

# TRANSIMPEDANCE OPERATIONAL AMPLIFIER FOR MEMRISTIVE SYSTEMS

**Tomáš Teska**

Master Degree Programme (1), FEEC BUT

E-mail: xteska00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Dalibor Biolek

E-mail: biolek@feec.vutbr.cz

**Abstract:** This work deals with the implementation of low-voltage low-power precise transimpedance operational amplifier using conventional operational amplifiers. This circuit has been designed for its utilization in analogue emulators of memristive systems. The design process and the implementation of the proposed circuit are described. A comparison with commercial transimpedance operational amplifier *AD844* is also given.

**Keywords:** Transimpedance amplifier, operational amplifier, memristor, analogue.

## 1. ÚVOD

Práce popisuje realizaci nízkopříkonového nízkonapěťového transimpedančního operačního zesilovače (dále jen TOZ) na úrovni dostupných operačních zesilovačů, popisuje jeho funkci a srovnává jeho vlastnosti s komerčně dostupným ekvivalentem *AD844*. Význam řešení této problematiky vyplynul z teoretických poznatků a praktických pokusů při implementaci mutátorových memristivních systémů, o kterých pojednává literatura [1],[2],[3].

## 2. TRANSIMPEDANČNÍ OPERAČNÍ ZESILOVAČ

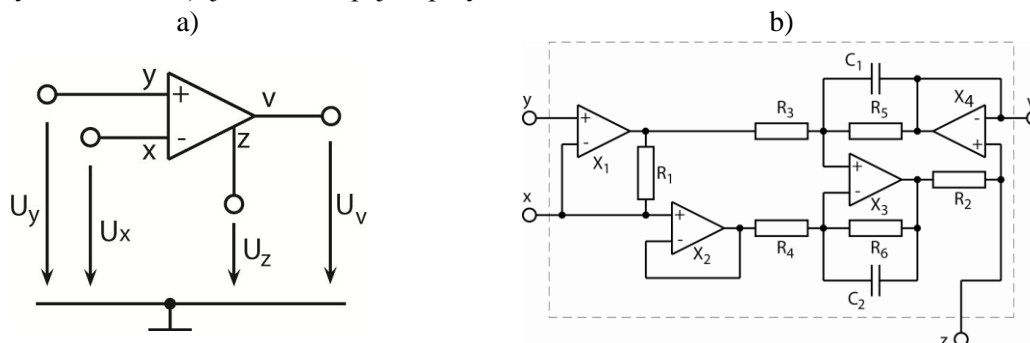
Po desetiletí nepoužívanější analogové aktivní prvky – operační zesilovače – jsou doplňovány stále novými ideovými principy moderních obvodů, které se nabízejí pro důmyslná teoretická řešení analogových zapojení. V oblasti praktické realizace se však stále neprosazují tolik jako klasické operační zesilovače. Jedním z perspektivních moderních analogových aktivních prvků je právě TOZ. Nejvýznamnější charakteristickou vlastností tohoto obvodu je možnost pracovat jak v napěťovém, tak i v proudovém či smíšeném režimu. Oblast realizace mutátorových memristivních systémů, kde se výrazně uplatňuje současná transformace napětí i proudů, se proto stala ideálním prostorem pro využití TOZ.

I přes to, že současná nabídka operačních zesilovačů dostatečně pokrývá širokou oblast poptávky, která zahrnuje náročné požadavky na analogové obvody, neexistuje komerčně dostupný obvod splňující kritéria důležitá pro realizaci analogových memristivních systémů. Součástí se schopností pracovat v proudovém i napěťovém módu, produkovaná firmou Analog Devices, nese označení *AD844*. Analogový memristor je součástí s vnější podobou pasivní dvou-vývodové součástky, tedy například rezistoru. Protože však jeho emulátor, stejně jako každý jiný aktivní analogový obvod, potřebuje napájení, je nutné do pouzdra emulátoru memristoru zakomponovat baterie nebo akumulátory. Z toho vyplynuly další důležité požadavky, které nedokázal komerční TOZ *AD844* uspokojivě splnit, neboť největšími problémy byly velký proudový odběr a výkonová spotřeba obvodu, jakož i nemožnost pracovat v režimu „rail-to-rail“.

### 2.1. NÁVRH ŘEŠENÍ

Chování TOZ, jehož schématická značka je na obrázku 1a), vykazuje několik typických rysů.

Hlavním fyzickým poznávacím znakem je uspořádání jednotlivých vstupů a výstupů. Invertující a neinvertující vstup jsou na obr. 1 a) označeny písmeny  $x$  a  $y$ , napěťový výstup písmenem  $v$  a pro TOZ nejcharakterističtější vývod-proudový výstup, označovaný  $z$ . Každý TOZ má kromě svorek, zakreslených na obr. 1 a), ještě dva napájecí piny.



**Obrázek 1:** a) Schématická značka TOZ; b) Vnitřní struktura navrženého TOZ [4]

Na obr. 1 b) je vnitřní struktura navrženého TOZ. Kapacitory  $C_1$  a  $C_2$  slouží pro frekvenční kompenzaci. Operační zesilovač  $X_1$  v zapojení se zápornou zpětnou vazbou, zapojený mezi obě vstupní svorky TOZ zajišťuje, že napětí připojené k neinvertujícímu vstupu  $y$  je nastaveno i na invertujícímu vstupu  $x$ . Rovností obou vstupních napětí je splněn základní požadavek na TOZ a zároveň jeden z jeho typických rysů.

Na výstupu  $X_1$  je vždy nastavováno takové napětí, aby se na svorce  $x$  vytvořila kopie napětí svorky  $y$ . Protože do neinvertujícího vstupu obvodu  $X_2$  neteče žádný proud, musí kompletní proud prošlý přes  $R_1$  vytékat ze svorky  $x$ . Tím je vynucen úbytek napětí na rezistoru  $R_1$ . Velikost tohoto napětí je dána rovnicí

$$U_{R1} = R_1 \cdot I_x \quad (1)$$

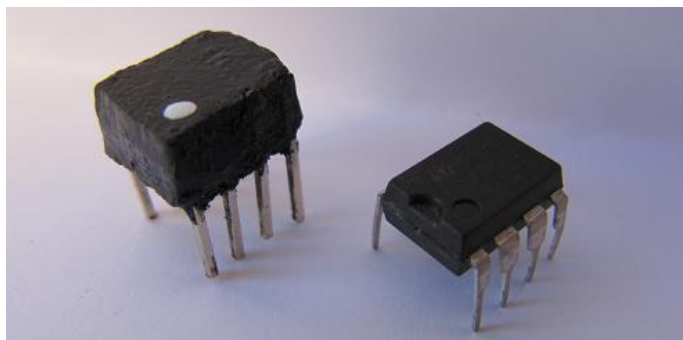
Obvod  $X_2$  budí obvod  $X_3$  v zapojení rozdílového zesilovače. Jeho úkolem je zaručit vysokou impedanci na vstupu tak, aby neovlivňoval proud tekoucí přes  $R_1$  ke svorce  $x$  a zároveň svým výstupem musí sledovat napěťovou úroveň ze svorky  $x$ . Tím se úbytek napětí z rezistoru  $R_1$  přenáší na vstup rozdílového zesilovače.

Rozdílový zesilovač, spolu s operačním zesilovačem  $X_4$  v zapojení napěťového sledovače, vytváří napětím řízený proudový zdroj. Při rovnosti odporů rezistorů  $R_3$  až  $R_6$  (v tomto případě  $10\text{k}\Omega$ ) bude napětí na výstupu rozdílového zesilovače (tedy v bodě mezi  $R_2$  a  $R_6$ ) odpovídat přesně rozdílu napětí na jeho vstupu. Charakteristickým rysem TOZ je, že napětí na svorce  $v$  kopíruje napětí na svorce  $z$ , což je jednoznačně splněno právě napěťovým sledovačem. Tímto způsobem je vytvořen úbytek napětí na rezistoru  $R_2$ , který odpovídá vstupnímu napětí rozdílového zesilovače a zároveň napětí na rezistoru  $R_1$ . Při rovnosti odporů  $R_1$  a  $R_2$  (zde  $1\text{k}\Omega$ ) je splněn poslední typický rys TOZ-proud vytékající ze svorky  $z$  odpovídá proudu přes  $R_1$  a tedy proudu vytékajícímu ze svorky  $x$ .

## 2.2. PRAKTICKÁ REALIZACE NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ

Dalším důležitým faktorem při vytváření analogového memristoru, podobajícího se dvou-vývodové součástce, jsou její rozměry. Při minimalizaci požadavků na kapacitu a svorkové napětí baterií je následujícím krokem ke zmenšování výsledného produktu zmenšování jednotlivých součástek.

Jako nejlepší varianta pro volbu operačních zesilovačů byl vybrán obvod LMV554MT, který ve 14-ti pinovém pouzdře TSSOP zahrnuje čtveřici "rail-to-rail" operačních zesilovačů s garantovaným proudovým odběrem  $37\ \mu\text{A}$  na každý zesilovač. Díky možnosti uzavření všech operačních zesilovačů do jednoho pouzdra minimálních rozměrů se podařilo přenést celé zapojení TOZ na desku plošného spoje s rozměry  $7,8 \times 7,8\text{mm}$  (rozměry klasického DIL-8 pouzdra). Tím byl vytvořen obvod se stejnými rozměry a stejným rozložením vývodů jako u  $AD844$ . Fotografie obou obvodů je na obr. 2.



**Obrázek 2:** Realizovaný TOZ (vlevo) a integrovaný obvod *AD844*

### 2.3. VÝSLEDKY A POROVNÁNÍ NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ S KOMERČNĚ DOSTUPNÝM OBVODEM

Po návrhu a simulaci chování navrženého transimpedančního zesilovače v programu OrCad PSpice jsem skutečné chování ověřil na prakticky realizovaném vzorku. Následující tabulka 1 uvádí přehled naměřených parametrů. Pro názornost jsou hodnoty porovnávány s komerčně dostupným ekvivalentem.

**Tabulka 1:** Srovnání parametrů navrženého TOZ a obvodu *AD844*

Parametr	Realizovaný TOZ	AD844	Jednotka
Vstupní parazitní odpor	4	50	[Ohm]
Napěťový ofset	<0,1	<0,1	[mV]
Proudový ofset	0,5	<0,1	[uA]
Minimální napájecí napětí	±0,5	±4,5	[V]
Příkon	2,9	60	[mW]
Šířka přenosového pásma	3	60	[MHz]

### 3. ZÁVĚR

Výsledkem realizace tohoto obvodu je nízkopříkonový transimpedanční rail-to-rail operační zesilovač, který fyzicky odpovídá komerčně dostupnému obvodu *AD844*, přičemž odstraňuje jeho největší nevýhody (vysoký vstupní parazitní odpor, velký proudový odběr, potřeba relativně velkého napájecího napětí) a zároveň zachovává jeho výhodné stejnosměrné vlastnosti (nízký napěťový a proudový ofset). Nevýhodou tohoto obvodu je, ve srovnání s *AD844*, poměrně nízká šířka přenosového pásma, která však při realizaci memristivních systémů nemá dopad na jejich vlastnosti. Největším přínosem je dvacetinásobné snížení spotřeby, což bylo hlavním cílem pro další posun v oblasti implementace analogových memristivních systémů.

### REFERENCE

- [1] CHUA, L.O. Memristor – the missing circuit element. IEEE Trans. on Circuit Theory, vol. CT-18, no. 5, pp. 507-519, 1971.
- [2] BIOLEK, D., BAJER, J., BIOLKOVÁ, V., KOLKA, Z. Mutators for Transforming Nonlinear Resistor Into Memristor. In Proc. ECCTD 2011, Linköping, Sweden, August 29-31, 2011, pp. 509-512.
- [3] TESKA, T. Modelování a analogová realizace memristoru. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 64 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Dalibor Biolek, CSc.
- [4] BIOLEK, D., BIOLKOVÁ, V., KOLKA, Z. Low-Voltage-Low-Power Current Conveyor for Battery Supplied Memristor Emulator. In Recent Researches in Circuits, Systems and Signal Processing, Corfu, Greece, 2011, pp. 171-175.