

Hibakeresés lineáris áramkörökben két hibás elem esetén*

ETO 519.724.6:621.38.004.64

Az elektronikus áramkörök gyártásakor az automatikus tesztelésnek — ellenőrzésnek — igen fontos szerepe van. Bizonyos értelemben az áramkörök megbízhatósága növekszik, ha nemcsak a hiba felismerése, hanem a hiba lokalizálása is automatikusan történik. Automatikus módszereket alkalmazva a hiba lokalizálása rövid időt vesz igénybe. Az utóbbi időben az automatizálható szisztematikus diagnosztikai módszerek az érdeklődés előterébe kerültek.

A hibák többsége egyszeres vagy kétszeres hiba. Egyszeresnek nevezzük a hibát akkor, ha csak egyetlen elem hibás, azaz csak egyetlen elem értéke tér el nagymértékben a névleges értéktől. Egyszeres hibák lokalizálására két fő irány alakult ki. Az egyik irányzat módszerei kihasználják a lineáris áramkörök tulajdonságait. Ilyen módszerek leírásai találhatók [1, 2, 3]-ban. Más módszerek egyéb területen is használhatók, pl. a hibaszótár, melyet a digitális áramkörök diagnosztikájára alkalmaztak először. Egyszeres hibák diagnosztikájáról áttekintést a [4, 5]-ben találhatunk.

Kétszeresnek nevezzük a hibát akkor, ha egyszerre két hibás elem található az áramkörben. Jelen cikkben új módszert közlünk kétszeres hibák szisztematikus lokalizálására.

A módszer azon a felismerésen alapszik, hogy bizonyos feltételek teljesülése esetén bilineáris kapcsolat van nemcsak a hálózatfüggvény és egy áramköri paraméter, hanem két áramköri paraméter között is. Természetesen más feltételek vonatkoznak az utóbbira, mint az előzőre.

A következőket feltételezzük:

- ismert az áramkör felépítése,
- ismert az elemek névleges értéke,
- az áramkör ellenállásból, induktivitásból, kapacitásból, vezérelt generátorokból állhat, beleértve természetesen a műveleti erősítőt is,
- az áramkör hibáját éppen két elem okozza,
- a hibátlan elemek értéke névleges.

1. Az áramköri elemek bilineáris kapcsolata

Az F hálózatfüggvény egy rögzített frekvencián az alábbi módon fejezhető ki két áramköri paraméter függvényeként:

$$F(x_1, x_2) = \frac{a + bx_1 + cx_2 + dx_1x_2}{1 + ex_1 + fx_2 + gx_1x_2}, \quad (1)$$

ahol x_1, x_2 a két áramköri paraméter, a, \dots, g pedig komplex konstansok.

* Elhangzott a RELECTRONIC '77' Megbízhatóság az elektronikában konferencián.
Beérkezett: 1978. IV. 24.

Rögzítsük most a hálózatfüggvény értékét! Ez az érték a diagnosztikai eljárás során a hibás áramkör mért értéke lesz. Arra vagyunk kíváncsiak, hogy az x_1, x_2 paraméterek milyen összetartozó értékei mellett kapjuk meg ezt a rögzített értéket. Ezért fejezzük ki x_1 -t, mint x_2 függvényét:

$$x_1 = \frac{(a - F) + x_2(c - Ff)}{(Fe - b) + x_2(Fg - d)}, \quad (2)$$

ahol F most szintén komplex szám. Jelöljük $(a - F)$ -et A -val, $(c - Fe)$ -t B -vel, $(Fe - b)$ -t C -vel és $(Fg - d)$ -t D -vel:

$$x_1 = \frac{A + Bx_2}{C + Dx_2}. \quad (3)$$

A fenti kifejezésben a bilineáris transzformációra ismerhetünk, amely x_2 értékeit a komplex x_1 síkra képezi le körként vagy egyenesként.

2. Hibalokalizálás

Két hibás elem esetén a diagnosztikai feladata a következőképpen fogalmazható meg: keresendő az a két áramköri paraméter, amelyekhez, és csakis ezekhez, olyan valós érték rendelhető a többi áramköri paraméter névleges értéke mellett, hogy az áramkör bármely számított hálózatfüggvénye minden teszt frekvencián a mért értéket adja.

Egy áramkör N számú paraméteréből $\left(\frac{N}{2}\right)$ számú

párt lehet alkotni. Ezekre a párokra mint ismeretlenekre a hibás áramkörön mért értékeket is felhasználva három vagy több egyenletet írunk fel. Két egyenletet felhasználva meghatározzuk a paraméterpár értékét. Ha a további egyenleteket ezek az értékek kielégítik, tehát az egyenletek nem függetlenek, akkor megtaláltuk a hibás elempárt. Ellenkező esetben az egyenletek ellentmondásra vezetnek.

Mivel az áramköri paraméterek értékei csak valósak lehetnek, a (3)-mal nyert görbének csak a valós x_1 tengellyel vett metszéspontja bír fizikai jelentéssel, más pont nem. Ezt használjuk fel diagnosztikai céljaira.

Egyetlen teszt frekvenciát alkalmazva két egyenletet kapunk. Az egyik egyenlet a metszéspontra felírt feltételből adódik:

$$\operatorname{Im} x_1 = f(x_2) = 0. \quad (4)$$

Innen megkapjuk azt az x_2 értéket, amelyhez valós x_1 tartozik.

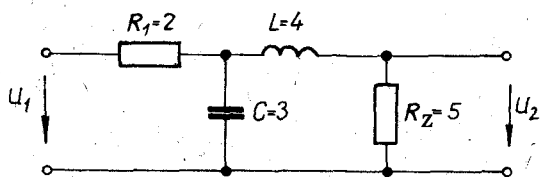
A másik egyenletet (3) adja, ahonnan x_1 értéke határozható meg.

Mivel más frekvencián a (3)-ban szereplő A, B, C, D állandók szükségképpen különböznek az előbbiektől, lévén frekvenciafüggő polinomok más frekvencián felvett értékei, így egy újabb frekvencián kiszámolt x_i, x_j értékek csak akkor egyeznek meg az előbbi értékekkel, ha a hibás elempárról van szó. Egyéb párok esetén különböző megoldásokat kapunk.

3. Példa

Tekintsük az 1. ábrát. A két vizsgálati frekvencia: 0,5 és 0,7 relatív értékek. A feszültség transzfer függvényt választottuk hálózatfüggvénynek:

$$F = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + p(L + CR_1R_2) + p^2LCR_1}$$



H 592-GL I

1. ábra

1. táblázat

Elempár $x_i x_j$	Teszt frekv.	x_1	Az elemek értéke x_i		x_j
$R_1 R_2$	0,5 0,7	Nincs pozitív valós megoldás			
$R_1 L$	0,5 0,7	0,35 0,56	29,04 25,9	1,85 1,68	6,63 9,07
$R_1 C$	0,5 0,7	Nincs pozitív valós megoldás			
$R_2 L$	0,5 0,7	Nincs pozitív valós megoldás			
$R_2 C$	0,5 0,7	1,5 1,5	2,1 2,1	1,82 1,26	2,33 1,84
$L C$	0,5 0,7	6,77 9,27	2,76 2,51	27,56 25,06	0,68 0,93

A hibás áramkör mért értékei:
 $f_1=0,5 \quad F=1,66-0,2j$
 $f_2=0,7 \quad F=-1,27-1,47j$

A fent említett metszésponthoz tartozó értékek láthatók az 1. táblázatban. A táblázat csak pozitív

valós értékeket tartalmaz az adott kapcsolásnak megfelelően. Látható, hogy az R_2C elempárosításnál a kapott értékek az egyik oszlopban megegyeznek. Így ez az elempár a hibás. A többi esetekben eltérő értékeket kapunk.

4. Számítógép program

Az ismertetett módszer kipróbálására számítógép programot készítettünk. A program számára a hálózatfüggvényt betűs formában kell megadni, külön szubrutinként.

Az (1) összefüggésben szereplő komplex együtthatók előállításához a betűs hálózatfüggvény ismeretében az alábbi módon juthatunk el.

Az (1) összefüggésnek külön határozzuk meg a számlálóját és a nevezőjét. Az a együttható kiszámításához állítsuk be x_i és x_j értékét nullára. Így a számláló közvetlenül a értékét adja. A b és e együtthatókat $x_j=0$ és $x_i=1$, míg a c és f együtthatókat $x_j=1$ és $x_i=0$ értékek mellett határozhatjuk meg. A számláló kapott értékéből a -t, a nevezőből 1-et kell levonni. A d és g együtthatókhoz mind x_i , mind x_j értékét 1-re kell állítani, s a számlálóból $(a+b+c)$ -t, a nevezőből $(1+e+f)$ -et kell levonni.

A hibalokalizálás további részéhez a (3) egyenlet előállítására és a bilineáris összefüggésnek megfelelően vegyes másodfokú egyenlet megoldására van szükség.

A program eredményként az egyes frekvenciákon megoldást adó pozitív, valós értékpárokat írja ki. Innen a hibás elempár meghatározható.

A mintapéldákhoz készült program érdekessége, hogy a különböző kapcsolásokhoz csak a hálózatfüggvényt számoló szubrutint kell megváltoztatni, a program többi része változatlan.

A RAZDAN-3 számítógépen futtatott program azonosítója DIAG, programnyelve FORTRAN.

IRODALOM

[1] G. O. Martens—J. D. Dyck: Fault Identification in Electronic Circuits with the Aid of Bilinear Transformation. IEEE Tr. on Reliability vol. R-21 No. 2. May 1972. pp. 99—104
 [2] E. C. Neu: A new n-port Network Theorem. Proc. of the 13th Midwest Symposium on Circuit Theory. May 1970. pp. IV. 5. 1.—IV. 5. 10.
 [3] L. Gefferth: Fault Identification in Resistive and Reactive Networks. Int. J. of Circuit Theory and Applications vol. 2. No. 3. September 1974. pp. 273—277
 [4] L. Gefferth: Single Fault Lokalizatioin in Linear Circuits. Proc. of the CAD Seminar in MTA—SZTAKI Budapest, Hungary, 1976. pp. 116—128
 [5] Gefferth L.: Egyszeres hibák lokalizálása lineáris áramkörökben. Híradástechnika, XXVIII. évf. 2. szám, 33—41 oldal, 1977 február