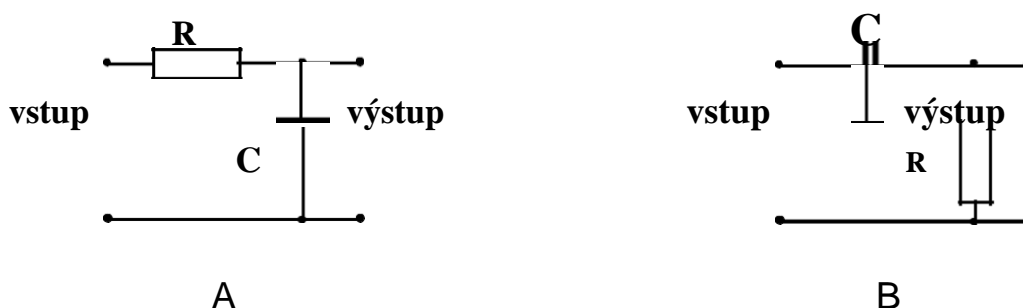


FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKA INTEGRAČNÍHO A DERIVAČNÍHO ČLENU RC

Při zpracovávání střídavých elektrických signálů je nutno zajistit oddělení sledovaného (užitečného) signálu od nežádoucích rušivých signálů. Proto jsou elektronické obvody, nejčastěji zesilovače, konstruovány tak, aby diferencovaně zpracovávaly kmitočtová pásma s užitečnými signály a pásma tyto signály neobsahující. Dle požadované šířky zesilovaného pásma sledovaných kmitočtů lze zesilovače dělit na širokopásmové a úzkopásmové neboli selektivní, což záleží na zařazení obvodů ovlivňujících přenos signálů různých frekvencí.

Nejčastěji používanými obvody pro ovlivnění přenosu střídavých elektrických signálů jsou členy RC, tj. kombinace rezistoru a kondenzátoru. V odborné literatuře jsou tyto obvodové prvky označovány také jako články, čtyřpóly, dvojbrany či filtry. Podle způsobu jejich zapojení rozlišujeme integrační a derivační člen RC (obr.1).



Obr.1 Integrační (A) a derivační (B) článek RC

Důležitou charakteristickou veličinou těchto obvodů je jejich napěťový přenos A . Je definován vztahem: $A = U_2 / U_1$, kde U_1 je vstupní a U_2 výstupní napětí členu. Znázornění frekvenční závislosti absolutní hodnoty přenosu napětí poskytuje útlumová charakteristika. Přenos se při tomto znázornění vyjadřuje obvykle v decibelech:

$$a = 20 \log \frac{U_2}{U_1} \quad [\text{dB}] \quad (\text{I})$$

Přenos napětí pro **integrační** člen RC (obr.1 A) lze vypočítat ze vztahu:

$$A = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \cdot C^2 \cdot R^2}} \quad (\text{II})$$

kde ω je kruhová frekvence střídavého proudu ($2\pi \cdot f$), C kapacita kondenzátoru a R ohmický odpor rezistoru. Pokud je $\omega \cdot C \cdot R \ll 1$, je přenos napětí přibližně roven jedné, tj. člen RC nepotlačuje napětí. Jestliže $\omega \cdot C \cdot R = 1$, pak pro poměr napětí platí:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

a s ohledem na vztah (I) můžeme říci, že útlum činí v tomto případě -3 dB.

Kmitočet, odpovídající tomuto poměru napětí, nazýváme mezní (kritický) a lze jej vyjádřit vztahem:

$$f_m = \frac{1}{2 \pi \cdot R \cdot C}$$

a upravit výraz (II) do podoby:

$$A = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{f^2}{f_m^2}}}$$

kde f je libovolná frekvence střídavého proudu. Za situace, kdy $\omega.C.R \gg 1$, tj. $f > f_m$, je přenos napětí výrazně menší než jedna, tj. tento člen napětí potlačuje, snižuje či téměř nepropouští. Tohoto jevu se používá k filtraci, **integrační člen RC** proto **působí jako tzv. dolní propust**, tj. od mezního kmitočtu jsou vyšší frekvence postupně stále více omezovány. Pro **derivační člen RC** (obr.1 B) lze absolutní hodnotu přenosu napětí vyjádřit vztahem:

$$A = \frac{\omega.C.R}{\sqrt{1 + \omega^2.C^2.R^2}} = \frac{f}{f_m} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{f^2}{f_m^2}}}$$

Jak vyplývá z porovnání s předchozím vztahem, dosazené frekvence jsou v obráceném poměru a v tomto případě se přenos napětí menší než 1 projevuje při $f < f_m$ Proto derivační člen RC **působí jako horní propust**, kdy od mezního kmitočtu jsou nižší frekvence stále více potlačovány.

Popis obou členů RC je z didaktického hlediska zjednodušen a popsané vztahy platí pro optimální impedanční přizpůsobení vstupů i výstupů těchto členů (na vstup přiveden signál ze zdroje o nulovém vnitřním odporu, výstup článku nezátížen = z výstupu není odebírán žádný proud). Názvy článků jsou odvozeny od jejich chování při aplikaci obdélníkových napěťových pulzů.)

Princip měření předkládané úlohy je následující:

Střídavé napětí z generátoru budeme přivádět na vstup integračního či derivačního členu RC, jehož výstup bude připojen na vertikální zesilovač osciloskopu. Při konstantním výstupním napětí generátoru budeme postupně nastavovat frekvence doporučené pro měření dle typu a provedení členu RC (integrační či derivační člen, vybrané kmitočtové pásmo). Na obrazovce osciloskopu vždy odečteme odpovídající hodnotu amplitudy. Výsledné hodnoty ve voltech vždy získáme vynásobením výšky stopy (počet dílů rastru) a nastaveného vychylovacího činitele (ve V/díl).

Stejně měření pro několik vybraných frekvencí provedeme po přímém propojení výstupu generátoru a vstupu osciloskopu (bez členů RC), což umožní posoudit frekvenční charakteristiku použitého vertikálního zesilovače.

Ze zjištěných hodnot napětí můžeme vypočítat útlum měřeného členu RC pro omezené frekvence dle vztahu (I). **U_1 bude odpovídat výstupnímu napětí generátoru vyjádřenému jeho amplitudou.** Tuto hodnotu vypočítáme z efektivní hodnoty indikované měřidlem generátoru, tj.

$$U_1 = U_{ef} \cdot \sqrt{2}$$

nebo ji můžeme přímo změřit osciloskopem připojeným na vstup měřeného členu RC společně s generátorem. U_2 bude vždy odpovídat napětí změřenému osciloskopem na výstupu členu RC při jednotlivých doporučených frekvencích.

Obdobným způsobem lze určit útlum či pokles zesílení vertikálního zesilovače osciloskopu (při měření bez členů). I v tomto případě musíme U_1 vypočítat z efektivní hodnoty indikované měřidlem generátoru, U_2 bude opět odpovídat napětím změřeným osciloskopem pro jednotlivé frekvence.

Souvislosti:

Diagnostika některých onemocnění je spojena s posuzováním elektrických projevů příslušných tkání či orgánů. Proces zajišťující vyhodnocování bioelektrických potenciálů, od snímání až po jejich zobrazení, vyžaduje i v klinické praxi dodržovat obecné zásady pro zpracovávání střídavých elektrických signálů. Z tohoto hlediska je třeba respektovat impedanční poměry při snímání potenciálů z lidského organismu a zajistit patřičné zesílení získaných signálů jak s vyloučením možných druhů jejich zkreslení, tak s maximálním omezením znehodnocujícího vlivu vnějších rušivých signálů. V této oblasti se uplatňují nejrůznější filtry, které propouštějí pouze kmitočty zpracovávaných signálů, a jejichž základními prvky bývají integrační a derivační členy RC.

Mnohdy nedostačující strmost útlumu těchto jednoduchých členů se znásobuje řazením více stejných členů za sebou. S konkrétními aplikacemi převážně integračních členů RC se setkáváme např. u nejčastěji prováděných zpracování biopotenciálů srdečních, mozkových a svalových, pro něž lze uvést následující údaje:

druh signálu	rozsah amplitud	rozsah kmitočtů
EEKG	0,5 - 4,0 mV	0,05 - 200 Hz
EEG	5-300 μ V	0,5 - 150 Hz
EMG	0,1 - 5,0 mV	1,5 - 1000 Hz

Jednostranné omezení frekvenčního pásma dolní nebo horní propustí však nepostačuje pro některá speciální zpracování sledovaných signálů. V těchto případech je nutno používat složitějších kombinací integračních a derivačních členů RC, které pak tvoří selektivní propusti (např. při kmitočtové analýze EEG) nebo selektivní zádrže (např. zádrž pro 50 Hz u zesilovače EKG).

S rostoucími požadavky na spektrální analýzu nejrůznějších elektrických i neelektrických signálů zpracovávaných složitou lékařskou přístrojovou technikou úm ěrně stoupají i nároky na obvodovou techniku a dokonalost používaných filtrů (ultrazvuková diagnostická technika atd.).

Požadované znalosti:

Popis a vlastnosti integračního a derivačního členu RC, frekvenční charakteristika zesilovače, charakteristika základních biopotenciálů (EKG, EEG, EMG), zásady pro snímání a zpracovávání biopotenciálů, princip činnosti osciloskopu (viz kap. Osciloskopy), vztah mezi rozkmitem a efektivní hodnotou sinusového napětí.

Potřeby k měření:

Integrační a derivační člen RC, generátor střídavého napětí (dále jen "generátor"), osciloskop, propojovací vodiče, dokumentace k členům RC.

Pracovní postup (viz obr.2):

1. Pomocí propojovacích vodičů propojte vstup příslušného členu RC s výstupem generátoru, výstup členu propojte se vstupem vertikálního zesilovače osciloskopu (správná polarita připojených vodičů je zajištěna dodržením barvy banánků dle schematu).
2. Uvedte do provozu osciloskop, nastavte regulátory vchylovacího činitele (skokově - 2V/díl, plynule – do pravé krajní polohy) a seřídte optimální jas a ostrost zobrazené stopy.
3. Uvedte do provozu generátor a dle dokumentace k měřenému členu RC nastavte výchozí frekvenci sinusového napětí, tj. frekvenci, kterou právě zapojený člen ve sledovaném

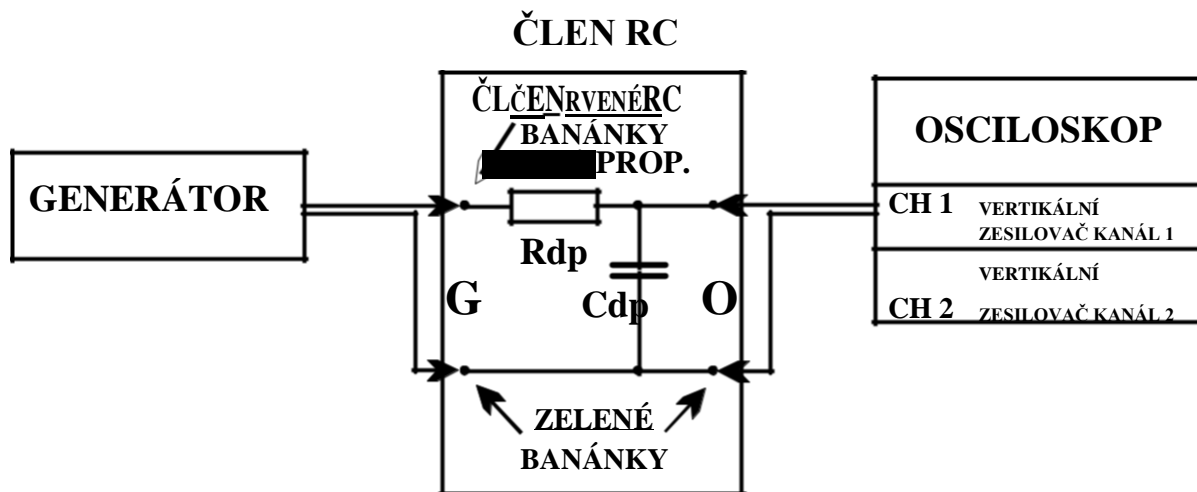
frekvenčním pásmu nejméně omezuje (20 Hz pro integrační člen, 1 MHz pro derivační člen). Výstupní napětí generátoru, které má být konstantní během celého měření, nastavte dle vestavěného měřidla na 3 V.

4. Frekvenci časové základny osciloskopu přizpůsobte frekvenci napětí z generátoru za účelem přesného odečtení amplitudy zobrazeného signálu. Prvkem pro svislý posuv upravte polohu stopy na obrazovce pro přesné odečtení její výšky. Do připravené tabulky si zaznamenejte frekvenci měřeného napětí, výšku stopy v dílech měřicího rastru a hodnotu vychylovacího činitele (pro stanovení napětí U_2).

5. Na generátoru nastavte vždy další doporučenou frekvenci, zkontrolujte výstupní napětí 3 V a opakujte postup uvedený v bodu 4. Dle amplitudy zobrazovaných průběhů napětí v případě potřeby přizpůsobujte vychylovací činitel osciloskopu, aby přesnost odečítání výšky stopy byla co největší (amplituda má být v rozmezí měřicího rastru obrazovky vždy co největší).

6. Opakujte celé měření s druhým členem RC

7. Pomocí banánkových spojek proveďte přímé propojení vodičů z výstupu generátoru s vodiči ke vstupu osciloskopu a výše uvedeným postupem opět opakujte celé měření.



Obr.2 Schéma propojení generátoru, členu RC (např. integračního) a osciloskopu

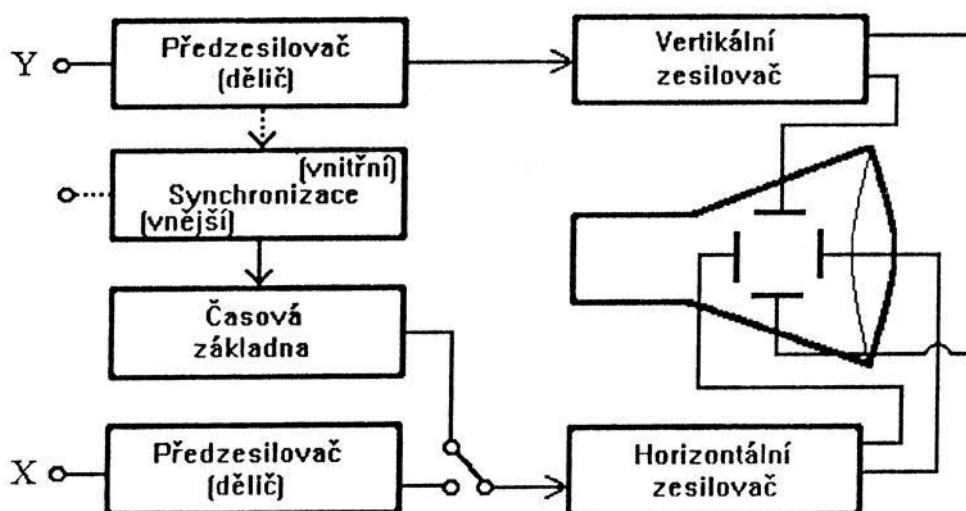
Doporučená struktura protokolu:

- stručný teoretický úvod, náskres měřených členů RC s popisem, vztah pro výpočet útlumu (I)
- tabulka s hodnotami (pro integrační i derivační člen RC, měření bez členů RC):
měřené frekvence, výšky stopy zobrazeného signálu, vychylovacího činitele vertikálního zesilovače, vypočtené amplitudy napětí U_2 a U_1 , vypočteného útlumu členů RC a vertikálního zesilovače osciloskopu (tj. měření bez členů) pro měřené frekvence dle vztahu (I).
- grafické znázornění frekvenčních charakteristik (závislostí útlumu na frekvenci) vertikálního zesilovače a obou měřených členů RC (tyto průběhy v sobě integrují současný vliv charakteristiky vertikálního zesilovače).
- vysvětlení naměřených průběhů charakteristik obou členů RC a vertikálního zesilovače osciloskopu, vysvětlení možného vzniku chyb měření

OSCILOSKOPY

Osciloskop představuje univerzální měřicí přístroj schopný zobrazit a měřit napěťové hodnoty elektrického signálu U , popř. parametry neelektrického signálu, který lze převést na signál elektrický. Nejčastěji je požadován osciloskopický obraz, který znázorňuje průběh pozorovaného děje v závislosti na čase (tzv. **provoz s časovou základnou**). Amplituda zobrazovaného děje je v tomto případě daná výchylkou podél vertikální osy obrazovky a časový průběh je určen výchylkou podél horizontální osy obrazovky. Další časté použití osciloskopu spočívá ve znázorňování vzájemného vztahu dvou elektrických signálů přiváděné na vertikální a horizontální osu obrazovky (tzv. **provoz X-Y**).

Osciloskopy lze rozdělit na analogové a digitální. Starší, konstrukčně jednodušší, jsou klasické **analogové** osciloskopy (viz schema).



Obrazovka (obrazová elektronka) je základní součástí osciloskopu. Obsahuje žhavenou **katodu**, z níž jsou emitovány elektrony, záporně nabitou **mřížku** (Wehneltův válec), která ovlivňuje fokusaci a intenzitu svazku elektronů (a tím i jas stopy na obrazovce), dvě **anody**, kterými je svazek elektronů zaostřován a následně urychlován, a vertikální a horizontální elektrostatický **vychylovací systém**. Ovládací prvky osciloskopu umožňují **horizontální** a **vertikální posun** stopy a regulaci **jasu** stopy a její **zaostření** (fokusaci). Čelní stěna obrazovky je na vnitřním povrchu pokryta luminiscenční vrstvou, která světélkuje v místě, kde dopadá svazek elektronů, čímž vzniká světelná stopa. Před stínítkem obrazovky je umístěn **souřadnicový rastr**, sloužící k odečítání časových i amplitudových parametrů zobrazovaného signálu.

Na **vertikální vychylovací systém** obrazovky (horizontálně orientované vychylovací destičky) je připojen **vertikální zesilovač** zesilující zkoumaný napěťový signál. Součástmi vertikálního zesilovače je vstupní dělič a předzesilovač. Jejich ovládacími prvky - přepínačem a plynulým regulátorem - lze měnit velikost zeslabení či zesílení napětí přiváděného na vstup osciloskopu. Polohy přepínače určují hodnoty tzv. **vychylovacího činitele**, který udává velikost vstupního napětí pro vertikální výchylku o velikosti jednoho dílu souřadnicového rastru před obrazovkou (plynulý regulátor musí být v označené, tj. v pravé krajní poloze).

S ohledem na častou potřebu současného zobrazení několika napěťových signálů jsou vertikální zesilovače osciloskopů běžně konstruovány ve dvou- až čtyřkanálovém provedení s odpovídajícím počtem zobrazovaných stop na obrazovce.



Na **horizontální vychylovací systém** obrazovky (vertikálně orientované vychylovací destičky) je připojen **horizontální zesilovač** (i zde jsou součástí dělič a předzesilovač), který při provozu osciloskopu s časovou základnou zesiluje jí produkovaný signál. **Časovou základnou** rozumíme oscilátor, který generuje napětí pilovitého průběhu - napětí periodicky lineárně roste a skokem se vrací k výchozí hodnotě. Prostřednictvím horizontálního vychylovacího systému toto zesílené napětí vychyluje svazek elektronů zleva doprava a ve zpětném běhu, který bývá zatemněn, se paprsek skokem vrací na levý okraj obrazovky. Kmitočet pilovitého napětí lze nastavovat přepínačem a plynulým regulátorem. Polohy přepínače určují hodnotu časové základny pro horizontální výchylku jednoho dílu souřadnicového rastru obrazovky (plynulý regulátor musí být opět v označené, tj. pravé krajní poloze). Časovou základnu je třeba **synchronizovat**, aby se zobrazovaný průběh signálu vodorovně nepohyboval. Jsou-li synchronizační impulsy, spouštějící kmitočty časové základny, odvozeny z průběhu elektrického signálu přiváděného na vstup vertikálního zesilovače, jedná se o synchronizaci vnitřní. Oscilátor časové základny může být synchronizován také vnějším elektrickým signálem nebo síťovým kmitočtem.

Provoz s časovou základnou umožňuje sledování časového průběhu elektrického signálu přiváděného na vertikální vychylovací systém.

Časovou základnu lze odpojit a na vstup horizontálního zesilovače přivádět vnější střídavé napětí (**provoz X-Y**, možnost nastavení vychylovacího činitele ve vodorovném směru přepínačem). Při tomto zapojení dostáváme na obrazovce osciloskopu **okamžitý pravouhlý vektorový součet dvou napěťových průběhů** (přesněji řečeno - vertikálních a horizontálních kmitů elektronového paprsku) **přiváděných na vertikální a horizontální vychylovací systém**. Tento způsob provozu osciloskopu umožňuje porovnávání poměru kmitočtů obou napětí a jejich fázového posunu.

Zdrojová část osciloskopu poskytuje žhavicí napětí pro katodu obrazovky, vysoké napětí (1 - 2 kV) pro urychlení a fokusaci elektronů a napájecí napětí pro ostatní elektronické obvody.

Modifikacemi analogových osciloskopů jsou **osciloskopy pomalých dějů** umožňující sledování pomalu se měnících elektrických veličin (vybavené obrazovkami s dlouhým dosvitem a s pomalou časovou základnou), a **osciloskopy paměťové** uchováající po určitou dobu zobrazené průběhy signálů (s paměťovými obrazovkami).

Digitální osciloskopy umožňují integraci osciloskopů do automatických měřicích systémů, programovatelné měření, vyhodnocení a trvalé uchování zobrazovaných signálů. Na rozdíl od analogového osciloskopu není paprsek v obrazovce digitálního osciloskopu bezprostředně vychylován amplitudově upraveným vstupním signálem. Místo toho je plynulý vstupní signál rozložen na diskrétní měřicí body - vzorky, které jsou digitalizovány, uloženy do paměti a znovu skládány na stínítku obrazovky do celkového obrazu signálu.

Zkoumaný elektrický signál je opět nejprve upraven děličem a vertikálním předzesilovačem na vhodnou velikost amplitudy. Dále je však veden přes budící stupeň do **analogově digitálního (A/D) převodníku**, který převádí analogový signál na digitální. Převodníkem poskytované údaje jsou ukládány do paměti a dále zpracovávány mikroprocesorem. Tento řídí jak vybírání dat z paměti a zobrazování na stínítku obrazovky, tak veškeré další zpracování těchto dat k poskytnutí všech parametrů měřeného signálu. Z principu činnosti digitálních osciloskopů vyplývá možnost jejich připojení k počítačům, které mohou ovládat snímání a provádět vyhodnocování zkoumaných signálů dle použitého programového vybavení.