

Funkční měniče

1. Zadání:

A. Na předloženém aproximačním funkčním měniči s operačním zesilovačem realizujícím funkci danou tabulkou:

U_1 / V					
U_V / V					

proved'te:

- pomocí osciloskopu měnič nastavte
- změřte na něm jeho převodní charakteristiku $U_2 = f(U_1)$

Z naměřených hodnot a charakteristik vypočítejte hodnoty součástek zapojení ($R_1 \dots R_k$, $R_{p1} \dots R_{pk}$)

B. Na převodníku napětí - kmitočet:

- změřte převodní charakteristiku $f = f(U)$
- určete převodní konstantu a nelinearitu

C. Na převodníku kmitočet - napětí:

- změřte převodní charakteristiku $U = f(f)$
- určete převodní konstantu a nelinearitu

Měření proved'te pomocí automatizovaného měřicího systému IMS-2.

D.cv.

- zopakovat aplikace OZ, MKO, proudové zdroje
- návrh aproximačního měniče včetně realizace

Literatura:

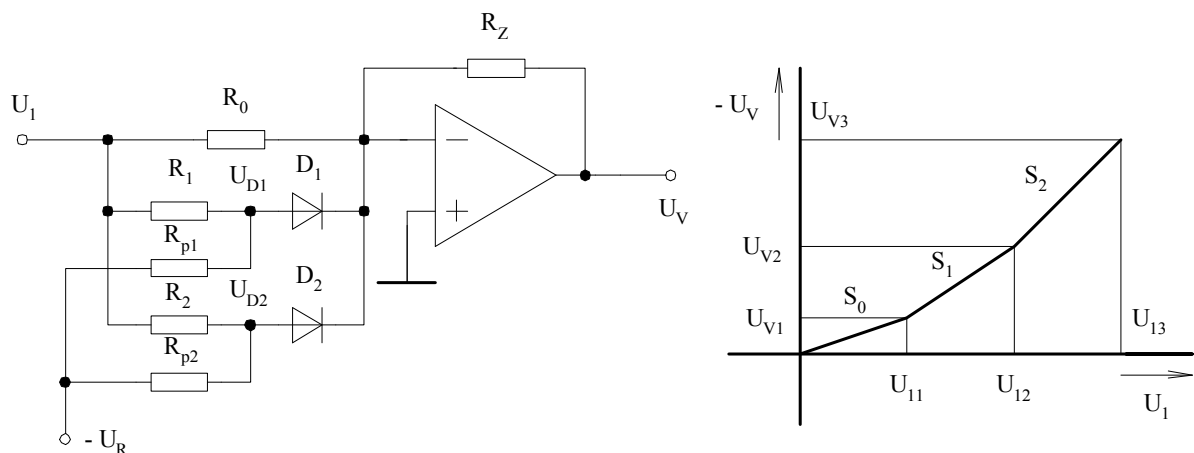
- Vedral, J.: Elektronické obvody měřicích přístrojů. ČVUT, Praha 1994
Kabeš, K.: Funkční měniče a násobičky. SNTL, Praha 1973

3. Teoretický rozbor

a) vlastností měřeného předmětu

Aproximační funkční měniče

Užívají pro generování nelineárních funkčních závislostí lineární aproximaci lomenými přímkami. Z hlediska způsobu aproximace rozlišujeme tečnovou a sečnovou aproximaci. Při tečnové aproximaci neleží body aproximace P_K na funkčním průběhu. Při sečnové aproximaci jsou body aproximace částí funkčního průběhu. Aproximační diodový funkční měnič generující **konkávní funkci** třemi lomenými přímkovými úseky je na obr.1.



Obr. 1

Diody D_1, D_2 mají vzájemně odstupňovaná napětí $U_{D1} < U_{D2}$, odvozená odpory R_{p1}, R_{p2} a R_1, R_2 z referenčního napětí $-U_R$. Vlastní prahová napětí diod U_{p1}, U_{p2} závisí na typu diody a teplotě jejich přechodu. Je-li vstupní napětí $U_1 > 0$ ($U_V < 0$) a takové, že $U_{Dk} < U_{pk}$, jsou obě diody nevodivé a strmost aproximovaného úseku je

$$S_0 = \frac{R_Z}{R_0}$$

Vzroste-li vstupní napětí na takovou hodnotu, kdy $U_{Dk} > U_{pk}$ sepne příslušná dioda i diody předcházející a odpory až po R_k se postupně připojí paralelně k odporu R_0 . Strmost aproximovaného úseku potom bude:

$$S_k = \frac{R_Z}{R_0 \parallel R_1 \parallel \dots \parallel R_k} \quad \text{kde} \quad S_k = \frac{U_{V_{k+1}} - U_{V_k}}{U_{1_{k+1}} - U_{1_k}}$$

$S_k \dots$ je strmost k-tého úseku

Z předchozího popisu je jasné, že strmost následujícího úseku je vždy větší než strmost úseku předcházejícího a tímto způsobem lze tedy realizovat funkce typu x^n, e^x, \dots

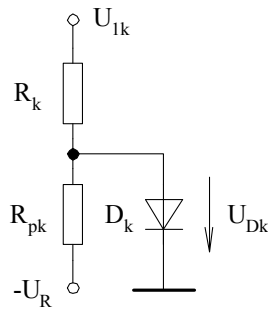
Pro záporné vstupní napětí $U_1 < 0$ ($U_V > 0$) musí být diody D_k opačně polarizovány a referenční napětí kladné $U_R > 0$.

Kombinací obou předchozích zapojení s jedním odporem R_0 a dvěma zdroji ref. napětí $U_R, -U_R$ lze vytvořit oboupolaritní diodový aproximační funkční měnič pro realizaci konkávní

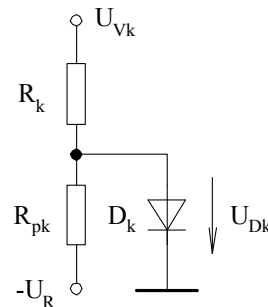
funkce na jehož vstup můžeme přivést napětí U_1 kladné i záporné polarity. Tak lze realizovat např. funkci typu x^3 .

Při odvození vztahů pro návrh diodového aproximačního funkčního měniče pro realizaci konkávní funkce vycházíme ze zapojení jedné diodové větve (odporový dělič napájený ze dvou stran napětím U_1 a $-U_R$) podle obr.2. Napětí U_{dk} určíme s využitím principu superpozice napětí U_{1k} a $-U_R$. Ze vztahu pro U_{dk} potom vyjádříme R_{pk} .

$$R_{pk} = R_k \cdot \frac{U_R + U_{Dk}}{U_{1k} - U_{Dk}}$$



Obr. 2



Obr. 3

Postup při návrhu diodového aproximačního funkčního měniče pro konkávní funkci je následující:

- Zvolíme počet úseků, kterými chceme aproximovat průběh zadané funkce, a velikost odporu R_z . Vypočteme strmosti jednotlivých úseků:

$$S_k = \frac{U_{V_{k+1}} - U_{V_k}}{U_{1_{k+1}} - U_{1_k}}$$

- Vypočteme velikosti odporů R_k a velikost odporů R_{pk}

Postup při výpočtu hodnot součástek zapojení vychází ze zadané hodnoty R_z a U_R a změřených souřadnic bodů zlomu převodní charakteristiky. Nejprve určíme strmost jednotlivých úseků a postupně od R_0 všechny odpory R_k . Nakonec ke každému odporu R_k vypočítáme s pomocí napětí U_{1k} příslušný odpor R_{pk} .

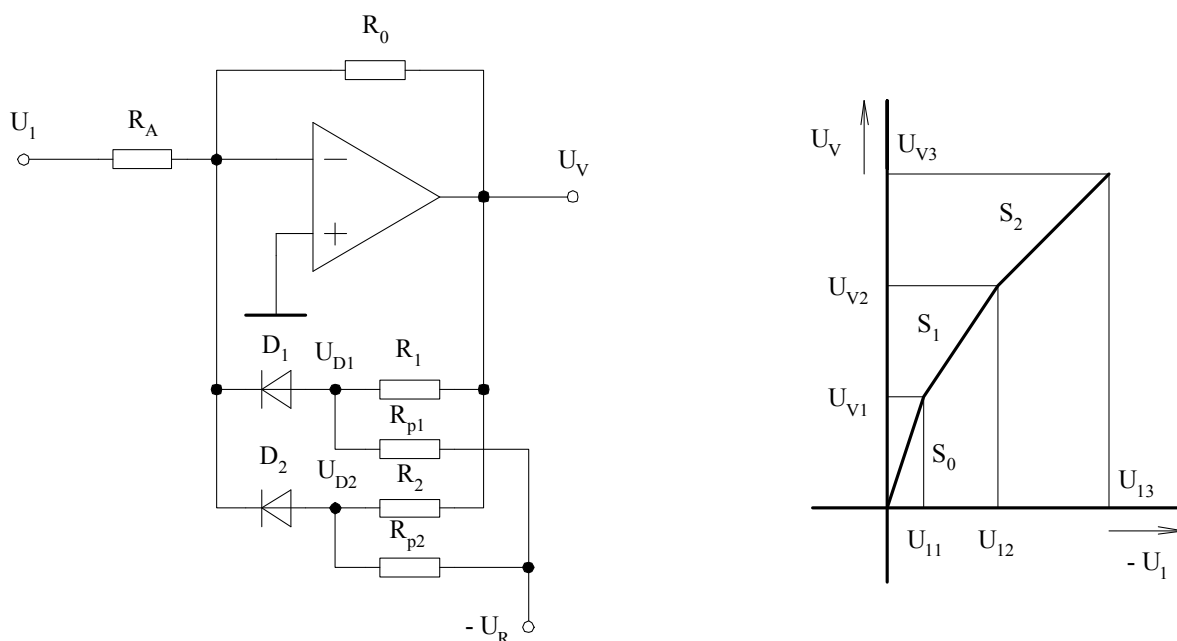
Aproximační diodový funkční měnič generující **konvexní funkci** třemi lomenými přímkovými úseky je na obr.4. Diody D_1, D_2 mají vzájemně odstupňovaná napětí $U_{D1} < U_{D2}$, odvozená odpory R_{p1}, R_{p2} a R_1, R_2 z referenčního napětí $-U_R$. Vlastní prahová napětí diod U_{p1}, U_{p2} závisí na typu diody a teplotě jejich přechodu. Je-li výstupní napětí $U_V > 0$ ($U_1 < 0$) a takové, že $U_{Dk} < U_{pk}$, jsou obě diody nevodivé a strmost aproximovaného úseku je

$$S_0 = \frac{R_0}{R_A}$$

Vzroste-li výstupní napětí na takovou hodnotu, kdy $U_{Dk} > U_{pk}$ sepne příslušná dioda i diody předcházející a odpory až po R_k se postupně připojí paralelně k odporu R_0 . Strmost aproximovaného úseku potom bude:

$$S_k = \frac{R_0 \parallel R_1 \parallel \dots \parallel R_k}{R_A} \quad \text{kde} \quad S_k = \frac{U_{V_{k+1}} - U_{V_k}}{U_{1_{k+1}} - U_{1_k}}$$

S_k ... je strmost k-tého úseku



Obr. 4

Z předchozího popisu je jasné, že strmost následujícího úseku je vždy menší než strmost úseku předcházejícího a tímto způsobem lze tedy realizovat funkce typu $x^{1/n}$, $\ln x$, Pro záporné výstupní napětí $U_V < 0$ ($U_1 > 0$) musí být diody D_k opačně polarizovány a referenční napětí kladné $U_R > 0$.

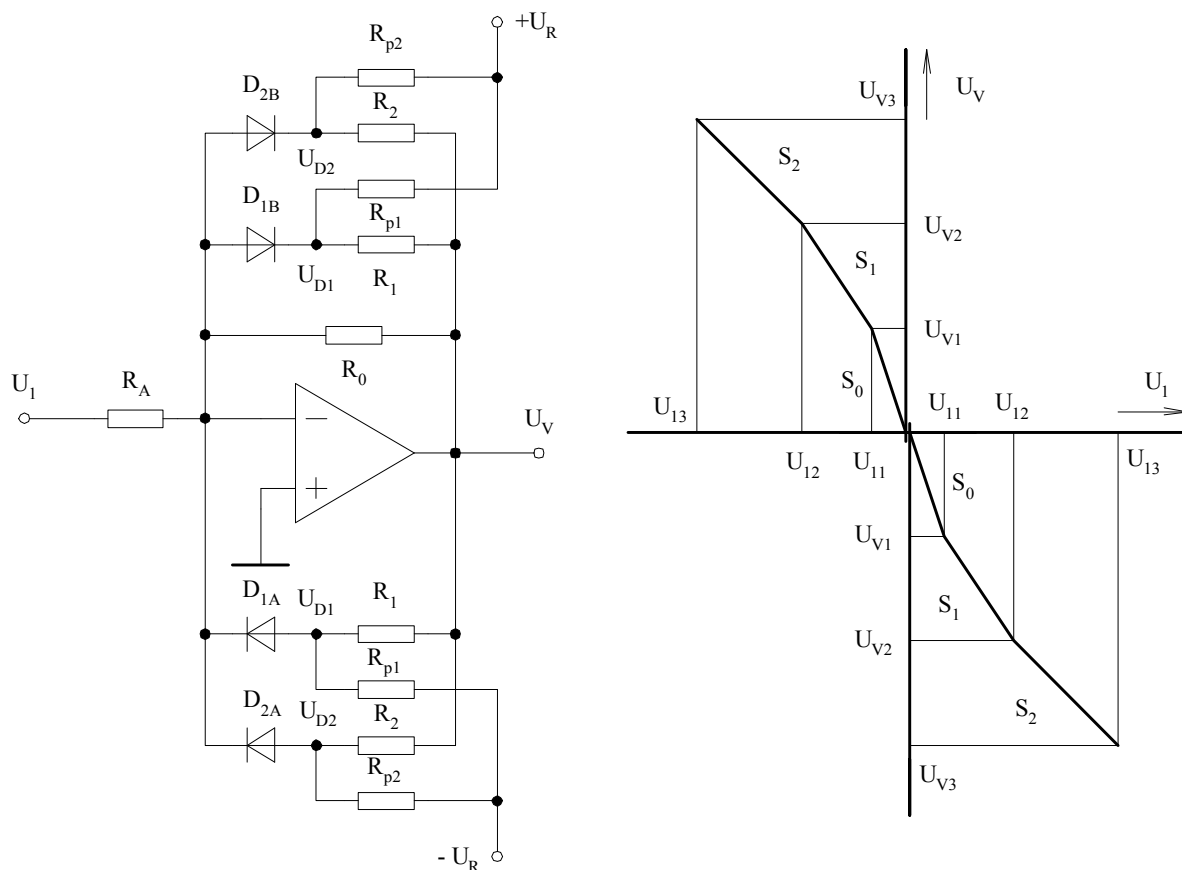
Při odvození vztahů pro návrh diodového aproximačního funkčního měniče pro realizaci konvexní funkce vycházíme ze zapojení jedné diodové větve (odporový dělič napájený ze dvou stran napětím U_V a $-U_R$) podle obr. 3. Napětí U_{Dk} určíme s využitím principu superpozice napětí U_{Vk} a $-U_R$. Ze vztahu pro U_{Dk} potom vyjádříme R_{pk} .

$$R_{pk} = R_k \cdot \frac{U_R + U_{Dk}}{U_{Vk} - U_{Dk}}$$

Postup při návrhu diodového aproximačního funkčního měniče pro konvexní funkci je shodný s návrhem téhož pro konkávní funkci s tím rozdílem, že zde volíme velikost odporu R_A ve vstupu OZ.

Postup při výpočtu hodnot součástek zapojení vychází ze zadané hodnoty R_A a U_R a změřených souřadnic bodů zlomu převodní charakteristiky. Nejprve určíme strmost jednotlivých úseků a postupně od R_0 všechny odpory R_k . Nakonec ke každému odporu R_k vypočítáme s pomocí napětí U_{Vk} příslušný odpor R_{pk} .

Kombinací obou předchozích zapojení s jedním odporem R_0 a dvěma zdroji ref. napětí U_R , $-U_R$ lze vytvořit oboupolaritní diodový aproximační funkční měnič pro realizaci konvexní funkce na jehož vstup můžeme přivést napětí U_1 kladné i záporné polarity. Tak lze realizovat např. funkci typu $\sin x$ (obr. 5). Vzhledem k principu oboupolaritního aproximačního funkčního měniče stačí navrhnout pouze jednu polovinu zpětnovazebního zapojení, druhá polovina tohoto zapojení je s ní identická s tím rozdílem, že polarita diod i referenčního napětí je opačná.



Obr. 5

Měníč na obr. 5 je použitelný například pro vytvoření sinusového průběhu o amplitudě U_{ms} , který by vznikl přivedením např. pilovitého průběhu o amplitudě U_{mt} na vstup měniče. Frekvence sinusového průběhu by byla stejná s frekvencí vstupního signálu, oba dva průběhy však budou navzájem posunuty o 180° . Amplitudu vzniklého sinusového signálu je možné měnit pomocí odporového děliče zapojeného na výstup měniče.

Často potřebujeme **převodníky pro převod spojité měřené veličiny na impulzy**, jejichž opakovací frekvence je úměrná velikosti měřené veličiny, nebo naopak pro převod impulzové veličiny na veličinu spojitou. V měřicí technice je používáme pro měření na vzdálených objektech, kdy měřenou veličinu nejprve převedeme na veličinu vyjádřenou impulzově, přeneseme ji a převedeme ji zpět na analogovou veličinu a tu pak změříme. Příkladem převodníků tohoto typu jsou převodníky napětí - kmitočet (U/f) a kmitočet - napětí (f/U).

Převodník napětí - kmitočet

Převodníky napětí - kmitočet převádějí vstupní napětí U na kmitočet f impulzního signálu podle vztahu:

$$f = k_1 \cdot U \quad [Hz, Hz \cdot V^{-1}, V]$$

kde k_1 je převodní konstanta převodníku, která se obvykle definuje v kmitočtovém rozsahu f_0 až f_m vztahem:

$$k_1 = \frac{f_m - f_0}{U_m - U_0}$$

Nelinearita převodníku napětí - kmitočet je určena maximální odchylkou kmitočtu Δf skutečného a ideálního převodníku, vztaženou ke kmitočtovému rozsahu $f_m - f_0$ převodníku

$$NL = \frac{\Delta f}{f_m - f_0}$$

Převodník pracuje na principu vyrovnávání náboje na integračním kondenzátoru. Obsahuje integrátor se zesilovačem Z_1 , rezistorem R_1 a kondenzátorem C_1 , monostabilní klopný obvod MKO a spínač s tranzistorem T , který připíná po dobu kyvu monostabilního klopného obvodu referenční napětí U_R přes rezistor R_2 k invertujícímu vstupu zesilovače (obr. 6).

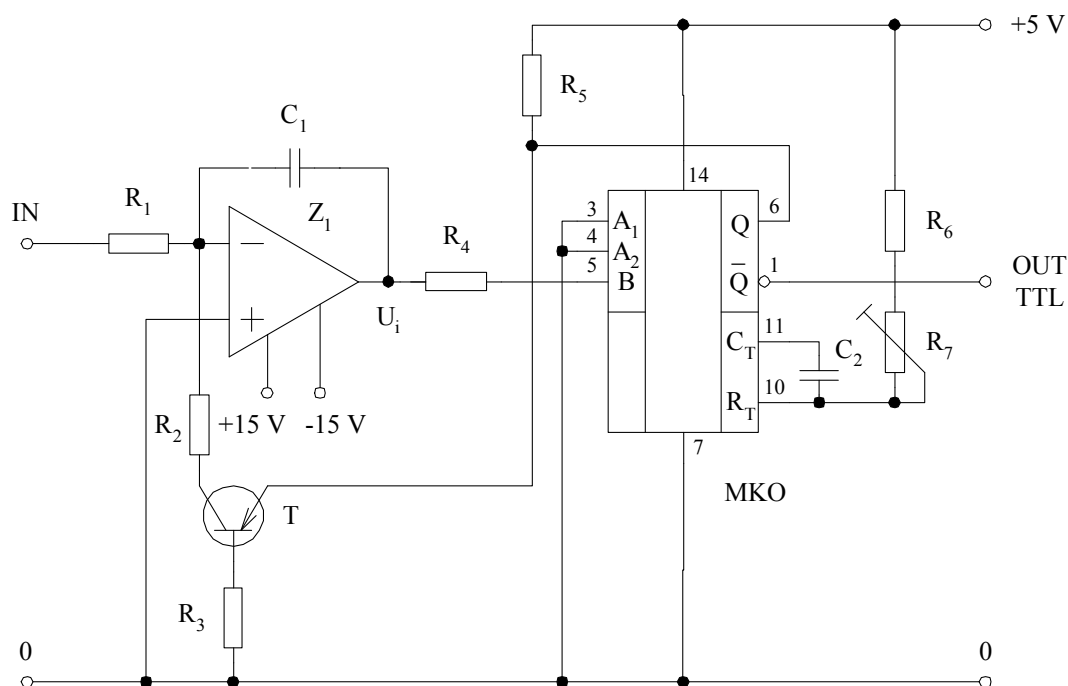
Je-li ke vstupu integrátoru připojeno záporné napětí U_1 , pak výstupní napětí integrátoru U_i lineárně roste po dobu T_1 do doby, kdy dosáhne hodnoty U_H , při které se spustí monostabilní klopný obvod. Ten po dobu svého kyvu $T_K \cong 0,7 \cdot R_6 \cdot C_2$ sepne spínač s tranzistorem T a integrátor kromě vstupního proudu $-U_1/R_1$ integruje referenční proud U_R/R_2 . Po uplynutí doby kyvu se spínač rozezne a integrátor integruje pouze vstupní proud (obr. 7).

Z rovnosti nábojů na integračním kondenzátoru během dob T_1 a T_K platí:

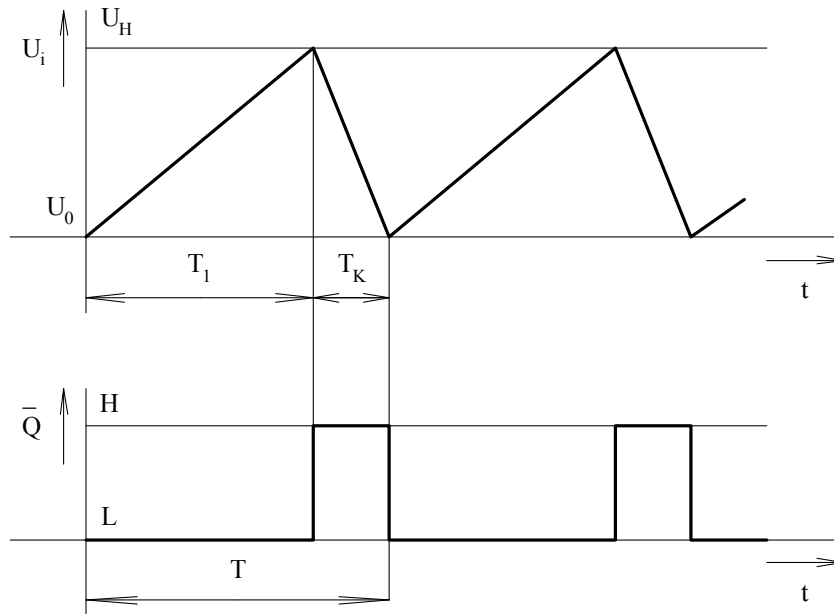
$$U_H - U_0 = \frac{U_1}{R_1 \cdot C} \cdot T_1 = \left(\frac{U_R}{R_2} - \frac{U_1}{R_1} \right) \cdot \frac{T_K}{C}$$

Doba integrace vstupního T_1 vstupního napětí je:

$$T_1 = \left(\frac{U_R}{U_1} \cdot \frac{R_1}{R_2} - 1 \right) \cdot T_K$$



Obr. 6



Obr. 7

Doba periody výstupního impulzního signálu $T = T_1 + T_K$:

$$T = T_1 + T_K = \left(\frac{U_R}{U_1} \cdot \frac{R_1}{R_2} - 1 \right) \cdot T_K + T_K = \frac{U_R}{U_1} \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot T_K - T_K + T_K = \frac{U_R}{U_1} \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot T_K$$

určuje jeho kmitočet f :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{U_1 \cdot R_2}{U_R \cdot R_1 \cdot T_K}$$

Na kvalitu převodu nemá vliv kapacita C ani napětí U_H . Vliv má ovšem stabilita délky pulzu T_K . Musí být rovněž zaručeno, že U_0 ani U_H nepřevyšují saturační napětí OZ. O převodních s vyrovnáváním náboje hovoříme proto, že za dobu T_K je odčerpán z kapacity C vždy stejný náboj. K novému spuštění dojde v okamžiku, kdy vstupní napětí U_1 dodá stejný náboj jako byl odčerpán.

Převodníky, které pracují s trvalou integrací, jsou principiálně nejpřesnější. Chyby vnáší jen nedokonalost použitých obvodových prvků (statické i dynamické vlastnosti OZ a stabilita referenčních napětí).

Převodník kmitočet - napětí

Převodníky kmitočet - napětí převádějí kmitočet f impulzního signálu na napětí U podle vztahu:

$$U = k_2 \cdot f \quad [V \& \cdot Hz^{-1}, Hz]$$

kde k_2 je převodní konstanta převodníku, která se definuje obdobně jako u převodníku napětí-kmitočet vztahem:

$$k_2 = \frac{U_m - U_0}{f_m - f_0}$$

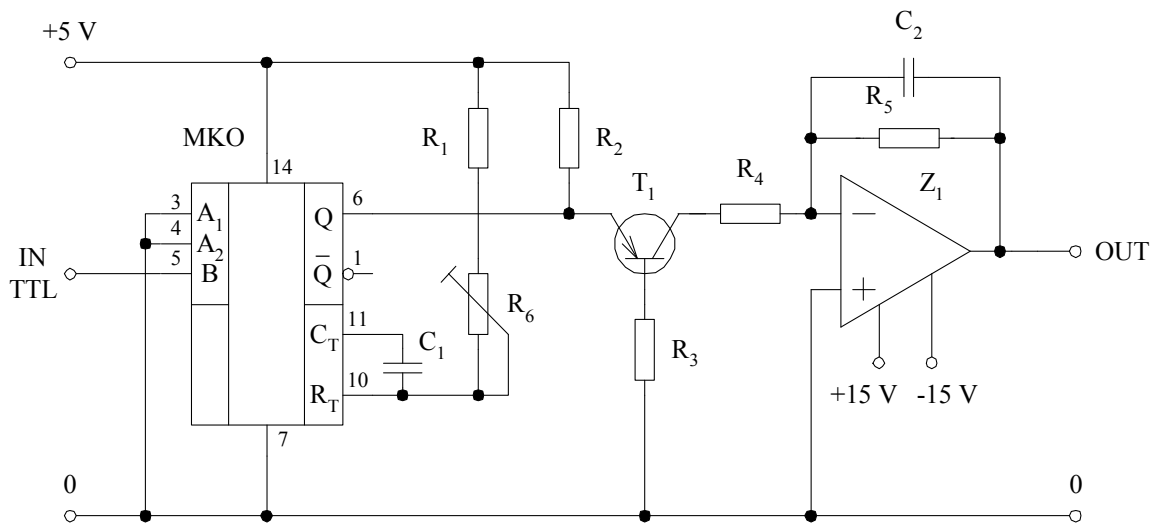
Nelinearita převodníku kmitočt-napětí je určena maximální odchylkou ΔU skutečného a ideálního převodníku, vztaženou k napěťovému rozsahu $U_m - U_0$ převodníku:

$$NL = \frac{\Delta U}{U_m - U_0}$$

Převodník pracuje na principu integrace impulzního signálu s proměnným kmitočtem. Obsahuje monostabilní klopný obvod MKO, spínač s tranzistorem T_1 a integrační zesilovač Z_1 s rezistory R_2 , R_3 a kondenzátorem C_2 (obr. 8)

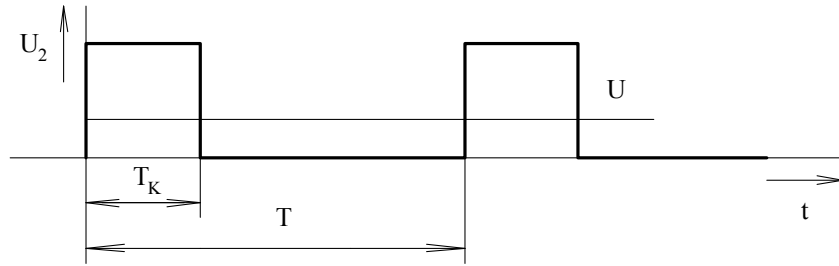
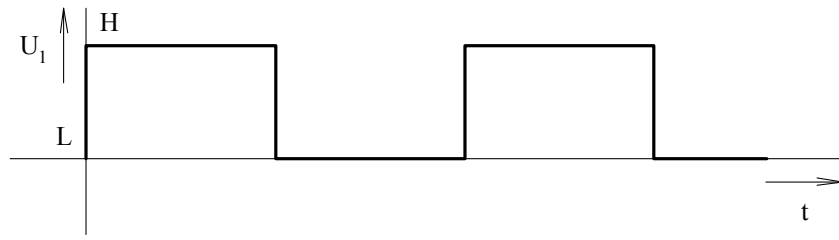
Po příchodu náběžné hrany vstupního impulzního TTL signálu se po dobu kyvu monostabilního klopného obvodu $T_K \cong 0,7 \cdot R_1 \cdot C_1$ sepne spínač s tranzistorem T_1 , který připne na vstup integrátoru referenční proud $I_R = U_R/R_4$. Tento proud je převeden integrátorem na výstupní napětí, jehož střední hodnota je:

$$U = -I_R \cdot R_5 \cdot \frac{T_K}{T} = -\frac{U_R}{R_4} \cdot R_5 \cdot \frac{T_K}{T} = -\frac{U_R}{R_4} \cdot R_5 \cdot T_K \cdot f$$



Obr. 8

Časový průběh signálů převodníku je na obr. 9.



Obr. 9