



Skripta

Školní rok : 2005/ 2006

Modul:

ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ skripta 4 **OSCILOSKOPY**

Obor:

26-46-L/001 - Mechanik elektronik

26-51 H/003 – Elektrikář

26-75-4 – Elektrotechnika

Ročník:

2. ročník - Mechanik elektronik

3. ročník - Elektrikář silnoproud

2. ročník - Elektrotechnika

Zaměření:

Slaboproud

Silnoproud

Elektrotechnika

Výchovné cíle:

- V tomto modulu - bloku se seznámíte s měřícím přístrojem osciloskopem
- Budete znát co je a na co slouží osciloskop
- Budete znát jak pracuje obrazovka osciloskopu
- Budete znát na co a jak se používají vychylovací systémy
- Budete znát jeho hlavní části – funkční celky
- Budete znát jak se na osciloskopu zobrazuje a měří
- Budete vědět co to je dvoukanálový osciloskop a na co se používá

Předpokládané znalosti pro zvládnutí modulu – bloku Osciloskopy

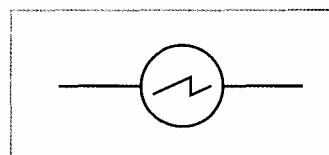
- blok Měřící přístroje
- blok Měřící soustavy
- blok Měření elektrických veličin

1. Osciloskop

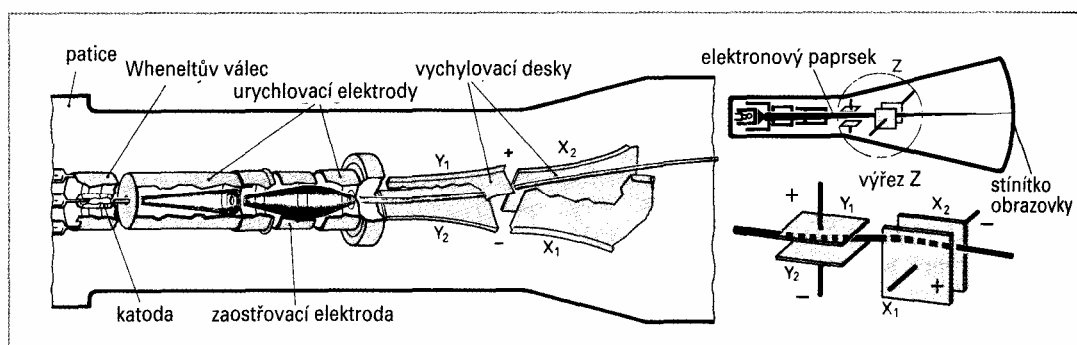
Osciloskop¹ slouží k zobrazování časových průběhů napěťových elektrických (převážně periodických) signálů. Elektronový paprsek je v Braunově² elektronce (obrazovce) vychylován dvěma soustavami desek elektrostatického vychylování. Sledovaná vstupní napětí jsou zesilována tak, že osciloskopy mají rozlišení až 0,1 mV.

Osciloskop (obr. 1) se skládá z 4 hlavních částí:

- obrazovka,
- vertikální zesilovač (vstupního signálu), Y-zesilovač,
- časová základna (generátor pilových kmitů pro horizontální vychylování), X-zesilovač,
- síťový zdroj včetně zdroje vysokého napětí pro obrazovku.



Obr. 1 Schematická značka osciloskopu

1.1. Vakuová obrazovka

Obr. 2 Systém ovládání elektronového paprsku v obrazovce osciloskopu

Vakuová obrazovka (obr. 2) je nejdůležitější část osciloskopu s vakuovou obrazovkou. Je tvořena skleněnou baňkou kuželového tvaru s válcovým krkem. V krku obrazovky je žhavená katoda emitující³ elektrony, zaostřovací a urychlovací elektrody. Rozžhavený povrch katody vyzařuje elektrony. Katoda je tvořena niklovou trubičkou, ve které je stočen drát nepřímého žhavení. Povrch katody je potažen vrstvou oxidu baria nebo oxidu stroncia. Tyto oxidy emitují dostatek elektronů již při rudém žáru (asi 800 °C). Svazek elektronů emitovaných

katodou je zaostřen do úzkého svazku „elektronovou optikou“ a urychlen směrem ke stínítku obrazovky, na kterém vy volá ve fotoemisní vrstvě vyzáření světla. Zaostřený a urychlený paprsek je z osového směru vychylován dvěma **vychylovacími systémy** a může dopadnout na **kterýkoliv bod stínítka obrazovky**.

Žhavená emitující katoda je obklopena řídicí elektrodou ve tvaru hrnce s otvorem pro paprsek elektronů ve dně, která se nazývá **Wehneltův⁴ válec** a má vůči katodě záporný potenciál, který **elektrony brzdí a některé vrací zpět na katodu**.

Záporné předpětí na Wehneltově válci řídí jas (intenzitu paprsku) obrazu.

Otočný knoflík odporového trimru, kterým se nastavuje jas (záporné předpětí), je na čelní straně osciloskopu s označením jas (INTENS).

1 osciloskop = sledovač kmitů (oscilací) Od oscilare (lat.) = kmitat, skopem (řecky) = sledovat

2 Karel Ferdinand Braun, německý fyzik (1850—1918)

3 emittere (lat.) = vysílat

4 Arthur Wehnelt, německý fyzik (1871—1944)

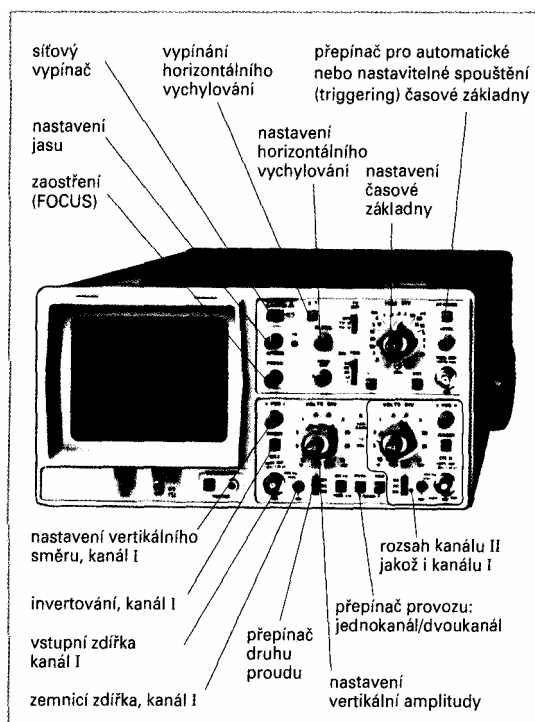
Elektronový paprsek se skládá ze záporně nabitých elektronů, které se vzájemně odpuzují. **Paprsek má snahu se rozptýlit a musí být proto zaostřován zaostřovací elektrodou**. Tato prstencová elektroda (obr. 2 na str. 350) je umístěna mezi dvěma urychlovacími elektrodami, které mají oproti katodě vysoké kladné napětí (tisíce voltů). Samotná zaostřovací elektroda má napětí několik stovek voltů. Toto napětí se nastavuje odporovým trimrem.

Nastavitelné napětí na zaostřovací elektrodě zužuje (zaostřuje) elektronový paprsek.

Otočný knoflík odporového trimru pro nastavení zaostření paprsku je na čelní straně osciloskopu označen Focus (ohnisko) (**obr. 1**).

Mezi paprskovým vyzařovacím systémem (katoda, urychlení a zaostření) a stínítkem obrazovky projde paprsek mezi dvěma páry vychylovacích destiček (**obr. 2**), které mohou vychylovat paprsek ve svislém a ve vodorovném směru. K tomu účelu je druhý pár vychylovacích destiček oproti prvnímu páru pootočen o 90° kolem podélné osy obrazovky. Je-li na dvojici vychylovacích destiček přivedeno napětí, je paprsek vychýlen směrem ke kladné desce z přímkové dráhy na parabolickou.

Svislé vychylování elektronového paprsku se nazývá vertikální (Y - vychylování), vodorovné vychylování se nazývá horizontální (X - vychylování).



Obr. 1 Čelní a obslužný panel osciloskopu

Toto **elektrostatické vychylování nemá téměř žádnou setrvačnost**, vyžaduje však ve srovnání s elektromagnetickým vychylováním

obrazovek televizorů (které umožňuje vychylování v úhlu až 120°) **delší stavbu obrazovky**, proto že by při větších vychylovacích úhlech docházelo ke **zkreslení**.

Elektrony paprsku dopadají velkou rychlostí na luminiscenční vrstvu stínítka obrazovky a **vyrážejí z luminiscenční vrstvy** další elektrony (**sekundární elektrony**). Tyto sekundární elektrony jsou přitaženy anodou obrazovky, která má vysoké kladné napětí a je tvořena grafitovým povlakem na vnitřní stěně obrazovky v blízkosti stínítka (obrazovky). Napětí na anodě urychluje paprsek po průchodu vychylovací soustavou.

Stínítka na přední vnitřní straně obrazovky je tvořeno vrstvou luminoforu, obsahujícího sulfid, oxid nebo silikát zinku nebo kadmia, který je příměsí malého množství stříbra, zlata, mědi nebo manganu aktivován k luminiscenčním schopnostem. Luminofory se **rozdílejí podle barvy, jasu a setrvačnosti**. Pro osciloscipy se většinou používá **luminofor zelené barvy**, na kterou je oko dosti citlivé. **Modrý luminofor** se používá v případech, kdy se počítá s **černobílým fotografováním obrazovky**.

Dvoupaprskové obrazovky obsahují v jedné baňce dva paprskové a vychylovací systémy. Často je paprsek z jedné katody po průchodu zaostřovací elektronovou optikou rozdělen clonou se dvěma otvory na dva paprsky. Časová základna (tj. horizontální vychylování) může být pro oba paprsky společná. Dva vertikální zesilovače pak modulují oba paprsky dvěma vstupními signály.

1.2. Funkční celky osciloskopu

Vedle obrazovky obsahuje osciloskop další funkční celky. Blokové schéma je na **obr. 2**. Ovládací prvky bývají na čelním panelu různě rozmístěny i různě (většinou anglicky) označovány.

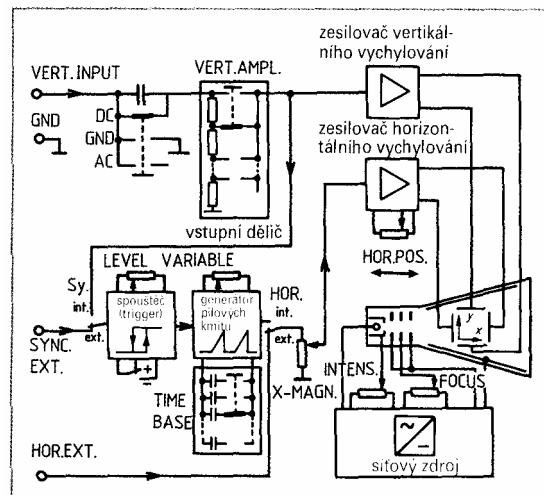
Funkce jednotlivých celků a obsluha osciloskopu bude vysvětlena na jednocanálovém přístroji.

Síťový díl osciloskopu transformuje a usměrňuje síťové napětí. Dodává potřebná stejnosměrná napětí pro polovodičové elektronické prvky a žhavicí a vysoké anodové napětí pro obrazovku.

Vstupní dělič je vícestupňový kalibrováný napěťový dělič pro dělení vstupního signálu.

Dělič, případně následný zesilovač upraví amplitudu vstupního signálu tak, aby byla pro zobrazení využita optimálně celá obrazovka.

Dělič je v blokovém schématu na **obr. 2**, označen VERT.AMPL. (Vertical amplitude).



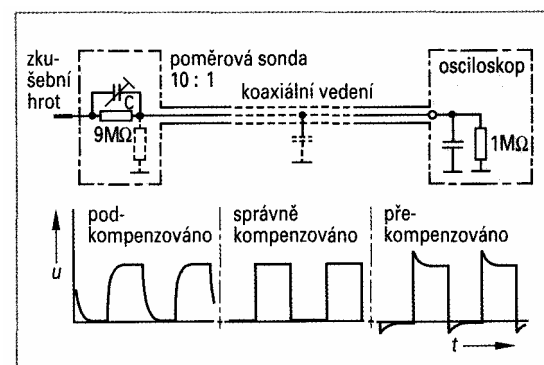
Obr. 2 Blokové schéma jednocanálového osciloskopu

Na Y-vstup (VERT.INPUT) je možno připojit koaxiální měřicí vedení měřicí sondy, používané hlavně při vysokofrekvenčních měřeních. Koaxiální vedení vede signál středovým vodičem a vnější stínicí měděný oplet je spojen se zemí. Oplet z tenkých měděných vodičů tvoří stínění proti cizím elektrickým i magnetickým polím.

Měřicí sonda, která obsahuje napěťový dělič, je poměrová sonda (např. sonda 1: 10). Dělič je tvořen většinou odpory, pro vyšší kmitočty také kondenzátory. Používají se poměrové sondy 1: 10 a 1: 100.

Dělicí (poměrová) sonda snižuje vstupní napětí, ale také méně zatěžuje měřený objekt.

Výsledek měření odečtený z obrazovky osciloskopu s rastrem je nutno násobit poměrem měřicí sondy. Způsobí-li



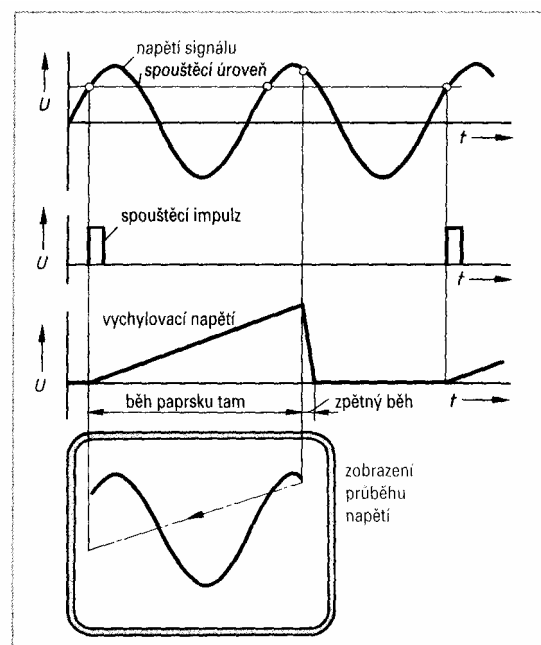
Obr. Kompenzace poměrové sondy

např. měřené napětí U při nastaveném měřítku (vstupním děličem napětí) 5 V/cm velikost signálu na obrazovce 2 cm a je měřené sondou $10:1$, pak je $U_x = 2 \text{ cm} \cdot 5 \text{ V/cm} \cdot (10:1) = 100 \text{ V}$.

Vstup osciloskopu zatěžuje měřený obvod vstupním odporem (asi $1 \text{ M}\Omega$) a malou kapacitou (okolo 30 pF). Kapacita stíněného koaxiálního kabelu měřicího kabelu je k tomu zařazena paralelně (**obr.**). Při vyšších kmitočtech ovlivňují tyto kapacity dělení napětí. Kapacitním trimrem v poměrové sondě zařazeným paralelně k odporu lze tento vliv kompenzovat. Kapacitní trimr musí být nastaven tak, aby dělení odpory odpovídalo dělení pomocí kapacit. Vyrovnání (kompenzaci) je nejlépe nastavovat při obdélníkových vstupních pulsech, protože mají mnoho vyšších harmonických (v rozkladu na harmonické kmitočty). Obdélníkové pulsy je možno často odebrat na jedné zdířce osciloskopu. Trimr se musí nastavit tak, aby na obrazovce byly vidět nezkreslené obdélníkové pulsy (**obr.**).

Vertikální zesilovač dává zesílený signál jako vychylovací napětí (do 100 V) pro vertikální vychylovací destičky. Má velké zesílení. K vychýlení paprsku např. o 1 cm (na stínítku obrazovky) stačí jen 50 mV nebo ještě méně. Vertikální zesilovač musí nezkresleně zesilovat stejnosměrná a střídavá napětí až do rozsahů v MHz. S okrajovými kmitočty a šíří pásma rostou však nároky na kvalitu zesilovače. Při přepnutí přepínače na režim kalibrace je možno zesilovač zkontrolovat a nastavit kontrolní signál na obrazovce na předepsanou velikost knoflíkem s označením POS (position), **obr. 1**,

Horizontální zesilovač většinou zesiluje pilové kmitočty časové základny (**viz obr.**), které umožní sledovat na osciloskopu periodické vstupní signály jako neměnné průběhy.



Obr. Spouštění časové základny

Pilovité periodické kmitočty s lineárním průběhem náběžné hrany (**obr.**) způsobují vodorovné (horizontální) vychylování paprsku.

Periodické pilovité napětí (**obr.**) na horizontálních vychylovacích deskách, vede elektronový paprsek rovnoměrně zleva doprava (při čelním pohledu na obrazovku) a pak se rychle vrací zpět. Během zpětného chodu pilovitého napětí je paprsek potlačen (zhasnut) záporným (štmívacím) impulsem přivedeným na Wheneltův válec.

Časová základna tvořená generátorem pilových kmitů (**obr. 2**, str. 351) je stupňovitě nastavitelná v širokém rozpětí kmitočtů a kmitočty je možno jemně doladit (knoflíkem VARIABLE).

Pro měření času (periodického pulsu na obrazovce osciloskopu) musí být kvůli přesnosti jemně nastavení kmitočtu časové základny v horní části rozsahu.

Obraz průběhu periodického signálu je na obrazovce nehybný (neubíhá ani doleva, ani doprava), je-li perioda pilovitého kmitu časové základny shodná s periodou sledovaného periodického signálu, nebo celočíselným násobkem periody sledovaného signálu. Toho lze dosáhnout **synchronizací časové základny** spouštěním (triggering) odvozeným např. od nástupní hrany měřeného signálu.

U osciloskopu se synchronizovanou časovou základnou dostává generátor pilových kmitů pro každý pilový signál nový spouštěcí impuls.

Po každém průběhu pilovitého kmitu se hodnota napětí vrátí zpět na nejnižší hodnotu a generátor čeká na spouštěcí impuls Schmittova klopného obvodu. Spouštěcí napětí vstupní ho signálu (úroveň při které se spustí Schmittův obvod) je možno nastavit.

Přepínačem druhu proudu na Y - vstupu lze přepnout na AC (střídavý signál) nebo na DC (stejnoseměrný signál). V režimu střídavého signálu oddělí vstupní kondenzátor stejnosměrnou složku. V režimu stejnosměrného vstupu lze osciloskop použít k měření stejnosměrného napětí.

V mezipoloze přepínače je vstup uzemněn a v činnosti je jen vodorovné vychylování.

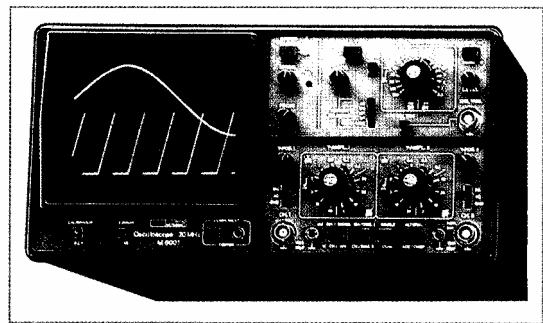
Časovou základnu lze synchronizovat i externím signálem odlišným od signálu vstupního, přivedeným na vstup označovaný většinou SYNC.EXT po přepnutí příslušného přepínače (do polohy Sy.ext.). Přepínačem označeným (+/-) pak určíme, zda spouštění (triggering) časové základny bude nástupnou (+) nebo sestupnou hranou (-) externího impulsu.

1.3. Dvoukanálový osciloskop

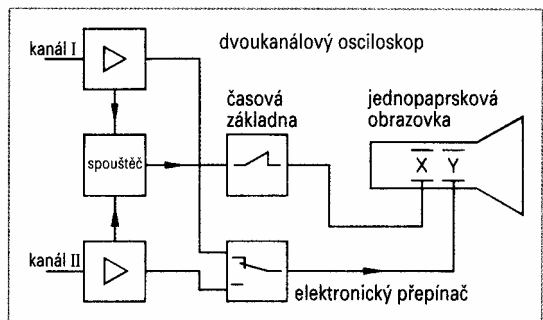
Velmi často je potřeba porovnat vzájemně průběhy dvou současných periodických signálů. K tomuto účelu slouží dvoukanálový osciloskop (obr. 1), který má ve srovnání s jednocanálovým dva Y-vstupy a dva oddělené Y-zesilovače.

Pro současné sledování dvou signálů stačí jednopaprsková obrazovka. Obvod vertikálního vychylování je střídavě buzen výstupy z obou Y-zesilovačů, elektricky přepínaných vysokým kmitočtem. Oba vstupní signály tak střídavě ovlivňují vychylování paprsku.

Pokud mají oba vstupní signály nízký kmitočet, je elektronický přepínač nastaven na velkou přepínací frekvenci (50 kHz až 500 kHz), při které rozsekává průběhy signálů na malé části (režim Chopper¹ a po částech zobrazuje (obr. 3 vpravo). Přepínací kmitočet by měl být 10-krát vyšší než kmitočet vstupního signálu (vyšším kmitočtem), aby bylo možno oba průběhy zřetelně rozlišit.



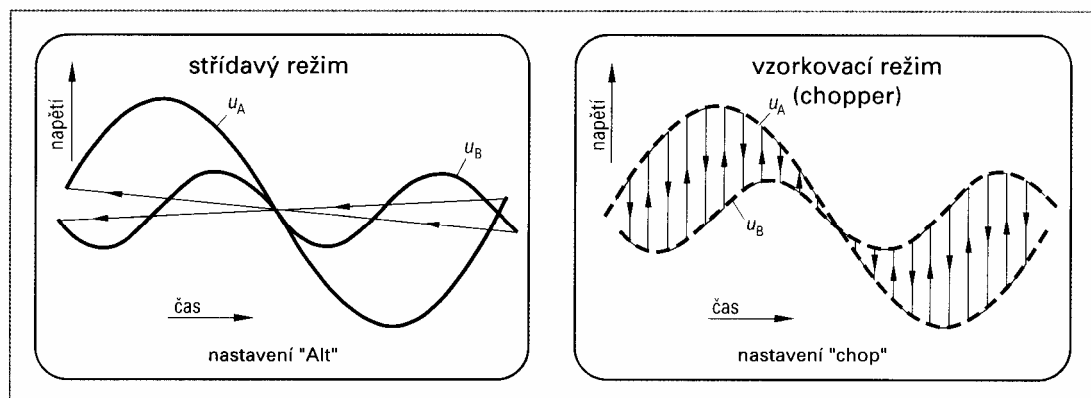
Obr. 1 Dvoukanálový osciloskop



Obr. 2 Dvoukanálový osciloskop (blokové schéma)

Pokud mají oba vstupní signály vysoký kmitočet, je elektronický přepínač nastaven na malou přepínací frekvenci, při které jsou oba celé průběhy zobrazovány střídavě (režim Alternate² s frekvencí časové základny (obr. 3 vlevo).

Dvoukanálové osciloscipy jsou levnější než dvoupaprskové osciloscipy, ale jsou vhodné jen pro poměrně nízké kmitočty vstupních signálů do 1 MHz.



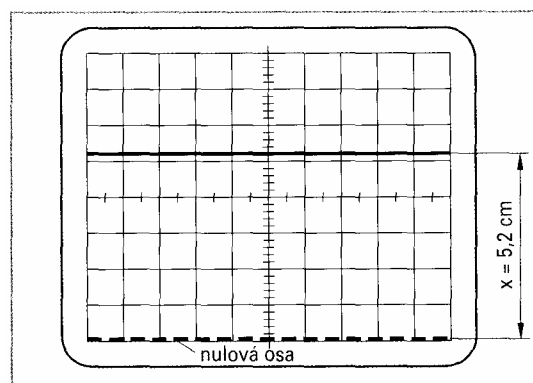
Obr. 3 Režimy dvoukanalového osciloskopu

- 1 Chopper (angl.) = sekačka
- 2 Alternate (angl.) = střídavý

1.4. Měření pomocí osciloskopu

Osciloskop měří jen napětí proti zemi (kostře), proto je třeba před měřením propojit zem měřeného objektu se zemí osciloskopu. Kryt osciloskopu je však často spojen s ochranným vodičem napájeného síťového přívodu. Je proto někdy nutné připojit měřený objekt k síti přes oddělovací transformátor.

Osciloskop může měřit jenom napětí. Všechny měřené zobrazované veličiny jsou proto pro účely měření převáděny na odpovídající napětí.



Obr. Měření stejnosměrného napětí osciloskopem

Měření stejnosměrných napětí. Na osciloskopu nastavíme nejprve vodorovnou časovou osu. Ta může být jen tak světlá, aby byla ještě dobře vidět. Při velkém jasu může dojít k poškození luminoforu, protože bez vodorovného vychýlení může paprsek vypálit bod. Stejnosměrné napětí (přepínač druhu proudu na DC) vychýlí paprsek dle polarity nahoru nebo dolů. Pro měření kladných napětí (výchylka nahoru) posuneme pro větší rozlišení vodorovnou nulovou osu na nejspodnější linku rastru (obr.), pro měření záporných napětí (výchylka dolů) na horní linku rastru obrazovky. Velikost výchylky, např. 5,2 cm, odečteme na rastru obrazovky, který má na svislé ose milimetrové dělení a centimetrovou mřížku (rastr). Odečtenou délku násobíme na staveném měřítkem, např. 3 V/cm a eventuelně ještě poměrovým činitelem měřicí sondy např. 10: 1. Dostaneme pak $U = 5,2 \text{ cm} \cdot 3 \text{ V/cm} \cdot (10: 1) = 156 \text{ V}$. Vysoký vstupní odpor osciloskopu, který bývá 1 M Ω a s měřicí sondou 10 : 1 kolem 10 M Ω , nezatěžuje prakticky vůbec měřený objekt.

Měření střídavých napětí. Střídavé napětí na Y-vstupu (přepínač druhu proudu na AC) vychyluje paprsek střídavě nahoru a dolů. Při zapnuté časové základně se objeví na obrazovce časový průběh vstupního signálu (je-li periodický), nebo světlý pruh, je-li signál neperiodický.

Osciloskopem lze měřit okamžitou hodnotu (např. špičku) střídavého signálu.

Dvojnásobná špičková hodnota střídavého napětí, takzvaná hodnota špička - špička, nebo špička - min. hodnota je rozdíl nejvyšší a nejnižší výchylky stopy paprsku na stínítku

obrazovky násobený nastaveným měřítkem ve V/cm, které je měněno stupňovitě přepínačem na ovládacím panelu, označovaným VERT.AMPL.

Zobrazení střídavých veličin. Vstupní signál je přiváděn na Y-vstup (Vert.input.) a kostru (GND). Časová základna a spouštění se musí nastavit tak, aby obraz průběhu periodického signálu byl ustálený a klidně stál.

Průběh proudu lze měřit nepřímo měřením úbytku napětí na malém odporu způsobeného proudem.

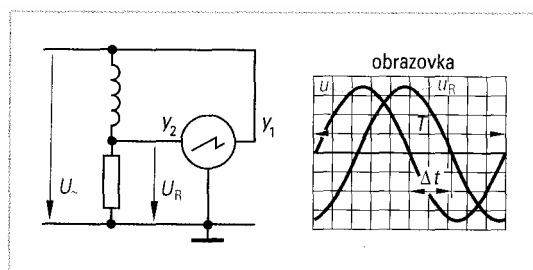
Měření kmitočtu. K měření délky periody a tím i kmitočtu střídavého signálu se nastaví jemná regulace časové základny (přepínač VARIABLE do pozice cal). Časová základna se stupňovitým přepínačem se nastaví tak, aby jedna perioda měřeného signálu zabírala co největší část obrazovky. Práh spouštění časové základny (LEVEL) se nastaví tak, aby průběh začínal při průchodu nulou. Pak odměříme na rastru obrazovky délku periody. Odměřené vzdálenosti, např. 7,5 cm při rychlosti časové základny 0,3 ms/cm, pak odpovídá kmitočet $f=1/T=1/(7,5\text{ cm } 0,3\text{ ms/cm})$ 444 Hz.

Měření fázového posunu. Dvě střídavé elektrické veličiny lze nejlépe zobrazit současně na dvoupraprskovém nebo na dvoukanálovém osciloskopu. Na vstupy obou kanálů jsou přivedeny periodické signály (těže frekvence), jejichž fázový posun chceme změřit.

První napětí může být např. úbytek napětí sledovaného proudu na nějakém odporu a druhé napětí může být např. celkové napětí na sériovém zapojení odporu a cívky (obr. 1).

Na obrazovce pak měříme odstup Δt (v cm) a ten podělíme délkou společné periody T (rovněž v cm), odpovídající trvání periody.

Fázový posun φ mezi celkovým napětím a proudem je potom $\varphi = 360 \Delta t/T$.

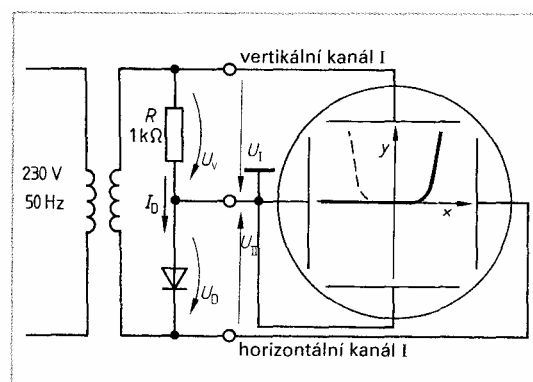


Obr. 1 Měření fázového posunu na obrazovce osciloskopu

Zobrazování charakteristik

U dvoukanálového osciloskopu je většinou možné přepnout druhý kanál na vodorovný vychylovací systém (namísto časové základny). Pak je možno libovolně měnit měřítka v obou osách.

Na obrazovce je tak možno zobrazit např. charakteristiku diody jako vztah mezi napětím na diodě a proudem tekoucím diodou, zařadíme-li do série s diodou odpor $1\text{ k}\Omega$. Sériové spojení diody s odporem připojíme na střídavé napětí 50 Hz transformátoru (obr. 2). Kostru (zem) osciloskopu připojíme na spojení mezi diodou a odporem. Napětí na diodě na vstupu kanálu II vychyluje paprsek doleva a doprava, úbytek napětí na odporu R na vstupu kanálu I vychyluje paprsek nahoru a dolů. Tento úbytek napětí je úměrný proudu, který protéká diodou.



Obr. 2 Zobrazení charakteristiky diody

Elektronový paprsek pak kreslí charakteristiku diody zrcadlově (čárkovaná čára v obr. 2), oblast propustnosti diody se znázorní ve II. kvadrantu diagramu. Protože je kostra osciloskopu připojena na střed sériového spojení odporu a diody, stojí napětí diody pro osciloskop „na hlavě“:

$U_{II} = -U_F$. Přepneme-li na obrácení fáze (INVERT¹) na II. kanále, zobrazí se charakteristika diody v běžné podobě (silná plná čára na obr. 2).

Je-li hodnota odporu R desítkový násobek 1Ω např. 100Ω nebo $1 k\Omega$ pak může být měřítko svislé osy pro proud diody lehce vypočteno. Při odečítacím měřítku $2 V/cm$ a odporu $R = 1k\Omega$ je měřítko $2 V/cm / 1 k\Omega = 2 mA/cm$.

1 INVERT (anglicky) = převrácený

Pojmy k zapamatování:

- časová základna, vychylovací systémy, Wehneltův válec, luminofor, poměrová sonda, Vertikální zesilovač, Horizontální zesilovač, Časová základna, Dvoukanálový osciloskop, chopprovací režim, Měření stejnosměrných napětí., Měření střídavých napětí., Měření kmitočtu

Kontrolní otázky:

1. Jakou úlohu mají v obrazovce vychylovací elektrody?
2. Jakým směrem se vychýlí paprsek v obrazovce, je-li na vertikálních deskách nahoře záporné napětí a dole kladné?
3. Co je u osciloskopu vychylování X?
4. Co je to vychylování Y osciloskopu?
5. Jak se pohybuje na obrazovce paprsek, je-li zapnuta jen časová základna?
6. Jaký tvar mají impulsy vyráběné časovou základnou?
7. Jak se projeví na obraze zvětšení napětí časové základny?
8. Jaké nebezpečí hrozí při nečinnosti jednoho ze zesilovačů X, Y?
9. Jakou výhodu má řízené spouštění časové základny (triggering)?
10. K čemu slouží u osciloskopu sonda, nebo poměrová sonda?
11. Co znamená vzorkovací režim (Chopper) u osciloskopu?
12. Pro jaké kmitočty signálů se používá střídavý režim (Alternate)?