

Zbigniew Wołczyński, Marek Stępniewski

Komputerowo wspomagane stanowisko do badania tranzystorów stosowanych w motoryzacji

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.487
Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule omówiony został tranzystor jako element elektroniczny coraz częściej wykorzystywany w motoryzacji. Zaprezentowano rodzaje, typy oraz sposoby doboru i diagnozowania tranzystorów w ujęciu dla zastosowań motoryzacyjnych. Wskazano najważniejsze cechy tranzystora w zastosowaniach motoryzacyjnych. Pokazano sposoby pomiaru najistotniejszych parametrów tranzystora dla zastosowań motoryzacyjnych, w tym wykorzystanie komputerowej techniki pomiarowej w szybkim uzyskaniu istotnych charakterystyk tranzystora

Słowa kluczowe: tranzystor, rodzaje i funkcje tranzystorów, tranzystor w motoryzacji.

Wstęp

Tranzystory to półprzewodnikowe elementy elektroniczne charakteryzujące się możliwością wzmacniania sygnałów elektrycznych. Na zewnątrz posiadają trzy elektrody. Można wyróżnić w nich dwa obwody: główny (sterowany) i sterujący. Ponieważ tranzystor posiada trzy elektrody to jedna z nich jest wspólną dla obwodu głównego i obwodu sterującego. Działanie tranzystora można porównać do zaworu w układzie hydraulicznym, gdzie niewielką siłą reguluje się natężenie przepływu płynu przez zawór. Polega to na regulacji „dużego” prądu w obwodzie głównym za pomocą „małego” prądu w obwodzie sterującym lub napięcia przyłożonego do obwodu sterującego. Tranzystor podobnie jak zawór w układzie hydraulicznym może być:

- całkowicie zamknięty (zatkany) – nie przewodzi prądu w obwodzie głównym,
- całkowicie otwarty (nasycony) – niemalże nie stawia żadnego oporu dla prądu elektrycznego w obwodzie głównym
- częściowo otwarty (aktywny) – reguluje wartość prądu w obwodzie głównym proporcjonalnie do sygnału sterującego w obwodzie sterującym.

Te cechy tranzystora powodują, że znalazł on bardzo szerokie zastosowanie w motoryzacji. Może zastąpić przekaźnik, gdzie niewielki prąd w obwodzie sterującym (w przypadku przekaźnika – płynący w cewce) załącza duży prąd w obwodzie sterowanym (w przypadku przekaźnika – płynący przez zwarty zestyk). Może być wykorzystywany do regulacji prądu silnika elektrycznego (np. dmuchawy) itp.

W ostatnich latach nastąpiła olbrzymia elektronizacja układów samochodowych. W dużej mierze związane jest to z pokonaniem barier technologicznych w produkcji elementów półprzewodnikowych w tym wysoko- napięciowych i prądowych. Obecnie większość marek samochodów osobowych oferuje pojazdy z napędem hybrydowym czyli z użyciem napędu elektrycznego. Napędy takie bez układów elektronicznych w tym tranzystorów i innych elementów energoelektronicznych nie mogłyby istnieć. W nowoczesnych samochodach istnieje kilkanaście do kilkudziesięciu różnych sterowników elektronicznych. Jest to powód dla którego studenci kierunków samochodowych poznają rodzaje, typy i podstawowe cechy tran-

zystorów w praktyce. Pomoże im w tym prezentowane stanowisko wspomagane komputerowo do badania tranzystorów stosowanych w motoryzacji.

1 Rodzaje, typy tranzystorów i ich cechy

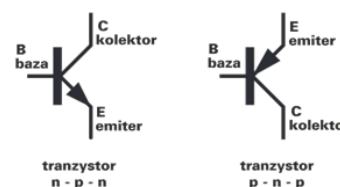
Pierwsze tranzystory zbudowano ok. połowy XX wieku. Od tamtego czasu nastąpił olbrzymi rozwój elektroniki związany z zastąpieniem lamp elektronowych przez tranzystory. Największy jednak postęp w rozwoju elektroniki rozpoczął się ok. przełomu wieków. Opracowano i zbudowano wtedy tranzystory do sterowania dużymi mocami tzw. energoelektroniczne.

Do budowy większości elektronicznych elementów półprzewodnikowych stosuje się tzw. półprzewodniki domieszkowane. Są to półprzewodniki w strukturę których wprowadzono atomy innych pierwiastków nadając im odpowiednie właściwości do przewodzenia prądu elektrycznego. Półprzewodnik z domieszką powodującą występowanie nadmiaru elektronów w strukturze nazywany jest „półprzewodnikiem typu n”. Natomiast półprzewodnik z domieszką powodującą występowanie niedomiaru elektronów w strukturze nazywany jest „półprzewodnikiem typu p”. Brak elektronów powoduje występowanie tzw. „dziur”, które w większości odpowiadają za przepływ prądu w półprzewodniku typu p. Zatem w półprzewodniku typu p nośnikami prądu są „dziury” a w półprzewodniku typu n nośnikami prądu są elektrony.

Połączenie ze sobą półprzewodników typu n i typu p prowadzi do powstania złącza p-n. Złącze takie charakteryzuje się tym, że jest zdolne przewodzić prąd elektryczny tylko w jednym kierunku.

Tranzystory dzielimy na dwa rodzaje: bipolarne i unipolarne.

Istnieje dwa typy tranzystorów bipolarnych: npn i pnp. W tranzystorach tych jest to kolejność występowania obszarów półprzewodnikowych o przewodnictwie typu n i p. Zatem w każdym z nich występują po dwa złącza p-n. Elektrody (wyprowadzenia obszarów) w tranzystorach bipolarnych nazywają się: emiter (E), baza (B) i kolektor (C). Prąd główny płynie pomiędzy kolektorem a emiterym, prąd sterujący pomiędzy bazą a emiterym. Tranzystor bipolarny posiada symbole graficzne różne dla każdego typu (rys. 1)



Rys.1. Symbole graficzne tranzystorów bipolarnych

W tranzystorach typu n-p-n prąd główny płynie od kolektora do emiterya natomiast prąd sterujący od bazy do emiterya. W tranzystorach typu p-n-p prąd główny płynie od emiterya do kolektora natomiast prąd sterujący od emiterya do bazy. W każdym przypadku strzałka na emiteryze wskazuje kierunek prądu.

Najważniejsze parametry graniczne tranzystorów bipolarnych to:

- maksymalne napięcie pomiędzy kolektorem a emiterym U_{CE} ,

- maksymalny prąd kolektora I_C ,
- moc strat P_{TOT} ,
- stosunek prądu kolektora do prądu bazy czyli wzmacnienie prądowe tranzystora β ,
- minimalne napięcie U_{CE} w stanie nasycenia. [3]

Pozostałe cechy tranzystorów, oprócz parametrów granicznych, przedstawiają ich charakterystyki. Dla tranzystorów bipolarnych najważniejsze charakterystyki to: wyjściowa ($I_C=f(U_{CE})$ przy $I_B=const.$), wejściowa ($I_B=f(U_{BE})$ przy $U_{CE}=const.$) i przenoszenia prądowego ($I_C=f(I_B)$ przy $U_{CE}=const.$).

Wśród tranzystorów unipolarnych (polowych) rozróżnia się dwa podstawowe typy: złączowe (ozn. JFET), w których występuje zaporowo polaryzowane złącze p-n oraz tranzystory z izolowaną bramką (ozn. MOSFET). Tranzystory polowe posiadają symbole graficzne wskazujące na ich typ oraz charakter przewodnictwa (rys. 2).

Symbole graficzne tranzystorów unipolarnych (polowych)					
złączowych		z izolowaną bramką			
z kanałem		z kanałem zubożonym		z kanałem wzbogacającym	
typu n	typu p	typu n	typu p	typu n	typu p

Rys. 2. Symbole graficzne tranzystorów unipolarnych

Tranzystor złączowy JFET składa się z podstawowej warstwy półprzewodnika typu n lub typu p oraz wbudowanej w nią, silnie domieszkowanej warstwy półprzewodnika przeciwnego typu. Na styku półprzewodników powstaje złącze p-n. Tranzystor JFET posiada trzy elektrody: dren (ozn. D); źródło (ozn. S) i bramka (ozn. G). Bramkę stanowi wbudowany silnie domieszkowany obszar półprzewodnika natomiast źródło i dren są podłączone do dwóch końców podstawowej warstwy półprzewodnika.

Tranzystor polaryzuje się tak, żeby nośniki większościowe przepływały od źródła do drenu. Natomiast złącze bramka-źródło polaryzuje się zaporowo. Gdy pomiędzy bramką a źródłem nie podłączy się napięcia ($U_{GS}=0V$) to płynie maksymalny prąd pomiędzy drenem a źródłem. Jeśli napięcie U_{GS} , przyłożone do złącza p-n zaporowo będzie rosła, to prąd drenu będzie malał. Przy pewnej wartości przyłożonego napięcia U_{GS} prąd drenu przestanie płynąć. Ta wartość napięcia nazywana jest napięciem odcięcia U_{GSoff} . [2]

Tranzystory MOSFET zbudowane są z płytki słabo domieszkowanego półprzewodnika typu p lub n nazywanej podłożem. W podłożu tworzone są dwa małe, silnie domieszkowane obszary o przeciwnym typie przewodnictwa. Tworzą one dren i źródło, do których doprowadzane są kontakty. Powierzchnia półprzewodnika pomiędzy drenem i źródłem jest pokryta cienką warstwą dielektryka (najczęściej SiO_2) o grubości rzędu kilkunastu nanometrów. Na dielektryku napylona jest warstwa materiału przewodzącego (metal, najczęściej: Al) tworząca bramkę.

Prąd pomiędzy źródłem i drenem płynie tzw. kanałem. Jego wartość zależy od przyłożonego napięcia U_{GS} pomiędzy bramką a źródłem. Rozróżnia się dwa typy tranzystorów MOSFET:

- z kanałem zubożonym (z kanałem wbudowanym), tj. tranzystorów, w których istnieje kanał przy zerowym napięciu U_{GS} ,
- z kanałem wzbogacającym (z kanałem indukowanym), tj. tranzystorów, w których kanał tworzy się dopiero po przyłożeniu napięcia U_{GS} o odpowiedniej wartości. [1]

W motoryzacji największe zastosowanie spośród tranzystorów polowych znalazły tranzystory MOSFET z kanałem indukowanym.

Ponieważ bramka w tranzystorach MOSFET jest izolowana od kanału to nie płynie przez nią żaden prąd ($I_G=0$). Podstawową cechą tranzystorów polowych jest to, że sterowane są napięciem przyło-

żonym pomiędzy bramką i źródłem. W tranzystorach bipolarnych sterowanie odbywa się prądem bazy.

Najważniejsze parametry graniczne tranzystorów polowych to:

- maksymalne napięcie pomiędzy drenem a źródłem U_{DS} ,
- maksymalny prąd drenu I_D ,
- moc strat P_{TOT} ,
- napięcie odcięcia U_{GSoff} ,
- minimalne napięcie U_{DS} w obszarze nasycenia.

Podstawowe charakterystyki dla tranzystorów polowych to: wyjściowa ($I_D=f(U_{DS})$ przy $U_{GS}=const.$) i przejściowa ($I_D=f(U_{GS})$ przy $U_{DS}=const.$).

Przy doborze tranzystora do układu lub doborze zamiennika ważne są jego charakterystyki. Prezentowane w tym artykule stanowisko umożliwi pomiar istotnych parametrów granicznych oraz charakterystyk tranzystorów stosowanych w samochodowych systemach mechatronicznych podlegających naprawom.

2 Budowa stanowiska

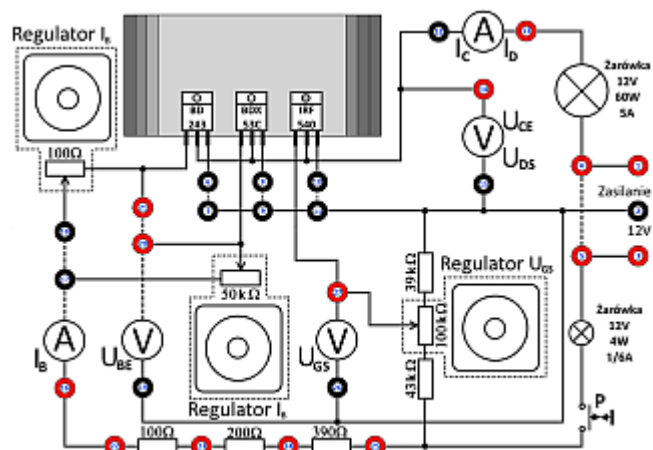
Stanowisko zaprojektowane jest tak, aby studenci w czasie dwu-, trzy- godzinnego laboratorium zbadali istotne cechy tranzystorów stosowanych w motoryzacji. Należą do nich pomiary:

- współczynnika wzmacnienia tranzystora bipolarnego,
- minimalnego napięcia kolektor-emiter U_{CE} w stanie nasycenia,
- minimalnego napięcia dren-źródło U_{DS} w obszarze nasycenia,
- napięcia odcięcia tranzystora polowego U_{GSoff} ,
- wybranych napięć i prądów do sporządzenia podstawowych charakterystyk tranzystorów stosowanych w układach elektronicznych samochodu.

Naprawialne układy mechatroniczne samochodu zawierają przede wszystkim tranzystory jako elementy wykonawcze. Zatem są to tranzystory mocy. Stanowisko zawiera trzy przykładowe tranzystory mocy:

- BD243 – jako przedstawiciel tranzystorów bipolarnych,
- BDX53C – jako przedstawiciel tranzystorów bipolarnych o dużym wzmacnieniu prądowym (układ Darlingtona),
- IRF540 – jako przedstawiciel tranzystorów polowych (z kanałem indukowanym typu n).

Stanowisko laboratoryjne składa się z płyty (rys. 3), na której zamontowano trzy badane tranzystory oraz elementy umożliwiające ich sterowanie. Jako odbiornik prądu sterowanego tranzystorem zastosowano dużą żarówkę samochodową 12V/60W. Dla wizualizacji działania wzmacniającego tranzystora zainstalowano w obwodzie sterowania tranzystora małą żarówkę samochodową 12V/3W. Intensywność świecenia obu żarówek obrazuje prądy płynące w ich obwodach.



Rys. 3. Płyta stanowiska do badania tranzystorów stosowanych w motoryzacji

- Poza płytą (rys. 3) w skład stanowiska (rys. 4) wchodzi:
- cztery multimetry UNI-T UT803 pracujące podczas badania tranzystorów bipolarnych jako:
 - miliwoltomierz napięcia baza-emiter U_{BE} ,
 - woltomierz napięcia kolektor-emiter U_{CE} ,
 - miliamperomierz prądu bazy I_B ,
 - amperomierz prądu kolektora I_C ,
 - trzy multimetry UNI-T UT803 pracujące podczas badania tranzystorów polowych jako:
 - woltomierz napięcia bramka-źródło U_{GS} ,
 - woltomierz napięcia dren-źródło U_{DS} ,
 - amperomierz prądu drenu I_D ,
 - dwusekcyjny zasilacz regulowany PowerLab 305DII,
 - komputerowy system pomiarowy oparty na komputerze klasy IBM/PC wyposażonym w kartę 14-to bitowych przetworników A/C i oprogramowanie służące do pomiaru, archiwizowania, przetwarzania i wizualizacji wyników.

Tak wyposażone stanowisko umożliwia nie tylko pomiar wybranych, istotnych w zastosowaniach motoryzacyjnych, parametrów tranzystorów, ale także wykonanie podstawowych charakterystyk tranzystorów.

3 Badanie tranzystorów pod względem istotnych parametrów w zastosowaniach motoryzacyjnych

Elektronizacja motoryzacji postępuje coraz bardziej wypierając rozwiązania mechaniczne i elektryczne. Przykładem może być zastąpienie przełącznika tranzystorem. Przełącznik jest urządzeniem mechaniczno-elektrycznym z ruchomymi elementami, a więc podatnym na uszkodzenia. Można go zastąpić tranzystorem, elementem elektronicznym, w którym nie ma żadnych ruchomych elementów. Są jednak wymagania, które musi spełniać taki tranzystor aby zastąpić nim przełącznik. Najważniejszym parametrem w tym przypadku jest minimalne napięcie U_{CE} w stanie nasycenia. Nie powinno ono różnić się znacząco od napięcia na zwartych stykach przełącznika.

Należy zatem zauważyć, że w większości zastosowań motoryzacyjnych tranzystory pracują przede wszystkim w dwóch stanach:

zatkania i nasycenia. Nawet tam, gdzie tranzystor jest używany do regulacji natężenia prądu (np. prądu silnika dmuchawy) pracuje dwustanowo, a wartość prądu jest regulowana stosunkiem czasu włączenia do czasu wyłączenia.

W tym miejscu zaprezentowane zostanie wykorzystanie stanowiska do pomiaru kilku wybranych, istotnych ze względu na zastosowania w motoryzacji, parametrów tranzystorów.

3.1 Pomiar napięcia kolektor-emiter U_{CE} w stanie nasycenia

Stan nasycenia tranzystora bipolarnego to taki, w którym obydwa złącza p-n spolaryzowane są w kierunku przewodzenia (tj. napięcie kolektor-emiter U_{CE} osiąga minimalną wartość przy danym prądzie kolektora I_C).

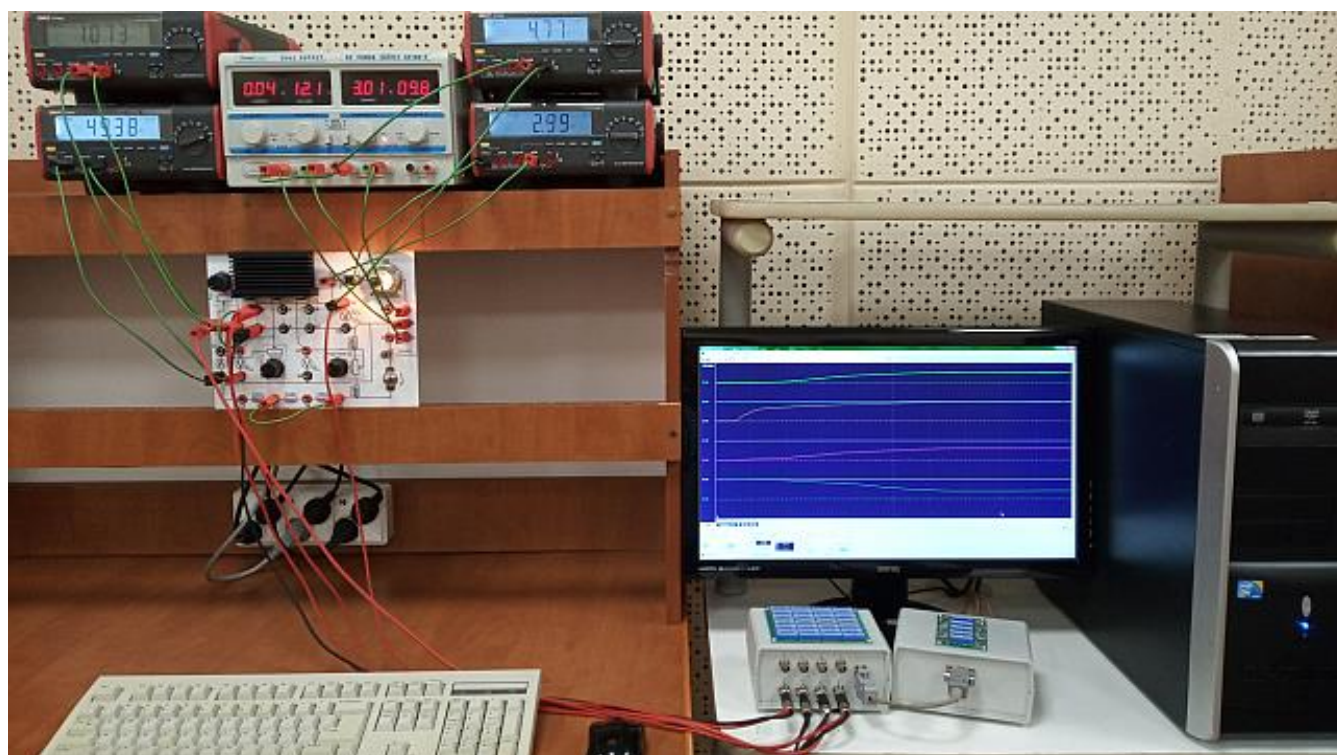
Aby zmierzyć to napięcie należy wykonać połączenia zgodnie z instrukcją do ćwiczenia tj.: [4]

- podłączyć multimetry zgodnie z oznaczeniami na płycie stanowiska i ustawić im właściwie funkcje,
- podłączyć zasilacz, ustawić napięcie 10V i prąd obciążenia 5A,
- zewrzeć punkty na płycie stanowiska o numerach: 4 z 5, 6 z 7, oraz 22 z 25,
- ustawić regulator prądu I_B na minimum (pokrętko maksymalnie w lewą stronę),
- ustawić dźwignię przełącznika prądu sterującego na ON,
- włączyć zasilacz,
- zwiększać pokrętkiem I_B prąd bazy i obserwować malejące napięcie U_{CE} .

Za napięcie nasycenia uznaje się minimalne napięcie U_{CE} , którego wzrost nie spowoduje zauważalnego wzrostu prądu kolektora I_C .

W taki sam sposób bada się napięcie nasycenia na tranzystorze w układzie Darlingtona. Należy tu zauważyć, że prąd I_B powodujący nasycenie tranzystora w układzie Darlington jest wielokrotnie mniejszy.

Podobnie postępuje się z badaniem tranzystora polowego, przy czym regulacji dokonuje się napięciem bramka-źródło U_{GS} .



Rys. 4. Widok stanowiska laboratoryjnego do badania tranzystorów stosowanych w motoryzacji

3.2 Pomiar współczynnika wzmocnienia prądowego tranzystora

Współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora jest to jego cecha mówiąca ile razy prąd sterowany jest większy od prądu sterującego. Współczynnik ten oznaczamy symbolem β . Zmienia on swoją wartość wraz ze zmianą prądów I_B oraz I_C . Dlatego pomiaru współczynnika β należy dokonać przy prądzie zbliżonym do tego, który będzie płynął w układzie pracy badanego tranzystora.

Pomiaru współczynnika β dokonuje się w układzie pomiarowym podobnym do układu napięcia U_{CE} w stanie nasycenia. Różnica polega na tym, że zwarcie punktów 22 z 25 zastępuje się kilkoma kombinacjami zwarć w obrębie punktów 22, 23, 24, 25 zmieniając skokowo prąd bazy I_B . Dla każdego prądu bazy mierzony jest prąd kolektora I_C i obliczany współczynnik β . Natomiast po zwarciu punktów 22 z 25 kolejne wartości prądów I_B oraz I_C zadaje się płynnie regulatorem prądu bazy. Pomiaru prądu bazy I_B oraz prądu kolektora I_C a także innych parametrów w bardzo wielu punktach, można dokonać w prosty sposób i przy małym nakładzie pracy wykorzystując komputerową technikę pomiarową.

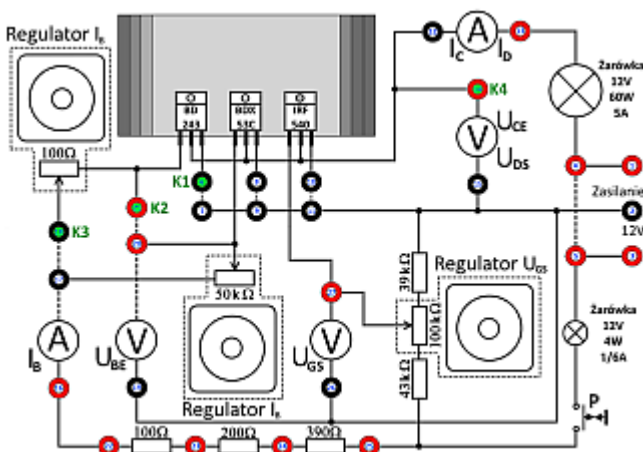
4 Badania tranzystorów wykonywane z użyciem komputerowej techniki pomiarowej

Zastosowanie komputerowej techniki pomiarowej umożliwiła pomiar i rejestrację analogowych sygnałów napięciowych z dużą częstotliwością i dokładnością. Można ją wykorzystać do szybkiego pomiaru sygnałów na stanowisku do badania tranzystorów w celu wykreślenia podstawowych charakterystyk w oparciu o dużą liczbę pomiarów. [5, 6]

Komputerowa technika pomiarowa bazuje na kartach przetworników analogowo-cyfrowych i układach służących do archiwizacji wyników pomiarów. Laboratoria Elektrotechniki i Elektroniki oraz Elektroniki Samochodowej w Zakładzie Mechatroniki Samochodowej Wydz. Mechanicznego UTH w Radomiu dysponują stanowiskiem pomiarowym do badania tranzystorów wspomaganym komputerowo.

W celu wykreślenia podstawowych charakterystyk tranzystora bipolarnego dokonuje się pomiaru napięć w punktach układu pomiarowego przedstawionego na rys. 5, oznaczonych kolorem zielonym. Pomiar przy użyciu techniki komputerowej polega na rejestracji kilku sygnałów jednocześnie z dużą częstotliwością. Układ pomiarowy zbudowano w oparciu o płytę prezentowanego stanowiska i:

- cztery mierniki: I_B , I_C , U_{BE} , U_{CE} ,
- zasilacz obwodu sterownego i obwodu sterującego,
- komputer klasy IBM PC wyposażony w osmiokanałową kartę 14-to-bitowych przetworników A/C.



Rys. 5. Płyta stanowiska do badania tranzystorów stosowanych w motoryzacji z zaznaczonymi punktami komputerowej rejestracji napięć

Karta pomiarowa ma wspólną masę dla wszystkich kanałów dlatego rejestracji napięć dokonano względem „-” zasilania układu. Rejestrowano następujące sygnały:

- kanał 1 – spadek napięcia U_1 na zworze w obwodzie emitera badanego tranzystora, który jest proporcjonalny do prądu emitera I_E ,
- kanał 2 – napięcie U_2 na bazie tranzystora względem „-” zasilania,
- kanał 3 – napięcie U_3 na rezystorze szeregowo włączonym w obwód bazy, czyli proporcjonalne do prądu bazy I_B ,
- kanał 4 – napięcie U_4 na kolektorze tranzystora względem „-” zasilania.

Rejestrator komputerowy został odpowiednio skonfigurowany. Ustawiono impedancję wszystkich wejść na wartość $1M\Omega$. Zakresy napięć wejściowych ustawiono indywidualnie na każdym z wejść, w taki sposób, aby napięcia występujące na poszczególnych wejściach zmieniały się w możliwie największej części ustawionego zakresu. Dla kanału 1 ustawiono zakres $\pm 100mV$, dla kanału 2 ustawiono zakres $\pm 1V$, dla kanałów 3 i 4 ustawiono zakres $\pm 10V$. Wybrano najmniejszą z dostępnych częstotliwości próbkowania równą $1kS/s$ oraz liczbę próbek równą 40 tys., co skutkowało czasem rejestracji 40s.

Badanie przeprowadzono w następujący sposób:

- podłączono do płyty stanowiska w/w mierniki,
- jedną sekcję zasilacza ustawiono na $9,9V$ i podłączono do punktów płyty o numerach 1 i 2,
- drugą sekcję zasilacza ustawiono na $0V$ i podłączono do punktów płyty o numerach 3 i 2,
- włożono zworę pomiędzy punkty 6 i 7 oraz podłączono komputer pomiarowy,
- zwarto punkty 23 i 25,
- uruchomiono pomiar komputerowy,
- włączono zasilacz, i w czasie ok. 30s płynnie zmieniano napięcie drugiej sekcji od $0V$ do ok. $12V$,
- po zakończeniu pomiaru zapisano wyniki do pliku dyskowego i przystąpiono do ich opracowania.

Uzyskane wyniki pomiarów komputerowych przeliczono na napięcie zgodnie z zależnością (1):

$$U = z \cdot \frac{x}{8192} \quad (1)$$

gdzie: U – zmierzone napięcie [V],
 z – zakres pomiarowy np. $100mV=0,1V$,
 x – wartość zmierzona.

Następnie obliczono:

- prąd emitera I_E zgodnie z zależnością (2):

$$I_E = \frac{U_1}{R_{S6}} \quad (2)$$

- gdzie: R_{S6} – rezystancja zworki pomiędzy punktami 5 i 6
- napięcie baza emiter U_{BE} zgodnie z zależnością (3):

$$U_{BE} = U_2 - U_1 \quad (3)$$

- prąd bazy I_B zgodnie z zależnością (4):

$$I_B = \frac{U_3 - U_2}{R_{I_B}} \quad (4)$$

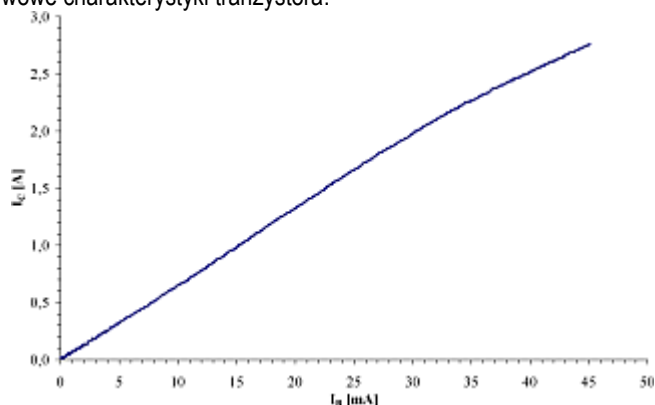
- gdzie: R_{I_B} – ustawiona rezystancja regulatora prądu I_B np. 100Ω
- prąd kolektora I_C zgodnie z zależnością (5):

$$I_C = I_E - I_B \quad (5)$$

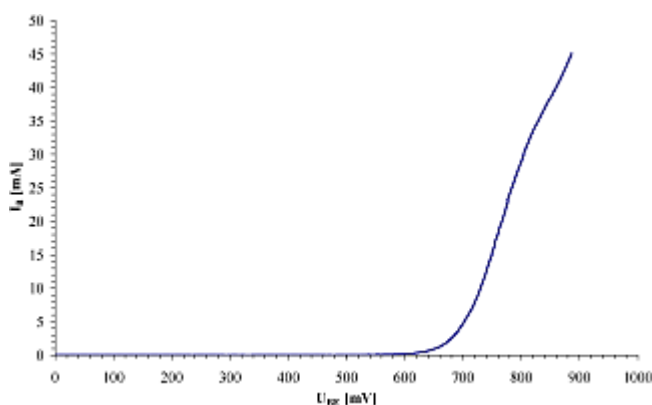
- współczynnik wzmocnienia prądowego β zgodnie z zależnością (6):

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (6)$$

Dane te przedstawiono na wykresach (rys. 6 i 7) jako podstawowe charakterystyki tranzystora.



Rys. 6. Przykładowa charakterystyka przenoszenia prądowego tranzystora bipolarnego wykonana na komputerowo wspomaganym stanowisku do badania tranzystorów stosowanych w motoryzacji



Rys. 7. Przykładowa charakterystyka wejściowa tranzystora bipolarnego wykonana na komputerowo wspomaganym stanowisku do badania tranzystorów stosowanych w motoryzacji

Podsumowanie

Tranzystory to elementy elektroniczne, które coraz częściej stosowane są w technice motoryzacyjnej. Jako elementy elektroniczne mają wiele parametrów. Najważniejsze z nich zostały omówione w tym artykule. Pokazano też metody ich wyznaczania. Metody te wykorzystują narzędzie w postaci rejestratora komputerowego, które bardzo ułatwia i przyspiesza zbieranie danych do wykreślenia charakterystyk badanych tranzystorów. Należy zauważyć, że dwie pokazane w artykule charakterystyki (rys. 6 i 7) zostały wykreślone w oparciu o ok. 30 tys. punktów pomiarowych. Czas zbierania tych danych (czas pomiaru) to ok. 40 s. Jest to bardzo szybka i dokładna metoda wykonywania charakterystyk. Ponadto w jednym pomiarze można zebrać dane do wykreślenia kilku charakterystyk. Studenci, którzy wykonywali wcześniej takie pomiary ręcznie są w stanie

zauważyć wielokrotne skrócenie czasu poświęconego na pomiary oraz ich dokładność. Analiza przebiegu obu zaprezentowanych charakterystyk pozwala potwierdzić dokładność ich wykreślenia, gdyż bardzo duża liczba próbek układa się „idealnie” w ich przebieg. Ponadto są one zgodne ze znanymi z literatury.

Przedstawione stanowisko do badania tranzystorów projektowane było dla studentów wydziałów nieelektrycznych. Dlatego m.in. zastosowano w nim żarówki, których intensywność świecenia użyta została do zobrazowania zdolności wzmacniania prądu przez tranzystory.

Bibliografia:

1. <https://pl.wikipedia.org/wiki/MOSFET>
2. https://pl.wikipedia.org/wiki/Tranzystor_polowy_zlaczowcy.
3. https://pl.wikipedia.org/wiki/Tranzystor_bipolarny
4. Wolczyński Z.: Badanie tranzystorów stosowanych w motoryzacji, Instrukcja do ćwiczenia z przedmiotu Elektronika Samochodowa oraz Elektrotechnika i elektronika
5. M. Stępniewski, Wolczyński Z.: Sposób pomiaru położenia zaworu EGR napędzanego silnikiem krokowym. Autobusy, Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe – zeszyt 12/2016, tom R 17, s.1362-1365
6. Wolczyński Z., Stępniewski M.: Metoda pomiaru parametrów elektrycznych wysterowania wtryskiwacza benzyny w systemie GDI. Autobusy, Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe – zeszyt 6/2016, tom R 17, s.1225-1227

A computer-assisted stand for testing transistors used in the automotive industry

The article discusses the transistor as an electronic element increasingly used in the automotive industry. The types, types and ways of selecting and diagnosing transistors in terms of automotive applications are presented. The most important features of the transistor in automotive applications are indicated. Methods of measuring the most important transistor parameters for automotive applications, including the use of computer measuring technology in quickly obtaining significant transistor characteristics are shown

Keywords: transistor, transistor types and functions, transistor in the automotive industry.

Autorzy:

dr inż. **Zbigniew Wolczyński** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny, Zakład Mechatroniki Samochodowej, z.wolczynski@uthrad.pl

dr inż. **Marek Stępniewski** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny, Zakład Mechatroniki Samochodowej, m.stepniewski@uthrad.pl