

REALIZÁCIA SÚČINU A PODIELU ELEKTRICKÝCH SIGNÁLOV

MILLY Miron, SR

Resumé

Príspevok pojednáva o niektorých spôsoboch realizácie operácie násobenia dvoch elektrických signálov použitím rôznych typov analógových násobičiek, a realizácie operácie delenia týchto signálov s využitím analógovej násobičky zapojenej do obvodu spätnej väzby operačného zosilňovača (OZ).

Kľúčové slová: násobička, delička, súčin, podiel, signál, operačný zosilňovač, spätná väzba.

REALIZATION OF THE PRODUCT AND SHARE OF THE ELECTRIC SIGNALS

Abstract

The paper deals with some ways of realization the multiplication operation of two electric signals, using various types of analog multipliers, and realization the division operation of these signals, with application the analog multiplier, that is connected in the circuit feedback of the operation amplifier (OA).

Key words: analog multiplier, divider, product, share, signal, operation amplifier, feedback.

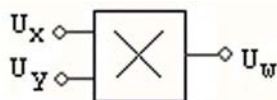
1 Úvod

Súčin a podiel dvoch analógových signálov je nelineárnou operáciou. Tieto operácie v analógovej elektronike nie je možné realizovať len lineárnymi prenosovými členmi, akými sú lineárne pasívne jednobrány (dvojčlony), dvojbrány (štvorčlony) a operačné zosilňovače (OZ), ale realizujú sa prostredníctvom nelineárneho súčinového člena (analógovej násobičky). Podielový člen (analógovú deličku) možno výhodne realizovať pomocou súčinového člena zapojeného v obvodu spätnej väzby operačného zosilňovača ako lineárnej elektronickej sústavy.

Analógová násobička je elektronický obvod, ktorého výstupné napätie je priamo úmerné súčinu vstupných napätí podľa vzťahu [1], [2]:

$$u_w = K u_x u_y, \quad (1)$$

kde $K[V^{-1}]$ je koeficient priamej úmernosti násobičky, ktorého hodnota závisí od vnútornej štruktúry jej obvodového riešenia. Ideálna analógová násobička má tieto vlastnosti: nekonečnú vstupnú impedanciu, nulovú výstupnú impedanciu a frekvenčne nezávislú prenosovú funkciu. Koeficient priamej úmernosti K analógovej násobičky môže byť kladný (neinvertujúca násobička) alebo záporný (invertujúca násobička).



Obr. 1: Blokový model analógovej násobičky.

Prenosová funkcia reálnej analógovej násobičky v sebe zahŕňa aj určité odchýlky a chyby násobenia. Preto 1. krokom kontroly presnosti násobenia je nastavenie nulového výstupného napätia. Výstupné napätie je nulové, ak aspoň jedno zo vstupných napätí je nulové. Násobička preto musí obsahovať vývod pre "nastavenie nuly". 2. krokom kontroly je

doladenie násobiacej konštanty K (scale factor) tak, aby pri maximálnych hodnotách oboch vstupných premenných bola na výstupe tiež maximálna hodnota. Existujú však aj ďalšie chyby násobičky, ktoré je nutné akceptovať, a v maximálnej miere ich minimalizovať. Sú to: nelinearita, výstupný ofset, odchýlky prenosových a VA–charakteristík od ideálnych, určených požadovaným alebo ideálnym teoretickým priebehom, ... atď.

2 Princípy analógového násobenia

Operáciu násobenia možno realizovať na základe rôznych matematických a technických princípov. Medzi najrozšírenejšie patria: kvadratické, logaritmické a transkonduktančné. Násobičky sa ďalej klasifikujú podľa kvadrantov, v ktorých dosahujú kladné alebo záporné hodnoty obe vstupné napätia, a napätie výstupné [1]:

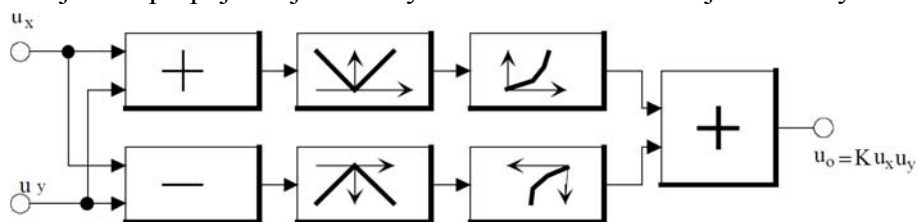
- Jednokvadrantová násobička operuje so oboma vstupnými veličinami iba jednej polaroty. Výstupná veličina má tiež len jednu polaritu.
- Dvojkvadrantová násobička operuje s jednou vstupnou veličinou oboch polarít a druhou vstupnou veličinou len jednej polaroty. Výstupná veličina má však len jednu polaritu.
- Štvorkvadrantová násobička operuje so vstupnými veličinami oboch polarít. Výstupná veličina môže dosahovať obe polaroty.

a) Kvadratická násobička

Princíp kvadratickej analógovej násobičky vyplýva z riešenia nasledujúcej rovnice :

$$u_o = \frac{(u_x + u_y)^2 - (u_x - u_y)^2}{4} = u_x \times u_y \quad (2)$$

Vzájomné prepojenia jednotlivých blokov kvadratickej násobičky znázorňuje obr. 2.

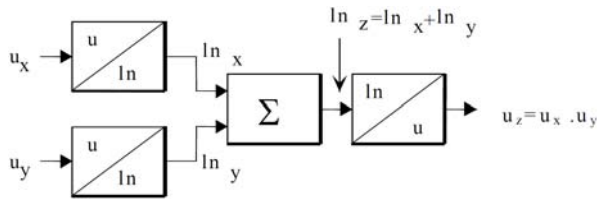


Obr. 2: Bloková schéma kvadratickej násobičky.

Súčet $u_x + u_y$ vstupných napätí u_x a u_y sa privádza na vstup neinvertujúceho obvodu absolútnej hodnoty v hornej vetve blokovej schémy. Naopak, ich rozdiel $u_x - u_y$ sa privádza na vstup invertujúceho obvodu absolútnej hodnoty v dolnej vetve blokovej schémy. Odtiaľ sa obe absolútne hodnoty $|u_x + u_y|$ a $|u_x - u_y|$ privádzajú na príslušné kvadratické funkčné meniče, a z ich výstupov ďalej na oba vstupy súčtového člena. Napätie u_o na výstupe súčtového člena tak predstavuje realizáciu funkcie analógového násobenia vstupných napätí u_x a u_y . Ak by sme kvadratickú násobičku realizovali pomocou integrovaných obvodov, potrebovali by sme 7 až 9 operačných zosilňovačov (teda dve puzdra IO, pričom v každom sú 4 OZ), a príslušný počet pasívnych súčiastok. Výhodou tejto násobičky je vysoká stabilita parametrov, minimálna teplotná závislosť a primeraný rozsah spracovávaných frekvencií.

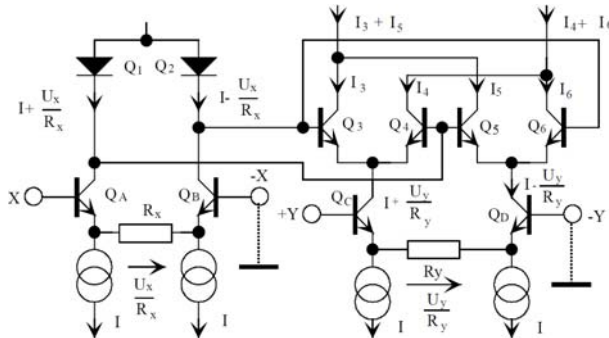
b) Logaritmická násobička

Nelineárna operácia násobenia je pomocou logaritmických prevodníkov prevedená na lineárnu operáciu sčítania, čo sa ľahko realizuje v súčtovom člene [4]. Súčet logaritmov je následne späť odlogaritmovaný pomocou exponenciálneho zosilňovača, čo znázorňuje obr. 3.



Obr. 3: Bloková schéma logaritmické násobičky.

c) Transkonduktančná násobička



Obr. 4: Zapojenie transkonduktančnej násobičky založenej na použití tzv. Gilbertovho článku.

Táto násobička je založená na použití Gilbertovho článku znázorneného na obr. 4. Hlbšou analýzou podľa [1] možno pre výsledné prúdy tranzistorov Q_3 až Q_6 odvodiť vzťah [4]:

$$i_o = (i_3 + i_5) - (i_4 + i_6) = 2u_x u_y / iR_x R_y \quad (3)$$

Kvalitná štvorkvadrantová násobička, napr. AD834 od firmy Analog Devices, pracuje až do frekvencie 500 MHz a v celom rozsahu zaručuje statickú presnosť operácie násobenia $< 0,5\%$.

3 Realizácia analógovej deličky pomocou analógovej násobičky

Pre účely realizácie vzájomného podielu dvoch analógových signálov nie je nutné vyhotoviť osobitný nelineárny elektronický obvod – analógovú deličku, ktorý by technicky realizoval matematickú funkciu podielu dvoch analógových vstupných premenných. Oveľa výhodnejším a praktickejším riešením je využitie princípu inverzie, ktorý je známy z teórie lineárnych elektronických obvodov so spätnou väzbou s operačným zosilňovačom. Zapojením analógovej násobičky do obvodov spätnej väzby operačného zosilňovača možno vytvoriť príslušnú prenosovú funkciu podielu dvoch analógových napätí [2]. Pre takúto konštrukciu analógovej deličky použijeme ideálny operačný zosilňovač (OZ) a ideálnu štvorkvadrantovú násobičku, pričom prenosovú funkciu analógovej násobičky vyjadríme vzťahom:

$$u_w = K u_y u_{OUT} \quad (4)$$

Zo zapojenia analógovej deličky na obr. 5 je zrejmá rovnosť prúdov $i_x = i_l$, odkiaľ vyplýva:

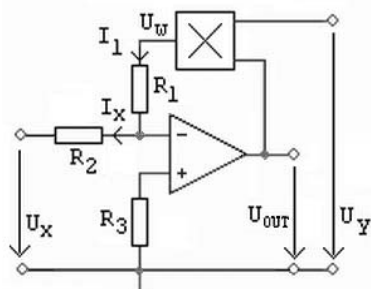
$$-u_x/R_2 = u_w/R_1 \quad (5)$$

Na veľkosti odporu R_3 v princípe nezáleží, lebo ním preteká len zanedbateľný vstupný zvyškový prúd. Avšak kvôli minimalizácii prúdovej nesymetrie vstupov príslušného operačného zosilňovača je vhodné voliť hodnotu odporu R_3 rovnú hodnote paralelnej kombinácie rezistorov R_1 a R_2 .

Dosadením rovnice (4) do rovnice (5) možno vyjadriť výstupné napätie spätnoväzbového zapojenia analógovej deličky vo všeobecnom tvare:

$$u_{OUT} = \frac{1}{K} \frac{u_w}{u_y} = -\frac{1}{K} \frac{R_1}{R_2} \frac{u_x}{u_y} = -M \frac{u_x}{u_y}, \quad \text{pričom } M = \frac{1}{K} \frac{R_1}{R_2} \quad (6)$$

Konštanta $M [V^{-1}]$ je koeficientom priamej úmernosti takto vytvorenej analógovej deličky.



Obr. 5. Zapojenie analógovej deličky pomocou analógovej násobičky a OZ

Jednoduchým zásahom do obvodu z obr. 5 zmeníme analógovú deličku na obvod pre výpočet druhej odmocniny vstupného napätia u_x . Stačí, ak výstup (OUT) OZ spojíme so vstupom (Y) násobičky, čím dosiahneme, aby $u_{OUT} = u_y$. Pre výstupné napätie odmocňovačky potom platí:

$$u_{OUT} = \sqrt{M |u_x|} \quad (7)$$

4 Záver

Pre riešenie mnohých úloh, kde sa vyžaduje operácia násobenia a delenia, je pochopiteľne výhodné použiť jednočipový mikropočítač. Tým sa nelineárny problém analógového násobenia prevedie na aritmeticko-logickú operáciu, takže ďalšie riešenia tak možno zveriť programovým prostriedkom. Napriek tomu však je stále dosť aplikácií, kde výpočtová rýchlosť mikropočítača nestačí na vykonávanie požadovaných operácií s definovanou presnosťou. A práve pre také aplikácie je tu oblasť pre analógové násobenie a delenie. Analógové násobičky a deličky preto stále nachádzajú široké uplatnenie, hlavne v oblasti vysokofrekvenčnej elektroniky, kde sa používajú pri optimálnom obvodovom riešení modulátorov, demodulátorov, frekvenčných zmiešavačov, fázových detektorov, obvodov fázového závesu, obvodov pre násobenie a posúvanie frekvencie a frekvenčných syntezátorov. Ďalej sa používajú aj v meracej elektronike v zariadeniach pre meranie výkonu, v meračoch súčinnu a podielu dvoch signálov, v kvadrátoroch, v obvodoch realizácie odmocniny, ... atď.

5 Literatúra

1. SCHEINGOLD, D.: Nonlinear Circuits Handbook. Analog Devices, Massachusetts 1976.
2. SEIFART, M.: Polovodičové prvky na spracovanie spojitého signálu. Alfa, Bratislava 1988.
3. PUNČOCHÁŘ, J.: Operační zesilovače v elektronice (5. vydání). BEN, Praha 2002
4. <http://dce.felk.cvut.cz/es1/skripta/e5.pdf>, <http://dce.felk.cvut.cz/es1/skripta/e7.pdf>.

Lektoroval: Ing. Milan Bernát, PhD.

Kontaktná adresa autora

Miron Milly, Ing., CSc., Katedra fyziky FHPV PU,
081 16 Prešov, ul. 17. novembra č. 1,
e-mail: millymir@unipo.sk