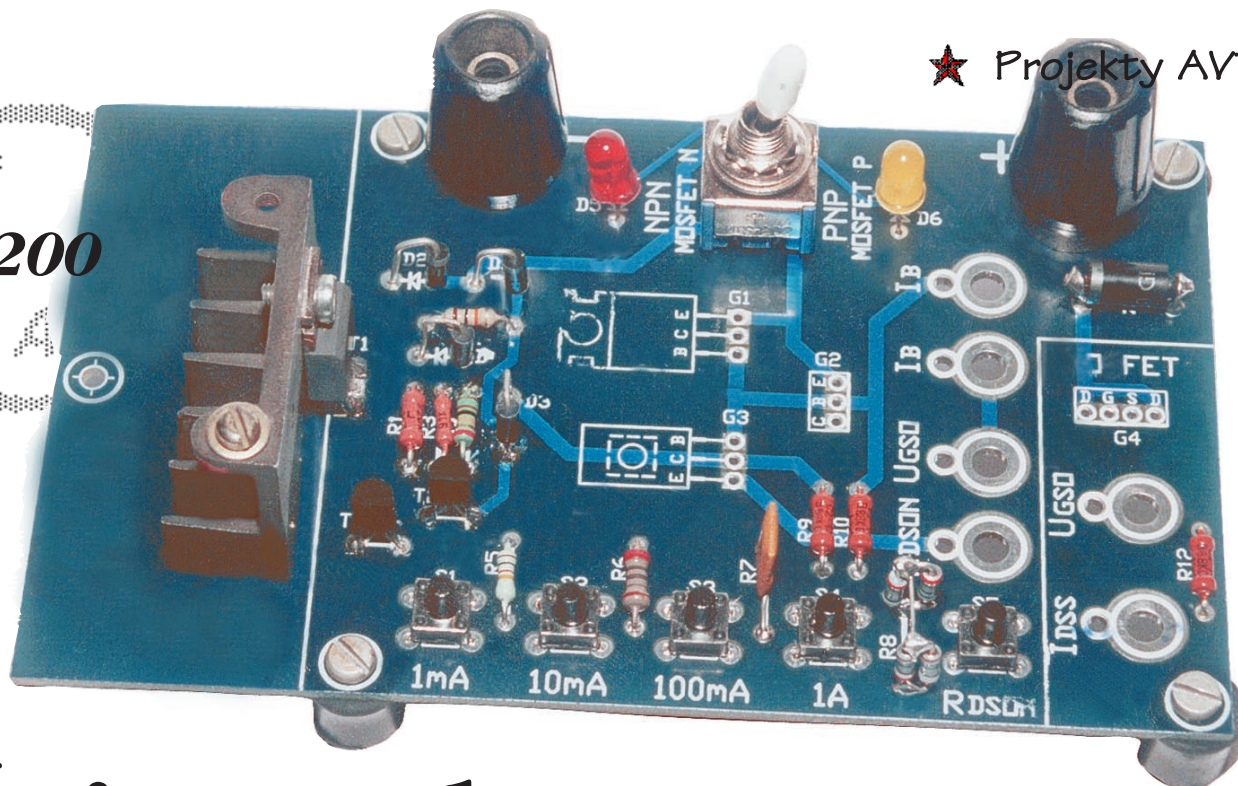


kit
2200



Uniwersalny tester tranzystorów

Od początku roku na łamach EdW prezentowany jest cykl artykułów dla początkujących, dotyczący tranzystorów. Praktycznym uzupełnieniem tego cyklu jest przedstawiony w tym artykule prosty tester, który umożliwia szybki i wygodny pomiar podstawowych parametrów wszystkich tranzystorów używanych w pracowni elektronika. Można nim sprawdzać tranzystory bipolarne (nazywane zwykłymi) NPN i PNP, małej i dużej mocy, tranzystory polowe MOSFET z kanałem n i z kanałem p, małej i dużej mocy. Można też sprawdzać tranzystory polowe złączone (JFET) z kanałem n.

Prosty układ pozwala w wygodny sposób zmierzyć parametry tranzystorów najważniejsze w praktyce

- w przypadku tranzystorów bipolarnych: wzmocnienie prądowe ($\beta = I_C / I_B$) przy różnych prądach kolektora (0,1mA...1A)
- przypadku tranzystorów MOSFET: napięcie progowe bramki $U_{GS(TH)}$, rezystancję otwartego tranzystora R_{DSON} i nachylenie charakterystyki przejściowej,
- przypadku tranzystorów JFET: napięcie odcięcia bramki $U_{GS(OFF)}$ i prąd nasycenia I_{DSS} .

Do przeprowadzenia pomiarów, oprócz opisanej przystawki potrzebny jest jeszcze zasilacz o napięciu 12V i prądzie zależnym od maksymalnego prądu badanych tranzystorów, oraz multimetr mierzący

prądy i napięcia (dowolny: wskazówkowy lub cyfrowy).

Posługiwanie się przyrządem jest bardzo proste: wystarczy włożyć badany tranzystor do odpowiednich gniazd i zmierzyć odpowiednie prądy i napięcia za pomocą dołączonego miernika. Niekiedy trzeba jeszcze dokonać prostych obliczeń na kalkulatorze.

Schemat ideowy układu pokazano na **rysunku 1**. Napięcie zasilające (12V) doprowadzone jest do punktów P, O. Dioda D7 służy tylko do zabezpieczenia układu w przypadku odwrotnego podłączenia zasilania. Może to być zwykła dioda krzemowa (2A), a nie dioda Schottky ego. Elementy T1...T3, R1...R8, D1...D4 tworzą dwukierunkowe źródło prądowe o prądzie pracy wynoszącym 0,1mA; 1mA; 10mA; 100mA lub 1A.

Ponieważ przy prądzie 1A w tranzystorze T1 będzie się wydzielać znacząca moc strat, tranzystor ten należy wyposażyć w niewielki radiator.

Kondensator C1 dodatkowo filtruje napięcie i zapobiega wzbudzeniu układu źródła prądowego z tranzystorami T1...T3. Elementy S5, R9, R10 potrzebne są do pomiaru tranzystorów MOSFET.

W tym niewielkim układzie w bardzo prosty sposób zrealizowano pomiar kluczowych parametrów wszystkich popularnych typów tranzystorów. Oto szczegóły.

Tranzystory polowe złączone

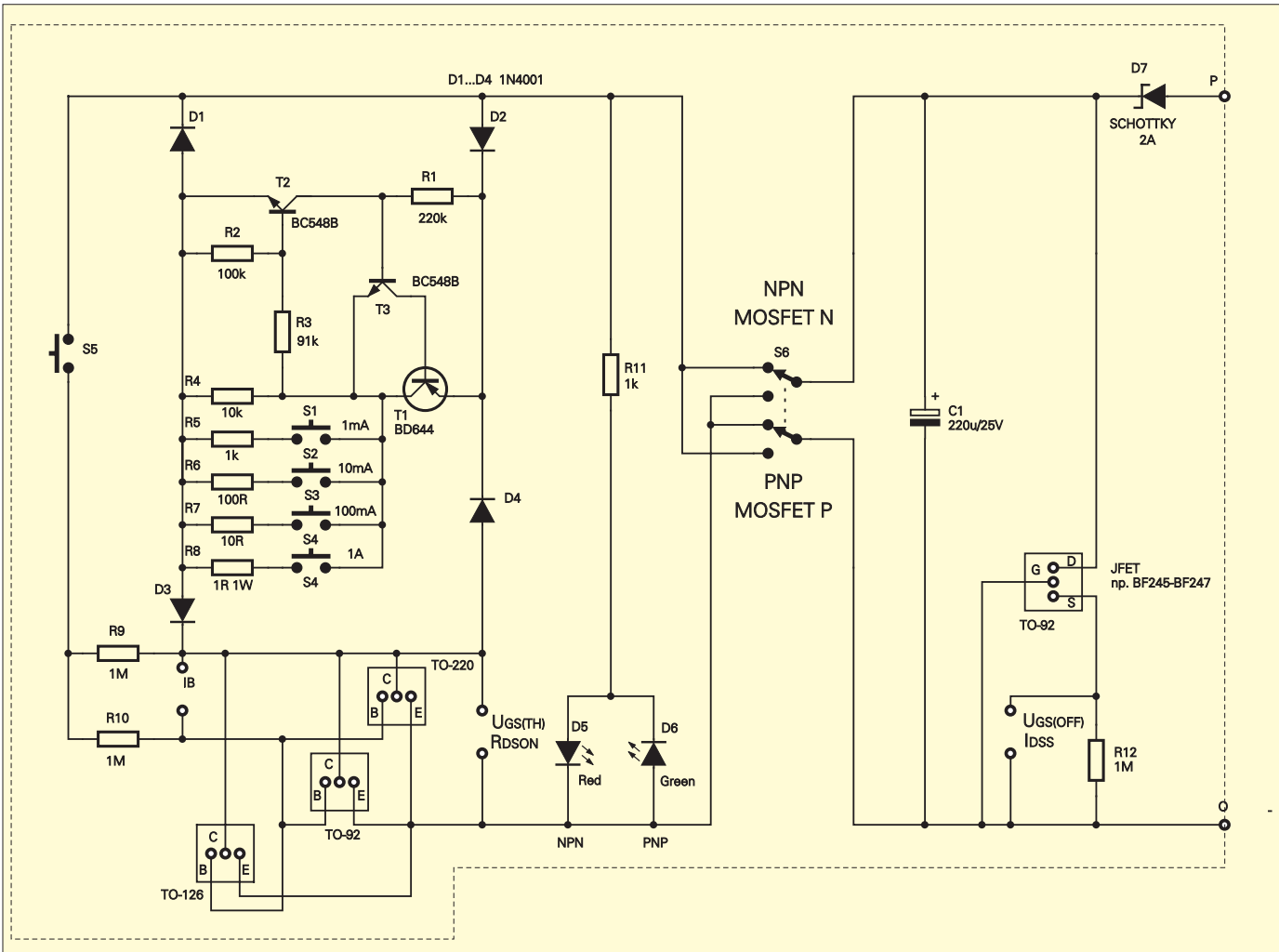
Najprostsze są pomiary tranzystorów polowych złączonych. Obecnie na rynku spotyka się jedynie tranzystory JFET z kanałem n, zwłaszcza dawne krajowe BF245, dlatego nie przewidziano możliwości sprawdzania tranzystorów JFET z kanałem p.

W tranzystorze złączonym kluczowe znaczenie mają dwa parametry:

$U_{GS(OFF)}$ – napięcie odcięcia bramki (ujemne napięcie polaryzacji bramki), przy którym tranzystor zaczyna się otwierać,

I_{DSS} – prąd drenu, który płynie przy napięciu bramka-źródło równym zeru.

Napięcie odcięcia mierzone jest w układzie pokazanym na **rysunku 2a**, a prąd nasycenia w układzie z **rysunkiem 2b**. W układzie z rysunku 2a nie potrzeba dodatkowego napięcia ujemnego do polaryzacji bramki. W obwód źródła (S – source) wystarczy włączyć woltomierz o bardzo dużej rezystancji. Napięcie na woltomierzu rośnie (co odpowiada podaniu na bramkę napięcia ujemnego względem źródła) dotąd, aż tranzystor zaczyna się zamykać. Na źródle ustala się stan równowagi przy napięciu na źródle (i na woltomierzu) takim, przy którym tranzystor zaczyna przewodzić – czyli właśnie napięciu $U_{GS(OFF)}$.



Rys. 1. Schemat ideowy testera

W układzie z rysunku 2b amperomierz ma bardzo małą rezystancję, spadek napięcia na nim jest bliski zeru i tranzystor pracuje przy napięciu bramka-źródło równym zeru, a amperomierz pokazuje prąd I_{DSS} .

W układzie testera nie trzeba nic przełączać, wystarczy tylko przełączyć miernik dołączony do punktów oznaczonych $U_{GS(OFF)}$ I_{DSS} z pomiaru napięcia (woltomierz o dużej rezystancji wewnętrznej) na pomiar prądu (amperomierz o bardzo małej rezystancji wewnętrznej).

Tranzystory bipolarne

Ponieważ w układzie będą mierzone zarówno tranzystory NPN, jak i PNP, zastosowano przełącznik S6 oraz obwód R11, D5, D6. Diody świecące pokazują, czy układ przygotowany jest do pomiaru tranzystorów NPN, czy PNP. Taki wizualny wskaźnik zapobiegnie pomyłkom i uznaniu badanego tranzystora (o odwrotnej polaryzacji) za uszkodzony.

Zasada pomiaru wzmacnienia prądowego tranzystorów bipolarnych pokazana jest na rysunku 3. Źródło prądowe wyznacza, jaki prąd płynie przez tranzystor. Prąd ten (oznaczony I_1 rozdziela się na

dwa prądy: prąd bazy I_B i prąd kolektora I_C . Ponieważ prąd bazy jest przynajmniej kilkadziesiąt razy mniejszy od prądu kolektora, można śmiało przyjąć, że prąd źródła prądowego (I_1) jest równy prądowi kolektora (I_C). Dołączony amperomierz mierzy prąd bazy. Znając prąd źródła prądowego i mierząc prąd bazy łatwo można obliczyć wzmacnienie tranzystora jako

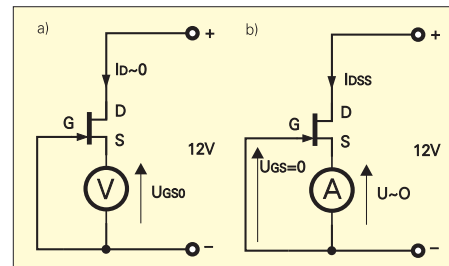
$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \cong \frac{I_1}{I_B}$$

z pomijalnym błędem rzędu co najwyżej kilku procent.

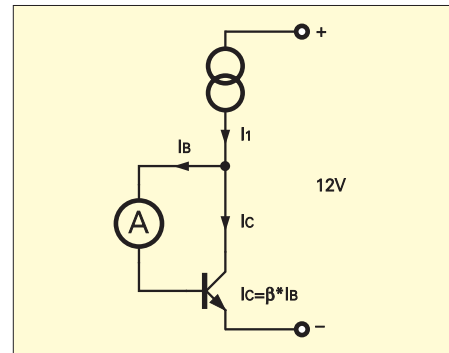
Ponieważ wartość wzmacnienia prądowego tranzystora nie jest stała i zależy od prądu kolektora, w układzie przewidziano możliwość pomiaru wzmacnienia przy prądach kolektora w zakresie 0,1mA do 1A.

W innych układach testerów wykorzystuje się odmienne rozwiązanie polegające na umieszczeniu źródła prądowego w obwodzie bazy. Wtedy prąd kolektora jest wprost proporcjonalny do wzmacnienia tranzystora.

Sposób wykorzystany w opisywanym przyrządzie jest jednak lepszy mimo, że wymaga obliczenia na kalkulatorze. Za-

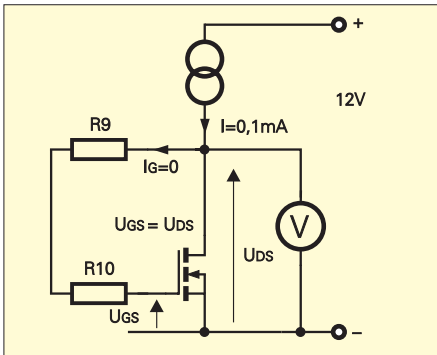


Rys. 2. Pomiar tranzystorów JFET



Rys. 3. Zasada pomiaru wzmacnienia tranzystora bipolarnego

stosowany sposób nie tylko zabezpiecza przez przepływem nadmiernego prądu w przypadku mierzenia uszkodzonego tranzystora, ale też pozwala sprawdzać



Rys. 4. Pomiar napięcia odcięcia tranzystora MOSFET

tranzystory przy określonym, jednakowym prądzie kolektora, co pozwala porównać egzemplarze tranzystorów o różnym wzmacnieniu przewidziane do pracy właśnie przy określonym prądzie kolektora, a nie określonym prądzie bazy.

W układzie z rysunku 1 źródło prądowe tworzą tranzystory T1 – T3 wraz ze współpracującymi rezystorami.

Gdy żaden z przycisków S1...S4 nie jest naciśnięty, prąd źródła wynosi około 0,1mA. Po naciśnięciu jednego z tych przycisków prąd wzrasta do wartości 1mA, 10mA, 100mA lub 1A. Wartość prądu źródła wyznaczona jest z wystarczającą dokładnością przez rezystory R4...R8. Dany przycisk powinien wywołać na rezystorze R4 (i ewentualnie R5...R8, dołączanych przyciskami) spadek napięcia równy 1V. Tranzystor T2 zaczyna przewodzić przy napięciu emiter-baza wynoszącym około 0,6V, i aby zaczął przewodzić przy napięciu na R4 równym 1V dodano dzielnik R3, R4. Jeśli napięcie na rezystorze R4 byłoby mniejsze niż 1V, tranzystor T2 zostanie przytkany i zwiększy się wysterowanie tranzystora T3 przez rezystor R1. Jeśli chwilowo wzrósłby prąd i napięcie na rezystorze R4, tranzystor T2 otworzy się bardziej i przejmie więcej prądu płynącego przez rezystor R1 i tym samym zmniejszy wysterowanie tranzystorów T1 i T3, przywracając wartość prądu do pożądanej wielkości. Tranzystory T3 i T1 tworzą modyfikowany układ Darlingtona. Jest on konieczny, by prąd płynący przez rezystor R1 był znacznie mniejszy od prądu źródła prądowego, także na najmniejszym zakresie 0,1mA.

Obecność obwodu R1, T2 nieco wpływa na wartość prądu źródła prądowego, ale do proponowanego rozwiązania dokładność jest absolutnie wystarczająca. Przy pomiarach wzmacnienia błąd rzędu 10% (np. wzmacnienie 100 zamiast 110) nie ma żadnego znaczenia.

Jedynie jeśli ktoś chciałby jeszcze dokładniej ustalić wartości prądu źródła prądowego na poszczególnych zakresach, może włączyć amperomierz mię-

dy punkty oznaczone $U_{GS(TH)}$, $R_{DS(ON)}$ i dobrać indywidualnie wartość rezystora R3 oraz ewentualnie rezystorów R4...R8. Taka procedura nie jest jednak konieczna.

Mostek diodowy D1...D4 jest niezbędny, by zapewnić pracę źródła prądowego przy różnej biegunowości prądu kolektora badanego tranzystora.

Badany tranzystor należy dołączyć do jednego z trzech gniazd. W układzie przewidziano trzy oddzielne gniazda połączone równolegle: jedno dla małych tranzystorów w obudowie TO-92, drugie dla tranzystorów w obudowie TO-126, i trzecie – TO-220.

Przy badaniu tranzystorów bipolarnych, rezystory R9, R10 i przycisk S5 nie są wykorzystywane.

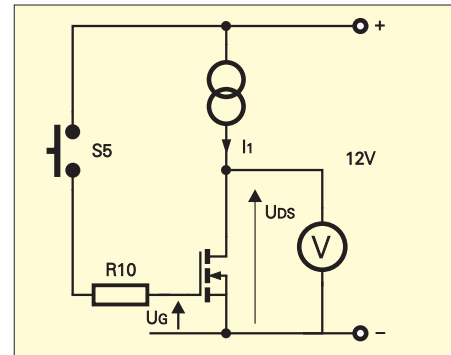
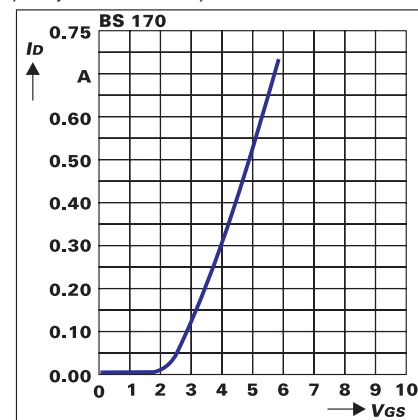
Tranzystory MOSFET

Przełącznik S6 pozwala dobrać biegunowość napięcia, zależnie od typu tranzystora (z kanałem N czy z kanałem P). W tranzystorach MOSFET dwa kluczowe parametry to napięcie progowe bramki $U_{GS(TH)}$ przy którym tranzystor zaczyna przewodzić prąd, oraz rezystancja w pełni otwartego tranzystora $R_{DS(ON)}$. Dobrze jest też znać jakie napięcia bramki potrzebne są do uzyskania określonego prądu drenu.

Zasadę pomiaru napięcia progowego $U_{GS(TH)}$ pokazana jest na **rysunku 4**. Aby tranzystor zaczął przewodzić, na jego bramce musi się ustalić takie napięcie, które go troszkę otworzy. Prąd płynący przez tranzystor jest mały, wynosi 0,1mA i potrzebne napięcie jest praktycznie równe napięciu progowemu $U_{GS(TH)}$. Ponieważ w obwodzie bramki tranzystora MOSFET nie płynie prąd, więc napięcie na bramce jest takie same, jak napięcie na drenie – napięcie to jest mierzone przez dołączony woltomierz.

Jeśli w takim stanie zostanie naciśnięty jeden z przycisków S1...S4 zwiększających prąd, to napięcie na bramce

Rys. 5. Charakterystyka przejściowa tranzystora BS170



Rys. 6. Pomiar rezystancji otwarcia tranzystora MOSFET

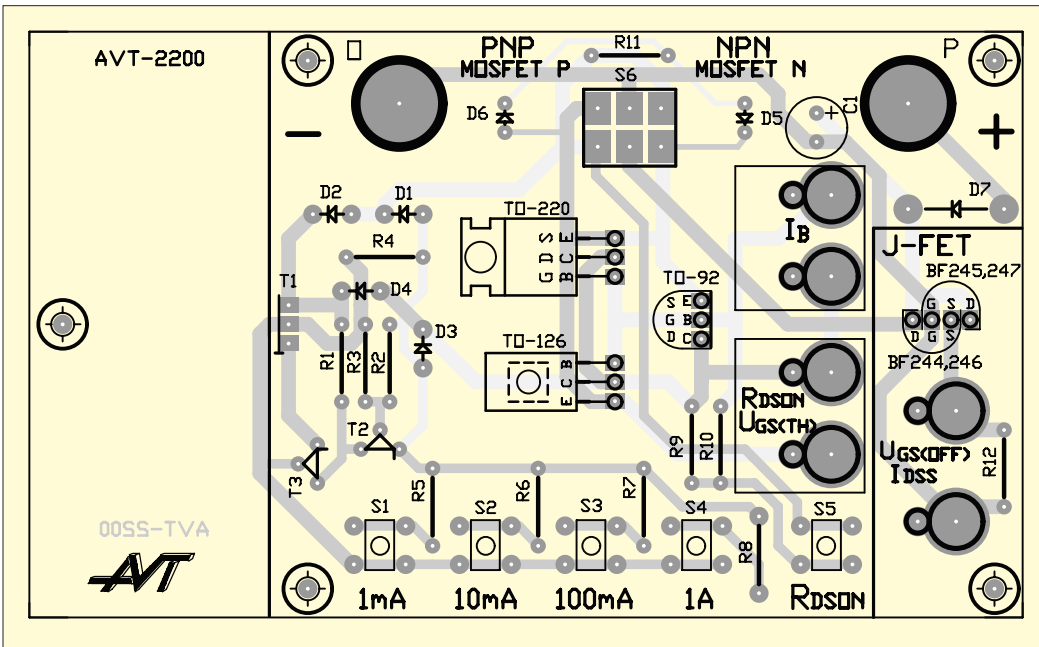
musi się nieco zwiększyć, by otworzyć tranzystor stosownie do wartości płynącego prądu.

Na woltomierzu można odczytać, jakie napięcia bramki potrzebne są, by przez badany tranzystor płynął prąd 1mA, 10mA, 100mA lub 1A. Znajomość tych napięć pozwoli wykreślić charakterystykę przejściową danego egzemplarza tranzystora MOSFET, która będzie wyglądać mniej więcej tak, jak na **rysunku 5**, pochodzącym z katalogu. Znając wartość różnicy napięć bramki, potrzebnej do uzyskania danego przyrostu prądu można w prosty sposób obliczyć przybliżoną wartość kolejnego istotnego parametru. Chodzi o tak zwaną transkonduktancję tranzystora, wyrażaną w **mAV** lub częściej w **AV**, co należy rozumieć jako (mili)amper przyrostu prądu drenu na wolt przyrostu napięcia bramki. Ponieważ **AV** (amper na wolt) to odwrotność oma czyli simens, spotyka się też oznaczenie **S** (simens) lub **mho** (odwrotność **ohma**) zamiast **A/V**, a także **mS** (milisimens) oraz **mmho** (milimho) zamiast **mA/V**.

Przyrząd pozwala także na pomiar wartości rezystancji w pełni otwartego tranzystora – $R_{DS(ON)}$. Zasadę pomiaru pokazuje **rysunek 6**. Po naciśnięciu przycisku S5 i podaniu na bramkę badanego tranzystora napięcia równego napięciu zasilania (w układzie z rysunku 1 będzie to napięcie mniejsze o około 1,6V spadku napięcia na diodach D7 i D1...D4) tranzystor się w pełni otworzy i napięcie woltomierz będzie małe, równe spadkowi napięcia (U_{DS}) wywołanego przepływem prądu I_1 przez rezystancję $R_{DS(ON)}$. Znając ten spadek napięcia U_{DS} i prąd I_1 można obliczyć wartość $R_{DS(ON)}$ przy danym prądzie.

$$R_{DS(ON)} = \frac{U_{DS}}{I_1}$$

Jak widać w podanych informacji, wykorzystuje się tu bardzo proste sposoby pomiaru. Warto mieć świadomość, że warunki pomiaru nieco odbiegają od warunków stosowanych przez producentów półprzewodników w ich testach produkcyj-



Rys. 7. Schemat montażowy

nych, ale ewentualne drobne różnice wyników absolutnie nie mają znaczenia. Dokładność rzędu 10% całkowicie wystarczy. W praktyce i tak zazwyczaj pomiary mają na celu wybranie spośród pewnej ilości elementów egzemplarzy o pożądanych parametrach. Na przykład bipolarnych tranzystorów mocy o jak największym wzmocnieniu, tranzystorów MOSFET o jak najmniejszym napięciu odcięcia bramki, tranzystorów polowych złączowych o jak największym prądzie I_{DSS} , itp.

Montaż i uruchomienie

Tester można zmontować na dwustronnej płytce drukowanej, pokazanej na **rysunku 7**. Pomocą będzie też fotografia modelu. Uwaga! Prototyp pokazany na

Wykaz elementów

Rezystory

- R1: 220k Ω
- R2: 100k Ω
- R3: 91k Ω
- R4: 10k Ω
- R5, R11: 1k Ω
- R6: 100 Ω
- R7: 10 Ω
- R8: 1 Ω 1W
- R9, R10, R12: 1M Ω

Kondensatory

- C1: 220 μ F/25V

Półprzewodniki

- D1-D4: dioda 1A np. 1N4001
- D5: LED czerwona
- D6: LED zielona
- D7: dioda Schottky 2A np. 1N????
- T1: BD644
- T2, T3: BC548B

Pozostałe

- S1-S5: mikroswitch
- S6: przełącznik 2 pozycyjny 2 obwodowy

Uwaga!

Zaciski laboratoryjne nie wchodzi w skład zestawu AVT-2200.

fotografii różni się pewnymi szczegółami od wersji ostatecznej z rysunku 7.

Montaż jest prosty, nie sprawi problemów. Układ nie wymaga uruchamiania i zbudowany ze sprawnych elementów od razu powinien pracować poprawnie. Po zbudowaniu układu warto tylko dołączyć amperomierz do punktów oznaczonych $U_{GS(TH)}$, R_{DSON} i sprawdzić, czy płynący prąd wynosi $0,1mA \pm 10\%$ i czy przy naciskaniu przycisków S1...S4 prąd osiąga podane wartości z dokładnością 10%. Jeśli okazało się, iż wskazania na wszystkich zakresach są nieco zaniżone lub podwyższone, można dobrać wartość rezystora R3.

Tester przewidziany jest jako konstrukcja wolnostojąca, nie wymagająca obudowy. Warto jedynie dodać cztery nóżki na rogach płytki.

W egzemplarzu modelowym punkty doprowadzenia zasilania P i O zaopatrzone w solidne zaciski laboratoryjne, natomiast punkty do dołączenia mierników pozostały „nieuzbrojone”. Końcówki przewodów pomiarowych

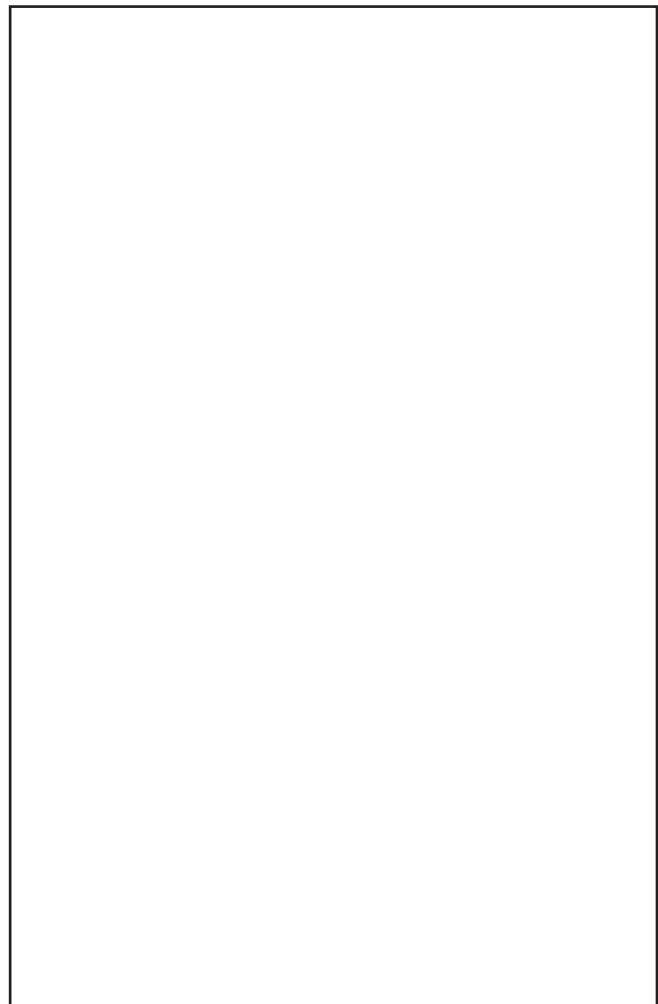
miernika będą po prostu wsadzone w metalizowane otwory. Kto chce, może również te punkty wyposażyć w zaciski laboratoryjne. Otwory te można śmiało rozwiąć (niszcząc metalizację), bo obok umieszczono dodatkowe otwory zapewniające kontakt między polami lutowniczymi obu stron płytki.

W modelu nie zamontowano również gniazd pomiarowych dla tranzystorów. Tranzystory wkłada się po prostu w otwory i lekko dociska w bok, żeby zapewnić kontakt wszystkich wyprowadzeń.

Uwaga! Na wkładce w środku tego numeru EdW zamieszczono zwięzłą

„ściągawkę” ułatwiającą korzystanie z testera. „Ściągawkę” tę można wyciąć, zafoliować i przechowywać razem z testerem.

Piotr Górecki
Zbigniew Orłowski



Uniwersalny tester tranzystorów

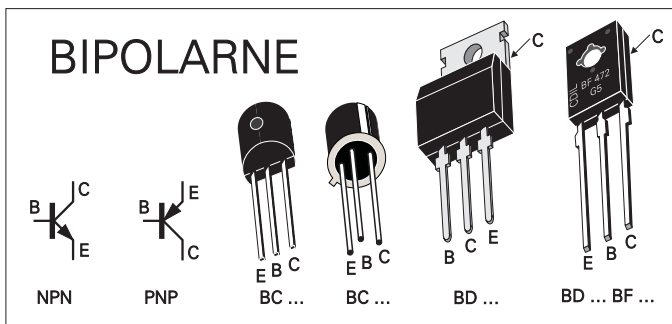
Instrukcja obsługi

Dołączyć zasilanie 12V do punktów P – plus, O – minus.

Tranzystory bipolarnie

1. Przełącznik S6 ustawić w pozycji, odpowiadającej polaryzacji badanego tranzystora (NPN, PNP).
2. Dołączyć miliamperomierz (mikroamperomierz) do punktów oznaczonych IB.
3. Dołączyć badany tranzystor do jednego z trzech pól kontaktowych (zależnie od obudowy tranzystora).
4. Wybrać potrzebną wartość prądu kolektora (I1) naciskając jeden z przycisków S1...S4 (bez naciśnięcia przycisku prąd wynosi 0,1mA).
5. Odczytać wartość prądu miliamperomierza (IB).
Obliczyć wzmacnienie:

$$\beta = \frac{I_1}{I_B}$$



(Zwykle tranzystory małej mocy mają wzmacnienie w zakresie 50...5000, tranzystory dużej mocy 10...500, natomiast tranzystory Darlingtona 500...100000.)

Uwaga! Tranzystory małej mocy nie powinny być sprawdzane na zakresie prądu 1A, jeśli katalogowa wartość prądu kolektora jest mniejsza od 1A.

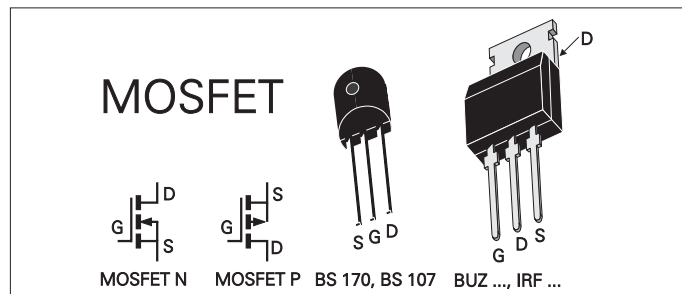
Tranzystory MOSFET

1. Przełącznik S6 ustawić w pozycji, odpowiadającej polaryzacji badanego tranzystora (z kanałem n, z kanałem p).
2. Dołączyć woltmierz do punktów oznaczonych UGS(TH) RDSON.
3. Dołączyć badany tranzystor do jednego z dwóch pól kontaktowych (zależnie od obudowy tranzystora).
4. Bez naciskania jakiegokolwiek przycisku odczytać wskazanie woltmierza – jest to wartość napięcia progowego UGS(TH) tego tranzystora. (Napięcie to wynosi 0,6...5V)
5. Wybrać inną wartość prądu drenu (I1) naciskając jeden z przycisków S1...S4.
6. Odczytać z woltmierza, jakie napięcie bramki potrzebne jest przy wybranym prądzie.
7. Nacisnąć przycisk S5 (pełne otwarcie tranzystora) przy jednoczesnym naciśnięciu jednego z przycisków S1...S4. Wskazanie woltmierza zmniejszy się.
8. Odczytać wartość spadku napięcia na rezystancji otwartego tranzystora (UX).
9. Obliczyć wartość rezystancji otwarcia przy danym prądzie (I1):

$$R_{DSON} = \frac{U_X}{I_1}$$

(Rezystancja R_{DSON} MOSFETów wynosi od kilku miliomów do kilku omów.)

Uwaga! Tranzystory MOSFET małej mocy nie powinny być sprawdzane na zakresie prądu 1A, jeśli katalogowa wartość prądu drenu jest mniejsza od 1A.



Tranzystory JFET (polowe złączowe) z kanałem n

Przy badaniu tych tranzystorów położenie przełącznika S6 jest dowolne.

Uwaga! Przyrząd mierzy tylko tranzystory polowe złączowe z kanałem n.

1. Dołączyć woltmierz do punktów oznaczonych UGS(OFF) IDSS.
2. Dołączyć badany tranzystor do pola kontaktowego oznaczonego J-FET.
3. Odczytać wskazanie woltmierza – jest to napięcie odcięcia UGS(OFF).
4. Dołączyć amperomierz do punktów oznaczonych UGS(OFF) IDSS.
5. Odczytać wskazanie amperomierza – jest to wartość prądu IDSS tego tranzystora.

