

POČÍTAČOVÁ ANALÝZA REÁLNÝCH SPÍNANÝCH OBVODŮ S TRANSIMPEDANČNÍMI OPERAČNÍMI ZESILOVAČI

Doc.Ing.Dalibor Biolek,CSc.,

Vojenská Akademie Brno, K4, katedra Elektrotechniky a elektroniky

V příspěvku je popsán nový algoritmus sestavování obvodových rovnic lineárních obvodů s externím spínáním, které obsahují transimpedanční operační zesilovače (TOZ). Algoritmus byl úspěšně implementován do programu SPIN pro analýzu reálných spínaných obvodů.

ÚVOD

Transimpedanční operační zesilovač je perspektivním stavebním prvkem, který se v současné době uplatňuje mj. i v obvodové technice kmitočtových filtrů [2],[3],[4]. Pro své příznivé dynamické vlastnosti jej lze s výhodou využít i při konstrukci filtrů se spínanými kapacitami (SC).

Protože dosud není k dispozici program pro kmitočtovou analýzu spínaných filtrů s TOZ, který je potřebný pro ověřování výsledků syntézy, rozhodli jsme se takovýto program vytvořit. Za základ jsme zvolili program SPIN [1], který jsme rozšířili o model transimpedančního operačního zesilovače. Program poskytuje správné výsledky i v případě, kdy v obvodu nejsou přítomny spínače a spínaný obvod je tím redukován na klasický lineární stacionární obvod.

V [1] jsme popsali obecnou koncepci programu SPIN, kterou je možno shrnout do těchto bodů:

- Sestavení obvodových rovnic.
- Časově - frekvenční předzpracování obvodových rovnic.
- Semisymbolický výpočet zobecněných přenosových funkcí.

Začlenění modelu TOZ do programu SPIN spadá do prvního bodu. V dalším popíšeme způsob začlenění rovnic TOZ do soustavy rovnic modifikované metody uzlových napětí.

ALGORITMUS TVORBY OBVODOVÉ ROVNICE

Problémem analýzy spínaných obvodů je relativně velký počet rovnic (v případě N -fázového spínání zhruba N krát větší počet než u obvodů nespínaných). Základem pro sestavování obvodových rovnic je modifikovaná metoda uzlových napětí (MMUN). V zájmu minimálního počtu rovnic je naše řešení následující:

- Pro každou spínací fázi o délce trvání T_1 , resp. T_2 nalezneme soubor nezávislých branových veličin

$$\begin{aligned}\mathbf{v}_1 &= [v_1^1, v_1^2, \dots, v_1^{n_1}]^T \dots \text{ fáze 1,} \\ \mathbf{v}_2 &= [v_2^1, v_2^2, \dots, v_2^{n_2}]^T \dots \text{ fáze 2,}\end{aligned}\tag{1}$$

kde n_1 , resp. n_2 je počet nezávislých veličin ve fázi 1, resp.2. Způsob hledání těchto veličin jsme podrobně popsali v [1].

- Pro branové veličiny lze sestavit soustavu diferenciálních rovnic modifikované metody uzlových napětí v operátorovém tvaru

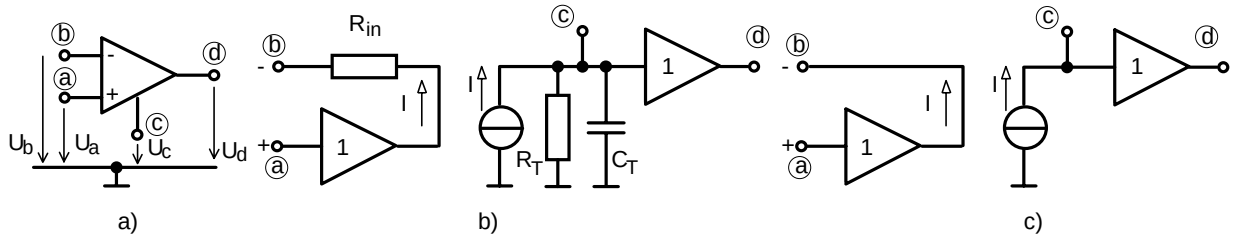
$$\underbrace{(\mathbf{G}_1^M + s\mathbf{C}_1^M)}_{\mathbf{Y}_1^M} \mathbf{V}_1 = \mathbf{D}_1 \mathbf{W}_1 + \mathbf{C}_{12}^M \mathbf{v}_2(kT^-), \quad (2)$$

$$\underbrace{(\mathbf{G}_2^M + s\mathbf{C}_2^M)}_{\mathbf{Y}_2^M} \mathbf{V}_2 = \mathbf{D}_2 \mathbf{W}_2 + \mathbf{C}_{21}^M \mathbf{v}_1(kT + T_1^-),$$

kde $\mathbf{G}_1^M$, resp. $\mathbf{G}_2^M$ je modifikovaná matice vodivostí rozměru $(n_1 \times n_1)$, resp. $(n_2 \times n_2)$,
 $\mathbf{C}_1^M$, resp. $\mathbf{C}_2^M$ je modifikovaná matice reaktancí rozměru $(n_1 \times n_1)$, resp. $(n_2 \times n_2)$,
 $\mathbf{C}_{12}^M$, resp. $\mathbf{C}_{21}^M$ je modifikovaná přechodová matice rozměru $(n_1 \times n_2)$, resp. $(n_2 \times n_1)$,
 $\mathbf{D}_1$, resp. $\mathbf{D}_2$ jsou jisté incidenční vektory rozměru $(n_1 \times 1)$, resp. $(n_2 \times 1)$,
 $\mathbf{W}_1$, resp. $\mathbf{W}_2$ jsou Laplaceovy obrazy budičích signálů ve fázi 1, resp. 2.

Rovnice (4) a (5) mají klíčový význam pro počítačovou analýzu, neboť je lze vždy sestavit pro jakýkoliv reálný lineární spínaný obvod bez ohledu na to, zdali je v okamžiku přepnutí do jiné fáze splněna podmínka konzistence počátečních podmínek [1]. V praxi to znamená, že simulátor bude poskytovat správné a přesné výsledky i v případě, že spínaný obvod obsahuje části, kde v důsledku ideálních spínačů dochází k skokovému přebíjení kapacitorů Diracovými impulsy.

Výše uvedené obvodové matice se vytvářejí postupným skládáním matic jednotlivých obvodových prvků. Způsob sestavování matic rezistivních a akumulacních prvků a klasických operačních zesilovačů jsme popsali v [1]. Dále popíšeme způsob začlenění TOZ v rámci dvou často používaných modelů z obr.1 b) a c).

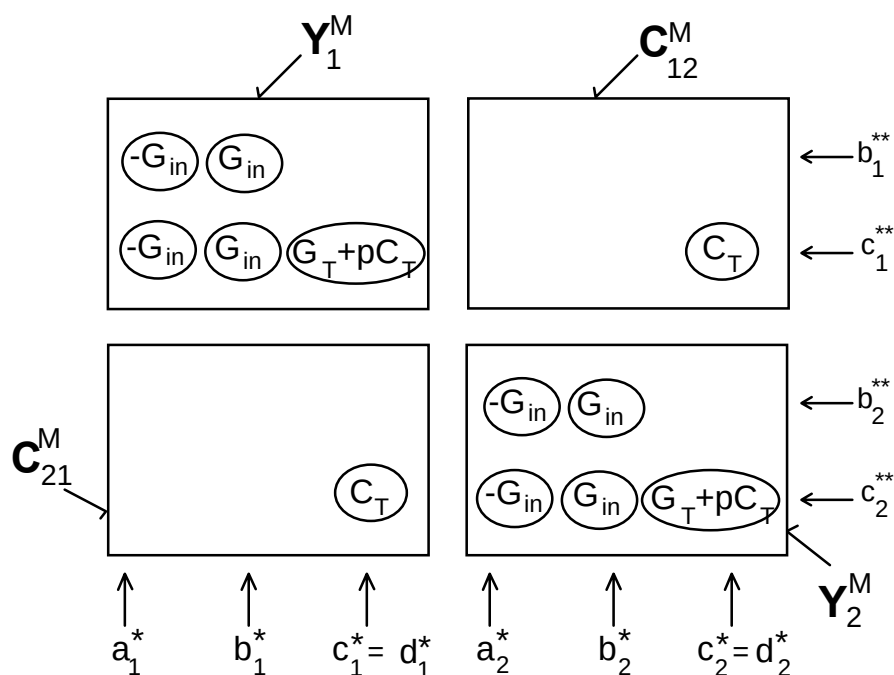


Obr.1. a) schématická značka TOZ, b) náhradní schéma s uvažováním vlivu vstupního odporu R_{in} a transimpedance, c) idealizovaný TOZ: $R_{in}=0$, $C_T=0$, $R_T \rightarrow \infty$.

Proudy, tekoucí z vnějších zdrojů do uzlů a , b a c označíme i_a , i_b a i_c . Pak lze pro model na obr.1b psát soustavu algebraicko - diferenciálních rovnic v časové nebo operátorové oblasti:

časová oblast	operátorová oblast
$i_a = 0$	$I_a = 0$
$i_b = G_{in}(u_b - u_a)$	$\Rightarrow I_b = G_{in}(U_b - U_a)$
$i_c = G_T u_c + C_T \frac{d}{dt} u_c + G_{in}(u_b - u_a)$	$I_c = (G_T + pC_T)U_c + G_{in}(U_b - U_a) - C_T u_c(0^+)$
$u_d = u_c$	$U_d = U_c$

Z uvedených operátorových rovnic lze odvodit algoritmus tvorby obvodových matic, který je znázorněn na obr.2. Jedná se o zobecnění známého pravidla pro tvorbu admitanční matice analogových obvodů. Je zřejmé, že v případě spínaného obvodu s dvoufázovým spínáním je třeba sestavit ne jednu, ale čtyři matice: klasickou admitanční matici pro každou fázi a dvě tzv. přechodové matice. Prvky přechodových matic jsou tvořeny parametry reaktančních členů, které zprostředkovávají přenos energie z jedné spínací fáze do druhé.



Obr.2. Způsob zápisu parametrů reálného *TOZ* do obvodových matic spínaného obvodu. Symboly *, resp. ** jsou označeny tzv. napěťové a proudové koeficienty uzlů [1].

Z obrázku je zřejmé, že při použití tohoto popisu dochází k redukci počtu obvodových rovnic o jedničku, protože se využívá rovnosti napětí U_c a U_d .

V případě modelování ideálního *TOZ* podle obr.1c) dojde k redukci počtu rovnic o dvojku, neboť nyní bude zabezpečena i rovnost napětí U_a a U_b . Z obrázku 1c) vyplývají transformační rovnice

$$I_a = 0, I_b = -I, I_c = -I,$$

$$U_a = U_b, U_c = U_d.$$

Znamená to, že působení ideálního *TOZ* je třeba respektovat pouze transformací proudových a napěťových koeficientů uzlů, konkrétně rovností proudových koeficientů uzlů a a b , napěťových koeficientů uzlů a a b a c a d . Proudový koeficient uzlu d je nulový.

Poznámka: Vývoj algoritmů počítačového řešení obvodů s transimpedančními operačními zesilovači je podporován Grantovou agenturou ČR [1].

LITERATURA

- [1] VRBA,K. a kol.: Dílčí zpráva o řešení projektu GA ČR "Syntetické prvky vyššího řádu I", ÚTEL FEI VUT Brno, 1993.
- [2] VRBA,K.-ČAJKA,J.: Transformační články vyššího řádu. Radioelektronika'94, FEI VUT Brno, 1994.
- [3] VRBA,K.-VRBA,R.: Antialiasing Lowpass Filter with a Transimpedance OpAmp for ECG Signal Processing. Biosignal'94, FEI VUT Brno, 1994.