

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 2

Zpracoval: Tomáš Plšek

Naměřeno: 28. září 2017

Obor: Astrofyzika **Ročník:** II **Semestr:** III

Testováno:

Úloha č. 6: Relaxační kmity

Povinná část:

1. Určete spínací napětí diaku v zapojení podle obrázku 2.
2. Změřte závislost frekvence relaxačních kmitů na napětí zdroje pro tři různé kombinace RC. Změřte též rozdíl spínacího a zhašecího napětí.
3. Vypočítejte frekvenci relaxačních kmitů v závislosti na napětí a porovnejte s naměřenými hodnotami.

Povinně volitelná část (varianta A):

1. Změřte závislost frekvence relaxačních kmitů na napětí zdroje pro jednu kombinaci RC.
2. Porovnejte výsledky přímého měření s měřením pomocí Lissajousových obrazců.

1. Teoretický úvod

Diak je spínací polovodičová součástka složená ze dvou sériově uspořádaných PN přechodů. Jeho schéma a voltampérová charakteristika jsou na obrázku 1. Při připojení na nízké stejnosměrné napětí je jeden přechod v propustném a druhý v závěrném směru a diakem prochází zanedbatelný proud. Dosáhneme-li však spínacího napětí U_B , dojde k lavinovému průrazu PN přechodu zapojeného v závěrném směru a napětí na diaku poklesne o hodnotu ΔU . Snížíme-li nyní napětí na diaku pod zhašecí napětí $U_{zh} = U_B - \Delta U$, přepne se PN přechod opět do uzavřeného stavu.



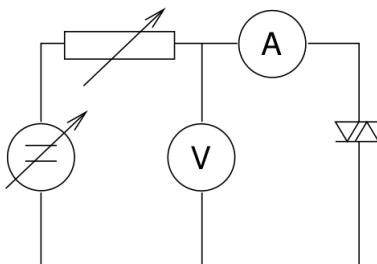
Obrázek 1: L - schéma uspořádání diaku. P - voltampérová charakteristika diaku.

2. Měření

2.1. Povinná část

2.1..1 Určení spínacího napětí

Pro určení spínacího napětí diaku použijeme zapojení podle obrázku 2. Reostat nastavíme na maximální hodnotu a zvyšujeme napětí až do okamžiku, kdy dojde k průrazu, což poznáme díky změně napětí na diaku a také proudu procházejícího diakem.



Obrázek 2: Schéma zapojení pro měření spínacího napětí diaku

Tabulka 1: Měření spínacího napětí diaku DB 3.

Měření	U_B [V]
1	31,4
2	31,3
3	31,5
4	31,2
5	31,4
6	31,3
7	31,7
8	31,5
9	31,4
10	31,3

Spínací napětí diaku je $U_B = (31,4 \pm 0,1)$ V.

2.1..2 Měření frekvence relaxačních kmitů pro tři různé kombinace RC

Připojíme-li k obvodu na obrázku 2 kondenzátor (paralelně k diaku), můžeme pomocí diaku generovat tzv. relaxační kmitů. Oba prvky připojíme přes odpor ke zdroji o napětí větším než je spínací napětí diaku ($E > U_B$). Po sepnutí poteče diakem zanedbatelný proud a kondenzátor se bude nabíjet. Po nabytí kondenzátoru na hodnotu $U = U_B$ dojde k sepnutí diaku a diakem začne procházet proud. Následně dojde k vybití kondenzátoru na hodnotu U_{zh} a diakem opět přestane téci proud. Celý proces se nyní opakuje.

Měření provádíme osciloskopem, který připojíme paralelně na diak - změříme rozdíl spínacího a zhasacího napětí a následně z časového rozdílu minim určíme závislost frekvence na napětí. Měření provedeme pro tři různé kombinace RC.

1. kombinace RC:

Diak: DB 3

Odpor $R = 47,5 \text{ k}\Omega$

Kapacita $C = 33,5 \text{ }\mu\text{F}$

Spínací napětí $U_B = (31,4 \pm 0,1) \text{ V}$

Rozdíl napětí $\Delta U = (28,4 \pm 0,1) \text{ V}$

Tabulka 2a: Měření závislosti frekvence relaxačních kmitů na napětí - 1. kombinace RC.

$E \text{ [V]}$	$\tau \text{ [ms]}$	$f_m \text{ [Hz]}$	$f_t \text{ [Hz]}$
35	4,56	219,3	294,6
40	2,56	390,6	444,1
45	1,92	520,8	577,2
50	1,54	649,4	704,2
55	1,30	769,2	828,3
60	1,13	885,0	950,5
65	1,00	1000,0	1071,6
70	0,896	1116,1	1191,9
75	0,812	1231,5	1311,6
80	0,744	1344,1	1430,9

2. kombinace RC:

Diak: DB 3

Odpor $R = 96,8 \text{ k}\Omega$

Kapacita $C = 33,5 \text{ }\mu\text{F}$

Spínací napětí $U_B = (31,4 \pm 0,1) \text{ V}$

Rozdíl napětí $\Delta U = (27,6 \pm 0,1) \text{ V}$

Tabulka 2b: Měření závislosti frekvence relaxačních kmitů na napětí - 2. kombinace RC.

$E \text{ [V]}$	$\tau \text{ [ms]}$	$f_m \text{ [Hz]}$	$f_t \text{ [Hz]}$
35,0	15,4	64,9	155,0
40,0	5,84	171,2	231,4
45,0	4,12	242,7	303,2
50,0	3,28	304,9	372,1
55,0	2,76	362,3	439,5
60,0	2,38	420,2	506,1
65,0	2,08	480,8	572,1
70,0	1,86	537,6	637,8
75,0	1,68	595,2	703,2
80,0	1,54	649,4	768,4

3. kombinace RC:

Diak: DB 3

Odpor $R = 96,8 \text{ k}\Omega$

Kapacita $C = 6,79 \text{ }\mu\text{F}$

Spínací napětí $U_B = (31,4 \pm 0,1) \text{ V}$

Rozdíl napětí $\Delta U = (24,8 \pm 0,1) \text{ V}$

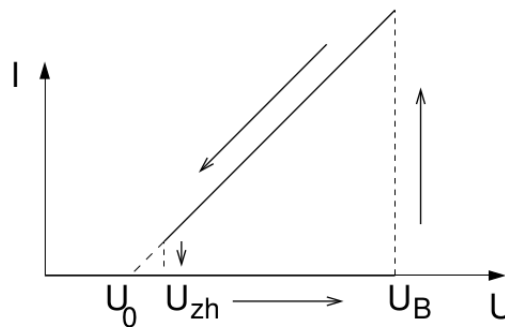
Tabulka 2c: Měření závislosti frekvence relaxačních kmitů na napětí - 3. kombinace RC.

$E \text{ [V]}$	$\tau \text{ [ms]}$	$f_m \text{ [Hz]}$	$f_t \text{ [Hz]}$
35,6	2,78	359,7	847,3
40	1,21	826,4	1227,6
45	0,844	1184,8	1624,3
50	0,660	1515,2	2006,7
55	0,548	1824,8	2382,0
60	0,468	2136,8	2753,2
65	0,410	2439,0	3121,9
70	0,366	2732,2	3488,9
75	0,330	3030,3	3854,6
80	0,302	3311,3	4219,5

2.1..3 Výpočet frekvence rel. kmitů a porovnání s měřením

Pro výpočet průběhu oscilací nyní předpokládejme idealizovanou charakteristiku diaku (viz obrázek 4.), kterou lze vyjádřit vztahem:

$$U = U_0 + R_i I. \quad (1)$$



Obrázek 3: Idealizovaná voltampérová charakteristika diaku.

Z Kirchhoffových zákonů plynou pro oscilační obvod následující vztahy:

$$E = RI_0 + U, \quad I_0 = I_C + I_D. \quad (2)$$

Po dosazení za I_C a I_D získáváme diferenciální rovnici:

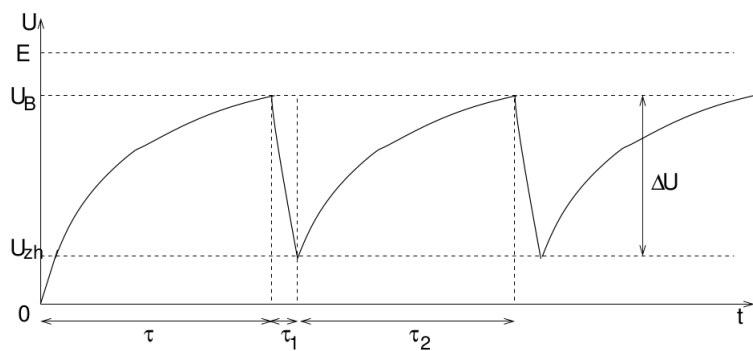
$$\frac{dU}{dt} + \frac{1}{CR} \left(1 + \frac{R}{R_i} \right) U = \frac{1}{CR} \left(E + \frac{R}{R_i} U_0 \right), \quad (3)$$

jejímž obecným řešením při nesepnutém diaku v čase $t = 0$ a při počáteční podmínce $U(0) = 0$ je:

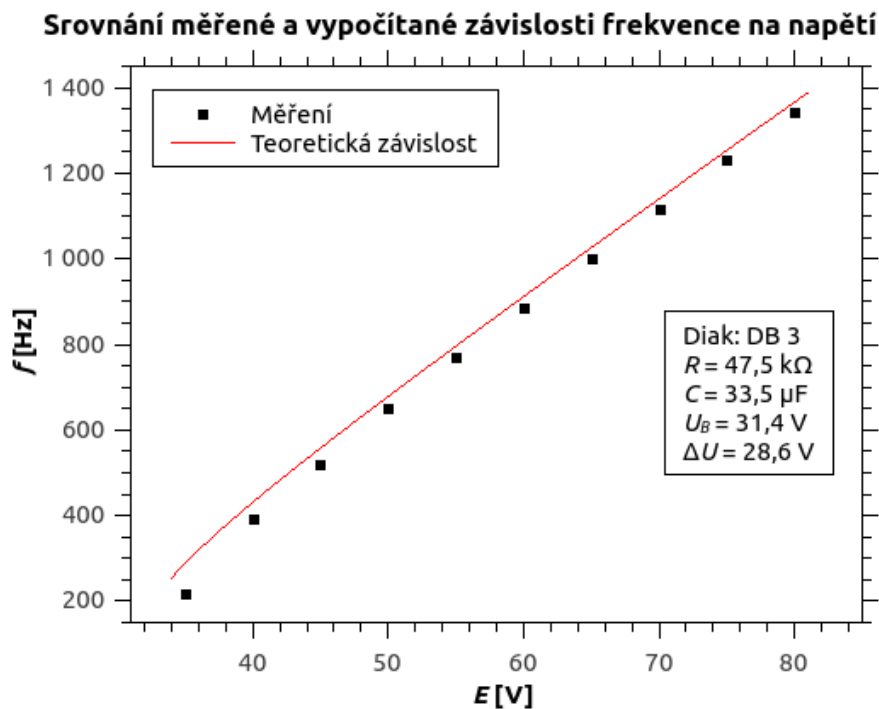
$$U(t) = E \left[1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right]. \quad (4)$$

Po dalších úpravách získáváme pro periodu relaxačních kmitů vztah (viz obrázek 4):

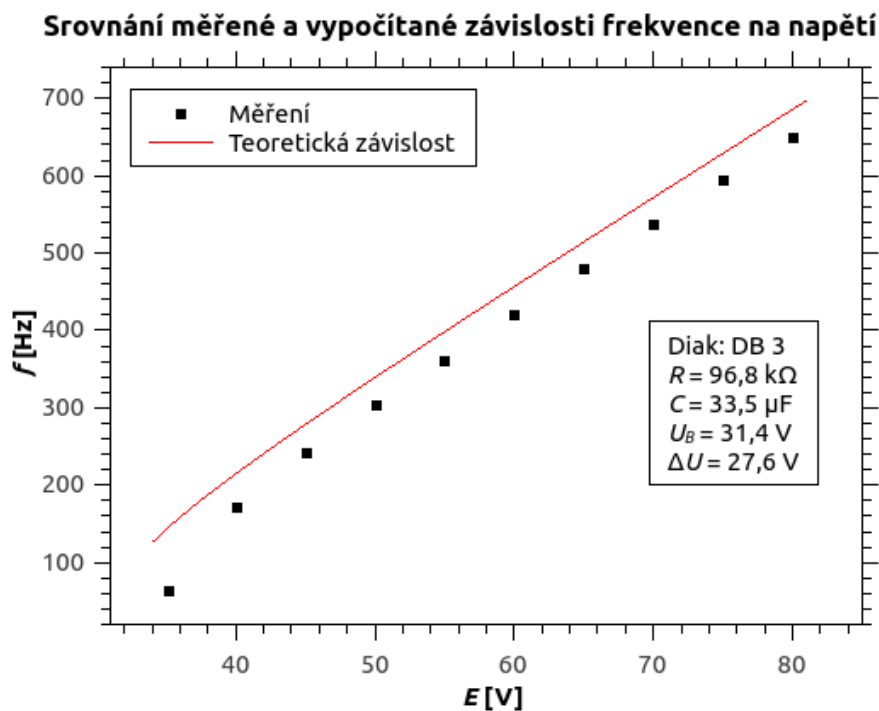
$$\tau \approx \tau_2 = RC \ln \frac{U_{zh} - E}{U_B - E}. \quad (5)$$



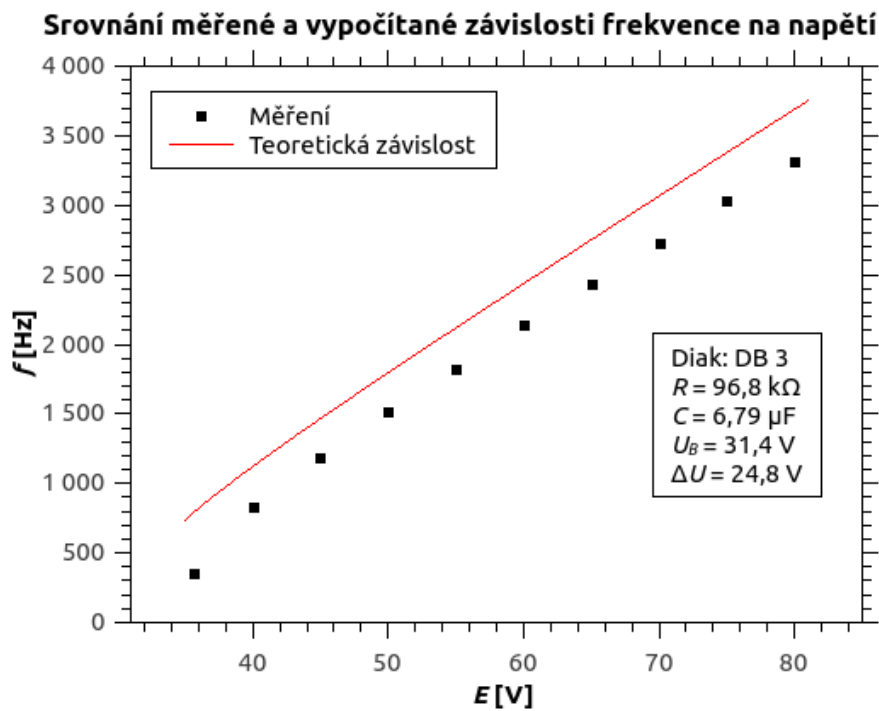
Obrázek 4: Časový průběh napětí v oscilačním obvodu.



Graf 1a: Srovnání závislosti frekvence relaxačních kmitů diaku na napětí zdroje - 1.kombinace RC.



Graf 1b: Srovnání závislosti frekvence relaxačních kmitů diaku na napětí zdroje - 2.kombinace RC.



Graf 1c: Srovnání závislosti frekvence relaxačních kmitů diaku na napětí zdroje - 3.kombinace RC.

2.2. Lissajousovy obrazce

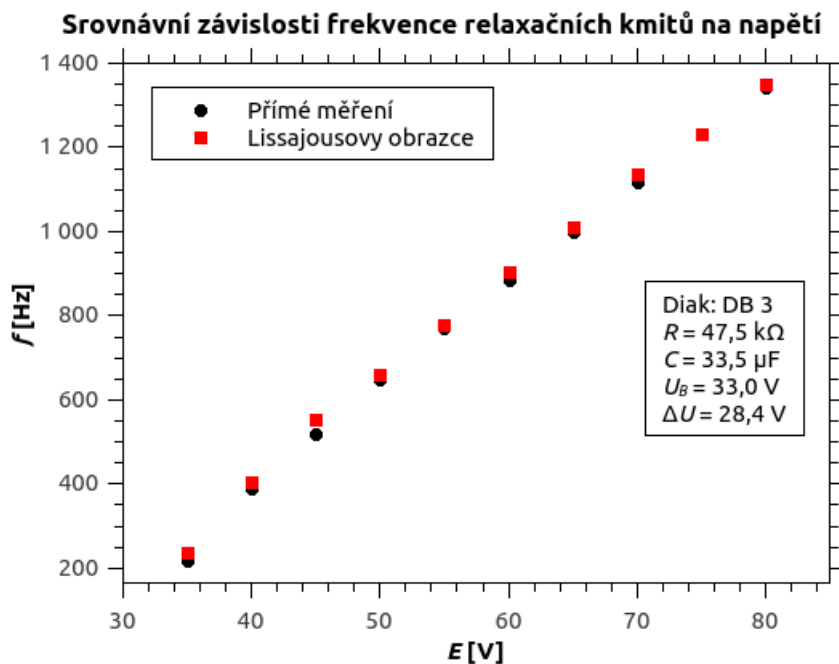
2.2..1 Měření závislosti frekvence relaxačních kmitů na napětí zdroje

Na obrazovku osciloskopu budeme promítat průběh napětí a na horizontální vstup osciloskopu přivedeme napětí z generátoru o laditelné frekvenci. Laděním generátoru nalezneme Lissajousovy obrazce odpovídající poměru frekvencí 1:1 pro stejné hodnoty napětí jako jsou v tabulce 2a.

Tabulka 3: Měření frekvence relaxačních kmitů pomocí Lissaj. obrazců.

E [V]	f_{liss} [Hz]	f_m [Hz]
35	238,8	219,3
40	403,5	390,6
45	553,8	520,8
50	659,7	649,4
55	780,1	769,2
60	902,8	885,0
65	1012,0	1000,0
70	1136,0	1116,1
75	1231,0	1231,5
80	1493,0	1344,1

2.2..2 Porovnání přímého měření s měřením pomocí Lissaj. obrazců



Graf 2: Srovnání závislosti frekvence na napětí měřené přímo a pomocí Lissaj. obrazců.

3. Závěr

Pro kombinaci 1 (diak BD 3, $R = 47,5k\Omega$ a $C = 33,5\mu F$) jsem z 10 měření určil hodnotu spínacího napětí $U_B = (31,4 \pm 0,1)$ V.

Pro tři různé kombinace zapojení R a C prvků jsem proměřil závislost frekvence relaxačních kmitů na napětí zdroje (grafy 1a, 1b a 1c) a porovnal ji se závislostí vypočtenou ze vztahu (5). Vidíme, že systematická chyba se zvyšuje s přibývajícím odporem a ubývajícím kapacitou.

V grafu 2 vidíme, že měření pomocí liss. obrazců docela dobře odpovídá přímému měření.