

Kapcsolt kapacitású szűrők analízise és szintézise*

DR. GÉHER KÁROLY

Budapesti Műszaki Egyetem
Híradástechnikai Elektronika Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A jelfeldolgozó áramkörök egyik fontos csoportját alkotják a MOS kapcsolókat, kapacitásokat és műveleti erősítőket tartalmazó, úgynevezett kapcsolt kapacitású áramkörök. Számítógépes analízisük és szintézisük speciális programok készítését kívánja. Az SC szűrők analízisére a Budapesti Műszaki Egyetem Híradástechnikai Elektronika Intézetében kifejlesztett programok közül kütönös figyelmet érdemel az érzékenységeket számító program és a Monte Carlo toleranciaanalízist végző program. A szintézist a Fleischer-Laker alaptagok kaszkád kapcsolását optimalizáló program segíti. Az eredményeket PCM esatormaszűrő és adatátviteli szűrő példákkal illusztráljuk.

Bevezetés

A Kozma László professzor emlékének ajánlott cikk témája több pontban csatlakozik azokhoz a tevékenységekhez és gondolatokhoz, melyek fontos szerepet játszottak az ő életében. Első helyen említjük meg, hogy a beszámolóban szereplő munkákban egyetemi oktatók és egyetemi hallgatók vettek részt. Számos tudományos diákköri dolgozat, diplomatervezés, egyetemi doktori értekezés, kandidátusi értekezés és cikk született a témakörből. Ezek érettebb, utolsó változatáról az irodalomjegyzék nyújt felvilágosítást. Második csatlakozási pont a számítógépek alkalmazása a feladat megoldásához. Munkánk eredményeként olyan számítógépprogramok készültek, melyek segítségével a kapcsolt kapacitású szűrők tervezése és kísérleti megvalósítása elkezdődhet. A harmadik fontos kérdés a feladat gyakorlati jelentőségéhez kapcsolódik. Ez a szűrőtípus a híradástechnikai berendezések perspektivikus áramkörét jelenti és különösen a pulzus-kód-modulált (PCM) berendezéseknél fontos. Így elméletük megismerése, számítógépes analízisük és szintézisük kidolgozása a hazai ipari igények kielégítését szolgálja.

A kapcsolt kapacitású szűrők témaköre 1977. végén kezdett kibontakozni az irodalomban. Azóta már összefoglaló jellegű cikkek és könyvrészletek jelentek meg róla. Köztük kiemelésre érdemes a Proceedings IEEE 1983. évi augusztusi különszáma [16] és Simonyi Ernő könyve [18]. A témakör iránt érdeklődő olvasónak kiindulásul ezt a két irodalmat ajánljuk.

A rendelkezésre álló keretek legjobb kihasználása érdekében a következőkben röviden áttekintjük a kapcsolt kapacitású szűrő alapelvét, majd a számítógépes analízisre és szintézisre szolgáló számítógépprogramok közül hármat ismertetünk. A SCANS program analízist, érzékenységszámítást, tolerancia-számítást végez. A SCAMON a gyártás Monte Carlo

DR. GÉHER KÁROLY

Villamosmérnöki oklevelet 1952-ben a Budapesti Műszaki Egyetemen szerzte meg. 1952-től a BME Elméleti Villamos-ságtan Tanszékén, 1959-től a BME Vezetékes Híradástechnika Tanszékén dolgozott, 1974-től a BME Híradástechnikai Elektronika Intézetében egyetemi tanár. Mellékfoglalkozásban 1957-től 1967-ig a Távközlési Kutató Intézetben tevékenykedett. A műszaki tudó-

mányok doktora; szakterülete a lineáris hálózatok elmélete és a számítógépes áramkörtervezés. A Híradástechnikai Tudományos Egyesület Elnökségének és Végrehajtó Bizottságának tagja, a Virág-Pollák díj és a Pus-kás Tivadar emlékérem tulajdonosa. A Nemzetközi Rádió Tudományos Unió (URSI) 1981-ben a „Jelek és rendszerek” szakbizottság alelnökének, 1984-ben elnökének választotta meg.

szimulációját teszi lehetővé. Az FLSC-program a Fleischer-Laker alaptagokból álló kaszkád szűrő szintézisét oldja meg optimalizálási eljárással. A programok használatát példákkal világítjuk meg.

A kapcsolt kapacitású szűrők alapelve

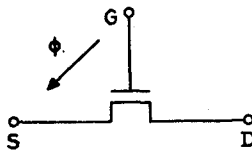
A kapcsolt kapacitású áramkörök kapcsolókat, kapacitásokat és műveleti erősítőket tartalmaznak. A minőségileg új áramköri elemet az aktív RC szűrőkhöz képest a kapcsoló jelenti, és ezért ennek a hálózatelméleti modelljével foglalkozunk először, majd megmutatjuk felhasználásának következményeit.

Az 1a ábrán a MOS tranzisztor jelképi jelölése látható. A G és S bemenetek közé kapcsolt Φ feszültséggel az S és D bemenetek közötti ellenállás értéke változtatható. Ha $\Phi > U_{kr}$, akkor az ellenállás aránylag kicsi, ezért rövidzárnak tekinthető. Ez a kapcsoló zárt állapota. Ha $\Phi < U_{kr}$, akkor az S és D bemenetek közötti ellenállás aránylag nagy és így a kapcsoló nyitott állapotát kapjuk. Ezt a kapcsolást az 1b ábrán feltüntetett T_c periódusidejű órajellel érhetjük el. A MOS tranzisztort, mint kapcsolót, tehát az 1c ábrának megfelelően is jelölhetjük.

Ha az áramkörben több kapcsoló van, akkor azok órajelének időzítése általában különbözik egymástól. Kétfázisú órajel esetén erre a Φ_1 , Φ_2 jelölést alkalmazzuk, de gyakran az e (even) és az o (odd) indexekkel különböztetjük meg az áramkör két állapotát.

A 2a ábra szerinti kapcsolásban Φ_1 és Φ_2 azonos periódusidejű, nem átlapolódó órajeleket jelent. Az 1 és 2 csomópontok között tehát nincs közvetlen kapcsolat, amit a 2b ábra kapcsoló elrendezéssel szimbolizálhatunk. Legyen a kapcsoló az 1. állásban.

* Elhangzott a Magyar Tudományos Akadémia 1984. november 1-i tudományos ülésén.



a.

1. ábra. A kapcsoló modellezése

Ekkor a kapacitás a CU_1 töltésre töltődik fel viszonylag kis időállandóval. A kapcsoló 2. állásában a kapacitás töltése CU_2 -re változik, szintén kis időállandóval. Ez a jelenség ismétlődik minden T_c órajel periódus alatt. Az 1 és 2 csomópontok között tehát

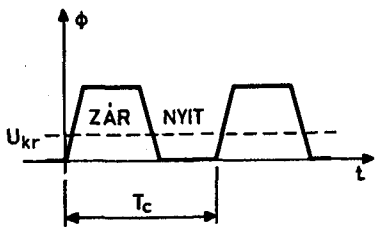
$$I = \frac{C(U_1 - U_2)}{T_c} \quad (1)$$

áram folyik, amit az

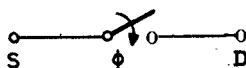
$$I = \frac{U_1 - U_2}{R_{ekv}} \quad (2)$$

összefüggés felhasználásával úgy értelmezzük, hogy az 1 és 2 pontok között

$$R_{ekv} = \frac{T_c}{C} \quad (3)$$



b.



c.

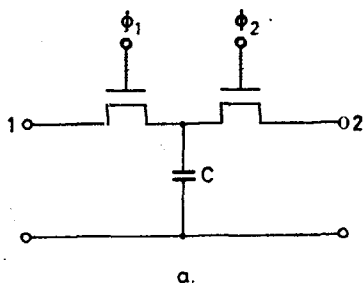
H5-1

értékű ellenállás van (2c ábra). Gondolatmenetünkben feltételezzük, hogy a T_c periódusidő alatt az U_1 és U_2 feszültségek állandónak tekinthetők, vagyis a jel T periódusideje lényegesen nagyobb T_c -nél.

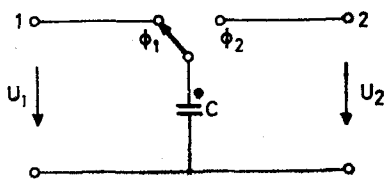
A 2. ábra ekvivalenciája tehát megadja az elvi lehetőségét annak, hogy az aktív RC kapcsolások ellenállásait kapcsolókkal és kapacitásokkal helyettesítsük. Kiemelkedő fontossága miatt érdemes megmutatni az integrátor megvalósítását. A 3a ábrán látható invertáló integrátor transzfer függvénye

$$\frac{U_2}{U_1} = -\frac{1}{R_1 C_2 p} \quad (4)$$

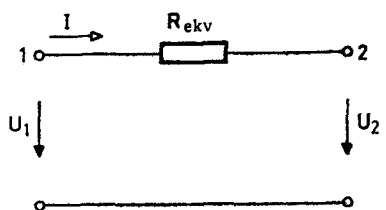
Az ellenállást kapcsolt kapacitással helyettesítve a 3b ábrán látható kapcsolást kapjuk, melynek transzfer függvénye (4) és (3) felhasználásával:



a.

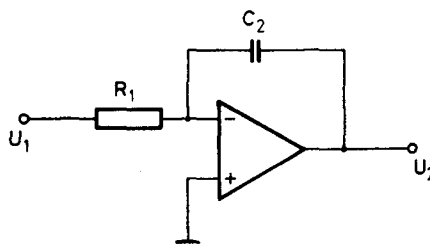


b.

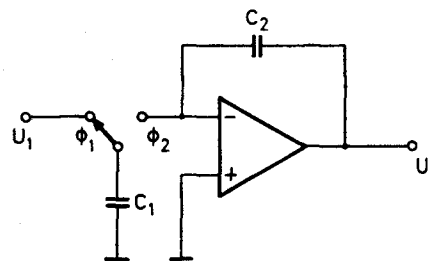


c.

2. ábra. A kapcsolt kapacitás és az ellenállás ekvivalenciája



a.



b.

H5-3

3. ábra. Az integrátor alapelve

$$\frac{U_2}{U_1} = -\frac{C_1}{T_c C_2 P} \quad (5)$$

(5)-ből a kapcsolt kapacitású szűrők egyik általános és kedvező tulajdonsága látszik, nevezetesen az, hogy a transzfer függvényt a kapacitások hányadosa határozza meg.

Az alapelv megismerése után az olvasóban számos jogos kérdés merül fel. A modellalkotásnál több feltételezéssel élünk. Ilyenek voltak a kapcsolók nyitott állapotú és zárt állapotú ellenállásainak viszonya, a kapcsoló zárt állapotú ellenállásából és a kapacitásból származó időállandó értéke és az utóbbi nagysága a T_c órajel periódusidejéhez képest. Feltételeztük azt is, hogy $T_c \ll T$, ahol T a jel periódusideje. A gyakorlatban előforduló technológiai adatok és alkalmasan megválasztott T_c esetén feltételezéseink nagyon jó közelítések. A kapcsolt kapacitású áramkörök analízisének a diszkrét idejű működésből adódó kérdéseket pontosan időtartománybeli vizsgálattal lehet megválaszolni. Az esetek többségében a kapcsolt kapacitású áramköröket a mintavételezett hálózatoknál szokásos z tartományban írjuk le.

Az aktív RC szűrőkhöz hasonlóan a kapcsolt kapacitású áramkörök tápfeszültséget (és így teljesítményt) igényelnek. Ehhez járul még, hogy órajelre is szükségünk van. Alkalmazásuk így módon például PCM berendezéseknél, adatátviteli berendezéseknél célszerű, hiszen az órajel ezekben az esetekben egyébként is szükséges.

A kapcsolt kapacitású szűrők fontos és előnyös tulajdonsága, hogy transzfer függvényük a kapacitások abszolút értéke helyett, a kapacitások viszonyától függ. Toleranciák szempontjából ez döntő fontosságú. Végeredményben a kapcsolt kapacitású (SC) szűrők kérdését az dönti el, hogy a MOS technológiával pontos R és C nem valósítható meg, ellenben kapcsolót és kapacitást lehet készíteni.

A SCANS program

A SCANS program kapcsolt kapacitású áramkörök esetén frekvenciatartománybeli analízist, érzékenységszámítást és érzékenység-, illetve tolerancia-mérték számítást végez [20, 21, 22].

A kapcsolók két állapotának megfelelően vezessük be az e (even) és az o (odd) felső indexeket. A $z = e^{j\omega T_c}$ felhasználásával a z tartományban a kapacitás töltésének változását a

$$Q_c^e = C(U_c^e - z^{-\frac{1}{2}} U_c^o) \quad (6)$$

$$Q_c^o = C(U_c^o - z^{-\frac{1}{2}} U_c^e)$$

egyenletpár írja le. A hálózat t -edik csomópontjára a

$$Q_i^e = \sum_j [C_{ij}(U_i^e - U_j^e) - z^{-\frac{1}{2}}(U_i^o - U_j^o)] \quad (7)$$

$$Q_i^o = \sum_j [C_{ij}(U_i^o - U_j^o) - z^{-\frac{1}{2}}(U_i^e - U_j^e)]$$

egyenletek érvényesek, ahol Q_i az átváltáskor a cso-

mópontba — a töltés generátorból — befolyó töltés. A teljes hálózat leírására a következő egyenletrendszert kapjuk:

$$\begin{bmatrix} Q^e \\ Q^o \end{bmatrix} = Y \begin{bmatrix} U^e \\ U^o \end{bmatrix} \quad (8)$$

ahol Y a csomóponti admittancia mátrix. Az invertálással kapott

$$\begin{bmatrix} U^e \\ U^o \end{bmatrix} = Z \begin{bmatrix} Q^e \\ Q^o \end{bmatrix}, \quad (9)$$

összefüggésből a Q töltésgerjesztés ismeretében az U csomóponti feszültségek meghatározhatók. A feszültség transzfer függvények számításához figyelembe kell venni az U_{bc}^e és U_{bc}^o közötti összefüggéseket a töltésgerjesztések felvételénél.

A transzfer függvény kapacitások szerinti $S_c = \frac{\partial K}{\partial C}$

érzékenységének meghatározása közvetett módon, a belső transzfer függvények segítségével történik. A belső transzfer függvények első csoportja a bemenet és a kapacitás közötti átvitelt jellemzi. A belső transzfer függvények második csoportja a kapacitás és a kimenet közötti átvitelt írja le, azzal a feltételezéssel, hogy a bemeneten rövidzár van. Ez az eredeti áramkörhöz képest új struktúrát jelentene, amely új Y mátrix felírását kívánna meg, és új mátrix inverziót követelne Z meghatározására. Ezt a nehézséget a bemeneti bővítő áramkör segítségével lehet elérni. A 4. ábrán látható kapcsolásról kimutatható, hogy mindkét órajelfázisban a bemeneti töltésmintát azonos számértékű kimeneti feszültségmintába alakítja át. Így az eredeti hálózat feszültség transzfer függvényei megegyeznek a bemeneti bővítő áramkörrel kiegészített kapcsolás töltésfeszültség transzfer függvényeivel. A feladat — a szükséges transzfer függvények meghatározása — tehát egyetlen Y mátrix felírásával és egyetlen Z mátrix előállításával megoldható.

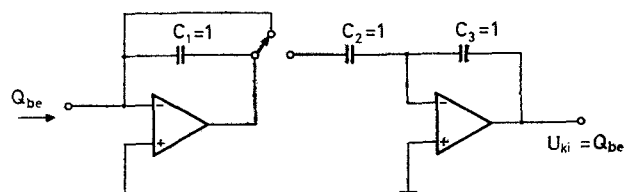
A toleranciákat a legrosszabb esetnek megfelelően a

$$\Delta a_{\text{Max}} = \sum_{i=1}^N |S_i| \varepsilon_i \text{Max} \quad (10)$$

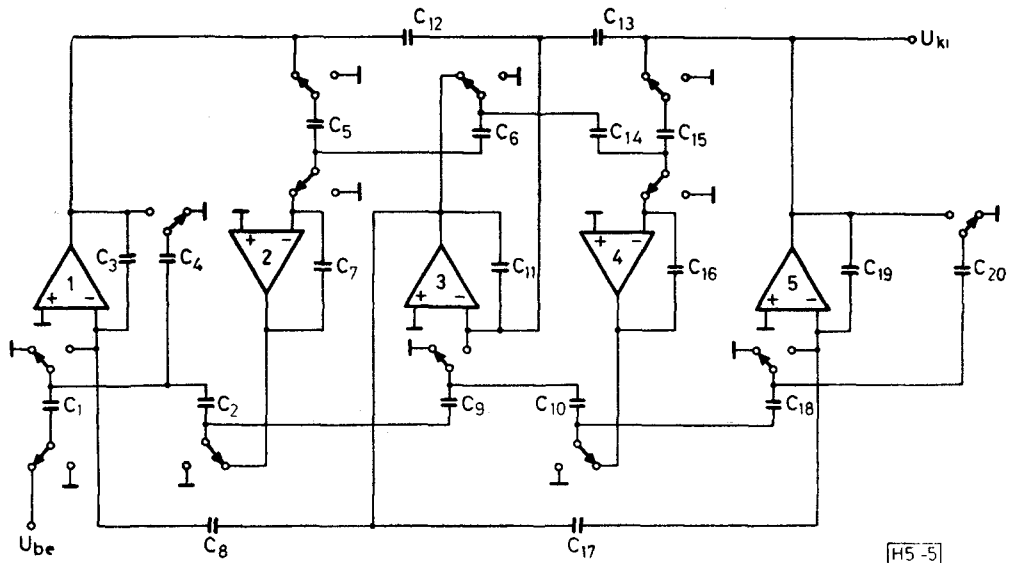
összefüggéssel ítélni meg. A frekvencia függvényében ezt a névleges karakterisztikához hozzáadva, illetve levonva, a lehetséges átviteli karakterisztikák burkolóját nyerjük. A kapacitások normál eloszlását feltételezve, az

$$\varepsilon_i \text{Max} = 3\sigma_i \quad (11)$$

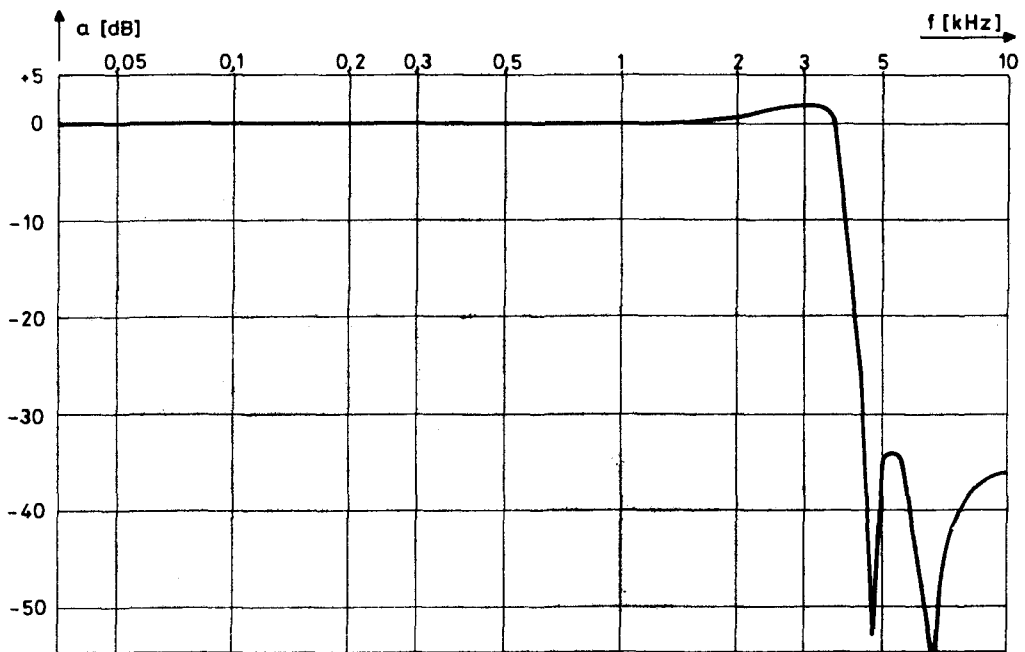
megállapodással a szórásnégyzetet



4. ábra. Bemeneti bővítő áramkör



5. ábra. PCM SC vevőszűrő kapcsolása



6. ábra. PCM SC vevőszűrő amplitúdó karakterisztikája

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^N |S_i|^2 e_i^2 \text{Max} \quad (12)$$

formában kapjuk. A SCANS program ábrázolja a névleges karakterisztikához hozzáadott, illetve levont szórást is a frekvencia függvényében.

Példaként tekintünk az 5. ábrán látható PCM vevőszűrőt. A szűrő tervezése LC referencia szűrőből kiindulva jel-folyam gráf segítségével történt [5, 12]. Az órajel frekvenciája $f_c = 256$ kHz. Az 5. ábra a szűrő kapcsolását, a 6. ábra a logaritmikus amplitúdó karakterisztikát mutatja. A szűrő áteresztő tartománya – a mintavételezett és tartott bemenet korrigálása érdekében – az $x/\sin x$ függvény szerint ($x = \pi/f/f_s$, $f_s = 8$ kHz) megemelt.

A SCAMON program

A SCAMON program kapcsolt kapacitású áramkörök Monte Carlo analizisét végzi [6].

A Monte Carlo ciklus során először az áramköri paramétereknek – az adott statisztikus jellemzők által vezérelt sorsolással – véletlen értékeket adunk. Ezt követően áramköranalízissal meghatározzuk a hálózatjellemező karakterisztikát. A ciklust n -szer ismételve a hálózatjellemezőre n elemű mintát kapunk, melyből a hálózatjellemező statisztikus jellemzőire becsléseket adunk.

A technológia statisztikus hatásainak modellezése két szinten történhet: (i) a villamos paraméterek szintjén (pl. kapacitás, erősítés), (ii) geometriai és

anyagjellemzők szintjén (pl. maszkméret, dielektromos állandó). A SCAMON programban a kapacitások mind villamos, mind geometriai szintű modellezése lehetséges. A műveleti erősítők ideálisak vagy normális eloszlású erősítési tényezővel bírnak.

A kapacitások statisztikus függőségét a korrelációs együtthatóval vesszük figyelembe. Az egész áramkör kapacitásai közötti R korrelációs mátrix megadására a programban kétféle lehetőség van. Ha mindegyik kapacitáspárra azonos a korreláció, akkor $r_{ij}=r$, ha $(i \neq j)$ és $r_{ii}=1$. Ezt globális korrelációmegadásnak hívjuk. A másik lehetőség a korrelációs mátrix bizonyos elemeinek felülírása. Minden egyes kapacitáshoz maximálisan hat kapacitást jelölhetünk ki, amelyekre — az r korrelációtól függetlenül — lokális korrelációkat jelölhetünk ki.

A kondenzátorok geometriai szintű modellezésénél a kapacitás értékét az ϵ_i , t_i , x_i és y_i véletlen értékekből kapjuk, ahol ϵ_i a dielektromos állandó, t_i a kondenzátor vastagsága, x_i és y_i pedig a téglalap alakú kapacitás méretei. Ezen véletlen értékek is globálisan és lokálisan sorsolhatók. ϵ_i és t_i esetében korreláció, x_i és y_i esetében szisztematikus hiba is előírható.

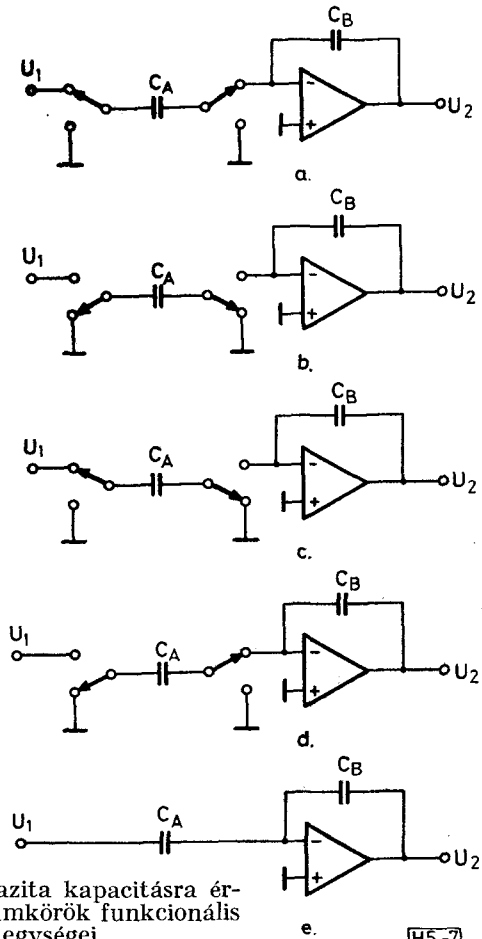
A SCAMON programban lehetőség van a kapacitások hőmérsékleti együtthatóinak sorsolására is.

Az áramkör ismételt, gyors analizésére két eljárás áll rendelkezésünkre: (i) speciális analizis program használata, (ii) a hálózatjellemző explicit függvényének kiértékelése. Speciális analizis program [14, 15] használható, ha az áramkör a következő megkötéseknek eleget tesz:

- a műveleti erősítők nem invertáló bemenete földelt, az invertáló bemenet mindig virtuális föld,
- a kapacitások fegyverzetei mindig feszültségforrásra, virtuális földre, vagy földre vannak kapcsolva,
- a kapcsolók mindig feszültségforrás és föld, vagy virtuális föld és föld között kapcsolódnak.

Ilyen megkötéseknek megfelelő áramkörök felépíthetők a 7. ábrán látható funkcionális egységekből. Analízisük az állapotváltozók módszerével hatékonyan megoldható.

Explicit képlet szerint végezhető el a Fleischer—Laker-féle, másodfokú alaptagokból felépülő, kasz-

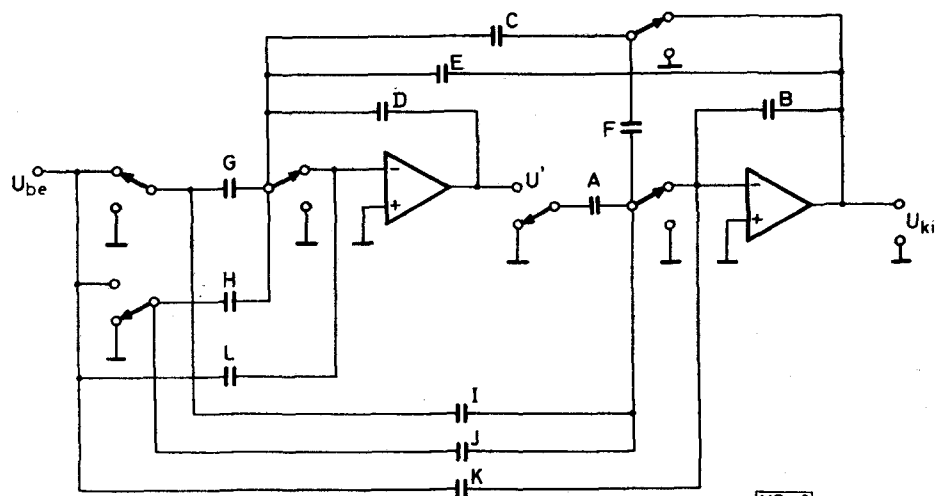


7. ábra. Parazita kapacitásra érzéketlen áramkörök funkcionális egységei

H5-7

kád kapcsolású áramkörök analizése. A 8. ábrán látható kapcsolás tárgyalására később térünk ki.

A SCAMON program megadja a frekvencia függvényében, táblázatos formában az amplitúdó karakterisztika várható értékét, szórását, alsó és felső burkolóját. Megadja a kihozatal értékét. Külön kérésre az amplitúdó karakterisztikának a kapacitás értékekre vonatkozó regressziós együtthatóit és a korrelációs együtthatókat is kiírja. Kérhető a kapacitások sorsolt értékeinek várható értéke, szórása és korrelációs mátrixa is.



8. ábra. Fleischer—Laker-féle alaptag

H5-8

Az FLSC program

Az FLSC program a Fleischer–Laker alaptagokból álló kaszkád felépítésű szűrő iteratív szintézisével oldja meg [10, 11].

$$K(z) = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{D(I+K) + (AG+AL-DI-DJ-2DK)z^{-1} + (DJ+DK-AH-AL)z^{-2}}{D(F+B) + (AC+AE-DF-2BD)z^{-1} + (DB-AE)z^{-2}} \quad (13)$$

A transzfer függvény pólusait a visszacsatolt hurkot alkotó A, B, C, D, E és F kapacitások határozzák meg. A zérusok helyét a G, H, L és I, J, K kapacitásokkal állíthatjuk be. A visszacsatoló ágba E és F két lehetőséget ad a pólusok jóságai tényezőjének beállítására. Ennek megfelelően definiálhatunk egy „E” áramkört, melyre $E \neq 0$ és $F=0$, és egy „F” áramkört, ahol $E=0$ és $F \neq 0$. Célszerű ezenkívül a $K=L=0$ választással élni. A fokozatoknál egy-egy kapacitásértéket szabadon választhatunk, tehát $B=D=1$ lehet. Lehetőség van $A=1$ felvételére is. Ily módon az általános eset (13) transzfer függvénye két egyszerűbb esetre, K_E -re és K_F -re redukálódik.

A diszkrét működésű SC szűrő transzfer függvénye és a folytonos működésű szűrő transzfer függvénye között a bilineáris transzformáció felhasználásával teremtünk kapcsolatot:

$$p = \frac{2}{T_c} \frac{z-1}{z+1}, \quad (14)$$

ahol $p = a + j\Omega$ és $z = e^{j\omega T_c}$. (14)-ből z -t kifejezve és (13)-ba behelyettesítve a diszkrét transzfer függvény folytonos megfelelőjét kapjuk:

$$K_f(p) = \frac{ap^2 + bp + c}{p^2 + ep + d}. \quad (15)$$

Itt a, b, c, d, e az áramköri elemek és a T_c órajel periódusidő függvénye. A folytonos működésű áramkör Ω frekvenciája és a diszkrét működésű áramkör ω frekvenciája között az

$$\Omega = \frac{2}{T_c} \operatorname{tg} \frac{\omega T_c}{2} \quad (16)$$

kapcsolat áll fenn. Az ω -tartománybeli előírást tehát a (16) összefüggésnek megfelelően szükséges eltorzítani. A specifikáció az amplitúdó karakterisztikára, vagy a futási idő karakterisztikára vonatkozhat. Ezt követően a megoldást a (15) kifejezéssel adott $K_f(p)$ transzfer függvény együtthatóinak megkeresése szolgáltatja.

Az optimalizálás célfüggvénye a csebisevi hiba, vagyis az eltérés maximumát minimalizáljuk. A kö-

zött szélsőérték feladatot kötetlen szélsőérték feladatok sorozatára vezetjük vissza. Az utóbbi megoldásra kétféle változatot is használtunk, az egyik módosított szimplex eljárás, a másik pedig pattern search módszer.

Az a, b, c, d, e együtthatók és T_c ismeretében az „E” és „F” áramkör kapacitásai képletből számíthatók. A program dinamika beállítást is végez, tehát a 8. ábra áramköri elemeit úgy módosítja, hogy $U'(\omega)$ és $U_{ki}(\omega)$ maximális értéke azonos legyen.

Mintapéldaként a 300 baudos adatcsatorna alsósávi szűrőjének tervezésére hivatkozunk [4]. Az előírásokat a CCITT V. 21 ajánlása rögzíti:

áteresztő tartomány:

$$930 < f < 1230 \text{ Hz} \quad \Delta a = \pm 1 \text{ dB}$$

referencia frekvencia 980 Hz

zárótartomány:

$$f < 100 \text{ Hz} \quad -60 \text{ dB} > a$$

$$f > 1500 \text{ Hz} \quad -30 \text{ dB} > a$$

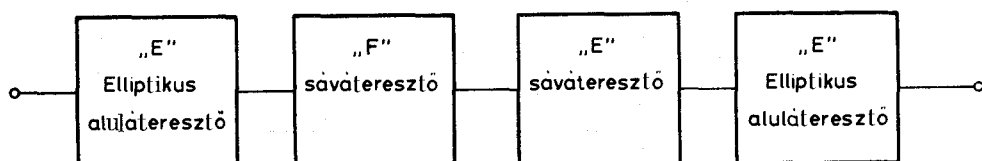
$$f \geq 1600 \text{ Hz} \quad -60 \text{ dB} > a$$

A specifikációt 4 darab alaptag kaszkád kapcsolásával lehet kielégíteni. Az alaptagok sorrendjét a maximális kivezérelhetőség elérése határozza meg. Az „E” és „F” típusú áramkörök közötti választás a minimális összkapacitás alapján történt (9. ábra).

Köszönetnyilvánítás

A Budapesti Műszaki Egyetem Híradástechnikai Elektronika Intézetében a félvezető alapú villamos szűrőkkel kapcsolatos kutatómunkát 1979-től 1982-ig az OMFV támogatta. 1983-tól a Mikroelektronikai Kormánybiztos a MEV bevonásával segíti tevékenységünket.

A hosszú évekre visszanyúló közös munkában az iparban és az egyetemen sokan vettek részt, mindannyiuknak ezúton köszönöm fáradozásukat és segítségüket. Közvetlen munkatársaim közül elsősorban dr. Fülöp Tamás, dr. Gaál József, dr. Gefferth László, dr. Halász Edit és dr. Trón Tibor egyetemi adjunktusokat illeti elismerés és köszönet.



HS-9

9. ábra. Adatátviteli modem alsósávi szűrőjének blokkvázlata

- [1] *Fülöp T.—Gefferth L.—Géher K.—Simon Gy.*: CCD és SC szűrők. Tanulmány az OMFB megbízásából. Budapesti Műszaki Egyetem, Híradástechnikai Elektronika Intézet, 1980. 388. o.
- [2] *T. Fülöp—T. Pörnecei*: Effects of the Op. Amp. Dynamic Behaviour in Switched Capacitor Filters. Proceedings SSCT '82, Prague, July 1982, pp. 244—248.
- [3] *T. Fülöp—T. Pörnecei*: On the Design of Switched Capacitor Bandpass Filters. ECCTD '83. 1983 European Conference on Circuit Theory and Design. Proceedings ECCTD '83, Stuttgart, September, 1983.
- [4] *Fülöp T.—Halász E.*: SC modem szűrő számítógépes tervezése és diszkrét elemű realizációja. Tanulmány a MEV megbízásából. Budapesti Műszaki Egyetem, Híradástechnikai Elektronika Intézet, 1983. 30. o.
- [5] *Fülöp T.—Nemes M.*: PCM SC csatornaszűrő vilamos terve. Tanulmány a MEV megbízásából. Budapesti Műszaki Egyetem, Híradástechnikai Elektronika Intézet, 1983. 42. o.
- [6] *Gaal J.*: Kapcsolt kapacitású áramkörök tolerancia analízise Monte Carlo eljárással (A SCAMON2 program felhasználási leírása). Tanulmány a MEV megbízásából. Budapesti Műszaki Egyetem, Híradástechnikai Elektronika Intézet, 1984. 31. o.
- [7] *L. Gefferth—G. Kalvach*: A Program for Analysing SC Networks in the z Domain. Proceedings SSCT '82, Prague, July 1982. pp. 259—262.
- [8] *O. Jareb—G. Kalvach—E. Simonyi*: Analysis of Finite Gain and Bandwidth Effects in Switched-Capacitor Filters. Proceedings of the Seventh Colloquium on Microwave Communication. Vol. I. OMIKK—TECHNOINFORM Budapest, 1982. pp. 215—219.
- [9] *Halász E.*: Lineáris áramkörök tervezése optimalizálással. Kandidátusi értekezés. Budapest, 1982. 171. o.
- [10] *Halász E.*: Fleischer—Laker-féle kapcsolt kapacitású biquad számítógépes tervezése. Elméleti összefoglaló. Tanulmány az OMFB megbízásából. Budapesti Műszaki Egyetem, Híradástechnikai Elektronikai Intézet, 1982. 26. o.
- [11] *Halász E.*: Általános Fleischer—Laker-féle SC szűrő számítógépes tervezése. 3. változat. A program a MEV megbízásából készült. Budapesti Műszaki Egyetem, Híradástechnikai Elektronika Intézet, 1984. 21. o.
- [12] *Halász E.—Trón T.*: PCM SC csatornaszűrő érzékenység analízise. Tanulmány a MEV megbízásából. Budapesti Műszaki Egyetem, Híradástechnikai Elektronika Intézet, 1984. 21. o.
- [13] *Ho anh Tuy*: Lineáris hálózatok számítógépes analízise kapcsolt kapacitású áramkörök esetén. Kandidátusi értekezés. Budapest, 1981. 191 o.
- [14] *Pörnecei T.*: Aktív, kapcsolt kapacitás létra szűrők tervezése. Szakmérnöki diplomaterv és egyetemi doktori értekezés. Budapesti Műszaki Egyetem. 1983.
- [15] *T. Pörnecei*: Simple Analysis of Stray-Insensitive Switched-Capacitor Filters. Proceedings of the Workshop on Circuit Theory and Applications. Institute of Communication Electronics. Budapest Technical University, Budapest, 1983. pp. 34—37.
- [16] Proceedings of the IEEE. Vol. 71. No. 8. August 1983. Special Section on Switched-Capacitor Circuits. pp. 926—1005.
- [17] *Simonyi E.*: Monolit integrált diszkrét-analóg szűrők szintézise rekurzív CCD és SC realizációkkal. Kandidátusi értekezés. Budapest, 1978. 185 o.
- [18] *Simonyi E.*: Digitális szűrők. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
- [19] *L. Tóth—E. Simonyi*: Analysis of Multi Phase Switched Capacitor Filters. Proceedings 1984 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Vol. 3. IEEE Service Center, 1984. pp. 1328—1331.
- [20] *Trón T.*: SC áramkörök érzékenység analízise. Tanulmány a MEV megbízásából. Budapesti Műszaki Egyetem, Híradástechnikai Elektronika Intézet, 1983. 21 o.
- [21] *Trón T.*: A SCANS program továbbfejlesztése. Tanulmány a MEV megbízásából. Budapesti Műszaki Egyetem, Híradástechnikai Elektronika Intézet, 1984. 15 o.
- [22] *T. Trón*: Sensitivities of SC Networks. Proceedings of the Fifth International Symposium on Network Theory, Sarajevo, September 1984.
- [23] *Valkó Á.*: NMOS integrált áramkörök hírközlő berendezésekhez; az analóg blokkok technológiai problémái. Híradástechnika, XXII. évf. 8. sz. 1981. 296—300. o.

Lapunk példányonként megvásárolható a

V., Váci utca 10.

V., Bajcsy-Zsilinszky út 76. szám alatti

hírlapboltokban