

# Analogový funkční měnič

ING. PAVEL MACURA

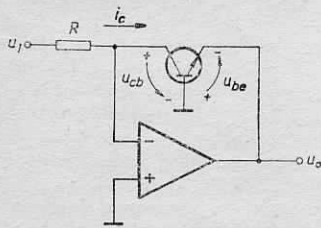
V [1] byl popsán obvod, který realizuje funkci

$$u_o = u_y \cdot \left(\frac{u_z}{u_x}\right)^m$$

pro  $m = 0,2$  až  $5$ . Obvod lze využít k analogovému násobení, dělení, umocňování a odmocňování. Podobné zapojení bylo vyzkoušeno s československou součástkovou základnou a ověřeno ve funkci kvadrátoru, násobičky a děličky.

## Rozbor zapojení

Základní součástí funkčního měniče je logaritmický zesilovač, jehož principiální schéma je uvedeno na obr. 1. Za



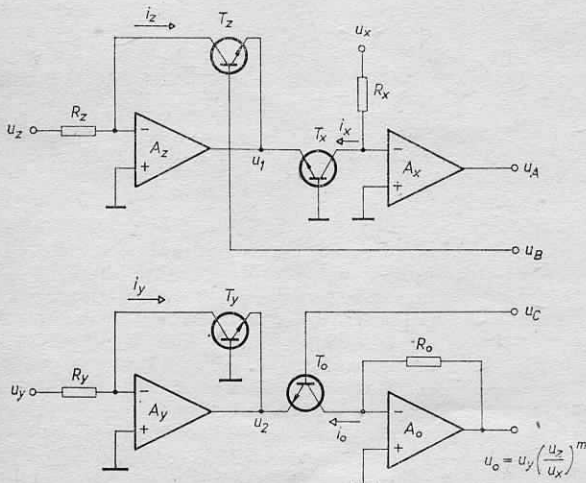
Obr. 1. Principiální schéma logaritmického zesilovače

předpokladu, že napětí  $u_{CB}$  se blíží k nule a  $u_{BE} > 100$  mV lze psát

$$u_{BE} = \frac{kT}{q} \cdot \ln \frac{i_C}{\alpha_F I_{ES}} = \frac{kT}{q} \ln \frac{i_C}{I_S}, \quad (1)$$

- kde  $k$  — Boltzmannova konstanta,  
 $T$  — absolutní teplota,  
 $q$  — náboj elektronu,  
 $i_C$  — proud kolektoru,  
 $\alpha_F$  — proudový zesilovací činitel z obvodu emitoru do obvodu kolektoru v Ebers-Mollově rovnici,  
 $I_{ES}$  — saturační proud emitoru.

Principiální schéma funkčního měniče je uvedeno na obr. 2. Funkční měnič sestává ze tří logaritmických zesilovačů ( $A_z, T_z; A_y, T_y; A_x, T_x$ ) a jednoho exponenciálního zesilovače ( $A_o, T_o$ ). Apli-



Obr. 2. Principiální schéma funkčního měniče

kujme rovnici (1) na tranzistory  $T_z$  a  $T_x$

$$u_B - u_1 = \frac{kT}{q} \ln \frac{i_z}{I_{S_z}}, \quad (2)$$

$$o - u_1 = \frac{kT}{q} \ln \frac{i_x}{I_{S_x}}. \quad (3)$$

Předpokládejme, že tranzistory  $T_z$  a  $T_x$  mají stejnou teplotu. Potom odečteme rovnici (3) od rovnice (2)

$$u_B = \frac{kT}{q} \ln \frac{i_z}{i_x} \cdot \frac{I_{S_x}}{I_{S_z}}.$$

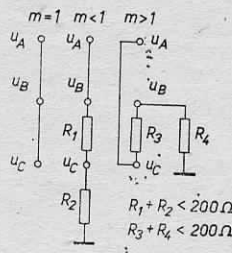
Uvažujme, že tranzistory  $T_z$  a  $T_x$  mají shodné charakteristiky, takže  $I_{S_x} = I_{S_z}$ . Potom

$$u_B = \frac{kT}{q} \ln \frac{i_z}{i_x}. \quad (4)$$

Podobně lze odvodit pro tranzistory  $T_y$  a  $T_o$

$$u_C = \frac{kT}{q} \ln \frac{i_o}{i_y}. \quad (5)$$

Dále předpokládejme, že všechny čtyři tranzistory  $T_x, T_y, T_z$  a  $T_o$  mají shodné charakteristiky a stejnou teplotu. Potom budeme uvažovat tři případy podle obr. 3.



Obr. 3. Nastavení exponentu  $m$

1. případ  $m = 1$ . Svorky  $u_A, u_B, u_C$  jsou vzájemně propojeny, takže  $u_A = u_B = u_C$ . Ze svorky  $u_A$  je dodáván proud do bází tranzistorů  $T_z$  a  $T_o$ . Srovnáním rovnic (4) a (5) dostaneme

$$\frac{i_z}{i_x} = \frac{i_o}{i_y}. \quad (6)$$

Protože  $i_z = u_z/R_z, i_x = u_x/R_x, i_y =$

$= u_y/R_y$  a  $i_o = u_o/R_o$  přejde rovnice (6) na tvar

$$u_o = u_y \cdot \frac{u_z}{u_x} \cdot \frac{R_x R_o}{R_y R_z}.$$

Položme  $R_x = R_y = R_z = R_o$ , potom

$$u_o = u_y \cdot \frac{u_z}{u_x}. \quad (7)$$

2. případ  $m < 1$ . Svorky  $u_A$  a  $u_B$  jsou propojeny a odpory  $R_1$  a  $R_2$  zapojeny podle obr. 3. Podobným způsobem jako v předchozím případě odvodíme, že

$$u_o = u_y \cdot \left(\frac{u_z}{u_x}\right)^m$$

kde  $m = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

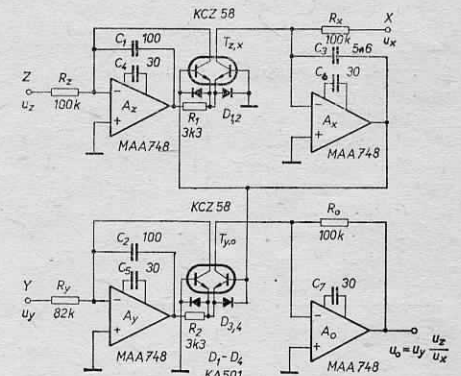
3. případ  $m > 1$ . Analogicky odvodíme, že

$$u_o = u_y \cdot \left(\frac{u_z}{u_x}\right)^m,$$

kde  $m = \frac{R_3 + R_4}{R_4}$ .

## Realizace funkčního měniče

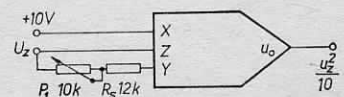
Na obr. 4 je uvedeno skutečné zapojení funkčního měniče pro případ  $m = 1$ .



Obr. 4. Skutečné schéma zapojení funkčního měniče pro  $m = 1$

Odpory  $R_1, R_2$  a kondenzátory  $C_1, C_2$  zajišťují fázovou kompenzaci logaritmických zesilovačů. Diody  $D_1$  až  $D_4$  slouží k ochraně přechodů báze-emitor tranzistorů  $T_x, T_y, T_z$  a  $T_o$ , což by v optimálním případě měla být čtveřice tranzistorů na jednom čipu, aby byly co nejlépe splněny předpoklady rovnic (4), (5), (6). Protože čtveřice není ve výrobním programu TESLA, byly použity dvojice tranzistorů v jednom pouzdře KCZ58. V současné době by bylo vhodné nahradit prvky KCZ58 dvojicí tranzistorů na jednom čipu KC811.

Rozsah vstupních napětí je  $0 < (u_x, u_y, u_z) < +10$  V, přičemž napětí  $u_y$  i  $u_z$  mohou být rovna nule. Potom i výstupní napětí  $u_o$  je rovno nule. Správná činnost funkčního měniče je zaručena pro takové hodnoty vstupních napětí v rozsahu 0 až +10 V, pro které je výstupní napětí  $u_o \leq +10$  V. Napájecí napětí je  $\pm 15$  V. Nastavení funkčního měniče učiníme v obvodu podle obr. 5. Při vstupních napětí  $u_z =$



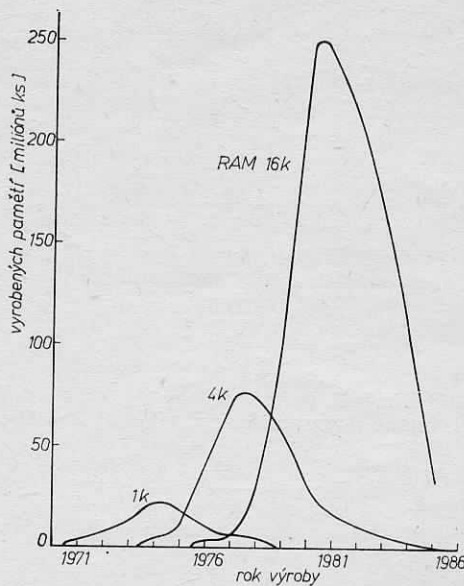
Obr. 5. Zapojení pro nastavení funkčního měniče, modelující kvadratickou závislost

# PAMĚTI RAM 64 KILOBITŮ NA POSTUPU

Paměti RAM 64 kbitů tvoří téma neustálých diskusí v odborných kruzích téměř po dobu čtyř let, aniž by se v USA a Evropě dosáhlo nějakého praktického závěru. V přednáškách na výstavě Elektro '81 v USA se proto hovořilo spíše jako o dějinách této paměti, začínající paměti RAM 1 kbit a ověřenou slávou z roku 1970, přes celosvětově rozšířenou paměť 16 kbitů Mostek 4116 k dilema roku 1981 — paměti RAM 64 kbitů japonského výrobce Fujitsu.

Jediná společná vlastnost konceptu zmíněné paměti je pouze jediné napájecí napětí 5 V. Všechny ostatní názory přednášejících se rozcházejí. Největší potenciální výrobci jako Mostek, Toshiba, ITT, Fujitsu, Mitsubishi a OKI se již rozhodli pro čtvercové provedení systému s 512 čtecími zesilovači. Motorola, Hitachi a National Semiconductor zvolili paměť se čtyřmi paměťovými bloky po 16 kbitech. Fairchild a Inmos přecházejí na bloky po 8 kbitech, avšak všichni s rozdíly ve struktuře bitových vedení. Kontraverze o nutnosti osvětlování obsahu paměti zůstaly jako dříve. Skoro každý výrobce zvolil jiný návrh maticových buněk k optimalizaci šumových vlastností. Texas Instruments předpokládá úspěch svého řešení bez předpětí substrátu.

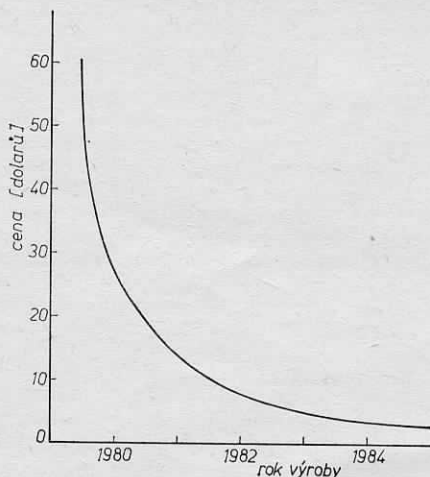
Cenovou prognózu paměti RAM zveřejnil Daniel Klesken od firmy Dataquest. Na obr. 1 jsou znázorněny zaváděcí cykly paměti RAM 1, 4 a 16 kbitů s tendencí k delší době výroby. Stále zpozdované uvedení na trh paměti RAM 64 kbitů je podle Kleskena vzta-



Obr. 1. Zaváděcí cykly a doba života výroby paměti RAM s kapacitou 1, 4 a 16 kbitů

ženo v podstatě na atypické chování trhu paměti RAM 16 kbitů. I časově zkrácené cykly součástek hrají svou roli, zvláště náhle a nenadálé ostré poklesy cen na podzim 1980 (viz obr. 2). Dalším důvodem zpožděného zavedení je zvolený systém dat a konstrukce čipu. Snad se to však již letos konečně objasní. Někteří výrobci mohou již dodávat nové paměti v „milionových sériích“. Stadium plné zralosti paměti RAM 64 kbitů se má dosáhnout až v roce 1986.

Jeden z vedoucích světových výrobců polovodičových součástek firma Texas Instruments oznámila již před dvěma léty zavedení výroby paměti RAM 64 kbitů. Zatím zůstalo vše jen při předpokladu. Hlavní úder na trh provedl japonský výrobce Fujitsu, který nenabízí jen vzorky, ale jakékoliv množství a kvalitu, jak je u tohoto výrobce obvyklé. Zmíněnou paměť nemá jen Fujitsu, ale i další japonští výrobci jako Nippon Electric Corp. (NEC). Jistěže v krátké době budou následovat američtí a evropští výrobci polovodičových součástek, avšak skok nebude snadné



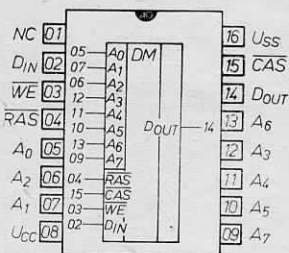
Obr. 2. Předpověď prodejní ceny paměti RAM 64 kbitů v dolarech v období let 1980 až 1986

dohonit, hlavně pak v docílených prodejních cenách.

Při veškerém optimismu některých výrobců zůstává hořká pilulka ke spolknutí hlavně evropským a západoněmeckým výrobcům. Situaci je proto třeba radikálně řešit. Od roku 1977 dává Japonsko na výzkumné a vývojové práce podstatně větší důraz než např. NSR. Nepřekvapuje proto, že Japonsko (hned po USA) je třikrát více zprůmyslněno v oboru elektroniky než NSR. To se ovšem zobrazuje v boji o pozice na světovém trhu. Zatím co v roce 1960 se na západním exportu průmyslového zboží podílely USA 22 %, NSR 17 % a Japonsko 6 %, v roce 1979 se poměr změnil na 15 % USA, 19 % NSR a 12 % Japonsko! Obchodní ofenzívu v posledních 20 letech zdvojnásobilo Japonsko svůj podíl na světovém trhu a dostalo se na dnešní třetí místo ve světovém žebříčku.

I když NSR v celkovém exportu průmyslového zboží zaujímá první místo, neplatí to u potřeb a výroby elektronických součástek, zvláště součástek pro mikroelektroniku. Na trhu součástek západu (v roce 1980 činil okolo 65 miliard marek) se podílely USA asi 40 %, západní Evropa 30 %, Japonsko 20 % a NSR asi 10 %. Podíl na trhu integrovaných obvodů činil pro USA 26 %, západní Evropu 16 %, Japonsko 22 % a NSR jen 18 %. Čísla dokazují úspěchy Japonska, které v mikroelektronice přeskočilo NSR a dohání úroveň USA.

Jaké jsou vlastnosti některých paměti RAM 64 kbitů, které jsou již na trhu? Dynamickou paměť RAM 64 kbitů typu MB8264 nabízí Fujitsu Elektronik ze svého evropského zastoupení ve Frankfurtu (NSR). Je vyrobená technikou NMOS s organizací 65 536 × 1 bit. Doba vybavení řádku je u MB8264-15 max. 150 ns, příp. u MB8264-20 max. 200 ns. Obě paměti jsou vhodné pro paměťové jednotky velkých počítačů, vyrovnávací paměti, periferní paměti a další použití, v nichž je zapotřebí malý příkon při kompaktní mechanické konstrukci. Multiplexní adresování řádků a sloupců dovoluje vestavět systém paměti do běžného pouzdra DIL se 16 vývody. Uspořádání vývodů odpovídá normě JEDEC (viz obr. 3). Osvědčila se výrobní



Obr. 3. Zapojení vývodů dynamické paměti RAM 64 kbitů podle normy JEDEC: plati pro MB8264, TMS4164JL, TMM4164 a HM4864

technologie křemíkového hradla NMOS a vlastní technologie Fujitsu dvojité vrstvy polykřemíku. Jako paměťových buněk se používá jednotlivých tranzistorů, které mají minimální rozměry a tak se dosahuje vysoké hustoty součástek čipu. Funkční skupinové zapojení paměti je na obr. 4. Paměť obsahuje čtecí zesilovač, požadavky na hodinový signál nejsou kritické a napájecí napětí může kolísat v rozsahu 5 V ± 0,5 V. Všechny vstupy a třístavové výstupy jsou slučitelné s obvody TTL. Doba mezi dvěma

(Dokončení ze str. 11)

= 10,000 V ± 1 mV nastavíme potenciometrem  $P_1$  výstupní napětí na hodnotu  $u_0 = 10,000 \text{ V} \pm 1 \text{ mV}$ . Zapojení, které modeluje kvadratickou závislost

$$u_0 = \frac{u_z^2}{10}$$

bylo ověřeno v praxi [2]. Statická přesnost pro vstupní napětí v rozsahu 0 až 10 V byla lepší, než 0,1 % z maximální hodnoty výstupního napětí ( $u_0 = 10 \text{ V}$ ). Kromě toho byl obvod ověřen v zapojení jako násobička a dělička.

## Závěr

V článku byl popsán obvod, který při relativně jednoduché struktuře modeluje funkci

$$u_0 = u_y \cdot \left(\frac{u_z}{u_x}\right)^m$$

Obvod sestává ze tří logaritmických a jednoho exponenciálního zesilovače, jejichž vhodným propojením je minimalizována závislost výstupního napětí na teplotě a zbytkovém proudu tranzistorů. Funkční měnič se vyznačuje dobrou statickou přesností, je však schopen zpracovávat pouze napětí kladné polarity.

## LITERATURA

- [1] Wong, Y., Ott, W.: *Function Circuits*. New York, Mc Graw — Hill, 1976.
- [2] Macura, P.: *Převodník kmítčet/napětí*. Diplomová práce, ČVUT — FEL, 1979.