

Analogový komparátor

1. Zadání:

A. Na předloženém invertujícím komparátoru s hysterezí změřte:

a) převodní statickou charakteristiku $U_2 = f(U_1)$ s diodovým omezovačem při zvyšování i snižování vstupního napětí U_1

b) zatěžovací charakteristiku $U_{2H} = f(I_2)$ ve vyšší úrovni výstupního napětí

Ze změřených charakteristik určete hodnoty parametrů U_{1H} , U_{1L} , U_H , U_{2H} , U_{2L} , R_2 , U_r , $R_{výstH}$ a diodového omezovače a porovnejte je se skutečnými hodnotami součástek a prvků zapojení

B. Na předloženém neinvertujícím komparátoru s hysterezí změřte:

a) převodní statickou charakteristiku $U_2 = f(U_1)$ se stabilizátorem se ZD při zvyšování i snižování vstupního napětí U_1

b) zatěžovací charakteristiku $U_{2L} = f(I_2)$ v nižší úrovni výstupního napětí

Ze změřených charakteristik určete hodnoty parametrů U_{1H} , U_{1L} , U_H , U_{2H} , U_{2L} , R_2 , U_r , $R_{výstL}$ a stabilizátoru a porovnejte je se skutečnými hodnotami součástek a prvků zapojení

C. U jednoho typu komparátoru s hysterezí zobrazte na osciloskopu jeho převodní charakteristiku při $f = \dots\dots\dots$ kHz a překreslete ji do grafu.

Domácí příprava:

Prostudujte princip analogových komparátorů a nakreslete si do laboratorního deníku zapojení invertujícího i neinvertujícího komparátoru. Odvoďte všechny příslušné vztahy dle návodu v teoretickém rozboru úlohy.

Doporučená literatura:

Katalog TESLA

Seifart, M.: Polovodičové prvky a obvody na spracovanie spojitých signálov. ALFA, Bratislava 1988

Hiller, H.: Operationsverstärker - Schaltungen und Anwendungen. VEB Vlg Technik Berlin, 1982

Vedral, J.: Elektronické obvody měřicích přístrojů. Skriptum ČVUT-FEL, Praha 1994

Tietze, U., Schenk, Ch.: Halbleiter-Schaltungstechnik. Springer Vlg, Berlin 1993

2. Popis měřeného předmětu:

Měřeným předmětem jsou přípravky různých zapojení analogových komparátorů s operačním zesilovačem libovolného typu, evtl. s integrovaným komparátorem s logickým výstupem (na př. MAC 111 nebo MAC 160).

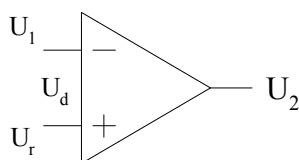
3. Teoretický rozbor:

a) vlastností měřeného předmětu

Diferenční komparátor

Operační zesilovač jsme dosud v několika úlohách poznali jako lineární prvek se zápornou zpětnou vazbou. Už při měření ss zesilovače jsme zjistili, že při vyšších vstupních signálech dochází k nasycení (saturaci) výstupu.

Budeme-li provozovat operační zesilovač bez zpětné vazby, dostaneme komparátor (obr. 35).



Obr. 35

Jeho výstupní napětí U_2 bude:

$$U_2 = U_{2H} (+U_{2sat}) \text{ pro } U_d < 0 \text{ (stav „sepnuto“, log.1, H)}$$

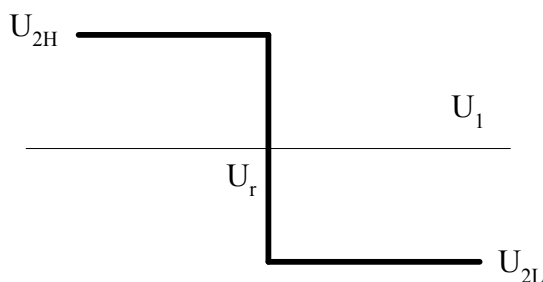
$$U_2 = U_{2L} (-U_{2sat}) \text{ pro } U_d > 0 \text{ (stav „vypnuto“, log.0, L)}$$

$$U_d = U_1 - U_r \dots \text{diferenční (rozdílové) napětí mezi vstupy OZ)}$$

Komparátor tedy slouží jako indikátor, zda vstupní napětí *je větší* nebo menší t.j. *není větší* než zvolené napětí *referenční* U_r (srovnávací, porovnávací, spínací).

Výstup je *dvouhodnotový* (představuje logickou funkci „sepnuto“ (U_{2max} , $+U_{2sat}$, log.1, H) - „vypnuto“ (U_{2min} , $-U_{2sat}$, log.0, L) (realizace výroku ano - ne).

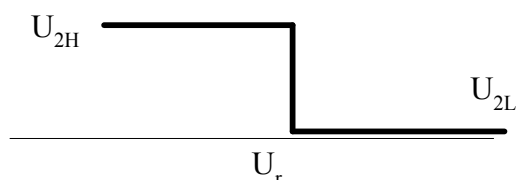
Příslušná převodní charakteristika komparátoru s běžným operačním zesilovačem je na obr. 36.



Obr. 36

Při průchodu diferenčního (rozdílového) vstupního napětí nulou se skokem změní výstupní napětí na hodnotu opačnou (u OZ kladná nebo záporná saturace). Tato změna proběhne u ideálního OZ okamžitě (obdélníkovým skokem), u reálného zesilovače rychlostí danou rychlostí přeběhu S (SR - Slew Rate).

Výstup zesilovače je často již v integrované struktuře připojen na převodník úrovně TTL, takže analogový komparátor může přímo spolupracovat s logickými obvody. Převodní charakteristika *komparátoru s logickým výstupem* je na obr. 37. Úroveň výstupu OZ můžeme ovšem upravit sami různými omezovači (na př. diodovými) podle našich speciálních požadavků.

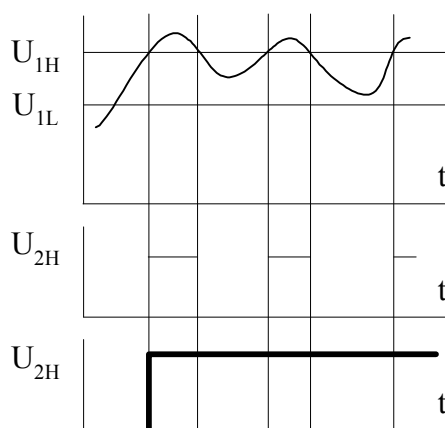


Obr.37

Komparátor s hysterezí (Schmittův obvod) (Schmitt - Trigger)

Nevýhodou zapojení komparátoru bez zpětné vazby je citlivost na rušivé signály. Při průchodu zašuměného signálu rozhodovací úrovní bude výstupní napětí komparátoru kmitat mezi oběma krajními hodnotami (U_{2max} , U_{2min}) tak dlouho, dokud vstupní signál nepřekročí rozhodovací úroveň s určitou rezervou (obr. 38). Tyto oscilace jsou nežádoucí, neboť znemožňují správnou funkci obvodů za komparátorem (falešné impulzy mají za následek na př. chybnou funkci logických obvodů). K odstranění nežádoucích oscilací se zavádí *hystereze* (srv. hysterezní smyčka) pomocí kladné zpětné vazby. Tato zpětná vazba plní dvě funkce:

- zavádí hysterezi, t.j. *potlačení nežádoucí citlivosti na šum kolem rozhodovací (překlápěcí) úrovně*
- urychluje překlápění výstupu komparátoru



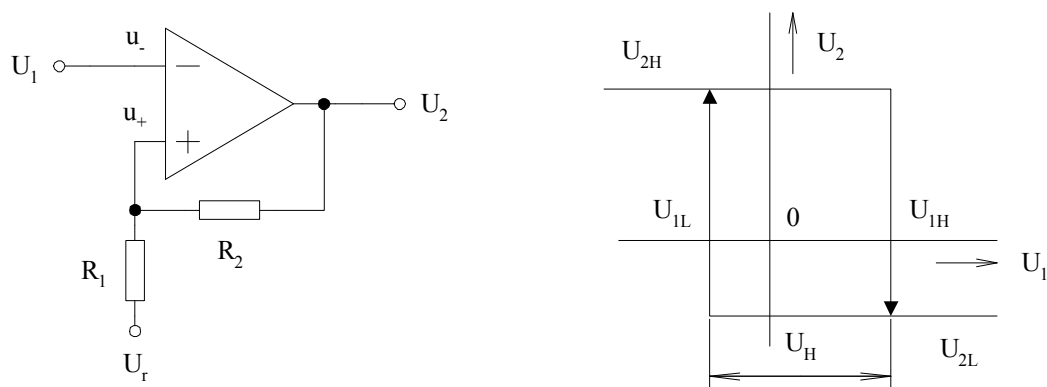
Obr. 38

Komparátory s hysterezí mohou být zapojeny jako invertující nebo neinvertující. U invertujícího komparátoru odpovídá kladné změně vstupního napětí

záporná změna výstupního napětí ($\Delta U_1 > 0 \Rightarrow \Delta U_2 < 0$), u neinvertujícího komparátoru odpovídá kladné změně U_1 rovněž kladná změna U_2 ($\Delta U_1 > 0 \Rightarrow \Delta U_2 > 0$)

Invertující komparátor s hysterezí

Na obr. 39 je zapojení invertujícího komparátoru. Kladná zpětná vazba je zavedena pomocí napěťového děliče R_1 , R_2 .



Obr. 39

Přivedeme-li na komparátor dostatečně velké záporné napětí U_1 , bude $U_2 = U_{2H}$. Na neinvertujícím vstupu (+) bude tedy napětí u_+ určené s využitím principu superpozice při působícím napětí U_{2H} a U_r

Při zvyšování vstupního napětí U_1 se výstupní napětí U_2 nemění až do okamžiku, kdy diferenční napětí na komparátoru dosáhne nulové hodnoty ($U_d = U_1 - U_{1H} = 0$ tj. $U_1 = U_{1H}$). V tom okamžiku klesne výstupní napětí a $U_d < 0$. Vlivem kladné zpětné vazby „skočí“ výstupní napětí velmi rychle z hodnoty U_{2H} na hodnotu U_{2L} . Napětí na neinvertujícím vstupu u_+ má nyní hodnotu určenou opět pomocí principu superpozice při působícím napětí U_{2L} a U_r přičemž $U_d \ll 0$, takže tento stav je stabilní. Další změna výstupního napětí nastane opět teprve tehdy, když diferenční napětí $U_d = 0$, t.j. když U_1 klesne na hodnotu U_{1L} .

V případě, že je $U_r = 0$ platí:

$$U_{1H} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{2H} \qquad U_{1L} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{2L}$$

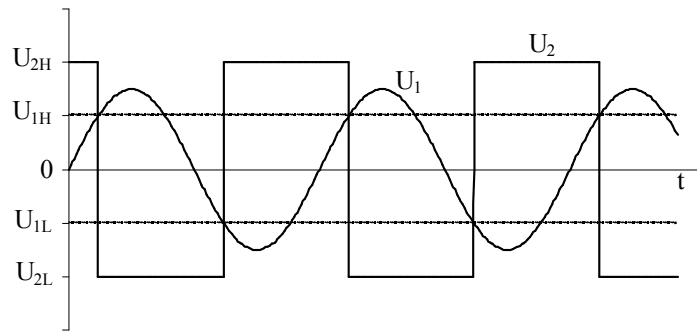
Převodní charakteristika invertujícího komparátoru s hysterezí je na obr. 39 vpravo.

Šířka okna převodní charakteristiky udává **hysterezi** komparátoru U_H

$$U_H = U_{1H} - U_{1L}$$

Řešením soustavy rovnic pro U_{1H} a U_{1L} s využitím vztahu pro hysterezi U_H vypočítáme ze zvoleného R_1 nejprve R_2 a posléze U_r .

Připojíme-li na vstup komparátoru s hysterezí harmonický signál, jehož rozkmit je větší než hystereze, je na výstupu periodický obdélníkový signál, jehož opakovací kmitočet je shodný s kmitočtem vstupního budicího signálu. Chování invertujícího komparátoru s hysterezí při harmonickém vstupním napětí je znázorněno na obr. 40.



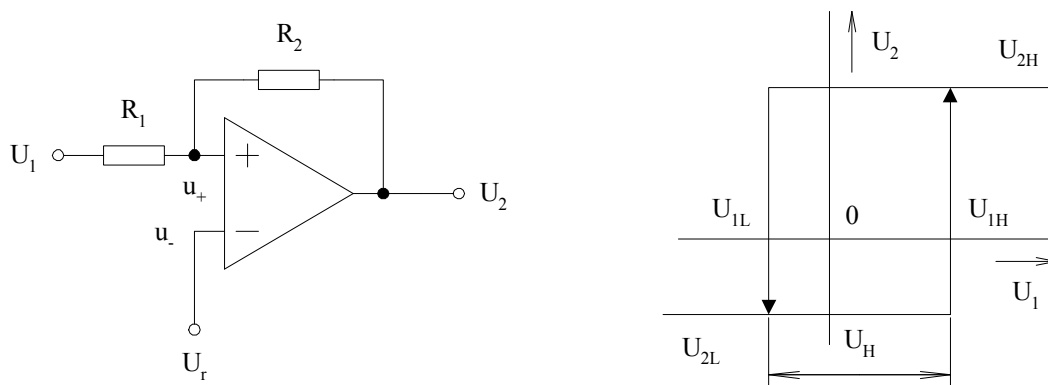
Obr. 40

Neinvertující komparátor s hysterezí

Vznikne vzájemnou záměnou signálů na obou vstupech komparátoru (invertujícím, neinvertujícím). Vstupní napětí se připojí na odpor R_1 , invertující vstup se připojí na pomocné napětí U_r (obr.41). Zapojení připomíná invertor, avšak **pozor!** uzel odporů R_1, R_2 je na neinvertujícím vstupu! Na rozdíl od invertujícího zesilovače se zápornou zpětnou vazbou má komparátor kladnou zpětnou vazbu (paralelní napěťovou).

Přivedeme-li na neinvertující komparátor dostatečně velké záporné napětí U_1 , bude $U_2 = U_{2L}$. Na neinvertujícím vstupu (+) bude napětí u_+ určené s využitím principu superpozice při působícím napětí U_{2L} a U_1 .

Při zvyšování vstupního napětí U_1 se výstupní napětí U_2 nemění až do okamžiku, kdy $U_1 = U_{1H}$ a diferenční napětí na komparátoru dosáhne nulové hodnoty ($U_d = U_r - u_+ = 0$, tj. $U_r = u_+$). V tom okamžiku vzroste výstupní napětí a $U_d < 0$. Vlivem kladné zpětné vazby skočí výstupní napětí velmi rychle z hodnoty U_{2L} na hodnotu U_{2H} . Napětí na neinvertujícím vstupu u_+ má nyní hodnotu určenou opět pomocí principu superpozice při působícím napětí U_{2H} a U_1



Obr. 41

Budeme-li nyní napětí U_1 snižovat, překlopí se komparátor opět na hodnotu U_{2L} v okamžiku kdy $U_1 = U_{1L}$.

Vztahy pro překlápěcí úrovně U_{1H} a U_{1L} získáme úpravou obou vztahů pro U_r .

V případě, že je $U_r = 0$ platí:

$$U_{1L} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot U_{2H} \qquad U_{1H} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot U_{2L}$$

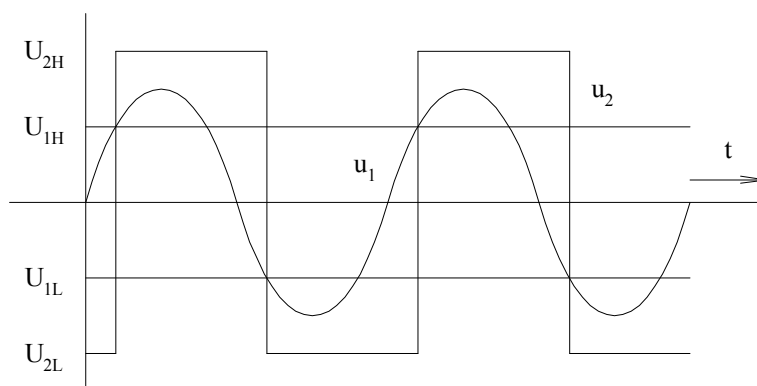
Převodní charakteristika neinvertujícího komparátoru s hysterezí je na obr. 41 vpravo.

Hystereze komparátoru U_H :

$$U_H = U_{1H} - U_{1L}$$

S využitím vztahu pro hysterezi U_H vypočítáme při zvoleném R_1 odpor R_2 a posléze z jedné rovnice pro U_r i toto napětí.

Na obr. 42 je opět znázorněno chování neinvertujícího komparátoru s hysterezí pro harmonický vstupní signál.



Obr. 42

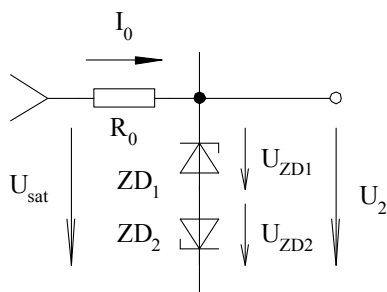
Úprava výstupního napětí komparátoru

Úrovně výstupního napětí je možné upravit několika způsoby symetricky nebo nesymetricky.

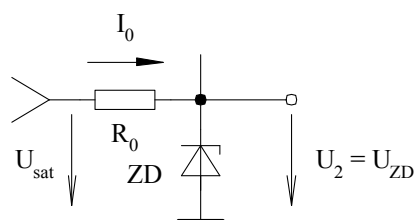
Snížení napájecího napětí komparátoru

Je vhodné v případech, kdy chceme symetrické úrovně výstupního napětí komparátoru. Zde je nutné si uvědomit, že výstupní napětí je vždy nižší než napájecí o úbytek napětí na vnitřních členech OZ (cca 1 V) a dále, že výrobce pro každý typ OZ stanoví rozsah jeho napájecího napětí.

Použití stabilizátorů se Zenerovými diodami



Obr. 43



Obr. 44

Tímto způsobem lze dosáhnout symetrických (obr.43) nebo nesymetrických (obr.44) výstupních úrovní.

Při návrhu stabilizátoru postupujeme tak, že si zvolíme vhodnou velikost proudu protékajícího Zenerovou diodou I_0 , aby se její pracovní bod nacházel ve stabilizační nebo propustné oblasti a výstup OZ nebyl přetížen (např. 10 mA). Pak určíme ze saturačního napětí OZ, požadovaného výstupního napětí a proudu velikost stabilizačního odporu R_0 . V případě nesymetrických výstupních úrovní musíme volit proud I_0 jako kompromis pro oba stavy.

Použití diodových omezovačů

Pro vytvoření libovolných výstupních úrovní můžeme použít diodové omezovače, kde jsou diody předepnuty pomocí dvou zdrojů U_{r1} a U_{r2} (obr.45).

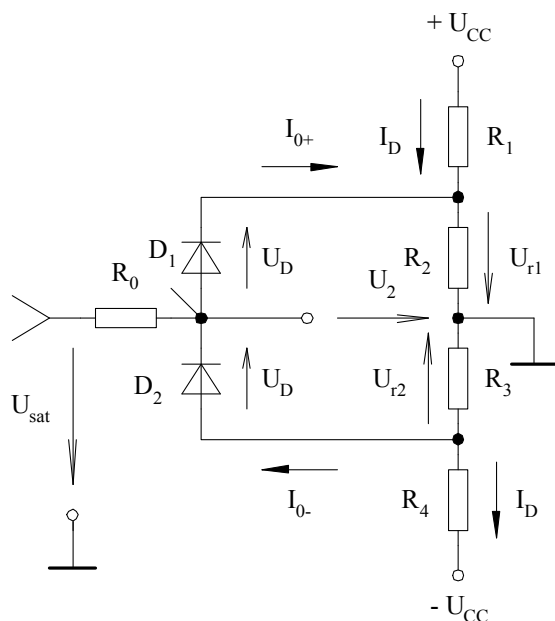
Podle obr. 45 platí:

$$\begin{aligned} U_{2H} &= U_{r1} + U_D & U_{2L} &= U_{r2} - U_D \\ U_{r1} &= U_{2H} - U_D & U_{r2} &= U_{2L} + U_D \end{aligned}$$

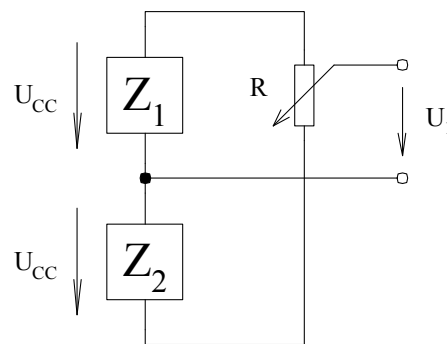
kde U_D je úbytek napětí na diodě v propustném směru (0,6 V)

Abychom nemuseli používat další dva samostatné zdroje U_{r1} , U_{r2} je možné tato napětí získat z napájecího symetrického napětí $\pm U_{CC}$ pomocí odporového děliče R_1 , R_2 a R_3 , R_4 . Přitom si nejprve zvolíme velikost klidového proudu děličem I_D (např. 1 mA).

Bude-li na výstupu omezovače napětí U_{2H} , otevře se dioda D_1 a rezistorem R_2 poteče proud $I_D + I_{0+}$, který na něm má vyvolat úbytek napětí U_{r1} . Děličem R_3 , R_4 teče proud I_D a dioda D_2 je zavřená.



Obr. 45



Obr. 46

Bude-li na výstupu omezovače napětí U_{2L} , otevře se dioda D_2 a rezistorem R_3 poteče proud $I_D + I_{0-}$, který na něm má vyvolat úbytek napětí U_{r2} . Děličem R_1 , R_2 teče proud I_D a dioda D_1 je zavřená.

Dále je třeba si uvědomit, že při použití stabilizátoru nebo omezovače na výstupu komparátoru se zpětná vazba zapojuje až na jejich výstup, ne na výstup OZ.

4. Instrukce k postupu měření

Ve všech bodech zadání se jedná o běžná měření, která byla procvičena na jiných úlohách. Skutečnou převodní charakteristiku komparátoru změříme pro vzrůst i pokles vstupního stejnosměrného napětí U_1 s tím, že detailnější proměření provedeme kolem hodnot U_{1L} a U_{1H} . Pro regulaci ss napětí v širokém rozsahu od napětí $-U_{CC}$ do napětí $+U_{CC}$ využijte zapojení podle obr.46.

Pro zobrazení převodní charakteristiky komparátoru na osciloskopu je nutné použít režim XY a komparátor vybudit střídavým signálem vhodné frekvence tak, aby se překlápěl mezi oběma úrovněmi U_{2H} , U_{2L} . Frekvenci přitom volíme tak, aby byla mnohem menší než mezní frekvence použitého operačního zesilovače, jinak bude velikost hystereze růst s frekvencí (vlivem mezní rychlosti přeběhu OZ).

Výstupní odpor komparátoru určíme ze zatěžovací charakteristiky, stejným způsobem jako u kteréhokoliv zdroje, v obou úrovních výstupního napětí U_{2H} a U_{2L} .