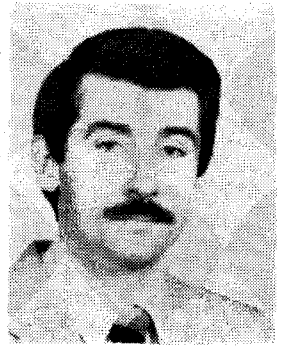


Specifikáció-érzékenység és gyártási specifikáció

DR. GEFFERTH LÁSZLÓ
Budapesti Műszaki Egyetem
Híradástechnikai Elektronika Intézet



DR. GEFFERTH
LÁSZLÓ

A specifikáció-érzékenység a kihozatalnak a specifikáció szerinti érzékenysége, segítségével a kihozatali megváltozása különböző specifikációbeli változtatások hatására anélkül számítható ki, hogy újabb és újabb statisztikus analízist kellene végezni. A környezeti hatásoknak kitett áramkörök jellemzői megváltoznak, ezért az eredetinel szűkebb, úgynevezett gyártási specifikációt kell előírni, hogy a bekövetkező változásoknak tartalmát képezzük. E gyártási specifikációt szintén a specifikáció-érzékenység segítségével határozzuk meg algoritmikus módon az eddigi heurisztikus megérzések helyett.

Elektronikus áramkörök gyártását gazdaságosabbá tevő egyik lehetőség a tolerancia-központosítás [1–3], amelyet alkalmazva úgy változtatjuk meg az áramköri elemek névleges értékét és toleranciáját, hogy a kihozatal a lehető legnagyobb, a költség a lehető legkisebb legyen. A tolerancia-központosítással tehát az áramkörtervező mindent megtett azért, hogy a leg gazdaságosabb áramkört állítsa elő az adott fix, változtathatatlan specifikációhoz.

A rendszertervező oldaláról azonban más a helyzet, a specifikáció változtatható. Egy rendszer különböző áramkörökből áll, amelyek specifikációit sokféleképpen írhatjuk elő oly módon, hogy az egész rendszerre nézve a specifikáció ugyanaz maradjon. Éppen ezért hasznos lehet a rendszertervező számára olyan információ, hogy melyek azok a kritikus frekvenciák, amelyeken a specifikációt nehéz tartani. Ezek azok a frekvenciák, amelyek a kihozatalt erősen befolyásolják. Amennyiben a rendszertervező számszerű információt is kap arról, hogy a specifikáció megváltoztatása milyen mértékben hat a kihozatalra, eldöntheti, hogy szükséges-e, ill. lehetséges-e a specifikációt megváltoztatni.

A következőkben először a kihozatalnak a specifikáció megváltozása szerinti érzékenységét (röviden specifikáció-érzékenységet) definiáljuk, s megadjuk a kiszámítási módot differenciális és nagy változású esetben [4–6].

A specifikáció-érzékenység fontos alkalmazása az úgynevezett gyártási specifikáció meghatározása. A környezeti hatásnak, hőmérséklet-, nedvességváltozásnak, ill. öregedésnek kitett áramkörök paramétereinek értéke megváltozik a gyártáskori értékhez képest. Emiatt azonban az áramkör jellemzői is megváltoznak. Ebből következik, hogy gyártáskor szigorúbb specifikációt, az ún. gyártási specifikációt kell teljesíteni az áramkörnek, mint az eredetit, hogy tartalmát képezzük a fent említett változások számára.

Az eddigi heurisztikus módszerek helyett a specifikáció-érzékenység segítségével a gyártási specifikáció

1968-ban szerezte meg villamosmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki Egyetemen, majd ugyanitt lett dr. techn. 1977-ben. 1969 óta a Budapesti Műszaki Egyetemen dolgozik, a Híradástechnikai Elektronika Intézet adjunktusa. Kutatási szakterülete a számítógépes tervezés, ezen belül az elektronikus áramkörök

gyártási selejt csökkentésének algoritmikus módszereivel foglalkozik: hibalokalizálással és tolerancia-központosítással. 1979–80 telét Londonban az Imperial Collegeban töltötte, ahol tolerancia-központosítással foglalkozott. 1977-ben a hibalokalizálásról, 1982-ben a tolerancia-központosításról írt cikkéért Pollák–Virág díjat kapott.

szisztematikusan, algoritmikus módon számolható ki, s ezáltal a gyártás gazdaságosabbá tehető, mert csökken a specifikációt környezeti hatásra nem teljesítő áramkörök aránya.

1. A specifikáció érzékenysége

Bármely elsőrendű érzékenységet definiálhatunk a következő módon (abszolút érzékenység):

$$S_i = \frac{\partial Y}{\partial p_i}, \quad (1)$$

ahol $Y = f(p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_N)$ és p_i a független változó. A definíció csak azt kívánja meg, hogy az Y függvény deriválható legyen p_i szerint. Esetünkben Y a kihozatal, a független változó pedig a specifikáció. Könnyen belátható, hogy a kihozatal a különböző frekvenciákon a specifikációknak folytonosan deriválható függvénye. Így a definíció alkalmazható.

Ugyancsak definiálható a gyakorlat számára fontosabb eset, amikor is a specifikációt véges nagy Δp_i -vel változtatjuk meg:

$$S_i^{\Delta} = \frac{\Delta Y}{\Delta p_i}, \quad (2)$$

ahol ΔY a kihozatalnak a tényleges megváltozása akkor, ha a specifikációt Δp_i -vel változtattuk meg. S_i^{Δ} -t nagyváltozású érzékenységnak nevezhetjük.

Az $Y = f(p_1, \dots, p_N)$ összefüggés megadása explicit formában szinte lehetetlen, nehézségi fokában összevethető az $Y = f(e_1, \dots, e_M)$ összefüggés felírásával. Ez utóbbi a kihozatalt mint az áramköri elemek és toleranciák függvényét adja meg. E függvény a tolerancia-központosítás célfüggvénye. A tolerancia-

közponosításnál sem törekedtünk arra, hogy a kihozatalt explicit formában felírjuk, hanem közelítő módszereket alkalmaztunk: statisztikus és determinisztikus eljárásokat. Mivel a statisztikus módszerek a tolerancia-közponosításban beváltak, itt is ezeket fogjuk alkalmazni.

2. Differenciális specifikáció-érzékenység

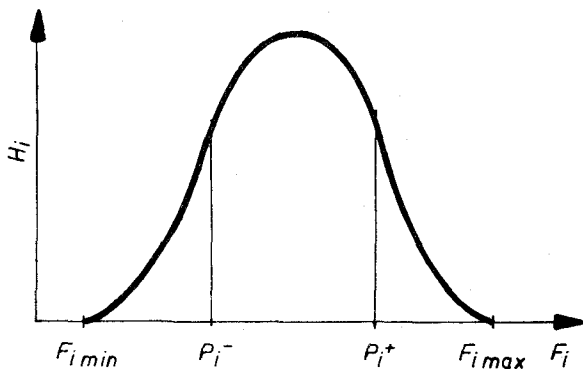
Vizsgáljuk a kihozatali az i -edik frekvencián! Legyen egy p_i^- alsó és egy p_i^+ felső specifikációs pont! Tekintsük ezen az i -edik frekvencián az F_i hálózatfüggvény H_i valószínűségi sűrűség függvényét (1. ábra). A specifikációs pontokat szintén feltüntettük. Az F_i hálózatfüggvény $F_{i,min}$ minimum és $F_{i,max}$ maximum értékei az áramköri elemek és toleranciák ismeretében határozhatók meg.

Tételezzük fel átmenetileg, hogy csak ezen az i -edik frekvencián van specifikáció és a többin nincs! Ebben az esetben a kihozatal az alábbi módon fejezhető ki:

$$Y = \frac{\int_{F_{i,min}}^{p_i^+} H_i(F_i) dF_i}{\int_{F_{i,min}}^{F_{i,max}} H_i(F_i) dF_i}, \quad (3)$$

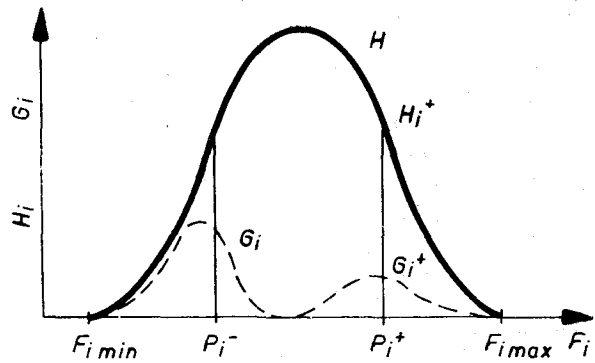
azaz a p_i^- és p_i^+ specifikáción belül levő jó áramköröket arányítjuk az összes áramkörhöz végtelen sok legyártott áramkört feltételezve. Normalizáljuk a H_i valószínűségi sűrűség függvényt az áramkörök összességéhez, azaz a nevező legyen egységnyi!

Terjesszük ki most már a specifikációt a többi frekvenciára is! Ezért be kell vezetnünk az 1. ábrába és a (3) kifejezésbe azt, hogy vajon a többi specifikációt teljesíti-e az áramkör vagy sem. E célból egy második, G_i -vel jelölt valószínűségi sűrűség függvényt vezetünk be, amely azt tartalmazza F_i bármely értékére, hogy milyen valószínűségi sűrűséggel sértik meg az áramkörök a többi, egy, kettő vagy az összes specifikációt. G_i -t szintén az áramkörök összességére normalizáljuk. G_i bevezetésével így az összes speci-



H969-1

1. ábra. Az F_i hálózatjellemező függvény H_i valószínűségi sűrűség függvénye



H969-2

2. ábra. A H_i és G_i valószínűségi sűrűség függvények

fikációt figyelembe vettük: az i -ediket H_i -vel, az összes többit összegezve G_i -vel (2. ábra).

A kihozatalt egyetlen frekvencián H_i -vel és G_i -vel kifejezve kapjuk az

$$Y = \int_{p_i^-}^{p_i^+} \{H_i(F_i) - G_i(F_i)\} dF_i \quad (4)$$

összefüggést, azaz az i -edik frekvencia specifikációit teljesítő áramkörökből le kell vonni azokat, amelyek legalább egy másik specifikációt megsértenek.

A kérdés most az, hogyan változik meg a kihozatal, ha az i -edik frekvencián megváltoztatjuk az egyik specifikációt, miközben a másik nem változik. A kihozatal egyetlen frekvencián, mint egyetlen specifikáció (vagy az alsó, vagy a felső) függvénye megkapható, ha csak az egyiket tekintjük változóknak, a másikat rögzítjük:

$$Y = f(p_i^-) |_{p_i^+ = \text{áll}}; \quad Y = f(p_i^+) |_{p_i^- = \text{áll}}. \quad (5)$$

A (4) kifejezésből a specifikáció-érzékenység az alsó specifikációra:

$$S_i^- = \frac{\partial Y}{\partial p_i^-} = H_i^- - G_i^-, \quad (6)$$

a felsőre:

$$S_i^+ = \frac{\partial Y}{\partial p_i^+} = H_i^+ - G_i^+, \quad (7)$$

ahol H_i^- a H hisztogram, míg G_i^- a G_i hisztogram értékét jelöli a p_i^- helyen stb.

3. Nagyváltozású specifikáció-érzékenység

Az előző pont eredményeivel kapcsolatban két probléma merül fel. Az egyik az, hogy a valószínűségi sűrűség függvényt nem ismerjük. A másik az, hogy a specifikációt csak véges értékekkel változtathatjuk, hiszen csak ennek van értelme. Ily módon a véges változtatás a fontosabb számunkra. Szerencsére a két probléma egyszerre oldható meg.

A valószínűségi sűrűség függvényeket hisztogrammal közelítjük. Ehhez egy Monte Carlo, statisztikus

analízisre van szükségünk, amelynek során az áramköri elemek véletlenszerűen kapnak értéket toleranciájukon belül. Minden egyes áramköri mintának meghatározzuk az F_i hálózattfüggvényét, s minden frekvencián külön-külön ellenőrizzük, hogy teljesíti-e a specifikációt. Minden frekvencián felépítjük a H_i és G_i hisztogramokat, amelyekkel a H_i és G_i valószínűsűrűség függvényeket közelítjük. A hisztogramok intervallumainak Δp_i méretét a tervező adja meg. Ez egyenlő lehet azzal az értékkel, amellyel a specifikáció változtatható (3. ábra).

Jelöljük a H_i és G_i hisztogramoknak a $[p_i^+, p_i^+ + \Delta p_i^+]$ intervallumbeli értékét $H_i^{\Delta+}$ és $G_i^{\Delta+}$ -val, amelyek tulajdonképpen:

$$H_i^{\Delta+} = \int_{p_i^+}^{p_i^+ + \Delta p_i^+} H_i(F_i) dF_i, \quad G_i^{\Delta+} = \int_{p_i^+}^{p_i^+ + \Delta p_i^+} G_i(F_i) dF_i, \quad (8)$$

azaz a következő kifejezés — eltekintve a közelítés pontatlanságától — valóban a kihozatal tényleges megváltozását adja meg akkor, ha a specifikációt Δp_i^+ -szal változtatjuk meg:

$$\Delta Y = H_i^{\Delta+} - G_i^{\Delta+}. \quad (9)$$

A közelítés pontossága a minták számának növelésével fokozható.

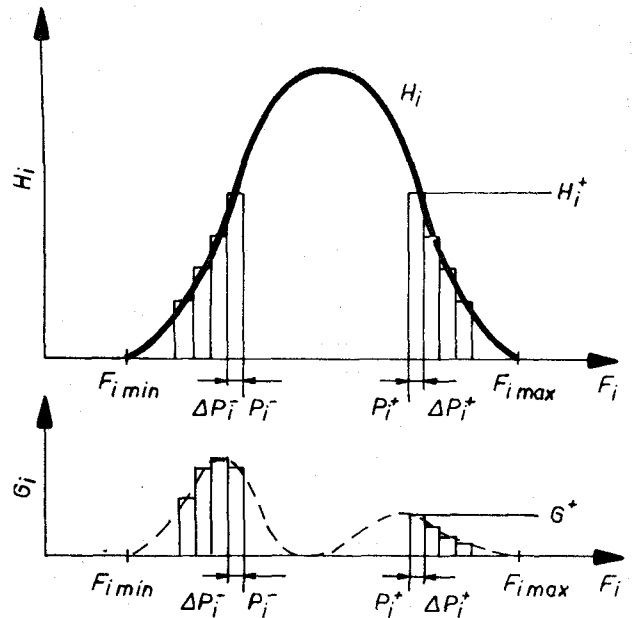
4. Illusztratív példa

Egy áramkör Monte Carlo analízise eredményeképpen 89%-ot kaptunk a kihozatal becslésére. Az áteresztő tartományban reflexiós csillapítás, míg a záróban csillapítás az előírás. Tehát csak alsó specifikáció (p_i^-) létezik, s így a kihozatal megváltozásának számításához a p_i^- előírástól balra eső intervallumok az érdekesek. Az illusztráció céljára nem a hisztogramokat, hanem az egyes intervallumokban felvett értékeket tüntettük fel az 1. táblázatban három különböző frekvencián. Az intervallumok mérete 0,5 dB, és 1-től 4-ig számoztuk őket, ahogy távolodunk a p_i^- előírástól. A kihozatal változása ily módon 0,5,

1. táblázat

A kihozatal százalékos megváltozása a specifikáció megváltoztatásának hatására

	Az intervallumok százalékos értékei (méret: 0,5 dB)				A kihozatal százalékos megváltozása az alábbi értékű specifikáció-változásra			
	I_4	I_3	I_2	I_1	-2 dB	-1,5 dB	-1 dB	-0,5 dB
					ΔY_4	ΔY_3	ΔY_2	ΔY_1
H_1	0	0	0	2	1	1	1	1
G_1	0	0	0	1				
H_2	0	0	0	1	0	0	0	0
G_2	0	0	0	1				
H_3	0	1	2	6	7	7	6	4
G_3	0	0	0	2				



H969-3

3. ábra. A H_i és G_i függvények közelítése hisztogramokkal

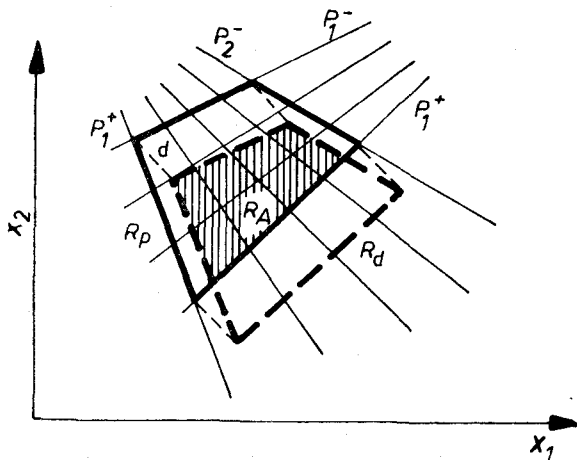
1, 1,5 és 2 dB specifikáció-változásnak felel meg. Például a 3. frekvencián 9%-a az áramköröknek sérti meg a specifikációt. E 9%-ot a H_3 hisztogram I_1 , I_2 és I_3 intervallumok értékeinek összegzésével kaptuk meg. A G_3 hisztogram I_1 intervalluma mutatja továbbá, hogy ebből a 9%-ból 2% más frekvencián sem teljesíti a specifikációt. Így tehát a kihozatal változása 4%, 6%, 7%, ha a specifikációt 0,5, 1, ill. 1,5 dB-lel enyhítjük.

5. A gyártási specifikáció

Az áramköri paraméterek értéke környezeti hatásokra megváltozik. Ilyen hatások lehetnek pl. az áramköri elemek öregedése, a hőmérséklet megváltozása stb. A paraméterváltozás nyomán az áramkör jellemzője, pl. a csillapítás, szintén megváltozik. Ebből azonban az következik, hogy egy adott specifikációra tervezett áramkör általában nem teljesíti azt környezeti hatások alatt. Ezért egy úgynevezett gyártási specifikációt kell meghatároznunk. A gyártási specifikációt úgy definiálhatjuk, hogy ha egy áramkör a gyártáskor, gyártási feltételek mellett — hőmérséklet stb. — teljesíti a gyártási specifikációt, akkor az eredeti specifikációt környezeti hatások alatt is teljesíteni fogja. A gyártási specifikációt a specifikáció érzékenységi felhasználásával határozzuk meg.

Az R_A megengedett tartomány, ha a környezeti hatásokat is figyelembe kívánjuk venni, azon pontok halmaza az n -dimenziós paraméter térben, amelyekhez tartozó áramkörök mind gyártáskor, mind környezeti hatások alatt teljesítik az eredeti specifikációt. Vizsgáljuk meg, hogyan alakul ki a megengedett tartomány!

Az áramköri paramétereknek a gyártáskori értékeit tekintjük és ábrázoljuk a továbbiakban.



H969-4

4. ábra. A megengedett tartomány kialakulása
 R_p : a környezeti hatás figyelembevétele nélkül
 R_d : a környezeti hatásra eltolódott R_p
 R_A : a megengedett tartomány a környezeti hatást is figyelembe véve

Ha eltekintենek a környezeti hatásoktól, a megengedett tartomány azon pontok halmaza lenne, amelyekhez tartozó áramkörök csakis a gyártáskor teljesítik a specifikációt. Jelöljük ezt a tartományt R_p -vel! A 4. ábrán R_p -t folytonos vonallal tüntettük fel, kétdimenziós esetre. Az R_p tartomány határait a paraméter térbe transzformált specifikáció képezi, esetünkben $p_1^-, p_1^+, p_2^-, p_2^+$. Környezeti hatásra az áramköri paraméterek értéke változik. Tegyük fel az egyszerűség kedvéért, hogy az R_p tartományban levő összes pont ugyanazzal a d drift vektorral tolódik el. Jelöljük R_d -vel azon áramköri paraméterek gyártáskori értékeinek halmazát, amelyek csak környezeti hatás után teljesítik a specifikációt. Ez van feltüntetve a 4. ábrán szaggatott vonallal. Végül az R_A megengedett tartomány az R_p és R_d tartományok közös része lesz, azaz olyan pontok halmaza, hogy a pontok által definiált áramkörök mind gyártáskor, mind környezeti hatásokra teljesítik a specifikációt, azaz:

$$R_A = R_p \cap R_d. \quad (10)$$

Az R_A megengedett tartományt a 4. ábrán a sraffozott terület adja.

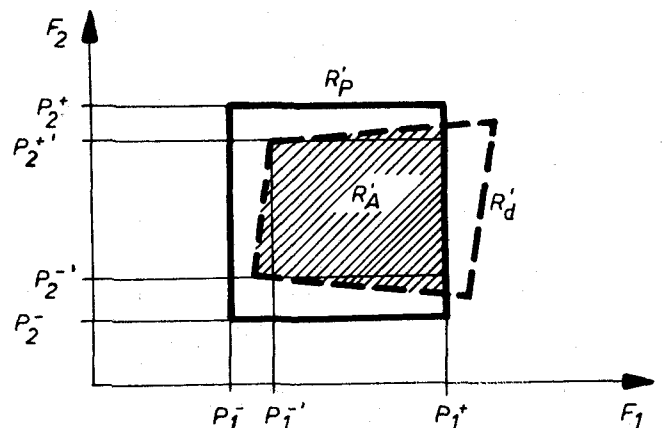
Az R_d tartomány alakja hasonló az R_p -éhez, a tartományok határai párhuzamosak. Az R_p tartományt a specifikáció határolja, azaz a határvonalak konstans hálózatfüggvény értékeknek felelnek meg. Ez azonban nem igaz R_d -re, s így R_A -ra sem, mivel a konstans hálózatfüggvényhez tartozó szintvonalak általában nem párhuzamosak a paraméter térben. Megjegyzendő, hogy a környezeti hatásra bekövetkező változás sokkal bonyolultabb. Determinisztikus változás esetén is csak a százalékos változások azonosak, azonban a változás nem determinisztikus, hanem statisztikus. A konstans d vektor feltételezésére csak az R_A megengedett tartomány kialakulásának megmagyarázását könnyítendő volt szükség. Könnyen belátható, hogy az R_A megengedett tartomány határai általában nem felelnek meg konstans hálózatfüggvény értékeknek.

A tolerancia-központosítás feladata a névleges értékek és toleranciák meghatározása, más szavakkal a tolerancia test legkedvezőbb helyének és méretének meghatározása az R_A megengedett tartományban. Ez azonban csak az egyik feladata az áramkörtervezésnek, hiszen gyártáskor ellenőrizni kell, vajon az áramkörök belül vannak-e a megengedett tartományon. Ez az ellenőrzés végezhető el a gyártási specifikáció segítségével. Környezeti hatásnak kitett hangolható áramkörök esetében pedig a gyártási specifikációt írhatjuk elő hangolási utasításként.

Tekintsük most a hálózatfüggvények terét! Az egyszerűség kedvéért kétdimenziós esetet mutat az 5. ábra. A két dimenzió két frekvenciának, vagy két azonos frekvenciájú, de különböző függvénynek (pl. csillapítás és futási idő) felelhet meg. A $p_1^-, p_1^+, p_2^-, p_2^+$ előírásokkal határolt R_p területet a tolerancia-központosításnál használatos „tolerancia test” mintájára „specifikáció test”-nek nevezhetjük. E test határai értelemszerűen párhuzamosak a tengelyekkel. Az ábrán feltüntetett R_d és R_A tartományok R_d és R_A transzformáltjai. R_d és így R_A határai nem párhuzamosak a tengelyekkel. Feladatunk most a gyártási specifikáció meghatározása, azaz a „gyártási specifikáció test” legjobb helyének és méretének meghatározása az R_A megengedett tartományban. Ennek a testnek a lehető legnagyobbak kell lennie abból a célból, hogy elkerüljük a túl szigorú előírásokat. Az 5. ábrán a sraffozott terület mutatja az R_A tartományt, a „gyártási specifikáció test” méreteit pedig $p_1^-, p_1^+, p_2^-, p_2^+$.

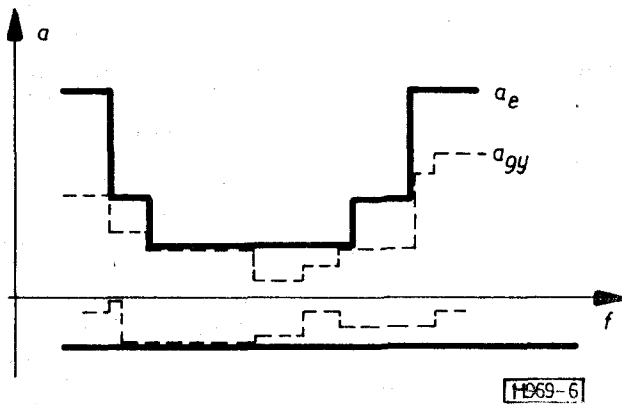
Figyeljünk fel arra, hogy a gyártási specifikációnak, mint „gyártási specifikáció test”-nek a meghatározása, nagyon hasonló a tolerancia test meghatározására a tolerancia-központosításban. Ily módon a tolerancia-központosításban alkalmazott módszerek (ha nem is mindegyik) bizonyos értelemszerű átalakítások után itt is alkalmazhatók. A módszerek közül a gradiens típusú statisztikus optimalizálást választottuk. A gradienst a specifikáció-érzékenységből számítjuk ki.

Tekintettel arra, hogy feladatunk a specifikáció



H969-5

5. ábra. A gyártási specifikáció meghatározása
 R_p : eredeti specifikáció
 R_d : R_p transzformáltja
 R_A : R_A transzformáltja
 $p_1^-, p_1^+, p_2^-, p_2^+$: a gyártási specifikáció



6. ábra. A mintaáramkör gyártási specifikációja
 a_e : eredeti specifikáció, amelyet mind gyártáskor,
 mind környezeti hatás után teljesíteni kell
 a_{gy} : gyártási specifikáció

szűkítése, az algoritmust azokból a mintákból indítjuk, amelyek teljesítik az eredeti specifikációt, függetlenül attól, hogy környezeti hatások alatt teljesítik-e vagy sem. A gyártási specifikáció meghatározásának algoritmusai ezek után a következők:

1. lépés: A specifikáció-érzékenység segítségével meghatározzuk a kihozatal gradiensét. Más szavakkal: kiszámoljuk, hogy az egyes specifikációs pontokat egymáshoz képest milyen mértékben kell megváltoztatni.
2. lépés: A gradiens vektor irányával ellentétesen megváltoztatjuk a specifikációs pontokat egy megfelelő lépésnagysággal. Annak érdekében, hogy a legnagyobb „gyártási specifikáció test”-et érjük el, a specifikációt folytonosan és nem diszkrét lépésekben változtatjuk meg.
3. lépés: Abban az esetben, ha az összes (vagy előírt arányú) olyan minta, amelyik teljesíti az újonnan számolt gyártási specifikációt, teljesíti az eredeti specifikációt mind gyártáskor, mind pedig környezeti hatások alatt, leállítjuk az optimalizálási eljárást, ellenkező esetben visszaugrunk az 1. lépésre.

6. Példa a gyártási specifikáció meghatározására

Egy számítógépprogram (neve: GHU) készült a fentiek implementálására FORTRAN IV nyelven egy ICL System 4-70 számítógépre. A példa mintaáramköre egy LC csatornaszűrő 10 db hangolt induktivitással és 17 db tolerált kapacitással. Az eredeti specifikáció CCITT 1/20 volt 24,3 és 27,4 kHz közötti áteresztő tartománnyal. A környezeti hatás a hőmérséklet 40 °C-kal való megváltozása. Referenciaként a gyakorlatban használatos CCITT 1/40-et választottuk. Az ISOA szimulációs program azt mutatta [7], hogy a CCITT 1/40-re behangolt áramköröknek csak a 82%-a teljesítette az eredeti CCITT 1/20 specifikációt hőmérsékletváltozás után.

A GHU programot alkalmazva (felhasználva a TOLOPT program [8] által szolgáltatott adatokat) a kihozatal 94%-ra emelkedett, amelyet ismét az ISOA programmal ellenőriztünk. A GHU program

által szolgáltatott gyártási specifikáció hasonlított a CCITT 1/40-re, de néhol lényeges eltérés volt: voltak lazább és szigorúbb pontok (6. ábra).

7. Összefoglalás

A specifikáció-érzékenység új fogalom a kihozatal javításában és a költségek csökkentésében. A rendszertervező megbízható és számszerű visszajelzést kap a kritikus specifikációs pontokról, s így a specifikációt jobban szét lehet osztani egy berendezés áramkörei között. Egy lazább specifikáció nagyobb kihozattal eredményez, sőt akár egy új áramkör tervezhető kevesebb elemszámmal.

A nyert információ ára csupán egy Monte Carlo analízis, amelyet azonban tolerancia-közponosítás után mindenképpen el kell végezni az eredmények ellenőrzésére. Az ehhez járuló két hisztogram felépítésének ideje elhanyagolható az előbbieket mellett.

Mivel a névleges értékek és toleranciák nem változnak, hanem csak a specifikáció, nincs szükség újabb Monte Carlo analízisre a specifikáció-érzékenységnek vagy a specifikációmegváltozás hatásának a kiszámításához.

Egy nagyon fontos alkalmazás az úgynevezett gyártási specifikáció meghatározása, ha az áramkörök környezeti hatásnak vannak kitéve. Az algoritmus alkalmazásához az áramköröknek a gyártáskori (gyártási feltételek melletti mért vagy szimulált), valamint a környezeti hatás alatti jellemzőire, hálózathűgfüggvényeire van szükség, amelyet pl. megfelelő Monte Carlo analízis program szolgáltathat. Az eljárás a gyártási specifikáció eddigi heurisztikus meghatározása helyett algoritmikus utat mutat. A tolerancia-közponosítás feladata a névleges értékek és toleranciák meghatározása. Ez azonban csak az egyik feladata az áramkörtervezésnek, hiszen gyártáskor ellenőrizni kell, vajon az áramkörök belül vannak-e a megengedett tartományon. Ez az ellenőrzés végezhető el a gyártási specifikáció segítségével. Hangolható áramkörök esetében pedig a gyártási specifikációt írhatjuk elő behangolási utasításként.

Végezetül arra érdemes rámutatni, hogy a gyártási specifikáció meghatározásához csak az áramkörök gyártáskori és környezeti hatás alatti jellemzőire van szükség. Ha ezek a jellemzők rendelkezésre állnak, a specifikáció-érzékenység és a gyártási specifikáció meghatározható. Ily módon az elv nincs csak a lineáris hálózatokra, sőt egyáltalán nincs áramkörökre korlátozva. A jellemzők bármilyen fizikai rendszerhez tartozhatnak, amelyek jellemzőiket gyártás után megváltoztatják, s ezeket a jellemzőket mérni vagy szimulálni tudjuk.

I R O D A L O M

- [1] Gefferth L.: Elektronikus áramkörök gyártási selejtjének csökkentése a névleges értékek és toleranciák megváltoztatásával a kihozatali érzékenység alapján. Híradástechnika, XXXIII. évf. 8. szám. 1982. 337-343. o.
- [2] R. Spence-A. Ilumoka-N. Maratos-L. Gefferth-R. Soin: The statistical exploration approach to tolerance design. Proc. IEEE Int. Conf.

- on Circuits and Computers. New York, 1980. pp. 582–585.
- [3] *Halász E.*: Lineáris áramkörök tervezése optimalizálással. Kandidátusi értekezés. Budapest, 1982.
- [4] *Geffert L.*: A kihozatal érzékenysége a specifikáció szerint. Tanulmány a Telefongyár részére. Budapest, 1982. február.
- [5] *L. Geffert*: Specification sensitivity and its use in system design. IEE Proc. Vol. 129, Pt. G. No. 4. August 1982. pp. 181–185.
- [6] *L. Geffert*: Specification sensitivity, a system designer approach to yield improvement of electronic circuits. Proc. of the 7th Coll. on Microwave Communication. Vol. I. OMIKK-TECHNO-INFORM Budapest, 1982. pp. 191–194.
- [7] *Gaál J.*–*Geffert L.*–*Géher K.*–*Halász E.*–*Trón T.*: Szűrőbehangolást szimuláló statisztikus programrendszer. Híradástechnika, XXX. évf. 11–12. szám 1979. 329–331. o.
- [8] *Halász E.*–*Geffert L.*–*Trón T.*: Toleranciaköz-pontosítás optimalizáló algoritmussal. Tanulmány a Telefongyár részére. Budapest, 1980. november.
- [9] *Dr. Géher K.*: Elektronikai áramkörök gazdaságos tervezése és a toleranciaelmélet. Híradástechnika, XXXIV. évf. 1983. 12. szám. 575–578. oldal.
- [10] *J. Gaál*–*L. Geffert*–*K. Géher*–*E. Halász*–*T. Trón*: New algorithms and computer programs for design centering, tolerancing and tuning under environmental influence. Proc. of the European Conference on Circuit Theory and Design, ECCTD '81, pp. 696–703.
-