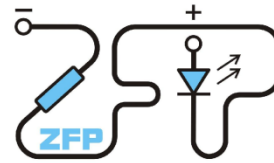


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum **PII**



Úloha č. 3

Název úlohy: **Transistor**

Jméno: **Josef Iosephus Kučera**

Obor: **FOF**

Datum měření: **23. 10. 2019**

Datum odevzdání: **viz. internet ?**

Připomínky opravujícího:

- Ve vstupní charakteristice chybí změřené hodnoty od 0 do 650 mV.
- nesmyslná značka pro chybu měření
- Tabulka č. 1, příliš velká chyba měření proudu
- Graf č.4, chybné jednotky
- Ve všech grafech jsou příliš velké chybové úsečky
- Příliš velká chyba odporové dekády
- v teoretické části chybí vztahy pro výpočet chyb
- chybí vykreslení hodnot z druhé části prvního úkolu
- zaokrouhlování
- Diskuze 0b. Chybí vše.

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 3	2
Teoretická část	0 - 2	1,5
Výsledky a zpracování měření	0 - 9	4
Diskuse výsledků	0 - 4	0
Závěr	0 - 1	0,5
Seznam použité literatury	0 - 1	1
Celkem	max. 20	7 bodů bez práce při měření

Posuzoval: **Jan Kunc**

dne: **25.11.2019**

Pracovní úkol

1. Proměřte vstupní charakteristiku křemíkového tranzistoru BD 139 (N P N) v zapojení se společným emitorem pro nulový proud kolektorem ($R_2 = \infty$) a odpor $R_2 = 1000 \Omega$.
2. Proměřte výstupní charakteristiku tranzistoru BD 139 pro proudy báží - $I_B = 0,1 \text{ mA}$, $0,2 \text{ mA}$ a $0,3 \text{ mA}$.
3. Změřte závislost kolektorového proudu I_{CE} na proudu báží I_{BE} pro kolektorové napětí $U_{CE} = 2\text{V}$, 6V a 10V .
4. Pomocí lineární regrese určete činitel proudového zesílení β v zapojení se společným emitorem

Poznámka: Z důvodu zbrklosti a nesoustředěnosti laboranta Josefa Kučery bohužel nebylo v 1. úkolu změřeno zapojení $R_2 = \infty$. Doporučuji, aby mu to bylo strhnuto z platu.

Theorie

Transistor jest podobně jako dioda tvořen polovodiči opačného typu vodivosti, jmenovitě N – negativný typ s převahou volných elektronů a P – s převahou virtuálních kladných částic, elektronových děr.

Na rozdíl od diody se pak transistor skládá ze tří částí. Podle složení polovodičových vrstev rozlišujeme transistory PNP a NPN.

Vlastnosti tranzistoru jsou nejlépe popsány jeho charakteristikami. Uvažujeme-li zapojení tranzistoru se společným emitorem, bude vstupní charakteristika dána závislostí [1-2]:

$$I_{BE} = f(U_{BE}) \quad (1)$$

kde U_{BE} jest vstupní napětí na tranzistoru, I_{BE} jest vstupní proud na tranzistoru a f frekvence střídavého napětí, které na něj přivádíme.

Výstupní charakteristika jest pak dána vztahem [1-2]:

$$I_{CE} = f'(U_{CE}) \quad (2)$$

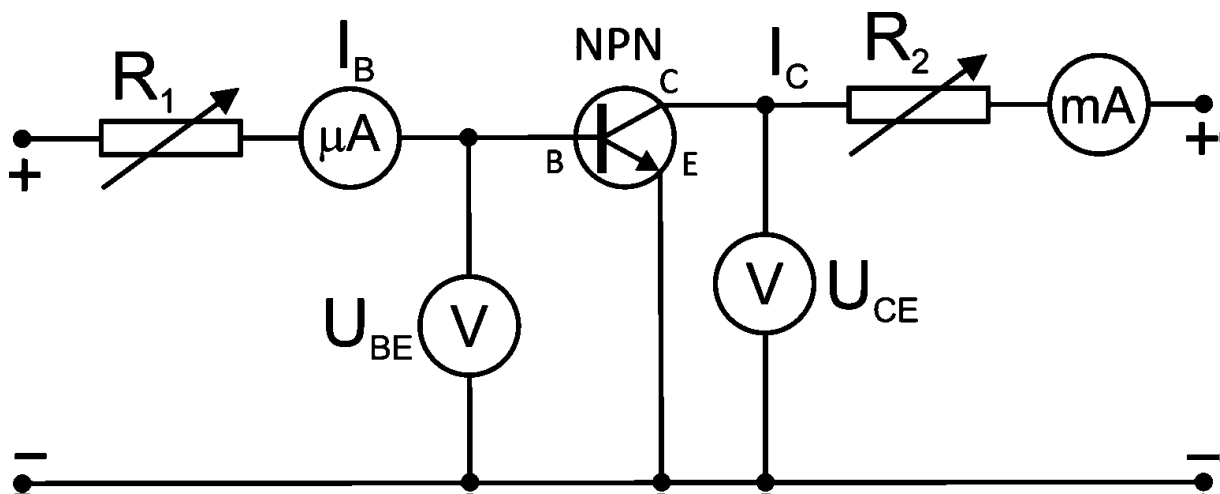
kde U_{CE} jest vstupní napětí na tranzistoru, I_{CE} jest vstupní proud na tranzistoru a f' derivace frekvence střídavého napětí, které na něj přivádíme.

A konečně, zesílení proudu v kolektorovém obvodu je charakterizováno činitelem proudového zesílení β vztahem [1-2]:

$$\beta = \left(\frac{\Delta I_{CE}}{\Delta I_{BE}} \right)_{U_{CE} = konst} \quad (3)$$

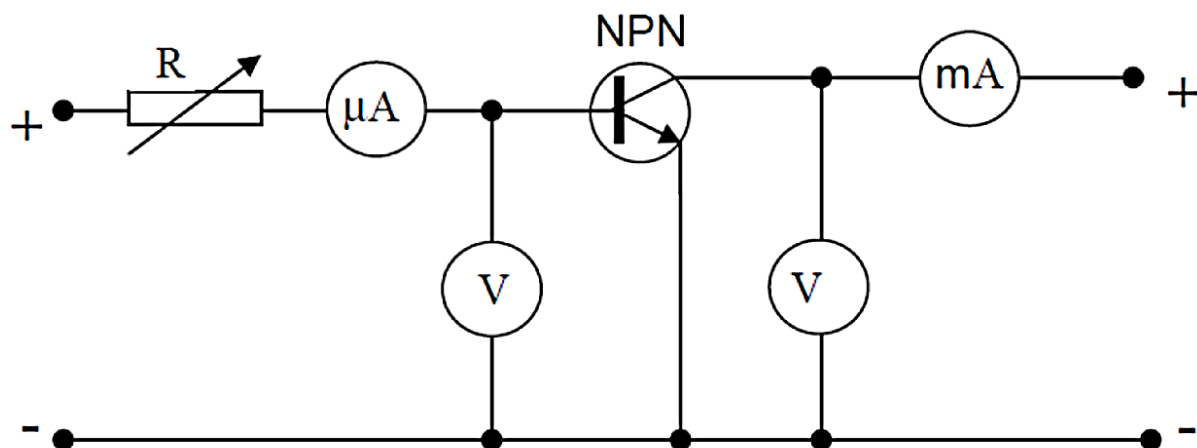
Činitel proudového zesílení β jsme z hodnot vstupních a výstupních proudů I_{BE} a I_{CE} třetího měření určili pomocí metody lineární regrese tak, že jsme graf jejich závislostí aproximovali pomocí funkce spojnice trendu.

První dvě měření jsme prováděli na obvodu se schématem z Obrázku 1.



Obrázek 1: Zapojení transistoru, schéma 1

Třetí měření bylo provedeno na obvodu se schématem z Obrázku 2.



Obrázek 2: Zapojení transistoru, schéma 2

Výsledky měření

1. Vstupní charakteristika transistoru

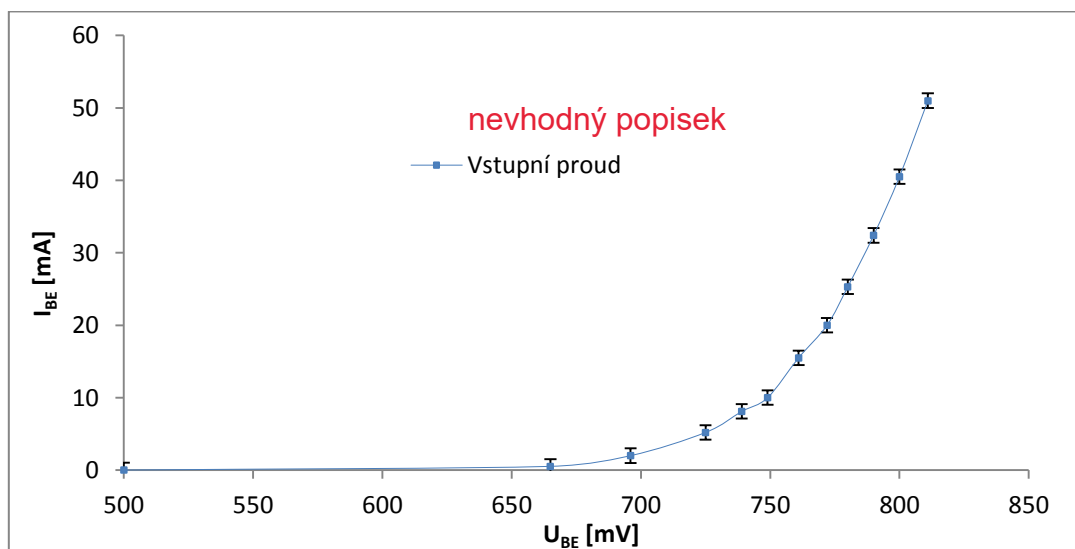
Při měření vstupní charakteristiky transistoru jsme v obvodu z obrázku 1 za použití resistoru s odporem $R = (1000 \pm 10)\Omega$ měnili hodnoty vstupního napětí U_{BE} . Měřili jsme pak hodnoty vstupního proudu I_{BE} . Naměřené hodnoty jsou zapsány v Tabulce 1.

Tabulka 1:

Hodnoty vstupního napětí U_{BE} a vstupního proudu I_{BE}

U_{BE} [mV]	ϵU_{BE} [mV]	I_{BE} [mA]	ϵI_{BE} [mA]
811	± 1	51,00	$\pm 1,00$
800	± 1	40,50	$\pm 1,00$
790	± 1	32,40	$\pm 1,00$
780	± 1	25,30	$\pm 1,00$
772	± 1	20,00	$\pm 1,00$
761	± 1	15,50	$\pm 1,00$
749	± 1	10,00	$\pm 1,00$
739	± 1	8,10	$\pm 1,00$
725	± 1	5,20	$\pm 1,00$
696	± 1	2,00	$\pm 1,00$
665	± 1	0,50	$\pm 1,00$
500	± 1	0,01	$\pm 1,00$

Hodnoty z Tabulky 1 jsme následně vynesli do Grafu 1.



Graf 1: Vstupní charakteristika transistoru

2. Výstupní charakteristika transistoru

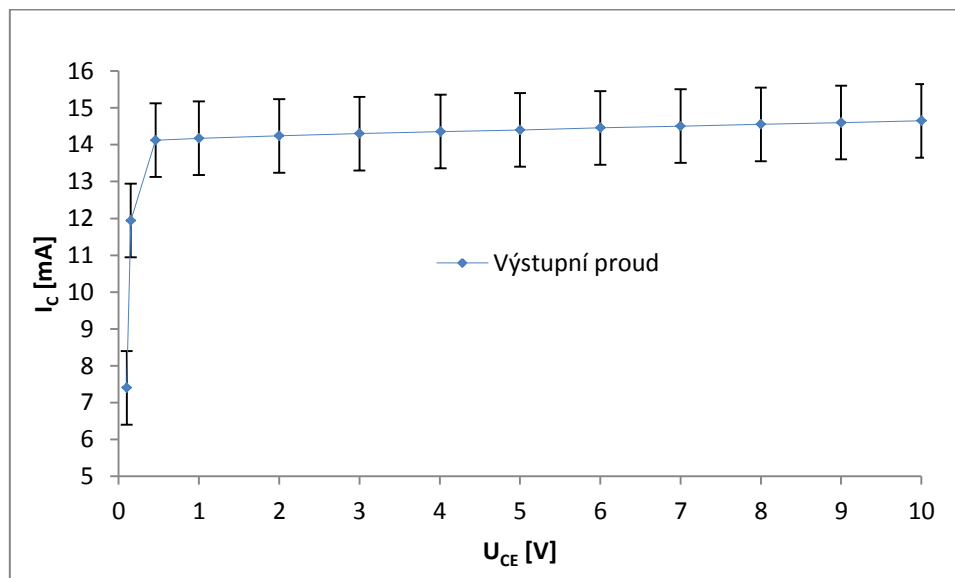
Při měření vstupní charakteristiky transistoru jsme v obvodu z Obrázku 1 použili rezistorovou dekádu s odporem $R = (20\,000 \pm 200)\Omega$. Následně jsme měřili závislost výstupního proudu I_C na výstupním napětí U_{CE} při třech různých hodnotách vstupního proudu I_{BE} .

Naměřená data pro $I_{BE} = (0,1 \pm 0,1)$ mA jsou sepsána v Tabulce 2.

Tabulka 2:
Hodnoty výstupního napětí U_{CE} a výstupního proudu I_C
pro vstupní proud $I_{BE} = 0,1$ mA

U_{CE} [V]	ϵU_{CE} [V]	I_C [mA]	ϵI_C [mA]
0,1	$\pm 0,1$	7,4	$\pm 1,0$
0,2	$\pm 0,1$	11,9	$\pm 1,0$
0,5	$\pm 0,1$	14,1	$\pm 1,0$
1,0	$\pm 0,1$	14,2	$\pm 1,0$
2,0	$\pm 0,1$	14,2	$\pm 1,0$
3,0	$\pm 0,1$	14,3	$\pm 1,0$
4,0	$\pm 0,1$	14,4	$\pm 1,0$
5,0	$\pm 0,1$	14,4	$\pm 1,0$
6,0	$\pm 0,1$	14,5	$\pm 1,0$
7,0	$\pm 0,1$	14,5	$\pm 1,0$
8,0	$\pm 0,1$	14,6	$\pm 1,0$
9,0	$\pm 0,1$	14,6	$\pm 1,0$
10,0	$\pm 0,1$	14,6	$\pm 1,0$

Data z Tabulky 2 jsou vynesena v Grafu 2:



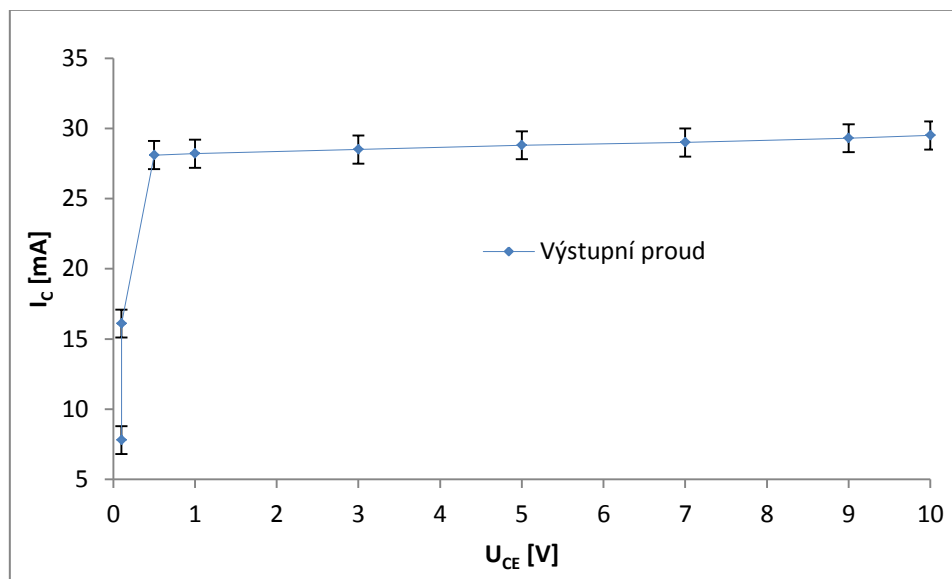
Graf 2: Výstupní charakteristika transistoru pro vstupní proud $I_{BE} = 0,1$ mA

Naměřená data pro $I_{BE} = (0,2 \pm 0,1) \text{ mA}$ jsou sepsána v Tabulce 3.

Tabulka 3:
Hodnoty výstupního napětí U_{CE} a výstupního proudu I_C
pro vstupní proud $I_{BE} = 0,2 \text{ mA}$

$U_{CE} [\text{V}]$	$\epsilon U_{CE} [\text{V}]$	$I_C [\text{mA}]$	$\epsilon I_C [\text{mA}]$
0,1	$\pm 0,1$	7,8	$\pm 1,0$
0,1	$\pm 0,1$	16,1	$\pm 1,0$
0,5	$\pm 0,1$	28,1	$\pm 1,0$
1,0	$\pm 0,1$	28,2	$\pm 1,0$
3,0	$\pm 0,1$	28,5	$\pm 1,0$
5,0	$\pm 0,1$	28,8	$\pm 1,0$
7,0	$\pm 0,1$	29,0	$\pm 1,0$
9,0	$\pm 0,1$	29,3	$\pm 1,0$
10,0	$\pm 0,1$	29,5	$\pm 1,0$

Data z Tabulky 3 jsou vynesena v Grafu 3:



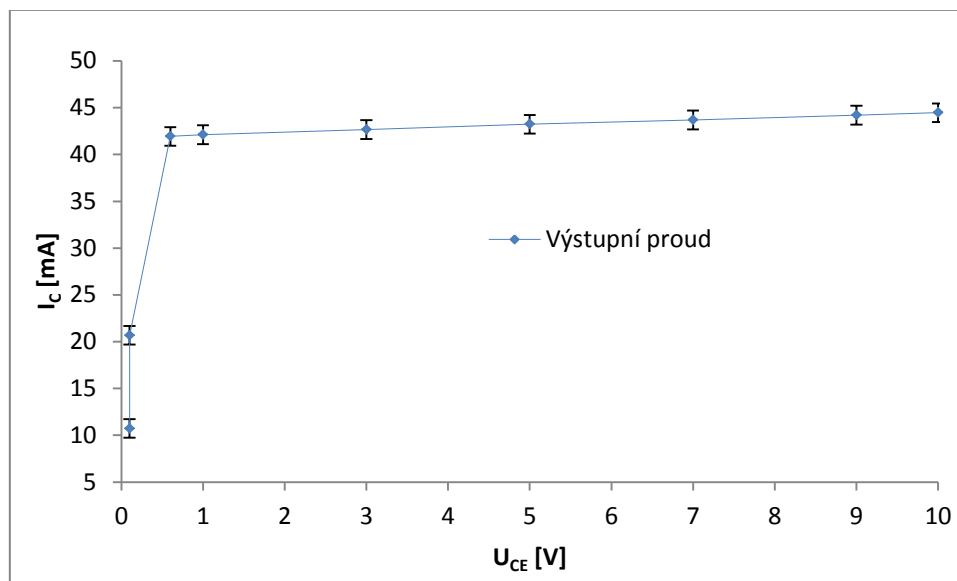
Graf 3: Výstupní charakteristika tranzistoru pro vstupní proud $I_{BE} = 0,2 \text{ mA}$

Naměřená data pro $I_{BE} = (0,3 \pm 0,1) \text{ mA}$ jsou sepsána v Tabulce 4.

Tabulka 4:
Hodnoty výstupního napětí U_{CE} a výstupního proudu I_C
pro vstupní proud $I_{BE} = 0,3 \text{ mA}$

$U_{CE} [\text{V}]$	$\epsilon U_{CE} [\text{V}]$	$I_C [\text{mA}]$	$\epsilon I_C [\text{mA}]$
0,1	$\pm 0,1$	10,7	$\pm 1,0$
0,1	$\pm 0,1$	20,7	$\pm 1,0$
0,6	$\pm 0,1$	41,9	$\pm 1,0$
1,0	$\pm 0,1$	42,1	$\pm 1,0$
3,0	$\pm 0,1$	42,7	$\pm 1,0$
5,0	$\pm 0,1$	43,2	$\pm 1,0$
7,0	$\pm 0,1$	43,7	$\pm 1,0$
9,0	$\pm 0,1$	44,2	$\pm 1,0$
10,0	$\pm 0,1$	44,5	$\pm 1,0$

Data z Tabulky 4 jsou vynesena v Grafu 4:



Graf 4: Výstupní charakteristika transistoru pro vstupní proud $I_{BE} = 0,3 \text{ mA}$

Odporová dekáda je určitě přesnější.

3. Závislost transistorových proudů

Při měření závislosti transistorových proudů jsme v obvodu z Obrázku 2 použili rezistorovou dekádu s odporem $R = (20\,000 \pm 200)\Omega$. V tomto měření jsme měřili závislost výstupního proudu transistoru I_C na vstupním proudu transistoru I_{BE} při třech různých hodnotách výstupního napětí U_{CE} .

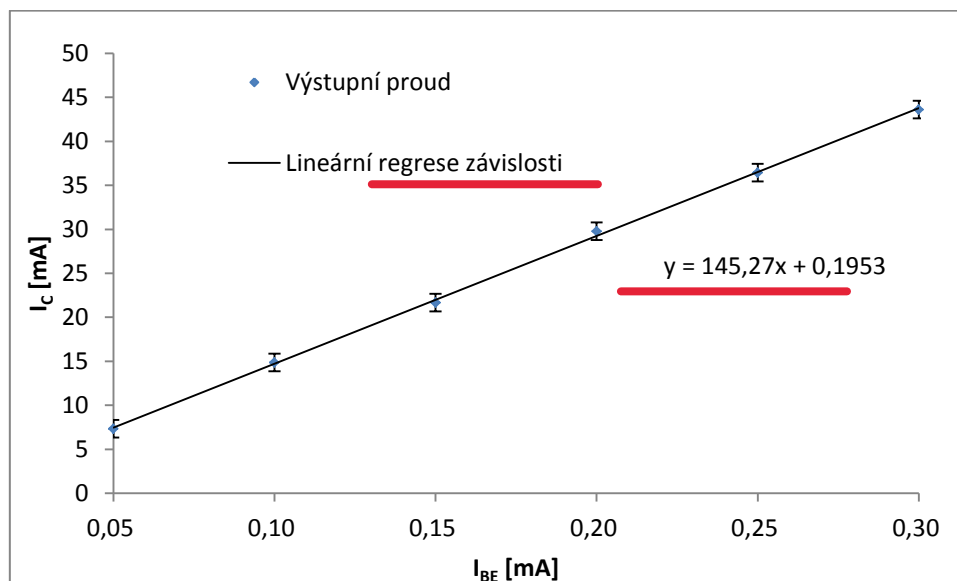
Pro hodnotu výstupního napětí $U_{CE} = (2,0 \pm 0,1)V$ jsme naměřili hodnoty proudů I_{BE} a I_C , any jsou vyneseny v tabulce 5.

Tabulka 5:

Hodnoty vstupního I_{BE} a výstupního I_C proudu při výstupním napětí $U_{CE} = 2\text{ V}$

I_{BE} [mA]	ϵI_{BE} [mA]	I_C [mA]	ϵI_C [mA]
0,05	$\pm 0,10$	7,3	$\pm 1,0$
0,10	$\pm 0,10$	14,9	$\pm 1,0$
0,15	$\pm 0,10$	21,7	$\pm 1,0$
0,20	$\pm 0,10$	29,8	$\pm 1,0$
0,25	$\pm 0,10$	36,4	$\pm 1,0$
0,30	$\pm 0,10$	43,6	$\pm 1,0$

Data z Tabulky 5 jsou vynesena v Grafu 5:



Graf 5: Závislost transistorových proudů při výstupním napětí $U_{CE} = 2\text{ V}$

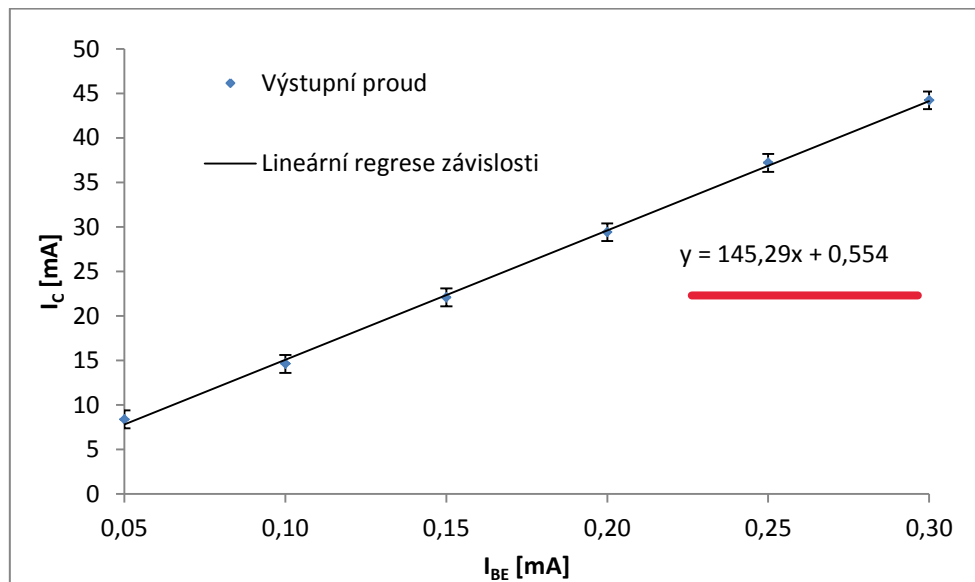
Pro hodnotu výstupního napětí $U_{CE} = (6,0 \pm 0,1) \text{ V}$ jsme naměřili hodnoty proudů I_{BE} a I_C , any jsou vyneseny v tabulce 6.

Tabulka 6:

Hodnoty vstupního I_{BE} a výstupního I_C proudu při výstupním napětí $U_{CE} = 6 \text{ V}$

$I_{BE} [\text{mA}]$	$\epsilon I_{BE} [\text{mA}]$	$I_C [\text{mA}]$	$\epsilon I_C [\text{mA}]$
0,05	$\pm 0,10$	8,4	$\pm 1,0$
0,10	$\pm 0,10$	14,6	$\pm 1,0$
0,15	$\pm 0,10$	22,1	$\pm 1,0$
0,20	$\pm 0,10$	29,4	$\pm 1,0$
0,25	$\pm 0,10$	37,2	$\pm 1,0$
0,30	$\pm 0,10$	44,2	$\pm 1,0$

Data z Tabulky 6 jsou vynesena v Grafu 6:



Graf 6: Závislost transistorových proudů při výstupním napětí $U_{CE} = 6 \text{ V}$

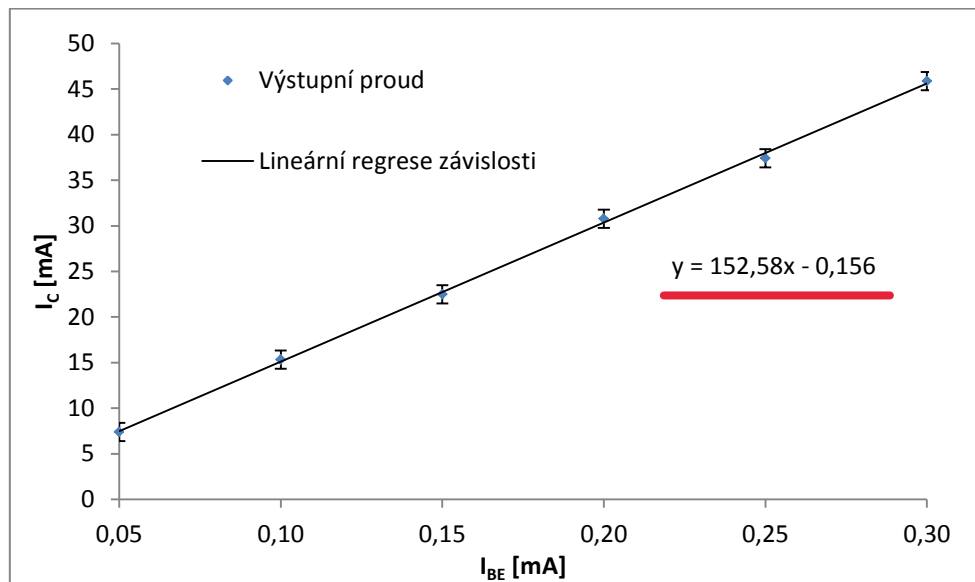
Pro hodnotu výstupního napětí $U_{CE} = (10,0 \pm 0,1)V$ jsme naměřili hodnoty proudů I_{BE} a I_C , any jsou vyneseny v tabulce 7.

Tabulka 7:

Hodnoty vstupního I_{BE} a výstupního I_C proudu při výstupním napětí $U_{CE} = 10 V$

I_{BE} [mA]	ϵI_{BE} [mA]	I_C [mA]	ϵI_C [mA]
0,05	$\pm 0,10$	7,4	$\pm 1,0$
0,10	$\pm 0,10$	15,3	$\pm 1,0$
0,15	$\pm 0,10$	22,5	$\pm 1,0$
0,20	$\pm 0,10$	30,8	$\pm 1,0$
0,25	$\pm 0,10$	37,4	$\pm 1,0$
0,30	$\pm 0,10$	45,9	$\pm 1,0$

Data z Tabulky 7 jsou vynesena v Grafu 7:



Graf 7: Závislost transistorových proudů při výstupním napětí $U_{CE} = 10 V$

4. Určení zesilovacího koeficientu β

Metodou lineární regrese nám vyšly následující hodnoty koeficientu β

Pro hodnotu výstupního napětí $U_{CE} = (2,0 \pm 0,1)V$ vychází koeficient $\beta = 145 \pm 1$

Pro hodnotu výstupního napětí $U_{CE} = (6,0 \pm 0,1)V$ vychází koeficient $\beta = 145 \pm 1$

Pro hodnotu výstupního napětí $U_{CE} = (10,0 \pm 0,1)V$ vychází koeficient $\beta = 152 \pm 1$

Diskuse

Námi prováděné experimenty byly prováděny v následujících podmínkách okolí.

- Relativní vlhkost vzduchu: 32,3% **Toto nepatří do diskuze.**
- Okolní teplota: 24,7 °C

Vlhkost vzduchu mohla mít na naše experimenty vliv disipační, část elektrické energie se mohla ztrácet výboji do vzduchu. **No tak to až se bude dít, tak to ucítí celé praktikum, že jste ten tranzistor odpálil.**

Vyšší okolní teplota pak mohla zvýšit odpor našich vodičů, což mohlo vést k nižšímu elektrickému proudu.

Tyto proměnné jsme pokryli odhadnutím intervalu nejistoty pro chybu výstupního proudu $\epsilon_{I_C} = \pm 1,0$ mA. Pro vstupní proud I_{BE} byla vyžadována vyšší přesnost, zvláště pokud jsme nastavovali na přístrojích nízké hodnoty, ergo $\epsilon_{I_{BE}} = \pm 1,0$ mA a $\pm 0,1$ mA pro přesnější měření.

Chybu napětí $\epsilon_{U_{CE}}$ jsme odhadli na $\pm 0,1$ V a ± 1 mV pro přesnější měření.

Závěr

Podařilo se nám změřit závislost vstupního proudu na vstupním napětí. Se změnami napětí se úměrně mění i proud. Závislost má divergující tendenci.? **Co je vstupní a výstupní proud?**

Podařilo se nám změřit závislost výstupního proudu na výstupním napětí. Se změnami napětí se úměrně mění i proud. Závislost má konvergující tendenci.

Pro hodnotu výstupního napětí $U_{CE} = (2,0 \pm 0,1)$ V vychází koeficient $\beta = 145 \pm 1$

Pro hodnotu výstupního napětí $U_{CE} = (6,0 \pm 0,1)$ V vychází koeficient $\beta = 145 \pm 1$

Pro hodnotu výstupního napětí $U_{CE} = (10,0 \pm 0,1)$ V vychází koeficient $\beta = 152 \pm 1$

Literatura

[1] Horák, Z., Krupka, F.: Fyzika, sv. 2, vyd. 2. SNTL, ALFA, 1976

[2] Brož, J.: Základy fyzikálních měření I, vyd. 1. SPN Praha 1967