# MĚŘENÍ NA OPERAČNÍM USMĚRŇOVAČI

Umožňuje určení aritmetické střední hodnoty periodického signálu u<sub>1</sub>(t) definované : $u_s = \frac{1}{T_0} \int_{t_0}^{t_0+T} u_1(t) dt$ 

kde  $t_0$  je okamžik průchodu napětí  $u_1(t)$  nulou s kladnou derivací, T je doba periody.

Zapojení operačního usměrňovače:



Při kladné polaritě vstupního napětí je dioda D1 vodivá , D2 nevodivá a přenos zesilovače Z1 je -1. Při záporné polaritě vstupního napětí je D1 nevodivá, D2 vodivá a přenos zesilovače je 0. Výstupní jednocestně usměrněné napětí je na vstupu zesilovače Z2 sčítáno se vstupním napětím o poloviční amplitudě a ve výstupu zesilovače Z2 je dvoucestně usměrněné vstupní napětí.

**&1.** Načrtněte pod sebe předpokládané průběhy napětí v bodech IN, A a OUT je-li na vstupu operačního usměrňovače napětí sinusového průběhu.

**&2.** Odvoď te vztahy pro určení střední hodnoty sinusového, obdélníkového a trojúhelníkového průběhu napětí s amplitudou  $U_m$ . Určete činitele tvaru a výkyvu.

**&3.** Měřením ověřte správnost určení střední hodnoty všech průběhů napětí při amplitudě  $U_m = 4V$  a kmitočtu f = 1kHz.

**&4.** Změřte statickou převodní charakteristiku operačního usměrňovače v rozsahu vstupního napětí  $\pm 10V$  a určete odchylky od linearity.



**&5.** Změřte dynamickou převodní charakteristiku usměrňovače v rozsahu vstupního napětí  $0-5V_{EF}$  a kmitočtu 1kHz a určete odchylky od linearity.



**&6.** Změřte kmitočtovou charakteristiku usměrňovače při vstupním napětí  $5V_{EF}$  a určete mezní kmitočet, při kterém klesne přenos usměrňovače o 3dB vzhledem k ss přenosu.

# MĚŘENÍ NA PŘEVODNÍKU EFEKTIVNÍ HODNOTY

Převodník efektivní hodnoty je určen ke stanovení skutečné efektivní hodnoty periodického signálu (RMS) podle vztahu:

$$Uef = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{0}^{T} u^2(t) dt}$$
 kde T je doba periody měřeného signálu

Na obr.1 je blokové schéma převodníku efektivní hodnoty využívajícího exponenciálních a logaritmických funkčních měničů.

Úpravou vztahu pro ef. hodnotu  $u_2 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_1^2(t) dt}$  dostaneme  $u_2 = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{u_1^2(t)}{u_2} dt$ . vztah  $\frac{u_1^2}{u_2}$  upravíme:  $\frac{u_1^2}{u_2} = \exp(2 \ln u_1 - \ln u_2)$ .

Těmto vztahům odpovídá blokové schéma na obr.1.



obr.1

Praktické zapojení je na obr.2. Po dvojcestném usměrnění vstupního napětí je výstupní napětí operačního usměrňovače převedeno v logaritmickém měniči Z2 (se zesílením 2) tranzistorem T1 na proud, který je odečten od proudu logaritmického měniče Z4, T4 převádějícího výstupní napětí u<sub>2</sub>. Střední hodnotu vytvoří dolnofrekvenční filtr s časovou konstantou RC, který je součástí zesilovače Z3.



#### obr.2

### Úkol měření:

- Změřte statickou charakteristiku převodníku v rozsahu vstupního napětí 0 - 10V a určete odchylku od lineárního průběhu.



- Změřte kmitočtovou charakteristiku převodníku při vstupním sinusovém signálu s amplitudou  $1V_{ef}$  a  $5V_{ef.}$ . Určete mezní kmitočet, při kterém klesne přenos převodníku o 3 dB vzhledem ke stejnosměrnému přenosu.



 Ověřte činnost převodníku obdélníkovým a trojúhelníkovým signálem při kmitočtech 1kHz a 10kHz s amplitudou 1V. Výpočtem zkontrolujte shodu naměřených a vypočtených efektivních hodnot.

# MĚŘENÍ NA AKTIVNÍCH FILTRECH S OZ

&1. Aktivní filtry mají proti pasivním několik výhod :

- není třeba používat indukčnosti, vystačíme obvykle s článkem RC
- i pro rozsah nízkých kmitočtů vystačíme s malými kapacitami kondenzátorů
- podle potřeby lze vhodně měnit vstupní i výstupní odpor
- dosažitelný zisk > 1

## &2. DOLNÍ PROPUST

obr.1 a/ dolní propust

b/ amplitudově-frekvenční charakteristika propusti





**&2.1** Určete impedanci Z ve zpětné vazbě.

&2.2 Odvoď te vztah pro výstupní napětí.

- jde o invertující zesilovač  $U_{vyst} = -\frac{Z}{R_1} \cdot U_{vst}$ 

Vztah upravte pro  $R_1 = R_2 = R$ . Pro f = 0 je pak Au = .....

**&2.3** Čemu se bude blížit výstupní napětí ?

- 1, pro  $\omega = 2\pi f \rightarrow 0$
- 2, pro  $\omega = 2\pi f \to \infty$

Jaký bude pokles zesílení na dělícím kmitočtu ? Odvoďte!

**&2.4** Pro dělící kmitočet f = 1000 Hz a kapacitu C =  $0.01 \,\mu\text{F}$  určete velikost odporu R.

&2.5 Zapojení doplňte potřebnými přístroji (dvoukanálový osciloskop, generátor, nf. milivoltmetr), obvod zapojte a změřte amplitudově-frekvenční charakteristiku propusti.
&3. HORNÍ PROPUST







**&3.1** Určete impedanci Z prvků na vstupu OZ.

&3.2 Odvoď te vztah pro výstupní napětí.

- jde o invertující zesilovač  $U_{vyst} = -\frac{R_2}{Z} \cdot U_{vst}$ 

**&3.3** Vztah upravte pro  $R_1 = R_2 = R$ 

**&3.4** Čemu se bude blížit výstupní napětí?

- 1, pro  $\omega \rightarrow 0$
- 2, pro  $\omega \rightarrow \infty$

Jaký bude pokles zesílení na dělícím kmitočtu ? Odvoďte!

**&3.5** Pro dělící kmitočet f = 1000 Hz a kapacitu  $C = 0.01 \ \mu$ F určete velikost odporu R.

**&3.6** Zapojení doplňte potřebnými přístroji (dvoukanálový osciloskop, generátor, nf. milivoltmetr), obvod zapojte a změřte amplitudově-frekvenční charakteristiku propusti.

**&4.** Navrhněte zapojení aktivní pásmové propusti.

**&4.1** Načrtněte její amplitudově-frekvenční charakteristiku. Naznačte výpočet dělících kmitočtů.

# MĚŘENÍ NA PŘEVODNÍKU U/f A f/U.

Užívají se k převodu napětí nebo proudu na frekvenci periodického signálu a naopak

## STATICKÉ VLASTNOSTI PŘEVODNÍKU U/faf/U:

#### převodní konstanta

a) u převodníku U/f  $k = \frac{f \max - f \min}{U \max - U \min}$ b) u převodníku f/U  $k = \frac{U \max - U \min}{f \max - f \min}$ 

nelinearita převodní charakteristiky

a) u převodníku U/f 
$$NL = \frac{\Delta f}{f \max - f \min}$$
  
b) u převodníku f/U  $NL = \frac{\Delta U}{U \max - U \min}$ 

převodní charakteristka

 $\begin{array}{c|c} f & & ideální ch. \\ skutečná ch. \\ f_{MAX} & - - & - \\ f & & & \\ f_{MIN} & & & \\ f_{MIN} & & & \\ 0 & & & \\ U_{MIN} & U & U_{MAX} & \\ \end{array}$ 

U převodníku f/U se u převodní charakteristiky nanáší na vodorovnou osu frekvence a na svislou napětí.

DYNAMICKÉ VLASTNOSTI PŘEVODNÍKŮ:

- mezní frekvence výstupního napětí, kterou je schopen převodník generovat.

- doba ustálení frekvence výstupního napětí při skokové změně vstupního napětí



## Převodník napětí frekvence.



Umax-Umin - určuje rozsah napětí fmax-fmin - určuje rozsah frekvencí



Pokud U<sub>1</sub>  $\langle$  0 roste lineárně výstupní napětí integrátoru do okamžiku, kdy překročí hodnotu srovnávacího napětí Um komparátoru K. Potom komparátor překlopí a spustí monostabilní klopný obvod, který po dobu kyvu Tk připojí referenční proud I=1mA k invertujícímu vstupu integrátoru a náboj na kondenzátoru C se odintegrovává.

Kmitočet převodníku v ustáleném stavu:  $f = \frac{U_1}{R.Iref.T_k}$ pro R = 50k $\Omega$  I<sub>ref</sub> = 1 $\mu$ A,  $T_K$  = 20  $\mu$ s platí f = U<sub>1</sub> . 1000  $\Rightarrow$  k = 1000 Hz/V nevýhodou zapojení je přímá závislost frekvence na době kyvu Tk.

## <u>ÚKOL MĚŘENÍ</u>:

1. Ověřte činnost převodníku U/f v rozsahu vstupního napětí -1V až -10V. Pro  $U_1 = -10V$ . zakreslete průběhy  $U_i$  a  $U_2$ . Určete dobu kyvu MKO.

2. Změřte převodní charakteristiku převodníku napětí kmitočet a změřte její konstantu a nelinearitu od ideální strmosti 1KHz/V.

#### Převodník kmitočet napětí.

Je duální obvod k převodníku U/f a proto má i shodné obvody.



Převodník je tvořen komparátorem K. V okamžiku, kdy amplituda impulsního signálu na vstupu komparátoru K překročí hodnotu srovnávacího napětí komparátoru, komparátor překlopí a spustí monostabilní klopný obvod, který po dobu kyvu připojí na vstup integračního zesilovače Z referenční proud I=1mA.

V ustáleném stavu je výstupní napětí integrátoru (střední hodnota)  $U_2 = R$ . Iref. Tk. f

Časová konstanta RC se volí z hlediska požadovaného zvlnění výstupního napětí.

# ÚKOL MĚŘENÍ:

1. Ověřte činnost převodníku f/U v rozsahu kmitočtů 100Hz až 10kHz. Pro f=10KHz zakreslete průběhy signálů MKO a U<sub>2</sub>. Určete dobu kyvu MKO.

2. Změřte převodní charakteristiku převodníku kmitočtu napětí a určete její konstantu a nelinearitu od ideální strmosti 1V/KHz.

# Základy práce s programem HP VEE

1) Spuštění programu HP VEE : dvojitým kliknutím na ikonu HP VEE

2) Otevření nového souboru : v menu FILE příkaz NEW

3) Výběr objektu pro demonstraci práce s objektem : např. v menu DISPLAY zvolte objekt ALPHA NUMERIC a ten přesuňte na pracovní plochu kde ho kliknutím levého tlačítka myši "položte" na požadované místo.

# VLASTNÍ PRÁCE S OBJEKTY :

a) Zobrazte menu objektu : klikněte na čtverec v levém horním rohu objektu

## b) Přesunutí objektu : máme dvě možnosti

1) Zobrazte menu objektu a zvolte funkci MOVE. Kurzor myši přesuňte do místa kam chcete objekt přesunout a stiskněte levé tlačítko myši.

2) Přesuňte kurzor myši nad objekt a při stlačeném levém tlačítku myši přesuňte objekt zároveň s kurzorem na požadované místo.

## c) Změna velikosti objektu : máme dvě možnosti

1) Zobrazte menu objektu a zvolte funkci SIZE. Kurzor myši změní svůj tvar na " $\downarrow$ ". Značku umístíme do místa kde chceme, aby byl pravý dolní roh objektu (levý horní roh zůstává na stejném místě) a stiskneme tlačítko myši.

2) Přesuňte kurzor myši na pravý dolní roh objektu a při stlačeném levém tlačítku myši můžete měnit velikost objektu pohybem kurzoru myši.

d) **Minimalizace objektu** : Při složitějších úlohách se stává schéma nepřehledné a je potřeba objekty se kterými se nepracuje minimalizovat. To je možné opět dvěma způsoby.

1) Zobrazte menu objektu a zvolte funkci MINIMIZE

2) Klikněte na čtverec v pravém horním rohu

## e) Obnovení velikosti objektu po minimalizaci : máme dvě možnosti

1) Zobrazte menu objektu ( u minimalizovaného objektu přesunutím kurzoru nad objekt a kliknutím pravého tlačítka myši ) a zvolte funkci RESTORE

2) Dvakrát klikněte levým tlačítkem myši na minimalizovaný objekt

f) Kopie objektu : Zvolte funkci CLONE z objektového menu kopírovaného souboru

## g)Vymazání objektu z pracovní plochy :

Zobrazte menu objektu a zvolte funkci CUT

## h) Propojování objektů :

Pro tuto úlohu si vyvolejte objekt FUNCTION GENERATOR a WAVEFORM (TIME)

Každý objekt má čtyři základní piny, kterými se připojuje k ostatním objektům : datové piny - vlevo vstupní, vpravo výstupní a sekvenční piny - nahoře vstupní, dole výstupní Piny se spojují křivkami, které představují vodivé kanály. Počátek křivky se vygeneruje a připojí k výchozímu pinu kliknutím levého tlačítka myši do jeho blízkého okolí. Křivka se "natáhne" k cílovému pinu a připojí se kliknutím levého tlačítka myši do jeho blízkého okolí.

Úkol : Propojte datový výstupní pin objektu FUNCTION GENERATOR se vstupním datovým pinem objektu WAVEFORM (TIME). Úlohu spusťte kliknutím myši na tlačítko RUN. Postupně si vyzkoušejte měnit frekvenci, napětí a typ signálu generovaného virtuálním generátorem.

ch) **Rozpojování objektů** : Kdekoliv na volné pracovní ploše klikněte pravým tlačítkem myši. Ze zobrazeného edit hlavního menu zvolte funkci DELETE LINE a klikněte myší na tu křivku, kterou chcete smazat.

Úkol : Zrušte propojení datových pinů objektu FUNCTION GENERATOR a WAVEFORM (TIME)

### Simulace měření kmitočtů metodou Lissajousových obrazců

Simulace spočívá v tom, že fyzické přístroje jsou nahrazeny virtuálními objekty.

Nakreslete schéma zapojení úlohy (skutečné) a porovnejte se zapojením na obr.1.

Pokuste se odpovědět na následující otázky :

- 1) Který objekt představuje osciloskop?
- 2) Které objekty představují generátor ?
- 3) Který objekt úlohu spouští a který zajišťuje její nepřetržitý chod ?

Realizujte zapojení dle obr.1. Umístění jednotlivých objektů :

objekt START (FLOW  $\Rightarrow$  START ) objekt UNTIL BREAK (FLOW  $\Rightarrow$  REPEAT  $\Rightarrow$  UNTIL BREAK ) objekt INT32 SLIDER (DATA  $\Rightarrow$  CONTINUOUS  $\Rightarrow$  INT32 SLIDER ) objekt FUNCTION GENERATOR (DEVICE  $\Rightarrow$  VIRTUAL SOURCE  $\Rightarrow$  FUNCTION GEN. ) objekt X vs Y PLOT (DISPLAY  $\Rightarrow$  XvsY PLOT )

**Přidání vstupního nebo výstupního pinu** : Pro přidání pinu objektu slouží funkce ADD TERMINAL z objektového menu.

- Oběma generátorům přidejte vstupní datové piny sloužící pro zadávání frekvence

**Zrušení vstupního nebo výstupního pinu** : Pro zrušení pinu objektu slouží funkce DELETE TERMINAL z objektového menu.

- vyzkoušejte funkci obvodu pro různé poměry kmitočtů fx a fn

Změnu barvy písma titulu, barvy pozadí titulu, barvy písma objektu, barvy pozadí objektu, dále pak názvu (titulu objektu) a mnoho dalších funkcí je možné provádět vyvoláním dialogového okna EDIT PROPERTIES z objektového menu. Tuto funkci je možné vyvolat také dvojím kliknutím na pruh s názvem objektu.

- opatřete jednotlivé objekty názvy odpovídajícími jejich skutečnému využití

- vyzkoušejte si změnu barev pozadí objektu a titulu a změnu barvy písma

- vyzkoušejte si změnu typu písma

U objektu X vs Y PLOT je dialogové okno EDIT PROPERTIES rozsáhlejší. Vyzkoušejte si změnit rastr (funkce GRID TYPE), aktivujte kurzory pro odečítání hodnot z obrazovky (funkce MARKERS), zobrazte pouze graf (funkce GRAPH ONLY), otevřete dialogové okno TRACES & SCALES a zkuste změnit barvu křivky grafu (COLOR), typ čáry (LINES) a vyznačení naměřených hodnot

(POINTS)

- Zjistěte činnost následujících funkcí :
  - a) SHOW TITLE BAR
  - b) SHOW TERMINAL

### Zobrazení vybraných objektů v panelu :

Vyvolejte hlavní editační menu ze zobrazené nabídky zvolte funkci SELECT OBJECTS. Levým tlačítkem myši klikněte postupně na vybrané objekty ( zvolte objekty X vs Y PLOT, START a INTEGER SLIDER ), pak opět vyvolejte hlavní editační menu a zvolte funkci ADD TO PANEL.

Tisk grafu objektu XvsY PLOT proveďte pomocí příkazu PLOT z objektového menu.

Tisk programu (schématu) proveďte pomocí příkazu PRINT PROGRAM z menu FILE. V dialogovém okně aktivujte pouze položku PRINT PROGRAM EXPLORER

# Rezonanční obvody

# ÚKOL :

Zobrazte závislost impedance na frekvenci (Z=f(f)) pro paralelní rezonanční obvod tvořený odporem R, cívkou L a kondenzátorem C.

1) Odvoď te vztah popisující uvedenou závislost

2) Pomocí programu HP VEE namodelujte obvod a závislost znázorněte graficky vstupem bude :

hodnota odporu R	objekt REAL64 SLIDER
hodnota indukčnosti L	objekt REAL64 SLIDER
hodnota kapacity C	objekt REAL64 SLIDER

interval hodnot frekvence pro který se má graf zobrazit ...... objekt FOR RANGE

výstupem bude :

rezonanční frekvence fo zapsaná v objektu ALPHA NUMERIC

závislost Z=f(f) zobrazená v objektu XvsY PLOT

Pro zápis vztahů matematicky popisujících paralelní rezonanční obvod slouží objekt FORMULA. Tento objekt má jeden nebo více vstupních pinů (viz příkaz ADD TERMINAL - DATA INPUT), jejichž označení je možné dle potřeby měnit otevřením dialogového okna dvojitým kliknutím na označení vstupního pinu (doporučuji označení vstupních pinů odpovídající použitým proměnným např. odpor-R, frekvence-f atd.) a jeden výstupní pin označený RESULT na kterém se po aktivaci objektu objeví výsledek zpracovaný dle předpisu zapsaného v objektu.

Dále můžete při řešení využít řady objektů realizujících matematické funkce. Tyto objekty se nachází v menu FUNCTION&OBJECT BROWSER.



obr.1. Měření kmitočtů metodou Lissajousových obrazců