EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

ESF II - projekt Západočeské univerzity v Plzni

registrační číslo CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239

Výukové texty

pro předmět

Analogové elektronické systémy

(KEI/AELS)

na téma

Měření na operačních zesilovačích

Autor: Ing. Václav Koucký, CSc.

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

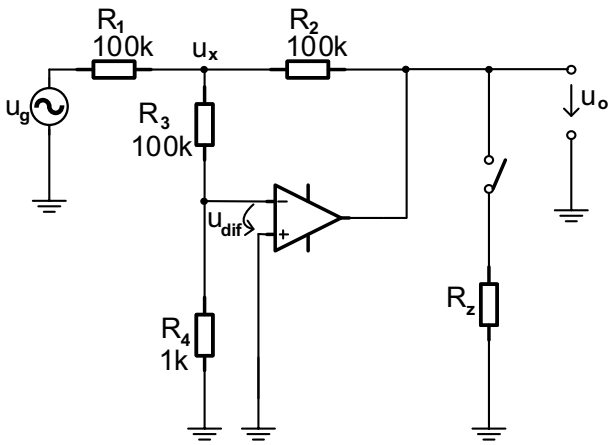
ESF II - projekt Západočeské univerzity v Plzni

registrační číslo CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239

5. Měření na operačních zesilovačích

V následující kapitole bude uveden způsob měření některých důležitých parametrů OZ.

Měření zesílení v otevřené smyčce A_{OL} se provádí v zapojení podle obrázku 4.20. Jedná se o paralelní operační síť s jednotkovým zesílením. Rezistory R_3 a R_4 tvoří dělič s dělícím poměrem zpravidla 1/100. Napětí u_X je tedy 100-krát vyšší než rozdílové napětí u_D. Vlastní měření se provádí se vstupním napětím o rozkmitu +/– 10V při kmitočtu 5 Hz. Střídavé vstupní napětí je použito pro eliminování vstupních nesymetrií měřeného zesilovače, nízký kmitočet pak proto, aby byl bezpečně nižší než kmitočet prvního zlomu interně korigovaného zesilovače. Měření napětí u_X a u_O se zpravidla provádí pomocí osciloskopu.



Obr. 5.1. Zapojení k měření A_{OL} a Z_{OUT}

Napětí u_X nemá u některých zesilovačů sinusový průběh i přesto, že výstupní napětí výrazné zkreslení nevykazuje. Zkreslení napětí u_X je důsledkem nelineární převodní charakteristiky OZ. Zesílení v otevřené smyčce vyčíslíme pomocí vztahu

$$\mathbf{A_{OL} = 100\,\frac{u_o}{u_x}}$$

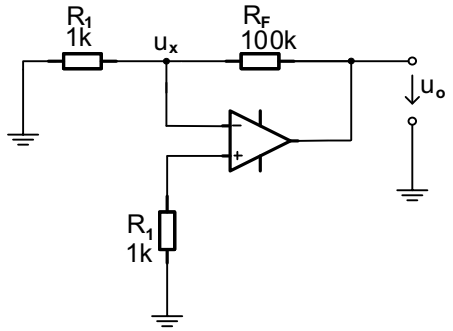
Měření výstupního odporu OZ R_{OUT} se provádí ve stejném zapojení jako měření zesílení v otevřené smyčce. Stanovení výstupního odporu se provádí na základě změny napětí u_X vyvolané připojením zátěže k výstupu OZ. Jak již bylo uvedeno, je zpětná vazba v použitém zapojení napěťová. Výstupní impedance operační sítě je proto téměř nulová (je zmenšena v poměru zesílení OZ). Výstupní napětí se proto po připojení zátěže prakticky nezmění. Úbytek napětí na výstupním odporu R_{OUT} se musí jako důsledek ZV kompenzovat zvětšením vybuzení OZ. Výstupní odpor pak vypočítáme ze vztahu

$$\mathbf{R_{out} = R_z \frac{u_x' - u_x}{u_x}\ [\,\Omega\,]}$$

kde u_X' je napětí po připojení zátěže R_Z.

Měření vstupní napěťové nesymetrie U_{I0} se provádí v zapojení na obrázku 4.21. Jedná se o invertující zesilovač s velkým zesílením. Jeho vstup je uzemněn. Na výstupu změříme velikost tzv. výstupního ofsetu. Vstupní napěťovou nesymetrii pak vypočítáme ze vztahu

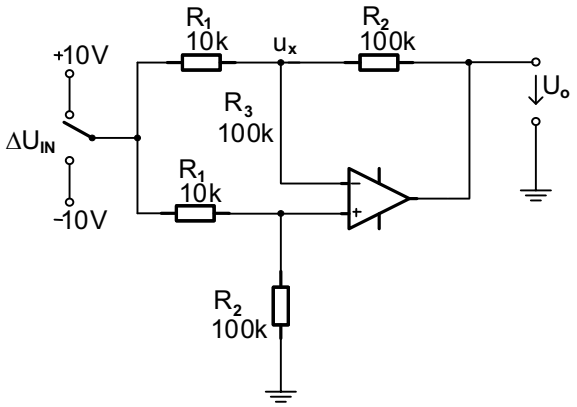
$$\mathbf{U_{IO} = U_o \frac{R_1}{R_F}\ [\,V\,]}$$



Obr. 5.2. Měření napěťové nesymetrie

Rezistor R_1 zapojený v neinvertujícím vstupu slouží ke korekci vlivu vstupních klidových proudů. Jeho velikost by měla být paralelní kombinací R_1 a R_F. Protože rezistor R_F je mnohonásobně vyšší než R_1, používá se ke korekci přímo hodnota R_1.

Měření činitele potlačení souhlasného napětí CMR se provádí v zapojení podle obrázku 4.22.



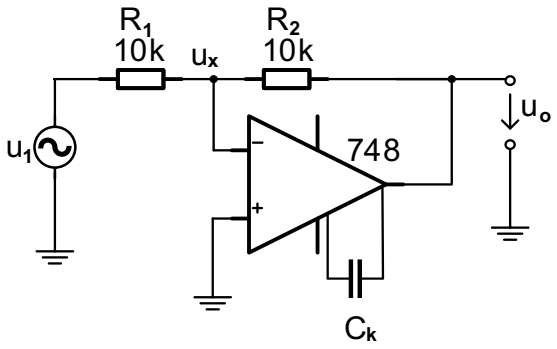
Obr. 5.3. Zapojení k měření CMR

Na zkratovaném vstupu diferenciálního zesilovače vytvoříme vstupní napěťovou diferenci ΔU_{IN} zpravidla o velikosti 2/3 napájecího napětí. Vstupní napěťové diferenci ΔU_{IN} odpovídá výstupní napěťová diference ΔU_O. Činitel potlačení souhlasného napětí CMR pak vypočítáme ze vztahu

$$\mathbf{CMR = 20 \cdot \log\left(\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{\Delta U_{IN}}{\Delta U_o}\right)} \qquad \mathbf{[\ dB\ ]}$$

K **měření rychlosti přeběhu SR, mezního výkonového kmitočtu f_P** a **tranzitního kmitočtu f_T** použijeme zapojení na obrázku 4.23. V případě měření rychlosti přeběhu přivedeme na vstup zesilovače obdélníkové napětí s rozkmitem +/– 10 V. Na výstup případně i na vstup připojíme kanály osciloskopu. Na generátotu nastavíme takovou frekvenci obdélníkového napětí, při které výstupní napětí dosáhne bezpečně rozkmitu +/– 10 V. Z obrazovky osciloskopu odečteme u náběžné hrany změnu výstupního napětí Δu_O odpovídající časové změně Δt. Rychlost přeběhu pak vypočteme ze vztahu

$$\boldsymbol{SR = \frac{\Delta u_o}{\Delta t}} \qquad \left[\frac{V}{\mu s}\right]$$



Obr. 5.4. Zapojení k měření SR, f_p a f_T

Při měření **mezního výkonového kmitočtu** přivedeme na vstup zesilovače na obr. 4.23. napětí sinusového průběhu s rozkmitem +/– 10 V. Jeho kmitočet postupně zvyšujeme a kontrolujeme osciloskopem tvar výstupního napětí. Mezní výkonový kmitočet je nejvyšší dosažitelný kmitočet při nezkresleném výstupu. Způsob, jakým je sinusový průběh zkreslen po překročení mezního výkonového kmitočtu je na obrázku 4.3. Při měření **tranzitního kmitočtu f_T** přivádíme na vstup operační sítě na obrázku 4.23. sinusový signál z generátoru s nastavitelnou amplitudou, jehož kmitočet postupně zvyšujeme. Současně měříme jedním kanálem osciloslopu napětí u_X na invertujícím rozdílovém vstupu OZ a druhým kanálem osciloskopu kontrolujeme nezkreslený sinusový průběh výstupního napětí u_O operačního zesilovače (při zkreslení napětí u_O snížíme amplitudu napětí u_1). Při dosažení tranzitního kmitočtu platí rovnost napětí $u_X = u_O$.