

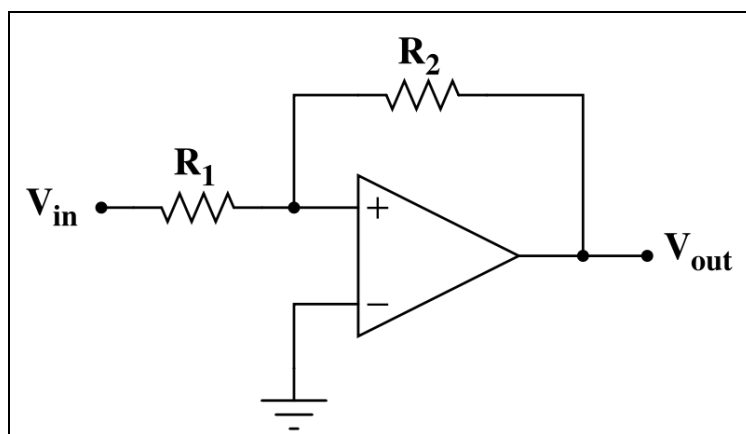
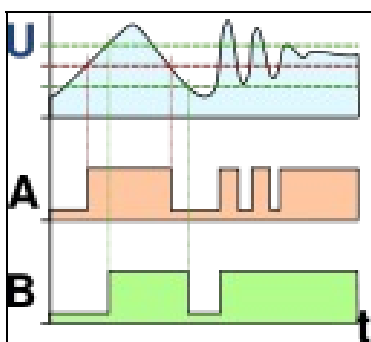
1. Schmittův klopný obvod

Principiální schéma. Popis funkce. Hysterese. K čemu je ST dobrý na vstupech řídicího počítače. Rozdíl, výhody/nevýhody oproti TTL vstupu. Vyhledání klopících napětí v datasheetu PIC16F87x.

- Schmitt trigger = Schmittův klopný obvod, (lépe komparátor s hysterezí).
- Neinvertující Schmittův klopný obvod je komparátor s hysterezí. Pokud je na výstupu U_L , přenáší se toto napětí přes odporový dělič na +IN. Na vstupu IN je třeba taková kladné napětí aby byl +IN kladnější proti vstupu -IN (ve schématu tedy i proti zemi), komparátor se překlápí do H. Toto opačně platí i pro úroveň U_H na vstupu.

Hysterese obvodu: Do L překlápí obvod při jiné napěťové úrovni napětí než do H.

Schmitt trigger

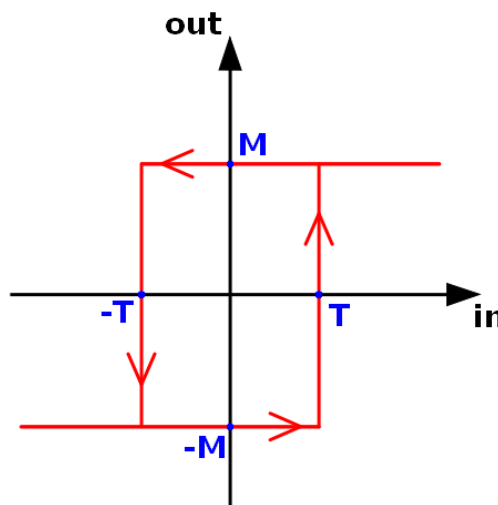


Schmittův klopný obvod dělá z libovolného vstupního signálu signál dvoustavový. Vykazuje hysterese.

Hodí se například k úpravě zarušeného signálu nebo ke zlepšení strmosti zkresleného obdélníkového signálu.

Obdélníkový signál po průchodu reálným vodičem ztrácí harmonické složky z důvodu konečné šířky přenášeného pásma. Signál nemusí mít dostatečně strmé hrany, popřípadě může být zarušený. Pro vyhodnocení TTL logikou to může být problematické. Pokud by se napěťová úroveň signálu (například důsledkem málo strmých hran) vyskytovala v zakázané oblasti 0,8-2V, byla by vyhodnocena nepředvídatelně. Tyto problémy dokáže ST vyřešit.

ST se vyrábí jako obvod TTL a CMOS, lze jej zkonstruovat i pomocí OZ. Pokud je na vstupu periodický signál s rozkmitem napětí

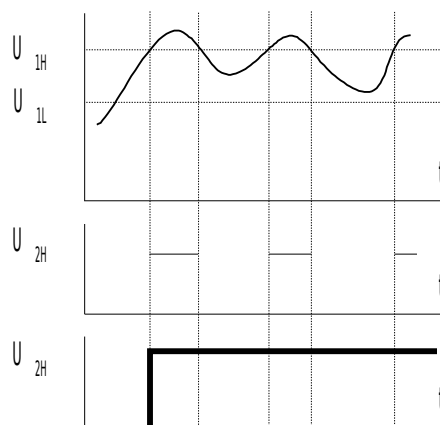


větším $U_{ss} > U_H$ než hysterezní napětí, je na výstupu obdélníkové napětí se shodnou periodou.

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

Nevýhodou zapojení komparátoru bez zpětné vazby je citlivost na rušivé signály. Při průchodu zarušeného 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. 5). Tyto oscilace jsou nežádoucí, neboť znemožňují správnou funkci obvodů za komparátorem. Vzniklé „falešné“ impulzy mají za následek např. chybnou funkci logických obvodů, kmitající obvod má velkou spotřebu – hrany nejsou nekonečně strmé – na tranzistoru otevřeném do $\frac{1}{2}$ je největší výkonová ztráta. K odstranění nežádoucích oscilací se zavádí *hystereze* (srv. hysterezní smyčka) pomocí kladné zpětné vazby. Kladná zpětná vazba obecně zvyšuje zesílení obvodu. Zde je již plné zesílení zesilovače využito a kladná ZV zesílení nemůže více zvětšit. Kladná zpětná vazba plní dvě funkce:

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

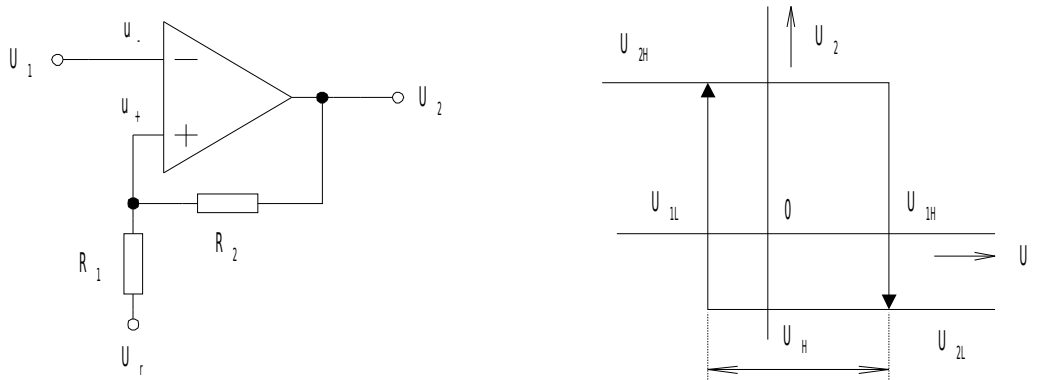


Obr. 5

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. 6 je zapojení invertujícího komparátoru. Kladná zpětná vazba je zavedena pomocí napěťového děliče R_1 , R_2 .



Proudy z hlediska vstupu U_1 jsou zanedbatelné, OZ má vysoký vstupní odpor, proudy z hlediska vstupu U_r již zanedbatelné nejsou.

Odvození a příklad návrhu invertujícího komparátoru

Přivedeme-li na komparátor dostatečně velké záporné napětí U_1 , bude $U_2 = U_{2H}$. Na neinvertujícím vstupu (+) bude tedy napětí

$$u_+ = U_{2H} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_r \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_{1H}$$

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 má nyní hodnotu

$$u_+ = U_{2L} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_r \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_{1L}$$

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:

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

Převodní charakteristika invertujícího komparátoru s hysterezí je na obr. 6.

Šířka okna převodní charakteristiky udává *hysterezi* komparátoru U_H

$$U_H = U_{1H} - U_{1L} = U_{2H} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_r \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_{2L} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} - U_r \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_H = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot (U_{2H} - U_{2L})$$

Postup při návrhu invertujícího komparátoru s hysterezí:

- Zvolíme R_1

- Ze vztahu pro hysterezi U_H určíme R_2

$$U_H = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot (U_{2H} - U_{2L})$$

$$(R_1 + R_2) \cdot U_H = R_1 \cdot (U_{2H} - U_{2L})$$

$$R_2 \cdot U_H = R_1 \cdot (U_{2H} - U_{2L}) - R_1 \cdot U_H$$

$$R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{U_{2H} - U_{2L}}{U_H} - 1 \right)$$

přitom musí platit:

$$U_{2H} - U_{2L} \geq U_H$$

- Určíme velikost pomocného napětí U_r

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

$$(R_1 + R_2) \cdot U_{1H} = U_{2H} \cdot R_1 + U_r \cdot R_2$$

$$U_r = \frac{(R_1 + R_2) \cdot U_{1H} - R_1 \cdot U_{2H}}{R_2} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \cdot U_{1H} - \frac{R_1}{R_2} \cdot U_{2H}$$

nebo

$$U_r = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \cdot U_{1L} - \frac{R_1}{R_2} \cdot U_{2L}$$

Př. 1

Navrhněte invertující komparátor s hysterezí jsou-li zadány tyto parametry:

$$U_{1H} = 3, U_{1L} = -2 \text{ V}, \quad U_{2H} = 5 \text{ V}, U_{2L} = -4 \text{ V}$$

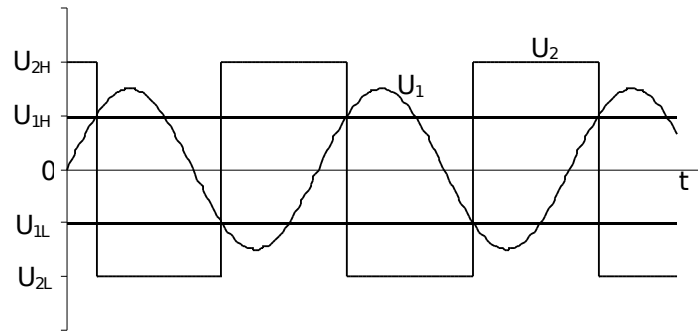
Volíme $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$

$$R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{U_{2H} - U_{2L}}{U_H} - 1 \right) = 10 \text{ k} \cdot \left(\frac{5 - (-4)}{5} - 1 \right) = 10 \text{ k} \cdot \frac{4}{5} = 8 \text{ k}\Omega$$

R_2 volíme $8 \text{ k}\Omega$

$$U_r = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \cdot U_{1H} - \frac{R_1}{R_2} \cdot U_{2H} = \left(1 + \frac{10 \text{ k}}{8 \text{ k}} \right) \cdot 3 - \frac{10 \text{ k}}{8 \text{ k}} \cdot 5 = 0,5 \text{ V}$$

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 budičského signálu. Chování invertujícího komparátoru s hysterezí při harmonickém vstupním napětí je znázorněno na obr. 8.



Obr. 8

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.9). 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).

Proud z hlediska vstupu U_1 není zanedbatelný, z hlediska vstupu U_r se dá zanedbat díky vysokému vstupnímu obvodu zesilovače.

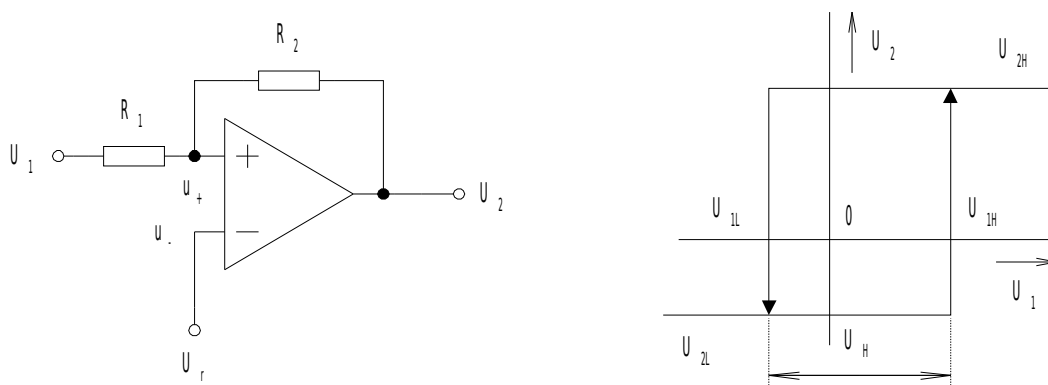
Odvození a příklad návrhu neinvertujícího komparátoru

Přivedeme-li na neinvertující komparátor dostatečně velké záporné napětí U_1 , bude $U_2 = U_{2L}$. Na neinvertujícím vstupu (+) bude napětí:

$$u_+ = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_{2L} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

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 má nyní hodnotu

$$u_+ = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_{2H} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



Obr. 9

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

Pro překlápěcí úrovně U_{1L} a U_{1H} platí:

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

$$U_{1L} \cdot R_2 + U_{2H} \cdot R_1 = U_r \cdot (R_1 + R_2) \qquad U_{1H} \cdot R_2 + U_{2L} \cdot R_1 = U_r \cdot (R_1 + R_2)$$

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

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. 9.

Hystereze komparátoru U_H :

$$U_H = U_{1H} - U_{1L} = U_r \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} - U_{2L} \cdot \frac{R_1}{R_2} - U_r \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} + U_{2H} \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

$$U_H = \frac{R_1}{R_2} \cdot (U_{2H} - U_{2L})$$

Postup při návrhu neinvertujícího komparátoru s hysterezí:

- Zvolíme R_1
- Ze vztahu pro hysterezi U_H určíme R_2

$$U_H = \frac{R_1}{R_2} \cdot (U_{2H} - U_{2L})$$

$$U_H \cdot R_2 = R_1 \cdot (U_{2H} - U_{2L})$$

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

- Vypočteme pomocné napětí U_r

$$U_r = U_{1L} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_{2H} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{R_1 + R_2} \cdot (R_2 \cdot U_{1L} + R_1 \cdot U_{2H})$$

nebo

$$U_r = U_{1H} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_{2L} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{R_1 + R_2} \cdot (R_2 \cdot U_{1H} + R_1 \cdot U_{2L})$$

Př. 2

Navrhnete invertující komparátor s hysterezí jsou-li zadány tyto parametry:

$$U_{1H} = 3 \text{ V}, U_{1L} = -2 \text{ V}, U_{2H} = 5 \text{ V}, U_{2L} = -4 \text{ V}$$

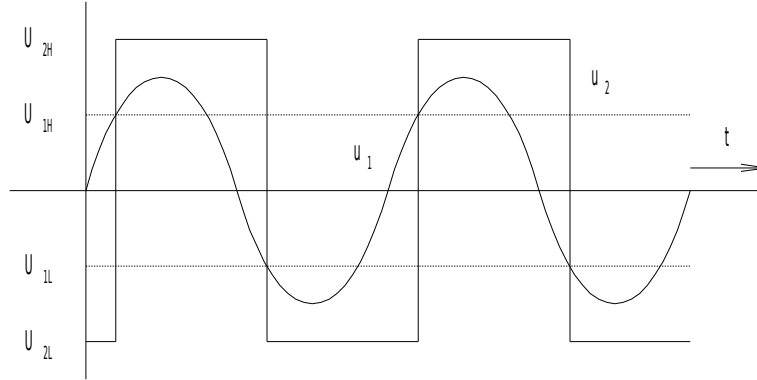
Volíme $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{U_{2H} - U_{2L}}{U_H} = 10 \text{ k} \cdot \frac{5 - (-4)}{5} = 10 \text{ k} \cdot \frac{9}{5} = 18 \text{ k}\Omega$$

R_2 volíme 18 k

$$U_r = \frac{1}{R_1 + R_2} \cdot (R_2 \cdot U_{1L} + R_1 \cdot U_{2H}) = \frac{1}{10k + 18k} \cdot (18k \cdot (-2) + 10k \cdot 5) = \frac{1}{28k} \cdot 14k = 0,5V$$

Na obr. 10 je opět znázorněno chování neinvertujícího komparátoru s hysterezí pro harmonický vstupní signál.



Obr. 10

Příklad realizace - TTL Schmidt trigger:

