

LOW-POWER EMULATORS OF HIGHER-ORDER ELEMENTS

Tomáš Teska

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

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

Supervised by: Dalibor Biolek

E-mail: biolek@feec.vutbr.cz

Abstract: The article describes a proposal and implementation of the set of incremental mutators for emulating higher-order elements from Chua's periodical table. Mutators are designed as autonomous two-ports with isolated power supply from central USB connector. Mutators can be cascaded with the purpose of mutual transformation of any pair of higher-order elements.

Keywords: higher-order element, mutator, operational amplifier, memristor, analogue.

1. TEORIE MODELOVÁNÍ PRVKŮ VYŠŠÍCH ŘÁDŮ

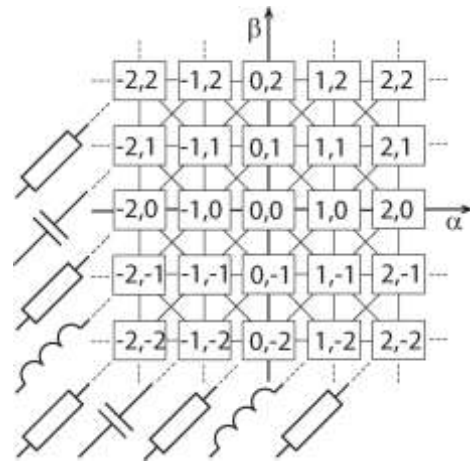
V roce 1980 Leon Chua v souvislosti s předchozím objevem inovativního prvku memristoru [1] poukázal na rovinu teoreticky předpovězených prvků, kterou pojmenoval "Periodická tabulka prvků vyšších řádů" (obr. 1) [2]. Memristor zde vystupuje pouze jako jeden z nekonečného množství dalších prvků. Chua tím podal základ pro nový vědní obor, kterým je modelování prvků vyšších řádů. Motivací pro tento projekt je nejen modelování memristoru a dalších perspektivních prvků jako memkapacitor či meminduktor, ale hlavně komplexní přístup k objevování nových principů, kterými se doposud nikdo nezabýval. Každý prvek v tabulce je stejně jako memristor jednoznačně definován svou konstituční relací

$$f(u^\alpha, i^\beta) = 0 \quad (1)$$

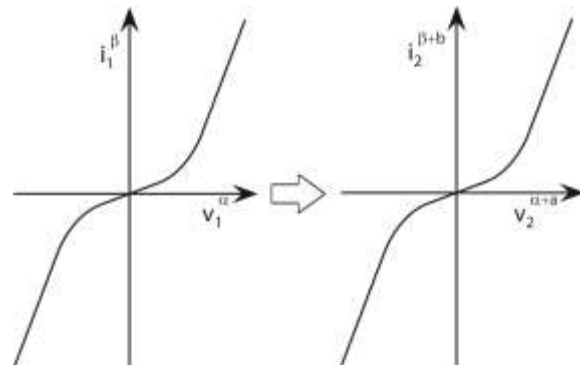
Koeficienty (α, β) vyjadřují řád časové derivace veličin napětí a proudu. Při pohledu do tabulky tak můžeme určit některé známé prvky. Prvek uprostřed se souřadnicemi $(0, 0)$, tedy nultý řád časové derivace napětí i proudu, představuje rezistor.

Další známé prvky jsou kapacitor $(0, -1)$, induktor $(-1, 0)$, memristor $(-1, -1)$, memkapacitor $(-1, -2)$ a meminduktor $(-2, -1)$.

Základním stavebním kamenem pro emulaci prvků vyšších řádů z tabulky se stala metoda mutátorového převodu veličin známá již od dob objevu memristoru. Klíčovým předpokladem tak je realizace mutátoru, který transformuje prvek s konstituční relací o souřadnicích (α, β) na libovolný jiný prvek $(\alpha+a, \beta+b)$ podle obr. 2. Topologie neboli funkce každého mutátoru závisí jen na koeficientech $[a, b]$. Mutátor s topo-



Obrázek 1: Periodická tabulka prvků vyšších řádů.



Obrázek 2: Transformace konstituční relace.

logií [-1, -1] tak může sloužit například pro transformaci prvku (-1, 0) na prvek (-2, -1).

Hlavním cílem projektu je realizovat soubor co nejmenšího počtu kaskádních, autonomních a navzájem kompatibilních modulů, které budou schopny emulovat libovolný prvek z Chuovy periodické tabulky prvků vyšších řádů.

2. IMPLEMENTACE

Realizovaná sestava modulů se skládá z osmi jednotlivých krabiček s osmi kontakty. Obrázek 3 představuje spojení dvou modulů prostřednictvím kontaktů. Kontakty mají za úkol zprostředkovat elektrický a magnetický kontakt mezi moduly. Skrze dva kontakty na jedné straně krabičky je zajištěna elektronická distribuce signálové brány jednotlivých prvků a dvěma dalšími kontakty napájení modulů. Magnetická síla přitahující kontakty zajišťuje spolehlivé elektronické i mechanické spojení. Součástí modulů jsou kromě ochrany proti chybné polarizaci kontaktů tři bloky: mutátor, napájecí obvod a kontrola saturace.



Obrázek 3: Spojené moduly dvou mutátorů.

2.1. BLOK MUTÁTORU

Srdcem každého modulu je blok vlastního mutátoru. Každý mutátor je složen ze dvou řízených zdrojů, které reprezentují příslušnou matematickou operaci. Nutnost řešení násobného integrování a derivování pomocí operačních zesilovačů znamená potýkání se s riziky. Mutátory je proto potřeba navrhovat se speciálním ohledem na ofsetové i šumové vlastnosti a stabilitu. Zásadní postavení v návrhu má operační zesilovač OPA735 s inteligentním systémem automaticky nulovaného ofsetu.

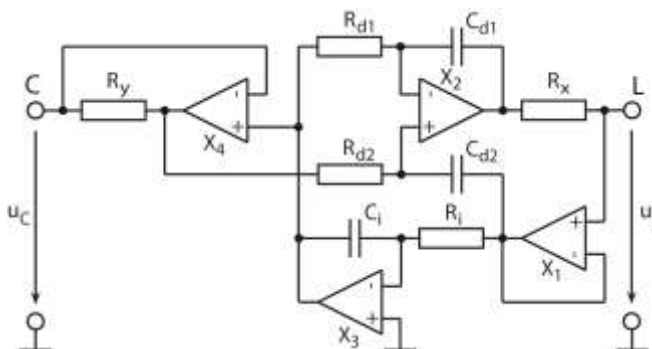
Tabulka 1: Dva typy mutátorů pro transformaci prvků podle Chuovy tabulky.

Symbol	Typ 1 (V-I)	Typ 2 (I-V)

Jak je znázorněno v tabulce, byly navrženy dva typy mutátorů. Nejprve byly navrženy mutátory pro čtyři inkrementální směry pohybu ($\uparrow\downarrow$, $\rightarrow\leftarrow$, $\nearrow\swarrow$, $\nwarrow\searrow$). Zároveň bylo zapotřebí navrhnout další čtyři moduly s obráceným uskupením řízených zdrojů, které jsou nezbytné z důvodu nemožnosti spojování stejného druhu řízených zdrojů, což vyplývá z Kirchhoffových zákonů.

Konkrétní příklad mutátoru na obr. 4 je vybrán pro demonstraci navrženého řešení. Mutátor typu I-V koresponduje s pohybem ve směru $\nwarrow\searrow$. Například tak může sloužit k transformaci induktoru na kapacitor.

Napětí z brány "L" je sledovačem s OZ X_1 přeneseno na integrační článek obsahující OZ X_3 . Výsledkem je nízko impedanční zdroj napětí s X_4 , který na bráně "C" vytváří integrál napětí ze svorky "L".



Obrázek 4: L-C mutátor, typu I-V.

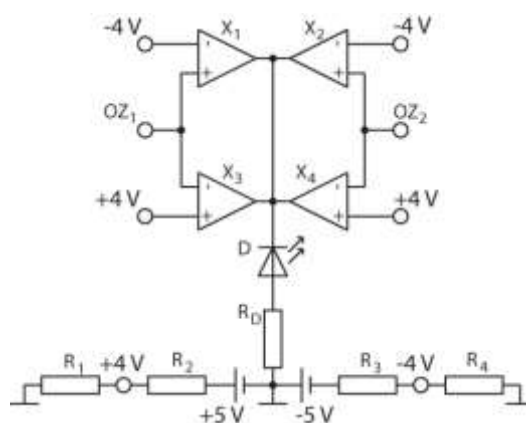
Za předpokladu nulového napětí mezi vstupy OZ X_4 a předpokladu nulového proudu tekoucího do jeho vstupů je proudem tekoucím přes bránu "C" vytvořen úbytek napětí na odporu R_Y . Tento úbytek je přenesen na vstup diferenčního derivačního článku realizovaného OZ X_2 . Derivátor spolu s R_X reprezentuje Howlandův proudový zdroj, který na bráně "L" vytváří proudový zdroj řízený proudem tekoucím branou "C".

2.2. BLOK NAPÁJECÍHO OBVODU

Protože každý modul reprezentuje dvouvývodovou součástku, je zapotřebí na něj pohlížet jako na plovoucí autonomní systém. Jeho napájení tedy musí být galvanicky oddělené od centrálního napájení, v tomto případě od napájení USB konektorem. Tento požadavek byl efektivně vyřešen pomocným DC/DC měničem s obvodem DCR010505 a výstupním napětím 5 V. Použité OZ využívají symetrického napájení, z čehož plyne, že každý modul obsahuje dva měniče. Zapojení odpovídá předepsanému katalogovému zapojení.

2.3. BLOK KONTROLY A INDIKACE SATURACE

Z důvodu nízkého napájecího napětí je důležité hlídat saturaci operačních zesilovačů. Kontrolu zajišťují nízkopříkonové komparátory LM139, které hlídají úroveň signálových napětí na výstupech OZ. Každý OZ je kontrolován jedním párem komparátorů pro zápornou i kladnou saturaci. Stav výstupů komparátorů je indikován nízkopříkonovou LED, která je umístěna v čelní stěně každého modulu. Signalizace saturace je jednoznačným pokynem pro uživatele snížit úroveň napětí na branách mutátoru. Zapojení obvodu kontroly saturace je znázorněno na obr. 5.



Obrázek 5: Zapojení kontroly a indikace saturace.

3. ZÁVĚR

Současným výsledkem řešení je realizace osmi unikátních modulů, na nichž lze jednoduše ukázat, jak například z nelineárního rezistoru vytvořit libovolný, dokonce i doposud nepopsaný prvek z Chuovy tabulky. Jedinečnost projektu spočívá v jeho fyzickém provedení, zejména v použití magnetických kontaktů, které tak umožňují velmi rychlou a jednoduchou manipulaci při experimentování. Velmi zajímavé jsou výsledky například při emulaci memristoru, který je typický svou hysterzní smyčkou. Vzhledem k specifikům návrhu, především k požadavku na nízký offset, je zvolený přístup k emulaci vhodným řešením. Použití přesných a proto nepříliš rychlých OZ vyžaduje zvláštní optimalizaci každého mutátoru například z hlediska jeho stability.

4. PODĚKOVÁNÍ

V článku jsou prezentovány výsledky výzkumu, který byl podporován Grantovou Agenturou ČR v rámci řešení projektů č. 102/10/1614 a 102/10/1665, prostředky projektu Specifického výzkumu FEKT-S-11-16 a projektu Specifického výzkumu pracoviště K217 UO v Brně. Poděkovat bych chtěl prof. Ing. Daliboru Biolkovi, CSc. za metodickou pomoc a podporu při realizaci projektu a také studentům Lukáši Weissovi, Jiřímu Holasovi a Filipu Veškrnovi za spolupráci na projektu.

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] CHUA, L. O., Dynamic nonlinear networks: state-of-the-art, IEEE Trans. Circuits and Systems, vol. 11, pp. 1059-1087, 1980.