

LC szűrők korszerű tervezési módszerei

SZENTE LÁSZLÓ—RADVÁNY JENŐ

Telefongyár



ÖSSZEFOGLALÁS

Szűrőáramkörök tervezésére a gyakorlatban elterjedt módszerek alapvetően egyetlen, a specifikációt kielégítő áramkör tervezésére alkalmasak. Az átviteltechnikai gyakorlatban azonban sorozatban gyártott szűrők tervezése a cél. Szükséges volt tehát olyan tervezési módszer kidolgozása, mely a specifikációt kielégítő valamennyi áramkör tervezésére alkalmas és már a tervezés során figyelembe veszi a gyártási körülményeket, valamint a környezeti hatásokból származó bizonytalansági tényezőt. Egy ilyen módszert ismertet a cikk. (↔)

LC szűrők tervezésére az irodalomban és a gyakorlatban többféle módszert alkalmaznak. Ezek a módszerek alkalmasak arra, hogy egyetlen, az előírásokat kielégítő, LC elemekkel megvalósítható hálózatot hozzanak létre a segítségükkel. A különféle módszerekkel létrehozott hálózatok a tervezési előírásokat teljesítik, bár elemértékkészletük és topológiájuk nagymértékben különbözhet. Azt mondhatjuk tehát, hogy a különféle módon tervezett különféle áramkörök a specifikáció szempontjából ekvivalensek. Nem célunk itt a számítási módszerek ismertetése és kritikája. Csak utalunk dr. Herendi Miklós: LC szűrők tervezése c. munkájára, mely véleményünk szerint teljes áttekintést nyújt a tárgyban. A telefongyári gyakorlatban mi az ún. üzemi paraméteres tervezési módszert alkalmazzuk. (E módszer hazai alkalmazását Darington 1938-ban megjelent értekezése alapján Radvány Jenő dolgozta ki.)

Eddigi tapasztalataink szerint az átviteltechnikai igények által követelt szűrők számítására a módszer teljes mértékben alkalmas. Az irodalomból ismert összes módszerrel együtt ennek is vannak korlátai. Az alapvető problémát az okozza, hogy *csak egyetlen áramkör tervezéséi* valósíthatjuk meg, igaz, hogy hétjegynyi pontosságra.

A gyakorlatban azonban az adott specifikációt kielégítő, *valamennyi áramkör* tervezése a feladat. Nyilvánvaló, hogy ennek a feladatnak a megoldása eredményül névleges elemértékeket, és azok szórási (tolerancia) intervallumát adja.

Az eddigiekben E192 sor szerinti 1%-os elemeket alkalmazzunk, és ezzel elértük azt, hogy a tolerancia-kiosztás következtében behangolhatatlan áramkörök aránya egy nagyságrenddel a meghibásodásból származó selejtarány alatt maradt. Természetesen ez az eredmény csak a tervező oldaláról nézve kielégítő. A berendezés szempontjából a selejtarány és a ráfordítandó élelen munka megnövekedése az ár megnövekedését jelenti. 4–5% selejtráta, pl. az induktív alkatrészek gyártása során csak abból származhat,

SZENTE LÁSZLÓ

A Budapesti Műszaki Egyetemet 1969-ben végzte — esti tagozaton. 1958-tól 1972-ig az Orion gyárban dolgozik, majd 1972–1973-ban az MTA—KUTESZ mér-

nöke. A Telefongyárba 1973-ban lépett be, és az Átviteltechnikai Fejlesztési Főosztályon dolgozik fejlesztő mérnökként. Témája a szűrőfejlesztés. 1983-tól megbízott csoportvezető.

hogy túlzottan szigorú követelményeket írunk elő a tekercsgyártás számára. Ezeket a követelményeket az esetleg nem is képes teljesíteni.

Fentiek alapján világos a következő:

Szükséges olyan módszer, mely az eddigi egyetlen áramkör tervezése helyett a specifikációt kielégítő *valamennyi* áramkör tervezésére alkalmas. Vegye figyelembe a módszer behangolhatósági lehetőségét is. Hogy a különféle topológiákból származó problémákat megkerüljük, a lehetséges áramköri struktúrák tekintetében szelekciót alkalmaztunk. Ez azt jelenti, hogy: a Telefongyárban csak tekercs-takarékkapcsolású létrastruktúrájú áramköröket alkalmazunk. A létraágakban max. 3 elem megengedett, a tekercsek lehetőség szerint nem megcsapoltak, és minden tekercssel párhuzamosan *van* elegendően nagy értékű kondenzátor, hogy az önkapacitás kompenzálása lehetséges legyen. A tekercsek hangolhatóak, és a működési tartományban elérhető maximális jósági tényezőt teljesítik.

Az új tervezési módszerhez feltétlenül szükséges volt az előírható specifikációk felülvizsgálata is. Mivel az LC elemek értéke hőmérsékletfüggő, továbbá az időben változik, kell, hogy legyen egy elvi határ, melynél szigorúbb követelmény fizikailag nem realizálható LC szűrővel. Mi ezt a következőképpen kötöttük ki: átérésztő tartományban a megengedhető csillapítás-ingadozás $\pm 0,05$ dB, az előírható reflexiócsillapítás max. 30 dB. Az átmeneti tartomány meredeksége legyen kisebb, mint 10 dB/frek.% sávközpontra vonatkoztatva, itt az előírható tolerancia ± 3 dB. A zárótartomány tetszőleges, de 100 dB feletti csillapításelőírás kivitelezési és mérés-technikai okokból értelmetlen.

Fentiektől szigorúbb specifikáció teljesítésére a Telefongyár nem LC szűrőt alkalmaz.

Az új — korszerű — méretezési eljárás lényege ezek után a következő: Legyen adva egyetlen, pl. üzemi paraméteres úton megtervezett és a specifikációt kielégítő hálózat, topológiájával és kapcsolási elemeivel. Oldjuk meg a következő feladatot:

Beérkezett: 1983. X. 21.



A Budapesti Műszaki Egyetemen 1950-ben végezte el. 1950 és 1965 között a Beloiannisz Híradástechnikai Gyár fejlesztő mérnöke. 1965-től a Telefongyár Átviteltechnikai Fejlesztési Főosztály fejlesztő mérnöke, tanácsadó-osztályvezető beosztásban. Speciális témája a szűrőtervezés, a Virág-Pollák-díj kiüntetettje.

1. Határozzuk meg a kondenzátorok max. toleranciamézejét, úgy, hogy a tekercsek valamilyen hangolásával az áramkörök A%-a teljesítse a specifikációt.
2. Vizsgáljuk meg, hogy adott struktúra megtartásával létezik-e olyan névleges értékkiosztás, melyre a megengedhető tolerancia maximális.
3. Adjuk meg azt a beállítandó karakterisztikát, melyhez a hőmérséklet hatására bekövetkező változások következtében a minimális selejtarány tartozik.
4. Határozzuk meg a specifikációnak azt a pontját, mely döntően befolyásolja a kihozatali.

A feladat megoldásához tételezzük fel, hogy ismerjük a specifikációt kielégítő elemértékek halmazát, vagyis ismerjük M megengedett tartományát (1. ábra).

Az ábra két dimenzióban (x_1, x_2) ábrázolja, ez a viszonyok szemléltetéséhez elegendő. Fedjük le ezek után a tartományt valamilyen analitikus A_1, A_2 formaidommal (négyzet, téglalap, ellipszis, kör stb.) akkor A_1 és A_2 formaidom geometriai középpontja lesz az optimális toleranciakiosztáshoz tartozó x_{11}, x_{21} új névleges érték és az idom x_1 , ill. x_2 irányú méretei jelentik a kiosztható toleranciákat (Δx_{11} és Δx_{21}). Ha feltételezzük, hogy pl. x_1 hangolható, x_2 értékeire a kiosztható toleranciák tartománya Δx_{2h} lesz, és nyilván ennek a középpontja a névleges érték.

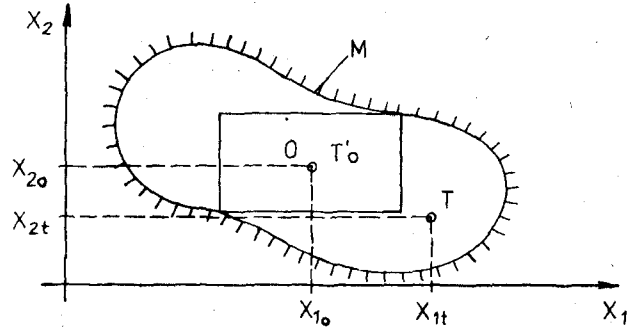
Belátható tehát, hogy bár a kiinduló tervezés során kapott x_{11} és x_{21} érték biztosan eleme M -nek, semmi sem biztosítja, hogy A -nak is eleme legyen. Igaz továbbá az, hogy 1-ben és 2-ben megfogalmazott feladat megoldásához M meghatározása szükséges. Két-három dimenziós esetben M -et határoló felületek felírása analitikusan esetleg lehetséges. A gyakorlati áramkörök elemszáma azonban néhányszor 10 db, továbbá különféle frekvenciákon különféle követelmények adódnak. A megengedett tartomány felírása helyett a megengedett tartomány becslése lehet a cél; ezt a célt a valószínűségi számítás módszereivel érhetjük el.

Legyen pl. (2. ábra) a kiindulási tervezés eredménye $T(x_{11}, x_{21})$ pont. Sorsoljunk elemértékeket T kör-

nyezetében és állapítsuk meg a találati valószínűséget. Ha ez pl. 100%, akkor növeljük a sorsolási intervallumot, addig, míg a találati valószínűség pl. 50% lesz. Határozzuk meg a közelítő testet stb. az 1. ábránál mondottak szerint. Kapjuk T' pontot.

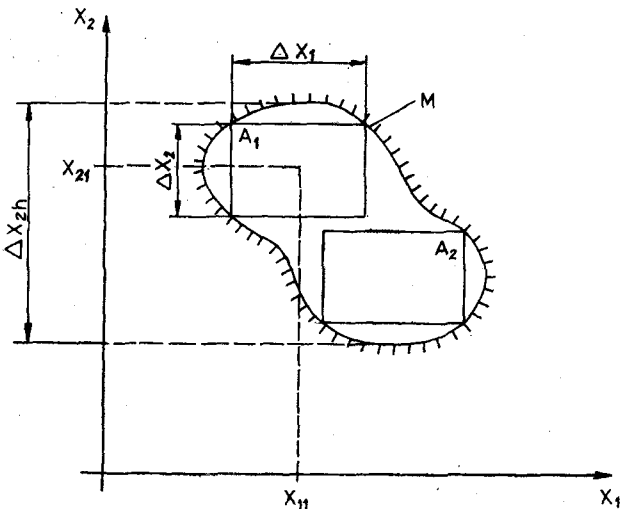
Az eljárást ismétéljük mindaddig míg 0 kis környezetre jutunk. Ezáltal 1. és 2. szerinti feladatot megoldottuk. A 3. szerinti feladat megoldására tekintünk a 3. ábrát.

A sorsolások során adódó x_{1i}, x_{2i} eleme ugyan a megengedett tartománynak, de a hozzá tartozó $x_{1i} + \Delta x_1; x_{2i} + \Delta x_2$ hőmérséklet hatásra megváltozott elemérték nem. Két lehetőség adódik: vagy A tartomány méreteit csökkentjük A' -re, vagy megtartjuk



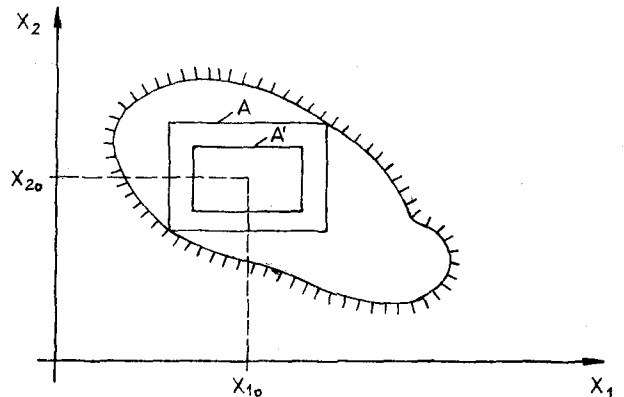
H909-2

2. ábra



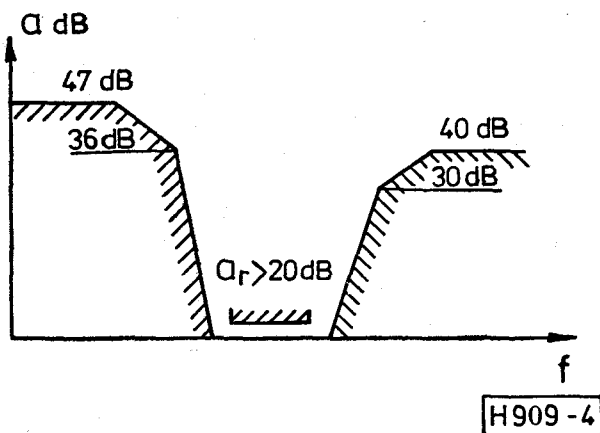
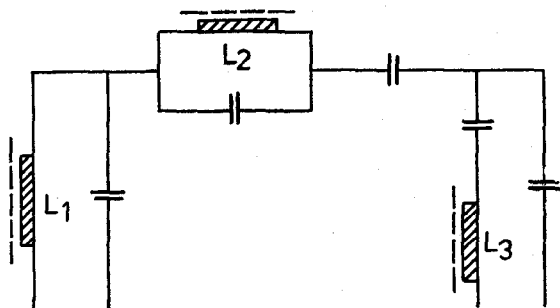
H 909-1

1. ábra



H909-3

3. ábra



4. ábra

ugyan A -t, de a beállítandó karakterisztikát szigorítjuk úgy, hogy ha x_{11} és x_{21} eleme A -nak Δx_1 és Δx_2 -vel megváltozott értékük más hangolható elemértékkel legyen ugyanennek eleme. Ezáltal más (szigorúbb) beállítási előírás adódik.

A 3. szerinti feladat megoldására más lehetőség is van. Végezzük el a tolerancia-közponosított (x_{10} és x_{20} elemértékű) áramkör behangolását, Δx_i elem-szórás feltételezésével. Minden behangolt példány elemértékeit változtassuk meg véletlenszerűen Δx_{ih} hőmérsékletváltozást reprezentáló mennyiséggel. Válasszuk ki most azokat a példányokat, melyek a specifikációt teljesítik. Határozzuk meg ezek kiinduló karakterisztika-seregének a burkolóját: ez lesz a max. kihozatalhoz tartozó gyártási előírás.

Ez a módszer egyben lehetőséget nyújt a 4.-ben felvetett probléma megoldására is.

Az általunk használt nagyszámítógépes programokat (RMC és INTOPT néven) a BME-HEI szakértői dolgozták ki dr. Géher Károly irányításával. A módszert tolerancia-közponosításnak nevezzük (centering design). A két program a sorsolás módjában, és a hangolhatóság, valamint a hőmérsékletváltozás figyelembevételének matematikai modelljében különbözik egymástól. Eddigi tapasztalat szerint a két

program egyenértékű, bár más elemkiosztású hálózatokat ad eredményül.

A továbbiakban az új tervezési módszer egy konkrét eredményét ismertetjük.

A 4. ábrán látható szűrő üzemi paraméteres módon tervezve 1% kondenzátorokkal és valamennyi tekercset Wobbler-technikával állítva a szimulációs program 1500 ETU (gépítő) futtatását igényelte, hőfoktartományban 30% selejttel.

Tolerancia-közponosítva E48 sor szerinti 2%-os elemekkel, L2-t és L3-ot csak rezonanciára állítva és L1-et Wobblerrel a felhasznált gépítő 180 ETU, a selejtarány 0% lett.

Összefoglalva: A korszerű szűrőtervezés alapelve a technológiai lehetőségek figyelembevétele kell, hogy legyen. Ez egyrészt a tervezés módszereinek a felülvizsgálását igényelte, másrészt az LC szűrők alkalmazhatóságának korlátait kellett felmérni.

Arra az eredményre jutottunk, hogy a probléma megoldása megnyugtató módon csak számítógépes módszerek alkalmazásával lehetséges. Azt is elmondhatjuk, hogy a korszerű módszerek követelően előírják az ad hoc struktúrameghatározás bizonyos szabványosítását.