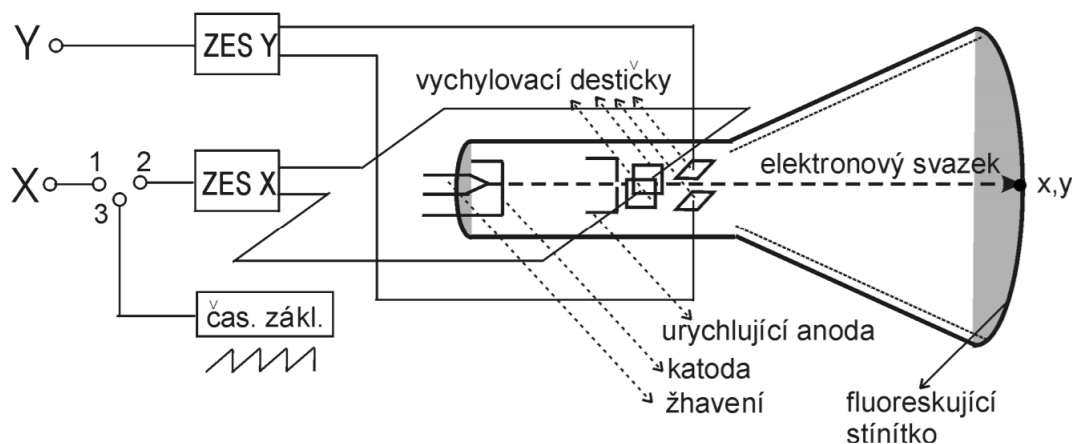


Úkol

1. Pomocí osciloskopu změřte špičkovou hodnotu napětí na svorkách sekundárního vinutí transformátoru a porovnejte ji s hodnotou naměřenou na střídavém rozsahu digitálního voltmetru.
2. Podle vlastní volby sledujte činnost jednocestného nebo dvoucestného usměrňovače s křemíkovými diodami **KY711**
 - (a) při maximální hodnotě zatěžovacího odporu $10\text{ k}\Omega$ sledujte závislost stejnosměrného napětí na filtrační kapacitě C v intervalu $0\text{--}10\text{ }\mu\text{F}$. Hodnotu usměrněného napětí při $C = 10\text{ }\mu\text{F}$ srovnajte se špičkovou hodnotou pulzního průběhu
 - (b) změřte závislost filtrační kapacity C , potřebné k tomu, aby střídavá složka usměrněného napětí tvořila 10 % špičkové hodnoty (tj. asi 1 V), na odebíraném proudu. U jednocestného usměrňovače měřte do proudu $0,6\text{ mA}$, u dvoucestného do proudu 1 mA
 - (c) naměřené závislosti zpracujte graficky. Do grafu uvádějícího závislost filtrační kapacity C na proudu vynesete také závislost časové konstanty $\tau = R_z C$ na proudu.

Teorie

Osciloskop je jedním z nejčastěji používaných přístrojů ve fyzikální laboratoři. Umožňuje vizualizovat časový průběh napětí či s pomocí odporu zobrazit volt-ampérovou charakteristiku elektrické součástky. Zjednodušené schéma osciloskopu je zobrazeno na obrázku 1.



Obrázek 1: Zjednodušené schéma osciloskopu [1]

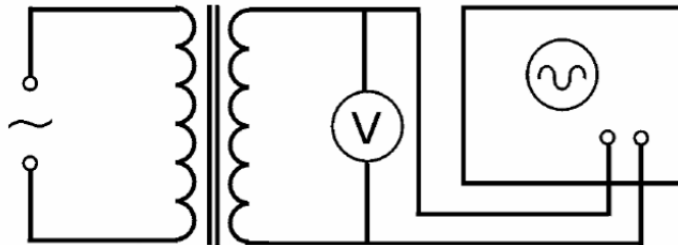
Střední, efektivní a špičková hodnota napětí

Frekvence střídavého napětí je obvykle větší než doba kmitu systému analogového přístroje či doba jednoho měření digitálního přístroje, tzv. integrační doba. Tyto přístroje proto nejsou schopné změřit *okamžitou hodnotu* napětí $u(t)$, místo toho ukazují *střední hodnotu* napětí,

které se dá také vypočítat pomocí vztahu

$$U_e = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt, \quad (1)$$

kde T je perioda a t čas.



Obrázek 2: Zapojení pro měření špičkové hodnoty střídavého napětí

Měřicí přístroje, určené k měření střídavého napětí sice měří střední hodnotu, jejich stupnice jsou však přepočítány na *efektivní hodnotu* napětí, kterou lze spočítat pomocí

$$U^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt. \quad (2)$$

Je-li průběh napětí harmonický, platí

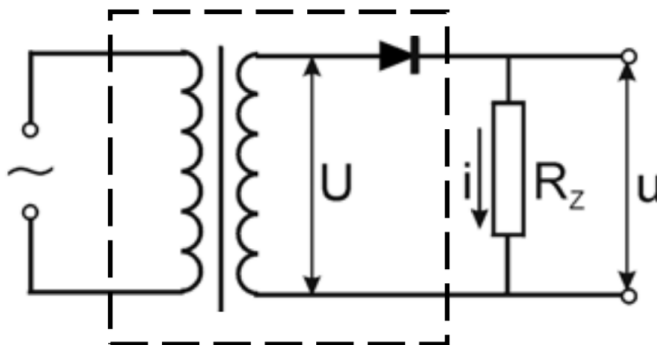
$$U = \frac{U_0}{\sqrt{2}}, \quad (3)$$

kde U_0 je *špičková hodnota* - amplituda - napětí.

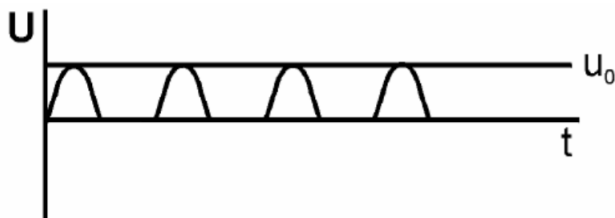
Jednocestný usměrňovač, filtrace napětí

Jednocestný usměrňovač se používá k usměrnění střídavého napětí. Jeho zapojení s odporovou zátěží R_Z je vyobrazeno na obrázku 3. Průběh usměrněného napětí je zobrazen na obrázku 4. Střední hodnotu takto usměrněného napětí lze spočítat podle vztahu

$$U_e = \frac{U_0}{\pi}. \quad (4)$$

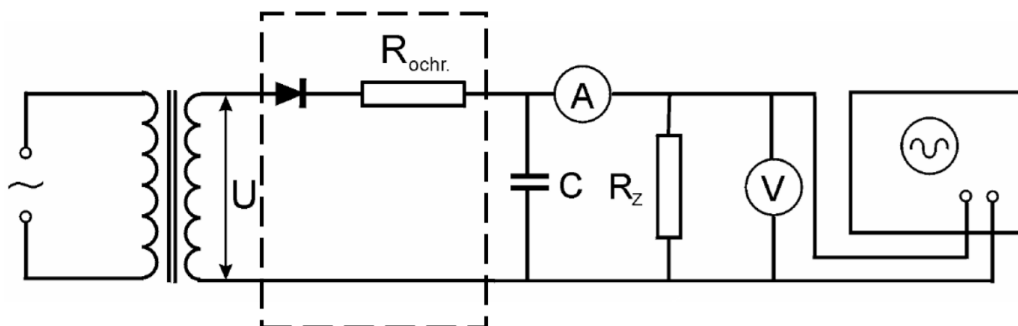


Obrázek 3: Schéma zapojení jednocestného usměrňovače s odporovou zátěží [2]



Obrázek 4: Průběh napětí usměrněného jednocestným usměrňovačem [2]

Takto usměrněné napětí je pulzující, toto napětí můžeme vyhladit za pomoci kondenzátoru o kapacitě C podle obrázku 5. Ten se periodicky nabíjí a následně vybíjí přes odpor R_Z s časovou konstantou $\tau = R_Z C$. Aby se zabránilo přetížení zdroje při počátečním nabíjení kondenzátoru, je do obvodu zapojen ochranný odpor $R_{ochr.}$.



Obrázek 5: Zapojení jednocestného usměrňovače s filtračním odporem, odporovou zátěží a měřicími přístroji [2]

Pro zjednodušení měření požadujeme, aby činitel filtrace k_f byl velký. Činitel filtrace je definován jako

$$k_f = \frac{U_0}{\Delta U} \quad (5)$$

a pro jednocestný usměrňovač platí

$$k_f = \frac{R_Z C}{T}. \quad (6)$$

Odtud vyplývá, že abychom činitel filtrace udrželi konstantní, musíme s měnící se odporovou zátěží měnit i filtrační kapacitu C .

Proud zátěží I_{SS} je s odporem R_Z spojen Ohmovým zákonem

$$I_{SS} = \frac{U_{SS}}{R_Z}, \quad (7)$$

kde U_{SS} je stejnosměrné napětí na zátěži. Pokud je k_f výrazně větší než 1, je $U_{SS} = U_0$.

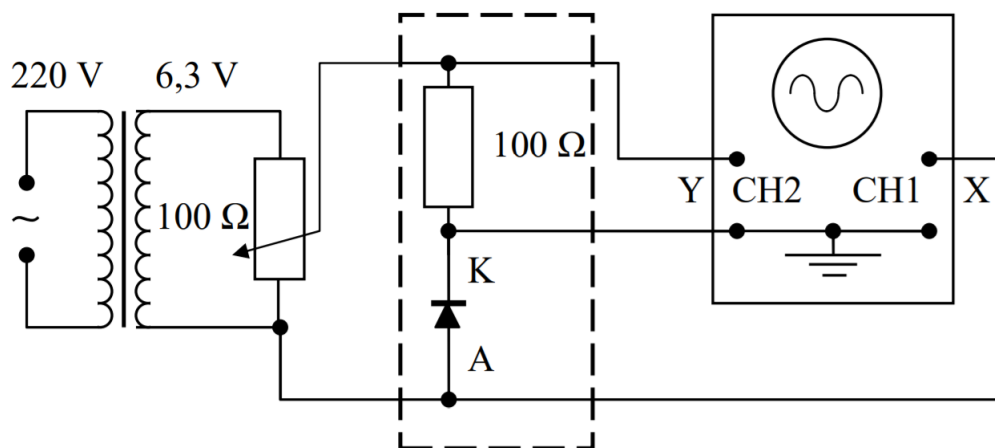
Podle (6) a (7) platí

$$C = \frac{T k_f I_{SS}}{U_0}, \quad (8)$$

tedy kapacita je přímo úměrná proudu.

Zobrazení V-A charakteristik

Osciloskop umožňuje zobrazit průběh napětí jak na ose X , tak i Y . To znamená, že pomocí rezistoru známého odporu můžeme na ose Y zobrazit proud, procházející součástkou, v závislosti na napětí. Pro toto měření použijeme zapojení z obrázku 6.



Obrázek 6: Zapojení použité pro zobrazení volt-ampérových charakteristik měřených součástek [2]

Výsledky měření

Úkol 1

Pomocí zapojení 2 jsem na osciloskopu odečetl špičkové napětí $U_{0,osc} = (10,8 \pm 0,2) \text{ V}$ při nastaveném rozsahu 2 V. Za chybu jsem určil polovinu nejmenšího dílku stupnice.

Na digitálním multimetru, nastaveného na rozsah 20 V střídavého napětí, jsem změřil efektivní hodnotu napětí $(7,67 \pm 0,06) \text{ V}$, což po přepočtu podle vzorce (3) dá špičkovou hodnotu napětí $U_{0,mm} = (10,85 \pm 0,08) \text{ V}$.

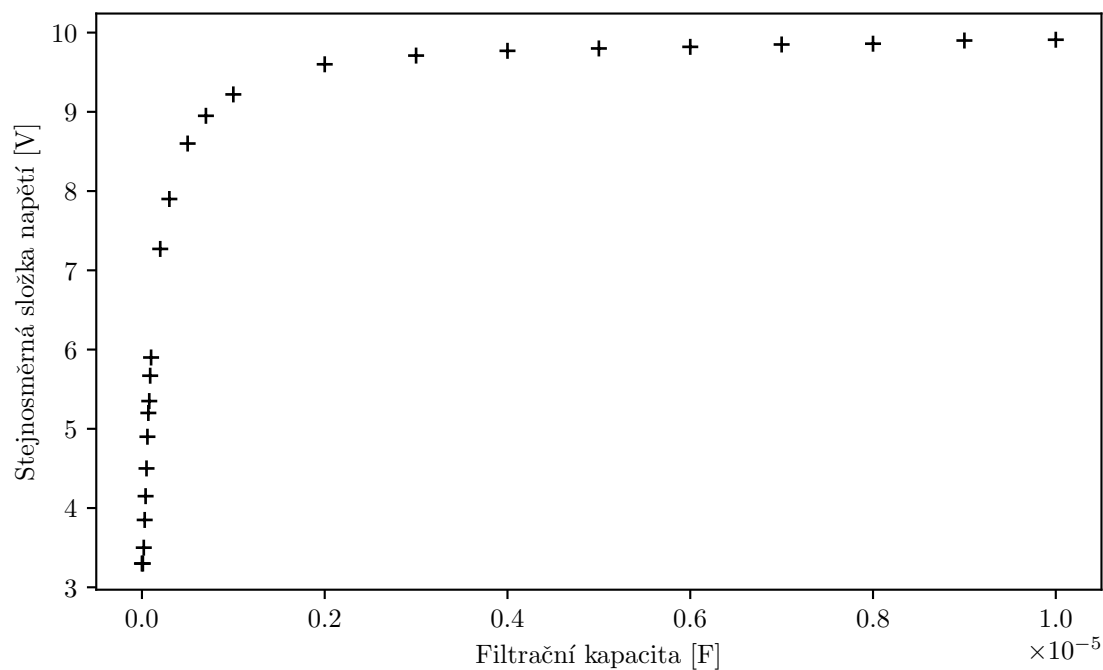
Úkol 2

V následující tabulce uvádím naměřené hodnoty pro úkol 2a pomocí zapojení 5 (bez ampérmetru). Chyba kapacity byla určena jako 1 % z hodnoty, nastavené na kapacitní dekádě, chyba napětí byla určena odhadem, jelikož hodnota, zobrazovaná multimetrem, se chaoticky měnila v menším či větším okolí uvedených hodnot.

C [F]	σ_C [F]	U [V]	σ_U [V]
1×10^{-10}	1×10^{-12}	3,3	0,2
1×10^{-8}	1×10^{-10}	3,3	0,2
2×10^{-8}	2×10^{-10}	3,5	0,2
3×10^{-8}	3×10^{-10}	3,9	0,2
4×10^{-8}	4×10^{-10}	4,2	0,3
5×10^{-8}	5×10^{-10}	4,5	0,3
6×10^{-8}	6×10^{-10}	4,9	0,3
7×10^{-8}	7×10^{-10}	5,2	0,3
8×10^{-8}	8×10^{-10}	5,3	0,3
9×10^{-8}	9×10^{-10}	5,7	0,3
1×10^{-7}	1×10^{-9}	5,9	0,3
2×10^{-7}	2×10^{-9}	7,3	0,3
3×10^{-7}	3×10^{-9}	7,9	0,3
5×10^{-7}	5×10^{-9}	8,6	0,3
7×10^{-7}	7×10^{-9}	8,9	0,2
1×10^{-6}	1×10^{-8}	9,2	0,2
2×10^{-6}	2×10^{-8}	9,6	0,2
3×10^{-6}	3×10^{-8}	9,7	0,1
4×10^{-6}	4×10^{-8}	9,8	0,1
5×10^{-6}	5×10^{-8}	9,8	0,1
6×10^{-6}	6×10^{-8}	9,8	0,1
7×10^{-6}	7×10^{-8}	9,8	0,1
8×10^{-6}	8×10^{-8}	9,9	0,1
9×10^{-6}	9×10^{-8}	9,9	0,1
1×10^{-5}	1×10^{-7}	9,9	0,1

Tabulka 1: Naměřené hodnoty pro úkol 2a

Průběh závislosti stejnosměrné složky napětí na filtrační kapacitě uvádím v následujícím grafu.



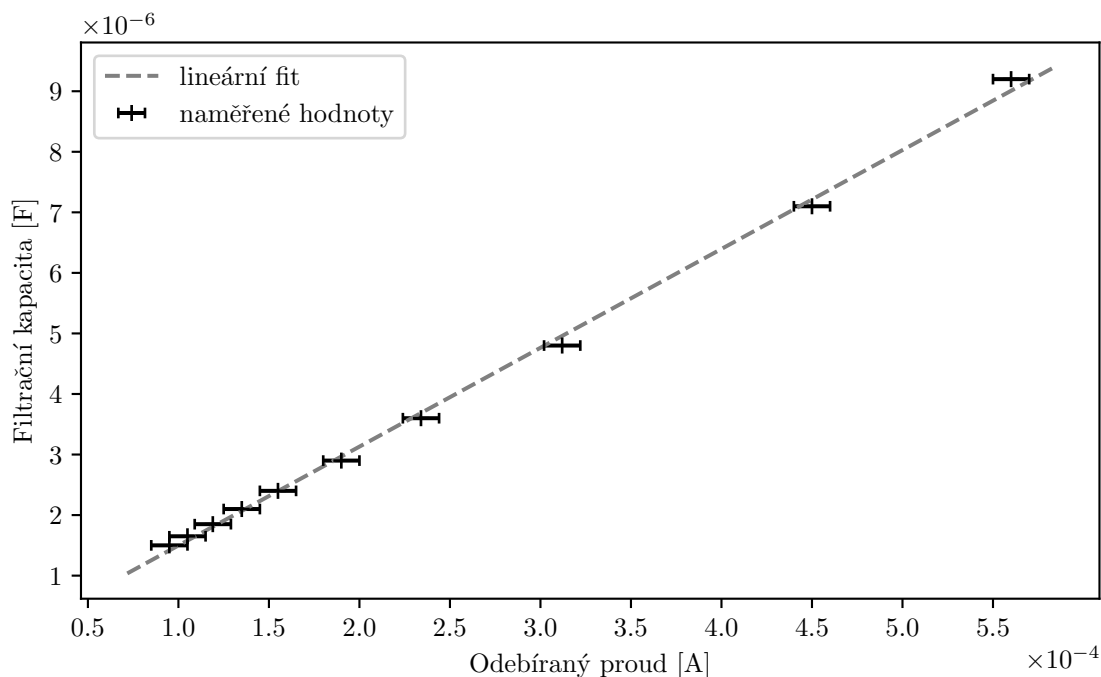
Obrázek 7: Závislost stejnosměrného napětí na filtrační kapacitě

Následující tabulka obsahuje hodnoty, naměřené pro úkol 2b pomocí zapojení 5. Chyby byly určeny shodně s předešlým případem.

I_{st} [A]	$\sigma_{I_{st}}$ [A]	C [F]	σ_C [F]
$9,5 \times 10^{-5}$	1×10^{-5}	$1,5 \times 10^{-6}$	$1,5 \times 10^{-8}$
$1,1 \times 10^{-4}$	1×10^{-5}	$1,7 \times 10^{-6}$	$1,7 \times 10^{-8}$
$1,2 \times 10^{-4}$	1×10^{-5}	$1,9 \times 10^{-6}$	$1,9 \times 10^{-8}$
$1,4 \times 10^{-4}$	1×10^{-5}	$2,1 \times 10^{-6}$	$2,1 \times 10^{-8}$
$1,5 \times 10^{-4}$	1×10^{-5}	$2,4 \times 10^{-6}$	$2,4 \times 10^{-8}$
$1,9 \times 10^{-4}$	1×10^{-5}	$2,9 \times 10^{-6}$	$2,9 \times 10^{-8}$
$2,3 \times 10^{-4}$	1×10^{-5}	$3,6 \times 10^{-6}$	$3,6 \times 10^{-8}$
$3,1 \times 10^{-4}$	1×10^{-5}	$4,8 \times 10^{-6}$	$4,8 \times 10^{-8}$
$4,5 \times 10^{-4}$	1×10^{-5}	$7,1 \times 10^{-6}$	$7,1 \times 10^{-8}$
$5,6 \times 10^{-4}$	1×10^{-5}	$9,2 \times 10^{-6}$	$9,2 \times 10^{-8}$

Tabulka 2: Naměřené hodnoty pro úkol 2b

Lineární závislost filtrační kapacity na protékaném proudu je vyobrazena v následujícím grafu. Protože relativní chyby proudu jsou mnohem významnější než chyby kapacity, graf obsahuje horizontální chybové úsečky.



Obrázek 8: Závislost filtrační kapacity na protékaném proudu

Úkol 3

S pomocí zapojení 6 jsem při sledování volt-ampérové charakteristiky z displeje osciloskopu odečetl proud při nulovém napětí $I_{U=0\text{ V}} = (1,0 \pm 0,5) \text{ mA}$ a napětí při proudu 20 mA $U_{A=20\text{ mA}} = (5,2 \pm 0,2) \text{ V}$. Tyto hodnoty jsou také zakresleny v přiloženém obrázku 9.

Při měření Zenerovy diody jsem odečetl napětí při proudu 20 mA $U_{A=20\text{ mA}} = (0,70 \pm 0,03) \text{ V}$ a Zenerovo napětí $U_{Zener} = (-6,60 \pm 0,03) \text{ V}$. Tyto hodnoty jsou zakresleny v přiloženém obrázku 10.

Všechny uvedené chyby byly určeny velikostí nejmenšího dílku stupnice osciloskopu na rozdíl od úkolu 1, kde jsem použil polovinu nejmenšího dílku. Může za to fakt, že tělo osciloskopu bylo patrně mírně zmagnetováno a volt-ampérová charakteristika byla mírně zdvojená.

Diskuse

Ačkoliv je osciloskop výborným pomocníkem při zobrazování průběhu okamžitého napětí, zřejmě není určen pro odečítání hodnot s vysokou přesností, jak ilustruje úloha 1, kde bylo špičkové napětí možné získat s pomocí digitálního multimetru s výrazně menší chybou. Kromě nepříliš podrobné stupnice osciloskopu ztěžoval také fakt, že použitý transformátor mírně deformoval harmonický průběh napětí.

Srovnáme-li hodnotu usměrněného napětí za použití filtrační kapacity $10 \mu\text{F}$ s hodnotou špičkového napětí měřeného v 1. úloze, vidíme rozdíl okolo 1 voltu. Tato ztráta je mimo jiné způsobena nedostatečným vyhlazením pomocí kondenzátoru, jednocestný usměrňovač

není tak efektivní jako usměrňovač dvoucestný a pro shodné vyhlazení je pro jednocestný usměrňovač potřeba dvojnásobná kapacita oproti dvoucestnému.

Mírně problematické bylo měření napětí a proudu digitálními multimetry při úkolu 2, kdy se hodnoty na displeji chaoticky měnily vždy v určitém rozsahu, což reflektují zvolené hodnoty chyb. Toto chování je do jisté míry vysvětleno nízkou kvalitou použitého transformátoru a použitím jednocestného usměrňovače.

Přesto, že odečítání významných hodnot v úkolu 3 bylo ztíženo okolnostmi, popsány ve výsledcích měření, použitím různých rozsahů a poloh počátku souřadnic, jakožto i nastavením optimálního napětí na potenciometru bylo dosaženo uspokojivé přesnosti.

Chyby, způsobené podmínkami okolí, odpory vodičů či změny odporů způsobené zahříváním, nejsou při tomto měření vzhledem k ostatním chybám podstatné, jejich důsledky tedy neuvažují.

Závěr

Pomocí osciloskopu jsem odečetl špičkovou hodnotu napětí $U_{0,osc} = (10,8 \pm 0,2) \text{ V}$ a s pomocí multimetru jsem vypočítal špičkové napětí $U_{0,mm} = (10,85 \pm 0,08) \text{ V}$. Hodnoty souhlasí v rámci chyby.

Výsledky úkolu 2 lze najít v tabulkách 1 a 2 a grafech 7 a 8.

Pomocí oscilátoru jsem sledoval V-A charakteristiku vakuové a Zenerovy diody, nákresy lze najít v příloženém obrázku 9, respektive 10. Pro vakuovou diodu byly určeny speciální hodnoty

$$I_{U=0 \text{ V}} = (1,0 \pm 0,5) \text{ mA},$$

$$U_{A=20 \text{ mA}} = (5,2 \pm 0,2) \text{ V},$$

pro Zenerovu diodu hodnoty

$$U_{A=20 \text{ mA}} = (0,70 \pm 0,03) \text{ V},$$

$$U_{Zener} = (-6,60 \pm 0,03) \text{ V}.$$

Literatura

- [1] Studijní text "Osciloskop", dostupné z http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/mereni_205.pdf
- [2] Studijní text "Měření napětí osciloskopem", dostupné z http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_205.pdf