

Tranzystory			
Julita Wójcik Jakub Szczypek	25 V 2022	Środa, 08.00	5A

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z podstawowymi właściwościami i charakterystykami tranzystorów: bipolarnego i polowego

2. Przebieg ćwiczenia

2.1. Przygotowanie stanowiska do zajęć

Przygotowano kompletny zestaw pomiarowy, ustawiono zasilacze w trybie Independent, napięcie na pierwszym i drugim kanale oscyloskopu, a także ograniczenie prądowe na obu kanałach.

2.2. Tranzystor bipolarny npn

Zmontowano układ tranzystora bipolarnego npn - korzystano z płytki numer 8 oraz z tranzystora BC337-16. Założono następujące parametry $U_1 = 10\text{ V}$ $U_2 = 10\text{ V}$ $R_b = 100\text{ k}\Omega$ $R_c = 100\Omega$.

Dokonano pomiaru rezystancji i napięcia na rezystorach R_b i R_c . Zmierzono:

$$\begin{array}{ll} R_b - R_{31} = 98089\ \Omega & R_c - R_{20} = 99,9\ \Omega \\ U_{R_b} = 9,472\text{ V} & U_{R_c} = 1,794\text{ V} \end{array}$$

Korzystając z prawa Ohma obliczono wartości natężenia prądów I_c oraz I_b na rezystorze. Następnie wyznaczono wzmocnienie zgodnie z zależnością $\beta = \frac{I_c}{I_b}$. Obliczono:

$$I_b = 0,0000965\text{ A} \quad I_c = 0,0179\text{ A}$$

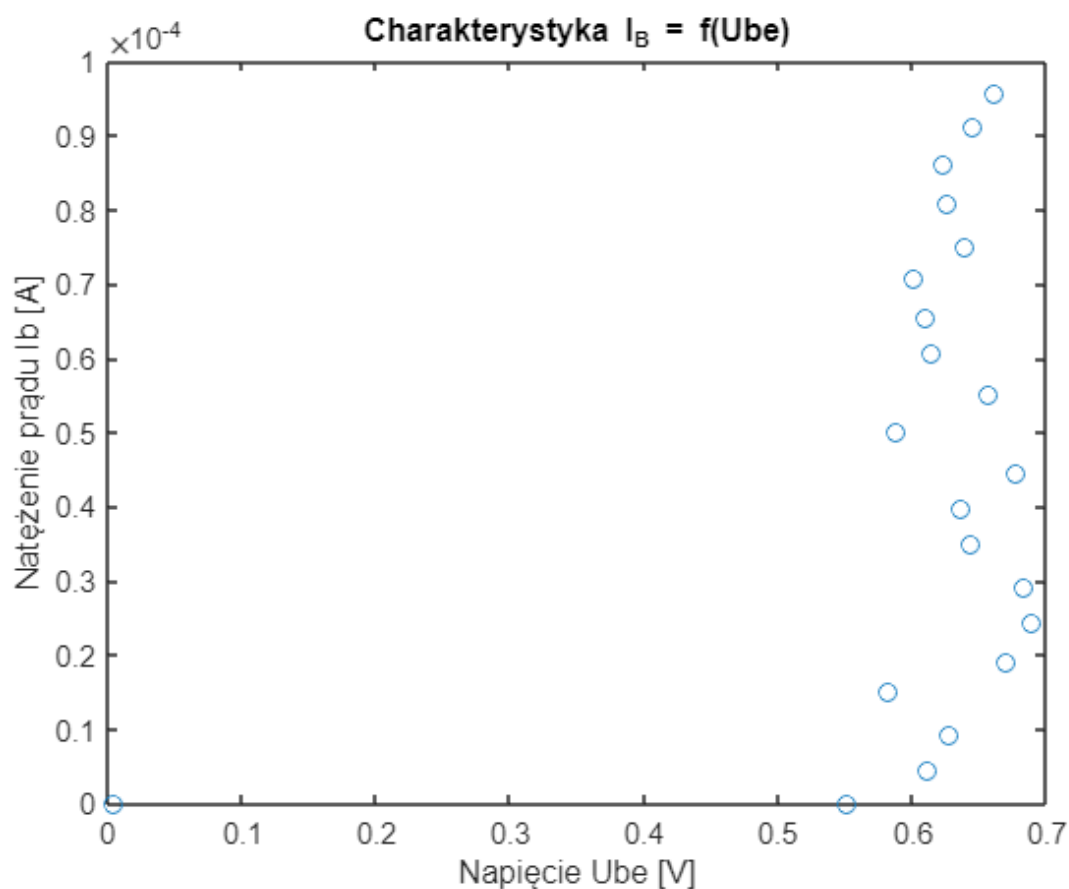
$$\text{Wzmocnienie } \beta = 185,49$$

Wzmocnienie tranzystora deklarowane przez producenta to 160, różni się ono od wartości którą obliczono. Niewielka rozbieżność wyników może być spowodowana niedokładnością pomiaru, która wynika z występowania oporów na kablach, których używano. Błędy mogą wynikać także z powodu niedokładności sprzętu pomiarowego, oraz z powodu czynnika ludzkiego (ewentualne błędy grube, choć te raczej nie wystąpiły). Korzystając z tego samego schematu, przy zmianie napięcia U_1 w zakresie 0V – 10V, z krokiem 0,5V dokonano pomiaru napięcia U_1 oraz U_{R_b} . Na podstawie pomiarów potrzebnych obliczeń uzyskano charakterystykę $I_B = f(U_{BE})$. Wyniki pomiarów i obliczeń przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1.

U_1 [V] - zadane	U_1 [V] - zmierzone	U_b [V] -zmierzone	I_B [A] - obliczone	U_{BE} [V] - obliczone
0	0,00466	0,000006	0	0,004654
0,5	0,557	0,00583	0,000000594	0,55117
1	1,063	0,452	0,00000461	0,611
1,5	1,524	0,896	0,00000913	0,628
2	2,063	1,48	0,0000151	0,583
2,5	2,545	1,874	0,0000191	0,671
3	3,069	2,38	0,0000243	0,689
3,5	3,535	2,852	0,0000291	0,683
4	4,068	3,424	0,0000349	0,644
4,5	4,524	3,888	0,0000396	0,636
5	5,036	4,358	0,0000444	0,678
5,5	5,5	4,911	0,0000501	0,589
6	6,055	5,398	0,0000550	0,657
6,5	6,555	5,941	0,0000606	0,614
7	7,034	6,424	0,0000655	0,61
7,5	7,532	6,93	0,0000707	0,602
8	7,998	7,359	0,0000750	0,639
8,5	8,564	7,937	0,0000809	0,627
9	9,08	8,456	0,0000862	0,624
9,5	9,58	8,934	0,0000911	0,646
10	10,037	9,375	0,0000956	0,662

Charakterystykę $I_B = f(U_{BE})$ przedstawiono na Wykresie 1.



Wykres 1. Charakterystyka $I_B = f(U_{BE})$.

Charakterystyka spełnia założenia teoretyczne – ma postać typowej dla tego złącza funkcji eksponencjalnej oraz możliwe jest zaobserwowanie nieprzekraczanie wartości 0,7V. Przyłożenie do złącza BE napięcia bezpośrednio (bez rezystora ograniczającego prąd), może łatwo zakończyć się jego spalaniem, szczególnie dla napięć równych ok. 0,7 V i wyższych dla tranzystora krzemowego, oraz dla napięć powyżej 0,5V w przypadku tranzystora zbudowanego z półprzewodnika germanowego

Przy zmianie napięcia U_2 w zakresie $0V - 10V$ z krokiem $0.2V$ dla zmian $0V - 2V$ oraz krokiem $0.5V$ dla zmian $2V - 10V$ dokonano pomiaru napięcia U_2 oraz napięcia na oporniku $R_c - U_{R_c}$. Na podstawie pomiarów i obliczeń wyznaczono rodzinę charakterystyk $I_c = f(U_{CE})$ dla wartości napięć $U_1 = 3V, 6V, 9V$.

Wartości zmierzone i obliczone konieczne do narysowania charakterystyki dla trzech wartości napięcia U_1 przedstawiono w Tabelach 2., 3., 4.

Tabela 2. Wartości zmierzone i obliczone dla $U_1 = 3V$

U_2 [V]- zadane	U_2 - zmierzone [V]	R_c [V] - zmierzone	I_c [A] - obliczone	U_{CE} [V] - obliczone
0	0,00191	0,0067	0,0000671	-0,00479
0,2	0,208	0,1284	0,00129	0,0796
0,4	0,458	0,312	0,00312	0,146

0,6	0,649	0,358	0,00358	0,291
0,8	0,93	0,36	0,00360	0,57
1	1,022	0,36	0,00360	0,662
1,2	1,242	0,366	0,00366	0,876
1,4	1,422	0,37	0,00370	1,052
1,6	1,647	0,366	0,00366	1,281
1,8	1,793	0,365	0,00365	1,428
2	2,064	0,365	0,00365	1,699
2,5	2,544	0,366	0,00366	2,178
3	3,077	0,367	0,00367	2,71
3,5	3,506	0,368	0,00368	3,138
4	4,019	0,369	0,00369	3,65
4,5	4,502	0,371	0,00371	4,131
5	5,076	0,372	0,00372	4,704
5,5	5,492	0,374	0,00374	5,118
6	6,062	0,376	0,00376	5,686
6,5	6,552	0,377	0,00377	6,175
7	7,044	0,378	0,00378	6,666
7,5	7,503	0,379	0,00379	7,124
8	8,035	0,38	0,00380	7,655
8,5	8,515	0,382	0,00382	8,133
9	9,019	0,383	0,00383	8,636
9,5	9,564	0,384	0,00384	9,18
10	10,084	0,385	0,00385	9,699

Tabela 2. Wartości zmierzone i obliczone dla $U_1 = 6V$

U_2 [V]- zadane	U_2 - zmierzone [V]	R_c [V] - zmierzone	I_c [A] - obliczone	U_{CE} [V] - obliczone
0	0,00218	0,0002	0,000002	0,00198
0,2	0,25	0,2	0,002002	0,05
0,4	0,475	0,379	0,00379	0,096
0,6	0,619	0,575	0,00576	0,044
0,8	0,841	0,72	0,00721	0,121
1	1,03	0,82	0,00821	0,21
1,2	1,175	0,836	0,00837	0,339

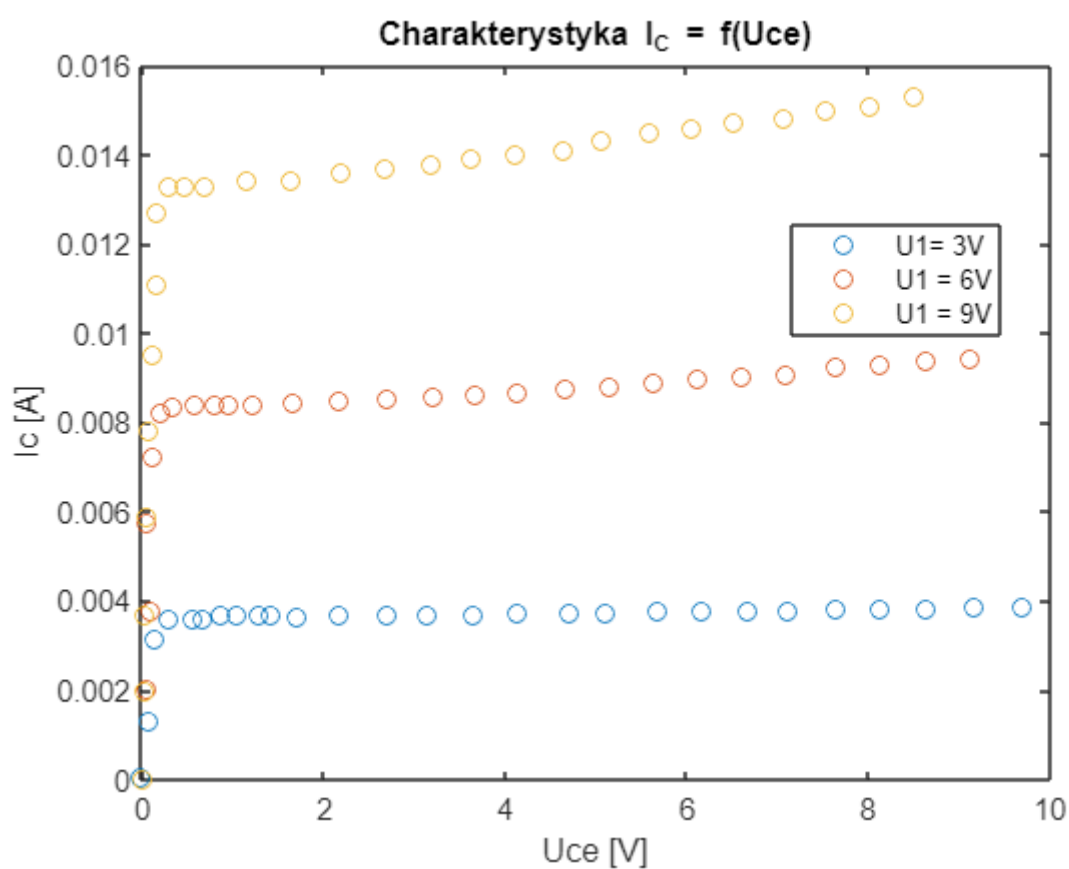
1,4	1,427	0,837	0,00838	0,59
1,6	1,633	0,838	0,00839	0,795
1,8	1,807	0,839	0,00840	0,968
2	2,074	0,84	0,00841	1,234
2,5	2,516	0,844	0,00845	1,672
3	3,026	0,848	0,00849	2,178
3,5	3,561	0,851	0,00852	2,71
4	4,07	0,855	0,00856	3,215
4,5	4,54	0,86	0,00861	3,68
5	5,01	0,866	0,00867	4,144
5,5	5,55	0,874	0,00875	4,676
6	6,04	0,879	0,00880	5,161
6,5	6,52	0,888	0,00889	5,632
7	7,02	0,895	0,00896	6,125
7,5	7,512	0,9	0,00901	6,612
8	8,01	0,907	0,00908	7,103
8,5	8,57	0,924	0,00925	7,646
9	9,06	0,929	0,00930	8,131
9,5	9,57	0,939	0,00940	8,631
10	10,07	0,943	0,00944	9,127

Tabela 2. Wartości zmierzone i obliczone dla $U_1 = 9V$

U_2 [V]- zadane	U_2 - zmierzone [V]	R_c [V] - zmierzone	I_c [A] - obliczone	U_{CE} [V] - obliczone
0	0,0024	0,0002	0,000002	0,0022
0,2	0,236	0,197	0,0020	0,039
0,4	0,401	0,374	0,0037	0,027
0,6	0,64	0,588	0,0059	0,052
0,8	0,85	0,778	0,0078	0,072
1	1,073	0,951	0,0095	0,122
1,2	1,26	1,104	0,0111	0,156
1,4	1,44	1,268	0,0127	0,172
1,6	1,62	1,324	0,0133	0,296
1,8	1,79	1,326	0,0133	0,464
2	2,01	1,327	0,0133	0,683
2,5	2,5	1,335	0,0134	1,165

3	2,986	1,342	0,0134	1,644
3,5	3,561	1,357	0,0136	2,204
4	4,041	1,368	0,0137	2,673
4,5	4,57	1,378	0,0138	3,192
5	5,01	1,386	0,0139	3,624
5,5	5,52	1,397	0,0140	4,123
6	6,05	1,41	0,0141	4,64
6,5	6,5	1,427	0,0143	5,073
7	7,04	1,445	0,0145	5,595
7,5	7,51	1,455	0,0146	6,055
8	8	1,469	0,0147	6,531
8,5	8,56	1,48	0,0148	7,08
9	9,03	1,495	0,0150	7,535
9,5	9,53	1,507	0,0151	8,023
10	10,03	1,529	0,0153	8,501

Rodzinę charakterystyk $I_C = f(U_{CE})$ przedstawiono na Wykresie 2.



Wykres 2. Charakterystyka $I_C = f(U_{CE})$.

Charakterystyka spełnia założenia teoretyczne. W idealnym przypadku, wraz ze wzrostem napięcia U_{CE} , prąd kolektora I_C powinien utrzymać stałą wartość, wynikającą z iloczynu prądu bazy i wzmacnienia prądowego β $I_C = \beta \cdot I_B$, ponieważ zwiększając napięcie U_{CE} nie zmieniamy wartości prądu bazy, a parametr beta jest stałą, parametrem wbudowanym. Podstawowym odstępstwem od modelu idealnego jest prąd kolektora, który osiąga wartość $I_C = \beta \cdot I_B$ dopiero od pewnej wartości napięcia U_{CE} - wartość tego napięcia określa się pojęciem napięcia nasycenia.

2.2. Tranzystor polowy J-FET z kanałem typu n

Zmontowano układ tranzystora polowego J-FET z kanałem typu n – użyto tranzystora nr BF256B.

Założono następujące wartości rezystorów $R_G = 1\text{ k}\Omega$ $R_D = 100\Omega$ oraz napięcie $U_2 = 10V$

Dokonano pomiaru rezystancji na rezystorach R_G i R_C . Zmierzono:

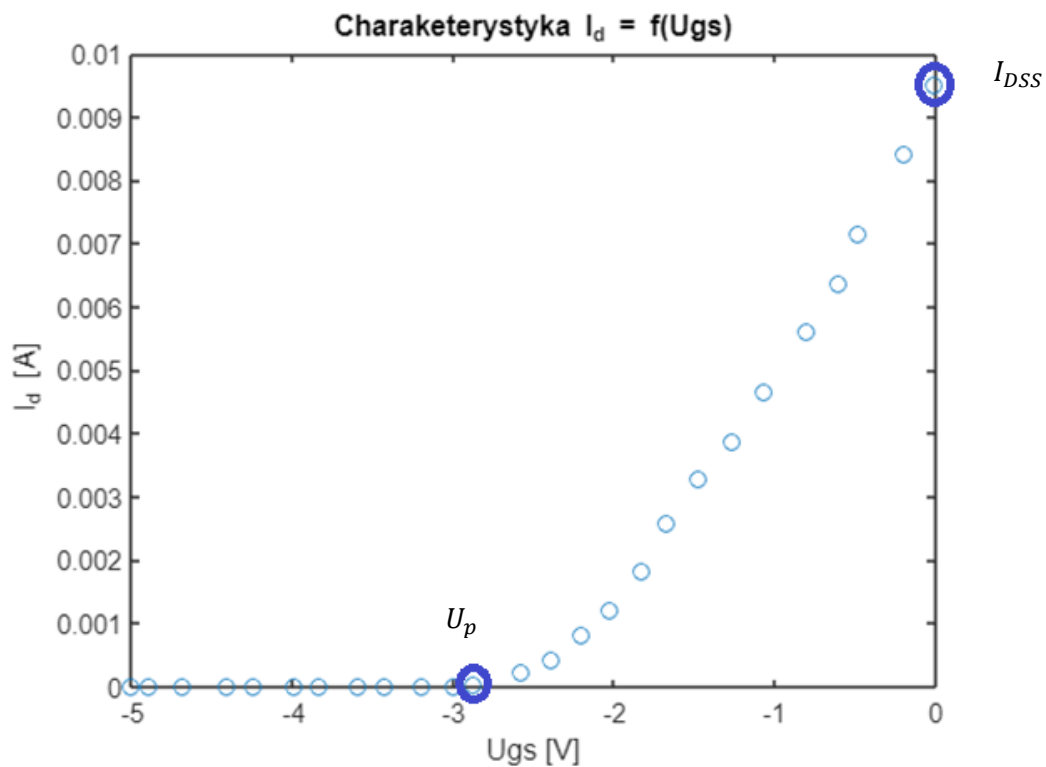
$$R_G - R_1 = 0,985\text{ k}\Omega \quad R_D - R_{20} = 99,9\text{ }\Omega$$

Przy zmianie wartości napięcia U_1 w zakresie $0 - 5\text{ V}$ z krokiem $0,2V$ dokonano pomiaru napięcia na rezystorze R_D oraz napięcia U_{gs} . Na podstawie pomiarów i obliczeń wyznaczono charakterystykę $I_d = f(U_{gs})$. Wartości zmierzone i obliczone konieczne do narysowania charakterystyki przedstawiono w Tabeli 5.

U1 [V]	Ud [V]	Ugs [V]	I drenu [A]
0	0,949	-0,0032	0,009499499499
0,2	0,84	-0,19	0,008408408408
0,4	0,716	-0,48	0,007167167167
0,6	0,637	-0,607	0,006376376376
0,8	0,56	-0,797	0,005605605606
1	0,464	-1,067	0,004644644645
1,2	0,388	-1,262	0,003883883884
1,4	0,329	-1,47	0,003293293293
1,6	0,257	-1,67	0,002572572573
1,8	0,182	-1,823	0,001821821822
2	0,121	-2,03	0,001211211211
2,2	0,081	-2,207	0,0008108108108
2,4	0,042	-2,39	0,0004204204204
2,6	0,023	-2,58	0,0002302302302
2,8	0,0021	-2,87	0,00002102102102
3	0,000148	-3	0,000001481481481
3,2	0	-3,19	0
3,4	0	-3,43	0
3,6	0	-3,59	0
3,8	0	-3,835	0
4	0	-3,99	0

4,2	0	-4,24	0
4,4	0	-4,41	0
4,6	0	-4,68	0
4,8	0	-4,89	0
5	0	-5	0

Charakterystykę $I_d = f(U_{gs})$ przedstawiono na Wykresie 3.



Wykres 3. Charakterystyka $I_d = f(U_{gs})$

Charakterystykę przejściową $I_d = f(U_{GS})$ opisuje zależność:

$$I_D = \begin{cases} I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_p} \right)^2 & ; \quad U_p \leq U_{GS} \leq 0 \\ 0 & ; U_{GS} < U_p \end{cases}$$

Zależność ta dla zakresu $[U_p, 0]$ jest funkcją kwadratową, co ma odzwierciedlenie dla otrzymanej postaci graficznej.

2.3. Tranzystor bipolarny npn pracujący jako klucz (obliczenia)

W celu zestawienia układu, w którym za pomocą tranzystora npn można kluczować element wykonawczy – diodę, dobrano rezystory R_c i R_b , zgodnie z założeniami z instrukcji. Wybrano diodę zieloną o napięciu przewodzenia $U_d = 2V$

Obliczono:

$$R_c = \frac{U_{zas} - U_{CE} - U_D}{I_c} = \frac{10V - 0.2V - 2V}{0.01A} = 780 \Omega$$

$$I_{B1} = \frac{I_c}{\beta} = \frac{0.01A}{185.49} = 54\mu A$$

$$I_{B2} = 2 \cdot \frac{I_c}{\beta} = 2 \cdot \frac{0.01A}{185.49} = 108\mu A$$

$$I_{B3} = 4 \cdot \frac{I_c}{\beta} = 4 \cdot \frac{0.01A}{185.49} = 216\mu A$$

$$U_{RB} = U_{wej} - U_{BE} = 5V - 0.7V = 4.3V$$

$$R_{B1} = \frac{U_{RB}}{I_{B1}} = \frac{4.3V}{54\mu A} = 79.6 k\Omega$$

$$R_{B2} = \frac{U_{RB}}{I_{B2}} = \frac{4.3V}{108\mu A} = 39.8 k\Omega$$

$$R_{B3} = \frac{U_{RB}}{I_{B3}} = \frac{4.3V}{216\mu A} = 19.9 k\Omega$$

2.4. Tranzystor bipolarny npn pracujący jako klucz (pomiar)

Wykorzystując układ z poprzedniego punktu przeprowadzono pomiary dla każdej z trzech wartości opornika R_b . W każdym pomiarze za pomocą kursorów oscyloskopu odczytywano czas otwierania T_{otw} i czas zamykania T_{zam} tranzystora oraz mierzono za pomocą multimetru napięcia U_{RB} , U_{BE} , U_{CE} i U_{RC} . Na podstawie pomiarów obliczono prąd bazy I_b , prąd kolektora I_c oraz moc wydzielaną na tranzystorze P . Przyjęto wartości oporników :

$$R_c = 677 \Omega$$

$$R_{B1} = 81.3 k\Omega$$

$$R_{B2} = 40.4 k\Omega$$

$$R_{B3} = 20.7 k\Omega$$

$R_{B1}[k\Omega]$	$T_{otw}[\mu s]$	$T_{zam}[\mu s]$	$U_{RB} [V]$	$U_{BE} [V]$	$U_{CE} [V]$	$U_{RC} [V]$	$P [mV]$	$I_c [mA]$	$I_B [\mu A]$
81.3	220	10.2	4.21	0.712	1.12	6.12	10.13	9.04	52.78

$R_{B2} [k\Omega]$	$T_{otw} [\mu s]$	$T_{zam}[\mu s]$	$U_{RB} [V]$	$U_{BE} [V]$	$U_{CE}[V]$	$U_{RC} [V]$	$P [mV]$	$I_c [mA]$	$I_B [\mu A]$
40.4	179	5.43	4.43	0.743	1.11	6.95	11.39	10.26	109.65

$R_{B3}[k\Omega]$	$T_{otw} [\mu s]$	$T_{zam} [\mu s]$	$U_{RB} [V]$	$U_{BE} [V]$	$U_{CE}[V]$	$U_{RC} [V]$	$P [mV]$	$I_c [mA]$	$I_B [\mu A]$
20.7 Ω	215	2.23	2.49	0.747	1.01	7.02	10.47	10.37	216.90

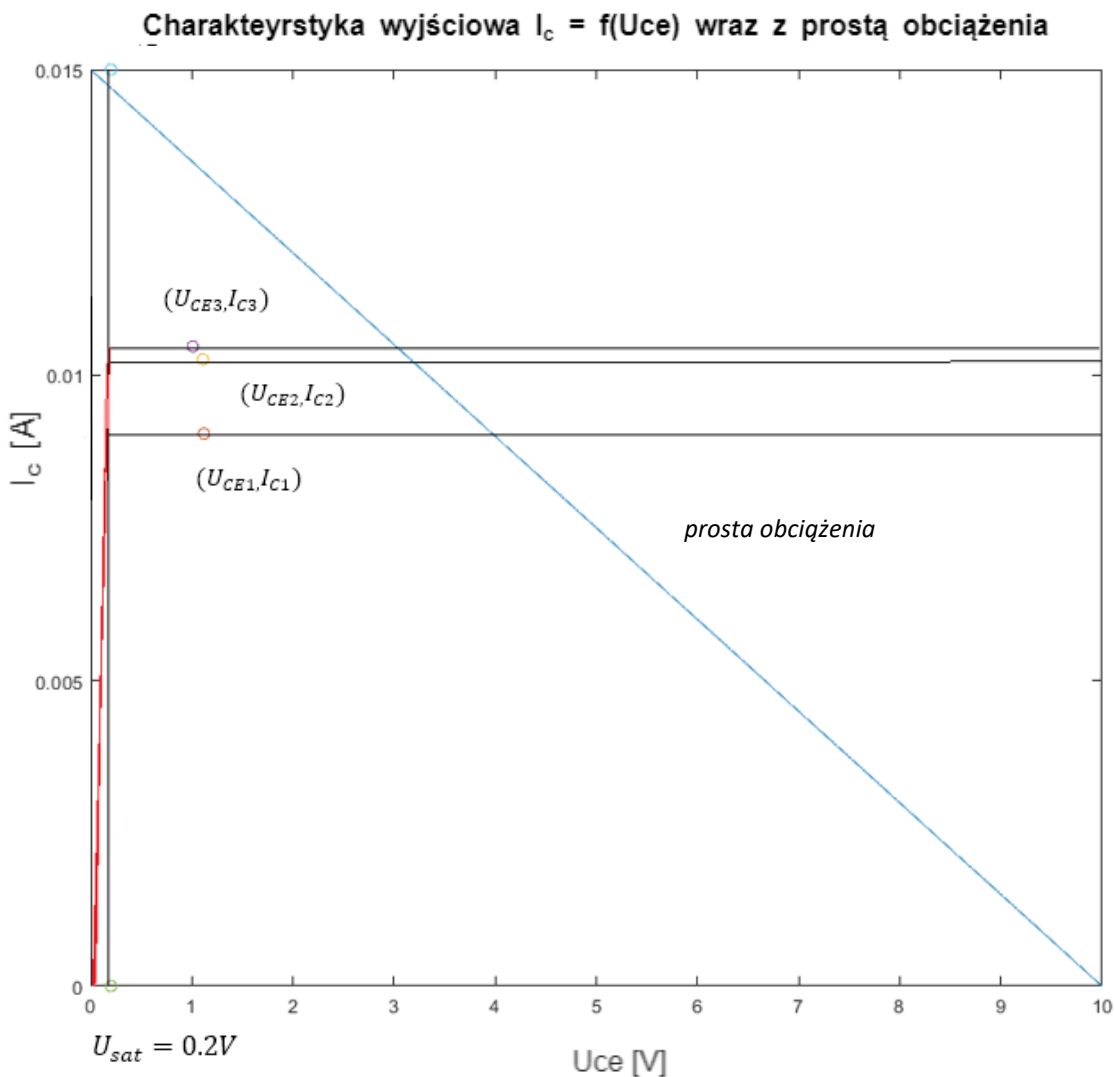
Na podstawie powyższej tabeli stwierdzono, że najszybciej otwiera się tranzystor w stanie nasycenia, a najwolniej działający w liniowej części charakterystyki. Najkrótszym czasem zamykania charakteryzuje się tranzystor w stanie głębszego nasycenia, a najdłuższym tranzystor działający w liniowej części charakterystyki. Uzyskane wartości mocy są małe – zgodnie z notą katalogową dla tranzystora BC337-16 maksymalna dopuszczalna moc tranzystora to 625 mW. W praktyce dla klucza tranzystorowego najlepsze będzie działanie w liniowej części charakterystyki, ponieważ generuje on wtedy najmniejszą moc, co powiązane jest z mniejszymi stratami energii i mniejszym prawdopodobieństwem przegrzania się. Obliczone na podstawie pomiarów wartości pomiarów I_B są zbliżone do teoretycznych co świadczy o poprawności przeprowadzenia pomiarów.

Wyliczono prostą obciążenia zgodnie ze wzorami:

$$U_{CE} = 0V \rightarrow I_c = \frac{V_{zas}}{R_c} = \frac{10V}{677\Omega} = 0.015V$$

$$I_c = 0 \rightarrow U_{CE} = V_{zas} = 10V$$

Prosta jest dana równaniem : $y = 0.0015x + 0.015$



Niestety, wyznaczone punkty nie pokrywają się z prostą obciążenia – błędy mogą wynikać z niedokładności pomiarów bądź problemami w działaniu przyrządów pomiarowych.

3. Wnioski

W trakcie wykonywania laboratorium zapoznano się z budową, zasadami działania, właściwościami i charakterystykami różnych typów tranzystorów. Poznano jak szerokie zastosowanie w elektronice może mieć tranzystor, może być stosowany jako wzmacniacz, przełącznik klucz lub włącznik. Wyniki, które otrzymano w większości zgadzają się z założeniami teoretycznymi, opis wyników jest znajduje się pod każdą uzyskaną charakterystyką.