

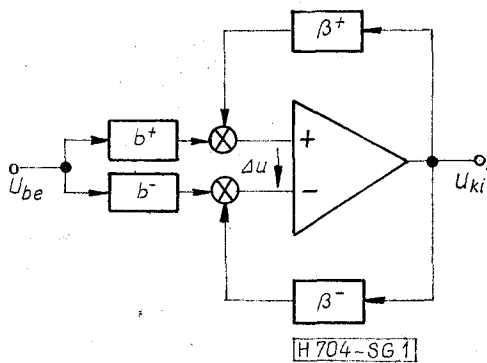
Aktív szűrők műveleti erősítő központú szintézise

ETO 621.372.54:621.3.011.733

Az aktív szűrők klasszikus irodalmából ismeretes, hogy az átviteli függvény nevezőjének konjugált komplex gyökeit összeg-, illetve különbségi felbontással valósíthatjuk meg. A műveleti erősítő invertáló és nem invertáló bemenete egyszerű különbségképzést tesz lehetővé. Egy műveleti erősítő alaptagoknál két extrém eset fordul elő: csak a negatív bemenetre kerül visszacsatolt jel, illetve a negatív bemenetre teljes, követő a visszacsatolás. Ezek és a közbülső esetek között a komplementer transzformáció [1] összefüggései látszanak alkalmasnak a kölcsönös megfeleltetést megteremteni.

A műveleti erősítő két bemenete különbségképzést tesz lehetővé. Ezt blokkábrázolás segítségével figyelembe véve hasznosíthatjuk a szintézis számára. A bemenetet vezérlő és a kimenetről visszacsatolt jel szempontjából is következetesen érvényesíthetjük a felbontást [2]. A [3] publikáció speciális esetekre és csak a visszacsatolt jel szempontjából érinti a kérdést.

A címben szereplő szintézis nem közvetlen eljárás-
ra akar utalni, végeredményben az analízis eredményeinek hasznosíthatóságát jelenti.



1. ábra. Előreccsatolás és visszacsatolás modellezése

Egy műveleti erősítő szűrők vizsgálatára alkalmas blokkelrendezést mutat az 1. ábra. Ha a közös módusú erősítés nem hanyagolható el, akkor [1], [3], [4] modelljei rosszak, így megállapításai sem érvényesek. A továbbiakban a közös módusú erősítést mi sem vesszük figyelembe.

Az ábra alapján

$$\Delta u = \frac{U_{ki}}{A} = b u_{be} - \beta u_{ki}$$

írható, ahol

$$b = b^+ - b^- = \left. \frac{\Delta u}{u_{be}} \right|_{u_{ki}=0} \quad \text{és} \quad \beta = \beta^- - \beta^+ = - \left. \frac{\Delta u}{u_{ki}} \right|_{u_{be}=0}$$

A továbbiakban b -t előreccsatolási, β -t visszacsatolási tényezőnek nevezzük. Rendezés után:

$$A_v = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{b}{\beta} \frac{A\beta}{1+A\beta} = \frac{b}{\beta} \frac{H}{1+H} = \frac{b}{\beta} h.$$

Itt A_v a szűrő átvitele, $H = A\beta$ a hurokerősítés és h a hibatényező. $|H| \gg 1$ feltétellel:

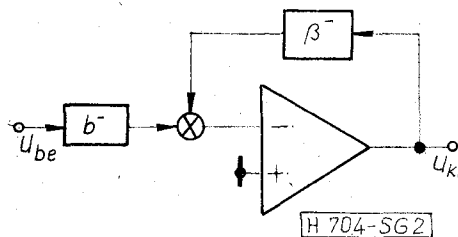
$$A_v \approx \frac{b}{\beta}.$$

Egy műveleti erősítő másodfokú alaptagok

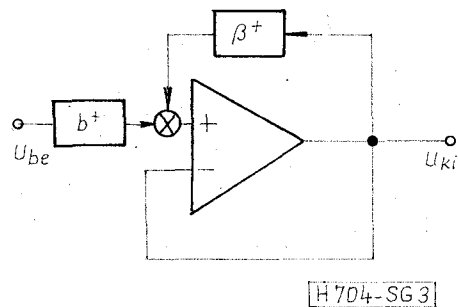
A két leggyakrabban használt alaprendezés blokkvázlatát a 2. és 3. ábra mutatja. A 2. ábrára $b = -b^-$ és $\beta = \beta^-$, míg a 3. ábra szerinti elrendezésre $b = b^+$ és $\beta = 1 - \beta^+$. Az elemszám minimalítása érdekében a passzív hálózat általában hatpólus, így minden elem mindkét definiált transzfer függvényben jelentős szerepet játszik. Másodfokú alaptaghoz legalább két tároló elem szükséges.

Ha biztosítható lenne, hogy a 2. ábra szerinti b^- és a 3. ábra b^+ jellemzője, valamint a 2. ábra β^- és a 3. ábra $1 - \beta^+$ kifejezése megegyezzen, akkor a szűrők 180° -os fáziseltéréstől eltekintve minden szempontból azonos viselkedésűek lennének. Ezen elemértékek, érzékenységek és más paraméterek szempontjából egyenértékű komplementer kapcsolások generálása elvileg [1] alapján lehetséges kellene legyen.

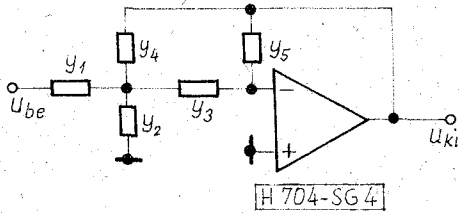
A másodfokú alaptagok 2. ábra szerinti kialakítá-



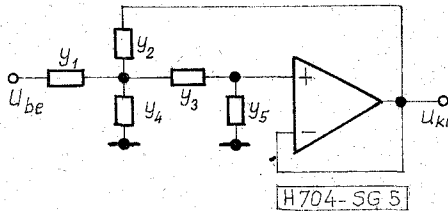
2. ábra. Végtelen erősítésű elrendezés



3. ábra. Vezérelt generátoros, követős elrendezés



4. ábra. Végtelen erősítésű, kéthurkú kapcsolás



5. ábra. Vezérelt generátoros, követős kapcsolás

sát végtelen erősítésű kéthurkú elrendezéssel megvalósíthatjuk (4. ábra). Ennek jellemzői:

$$b = -b^- = \frac{-Y_1 Y_3}{(Y_3 + Y_5)(Y_1 + Y_2 + Y_4) + Y_3 Y_5}$$

és

$$\beta = \beta^- = \frac{Y_5(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) + Y_3 Y_4}{(Y_3 + Y_5)(Y_1 + Y_2 + Y_4) + Y_3 Y_5}$$

A 3. ábra szerinti kialakítást például vezérelt generátoros szűrővel, esetünkben követő segítségével biztosíthatjuk (5. ábra). A megfelelő jellemzők:

$$b = b^+ = \frac{Y_1 Y_3}{(Y_3 + Y_5)(Y_1 + Y_2 + Y_4) + Y_3 Y_5}$$

és

$$\beta = 1 - \beta^+ = \frac{Y_5(Y_1 + Y_2 + Y_5 + Y_4) + Y_3 Y_4 + Y_1 Y_3}{(Y_3 + Y_5)(Y_1 + Y_2 + Y_4) + Y_3 Y_5}$$

Megjegyzendő, hogy a 4. ábra szerinti sáváteresztőnél és az 5. ábra szerinti aluláteresztőnél vagy felüláteresztőnél egy elem elmaradhat (Y_2 , illetve Y_4).

A két elrendezés β kifejezéseinek számlálója egy $Y_1 Y_3$ tagban különbözik, így azonos elemekből álló, sőt különböző elemekből kialakított komplementer kapcsolások sem létezhetnek, melyek b és β jellemzői azonosak lennének.

Vizsgáljuk meg a kérdést egy kicsit általánosabban, a választott két speciális elrendezéstől függetlenül. A komplementer transzformáció elve alapján a β függvény nem változik, ha az addig földelt végű és a kimenetre csatlakozó elemek ezen végpontjait fordítva csatlakoztatjuk, a pozitív és negatív bemenetet felcseréljük, és földelt pozitív bemenet helyett követő visszacsatolást valósítunk meg a negatív bemeneten vagy viszont (a következő fejezet eredményei alapján ez a szabály a Q sokszorozott esetre is kiegészíthető). A változatlan jellegű b függvény miatt a jel betáplálása változatlan kellene legyen. Mivel azonban a β függvény szempontjából a bemeneti pont földpontnak számít, a b és β követelmények elentmondáshoz vezetnek.

Az elmondottakból következik a hasonló transzfer függvényű komplementer áramkörök megvalósítha-

tóságának szükséges és elégséges feltételét megadó tétel: az eredeti áramkör topológiai elrendezése olyan kell legyen, hogy a bemenet és a földpont azonos jellegű impedancián keresztül csatlakozzon egy közös csomóponthoz, és/vagy hasonló feltétel álljon fenn a bemeneti és kimeneti pontokra csatlakozó elemek vonatkozásában. Az azonos b/β hányadoshoz tartozó elemértékek és az egyes b és β függvények azonban ilyenkor sem lesznek azonosak.

A 6. ábra szokásos végtelen erősítésű kéthurkú sáváteresztőt mutat. A fenti tétel alapján kialakított topológiájú, általánosan nem ismert komplementer jellegű megoldást a 7. ábrán láthatunk. Tulajdonságaik láthatóan erősen különböznek.

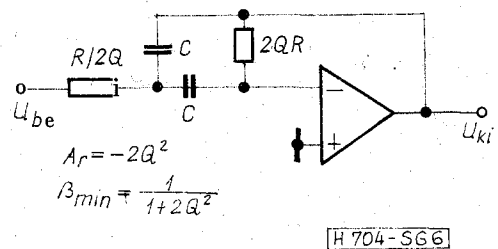
Az egyszerűség érdekében bevezetve a $P = pRC$ normalizálást, ahol R és C elemegységek, a másodfokú alaptagok transzfer részfüggvényei az alábbi alakúak (célszerű törekvés, hogy a nevező konstans tagja és négyzetes tagjának együtthatója egységnyi legyen, ezt most teljesítettnek tételezzük fel):

$$b = \frac{\mp S(P)}{P^2 + \frac{1}{q} P + 1}$$

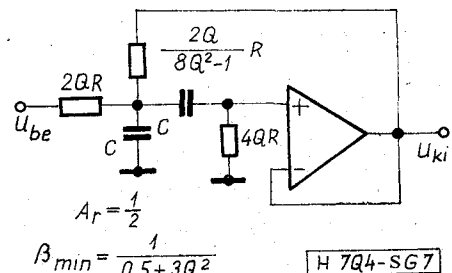
és

$$\beta = \frac{P^2 + \frac{1}{Q} P + 1}{P^2 + \frac{1}{q} P + i}$$

A 4. és 5. ábra elrendezéseivel, ahol az egyes Y elemek csak valósak vagy tisztán kapacitívek lehetnek, $S(P)$ csak konstans, tisztán lineáris vagy tisztán másodfokú tag lehet, így aluláteresztő, sáváteresztő vagy felüláteresztő alakítható ki. Biztosan igaz a $q < Q$ és $q < 0,5$ reláció. A gyakorlatban q nagyságrendileg $1/(2Q)$ értékű.



6. ábra. Kéthurkú visszacsatolású példakapcsolás



7. ábra. A 6. ábrával komplementer jellegű kapcsolás

Járulékos frekvenciafüggetlen előrcsatolás és visszacsatolás

A 8. ábrán a 4. ábra szerinti elrendezést három valós elemmel egészítettük ki. Hatásukra b és β értéke megváltozik. A változások:

$$\Delta b = \Delta b^+ = \frac{G_6}{G_6 + G_7 + G_8}$$

és

$$\Delta \beta = -\Delta \beta^+ = \frac{-G_7}{G_6 + G_7 + G_8}$$

vagyis

$$b = \frac{-S(P) + \Delta b^+ \left(P^2 + \frac{1}{q} P + i \right)}{P^2 + \frac{1}{q} P + i}$$

és

$$\beta = \frac{P^2 + \frac{1}{q} P + i}{P^2 + \frac{1}{q} P + i} (1 - \Delta \beta^+)$$

Hasonlóképpen a 9. és 5. ábra összevetésével:

$$\Delta b = -\Delta b^- = \frac{-G_7}{G_6 + G_7 + G_8}$$

és

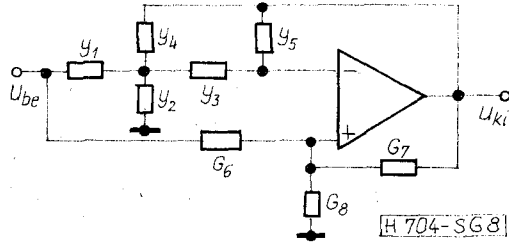
$$\Delta \beta = \Delta \beta^- = -1 + \frac{G_6}{G_6 + G_7 + G_8} = \frac{-(G_7 + G_8)}{G_6 + G_7 + G_8}$$

Így b és β változása az előzőhöz hasonlóan felírható, s a megváltozott értékek alakja hasonló lesz.

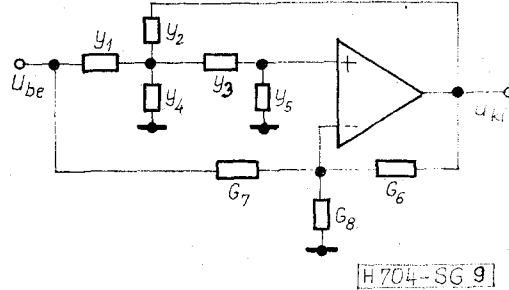
Járulékos előrcsatolással tehát a számláló kifejezése módosítható, járulékos visszacsatolás pedig jósággi tényezőnövekedést eredményez. A különbségképzés miatt a relatív érzékenységek rosszak, nagyok lesznek. Minél nagyobb mérvű viszont a Q sokszorozás, annál kedvezőbben alakul [5] eredményeihez képest a minimális hurokerősítés értéke.

Az elmondottak néhány lényeges következménye:

1. Frekvenciafüggetlen járulékos előrcsatolással a számláló módosítható. A matematikai lehetőségek az érzékenységproblémák miatt nem jelennek mindig használható megvalósítást.
2. Járulékos visszacsatolással Q sokszorozás valószínűsíthető meg. Azonos eredeti β függvényeket feltételezve, a 8. és 9. ábrán G_6 -ot és G_7 -et azonosra, G_8 -at nullára választva, a megváltozott β függvények is azonosak lesznek (Rauch-, illetve Deliyannis-struktúra).
3. Lényeges [4] Volterra-soros torzításanalízisének helyes analitikus eredményei alapján levont helytelen következtetésének módosítása. Ha ugyanis a „pozitív visszacsatolt” és „negatív visszacsatolt” esetben az aktív blokk, b és β értéke ugyanaz, akkor a szűrők nemlineáris jellemzői sem térhetnek el egymástól.



8. ábra. Járulékos csatolások végtelen erősítésű szűrőnél



9. ábra. Járulékos csatolások vezérelt generátoros szűrőnél

Alkalmazás elliptikus alaptagokra

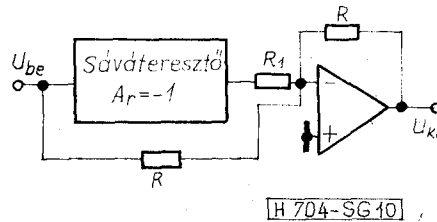
Lényegében a kifejtett gondolatmenet húzható rá utólag a [6]-ban leírt, szabadalmaztatott egy műveleti erősítő elliptikus alaptagok kialakítására; ezen túlmenően ott még az eredeti szűrőstruktúra b -t befolyásoló és β invariáns módosítására is szükség volt.

Saját eredményként a kifejtett szintézisszemlélet heurisztikus erejének alátámasztására olyan két műveleti erősítő alaptagokat mutatunk be, melynek zérusfrekvenciája a többi végparamétertől függetlenül egy elemmel hangolható.

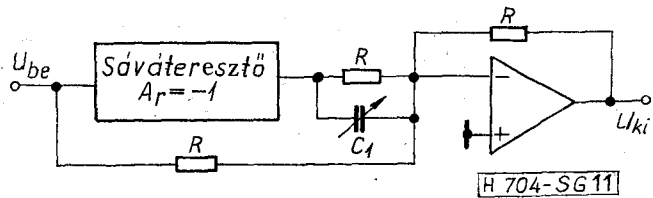
Az irodalomból ismert a 10. ábra szerinti elrendezés. $R_1 = R$ választással sávzárórt, $R_1 = R/2$ mellett mindentáteresztőt kapunk.

A 11. ábra újszerű elrendezésére:

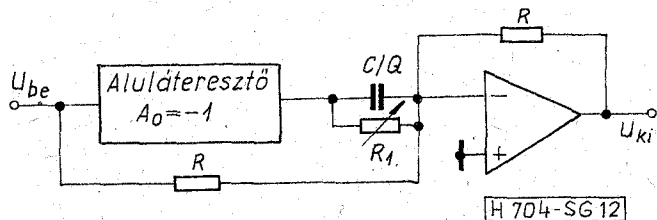
$$\frac{U_{ki}(P)}{U_{be}(P)} = \frac{P^2 \left(1 - \frac{1}{Q} \frac{C_1}{C} \right) + i}{P^2 + \frac{1}{Q} P + 1}$$



10. ábra. Előrcsatolás összegzővel



11. ábra. Új aluláteresztő elliptikus alaptag kapcsolás



12. ábra. Új feluláteresztő elliptikus alaptag kapcsolás

Így az aluláteresztő elliptikus alaptag zérusa C_1 elemmel hangolható.

Hasonlóképpen a 12. ábra áramköri elrendezésére:

$$\frac{U_{ki}(P)}{U_{be}(P)} = \frac{P^2 \frac{R_1}{R_1 - R} + 1}{P^2 + \frac{1}{Q} P + 1}$$

Ekkor a feluláteresztő elliptikus alaptag zérusa az R_1 elemmel hangolható.

IRODALOM

- [1] *Fiiege*: Complementary transformation of feedback systems. IEEE Tr. on CT. 1973. márc. 137. o.
- [2] *Simon Gyula*: Aktív szűrők. Egyetemi jegyzet. 1978.
- [3] *Sedra—Brown*: A refined classification of single amplifier filters. 1978 IEEE Int. symposium on circuits and systems proceedings. 850. o.
- [4] *Roszkiewicz—Borys*: Intermodulation properties of active RC filters. SSCT 77. 272. o.
- [5] *Simon Gyula*: Egy műveleti erősítő aktív szűrőtagok kompenzálása. Híradástechnika XXV/8. 234. o.
- [6] *Scultéty László*: Aktív szűrők optimalizálási kérdései. Kandidátusi értekezés. 1974.