdym kroku odczytać z ekranu i zanotować:
 - współrzędną pionową punktu w działkach I^* ,
 - współrzędną poziomą punktu w działkach U^* ,

- bieżącą nastawę Vertical Current/Div k_I
 - bieżącą nastawę Horizontal Volts/Div k_U
- c) spowodować nastawę Variable Collector Supply [A3] do zera i poczekać na rozładowanie kondensatorów wewnątrz charakterografu, o czym świadczyć będzie powrót punktu do początku układu współrzędnych; odłączyć zasilanie od elementu badanego przestawiając przełącznik Left-Off-Right [D2] w pozycję Off.
7. Zmienić polaryzację obwodu głównego na ujemną – pokrętko Polarity [A4] przestawić na -. Powtórzyć pkt. 3–4 i odpowiednio 5 lub 6.

Dalsze tranzystory

8. Powtórzyć pomiary dla obu polaryzacji obwodu głównego (pkt. 2–7), dla następujących tranzystorów i przy podanej konfiguracji końcówek, którą należy ustawić pokrętką D1 przed podaniem napięcia na element:

Wymieniając element, należy zwrócić uwagę na zachowanie wskazanych wyżej środków bezpieczeństwa oraz na zgodność z rysunkiem układu końcówek w karcie katalogowej.

- a) BJT bez diody, wspólny emiter (Emitter Grounded), baza zwarta (Base Term Short);
- b) BJT z diodą, wspólny emiter (Emitter Grounded), baza rozwarta (Base Term Open);
- c) MOSFET, wspólne źródło (Emitter Grounded), bramka zwarta (Base Term Short);
- d) IGBT bez diody, wspólny emiter (Emitter Grounded), bramka zwarta (Base Term Short);
- e) IGBT z diodą, wspólny emiter (Emitter Grounded), bramka zwarta (Base Term Short).

Zakończenie

9. Przywrócić bezpieczne nastawy charakterografu:
- dodatnią polaryzację obwodu głównego – Polarity [A4] przestawić na +;
 - zwykły tryb kreślenia charakterystyk – Mode [A5] przestawić na Norm;
 - Vertical Current/Div [C1] przestawić na Collector 10 mA;
 - Horizontal Volts/Div [C7] przestawić na Collector 1.

3. Opracowanie i analiza wyników

3.1. Wyznaczenie charakterystyk

1. Dla każdego przyrządu i punktu pomiarowego uzyskać rzeczywiste wartości prądów i napięć na podstawie zanotowanych współrzędnych punktów I^* i U^* (w działkach) oraz nastaw wzmocnień k_I i k_U (odpowiednio w A/dz i V/dz):

$$I = I^* \cdot k_I \quad (1)$$

$$U = U^* \cdot k_U - I^* \cdot e_U(k_I) \quad (2)$$

gdzie e_U jest błędem pomiaru napięcia dla danej nastawy wzmocnienia pionowego k_U , którego wartość należy odczytać z tab. 2.

2. Wykreślić otrzymane charakterystyki prądu w funkcji napięcia, osobno dla każdej z polaryzacji (wszystkie przyrządy na jednym wykresie). Ze względu na szeroki przedział wartości prądu, zastosować skalę logarytmiczną osi Y.

Tab. 2. Błąd pomiaru napięcia charakterografem Tektronix 576

k_I [A/dz]	e_U [mV/dz]
$1 \cdot 10^{-9}$	25
$2 \cdot 10^{-9}$	50
$5 \cdot 10^{-9}$	125
$1 \cdot 10^{-8}$	25
$2 \cdot 10^{-8}$	50
$5 \cdot 10^{-8}$	125
$1 \cdot 10^{-7}$	25
$2 \cdot 10^{-7}$	50
$5 \cdot 10^{-7}$	125
$1 \cdot 10^{-6}$ i więcej	0

3.2. Analiza wyników

1. Porównać zbadane przyrządy pod względem zdolności blokowania napięcia w każdym z dwóch kierunków (przewodzenia i wstecznym). Wziąć pod uwagę:
 - sam fakt występowania zdolności blokowania,
 - rząd wielkości napięcia przebicia,
 - rząd wielkości prądu upływu,
 - szybkość narastania prądu ze wzrostem napięcia w zakresie blokowania i w zakresie przebicia.
2. Scharakteryzować własności zbadanych tranzystorów BJT w obu kierunkach (zdolność blokowania, wartość napięcia przebicia). Uzasadnić obserwacje wybraną konfiguracją końcówek oraz budową wewnętrzną pokazaną na schemacie wewnętrznych połączeń w karcie katalogowej. Odwołać się do wiadomości na temat napięcia przebicia tranzystora BJT [3] i wpływu dodatkowych elementów monolitycznych układów scalonych [5].
3. Porównać napięcia przebicia tranzystora IGBT (bez diody) w kierunku przewodzenia i wstecznym. W oparciu o wiadomości teoretyczne stwierdzić, czy badany przyrząd jest tranzystorem PT-IGBT (asymetrycznym) czy NPT-IGBT (symetrycznym) [2]. Porównać charakterystyki tranzystora IGBT tego samego typu bez diody i z diodą przeciwrównoległą.
4. Uzasadnić własności tranzystora MOSFET jego budową wewnętrzną [1].
5. Porównać wartości napięcia przebicia i prądu upływu z podanymi w kartach katalogowych elementów. Dla których tranzystorów możliwe jest podanie dokładnej wartości napięcia przebicia, a dla których – konieczne jest sprecyzowanie, jaką wartość prądu uznaje się za granicę przebicia? Jak ustalili tę granicę producenci przyrządów (jaki prąd wykazany został jako charakterystyczny występujący przy napięciu znamionowym)? Ile procent zapasu występuje między znamionowym napięciem maksymalnym dopuszczalnym a faktycznym zmierzonym napięciem przebicia zbadanych egzemplarzy?

4. Literatura

- [1] Napieralski A., Napieralska M.: *Polowe półprzewodnikowe przyrządy dużej mocy*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1995.
- [2] Starzak Ł.: *Laboratorium przyrządów i układów mocy. Ćwiczenie 4^A. Tranzystory IGBT*. Łódź: Politechnika Łódzka, 2009.
- [3] Starzak Ł.: *Laboratorium przyrządów i układów mocy. Ćwiczenie 5^A. Tranzystory BJT*. Łódź: Politechnika Łódzka, 2009.
- [4] Starzak Ł.: *Laboratorium przyrządów i układów mocy. Instrukcja 0. Wprowadzenie*. Łódź: Politechnika Łódzka, 2009.
- [5] Starzak Ł.: *Podzespoły i układy scalone mocy. Ćwiczenie A5. Wzmocnienie prądowe tranzystorów BJT*. Łódź: Politechnika Łódzka, 2010.