

Ćwiczenie 2

TRANZYSTORY MOCY

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi tranzystorami i ich charakterystykami.

1. Wiadomości wstępne

Tranzystory są to trójelektrodowe przyrządy półprzewodnikowe o właściwościach wzmacniających. Stanowią one grupę elementów elektronicznych o regulowanym przepływie ładunków elektrycznych. Ze względu na zasadę działania tranzystory dzieli się na grupy:

- *tranzystory bipolarne*, w których przepływ prądu odbywa się na skutek ruchu nośników większościowych i nośników mniejszościowych.
- *tranzystory unipolarne* lub inaczej polowe, w których przepływ prądu powodują nośniki tylko jednego rodzaju, natomiast napięcie sterujące powoduje zmianę rezystancji drogi ich przepływu.
- *tranzystory jednozłączowe* stosowane rzadko.

1.1. Tranzystory bipolarne

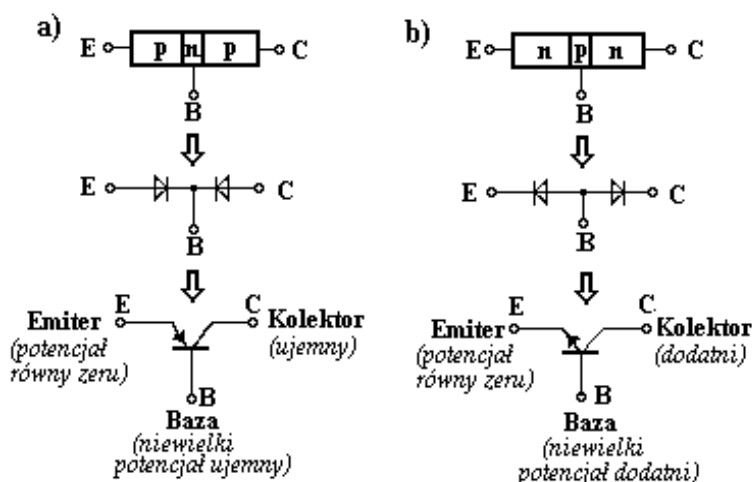
Tranzystory bipolarne powstają przez umieszczenie dwóch złącz p-n w jednej płytce półprzewodnika bardzo blisko siebie, aby występowało oddziaływanie jednego złącza na drugie. Występują dwa rodzaje tranzystorów: *tranzystory p-n-p* i *tranzystory n-p-n* (Rys. 2.1).

Najstarsze tranzystory warstwowe zwane również stopowymi (od 1948 r.) były wykonywane technologią stopową na bazie germanu. Obecnie najbardziej jest rozpowszechniona technologia epitaksjalno-planarna (Rys. 2.2) na bazie krzemu.

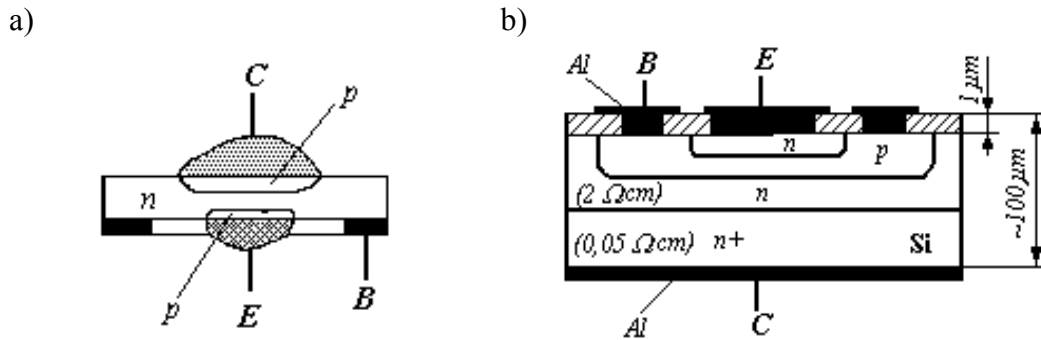
Każdy z obszarów tranzystora stanowi jedną z jego elektrod **E** oznacza *emiter*, **B** - *bazę*, **C** - *kolektor*. Obecnie tranzystory bipolarne są produkowane głównie z krzemu (tranzystory krzemowe).

Efekt tranzystorowy można zaobserwować w strukturze *p-n-p* lub *n-p-n* dla której oba złącza są monokrystaliczne, jeśli dodatkowo są spełnione warunki:

1. Jedno ze złączy winno być spolaryzowane w kierunku przewodzenia (dioda emiterowa), natomiast drugie w kierunku zaporowym (dioda kolektorowa).
2. Grubość obszaru bazy między obu złączami powinna być mała w porównaniu z długością drogi dyfuzji nośników większościowych emitera wynoszącej zazwyczaj $0,01 \div 0,1$ mm.
3. Obszar emitera winien zawierać więcej nośników większościowych niż obszar bazy, aby prąd płynący od strony emiterowej był $10^3 \div 10^5$ razy większy niż prąd od strony bazy.



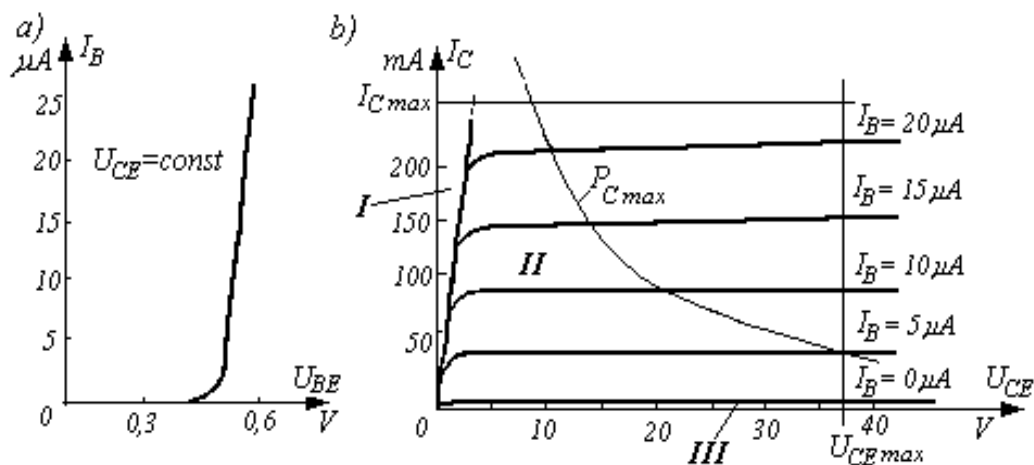
Rys. 2.1. Model struktury i symbole graficzne tranzystora bipolarnego:
a) p-n-p, b) n-p-n



Rys. 2.2. Budowa tranzystora: a) metodą stopową, b) metodą epitaksjalno - planarną

Koncentracja domieszek emitera jest rzędu 10^{18} cm^{-3} , dzięki czemu obszar ten stanowi dobre źródło elektronów i ma małą rezystancję. Domieszkowanie bazy jest rzędu $\sim 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Kolektor jest domieszkowany o rząd wielkości mniejszy niż bazy ($\sim 10^{14} \text{ cm}^{-3}$), natomiast obszar kolektora n+ jest domieszkowany podobnie jak emiter ($\sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$). Taki rozkład domieszek zapewnia dużą sprawność emitera i dużą sprawność transportu ładunków przez bazę oraz mały opór szeregowy kolektora.

Przez spolaryzowane w kierunku przewodzenia złącze emiterowe wstrzykiwane są z emitera do bazy nośniki większościowe emitera, które poruszają się dyfuzyjnie w bazie w kierunku kolektora. Docierają one do kolektora przez spolaryzowane zaporowo złącze kolektorowe, którego pole ma kierunek zgodny z polem elektrycznym bazy i wzmacnia ruch wstrzykniętych z emitera nośników do kolektora. Stosunek liczby nośników wpływających do kolektora do liczby nośników wstrzykiwanych przez złącze emiter baza nazywa się współczynnikiem wzmocnienia prądowego w układzie wspólnej bazy i oznaczamy jako α .



Rys. 2.3. Rodzina charakterystyk statycznych tranzystora w układzie OE:
a) wejściowa $I_B = f(U_{BE})$, b) wyjściowe $I_C = f(U_{CE})$ dla $I_B = \text{const}$.

Na wykresie rodziny charakterystyk statycznych (Rys. 2.3b) występują trzy charakterystyczne dla tranzystora obszary pracy. Są to:

- obszar nasycenia I,
- obszar aktywny II,
- obszar odcięcia III.

Tranzystor znajduje się w *stanie nasycenia* wówczas, gdy przez jego złącze emiter-baza przepływa dostatecznie duży prąd (oba złącza tranzystora są spolaryzowane w kierunku przewodzenia). Przyjmujemy, że spadek napięcia na złączu kolektor emiter jest bliski zeru. Rezystancja wyjściowa tranzystora w nasyceniu jest bardzo mała (od ułamka oma do kilkuset omów).

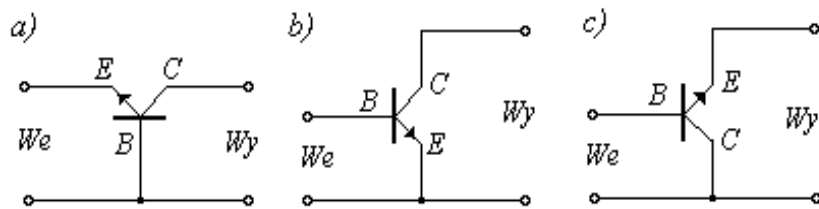
Tranzystor znajduje się w *stanie odcięcia*, gdy jego złącze emiter-baza nie jest spolaryzowane w kierunku przewodzenia przez zewnętrzne źródło prądu. Dopuszczalne napięcie U_{CE} jakie może być przyłożone do złącza kolektor-emiter, jest zależne od stanu w jakim znajduje się obwód bazy.

Stan obwodu bazy wpływa na wartość prądu zerowego, płynącego przez tranzystor w stanie odcięcia. Największy prąd zerowy płynie przez tranzystor z rozwartym obwodem bazy.

W stanie aktywnym złącze emiter-baza jest spolaryzowane w kierunku przewodzenia, a złącze kolektor-baza zaporowo. W obszarze aktywnym występują właściwości wzmacniające tranzystora. Prąd kolektora I_C niewiele zależy od napięcia U_{CE} w dużym zakresie jego zmian. Rezystancja wyjściowa ma dużą wartość (w tranzystorach małej mocy wynosi ona od $10\text{ k}\Omega \div 1\text{ M}\Omega$). Dopuszczalne wartości prądu kolektora I_C i napięcia kolektor-emiter U_{CE} ograniczają czynniki:

- dopuszczalna moc P_{Cmax} tracona w tranzystorze, wynikająca z dopuszczalnej temperatury złącza, temperatury otoczenia i rezystancji cieplnej między złączem a otoczeniem;
- dopuszczalne wartości prądu kolektora I_{Cmax} wynikające ze zmniejszania się współczynnika wzmocnienia w zakresie dużych prądów i małych napięć, oraz dopuszczalne napięcie kolektor-emiter U_{CEmax} wynikające ze zjawiska powielania lub przebiecia lawinowego w złączu kolektorowym (wynosi ono od kilku woltów do kilku kilowoltów).

Istnieją trzy podstawowe układy pracy tranzystora jako wzmacniacza: o wspólnej bazie (OB), o wspólnym emiterze (OE) i o wspólnym kolektorze (OC), które przedstawiono na Rys. 2.4.



Rys. 2.4. Układy pracy tranzystora a) o wspólnej bazie OB, b) o wspólnym emiterze OE, c) o wspólnym kolektorze OC.

Układ o wspólnej bazie (Rys. 2.4a). Prądem wejściowym (sterującym) jest prąd emitera a wyjściowym prąd kolektora.

$$I_C = \alpha I_E + I_{Co} \quad (2.1)$$

gdzie: I_{Co} - prąd zerowy kolektora,

$\alpha = \Delta I_C / \Delta I_E$ - współczynnik wzmocnienia prądowego, określa jaka część prądu emitera jest przeniesiona do obwodu kolektora.

Współczynnik α jest nieco mniejszy od jedności ($\alpha = 0,95 \div 0,999$). Dla układu wspólnej bazy tranzystora mimo braku wzmocnienia prądowego ($\alpha < 1$) można uzyskać duże wzmocnienie mocy, gdyż prąd z obwodu o małej rezystancji (złącze emiter-baza) jest prawie całkowicie przeniesiony do obwodu o dużej rezystancji (złącze kolektor-baza).

Układ o wspólnym emiterze (Rys. 2.4b). Prądem wejściowym (sterującym) jest prąd bazy, a wyjściowym prąd kolektora.

$$I_E = I_C + I_B \quad (2.2)$$

Uwzględniając (2.2) z zależności (2.1) otrzymamy:

$$I_C = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B + \frac{1}{1 - \alpha} I_{Co} \quad (2.3)$$

$$\text{lub} \quad I_C = \beta I_B + I_{Co} = h_{21E} I_B + I_{CE0} \quad (2.4)$$

gdzie: $\beta = h_{21E} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ - współczynnik wzmocnienia prądowego,

$$I_{CE0} = \frac{1}{1 - \alpha} I_{CB0} \quad \text{- prąd zerowy kolektora w układzie OE}$$

Współczynnik α jest bliski jedności, zatem $h_{21E} \gg 1$. Współczynnik ten wynosi od 20 do 1000. Ten układ pracy tranzystora posiada duże wzmocnienie prądowe, duże wzmocnienie mocy, stąd jest on najczęściej stosowany.

Układ o wspólnym kolektorze (Rys. 2.4 c). Prądem wejściowym jest prąd bazy, a wyjściowym prąd emitera.

$$I_E = (1 + h_{21E})I_B + I_{CE0} \quad (2.5)$$

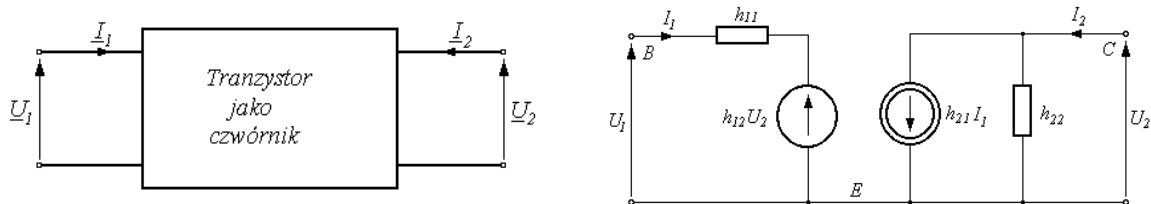
W układzie tym rezystancja wejściowa jest znacznie większa od rezystancji wyjściowej.

W tabeli 2.1 podano zestawienie najważniejszych parametrów układów OE, OB i OC dla tranzystorów małych mocy najczęściej używanych.

Tabela 2.1.

Parametry	Układ		
	OE	OB	OC
Rezystancja wejściowa	średnia $50 \div 5000 \Omega$	mała $30 \div 1500 \Omega$	duża $0,1 \div 2 M\Omega$
Rezystancja wyjściowa	duża $10 \div 500 k\Omega$	bardzo duża $0,5 \div 2 M\Omega$	Mała $50 \div 500 \Omega$
Wzmocnienie prądowe	duże $10 \div 1000$	mniejsze od 1	duże (takie jak dla układu OE)
Wzmocnienie napięciowe	duże (kilkaset)	duże (takie jak dla układu OE)	mniejsze od 1
Wzmocnienie mocy	bardzo duże (kilka tysięcy)	duże (kilkaset)	małe (kilkadziesiąt)
Częstotliwość graniczna	mała $10 kHz \div 500 MHz$	duża	mała (taka jak układu OE)
Faza napięcia wyjściowego w stosunku do napięcia wejściowego	odwrócona	zgodna	zgodna

W układach wzmacniających tranzystor pracujący w dowolnej konfiguracji można traktować jako czwórnik (Rys. 2.5) zasilany napięciem U_1 i prądem I_1 , mający na wyjściu napięcie U_2 i prąd I_2 zależne od przyłączonego obciążenia. Ze względów praktycznych najbardziej przydatne są dwa typy czwórników: czwórnik o parametrach mieszanych lub typu h dla niskich częstotliwości, oraz czwórnik o parametrach admitancyjnych typu y dla wysokich częstotliwości.



Rys. 2.5. Hybrydowy schemat zastępczy tranzystora

Równania opisujące czwórnik o parametrach typu h mają postać:

$$U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}U_2 \quad (2.6)$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2 \quad (2.7)$$

Parametry h określające parametry tranzystora są definiowane następująco:

$$h_{11E} = \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{U_2=0} \quad \text{- impedancja wejściowa przy zwartym wyjściu,}$$

$$h_{12E} = \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{I_1=0} \quad \text{- współczynnik napięciowego sprzężenia zwrotnego przy otwartym wejściu,}$$

$$h_{21E} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{U_2=0} \quad \text{- współczynnik wzmocnienia prądowego przy zwartym wyjściu,}$$

$$h_{22E} = \left. \frac{I_2}{U_2} \right|_{I_1=0} \quad - \text{admitancja wyjściowa przy otwartym wyjściu.}$$

Zwarte wyjście oznacza zwarcie dla składowej zmiennej a nie stałej.

Tego rodzaju układ parametrów jest szczególnie przydatny do analizowania czwórników o małej impedancji wejściowej, pobudzanych ze źródła prądowego o dużej impedancji wyjściowej, zwłaszcza w przypadku gdy czwórnik o dużej impedancji wyjściowej jest obciążony prądowo małą impedancją obciążenia.

Do parametrów statycznych tranzystora bipolarnego zaliczamy:

$U_{CB\max}$ -maksymalne dopuszczalne napięcie stałe kolektor-baza

$U_{EB\max}$ -maksymalne dopuszczalne napięcie stałe emiter-baza

$U_{CE\max}$ -maksymalne dopuszczalne napięcie stałe kolektor-emiter

$U_{CE\text{ sat}}$ -napięcie nasycenia tranzystora

I_{CB0} -zerowy prąd kolektora

I_{EB0} -zerowy prąd emitera

$I_{C\max}$ -maksymalny dopuszczalny prąd kolektora

$I_{B\max}$ -maksymalny dopuszczalny prąd bazy

P_{tot} -maksymalna moc tracona w strukturze tranzystora.

Podstawowe parametry wybranych tranzystorów bipolarnych mocy przedstawiono w tabeli 2.2.

Tabela 2.2.

Podstawowe parametry wybranych tranzystorów bipolarnych

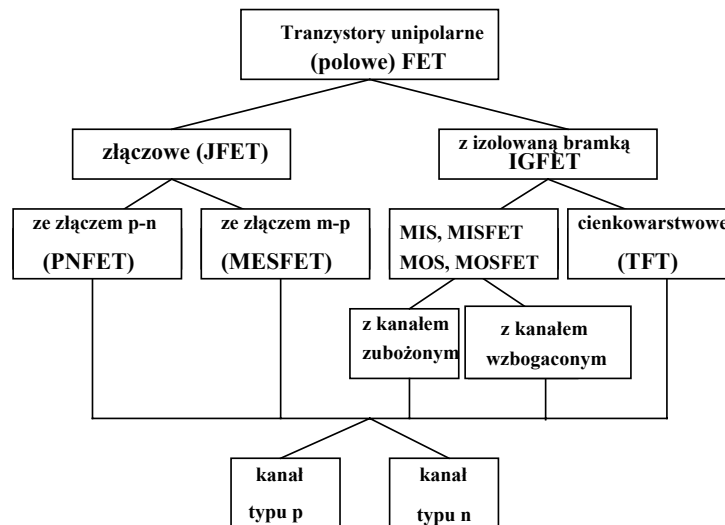
Parametr Typ	U_{CEO} [V]	$I_{C\max}$ [A]	$U_{CE\text{ sat}}$ [V] przy I_C/I_B [A/A]	h_{FE} przy I_C [A]	f_T [MHz]	$P_{\max}$ [W]	$R_{th\ j-c}$ [°C/W]	Obudowa	Producent
2N3055 n-p-n	60	15	1,1 4/0,4	20 ÷ 70 4	0,8	115 $T_{case} = 25^\circ\text{C}$		TO 3	Sescosem
BDP620 n-p-n	60	15	1,1	20 ÷ 70 4	0,8	117 $T_{case} = 25^\circ\text{C}$		CE20	UNITRA CEMI
BD354 n-p-n	60	3	0,75 2/0,2	30 ÷ 300	10	12,5 $T_{case} = 45^\circ\text{C}$		CE24	UNITRA CEMI
BD355 p-n-p	40	3	0,75 2/0,2	30 ÷ 300	10	12,5 $T_{case} = 45^\circ\text{C}$		CE24	UNITRA CEMI
KD501/2/3 n-p-n	40/60/80	20	0,75 10/1	40 5 1 15	2	150	0,860	TO 3	Tesla
BUS14A n-p-n	450	30	1,5 16/32	15 ÷ 60 10 ÷ 20	8 $t_{on} = 1\ \mu\text{s}$ $t_{off} = 4\ \mu\text{s}$	250 $T_{case} = 25^\circ\text{C}$	0,7	TO 3	Philips
BU326 n-p-n	375	6	3 4/125	30 0,6	6	90 $T_{case} = 25^\circ\text{C}$	1,65	TO 3	Motorola
BUX48A n-p-n	450	12	1,5	15	$t_{on} = 1\ \mu\text{s}$ $t_{off} = 3,6\ \mu\text{s}$	125 $T_{case} = 25^\circ\text{C}$	1,2	TO 3	Motorola
BU326 n-p-n	375	8	10 2,5/0,2	15 2,5	6	60 $T_{case} = 50^\circ\text{C}$		CE20	UNITRA CEMI
BU206 n-p-n	800	2,5	5 2/1	1,8 2	7,5	10 $T_{case} = 90^\circ\text{C}$	2,5	TO 3	Sescosem
SU160 n-p-n	700	5	5 4,5/2		3	12,5 $T_{case} = 95^\circ\text{C}$	2	TO 3	RFT

1.2. Tranzystory unipolarne

Tranzystory polowe mocy wytwarzane są od 1976 roku kiedy to firma Siliconix opracowała tranzystor o specyficznej geometrii złącza z charakterystycznym wyłobieniem w kształcie litery V. Został on nazwany tranzystorem V-MOS. Tranzystory polowe mają cenne właściwości, zwłaszcza w zakresie parametrów impulsowych. Sprawilo to, że są one coraz powszechniej stosowane.

Tranzystor unipolarny FET (field effect transistor) ma mechanizm przewodzenia oparty na jednym typie nośników: dziur lub elektronów. Tranzystory te dzielą się (Rys. 2.6):

- 1) złączowe (JFET - Junction Field Effect Transistor),
- 2) z izolowaną bramką (IGFET - Insulated Gate Field Effect Transistor), które dzielą się na:
 - tranzystory MIS (Metal Insulator Semikonduktor, czyli metal izolator półprzewodnik), MISFET, MOS (Metal Oxide Semicondauctor, czyli metal tlenek półprzewodnik), MOSFET,
 - tranzystory TFT (Thin Film Transistor, czyli tranzystor cienkowarstwowy).



Rys. 2.6. Podział tranzystorów polowych

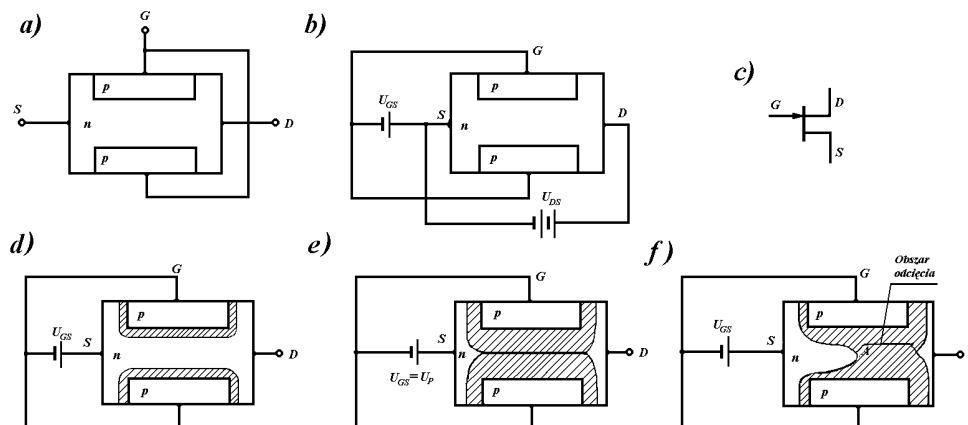
Na Rys. 2.7 przedstawiono model i zasadę działania tranzystora polowego. Tranzystor składa się z kryształu typu n, który ma z obu stron wdyfundowany obszar typu p tworzący elektrodę zwaną bramką. Jeżeli między bramkę **G (gate)** a źródło **S (source)** doprowadzimy napięcie U_{GS} w kierunku zaporowym, to zmniejsza się szerokość kanału (Rys. 2.9d) i jego rezystancja rośnie. Napięcie U_{GS} powodujące całkowite zamknięcie kanału nosi nazwę napięcia odcięcia U_p (rys. 2.9c). Jeżeli napięcie U_{GS} będzie równe zeru, a napięcie dren **D (drain)** źródło będzie miało kierunek jak na Rys. 2.9b, to pole elektryczne spowoduje przepływ prądu o wartości

$$I_D = \frac{U_{DS}}{R_{DS}}$$

gdzie R_{DS} jest rezystancją kanału.

Między źródłem a drenem istnieje wąski kanał przewodzący. Jeśli pomiędzy bramkę a źródło doprowadzić napięcie U_{GS} w kierunku zaporowym, to wówczas zmniejsza się szerokość kanału (Rys. 2.7) i rośnie rezystancja kanału. Przy pewnej wartości napięcia zwanej napięciem odcięcia U_p zostanie całkowicie zamknięty kanał (Rys. 2.7c).

Tranzystory polowe z izolowaną bramką są stosowane głównie w układach scalonych. Tranzystory unipolarne mają obwód wejściowy o właściwościach diody spolaryzowanej zaporowo. Wiąże się z tym bardzo duża rezystancja wejściowa oraz istnienie niewielkich pojemności.

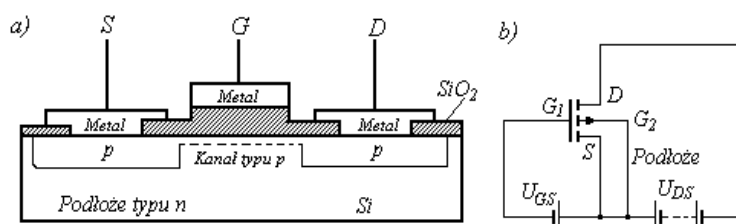


Rys. 2.7. Budowa i zasada działania tranzystora unipolarnego typu FET

Tabela 2.3.

Tranzystory unipolarne					
złączone		z izolowaną bramką			
		z kanałem zubożonym		z kanałem wzbogaconym	
z kanałem typu n	z kanałem typu p	z kanałem typu n	z kanałem typu p	z kanałem typu n	z kanałem typu p
Wzmocniacze zbudowane z elementów dyskretnych. Analogowe układy scalone.	Wzmocniacze zbudowane z elementów dyskretnych. Analogowe układy scalone.	Wzmocniacze w. cz. zbudowane z elementów dyskretnych. Cyfrowe układy scalone.	Wzmocniacze w. cz. zbudowane z elementów dyskretnych. Cyfrowe układy scalone.	Wzmocniacze mocy zbudowane z elementów dyskretnych. Cyfrowe układy scalone.	Wzmocniacze mocy zbudowane z elementów dyskretnych. Cyfrowe układy scalone.

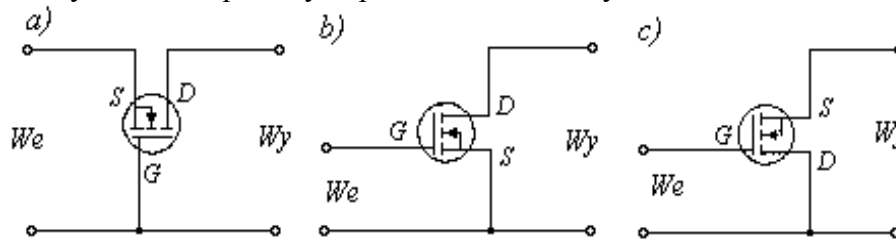
W tranzystorze z kanałem **n** prąd płynie od drenu do źródła, a w tranzystorze z kanałem typu **p** w kierunku przeciwnym. Na rys. 2.8 przedstawiona została budowa tranzystora unipolarnego z izolowaną bramką, typu MOS-FET.



Rys. 2.8. Tranzystor polowy z izolowaną bramką MOS-FET:

a) - budowa tranzystora, b) - polaryzacja elektrod

Układy pracy tranzystorów unipolarnych przedstawiono na rys. 2.9.



Rys. 2.9. Podstawowe układy pracy tranzystora polowego, a) - o wspólnej bramce OG, b) - o wspólnym źródle OS, c) - o wspólnym drenie OD

Tabela 2.4

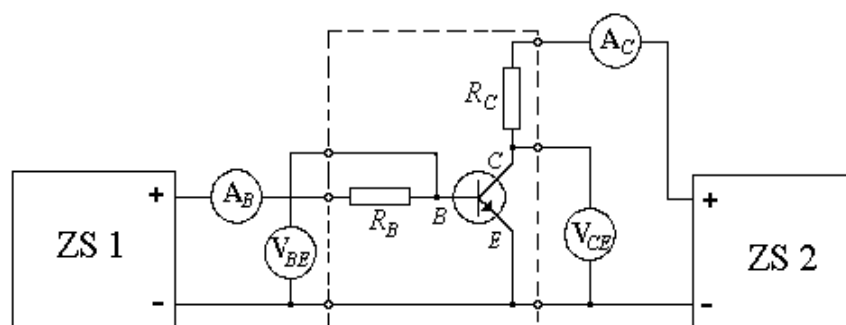
Podstawowe parametry wybranych typów tranzystorów unipolarnych

Parametr Typ	U_{DS} [V]	I_D [A]	I_{DM} [A]	R_{DS} [Ω]	P_{max} [W] $T_{case} = 25^\circ C$	t_{don} [ns]	t_r [ns]	t_{off} [ns]	t_f [ns]	$R_{th j-c}$ [°C/W]	Obudowa	Producent
RFK12N40	400	12	24	0,5	150 $T_{case} = 25^\circ C$	50	150	750	200	0,83	TO 204AE	RCA
RFK30N15	150	30	100	0,085	120 $T_{case} = 25^\circ C$	115	630	450	375	0,83	TO 204AE	RCA
RFK45N06	50	45	100	0,04	150 $T_{case} = 25^\circ C$	80	475	350	375	0,83	TO 204AE	RCA
BUZ10	50	12	24	0,1	45 $T_{case} = 25^\circ C$	20	60	120	60	2,8	TO 220	Philips ¹⁾ Siemens
BUZ20	100	8	16	0,2	45 $T_{case} = 25^\circ C$	20	60	120	60	2,8	TO 220	Philips ¹⁾ Siemens
BUZ33	200	6,4	12,8	0,75	62,5 $T_{case} = 25^\circ C$	20	60	120	60	1	TO 3	Philips ¹⁾ Siemens
BUZ44	500	5,6	11,2	1,1	78 $T_{case} = 25^\circ C$	30	70	160	100	1,6	TO 3	Philips ¹⁾ Siemens
BUZ54	1000	4,7	9,4	2	100 $T_{case} = 25^\circ C$	60	140	500	100	1	TO 3	Philips ¹⁾ Siemens

3. Program ćwiczenia.

3.1. Badanie tranzystora bipolarnego.

1. Zmontować układ pomiarowy przedstawiony na Rys. 2.10.



Rys. 2.10. Schemat układu pomiarowego do badania tranzystora bipolarnego.

2. Wyznaczyć rodzinę charakterystyk statycznych tranzystora bipolarnego $I_C = f(U_{CE})$ dla różnych wartości prądu bazy $I_B = \text{const.}$ Podczas pomiarów korygować wartość prądu bazy I_B i napięcia emiter-kolektor U_{CE} . Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 2.5.

Na papierze milimetrowym formatu 100x100 narysować rodzinę charakterystyk statycznych wyjściowych $I_C = f(U_{CE})$.

Tabela 2.5

Lp.	U_{CE}	$I_B = \dots \text{ mA}$	$I_B = \dots \text{ mA}$	$I_B = \dots \text{ mA}$
		I_C	I_C	I_C
	V	mA	mA	MA

3. Wyznaczyć charakterystykę przejściową tranzystora bipolarnego $I_C = f(I_B)$, dla stałej wartości napięcia $U_{CE} = 15 \text{ V}$. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 2.6. Obliczyć współczynnik wzmocnienia prądowego h_{21E} , oraz wykonać na papierze milimetrowym formatu 100x100 charakterystyki $I_C = f(I_B)$ i $h_{21E} = f(I_C)$.

Tabela 2.6

Lp	I_B	I_C	H_{21E}
	mA	mA	A/A
1			
10			

4. Wyznaczyć charakterystykę wejściową tranzystora $I_B = f(U_{BE})$. W układzie należy odłączyć mierniki i zasilacz w obwodzie kolektora a miliamperomierz prądu bazy zastąpić mikroamperomierzem. Wyniki zanotować w tabeli 2.7

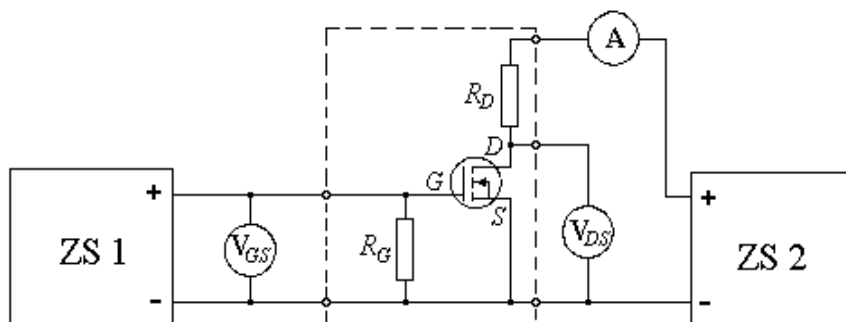
Tabela 2.7

Lp	I_B	U_{BE}
	MA	MV

Wykreślić na papierze milimetrowym (100x100) charakterystykę wejściową $I_B = f(U_{BE})$.

3.2. Badanie tranzystora unipolarnego

1. Zmontować układ pomiarowy przedstawiony na Rys. 2.11.



Rys. 2.11. Schemat układu do badania tranzystora unipolarnego

2. Wyznaczyć rodzinę charakterystyk statycznych tranzystora unipolarnego $I_D = f(U_{DS})$ dla stałej wartości napięcia bramki $U_{GS} = \text{const}$. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 2.8.

Na papierze milimetrowym (100x100) wykreślić rodzinę charakterystyk wyjściowych.

Tabela 2.8

Lp	U_{DS}	$U_{GS} = \quad V$	$U_{GS} = \quad V$	$U_{GS} = \quad V$
		I_D	I_D	I_D
	V	mA	mA	mA

3. Wyznaczyć charakterystykę przejściową tranzystora unipolarnego $I_D = f(U_{GS})$ dla stałej wartości napięcia $U_{DS} = 15 V$. Pomiary zanotować w tabeli 2.9. Na papierze milimetrowym (100x100) narysować charakterystykę $I_D = f(U_{GS})$.

Tabela 2.9

Lp	U_{GS}	I_D
	V	mA
1		
6		

Literatura:

1. Borkowski A. „Zasilanie urządzeń elektronicznych”. WKiŁ Warszawa 1990
2. Borczyński J, Dumin P, Milczewski A. „Podzespoły elektroniczne. Półprzewodniki. Poradnik”. WKiŁ Warszawa 1990.
3. Masewicz T. „Radiotechnika dla praktyków”. WKiŁ Warszawa 1987.