

Stabilní lineární převodník U/f

Ing. Pavel Vrbka

Tento převodník U/f je určen ke konstrukci multimetru — doplňku univerzálního čítače. Pro své výborné vlastnosti (linearitu a stabilitu) najde uplatnění i v dalších aplikacích, např. při záznamu signálů velmi nízkých kmitočtů na magnetofon, při přenosu signálů v podmínkách s rušením atd.

Princip činnosti

Převodník pracuje na principu vyrovnávání náboje (*charge balancing*), který se vyznačuje výbornou linearitou a účinným potlačením rušivých superponovaných napětí. Funkční schéma převodníku je na obr. 1, průběh na výstupu integrátoru na obr. 2.

Obvod pracuje ve dvou takttech. Během doby t_1 je na vstup integrátoru přivedeno záporné napětí U_{vst} přes rezistor R_1 zároveň s kladným referenčním napětím U_{ref} , které je přiváděno přes sepnutý spínač S a rezistor R_2 . Během doby t_1 , která je konstantní (určena dobou kmitu MKO), napětí na výstupu integrátoru klesá (viz obr. 2, $|U_{\text{ref}}| > |U_{\text{vst max}}|$). Po návratu MKO do stabilního stavu je spínač S rozpojen a integrátor po dobu t_2 integruje pouze napětí U_{vst} . Během t_2 se tedy napětí na výstupu integrátoru zvětšuje, až je dosaženo komparačního napětí U_k , při němž je znovu spuštěn MKO a celý děj se opakuje. Pro četnost výstupních impulsů MKO platí vztah (1)

$$f_{\text{vst}} = \frac{1}{t_1 + t_2} = \frac{R_2}{R_1 U_{\text{ref}} t_1} U_{\text{vst}} \quad (1)$$

ze kterého vyplývá, že:

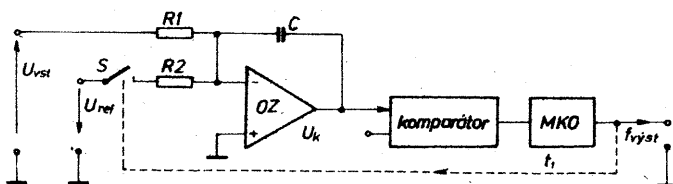
- mezi U_{vst} a f_{vst} je lineární závislost;
- stabilita převodní konstanty je určena stabilitou R_1 , R_2 , U_{ref} a t_1 ;
- nezáleží na dlouhodobé stabilitě kapacity kondenzátoru C ani komparační úrovně U_k .

Kapacita kondenzátoru C však není libovolná, je nutno ji zvolit s ohledem na ΔU_{max} (pro $U_{\text{vst}} = 0$) podle vztahu (2) tak, aby nedošlo k saturaci integračního zesilovače:

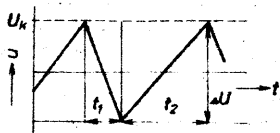
$$\Delta U_{\text{max}} = -\frac{U_{\text{ref}} t_1}{R_2 C} \quad (2)$$

Realizace převodníku

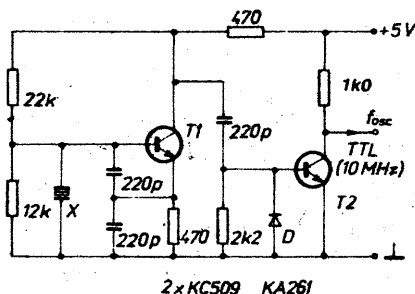
Podle funkčního schématu na obr. 1 byl navržen převodník U/f , jehož výsledné schéma zapojení je na obr. 3.



Obr. 1. Funkční schéma převodníku



Obr. 2. Průběh napětí na výstupu integrátoru



Obr. 4. Osvědčené zapojení krystalového oscilátoru

Součástky převodníku byly zvoleny tak, aby převodní koeficient byl 8,8 kHz/V a aby převodník pracoval v rozsahu výstupních kmitočtů 0 až 10 kHz (před převodníkem je použit oddělovací zesilovač se zesílením $A_u > 1$). Převodník je navržen jako část multimetru — doplňku univerzálního čítače, který má jako celek převodní konstantu 10 kHz/V. Vstupní obvody multimetru byly v AR již několikrát popsány.

Vstupní odpor převodníku (obr. 3) je dán odporem R_1 rezistoru R_1 . Integrátor je tvořen kondenzátorem C_1 a IO1 (MAB355). Trimr P_1 slouží ke kompenzaci napěťové nesymetrie IO1 — nastavuje se jím nulový výstupní kmitočet při zkratovaných vstupních svorkách. Za integrátorem je zapojen komparátor IO2; je použit IO typu MAC111. Komparační napětí $U_k = 4$ V je odvozeno z napětí U_{ref} děličem R_4 , R_5 .

Výstupní impuls komparátoru nastaví výstup klopného obvodu (KO) typu D (IO4a) do úrovně H. Tím se uvolní děličky IO4b, IO5 a IO6 a po 512 impusech, přiváděných na hodinový vstup IO4b (f_{osc}), se KO IO4a vrátí do klidového stavu. Tímto způsobem je generován impuls konstantní délky t_1 . Zvolené řešení nahrazuje MKO z funkčního schématu na obr. 1 a přináší dvě podstatné výhody:

a) při použití krystalového oscilátoru při generaci f_{osc} je délka intervalu t_1 velmi stabilní; odpadnou potíže se stabilitou kondenzátoru, které by se vyskytly v případě použití MKO typu 74121 nebo 555.

b) při přivedení $f_{\text{osc}} = 10$ MHz z vnitřního krystalového oscilátoru čítače nebude zobrazený údaj při měření vůbec závislý na stabilitě tohoto oscilátoru; umožňuje při konstrukci jednoúčelového voltmetru na tomto principu nahradit krystalový oscilátor levnějším typem oscilátoru. Délka taktu generované doby t_1 je zatížena chybou, danou asynchronním spouštěním KO IO4a. Tato chyba je menší než 0,098 % a lze ji ještě zmenšit zvětšením počtu čítaných impulsů (ovšem za cenu zmenšení maximálního dosažitelného výstupního kmitočtu převodníku). V praxi se chyba rušivě neprojeví, protože během měření f_{vst} vždy proběhne větší počet integračních cyklů.

Spínač S je tvořen tranzistorem T_1 a rezistory R_{12} , R_{13} . Kondenzátor C_2 urychluje překlápění tranzistorů T_1 , který uzemňuje společný bod zapojení rezistorů R_2 a R_3 a tak odpojuje zdroj $U_{\text{ref}} = 10$ V od vstupu integrátoru. Jako zdroj U_{ref} je použit IO3 typu MAC01. Tranzistor T_2 slouží ke kompenzaci U_{CES} T_1 . Při ožiování se trimrem P_2 nastaví na kolektoru sepnutého tranzistoru T_1 nulové napětí proti zemi.

Zapojení podle obr. 3 bylo realizováno na univerzální desce, proto není uveden výkres plošných spojů. Dalším důvodem tohoto řešení je to, že nejde o samostatný ucelený přístroj, a lze tedy

předpokládat, že bude využito v různých konstrukčních variantách.

U realizovaného vzorku byla kontrolována linearita převodu U/f . Výsledky tohoto měření (viz tab. 1) ukazují, že popsané zapojení má linearitu lepší než $\pm 0,02\%$ z maximálního výstupního kmitočtu.

Dlouhodobá a teplotní stabilita je v případě užití oscilátoru čítače dána pouze stabilitou integrovaného zdroje referenčního napětí MAC01 a rezistorů R1, R2 a R3. V jiných aplikacích je nutno zapojení doplnit krystalovým oscilátorem s libovolným, ale dostatečně vysokým kmitočtem (lze použít výprodejní krystaly 9,505 MHz apod.). Jedno s osvědčených zapojení je na obr. 4.

Závěr

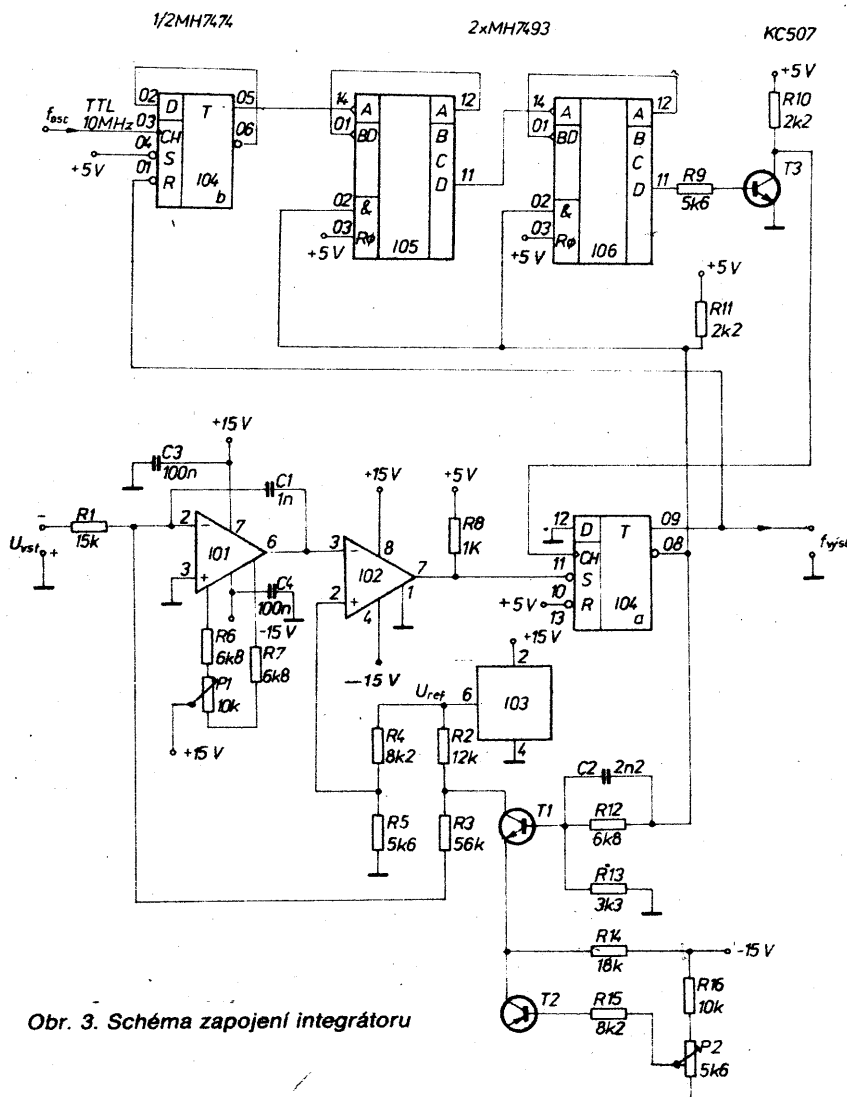
V článku byl popsán převodník U/f , využívající metodu vyrovnávání náboje.

Navržený obvod byl sestaven výhradně z dostupných čs. součástek. Vyznačuje se širokým rozsahem vstupního napětí, výbornou linearitou a stabilitou. Zapojení lze lehce přizpůsobit pro nejrůznější použití pomocí vztahů (1) a (2).

Tab. 1. Závislost naměřeného výstupního kmitočtu f_{vm} , vypočítaného výstupního kmitočtu f_{vw} , odchylky Δf , absolutní chyby Δ a relativní chyby β na vstupním napětí U_{vs}

U_{vs} [mV]	f_{vm} [Hz]	f_{vw} [Hz]	Δf [Hz]	Δ [%]	β [%]
0,99	9	8,6	+0,4	+4,650	+0,004
2,04	18	17,6	+0,4	+2,270	+0,004
3,40	30	29,5	+0,5	+1,690	+0,005
4,08	36	35,4	+0,6	+1,690	+0,006
13,00	113	112,6	+0,4	+0,350	+0,004
40,33	350	349,4	+0,6	+0,170	+0,006
61,30	532	531,0	+1,0	+0,190	+0,010
79,00	685	684,4	+0,6	+0,090	+0,006
108,90	944	943,4	+0,6	+0,060	+0,006
150,00	1300	1299,5	+0,5	+0,040	+0,005
200,00	1733	1732,6	+0,4	+0,020	+0,004
250,00	2166	2165,7	+0,3	+0,010	+0,003
300,00	2600	2598,9	+1,1	+0,040	+0,011
351,10	3042	3041,6	+0,4	+0,010	+0,004
400,30	3468	3467,8	+0,2	+0,010	+0,002
450,50	3903	3902,7	+0,3	+0,008	+0,003
500,60	4337	4336,7	+0,3	+0,007	+0,003
551,25	4775	4775,5	-0,5	-0,010	-0,005
602,65	5220	5220,7	-0,7	-0,013	-0,007
704,80	6105	6105,7	-0,7	-0,011	-0,015
805,00	6973	6973,7	-0,7	-0,010	-0,017
905,30	7842	7842,6	-0,6	-0,008	-0,006
1000,80	8669	8669,9	-0,9	-0,010	-0,009
1104,90	9571	9571,7	-0,7	-0,007	-0,007
1199,70	10392	10393,0	-1,0	-0,010	-0,010
1393,30	12069	12070,0	-1,0	-0,008	-0,010

Použité měř. přístroje: Multimetr M1T 290, čítač BM 520. Vypočítané hodnoty f_{vw} platí pro převodní konstantu 8,663 kHz/V, β pro uvažovaný rozsah $f_{vm} = 10$ kHz.



Obr. 3. Schéma zapojení integrátoru

Seznam součástek

Polovodičové součástky

T1, T3	KC509 (KC508, KC507, KC149—7)
T2	BC159 (BC158, BC157)
IO1	MAB355 (MAC155)
IO2	MAC111 (MAB311)
IO3	MAC01 (MAB01)
IO4	MH7474
IO5, IO6	MH7493

Kondenzátory:

C1	1 nF, TK783, keramický
C2	2,2 nF, TK783 keramický
C3, C4	100 nF, keramický

Rezistory a potenciometry:

R1	15 kΩ	} TR161, TR105, popř. TR152
R2	12 kΩ	
R3	56 kΩ	
R4	8,2 kΩ	} TR212
R5, R9	5,6 kΩ	
R6, R7	6,8 kΩ	} TR151
R8	1 kΩ	
R10, R11	2,2 kΩ	} TR212
R12	6,8 kΩ	
R13	3,3 kΩ	
R14	18 kΩ	} TP011, TP060, ...
R15	8,2 kΩ	
R16	10 kΩ	
P1	10 kΩ	
P2	5,6 kΩ	

MAB355

MAC111

KC49
BC159

MAC01 1/2MH7474