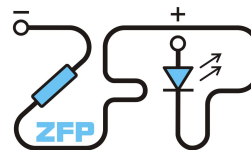


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum ...



Úloha č. ....

Název úlohy:.....

Jméno: .....Datum měření: .....

Datum odevzdání: .....

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:.....

dne: .....

## Pracovní úkol

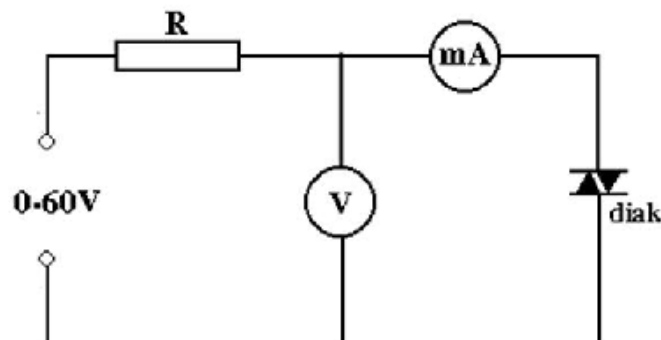
- Proměřte voltampérovou charakteristiku diaku a z ní určete:
  - spínací napětí při obou polaritách  $U_{B01}$ ,  $U_{B02}$
  - pokles napětí na diaku při překročení spínacího napětí  $\Delta U$  (při obou polaritách)
  - tzv. symetrii diaku  $|U_{B01} - U_{B02}|$ .
- Zapojte diak jako zdroj relaxačních kmitů. Změřte závislost periody těchto kmitů  $T$  na časové konstantě  $\tau = RC$  obvodu při konstantním napětí zdroje (cca 40 V). Změřte závislost zhášecího  $U_{zh}$  a spínacího  $U_{B0}$  napětí na časové konstantě  $\tau$ .
- Při několika řádově různých hodnotách časové konstanty  $\tau$  stanovte periodu kmitů též přímo osciloskopem a porovnáním s kmitočtem generátoru (pomocí Lissajousových obrazců).
- V závislosti na napětí zdroje  $U_0$  změřte frekvenci kmitů  $f$ , zhášecí  $U_{zh}$  a spínací  $U_{B0}$  napětí diaku. Naměřené hodnoty periody ověřte výpočtem.
- Sestrojte závislost spínacího napětí  $U_{B0}$  na frekvenci kmitů  $f$ . (Využijte dat změřených v pracovním úkolu 2 i 4.)

## 1 Teorie

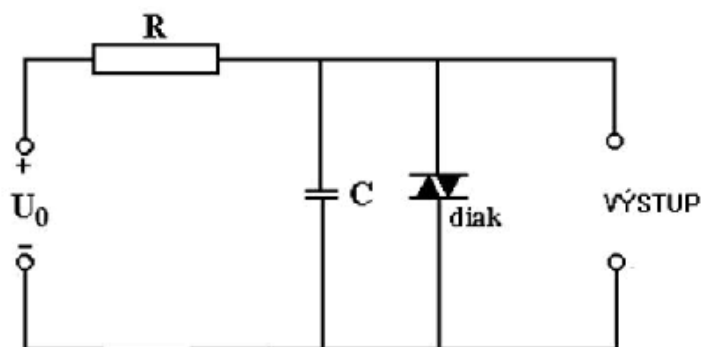
### 1.1 VA charakteristika diaku

Diak je spínací polovodičový systém se dvěma PN přechody (v podstatě se jedná o tranzistor bez připojené báze). Při nízkém napětí je vždy jeden přechod v závěrném směru a diakem neteče proud. Po překročení *spínacího napětí*  $U_{B0}$  dojde k lavinovitému průrazu přechodu a skokovému snížení odporu diaku, tedy i skokovému poklesu napětí  $\Delta U$ . Tato hodnota je závislá na velikosti proudu tekoucího diakem. Pokud napětí poklesne na hodnotu *zhášecího napětí*  $U_{zh}$ , PN přechod se opět uzavře.

Diak není zcela symetrický, *symetii charakteristiky* nazýváme veličinu  $|U_{B01} - U_{B02}|$ , kde  $U_{B0x}$  jsou spínací napětí při opačných polaritách zapojení. Pro měření VA charakteristiky používáme zapojení obr. 1 [1].



Obrázek 1: Zapojení pro měření VA charakteristiky diaku



Obrázek 2: Zapojení pro měření relaxačních kmitů

## 1.2 Relaxační kmitý v obvodu s diakem

Zapojíme-li diak podle schématu na obr. 2. Po zapnutí zdroje kondenzátor začne nabíjet podle vztahu [1]

$$U = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (1)$$

kde  $U_0$  je napětí zdroje,  $t$  je čas a  $\tau = RC$  časová konstanta nabíjení závislá na odporu  $R$  a kapacitě kondenzátoru  $C$ .

Jakmile napětí dosáhne hodnoty  $U = U_{B0}$ , diak se otevře a kondenzátor se přes něj začne vybíjet až na hodnotu zhasacího napětí  $U_{zh}$ , kdy se opět uzavře, atd. Toto napětí je obecně závislé na proudu tekoucím diakem v sepnutém stavu.

Podle [1] pro dobu nabíjení kondenzátoru platí vztah

$$t_1 = RC \ln \left( \frac{U_0 - U_{zh}}{U_0 - U_{B0}} \right) \quad (2)$$

Pokud by odpor diaku  $r_S$  byl nulový, pak dle [1] je doba vybíjení  $t_2 = 0$  a  $t_1 = T$ , kde  $T$  je perioda kmitu. To lze předpokládat i pokud  $t_1 \gg t_2$ . Jinak platí  $T = t_1 + t_2$ .

## 2 Pomůcky

diak, voltmetr, ampérmetr, osciloskop, digitální generátor kmitů, propojovací vodiče, laboratorní zdroj napětí

## 3 Výsledky měření

### Podmínky měření

Voltmetr na rozsahu 200 V měří s přesností  $\pm(0,3\% + 1\text{digit})$ , použitý ampérmetr na rozsahu 7,5 mA má třídu přesnosti 0,2. Kapacitu i odpor na dekádách uvažujeme přesné (vzhledem k měření  $T$  a  $f$ ).

Přesnost měření  $T$  resp.  $t_1$  pomocí osciloskopu odhadujeme jako 1% z hodnoty (mírně nadhodnoceno). Přesnost měření  $t_2$  na osciloskopu odhadujeme jako 10% hodnoty, neboť na daném rozsahu nebylo možno nastavit pozice kurzorů zcela přesně. Přesnost měření napětí na osciloskopu opět odhadujeme na 1% z hodnoty.

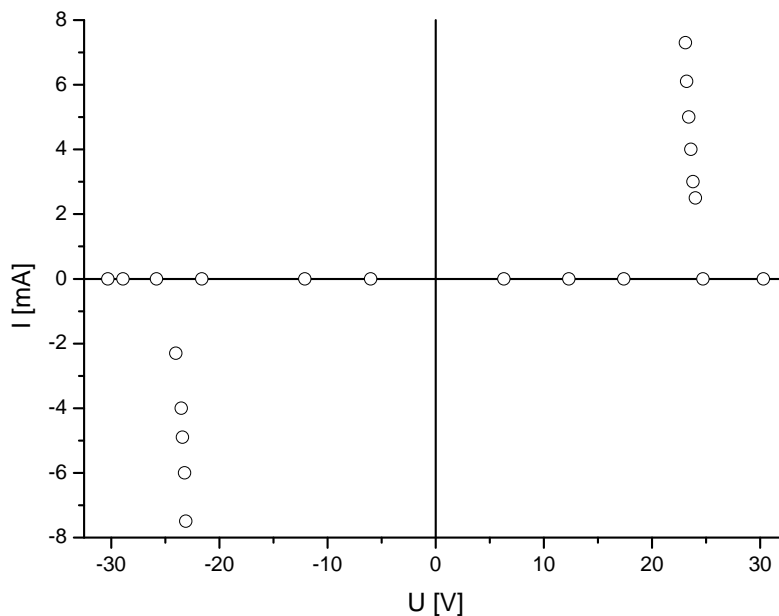
Tabulka 1: Voltampérová charakteristika diaku  
+21- +12-

$U$ [V]	$I$ [mA]	$U$ [V]	$I$ [mA]
6,3	0	6	0
12,3	0	12,1	0
17,4	0	21,6	0
24,7	0	25,8	0
30,3	0	28,9	0
24	2,5	30,3	0
23,8	3	24	2,3
23,6	4	23,5	4
23,4	5	23,4	4,9
23,2	6,1	23,2	6
23,1	7,3	23,1	7,5

Během experimentu byla zjištěna nefunkčnost analogového generátoru, bylo tedy potřeba použít generátoru digitálního, který má však natolik hrubé ladění, že se nepovedlo dosáhnout zastavení Lissajousových obrazců na osciloskopu. Přesnost nastavení odhadujeme na 5 %.

### 3.1 Voltampérová charakteristika diaku

Byl sestaven obvod podle schématu 1 a provedeno měření voltampérové charakteristiky (tab. 1). Záporné hodnoty v grafu 3 mají význam převrácené polarity. Použitý odpor:  $R = 3 \text{ k}\Omega$ .



Obrázek 3: Voltampérová charakteristika diaku. Polarita +12- vykreslena jako záporná

Spínací napětí pro obě polaritu bylo měřeno voltmetrem s funkcí HOLD, která zaznamenává nejvyšší naměřenou hodnotu. Pro výsledek viz tab. 2.

Tabulka 2: Spínací napětí diaku při obou polaritách

+12-	+21-
$U_{B01}$	$U_{B02}$
[V]	[V]
30,6	30,9
30,7	31,1
30,6	31,3
30,3	30,5
30,8	31,1

Tabulka 3: Závislost  $U_{B0}$ ,  $U_{zh}$  a  $t_1$  na  $C$  ( $f$  vypočítaná z  $T$ )

$C$ [ $\mu\text{F}$ ]	$\tau$ [ms]	$t_1$ [ms]	$t_2$ [ $\mu\text{s}$ ]	$T$ [ms]	$f$ [Hz]	$U_{B0}$ [V]	$U_{zh}$ [V]	$f_{Lissajous}$ [Hz]
0,01	0,03	0,0129	3,7	0,0166	60200	26,4	19,2	—
0,02	0,06	0,0279	4,2	0,0321	31200	26,5	17,1	—
0,05	0,15	0,0876	4,2	0,0918	10900	26,6	13,5	—
0,1	0,3	0,233	5	0,238	4200	27,1	10,5	—
0,2	0,6	0,538	0	0,538	1860	28,2	8,54	—
0,5	1,5	1,44	0	1,44	694	29,5	7,5	692
1	3	2,98	0	2,98	336	30,6	7,7	305
2	6	6,4	0	6,4	156	31,9	8,2	—
5	15	16,5	0	16,5	60,66	32,3	9,65	61
10	30	31,5	0	31,5	31,7	32,3	11	—

Statistickým zpracováním dle [2] s uvažováním chyby voltmetru byly zjištěny následující hodnoty spínacího napětí:

$$U_{B01} = (30,6 \pm 0,3) \text{ V}$$

$$U_{B02} = (31,0 \pm 0,4) \text{ V}$$

Z toho můžeme vypočítat symetrii diaku

$$|U_{B01} - U_{B02}| = (0,4 \pm 0,7)$$

tedy diak je symetrický v rámci chyby měření.

Dále můžeme určit  $\Delta U$  při obou polaritách (pro porovnání počítáme v obou případech při proudu 4 mA – viz tab. 1).

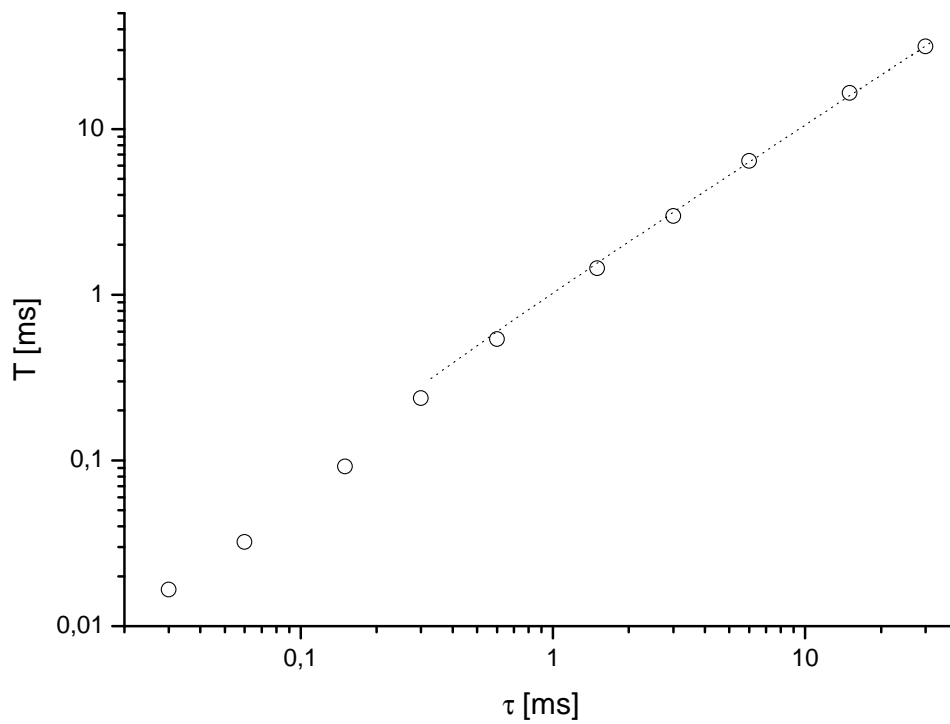
$$\Delta U_1 = (7,1 \pm 0,5) \text{ V}$$

$$\Delta U_2 = (7,4 \pm 0,6) \text{ V}$$

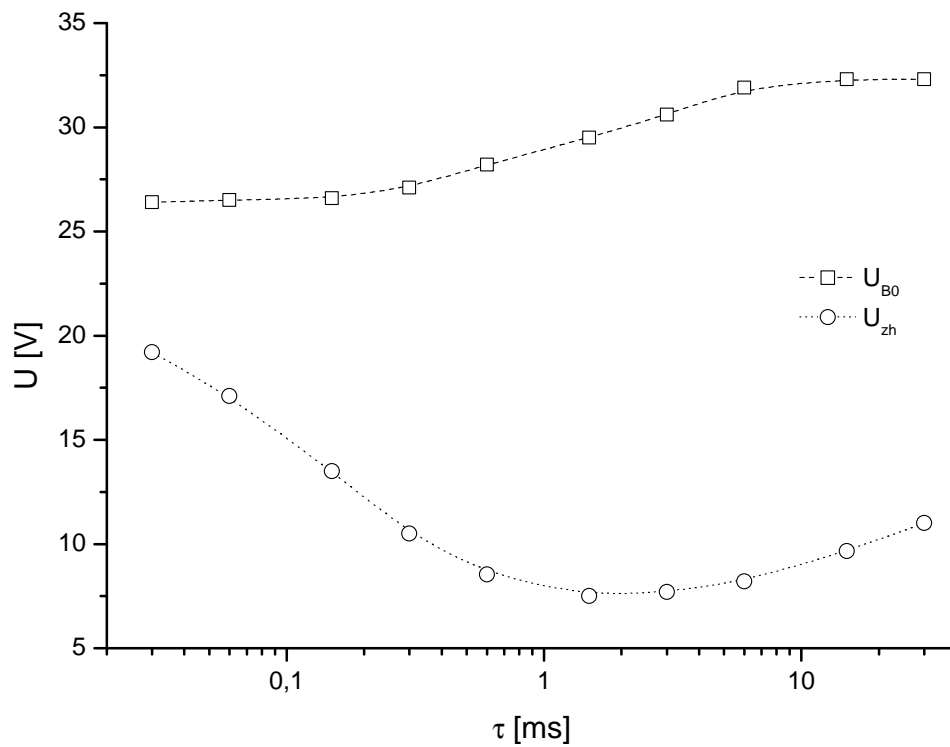
### 3.2 Relaxační kmity v obvodu s diakem

Nejprve byla měřena závislost  $U_{B0}$ ,  $U_{zh}$  a  $t_1$  resp.  $T$  na  $C$ . Pro první čtyři kapacity byla uvažována i vybíjecí doba  $t_2$ , pro další měření je zanedbatelná vzhledem k chybě měření  $t_1$ . Použitý odpor:  $R = 3 \text{ k}\Omega$ , polarita +21-, napětí  $\tilde{40} \text{ V}$ . Zároveň bylo provedeno měření pomocí Lissajousových obrazců (poslední sloupec tabulky). Naměřené hodnoty jsou v tab. 3, výsledky vyneseny do grafů 4 a 5.

Pro měření závislosti  $U_{B0}$ ,  $U_{zh}$  a  $f$  na  $U_0$  byla použit kondenzátor o kapacitě  $C = 0,5 \mu\text{F}$ ,  $R = 3 \text{ k}\Omega$ , polarita +21-. Podle zadání by se měla naměřit frekvence a (z ní vypočítaná perioda



Obrázek 4: Závislost periody kmitů na relaxační době (proloženo lin. fitem)



Obrázek 5: Závislost spínacího a zhášecího napětí na relaxační době (proloženo splinem)

Tabulka 4: Závislost  $U_{B0}$ ,  $U_{zh}$  a  $f$  na  $U_0$

$U_0$ [V]	$f$ [Hz]	$f_{teor}$ [Hz]	$U_{B0}$ [V]	$U_{zh}$ [V]
33,5	258	248	31,6	5,5
55,2	1220	1198	28,4	8,45
74,6	2030	2022	27,5	9,1
87,3	2560	2556	27,4	9,55
98,6	3140	3085	27,1	9,85
109,9	3660	3701	26,8	10,4

(?) pak srovnat s teoretickými hodnotami periody (?), logičtější nicméně je změřit frekvenci a porovnat s vypočítanou frekvencí jako  $t_1^{-1}$  ze vztahu 2. Pro výsledky viz tab. 4, z ní zpracované grafy viz obr. 6 a 7.

Z dat získaných při měření závislosti parametrů na  $C$  a  $U_0$  byla dále vynesena závislost  $U_{B0}(f)$ , viz graf 8.

## 4 Diskuze výsledků

Z měření VA charakteristiky (obr. 3) plyne, že diak lze považovat za symetrický v rámci chyby měření. Přesnější měření by bylo možno provést pomalejším a citlivějším zvyšováním napětí spolu s přesnějším voltmetrem, anebo použitím zapisovače.

Závislost frekvence resp. periody kmitů odpovídá teorii (obr. 4) – je lineární. Závislost zhášecího a spínacího napětí už je po poznání zajímavější: spínací napětí s rostoucím  $\tau$  mírně roste; při vyšších frekvencích proud diakem nestihne „dohasnout“, takže následující průraz je jednodušší (stačí nižší napětí), což lze pozorovat i na obr. 8. Naopak zhášecí napětí nejprve dle předpokladů prudce klesá až na hodnotu  $\tilde{7},5$  V při  $0,5 \mu\text{F}$ , od které opět mírně roste. To je pravděpodobně způsobeno proudovou závislostí (v minimu diak ještě chvilku dohasíná i po překročení  $U_{zh}$ , při vyšších frekvencích proud klesá pomaleji, a skutečné zhášecí napětí se blíží teoretickému).

Závislost frekvence kmitů na nabíjecím napětí odpovídá teoretické závislosti, důvodem je rychlejší nabíjení kondenzátoru vyššími proudy. Závislost zhášecího a spínacího napětí je vidět na obr. 7 – spínací napětí klesá v důsledku zvýšení teploty procházejícími vyššími proudy, zhášecí napětí roste v důsledku závislosti na vnitřním odporu diaku, který už nelze pokládat za nulový.

## 5 Závěr

Byly změřeny následující parametry diaku:

$$U_{B01} = (30,6 \pm 0,3) \text{ V}$$

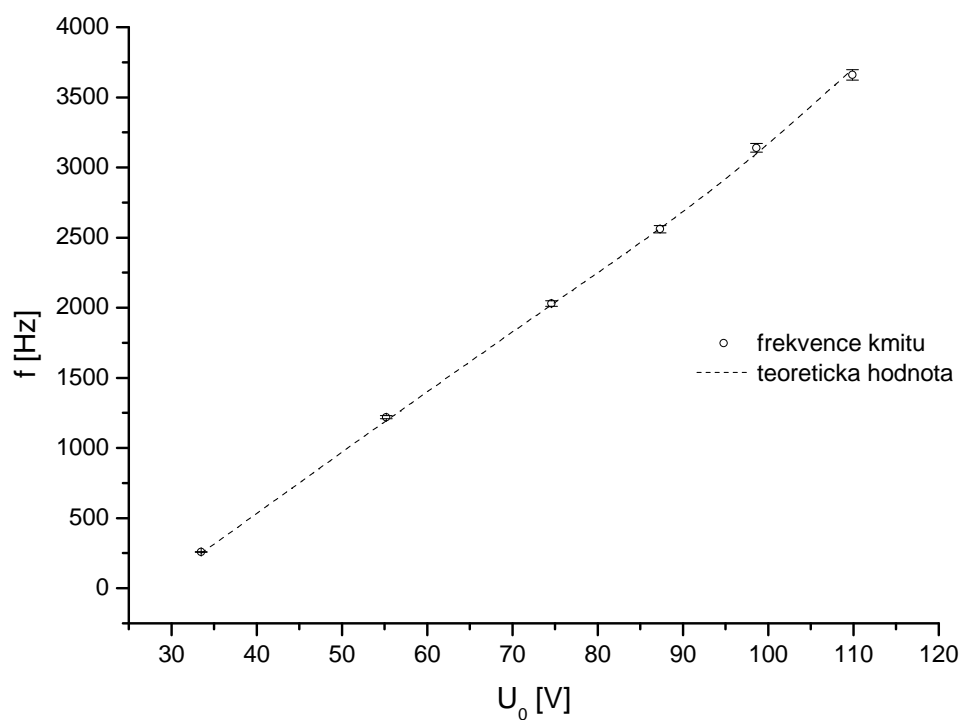
$$U_{B02} = (31,0 \pm 0,4) \text{ V}$$

$$|U_{B01} - U_{B02}| = (0,4 \pm 0,7)$$

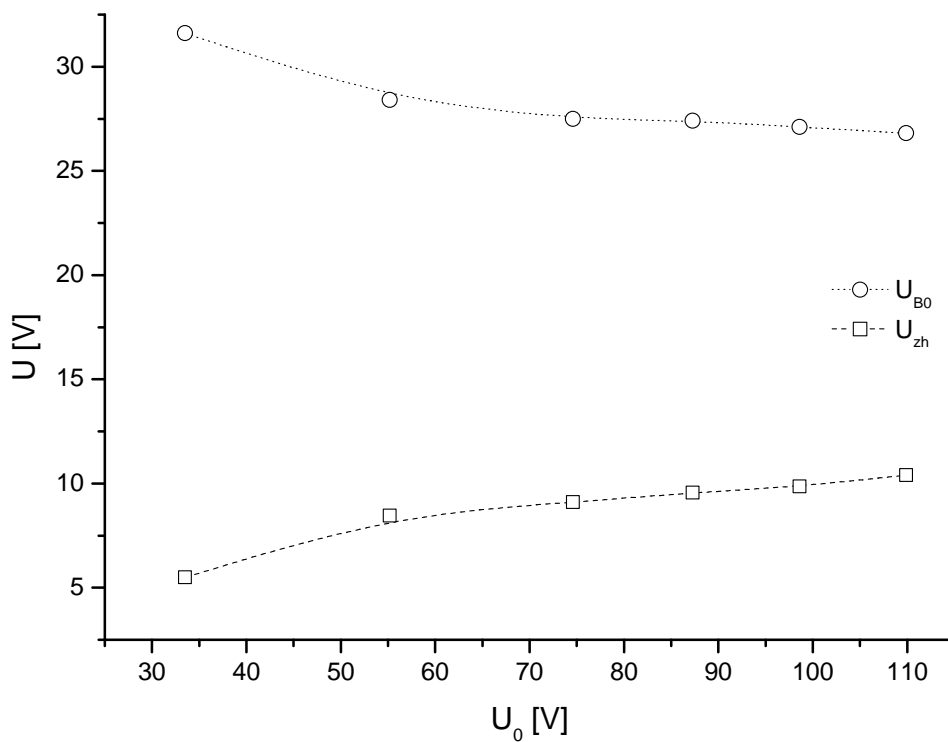
$$\Delta U_1 = (7,1 \pm 0,5) \text{ V}$$

$$\Delta U_2 = (7,4 \pm 0,6) \text{ V}$$

Pozorované závislosti odpovídají teoretickým předpokladům (viz diskuze).

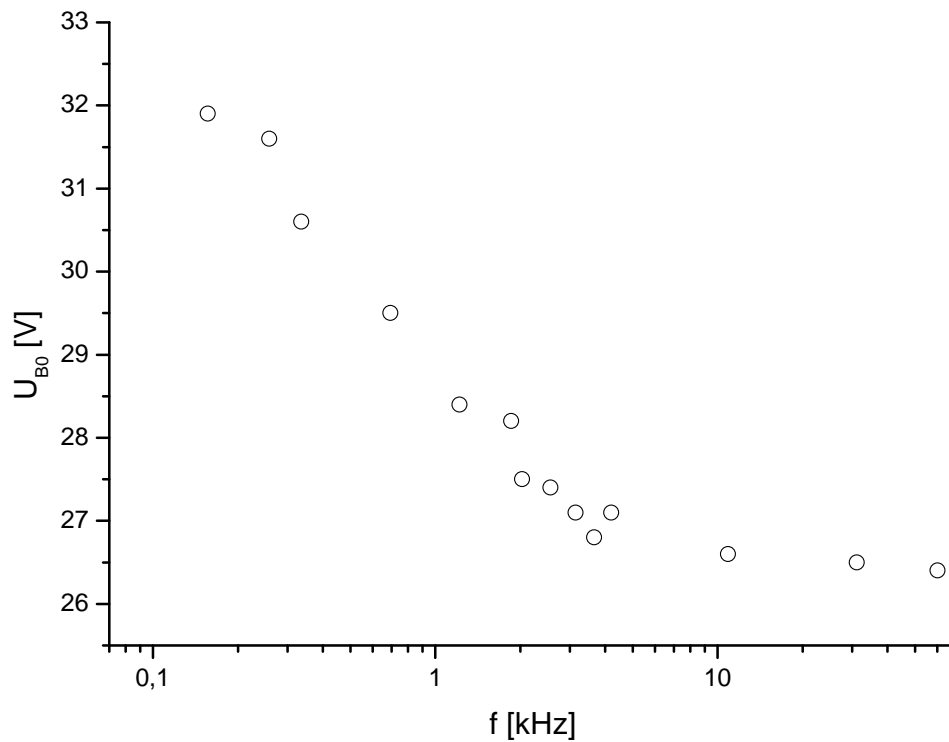


Obrázek 6: Závislost frekvence na napětí zdroje (teoretické hodnoty proloženy splinem)



Obrázek 7: Závislost spínacího a zhašecího napětí na napětí zdroje (proloženo splinem)





Obrázek 8: Závislost spínacího napětí na frekvenci kmitů

## Reference

- [1] Studijní text k Praktiku II. [online], [cit. 2013-12-15].  
URL <[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_214.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_214.pdf)>
- [2] English, J.: *Úvod do praktické fyziky*. Praha: Matfyzpress, první vydání, 2006, ISBN 80-867-3293-2, 145 s.