

- 64 -

2.1.4 Komparátory s hysterezi. Bistabilní klopné obvody

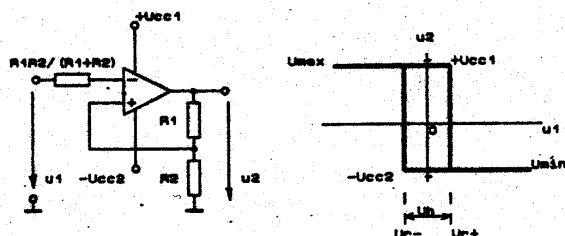
([2], [3], [5], [7], [8], ARS3/88)

Hystereze se v komparátoru zavádí ze dvou různých důvodů:

- 1) K potlačení vlivu šumu nasuperponovaném na vstupním signálu. Aktivní šum může vyvolat nežádoucí oscilace nebo několikeré překlapaní komparátoru při přechodech signálu komparační úrovní. Obvykle se velikost hystereze volí o něco větší, než je předpokládaná úroveň rušení. Běžná velikost je několik milivoltů.
- 2) K vytvoření bistabilního klopného obvodu (BKO), používaném v různých aplikacích (Schmittův KO, generátory impulsů apod.). Zde se velikost hystereze volí v závislosti na aplikaci a může být i několik voltů.

Způsoby zavedení hystereze (použitá součástka - operační zesilovač)

Invertující komparátor



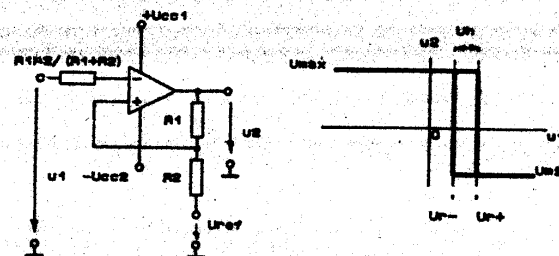
Obr.2.11 Invertující komparátor s hysterezi

$$\begin{aligned}
 |U_{\max}| &= |U_{cc1}| - (1 \text{ až } 2)V \\
 |U_{\min}| &= |U_{cc2}| - (1 \text{ až } 2)V \\
 U_r^+ &= U_{\max} R_2 / (R_1 + R_2) \\
 U_r^- &= U_{\min} R_2 / (R_1 + R_2) \\
 U_h &= (U_{\max} - U_{\min}) R_2 / (R_1 + R_2)
 \end{aligned}$$

- 65 -

způsob posouvání komparační úrovně:

- "spodní" konec rezistoru R_2 se "podloží" referenčním napětím podle obr.2.12.

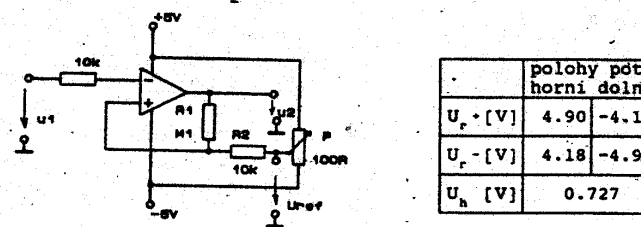


Obr.2.12 Způsob posouvání komparační úrovně

$$\begin{aligned}
 U_r^+ &= U_{ref} + (U_{\max} - U_{ref}) R_2 / (R_1 + R_2) \\
 U_r^- &= U_{ref} + (U_{\min} - U_{ref}) R_2 / (R_1 + R_2) \\
 U_h &= (U_{\max} - U_{\min}) R_2 / (R_1 + R_2)
 \end{aligned}$$

Charakteristika se posune na ose U_1 o hodnotu $U_{ref} R_1 / (R_1 + R_2)$

Příklad plynulé regulace komparačních úrovní je na obr. 2.13.



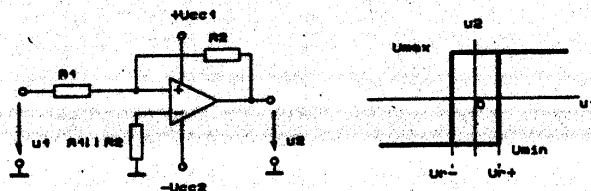
	polohy pót. horní dolní	
$U_r^+ [V]$	4.90	-4.18
$U_r^- [V]$	4.18	-4.90
$U_h [V]$	0.727	

Obr.2.13 Příklad komparátoru s posuvem komparačních úrovní

Hysterezní napětí U_h u komparátoru z obr.2.13 prakticky nezávisí na poloze potenciometru, platí-li $R_2 \gg R_p$. V opačném případě je třeba zdroj referenčního napětí realizovat jiným způsobem, např. pomocí dalšího OZ.

- 66 -

Neinvertující komparátor



Obr.2.14 Neinvertující komparátor s hysterezi

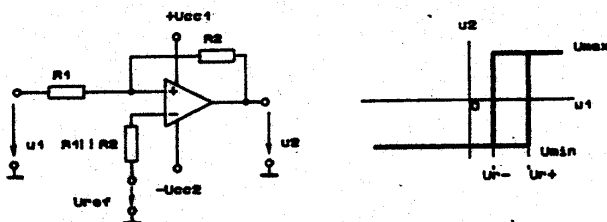
$$|U_{\max}| = |U_{cc1}| - (1 \text{ až } 2)V$$

$$|U_{\min}| = |U_{cc2}| - (1 \text{ až } 2)V$$

$$U_{r+} = -U_{\min} R_1 / R_2$$

$$U_{r-} = -U_{\max} R_1 / R_2$$

$$U_h = (U_{\max} - U_{\min}) R_1 / R_2$$



Obr.2.15 Způsob posouvání komparační úrovně

$$U_{r+} = U_{ref} (1 + R_1 / R_2) - U_{\min} R_1 / R_2$$

$$U_{r-} = U_{ref} (1 + R_1 / R_2) - U_{\max} R_1 / R_2$$

$$U_h = (U_{\max} - U_{\min}) R_1 / R_2$$

Zavedení hystereze u integrovaných komparátorů

je obdobné jako u OZ s tím, že je třeba respektovat upravené úrovně výstupního napětí $U_{\max}$ a $U_{\min}$. Tyto hodnoty jsou u komparátoru MAC160 asi 3,1V a 0,25V, u A110D 3V a -0,5V. U komparátorů MAC111 a 3M339 jsou závislé na způsobu zapojení

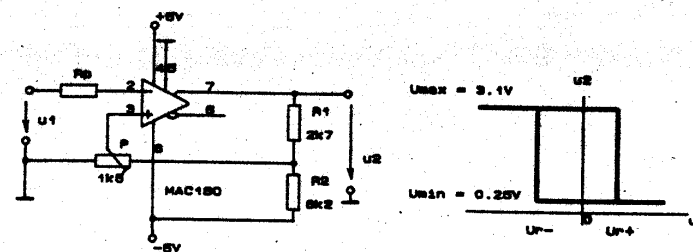
- 67 -

výstupního tranzistoru.

Měníme-li výstupní úrovně komparátoru vnějším tranzistorovým okrajovačem, pak zpětnovazební rezistory R_1 a R_2 vedeme až z výstupu tohoto okrajovače.

Příklady speciálních zapojení:

Komparátor MAC160 neposkytuje záporné výstupní napětí. Požadujeme-li, aby hystereze zasahovala i do záporných hodnot U_1 , připojíme spodní konec děliče R_1, R_2 na záporné napětí podle obr.2.16.


 Obr.2.16 Komparátor s hysterezi pro $U_r = 0$ až 0,5V

Pro napětí U_p vychází

$$U_p = U_2 \frac{R_2 \parallel R_p}{R_1 + R_2 \parallel R_p} - 5 \frac{R_1 \parallel R_p}{R_2 + R_1 \parallel R_p} \quad [V]$$

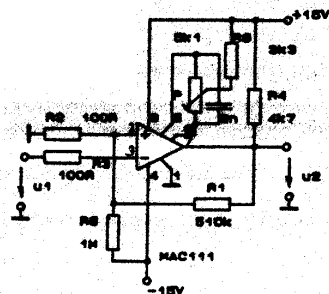
Konkrétně pro $U_2 = 3,1V$ je $U_p = 0,5V$, pro $U_2 = 0,25V$ je $U_p = -0,5V$. Trimrem P lze tedy nastavit překlápecí úroveň $U_p \leq 0,5V$.

Naznačený způsob lze použít i pro komparátor A110D nebo další typy.

Na obr.2.17 je přesný komparátor s MAC111, který reaguje na průchod signálu nulou s nastavenou hysterezi asi 3mV. Překlápecí úrovně se určí ze vztahů

$$U_{r+} = U_{cc+} \frac{R_2 \parallel R_5}{R_2 \parallel R_5 + R_1 + R_4} - U_{cc-} \frac{R_2 \parallel (R_1 + R_4)}{R_5 + R_2 \parallel (R_1 + R_4)} \pm$$

- 68 -



Obr.2.17 Zavedení hystereze u komparátoru MAC111

 R_1, R_2 ...nastavení hystereze

 R odporové vyrovnání vstupů (kompenzace proudového driftu)

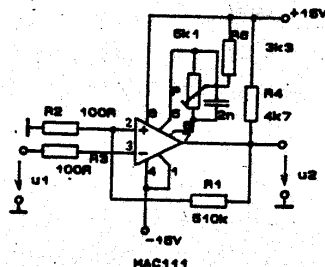
 R_4 napájení kolektoru interního tranzistoru

 R_5 zabezpečení záporné překlápěcí úrovně U_{r-}
 R_6, R_7 ..vyrovnání napětové nesymetrie vstupů

$$\pm 15 R_2/R_1 - 15 R_2/R_5 = 1,5\text{mV}$$

$$U_{r-} = -U_{cc} \cdot \frac{R_1 \parallel R_2}{R_5 + R_1 \parallel R_2} \approx -15 R_2/R_5 = -1,5\text{mV}.$$

Jednodušší, ale méně známé řešení spočívá v připojení vývodu 1 k zápornému napájecímu napětí (obr.2.18).



Obr.2.18 Jiný způsob zavedení "symetrické" hystereze

- 69 -

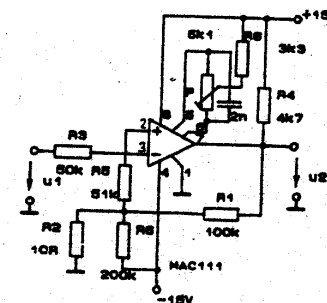
Pro překlápěcí úrovně nyní platí

$$U_{r+} = U_{cc} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_4} = 15 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_4} = 3\text{mV}$$

$$U_{r-} = -U_{cc} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = -15 R_2/R_1 = -3\text{mV}.$$

Hystereze vyšla dvakrát větší než v předchozím případě. Dostavit ji lze změnou R_2 .

Do odporu R_3 je nutno zahrnout i vnitřní odpor zdroje signálu. Je-li tento odpor relativně vysoký, musíme úměrně zvýšit i $R_2 = R_3$ a tím i R_1 , aby byla zachována potřebná hystereze. Odpor R_1 však není radno zvyšovat nad asi 1MΩ, čímž jsme limitováni. Proto pro napájení ze zdrojů signálu s velkým vnitřním odporem doporučujeme zapojení na obr.2.19.



Obr.2.19 Zapojení komparátoru s hysterezí pro zdroj signálu s vysokým vnitřním odporem

Překlápěcí úrovně:

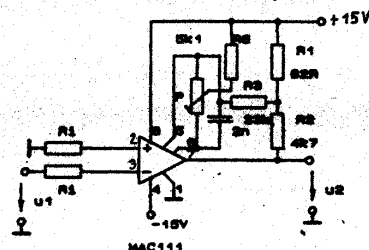
$$U_{r+} = U_{cc} \cdot \frac{R_2 \parallel R_6}{R_2 \parallel R_6 + R_1 + R_4} - U_{cc} \cdot \frac{R_2 \parallel (R_1 + R_4)}{R_2 \parallel (R_1 + R_4) + R_6} =$$

$$= 15 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_4} - 15 \cdot \frac{R_2}{R_6} = 0,75\text{mV}$$

- 70 -

$$U_{r-} = -U_{cc} \cdot \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + R_g} \approx -15 \cdot \frac{R_2}{R_g} = -0,75 \text{ mV}.$$

K vytvoření hystereze lze u MAC111 využít i nulovací vstupy komparátoru č. 5 a 6. Do vlastních vstupů 2 a 3 přitom nezasahujeme, což je výhodné, přivádíme-li např. aktivní signál na oba vstupy komparátoru nebo budíme-li komparátor zdrojem s velkým vnitřním odporem.



Obr.2.20 Zavedení hystereze přes nulovací vstupy komparátoru MAC111

Hystereze u obvodu na obr.2.20 je asi 1-2mV, je určena děličem R_1, R_2 a rezistorem R_3 .

Zavedení hystereze jako imunita komparátoru před zašumenými signály může být nevýhodné z toho důvodu, že komparátor se překlápí při dvou různých úrovních U_{r-}, U_{r+} , místo aby reagoval na průchod signálu jedinou úrovní. Tento nedostatek je citelný při relativně velké hysterezi (k níž jsme nuceni při relativně silném zašumení). Pak je třeba sáhnout k složitějšímu zapojení komparátoru s hysterezi, který překlápí jen při jediné definované úrovni. Jeho konkrétní zapojení a popis naleznete v [1], str.258-259, a v [2], str.146-147.

2.1.5 Aplikační pravidla pro použití komparátorů

([1], [2], [8], AR83/89)

Komparátory jsou velice "choulostivé" součástky. Reali-

- 71 -

zaci obvodů s komparátory bychom měli věnovat daleko větší péči než např. u obvodů s operačními zesilovači, pracujícími v lineárním režimu.

K napájení komparátoru volíme kvalitní zdroje napětí. V případě, že si nejsme jisti jejich malým vnitřním odporem a malým zvlněním, vyplatí se hned u vstupního konektoru desky plošného spoje umístit filtrační členy, popsané na str.36. Napájecí vývody zablokuje co nejblíže u pouzdra každého komparátoru monolitickými keramickými kondenzátory TK842 s kapacitou 10 až 100nF. Keramický kondenzátor je vhodné kombinovat s paralelním tantalovým kondenzátorem 1μF, který plní funkci zásobníku energie pro krytí větších proudových špiček.

Při návrhu plošného spoje je vhodné držet se těchto zásad :

- Volíme dvoustranné spoje. Ideální je ponechat na straně součástek souvislou měděnou vrstvu, která funguje jako elektrostatické stínění (u rychlého typu MAC160 je to nutné). Signálové spoje výstupu musíme vést oddělené od vstupu komparátoru a případných nulovacích vývodů. Mezi vstupy a výstupy ponecháme měděnou cestu, kterou buď uzemníme, nebo použijeme k rozvodu napájení. Signálové spoje výstupů a hlavné vstupů volíme co nejkratší. Dbáme na čistotu plošného spoje.
- Pro komparátor zásadně nepoužíváme objímku. Pájíme jej přímo do plošného spoje, co nejblíže k desce. Vnější součástky (rezistory, kapacitory, potenciometry) se snažíme umístit co nejblíže komparátoru. Výjimku tvoří trimr pro vyvažování napěťové nesymetrie u MAC111, který musí být umístěn ve vzdálenosti alespoň několika centimetrů.

Pokud to umožňuje povaha úlohy, připojíme paralelně ke vstupu komparátoru kondenzátor s kapacitou 100 až 1000pF. Je to osvědčený prostředek pro "zklidnění" odezvy komparátoru.

Vstupy komparátoru je třeba odporově vyvážit pro zajištění kompenzace proudového offsetu. Doporučujeme používat uhlíkové tenkovrstvé nebo metalizované rezistory (typy