

550-465

HÍRADÁS- TECHNIKA



A HÍRADÁS-
TECHNIKAI
TUDOMÁNYOS
EGYESÜLET
LAPJA

11

TARTALOM

PÁVÓ IMRE: Hálózatfüggvény meghatározása topológiai formulával digitális számológépen	321
KÓTA GÁBOR: Hálózatfüggvények gyökeinek függése az áramköri elemektől	330
BALOGH PÁL: Integrált. mágneses tárolók	335
SZÉKELY VLADIMIR—DR. TARNAY KÁLMÁN: A Gunn-dióda domain-dinamikája	342
GÁL IMRE: Adalékanyagok diffúziója szilíciumba zománcdiffúziós forrásból	344
Tartalmi összefoglalások	350
Обобщения	350
Zusammenfassungen	351
Summaries	351
Résumé	352

Szerkesztőség: BOGLÁR GYULA szerkesztő, SZÖLLŐSI GYÖRGYNÉ szerkesztőségi titkár, BALOGH PÁL, SÁRKÓZY GÉZA kandidátus és MAY PÉTER tudományos szerkesztők, FLESCH ISTVÁN, RUPPENTHAL PÉTER, VÁSÁRHELYI PÁL szerkesztőségi munkatársak. — A szerkesztőség címe: Budapest, V., Szabadság tér 5–6. III. em. 320. Telefon: 183-772 — A Híradástechnikai Tudományos Egyesület címe: Budapest, V., Szabadság tér 17. Telefon: 113-027

Szerkesztő bizottság tagjai: ALMÁSSY GYÖRGY kandidátus, BARTA ISTVÁN akadémikus, BATTISTIG GYÖRGY, BÍRÓ FERENC, BUDAI LAJOS, CZEGLÉDY GYÖRGY, ERDÉLYI JÁNOS kandidátus, GERGELY ÖDÖN, GIBER JÁNOS kandidátus, KATONA JÁNOS, a műszaki tudományok doktora, KÓMÜVES FRIGYES kandidátus, LAJKÓ SÁNDOR, MAGÓ KÁLMÁN, MAKÓ ZOLTÁN, NÁDAS TIBOR, POGÁNY KÁROLY, VALKÓ I. PÉTER, a műszaki tudományok doktora, VÍG ISTVÁN

INDEX: 25.375

HÍRADÁSTECHNIKA

Kiadja a Lapkiadó Vállalat Budapest, VII., Lenin körút 9–11. Telefon: 221-283. Felelős kiadó: SALA SÁNDOR igazgató. Terjeszti a Magyar Posta. Előfizethető a Posta Központi Hírlapirodánál (Budapest, V., József nádor tér 1. Telefon: 180-850) vagy bármely postahivatalnál. Előfizetési díj: félévre 33 Ft, egész évre 72 Ft. Egyes szám ára: 6 Ft. Megjelenik havonta. Csekkszámlaszám: egyéni 61,254, közületi 61,086 vagy átutalás MNB 8. sz. folyószámlájára. A folyóirat külföldre előfizethető: „KULTÚRA” P. O. B. 149 Budapest 62.

68,1315 Egyetemi Nyomda, Budapest. Felelős vezető: JANKA GYULA igazgató

PÁVÓ IMRE

MTA Matematikai Logikai és Automataelméleti Tanszéki
Kutató Csoport, Szeged

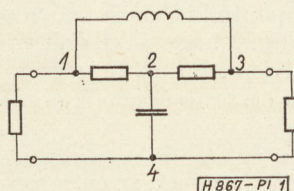


Hálózatfüggvény meghatározása topológiai formulával digitális számológépen

ETO 519.14:621.372:681.32.06

A gráfelmélet alkalmazhatósága a hálózatelméletben két alapvetően fontos tény miatt vált lehetővé: egy konkrét hálózat analizését a hálózatban szereplő áramköri elemeken kívül nagymértékben befolyásolja a hálózat topológiája. A hálózat csomópontjait egy gráf csúcsainak tekintve, a csomópontok közötti áramutakat pedig a gráf éleinek fogva fel, minden hálózatból elvonatkoztatható egy gráf, a hálózat gráfja, amely felelős a hálózat struktúrája folytán előállott bonyolultságért. Példaként tekintsünk egy valós lezárások között működő amplitúdó korrektort (1. ábra). Ebből elvonatkoztatással nyerjük a hálózat gráfját (2. ábra). Nyilván a hálózat gráfja invariáns az áramköri elemek konkrét megválasztásától, de azonnal megváltozik, ha pl. egy szűrőt egy újabb alaptaggal egészítünk ki. Így a gráfelmélet lehetővé teszi a hálózat struktúrája által okozott bonyolultság elválasztását az áramköri elemek minőségétől. A továbbiakban várható, hogy ez a szétválasztás a numerikus számítási munkában is hasznosan jelentkezik.

A gráfelmélet alkalmazhatóságának körét tovább bővíti, hogy számos, a villamosságtanban használt tétel megfogalmazható ún. topológiai formula alakjában. Topológiai formulának nevezzük azt a formulát, amelyben szerepelnek a gráfelméletből ismert részgráfok élei szerint kiválogatott áramköri elemek adatainak numerikus számolásra történő felhasználása (pl. a részgráf élek mentén található admittanciák szorzata, az így képezett szorzatok összegezése, miközben az összes azonos típusú részgráfokat tekintjük stb.). Ilyen topológiai formulák levezethetők pl. a Kirchhoff-törvényekből, azoknak a mátrix algebra felhasználásával történő átírásából.



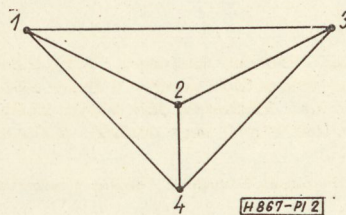
1. ábra

Nagy bonyolultságú hálózatok esetén a topológiai formulák által előírt numerikus számolások konkrét elvégzésére célszerűen alkalmazhatók a digitális számológépek. Általában a topológiai formulák alkalmazása sok, viszonylag egyszerű, de egyöntetű numerikus számolást igényel. Pontosan ebben rejlik a gráfelméletnek a hálózatanalízisben lehetséges frapárs felhasználása. Az egyszerű és egyöntetű numerikus problémák a számológép programozásában igen nagy könnyítést jelentenek. Továbbá a topológiai formulák alkalmazásánál legtöbb esetben elkerülhető a determináns kifejtése is, ami igen előnyös, mert a determináns kifejtést használó módszerek a numerikus számításban igen sok redundanciát eredményeznek (pl. előjel megállapítás stb.).

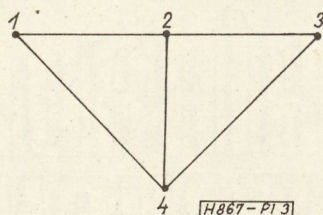
Ebben a cikkben röviden összefoglaljuk azokat a gráfelméleti fogalmakat és tételeket, amelyek lehetővé teszik a hálózatfüggvény topológiai formula alakjában történő felírását, majd megmutatjuk az ezzel való konkrét számolás lehetőségét, valamint a számolás digitális számológépen való berendezését. A továbbiakban példa kapcsán alkalmazzuk a felvázolt módszert egy létra típusú hálózatfüggvény megalkotásában. Végül bemutatjuk, hogy a felvázolt módszer még milyen más problémák megoldására is alkalmazható.

Gráfelméleti fogalmak, tételek

A dolgozat további részében nagymértékben felhasználjuk L. M. Maxwell és J. M. Jr. Cline egy, a hálózatfüggvény meghatározására jól felhasználható cikkét, amely gráfelméleti eredményeket algebrai úton tárgyal [3].



2. ábra



3. ábra

Egy gráfot — amennyiben élei irányítatlanok — csúcspontjainak és éleinek felsorolásával lehet megadni. Tekintsünk ezután egy egyszeres élű, önhurokmentes G gráfot [1], csúcspontjait jelöljük az 1, 2, ..., n természetes számokkal. E csúcspont számozás lehetőséget nyújt a gráfok egyértelmű jelölésére. Pl. az i . és a j . csúcspontot összekötő élet így jelölhetjük: (i, j) . Mivel közömbös az i és j sorrendje, ezért megállapodhatunk abban, hogy e jelölésnél mindig $i < j$ álljon fenn.

A G gráf egy *algebrai előállításán* olyan polinomot értünk, amelynek változói az n elem másodosztályú, ismétlés nélküli (i, j) kombinációi ($i < j$), együtthatói pedig 1 vagy 0 értékek, aszerint, hogy az (i, j) kombináció által reprezentált él gráf-e vagy sem. Például a 3. ábra gráfjának algebrai előállítása a következő:

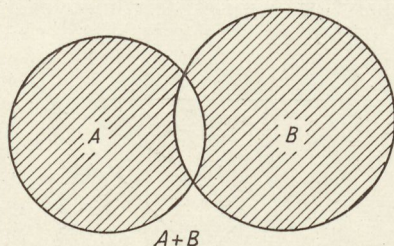
$$G = 1 \cdot (1, 2) + 0 \cdot (1, 3) + 1 \cdot (1, 4) + 1 \cdot (2, 3) + 1 \cdot (2, 4) + 1 \cdot (3, 4).$$

A polinomos alakban a „+” jel nem a közönséges összeadást jelenti, hanem a halmazelméletben használt úgynevezett szimmetrikus differencia operátor, vagy másként elemidegen unió jele. Két halmaz szimmetrikus differenciája olyan halmaz, amely azokból az elemekből áll, amelyek az eredeti halmazok közül egy, és csak egy halmaznak elemei. Például szemléltessük a halmazokat a sík pontjaival (4. ábra) a halmazelméletben szokásos módon, akkor az A és B halmaz $A + B$ szimmetrikus differenciája a 4. ábrán látható, bevonalkázással jelölt pontthalmaz.

Igen gyakran a „0” együtthatójú tagot a polinomos alakban ki sem írjuk, és az „1” együtthatót pedig elhagyjuk. Így röviden az előző gráf polinomos alakja:

$$G = (1, 2) + (1, 4) + (2, 3) + (2, 4) + (3, 4).$$

A szimmetrikus differencia operátor definíciója folytán, ha egy gráf polinomos alakjában egy él kétszer fordul elő 1 együtthatóval, akkor ezeket a „ta-



4. ábra

gokat” a polinomból törölni lehet. Azt a tényt, hogy a G gráf tartalmazza az (i, j) élet, így jelöljük: $(i, j) \in G$, vagy $G \ni (i, j)$.

A gráf egy csúcspontját *izolálnak* nevezzük, ha belőle nem indul ki él. Általában a hálózatgráfnak nincs izolált csúcspontja. Az üres gráfnak minden csúcsa triviálisan izolált.

Egy gráfot *összefüggőnek* nevezzük, ha élek mentén bármelyik csúcsból bármelyik másik csúcsba eljuthatunk. Világos, hogy összefüggő gráf nem tartalmazhat izolált csúcspontot.

Egy G gráf G' *részgráfján* olyan gráfot értünk, amelyik a G -ből úgy származtatható, hogy némely csúcst, illetve élet törölünk. Egy részgráf az eredeti gráf polinomos alakjából úgy áll elő, hogy némely „1” együtthatót „0”-ra cserélünk fel.

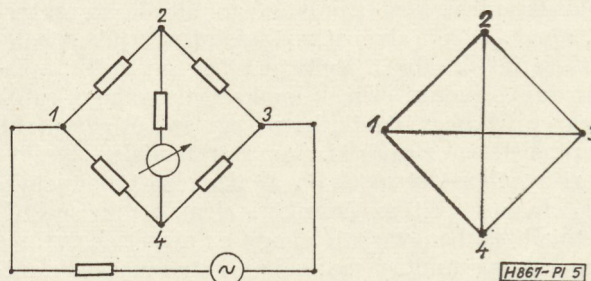
Azt mondjuk, hogy a G (nem összefüggő) gráf m *részgráfból áll*, ha létezik m olyan összefüggő részgráfja, amelyek együttesen tartalmazzák a G gráf összes csúcspontját és éleit.

Nevezetesebb gráfok [1]:

A gráf neve *teljes gráf*, ha bármely két csúcsa között létezik e csúcsokra illeszkedő gráfél. A teljes gráf polinomos alakjában minden polinom-együttható 1. Példa teljes gráfra a Wheatstone-híd hálózatgráfja (5. ábra). E gráf polinomos alakja:

$$(1, 2) + (1, 3) + (1, 4) + (2, 3) + (2, 4) + (3, 4).$$

A teljes gráf mindig összefüggő, nem tartalmaz izolált pontot.



5. ábra

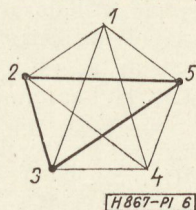
Üres gráfon azt a gráfot értjük, amelyik csak csúcsokat tartalmaz. Polinomos alakjában minden együttható 0. Az üres gráf triviálisan nem összefüggő, minden csúcsa izolált. Az üres gráf villamos megfelelője érdektelen, a továbbiakban mint fogalom praktikus.

*Hurok** a gráf neve, ha összefüggő, s bármely csúcsból kiindulva gráfélék mentén visszajutunk a kiindulás csúcsához, miközben minden élen egyetlen egyszer haladunk át, és minden csúcst csak egyszer érintünk (6. ábra).

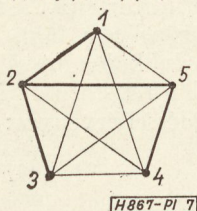
A gráf neve *fa*, ha összefüggő, s részgráfként nem tartalmaz ciklust. A gráfelméletben megmutatják, hogy az n csúcspontú fa éleinek száma pontosan $n - 1$.

Akkor mondjuk, hogy a G gráf 1F *részgráfja* a G (közönséges) *fája*, ha az 1F részgráf fa , s tartalmazza a G gráf összes csúcsát (7. ábra).

* Megjegyezzük, hogy a gráfelméletben az általunk huroknak nevezett gráfot „kör”-nek, az önhurkot pedig „hurok”-nak nevezik.

Hurók: $(2,3)+(3,5)+(2,5)$


6. ábra

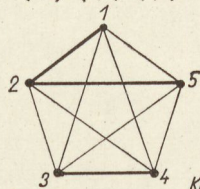
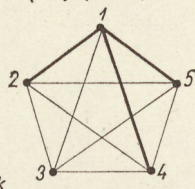
 Fa: $(1,2)+(2,3)+(2,5)+(4,5)$


7. ábra

Tekintsük a G gráfot. A G gráf 2F részgráfja kettőfa, ha két további részgráfból áll, amelyek külön-külön fák, esetleg a részgráf egyetlen (izolált) csúcs. Megmutatható, hogy ha 1F a G gráf egy fája, akkor annak egy élét törölve a visszamaradt részgráf éppen a G egy kettőfája, és ilyen módon a G tetszőleges kettőfája előáll valamelyik 1F fájából. Kettőfákat láthatunk a 8. ábrán.

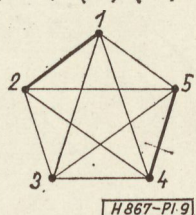
E cikk során szükségünk lesz a G gráf olyan 2F kettőfáira, amelyek két előre kiszemelt csúcsot (i -t és j -t) külön részükben tartalmazzák. E kettőfát így jelöljük: ${}^2F(i, j)$. Hasonlóképpen definiálhatók a G részgráfjaiként 3F háromfák (9. ábra), 4F négyfák stb.

Osszuk a G összefüggő gráf csúcspontjait két osztályba. Vágatnak nevezzük a G olyan részgráfját, amelyet úgy nyerünk, hogy G azon éleit tekintjük, amelyek csúcsvégpontjait külön-külön osztályokban tartalmazzák. (Az elnevezés onnan adódik, hogy ha egy összefüggő gráfból egy vágat éleit töröljük, az eredeti gráf két részgráfra esik szét, „szétvágódik”,

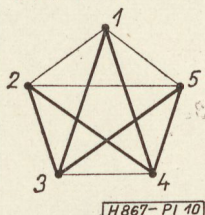
 $(1,2)+(2,5)+(3,4)$

 $(1,2)+(1,5)+(1,4)$


8. ábra

10. ábra.) A vágat neve csúcsvágat (egy csúcs körüli vágat), ha a csúcspont osztályozás során az egyik osztályba csak egyetlen csúcspont kerül (11. ábra). Ha csúcspont osztályozás során az egyik osztály üres halmaz, akkor ehhez az osztályozáshoz vágatként definiíthatjuk az üres gráf tartozzék.

 Háromfa: $(1,2)+(4,5)$


9. ábra

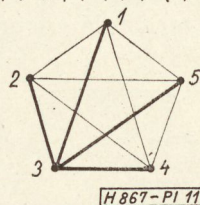
 Vágat:
 $(1,3)+(1,4)+(2,3)+(2,4)+$
 $+(3,5)+(4,5)$


10. ábra

Az eddig felsorolt gráfokat a 6–11. ábrák szemléltetik, mégpedig oly módon, hogy az 5 csúcspontú teljes gráfból kiindulva a részletábrákban a szóban forgó gráf éleit és csúcspontjait vastagítással kiemeltük. Az egyes ábrákhoz odaírtuk a szóban forgó részgráf polinomos alakját is.

Szokás a G gráf polinomalakját polinommegfelelőnek is nevezni, továbbá „ciklus-polinom”, „fa-polinom”, ..., „csúcsvágat-polinom”-ról beszélni. A gráf jele és a polinom megfelelője közé tett egyenlőség sem a szokásos „numerikus egyenlőség” jele, hanem azt jelenti, hogy a G gráf polinom megfelelője az egyenlőség jel másik oldalán szereplő polinom.

Csúcsvágat:

 $(1,3)+(2,3)+(3,4)+(3,5)$


11. ábra

A polinomos alakban való írásnak rendkívül fontos következménye az a tény, hogy gráfokkal „számolni” is lehet! Így pl. a G és H gráf „összegén” azt a $G+H$ gráfot értjük, amelynek polinommegfelelője a polinomos alakok szimmetrikus differenciája. Az „összeadás” során az együtthatókra érvényes a következő számolási szabály:

$$0+0=0, \quad 1+0=0+1=1 \quad \text{és} \quad 1+1=0.$$

Példaként „gráfok összeadására” tekintsük az 5 csúcspontú, teljes gráf ${}^2F=(1,2)+(2,3)+(2,5)$ és ${}^1F=(1,2)+(2,5)+(3,5)+(3,4)$ részgráfjainak összegét:

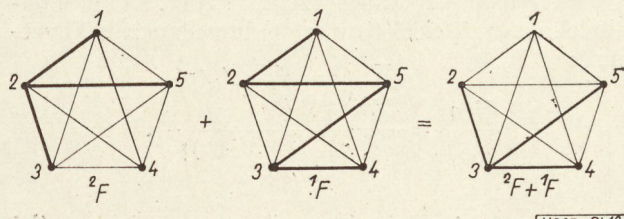
$${}^2F+{}^1F=$$

$$=(1,2)+(2,3)+(2,5)+(1,2)+(2,5)+(3,5)+(3,4)=$$

$$=(2,3)+(3,4)+(3,5).$$

A részgráfokat és az összeget a 12. ábra szemlélteti.

A későbbiekben szerepelni fog gráf-polinomok szorzása is. Két gráf polinommegfelelőjének szorzatán definíciószerűen az algebrából ismert polinomszorzatot értjük azzal a külön kikötéssel, hogy egy elváltozóznak önmagával való szorzata legyen 0. Részletesen: $(i, j) \cdot (i, j) = 0$ a megállapodás. Mind az összeadás, mind a szorzás definíciójából következik, hogy



12. ábra

gráfpolinomok összeadása és szorzása kommutatív, asszociatív, továbbá fennáll a (numerikus matematikában már megszokott) disztributív törvény is. Ezek a törvények lehetővé teszik a gráfpolinomokkal való egyszerű számolásokat.

Topológiai formula a transzfer impedancia meghatározásához

Tekintsünk egy lineáris koncentrált paraméterű, invariáns és passzív hálózatot. Képezzük a hálózat G gráfját, s csúcspontjait számozzuk meg valamilyen sorrendben az $1, 2, \dots, n$ természetes számokkal. Akkor ez a számozás a hálózat csomópontjait is egyértelműen jelöli. Jelöljük továbbá az i és j csomópont közé eső áramköri elemek eredő admittanciáját Y_{ij} -vel.

Szemeljük ki ezután a hálózat m -edik és n -edik kapcsolárját. A megfelelő csomópontok jele rendre

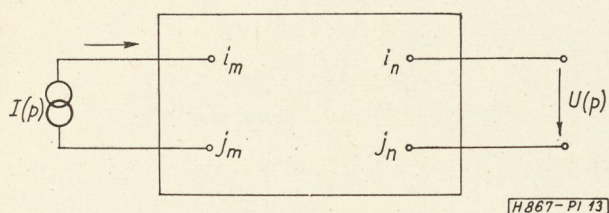
pedig a hálózatgráf összes szóban forgó részgráfja szerint történik. A nevezőben szereplő 1F hálózatgráf (közönséges) fája, a ${}^2F'$ pedig G olyan kettőfája, amely külön részében tartalmazza az i_m és j_m , és külön részében az i_n és j_n csúcsokat. Halmazelméleti jelöléssel érvényes:

$${}^2F' \in \{{}^2F(i_m, j_m)\} \cap \{{}^2F(i_n, j_n)\},$$

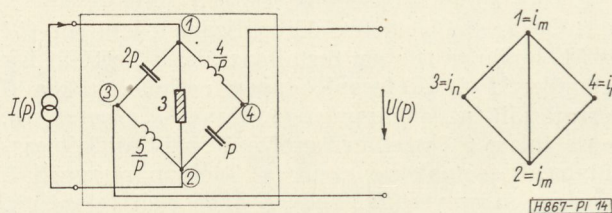
ahol $\{\dots\}$ a halmaz jele, $\cap$ pedig a közös rész képzés szimbóluma.

A kettőfa éladmittancia szorzat előjele pozitív, ha a ${}^2F'$ az i_m és i_n csúcsokat összefüggő részében tartalmazza, ellenkező esetben negatív.

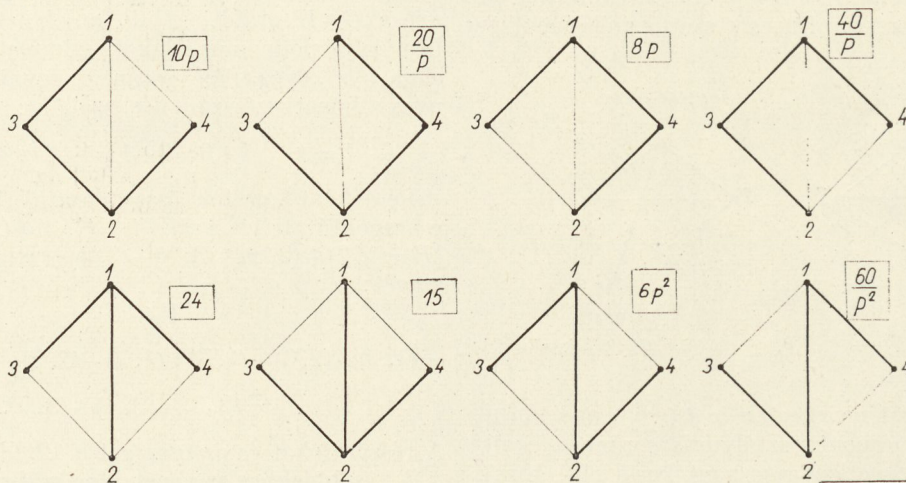
Példaként tekintsük a 14. ábrán feltüntetett kapcsolást a meghajtással együtt. A kapcsolat mellett látható a hálózatgráf is. A kapcsolásba mindjárt az egyes áramköri elemek (operátoros) admittanciáit írtuk be.



13. ábra



14. ábra



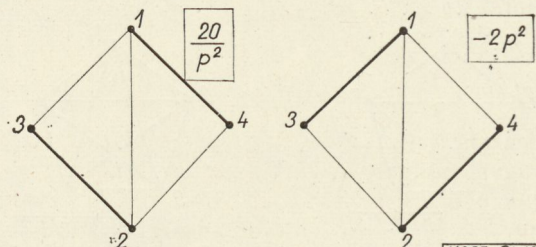
15. ábra

legyen i_m, j_m és i_n, j_n . Hajtsuk meg ezután a hálózatot $I(p)$ (p komplex-frekvencia) forrásáramú ideális áramgenerátorral az „ m ” kapcsoláron. Ennek hatására az „ n ” kapcsoláron lépjen fel $U(p)$ feszültség. A viszonyokat a 13. ábrán szemléltetjük. Akkor a felteteleknek megfelelő (transzfer) impedancia a következő:

$$\frac{U(p)}{I(p)} = \frac{\sum_{\text{összes } {}^2F'} (\pm \prod_{(i,j) \in {}^2F'} Y_{ij}(p))}{\sum_{\text{összes } {}^1F} (\prod_{(i,j) \in {}^1F} Y_{ij}(p))},$$

ahol a produktumképzés a szóban forgó részgráf éle mentén található admittanciák szorzata, az összegzés

A 15. ábrán láthatjuk a hálózatgráf összes fáját (8 darab), melléírva a megfelelő éladmittanciák szorzatát. A 16. ábra a szóban forgó kettőfákat szemlélteti.



16. ábra

teti, ugyancsak az éladmittancia szorzatokkal, figyelembe véve az előjel konvenciót.

Ezek után az előbb ismertett topológiai formulát alkalmazva írhatjuk:

$$\frac{U(p)}{I(p)} = \frac{-2p^2 + 20 \frac{1}{p^2}}{10p + \frac{20}{p} + 8p + \frac{40}{p} + 24 + 15 + 6p^2 + \frac{60}{p^2}},$$

a nevezőben összevonva:

$$\frac{U(p)}{I(p)} = \frac{-2p^2 + 20 \frac{1}{p^2}}{6p^2 + 18p + 39 + \frac{60}{p} + \frac{60}{p^2}},$$

majd a törtet p^2 -tel bővítve nyerjük az

$$\frac{U(p)}{I(p)} = \frac{-2p^4 + 20}{6p^4 + 18p^3 + 39p^2 + 60p^3 + 60}$$

transzfer impedanciát.

A most ismertett topológiai formula Kirchhoff közismert 1. és 2. tételéből vezethető le. A levezetés megtalálható az irodalomban [5].

Maga a tétel kiválóan alkalmas hálózatfüggvény felírására. Természetesen nemcsak transzfer impedanciát lehet vele számolni, hanem bemeneti impedanciát is. Ilyen esetben $m \equiv n$. Thevenin, ill. Norton ekvivalensek alkalmazásával pedig egyéb hálózatfüggvények felírása is lehetséges (feszültség-, ill. áramátviteli függvény). A tétel alkalmazásához szükséges a hálózatgráf összes fájának és a tételben szereplő kettőfáknak az előállítása. Mint ahogy ez ebből az egyszerű példából is látszik, bonyolultabb esetben igen fáradságos és körülményes a közvetlen felírás. A gráfok polinom alakjával való számolás azonban módot nyújt az összes megfelelő részgráfok módszeres előállítására, generálására. A későbbiekben ismertetendő algebrai módszer igen egyszerűen ültethető át digitális számológépre. Egy megfelelő módon programozott gép azonnal felírja a keresett hálózatfüggvényt. A gráfméleti eljárás számológépen való végrehajtása a hagyományos Kirchhoff-tételek, ill. csomóponti potenciálok, vagy hurokáramok módszerének felhasználásával lényegesen egyszerűbb, mert pl. nem használja fel a determinánsokat, azok kifejtését stb.

A következőkben röviden összefoglaljuk a közönséges és a kettőfák generálásának egy lehetséges algebrai módszerét.

Algoritmus egy gráf közönséges fáinak és kettőfáinak generálásához

Tekintsünk egy n csúcspontú G hálózatgráfot.

1. Tétel

Képezzük a G gráf $n-1$ tetszőleges (különböző) csúcsvágat polinomját, s ezeket szorozzuk össze. Hagyjuk el a részletszorzatok közül azokat, amelyek párosan fordulnak elő. Akkor a megmaradt tagok éppen az összes közönséges fát reprezentálják, mégpedig a tag szorzótényezői a fa élei.

A tétel bizonyítása megtalálható az irodalomban [2, 3].

Példaként bemutatjuk az előző pontban szerepelt kapcsolás gráfjának összes fa előállítását (14. ábra). Válasszuk a csúcsvágat-polinomokat a következőképpen:

$$G_4 = (2, 4) + (1, 4), \quad G_2 = (1, 2) + (2, 4) + (2, 3) \\ \text{és} \quad G_3 = (1, 3) + (2, 3).$$

Akkor:

$$G_4 \cdot G_2 \cdot G_3 = ((2, 4) + (1, 4)) \cdot ((1, 2) + (2, 4) + (2, 3)) \cdot ((1, 3) + (2, 3)).$$

A szorzat eredménye 12 tag. Elhagyva közülük a 0 értékű tagokat (amelyek valamely él négyzetét tartalmaznak), és a párosan előforduló tagokat, némi számolás után nyerjük:

$$G_4 \cdot G_2 \cdot G_3 = (1, 2)(1, 4)(1, 3) + (1, 2)(2, 4)(1, 3) + \\ + (1, 4)(2, 4)(1, 3) + (2, 4)(2, 3)(1, 3) + \\ + (1, 4)(2, 3)(1, 3) + (1, 4)(1, 2)(2, 3) + \\ + (1, 4)(2, 4)(2, 3) + (2, 4)(1, 2)(2, 3)$$

egyezésben a 15. ábrával.

2. Tétel

Tekintsük a G gráfot, s szemeljük ki az i . és j . csúcsponjtját. Akkor az i . és a j . csúcsponjtot külön részükben tartalmazó összes kettőfát mint élszorzatok összegét úgy állíthatjuk elő, hogy képezzük a G gráf $(n-2)$ csúcsvágat polinomját az i . és j . csúcs körüli vágat figyelmen kívül hagyásával, s a kapott részletszorzatok közül az egy él négyzetét, ill. a párosan előforduló tagokat töröljük.

Például az előbbi kapcsolásból az 1. és 2. csúcsokat külön részükben tartalmazó összes kettőfák:

$$G_4 \cdot G_3 = ((1, 4) + (2, 4)) \cdot ((1, 3) + (2, 3)) = \\ = (1, 4)(1, 3) + (2, 4)(1, 3) + (1, 4)(2, 3) + (2, 4)(2, 3).$$

Hasonlóképpen nyerjük a 3 és 4 csúcsponjtokat külön részben tartalmazó kettőfákat:

$$G_1 \cdot G_2 = ((1, 4) + (1, 2) + (1, 3)) \cdot ((2, 4) + (1, 2) + (2, 3)) = (1, 4)(2, 4) + (1, 2)(2, 4) + (1, 3)(2, 4) + \\ + (1, 4)(1, 2) + (1, 3)(1, 2) + (1, 4)(2, 3) + \\ + (1, 2)(2, 3) + (1, 3)(2, 3).$$

Az alkalmazott topológiai formulában szereplő ${}^2F'$ kettőfákat a $G_1 \cdot G_2$ és $G_3 \cdot G_4$ szorzatok közös tagjainak megfigyeléséből írhatjuk fel:

$${}^2F': (1, 4)(2, 3) \quad \text{és} \quad (1, 3)(2, 4)$$

ismét egyezésben a 16. ábrával.

A 2. tétel lényegében megtalálható a [3]-ban. Az alkalmazás kedvéért ezt a tételt a jelenlegi változatára egyszerűsítettük.

Programvázlat (transzfer) impedancia felírásához

Az eddig vázoltak ismeretével meg lehet alkotni azt a programvázlatot, amelynek birtokában digitális számológéppel ki lehet számíttatni egy hálózat

(transzfer) impedanciáját. Ehhez a korábbi algoritmus gépi átformálása szükséges.

Tekintsünk egy lineáris, koncentrált paraméterű, passzív és invariáns hálózatot, legyen a hálózat G gráfja n csúcspontú. Számozzuk meg tetszőleges sorrendben a csúcsokat. Ezzel a hálózatgráf éleit is egyértelműen reprezentálhatjuk a szokásos számpár formájában. A digitális számológéppel közölni kell egyrészt a hálózat gráfját, másrészt az áramkörti elemek paramétereit (nevezetesen az éladmittanciákat operátoros alakban), valamint a (transzfer) impedancia képzéséhez szükséges kapocspárokat. Ezután gondoskodnunk kell arról, hogy a számológép utasítások sorozatának végrehajtása során előállítsa az összes fát, és a feltételeknek megfelelő kettőfákat, mégpedig „előjelestől”. Majd a kapott kettőfákba és fákba „helyettesítse” be a megfelelő éladmittanciákat, végezze el a szükséges szorzásokat és összevonásokat, s eredményül közölje a (transzfer) impedancia számálóját és nevezőjét.

A hálózat gráfjának megadására egy négyzetes mátrixban történő megadást találtunk célszerűnek:

$$G: \begin{pmatrix} 0 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 0 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & 0 \end{pmatrix},$$

ahol $a_{ij}=a_{ji}=1$, vagy 0 aszerint, hogy az i -edik csúcspont a j -edikkel éllel össze van-e kötve vagy sem. A G -hez tartozó mátrix i -edik sorvektora éppen az „ i ” csúcsához tartozó csúcsvágatpolinom együtthatóiból alkotott sorozat ($i=1, \dots, n$). A korábban szereplő 1. tétel értelemszerű alkalmazásával a hálózatgráf fát úgy állíthatjuk elő, hogy a fenti mátrix valamelyik (pl. n -edik) sorát törölve képezzük a nem 0 mátrixelemeknek megfelelő élek szorzatát oly módon, hogy minden sorból egy elemnek megfelelő élet tekintünk. A szorzat által reprezentált részgráfot írjuk a következő alakba:

$$G_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & \dots & n-1 \\ k_1 & k_2 & k_3 & \dots & k_{n-1} \end{bmatrix}.$$

A felírás első sora a nem 0 mátrixelem sorindexe, a második sor pedig a megfelelő oszlopindex. Világos, hogy az egymás alá írt i, k_i számpár éppen azt jelenti, hogy a részgráf élei között előfordul az (i, k_i) él. Nyilván a felírásból elhagyhatjuk az első sort, így a tekintett részgráfot előállítása során egy $(n-1)$ számból álló számsorozat reprezentálja. Azaz $G_1 = (k_1, \dots, k_{n-1})$.

Az 1. tétel alkalmazása további részében az így képzett összes sorozatból elhagyandók a párosan előforduló részgráfokat reprezentáló sorozatok, és az egy él négyzetét tartalmazó tagnak megfelelő sorozatok. Ez utóbbit könnyen fel lehetne ismerni a számsorozat formában, ugyanis szerepelni kell valamelyik (i, k_i) egymás alá írt számpárnak (k_i, i) alakban is. Sokkal nehezebb a helyzet a párosan előforduló tagok sorozat-megfelelőjénél. (Ezek ugyanis nem szükségképp egyeznek meg, mert a sorozatos előállítás nem egyértelmű.)

A probléma megoldását az szolgáltatja, hogy a gépi program elkészítésénél eltérünk az 1. tétel teljes al-

kalmazásától. A tételnek csak azt a részét használjuk ki, hogy ezek között a sorozatok között az összes fa egyetlen példányban reprezentálva van. Bevezetjük az ún. ciklusvizsgálatot [4].

Tekintsünk egy $(k_1, k_2, \dots, k_{n-1})$ sorozattal reprezentált részgráfot. *Ciklusvizsgálatnak* nevezzük a következő eljárást: szemeljük ki a

$$(k_1, k_2, \dots, k_{n-1}) = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & \dots & n-1 \\ k_1 & k_2 & k_3 & \dots & k_{n-1} \end{bmatrix}$$

kifejezésből az első sor i -edik elemét, és figyeljük meg az alatta szereplő k_i számot. Majd keressük meg az első sor elemei között ezt a k_i számot. Ha megtaláltuk, akkor ismételjük meg az eljárást ezzel az elemmel stb. Két eset lehetséges:

1. A ciklusvizsgálat véges sok lépés után megszakad. Ez akkor, és csak akkor következik be, ha az utolsó lépésnél $k_i=n$ szerepelt, továbbá a lépések száma legfeljebb $n-1$.

2. A ciklusvizsgálat vég nélkül folytatható. Ebben az esetben a k_i -számok között előfordul olyan elem, amely már a kiszemelt i számok között is előfordult. Az első ilyen k_i elemtől kezdve a vizsgálat periodikussá válik. Világos, hogy ilyen esetben $k_i=n$ nem fordulhat elő.

A ciklusvizsgálat a részgráf bizonyos élei mentén történő bejárását jelenti. Véges lépésű vizsgálat esetén a gráf először kiszemelt i -edik csúcspontjából elindulva eljutunk az n -edik csúcspontig. Vég nélkül folytatható esetben a bejárás során a gráf egy „ciklusába” kerültünk, ahonnan „nem tudunk kiszabadulni”. Ez a „ciklus” lehet pl. egy hurok, de lehet egyetlen él is, amely mentén „oda-vissza haladunk”. Ez utóbbi eset akkor következik be, ha a részgráfnak megfelelő polinomszorzat valamelyik él négyzetét tartalmazza.

Teljes ciklusvizsgálatnak nevezzük a ciklusvizsgálatok olyan sorozatát, amelynek során az 1. elemmel kezdjük a vizsgálatot, véges lépésű vizsgálat esetén rendre a 2, 3, ... elemekkel újabb ciklusvizsgálatot indítunk, egészen addig, amíg vagy vég nélkül folytatható eljáráshoz jutunk, vagy az $n-1$ csúcspontból indított vizsgálat is megszakad.

3. Tétel

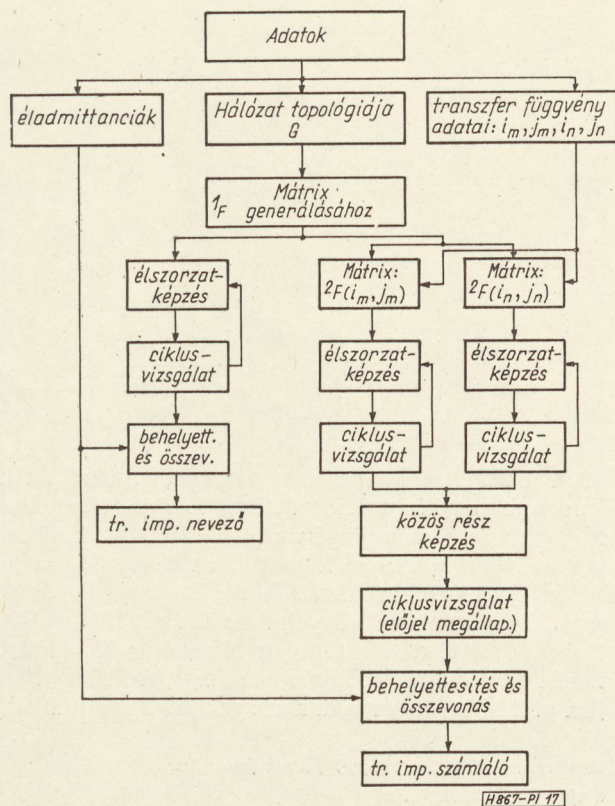
Az

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & \dots & n-1 \\ k_1 & k_2 & k_3 & \dots & k_{n-1} \end{bmatrix}$$

által reprezentált részgráf akkor és csak akkor fa, ha a rajta végrehajtott teljes ciklusvizsgálat véges sok lépés után megszakad [4]. Tekintettel arra, hogy ez a tétel az irodalomban nem ismert, így ennek bizonyítását is megadjuk.

1: Tegyük fel, hogy a tekintett részgráf fa. Mivel a fa mindig hurokmentes, és minden előforduló él csak egyszer szerepel benne, szükségképpen minden ciklusvizsgálat véges lépésben megszakad. Hasonló érvényes a teljes ciklusvizsgálatra is.

2. Tegyük fel a továbbiakban, hogy a tekintett részgráfon végrehajtott teljes ciklusvizsgálat véges lépésben megszakad. Ez esetben;



17. ábra

a) A részgráf tartalmazza mind az n csúcspontot, mert a ciklusvizsgálat definíciójánál látott 1. eset szerint valamelyik $k_i = n$.

b) Összefüggő. Ugyanis bármely i csúcspontból bármely j csúcspontba eljuthatunk gráfélek mentén úgy, hogy i -ből egy ciklusvizsgálat során n -be, majd n -ből a j -edik csúcspontba a j -ből indított ciklusvizsgálat által megszabott bejárás megfordításaként. Végeredményben tehát i -ből j -be gráfélek mentén jutottunk el.

c) A tekintett részgráf definíciója folytán $n-1$ élet tartalmaz. Az élek feltétlenül különböznek, mert ha volna közöttük két azonos él, akkor a teljes ciklusvizsgálat valamelyik része vég nélkül folytatható volna.

d) A tekintett részgráf hurokmentes. Ugyanis, ha tartalmazna hurkot, annak valamelyik élét törölve mind az összefüggőség továbbra fennállna, mind a csúcspontok száma változatlan maradna. Véges sok törléssel minden hurkot meg lehetne szüntetni. Ekkor egyrészt „fához” jutnánk, másrészt c) miatt az így előállott „fa” éleinek száma $(n-1)$ -nél kevesebb lenne, ez pedig lehetetlen.

Végeredményben a), b) és d) teljesülése azt jelenti, hogy a tekintett részgráf valóban fa, amivel a tételt bebizonyítottuk.

Az összes fa generálásának gépi útja a következő:

Képezzük rendre a fent említett módon a gráf-mátrix összes 1 elemének kombinációihoz tartozó $(n-1)$ tagú sorozatokat. Ilyen sorozatképzés úgy is történhet, hogy egy számláló egység n -es alapú számrendszerben végigszámlál az 111...1-ből kiindulva $(n-1)$ számjegy! az $nnn...n$ számig. Minden egyes

képzett sorozat esetén megvizsgálandó, hogy a megfelelő mátrixelemkombinációk elemei között van-e 0? Ha igen, úgy a számlálóegység máris továbbszámlál. Az 1. tétel folytán ezek között a sorozatok között az összes fa reprezentálva van. Majd minden egyes sorozaton teljes ciklusvizsgálatot hajtunk végre. Ha a ciklusvizsgálat véges sok lépésben megszakad, a képzett részgráf valóban fa.

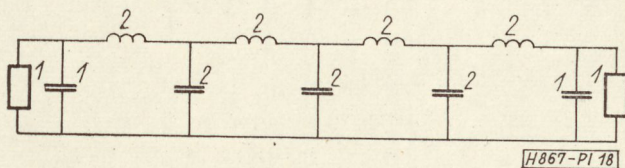
A 2. és a 3. tétel értelemszerű alkalmazásával hasonló egyszerűséggel generálhatók az i_m és j_m csúcspontot külön részükben tartalmazó összes kettőfa reprezentációk is. E célból csupán a generáló mátrix i_m és j_m sorát kell törölni, és így képezni a nem 0 mátrixelemkombinációknak megfelelő gráfélszorzatokat. A ciklusvizsgálat némi módosításával ezekből a reprezentációkból is kiválogathatók a kívánt összes kettőfák. Az eljárást az i_n és j_n sor törlésével megismételve előállnak az i_n és j_n csúcspontokat külön részükben tartalmazó összes kettőfák. A két eljárás során adódott kettőfa halmazok közös részét képezve nyerjük a korábban szereplő topológiai formula alkalmazásához szükséges kettőfákat. E kettőfák „előjelét” ismét a ciklusvizsgálattal lehet eldönteni. Ha a kettőfa az i_m és i_n csúcspontot összefüggő részében tartalmazza, akkor előjele pozitív, ha az i_m és j_n csúcspontok vannak összefüggő részben, akkor negatív. Annak megállapítása, hogy i_m és i_n csúcsok egy szóban forgó kettőfa összefüggő részében vannak-e, vagy sem, ciklusvizsgálattal történhetik, hasonló elven, mint ahogyan azt a 3. tétel bizonyításának c) részében láttuk [4].

Egy transzfer impedancia függvény felírására szolgáló programvázlatot láthatunk a 17. ábrán (17. ábra).

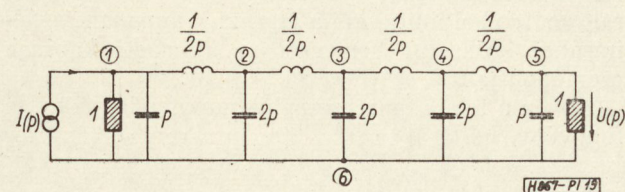
Példa

Tekintsünk egy valós lezárások között működő Wagner-szűrőt, amelynek kapcsolási rajza a 18. ábrán látható relatív egységekben. Számozzuk meg a hálózat csomópontjait 1-től 6-ig. Kapcsoljunk a szűrő bemenetére (1. és 6. pont közé) egy $I(p)$ forrásáramú ideális áramgenerátort, s ennek hatására jelenjen meg a szűrő kimenetén (5. és 6. pontok között) $U(p)$ feszültség. A viszonyokat a 19. ábrán szemléltetjük.

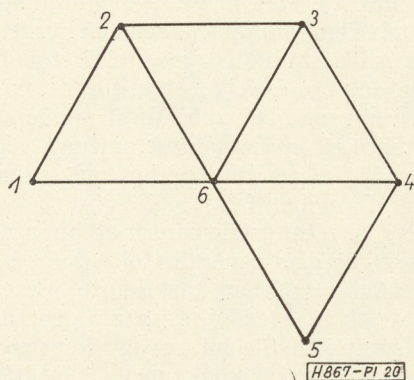
A feladat: írjuk fel a szűrő $\frac{U(p)}{I(p)}$ transzfer



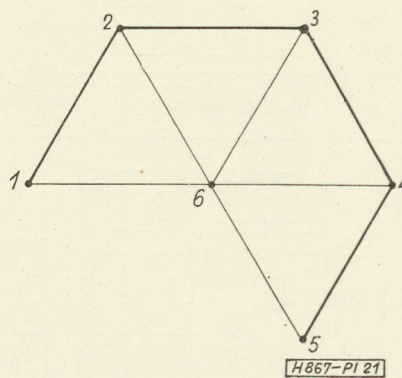
18. ábra



19. ábra



20. ábra



21. ábra

impedancia függvényét. A 19. ábrán az áramköri elemekre mindjárt azok operátoros admittanciáit írtuk fel. Nyilván az ágadmittanciák szorzatának számolásánál az 1–6 és az 5–6 pontok között a párhuzamos kapcsolts admittanciák összegével kell számolni. A hálózat gráfja a 20. ábrán látható. Ebből azonnal fel tudjuk írni a hálózatgráf mátrix alakját:

$$G: \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Közönséges fák generálásához alkalmas mátrix áll elő pl. a 6. sor törlésével:

$${}^1F: \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

A szóban forgó ${}^2F(1, 6)$ és ${}^2F(5, 6)$ kettősfák generálásához pedig az 1. és 6., illetve az 5. és 6. sorok törlésével a következő mátrixok adódnak:

$${}^2F(1, 6): \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^2F(5, 6): \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Mindhárom mátrixot a számológép az első, ún. generáló mátrixból állítja elő a transzfer impedancia felírásához szükséges bemeneti és kimeneti csomópontjainak származása alapján.

Ebben a feladatban szereplő transzfer impedancia függvény felírását a részletes program elkészítése

után a múlt év májusában a szegedi József Attila Tudományegyetem Kibernetikai Laboratóriumának **M-3-M** típusú számológépén elvégeztettük. Érdekeség kedvéért a géppel kiírtattuk az összes fát, a felteteleknek megfelelő kettősfákat, és azok közös részét. Ezeket az eredményeket az 1. és 2. táblázatban összegyűjtöttük. A közönséges fák száma 55, a kettősfáké külön-külön 34, közös elemük 1, előjele pozitív. (Ez utóbbi különben a hálózat gráfjából azonnal adó-

1. táblázat

A Wagner-szűrő (közönséges) fájának felsorolása

Sorindex: 1, 2, 3, 4, 5,
gépi eredmények:

61234	26234	66234	61634	23634	63634	26634
66634	61264	26264	66264	61464	23464	63464
26464	66464	61664	23664	63664	26664	66664
61236	26236	66236	61636	23636	63636	26636
66636	61256	26256	66256	61456	23456	63456
26156	66456	61656	23656	63656	26656	66656
61266	26266	66266	61466	23466	63466	26466
66466	61666	23666	63666	26666	66666	

összesen 55 (közönséges) fa

Például a 61256 sorozat reprezentálja a

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 6 & 1 & 2 & 5 & 6 \end{bmatrix} = (1, 6) + (1, 2) + (2, 3) + (4, 5) + (5, 6)$$

(közönséges) fát.

2. táblázat

A Wagner-szűrő kettősfájának felsorolása

Sorindex: 2, 3, 4, 5

1234	6234	1634	3634	6634	1264	6264	1464
3464	6464	1664	3664	6664	1236	6236	1636
3636	6636	1256	6256	1456	3456	6456	1656
3656	6656	1266	6266	1466	3466	6466	1666
3666	6666						

összesen 34 kettőfa

Sorindex: 1, 2, 3, 4

6123	2623	6623	6163	2363	6363	2663	6663
6125	2625	6625	6145	2345	6345	2645	6645
6165	2365	6365	2665	6665	6126	2626	6626
6146	2346	6346	2646	6646	6166	2366	6366
2666	6666						

összesen 34 kettőfa

A kettőfa halmazok közös része a +234500, ill. +012340. Valóban:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 4 & 5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 3 & 4 & 5 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{bmatrix} = (1, 2) + (2, 3) + (3, 4) + (4, 5)$$

dik, ha meggondoljuk, hogy olyan kettőfára van szükség, amely külön részében tartalmazza az 1. és 6., valamint az 5. és 6. csúcsokat. Az egyetlen, a felteteleknek eleget tevő kettősfát a 21. ábrán látjuk.)

A számológépi végeredmény a transzfer függvényre vonatkozóan:

$$\frac{U(p)}{I(p)} = \frac{1}{128p^9 + 256p^8 + 448p^7 + 512p^6 + 480p^5 + 336p^4 + 164p^3 + 60p^2 + 16p + 2}$$

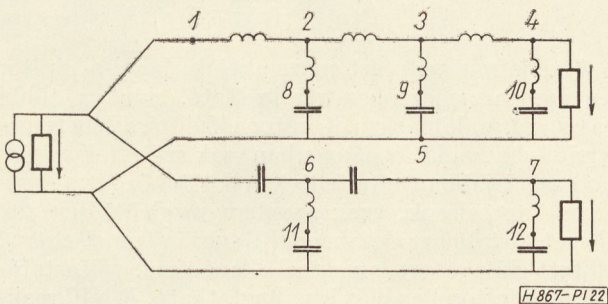
Magát a programot **M-3-M** gépi nyelven írtuk fel. A program lefuttatásához szükséges teljes memória igény kb. 350 gépi szó, amely a következő módon oszlik meg: utasításra 250 szó, a munkarekeszek száma (gépi állandók, hálózat adatai, elemek operátoros admittanciái, meghajtási feltételek stb.) kb. 100 gépi szó. A felhasznált számológép számolási sebessége 1000 művelet/sec, a kiírás telexszel. A program futtatási ideje leírással együtt kb. 13 perc. A gép közvetlenül a transzfer függvény számlálóját és nevezőjét írta ki.

Összefoglalás

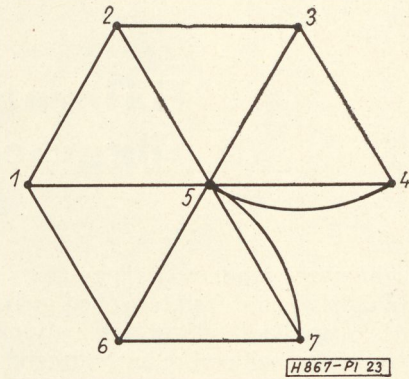
E cikkben ismertetett, transzfer függvény felírására szolgáló módszer használatánál egy sereg olyan szempont érvényesül, amely a többi hálózatelméleti módszernél szokatlan. Nevezetesen a számítási munkák tömegessé válása gépi eljárás esetén kedvezőbb helyzetet teremt, ha ennek árán az eljárások „egyhöntetűbbek”. A programozás szempontjából könnyebb és egyszerűbb az ismétlődő program végrehajtása, mint új program adása. Ilyen szempontból a cikkben vázolt módszer kiválóan alkalmas programozásra. Ezt az egyszerű algoritmus biztosítja.

Néha analízisnél célszerű a hálózat topológiáját komplikálni, ha ezzel az ágadmittanciák egyszerűbbé válnak. Például tekintsük a 22. ábrán látható váltószűrő elemzését (22. ábra). A hálózat gráfja tekinthető úgy is, mint egy 7 csúsponttal rendelkező gráf (23. ábra), de úgy is felfogható, mint egy 12 csúspontú gráf (24. ábra). Nyilván a második felfogás célszerűbb, mert ebben az esetben egyrészt az ágadmittanciák egyszerűbbé váltak, másrészt megszűntek a kettős élek. Érdekes volt tehát a hálózat topológiáját további csúspontok figyelembevételével bonyolultabbá tenni.

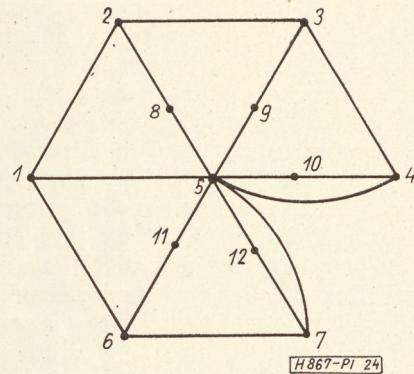
A gráfelmélet alkalmazása a hálózatelméletben távolról sem merül ki transzfer függvények felírásában. Mindenütt használható, ahol sikerült valamely villamos tételt topológiai formulában megfogalmazni. Így pl. lehetséges hálózatérzékenységi számítást is végezni gráfelmélet segítségével. Ehhez pusztán a hálózatfüggvény valamelyik admittancia szerinti dif-



22. ábra



23. ábra



24. ábra

ferenciálhányadosát kell topológiai formulában megfogalmazni. Ha pl. a hálózatfüggvény transzfer impedancia, mint a jelen dolgozatban, akkor a hálózatérzékenységi függvény gépi úton való előállításához szükség van háromfák, négyfák generálásához is; e részgráfok módszeres előállítása nem kíván új módszert, csupán a cikkben vázolt módszer további alkalmazását [4].

Itt nyilvánítok hálás köszönetet dr. Géher Károly docens és Trón Tibor tanársegéd uraknak azért az önzetlen segítségért, tanácsért, útbaigazításért, amelyet számomra nyújtottak.

IRODALOM

1. Hajnal András: Gráfelmélet. Matematika a matematikai osztályok számára III. kötet, Tankönyvkiadó, 1966.
2. Hakimi, S. L.—Green, D. G.: Generation and realization of trees and K-trees. IRE Trans., 1964. CT-11, 247 o.
3. Maxwell, L. M.—Cline, J. M. Jr.: Topological network analysis by algebraic methods. Electronics Record, Proc. IEE, London, Aug. 1966. 1344—1347 o.
4. Pávó Imre: Diplomaterv a BME Vezetékes Híradástechnikai Tanszékén, 1967.
5. Seshu, S.—Reed, M. B.: Linear graphs and electrical networks. Addison-Wesley, 1961.

Hálózatfüggvények gyökeinek függése az áramkörü elemektől

ETO: 517.5: 621.372.2

Lineáris szabályozó rendszerek, passzív és aktív áramkörök analizisében és szintézisében gyakran felmerülő kérdés, hogy ha a hálózat valamely elemének vagy más paraméterének értéke megváltozik, hogyan változik meg a vizsgált hálózatfüggvény. Ezen belül is két külön problémakör van. Az egyik a paraméterek kis megváltozásainak hatását vizsgálja. Ez a megváltozás létrejöhet a gyártott elemeknek a névleges érték körüli szórása, öregedés, alkatrészcsere, hőhatás által. A cél az, hogy a hálózatfüggvényben az ennek következtében létrejövő megváltozás minimális legyen. Ennek vizsgálatára vezették be az érzékenység fogalmát. Az érzékenység vizsgálata különösen fontos lehet aktív elemet tartalmazó hálózatoknál, mivel az aktív elemeknél lényegesen nagyobb paraméterváltozásokkal számolhatunk. A másik problémakör a változtatható paraméterű hálózatoké. Itt a paraméterek nagy változásait kell figyelembe venni, a hálózatfüggvény változása már nem írható le az érzékenység meghatározásával.

Jelen dolgozat ezekhez a témákhoz kapcsolódik. Ezen belül is azt a kérdést vizsgálja, hogy a hálózat frekvencia és időtartománybeli viselkedését meghatározó zérusok és pólusok hogyan változnak meg valamelyik paraméter megváltozásának hatására. Látni fogjuk, hogy ehhez általában a szabályozástechnikából ismert gyök-helygörbék, vagy pólus-helygörbék elméletét használhatjuk fel.

A helygörbék a pozitív és negatív paraméterértékekre is meg kell határoznunk. Bizonyos áramkörü elemek, mint pl. a modern hálózatelméletben jelentős szerepet játszó girátor vagy negatív impedancia konverter alkalmazásánál az elmélet további kiterjesztésére van szükség. A feladat a paraméterre nézve másodfokú karakterisztikus egyenlet gyök-helygörbéi tulajdonságainak a meghatározása.

1. A hálózatfüggvény függése az áramkörü elemek értékétől

Bode bilineáris tétele alapján ismeretes, hogy egy lineáris, nem szükségszerűen reciprok hálózatban a hálózatfüggvény (bemenő impedancia, transzfer függvények) egy tetszőleges kétpólusú áramkörü elem immittanciájának vagy a vezérelt generátor átvitelének x értékétől bilineáris formában függ:

$$F(x, p) = \frac{A(p) + B(p)x}{C(p) + D(p)x} \quad (1)$$

Ahol $F(x, p)$ a hálózatfüggvény, $A(p)$, $B(p)$, $C(p)$, $D(p)$, pedig a hálózat más elemei által meghatározott értékek, amelyek általában a p komplex frekvencia polinomjai. A hálózatban azonban egyéb elemek is előfordulhatnak, amelyre a bilineáris forma már nem

érvényes. Ezek közül az ideális transzformátor a legismertebb.

Passzív nonreciprok hálózatok leírásának alapvető eleme az ideális girátor. A girátor egy négypólus, amelyet impedancia mátrixával jellemezhetünk:

$$Z_{16} = \begin{bmatrix} 0 & -R \\ R & 0 \end{bmatrix} \quad \text{tehát } Z_{12} = -Z_{21} \quad (2)$$

A girátor megfelelő lezárások között izolátor és csuklósor kapcsolására alkalmas, impedancia inverterként használható, ha induktivitással (ill. kapacitással) zárjuk le, a bemeneti impedancia kapacitást (ill. induktivitást) mutat. Két girátort kaszkádba kapcsolva ideális transzformátort kapunk. Girátorral, ellenállással, kapacitással (vagy induktivitással) tehát egy teljes passzív nonreciprok hálózatot le lehet írni.

A negatív impedancia konverter (NIC) különösen aktív RC hálózatok szintézisében tett szert nagy jelentőségre. Ez egy aktív, nonreciprok négypólus, amelynek láncmátrixa

$$A_{NIC} = \begin{bmatrix} k & 0 \\ 0 & -1/k \end{bmatrix} \quad (3)$$

Ha $k > 0$, áram típusú, ha $k < 0$, feszültség típusú NIC-ről beszélünk. A NIC-t Z impedanciával lezárva a bemeneten $-k^2 Z$ impedancia látható, ezért negatív ellenállás megvalósítására alkalmas. Két láncbakapcsolt NIC szintén ideális transzformátort eredményez. RC hálózatba NIC-t vagy girátort helyezve komplex pólusokat valósíthatunk meg.

Kimutatható [1], hogy a hálózatfüggvény az ideális transzformátor áttételére, a girátor ellenállására vagy a NIC konverziós tényezőjére általában bikvadratikus alakú:

$$F(x, p) = \frac{A(p) + B(p)x + C(p)x^2}{D(p) + E(p)x + F(p)x^2} \quad (4)$$

A teljesség kedvéért megemlítjük, hogy a girátor lényegesen nehezebben realizálható, mint a többi passzív áramkörü elem. Girátor előállítása lehetséges ferritek használatával, azonban csak szűk frekvenciasávban. Újabban elterjedtek a különböző tranzisztros kapcsolások, ezek azonban meglehetősen sok elemet tartalmaznak. Sheno [2] három tranzisztzorral állított elő girátort, amelynél ellenállások változtatásával a girátorellenállás is változtatható. A NIC realizálása jól megoldott feladat. Két tranzisztzor felhasználásával lehetséges feszültség és áram típusú NIC előállítása [3].

2. A gyök-helygörbék módszere

Definíciószerűen gyök-helygörbének [4], [5], [7] nevezzük az (5) karakterisztikus egyenlet gyökeinek

elhelyezkedését a komplex frekvencia síkon, ha az x zérustól végtelenbe tartó pozitív változó, vagy zérustól negatív végtelenbe tartó negatív változó valós paraméter. $A(p)$ és $B(p)$ valós együtthatójú polinomok, amelyek gyökeit ismertnek tételezzük fel, és legnagyobb kitevőjű hatványuk együtthatója meg-
egyezik.

$$A(p) + x B(p) = 0. \quad (5)$$

A negatív x -re felvett gyök-helygörbét a pozitív x -re kapott helygörbe kiegészítőjének, a kettőt együtt pedig a teljes gyök-helygörbének nevezzük. A szabályozástechnikában általában csak a pozitív paramétert értelmek. Hálózatelméleti alkalmazásoknál azonban gyakran felmerül a negatív előjel, visszacsatolt rendszereknél pedig ez a pozitív visszacsatolás vizsgálatát teszi lehetővé. A továbbiakban a szabályozástechnikai esetnek megfelelően $A(p)$ gyökeit pólusoknak, $B(p)$ gyökeit pedig zérusoknak fogjuk nevezni. Hálózatelméleti példánál ennek az elnevezésnek általában nincs fizikai jelentése, sőt a pólusok és zérusok egészen mást jelentenek, ennek ellenére elkerülhetők az értelmi zavarok.

2.1. Alapegyenletek

Az (5) egyenlet átalakítás után két részre bontható, a (7) fáziskritériumra és a (8) amplitúdókritériumra:

$$x = -\frac{A(p)}{B(p)} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n \arccos(p - p_{pi}) - \sum_{j=1}^m \arccos(p - p_{oj}) = \begin{cases} 180^\circ \pm k \cdot 360^\circ, & \text{ha } x > 0, \\ 0^\circ \pm k \cdot 360^\circ, & \text{ha } x < 0. \end{cases} \quad (7)$$

$$|x| = \frac{\prod_{i=1}^n |p - p_{pi}|}{\prod_{j=1}^m |p - p_{oj}|}, \quad (8)$$

ahol p_{pi} az i -edik pólus, p_{oj} a j -edik zérus.

A fáziskritérium szükséges és elégséges feltételt ad a gyök-helygörbe p pontjaira. Ha valamely p pontra teljesül a fázisfeltétel, a hozzátartozó x paraméter értéket az amplitúdó kritériumból kaphatjuk. Mindkét kritérium alkalmazására igen alkalmas a grafikus módszer, mivel azok távolságokat és szögeket használnak fel. Ebből következik az is, hogy a gyök-helygörbék módszerét leginkább a pólusok változásának gyors, grafikus megbecslésére használják fel.

Az analitikus tárgyalás alapjául a (9) egyenlet szolgál:

$$\operatorname{Im} \frac{A(p)}{B(p)} = 0. \quad (9)$$

Sok esetben hasznos szemléletmódnak bizonyul, ha a helygörbét egy konform leképezés eredményének tekintjük. A karakterisztikus egyenlet az x sík egy vonalát, a valós tengelyt képezi le a p síkon a gyök-helygörbébe. Ez főként az elágazási pontok és az érzékenység számításánál célszerű.

2.2. Szabályok a gyök-helygörbék meghatározására

A következőkben röviden összefoglaljuk a gyök-helygörbék meghatározására szolgáló főbb szabályokat.

2.2.1. Ha x -et 0-tól kezdjük növelni, a helygörbe a pólusokból indul.

2.2.2. $x \rightarrow \infty$ esetén a helygörbe a zérusokban végződik.

2.2.3. A szétválasztható helygörbék száma megegyezik a pólusok vagy zérusok számával, attól függően, hogy melyik a nagyobb.

2.2.4. Tekintsük a valós tengely egy pontját. Ha ettől a ponttól jobbra fekvő, a valós tengelyen levő pólusok és zérusok összege páratlan, akkor a pont a pozitív x -hez, ha páros, a negatív x -hez tartozó helygörbén van rajta.

2.2.5. A gyök-helygörbe nem változik, ha a pólusok és zérusok szerepét felcseréljük, eltérés csak a paraméterezésben lesz. Az új paraméter: $u = 1/x$.

2.2.6. A helygörbe indulási szöge a k -adik pólusból:

$$\Theta_k = \sum_j \arccos(p_{pk} - p_{oj}) - \sum_{i \neq k} \arccos(p_{pk} - p_{pi}) + \begin{cases} 180^\circ \pm k \cdot 360^\circ, & \text{ha } x > 0 \\ 0^\circ \pm k \cdot 360^\circ, & \text{ha } x < 0. \end{cases} \quad (10)$$

2.2.7. Tegyük fel, hogy $n > m$. Ekkor $n - m$ aszimptota létezik, amelyek metszéspontja

$$p_A = \frac{\sum_i \operatorname{Re} p_{pi} - \sum_j \operatorname{Re} p_{oj}}{n - m}, \quad (11)$$

hajlásszögük pedig

$$x > 0 \text{ esetén } \varphi_A = \frac{180^\circ}{n - m} \pm \frac{k \cdot 360^\circ}{n - m}, \quad (12)$$

$$x < 0 \text{ esetén } \varphi_A = \pm \frac{k \cdot 360^\circ}{n - m}. \quad (13)$$

Az $n = m$ esetében is fellépnek aszimptoták (leggyakrabban a valós tengely), ha $x \rightarrow -1$. Ezek a paramétertranszformációval a leírt módon meghatározhatók.

2.2.8. Az elágazási pontok meghatározásánál az a kiindulás, hogy ezekre a pontokra a leképezés elveszti konform tulajdonságát, tehát szükséges, hogy

$$\frac{dx}{dp} = 0 \quad (14)$$

legyen.

Átalakítások után iteratív megoldásra is igen alkalmas egyenlet adódik:

$$\sum_i \frac{1}{p - p_{pi}} - \sum_j \frac{1}{p - p_{oj}} = 0. \quad (15)$$

A levezetés nem használta ki, hogy x valós, ezért az egyenletnek olyan megoldásai is lehetnek, amelyek nincsenek rajta a gyök-helygörbén.

2.2.9. Legyen u valós változó $-\infty$ -tól $+\infty$ -ig, és legyen

$$x = \frac{\alpha + \beta u}{\gamma + \delta u}, \quad (16)$$

ahol $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ valós számok. Ekkor x is valós, és $-\infty$ -tól $+\infty$ -ig minden értéket felvesz. A karakterisztikus egyenletbe helyettesítve, átrendezés után az új karakterisztikus egyenlet:

$$\left(A(p) + \frac{\alpha}{\gamma} B(p)\right) + \frac{u}{\gamma\delta} \left(A(p) + \frac{\beta}{\delta} B(p)\right) = 0. \quad (17)$$

Ez az egyenlet azt fejezi ki, hogy a teljes helygörbék bármely összetartozó pontjait tekinthetjük pólusoknak vagy zérusoknak, ezek ugyanazokat a geometriai elhelyezkedésű gyök-helygörbéket szolgáltatják.

2.2.10. Minden p -re legfeljebb másodfokú karakterisztikus egyenlet gyök-helygörbéi csak egyenes és kör szakaszokat tartalmaznak.

2.2.11. Legyen T_1 a $G_1(p)$ -hez T_2 a $G_2(p)$ -hez tartozó teljes gyök-helygörbe [6].

$$x_1 = G_1(p) \quad \text{és} \quad x_2 = G_2(p).$$

Ekkor T_1 és T_2 metszéspontja a $G_1(p)$ $G_2(p)$ gyök-helygörbéjén van rajta, és a $G_1(p)$ $G_2(p)$ helygörbéje nem metszheti T_1 és T_2 maradék részét. A tétel alapján egybeeső új pólus-zérus pár bevezetésével a következő gyök-helygörbék pontjait lehet egyenesek és körök metszéspontjaként megszerkeszteni:

$$n=3, m=0; \quad n=3, m=1; \quad n=4, m=0.$$

2.3. A gyök-érzékenység

A paraméterre vonatkoztatott félig relatív érzékenység:

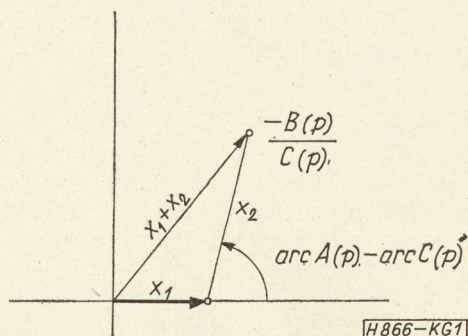
$$S_x^p = x \frac{1}{dx} = -\frac{A}{B} \frac{-B^2}{A'B - AB'} = \frac{AB}{A'B - AB'}. \quad (18)$$

A számláló A és B gyökei által ismert, a nevezőt pedig szintén gyökeiből célszerű meghatározni. Ezt megkönnyíti az, hogy (14) alapján az elágazási pontok is ezek közé tartoznak. Látható, hogy a félig relatív érzékenység a pólusokban és zérusokban zérus, az elágazási pontokban pedig végtelen.

3. Gyök-helygörbék másodfokú esetben

Az x -re másodfokú karakterisztikus egyenlet (19) gyök-helygörbéjének meghatározása lényegesen bonyolultabb feladat [7], [8].

$$A(p) + B(p)x + C(p)x^2 = 0. \quad (19)$$



1. ábra

Ebben az esetben a (6)-hoz hasonló szorzat felbontás általában nem lehetséges, ezért több esetben is új vizsgálati módszerekre van szükség. A karakterisztikus egyenletet ezúttal is $A(p)$, $B(p)$ és $C(p)$, p_{ai} , p_{bi} , p_{ci} gyökeivel, és a legmagasabb hatványuk A_0 , B_0 , C_0 együtthatóival tekintjük adottnak. A továbbiakban feltesszük, hogy az egyenlet mindhárom együtthatója létezik. Ellenkező esetben az egyenlet közvetlenül első fokúra redukálódik.

A másodfokú gyök-helygörbékkel az irodalom eddig nem foglalkozott. A következőkben azokat az eredményeket szeretnénk röviden bemutatni, a részletes tárgyalást sok helyen mellőzve, amelyeket vizsgálataink során kaptunk.

3.1. Első fokú esetre redukálhatóság

Megmutatjuk, hogy ha valamelyik együttható gyökei a másik két együttható gyökei, mint pólusok és zérusok által meghatározott teljes helygörbe összetartozó pontjai, akkor a másodfokú helygörbe az így kapott első fokú helygörbe része. Ekkor a $B(p)$ és $C(p)$ által „kifeszített” helygörbe egyenlete (2.2.9. értelmében bármely két együtthatót választhatjuk):

$$B(p) + u C(p) = 0. \quad (20)$$

$A(p)$ így írható fel:

$$A(p) = \alpha [B(p) + \gamma C(p)].$$

(19)-be helyettesítve:

$$0 = \alpha [B(p) + \gamma C(p)] + x B(p) + x^2 C(p) = (\alpha + x) B(p) + (\gamma + x^2) C(p).$$

(20)-al összehasonlítva:

$$u = \frac{\gamma + x^2}{\alpha + x}.$$

u valós paraméter, amelyek értelmezési tartományát γ és α határozzák meg. Látható az is, hogy a paramétertranszformáció során egy u értékhez két x is tartozhat, tehát a helygörbének kétszeres pontjai is lehetnek.

3.2. Az általános másodfokú helygörbék származtatása az első fokú helygörbékéből

Könnyen beláthatjuk, hogy a másodfokú karakterisztikus egyenlet olyan első fokú karakterisztikus egyenletre vezethető vissza, amelynek pólusai vagy zérusai változnak a paraméter változtatásával. Ugyanis:

$$\begin{aligned} A(p) + x B(p) + x^2 C(p) &= \\ &= \begin{cases} A(p) + x[B(p) + x C(p)] & (21a) \\ [A(p) + x^2 C(p)] + x B(p) & (21b) \\ [A(p) + x B(p)] + x^2 C(p) & (21c) \end{cases} \end{aligned}$$

21a-ban például $A(p)$ gyökei a pólusok, a zérusok pedig a

$$B(p) + x C(p) = 0 \quad (22)$$

egyenlet gyökei. Ezeknek a gyököknek a változása ismét első fokú gyök-helygörbék mentén történik. A másodfokú helygörbe egy pontját tehát első fokú

helygörbék ismételt alkalmazásával kaphatjuk meg. Nem szabad megfeledkeznünk azonban arról, hogy a (22) kifejezést nemcsak a gyökei, hanem a legmagasabb kitevőjű tag együtthatója is jellemzi, ami szintén változik x -szel abban az esetben, ha $C(p)$ fokszáma nem kisebb, mint $B(p)$ fokszáma. Az ezen az elven alapuló szerkesztés alacsonyabb fokú rendszerek esetében célszerű.

3.3. Szabályok másodfokú helygörbék vizsgálatára

A 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.2.5., 2.2.6. tulajdonságok másodfokú esetben is ugyanúgy vizsgálhatók, mint ahogy az irodalomban az első fokú esetre ismeretes. Ennek alapján a következő szabályok vezethetők le:

3.3.1. x -et 0-tól növelve a helygörbe $A(p)$ gyökeiből indul.

3.3.2. $x \rightarrow \infty$ esetén a helygörbe $C(p)$ gyökeiben végződik.

3.3.3. A szétválasztható görbék száma megegyezik $A(p)$, $B(p)$, $C(p)$ fokszámai közül a legnagyobbval.

3.3.4. $A(p)$ és $C(p)$ felcserélése csak a paraméterezésben okoz eltérést. Nem elegendő csak a gyököket, hanem A_0 és C_0 -át is fel kell cserélni. Ugyanis három együttható van, ebből egyet egységnyiinek választhatunk, a másik kettő közül pedig egyszerre csak az egyiket lehet a paraméterben figyelembe venni. A fenti szabályok alapján $A(p)$ gyökeit pólusoknak, $C(p)$ gyökét pedig zérusoknak nevezhetjük.

3.3.5. A k -adik pólusból való indulás szögére érvényes:

$$\Theta_k = \sum_a \arccos(p_{ak} - p_{bj}) - \sum_{i \neq k} \arccos(p_{ak} - p_{ai}) + \begin{cases} 180^\circ \pm k \cdot 360^\circ, & \text{ha } \frac{x B_0}{A_0} > 0, \\ 0^\circ \pm k \cdot 360^\circ, & \text{ha } \frac{x B_0}{A_0} < 0. \end{cases} \quad (23)$$

$x \rightarrow 0$ esetén ugyanis $x^2 \ll x$, és a négyzetes tag elhagyható.

3.3.6. A valós tengely pontjainak vizsgálatánál az előjelvariációk csökkentése érdekében x -ről felteszünk, hogy pozitív, de A_0 , B_0 , C_0 előjele tetszőleges lehet. Közvetlenül belátható ugyanis, hogy x vagy B_0 előjelének megcserélése a karakterisztikus egyenletben ugyanolyan változást okoz. A valós tengely pontjaira érvényes szabályok:

a) A gyök-helygörbe egyszeres részei azok a szakaszok, amelyekre $A(p)$ és $C(p)$ előjele ellentétes. Ezt A_0 és C_0 előjeléből, és a jobbra fekvő pólusok ($A(p)$ gyökei), és zérusok ($C(p)$ gyökei) számából határozhatjuk meg, az ismert módon.

b) Azon pontok, amelyeknél $A(p)$ és $C(p)$ előjele megegyezik, és $B(p)$ előjele ezzel ellentétes, továbbá $|B|^2 > 4|C||A|$, a helygörbe kétszeres pontjai.

c) A valós tengely egyéb pontjai nem lehetnek a gyök-helygörbén.

3.3.7. Az aszimptoták vizsgálatához a sorfejtés két legmagasabb tagját kell figyelembe venni. A kapott eredmények igen szétágazóak a $2b - (a + c)$ különbségtől függően. A kishetük itt a megfelelő polinomok fokszámát jelentik.

Az aszimptoták megegyezhetnek bármely két együttható által meghatározott helygörbe aszimpto-

táival, de lehetnek tetszőleges irányúak is. Ez utóbbi akkor fordulhat elő, ha $2b = a + c$. Az aszimptoták egymással bezárt szöge szigorúan meghatározott. Metszéspontjuk komplex értéket is felvehet. Ha $2b = a + c - 1$, egy további különleges esettel találkozhatunk. A gyök-helygörbék nem egyenesekhez, hanem dőlt tengelyű parabolákhoz tartanak aszimptotikusan.

3.3.8. A konform leképzéssel kapcsolatban mondtak értelemszerűen alkalmazhatók az elágazási pontokra. (14) és (19) egyenletekből az elágazási pontokra a (24) szükséges, de nem elégséges feltétel nyerhető.

$$(A'C - AC')^2 = (A'B - AB')(CB' - BC'). \quad (24)$$

Ez általában igen magas fokszámú, de iteratív megoldásra alkalmas egyenlet. Az iteratív megoldást elősegítheti az is, hogy az egyes tényezők gyökei között a két együttható által meghatározott gyök-helygörbék elágazási pontjai is megtalálhatók.

3.3.9. Ha a helygörbe meghatározásához a pólusok vagy zérusok helyett a helygörbe más összetartozó pontjait adjuk meg, ezzel együtt a „középső” gyököket ($B(p)$ gyökeit) is meg kell változtatni.

A 2.2.10. és 2.2.11. szabályok másodfokú esetben érvényüket veszítik. A szerkesztésre vonatkozó szabályok ismertetését egy adott p ponthoz tartozó paraméter meghatározására szolgáló módszer ismertetésével fejezzük be.

3.3.10. Legyen az x -re megoldott karakterisztikus egyenlet két gyök x_1 és x_2 , és közülük x_1 valós. Ezekre felírható:

$$u = x_1 + x_2 = -\frac{B(p)}{C(p)}, \quad (25)$$

$$v = x_1 x_2 = \frac{A(p)}{C(p)}. \quad (26)$$

x_2 fázisszöge $A(p)$ és $C(p)$ fázisszögének különbsége. Határozzuk meg $-B(p)/C(p)$ -t az ismert módon. Ennek két ismert szögű komplex szám összegének kell lennie. A szerkesztés ezek után az ábrán látható.

3.4. Érzékenység

Az érzékenység a karakterisztikus egyenletből deriválással határozható meg:

$$S \frac{p}{x} = \frac{dp}{dx} = \frac{B(p) + 2x C(p)}{A'(p) + x B'(p) + x^2 C'(p)}. \quad (27)$$

Ennek általános vizsgálata igen bonyolult. Annyi azonban megállapítható, hogy az elágazási pontokban a gyök-érzékenység ezúttal is végtelen nagy és nemcsak a kezdő és végpontokban lehet zérus értékű.

A továbbiakban a zérus gyök-érzékenység feltételét fogjuk megvizsgálni. Ehhez az szükséges, hogy (27) számlálója 0 legyen. Ezen pontok mértani helye a $B(p)$ és $C(p)$ által meghatározott gyök-helygörbe. Ha p_0 a zérus érzékenységi gyök, átrendezés után:

$$x_0 = -\frac{B(p_0)}{2C(p_0)}. \quad (28)$$

A karakterisztikus egyenlethől:

$$x_0 = -\frac{B(p_0)}{2C(p_0)} \pm \frac{\sqrt{B^2(p_0) - 4A(p_0)C(p_0)}}{2C(p_0)} \quad (29)$$

(28) és (29) egybevetéséből:

$$B^2(p_0) - 4A(p_0)C(p_0) = 0, \quad (30)$$

amiből:

$$\frac{2A(p_0)}{B(p_0)} = \frac{B(p_0)}{2C(p_0)} = -x_0. \quad (31)$$

Fentiekből látható, hogy p_0 -nak az $A(p)$ és $B(p)$ gyök-helygörbéjén is rajta kell lennie.

Tegyük fel, hogy egy helygörbén minden összetartozó gyökhalmaz zérus érzékenyséű, jelöljük ezeket p_{0i} -vel. Ekkor a fentiekből és 2.2.9.-ből következik, hogy a p_{0i} , p_{ai} , p_{bi} , p_{ci} gyökcsoporthoz közül bármely kettő ugyanazokat a helygörbéket határozza meg. Ez egyben azt is jelenti, hogy 3.1. alapján a másodfokú helygörbék is ezeknek az első fokú helygörbéknek a részei.

Szintézis eljárásnál egy adott x értékhez tartozó gyökök ismeretesek, és ezekhez kell $A(p)$, $B(p)$, $C(p)$ -t úgy meghatározni (általában csak kettő szerepel), hogy bizonyos megszorítások mellett (realizálhatóság) valamilyen mellékfeltételt (pl. érzékenység) optimalizáljanak. Láthattuk, hogy teljes másodfokú alak esetében felmerül a zérus érzékenység lehetősége, míg nem teljes másodfokú esetben 2.3. alapján ez csak extrém paraméterértékeknél jöhet létre. Egy, a girátorellenállásra nézve zérus gyök-érzékenyséű nonreciprok fázistoló ismertetése található [7]-ben.

A vázolt szintézis feladat főleg az aktív RC hálózatok szintézisében fordul elő. Adott R vagy k érték mellett (1. pont) kell adott komplex pólusokat úgy megvalósítani, hogy a kiindulási gyökök RC hálózattal realizálhatók legyenek (valós tengelyre esnek),

és emellett az R -re vagy k -ra vonatkoztatott gyök-érzékenység minimális legyen. Ezeknél a hálózatoknál általában $B(p)=0$, és a minimális érzékenységre különböző felbontások ismeretesek. Az általunk leírt kritériumok alapján lehetséges adott komplex p_{0i} értékekhez olyan negatív valós p_{ai} , p_{bi} , p_{ci} gyököket találni, hogy mindegyik p_{0i} érzékenysége zérus legyen. Vizsgálataink azonban azt mutatták, hogy ezek a gyökök RC hálózatokkal nem realizálhatók. A kérdés részletesebb tárgyalása további vizsgálatokat igényel és meghaladja a cikk kereteit. A teljes másodfokú alak használatát a realizálási lehetőségek általában szűk térre korlátozzák. Másrészt viszont a szintézis feladat szigorúságának enyhítésével növelhetjük a gyökök elhelyezkedési lehetőségét, és ezzel könnyíthetjük a realizálást. Ilyen enyhítés lehet például az, hogy csak a gyökök egy részéről kötjük ki, hogy zérus érzékenyséűek legyenek.

IRODALOM

1. Géher K.: A hálózatfüggvény és érzékenység függése az áramköri elemektől. Harmadik mikrohullámú kollokvium. Budapest, 1966. ápr. 19—22.
2. W. Shenoi: Practical Realization of a Gyrator Circuit and RC-Gyrator Filters. IEEE Transactions on Circuit Theory, 1965. szept. 374—379. old.
3. L. P. Havelsman: Circuit, Matrices and Linear Vector Spaces. Electronic Sciences Series, Mc. Graw-Hill Book Company.
4. W. R. Ewans: Control-system Dynamics. London—New York—Toronto, Mc. Graw-Hill. 1954.
5. Bohus M.: Lineáris szabályozások elmélete. Tankönyvkiadó (jegyzet) 1965.
6. Steiglitz: An Automatic Approach to Root Loci. IRE Transactions on Automatic Control, 1961. szept. 326—332 old.
7. Kóta G.: Gyök-helygörbék. Diplomaterv a BME Vezetékes Híradástechnika Tanszéken. 1966.
8. Géher K.—Kóta G.: Root Loci in the Case of $A(p) + xB(p) + x^2(p) = 0$. Periodica Polytechnica, 1967. Vol 11. No. 3. 175—190 old.



TRANSZFORMÁTOR KTSZ

Budapest, VII., Nefelejts utca 39.

Telefon: 428-969, 228-401

Nagyfeszültségű készülékek:

anyagvizsgáló röntgenberendezések
elektrosztatikai készülékek

Feszültség gyorsszabályozók:

váltakozó áramú stabilizátorok
generátor gyorsszabályozók

Feszültségsszabályozók:

kézi, motoros és automatikus működésű mozgótekercses vagy toroidrendszerű szabályozóberendezések

Transzformátorok:

egy- és háromfázisú sorozat, különleges transzformátorok,
valamint híradástechnikai transzformátorok

Integrált mágneses tárolók

ETO 621.3.049.7—111:621.377.244:681.327.66

A híradástechnika — s ezen belül elsősorban az adatátvitel — fejlődése új igényekkel lépett fel a számító-, illetve adatfeldolgozó gépekkel szemben. Az adatátvitel minden esetben együtt jár az átvitt információ rögzítésével. A korszerű adatátviteli berendezésekkel rövid idő alatt nagy tömegű információ vihető át, amit a nagy teljesítményű számítógépek nagy sebességgel dolgoznak fel. Ennek megvalósításához nagy kapacitású, gyors működésű adattárolókra (a továbbiakban röviden tároló) van szükség. A korszerű elektronikus távbeszélőközpontokban is nagy kapacitású, gyors működésű tárolókra van szükség. A nem destruktív (nem törlődő) kiolvasású tárolást igénylik a félig állandó programtárak, melyeknek kapacitása több millió bit is lehet. Az űrhajókon, illetve korszerű repülőgépeken alkalmazott ún. aerospace számítógépekben a gyors működésen kívül a kis súly, és a kis energiaszükséglet megvalósítása is fontos. Mivel a tároló ára nagymértékben befolyásolja a számítógép központi egységének árát, nem közömbös az sem, hogy a fokozott követelményeket milyen eszközökkel elégítik ki. A hagyományos ferritgyűrűs tárolók mátrixainak fűzése nem automatizálható, igen nehéz munka, a mátrix árának nagy részét ez teszi ki. Nagy elővigyázatot igényel, mivel ha egyetlen mag eltörik, gyakorlatilag az egész mátrixot újra kell fűzni. A cél olyan tároló tervezése és megvalósítása, amely nem igényli tárolóelemeinek individuális kezelését, s automatikusan — vagy legalábbis részben automatikusan — állítható elő.

A fenti sokrétű követelményeknek az integrált tárolók tesznek eleget. Az ezekkel kapcsolatos kutatás három fő területre osztható:

- a) integrált mágneses tárolók,
- b) integrált elektronikus tárolók,
- c) integrált szupravezető tárolók.

Amint látni fogjuk, az igények jelenleg legátfogóbban az integrált mágneses tárolókkal elégíthetők ki.

Monolitikus ferrit tároló

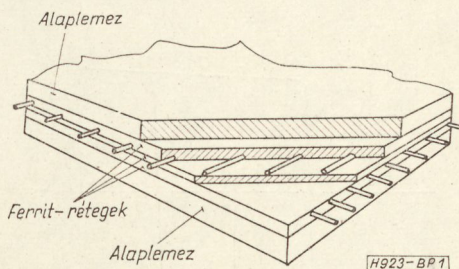
Az első integrált mágneses tárolók a ferritgyűrűs mátrixok alapelveinek felhasználásával készültek. Az ilyen típusú konstrukciók közül a monolitikus ferrit tároló terjedt el legszélesebb körben.

A monolitikus ferrit tároló (1. ábra) mind a tároló elem fizikai működése, mind a tároló szervezése szempontjából hasonló a ferritmagos tárolóhoz. A forradalmi változást az új mechanikai konstrukció, s az ehhez kapcsolódó új gyártási eljárás jelentette. A tárolót úgy készítik, hogy sík felületre vékony — kb. $60\ \mu\text{m}$ — réteget hordanak fel, ugyanolyan fer-

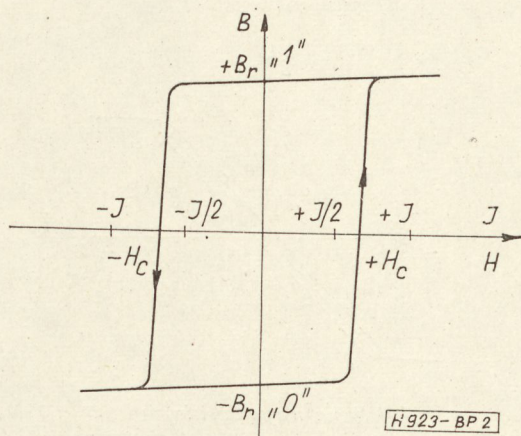
ritmasszából, mint amilyenből a ferritmagokat készítik. Ebbe a rétegbe párhuzamosan futó vezetőket helyeznek. Két ilyen réteget készítenek, s ezeket egymásra helyezik, a ferrites felületekkel egymás felé, úgy, hogy a vezetékek egymásra merőlegesen álljanak. A két réteg közé még egy igen vékony ($10\text{—}15\ \mu\text{m}$) ferritréteget is tesznek. (E gyártási eljárás alapján nevezték eleinte a monolitikus ferrit tárolókat „réteges” ferrit tárolóknak.) Az így előkészített tárolót összepréselik, s megfelelő hőkezelési eljárásnak vetik alá, melynek eredményeként kialakul a kívánt mágneses szerkezet.

A tároló szószervezésű működtetésre alkalmas. Az egyik irányba futó vezetékek a szóvezetékek, a másik irányban pedig a bitvezetékek haladnak. A tulajdonképpeni tároló elemeket a szó- és bitvezetékek keresztezési pontjait magukba foglaló térrészek képviselik. Az ilyen felépítésű, monolitikus ferrit tároló ugyanúgy működik, mint a szószervezésű ferrit tároló (2. ábra).

Olvasáskor a szóvezetékre teljes ($-I$) áramot adunk, ami a szóvezeték mentén a ferritet 0-nak megfelelő, (pl. $-B_r$) mágnesezettségi állapotba vezérli. Ekkor azon a bitvezetéken, amely az adott



1. ábra



2. ábra

szóban 1-t tartalmazó ($+B_r$ állapotban levő) tároló elemén halad át, a $2B_r$ indukció változás hatására érzékelő feszültség indukálódik; a 0-t tartalmazó helyekhez tartozó bitvezetéseken pedig nem keletkezik feszültségimpulzus. Íráskor a szóvezetésekre $+I/2$ nagyságú áramimpulzust bocsátunk, amely a magnetizációt az 1 állapot felé vezérli. Arra a bitvezetésekre, amelynek az adott szóhoz tartozó tároló elemébe 1-t akarunk írni, a szóárammal koincidenciában szintén $+I/2$ nagyságú, 1 állapot felé vezérítő impulzust adunk. A két $+I/2$ nagyságú áram hatására létrejön a billenés, és a tároló elem 1 állapotba ($+B_r$) kerül. Ha valamelyik tároló elembe 0-t akarunk beírni, akkor a hozzá tartozó bitvezetésekre nem adunk áramot. Mivel a szóáram egymaga a magnetizációt nem tudja a 0-nak megfelelő állapotból kibillenteni, megszűnte után a tároló elem a $-B_r$ állapotban marad.

Az ilyen tárolók nagyságának a hozzáférési áramköröknek — a szószervezésű működésből adódó — bonyolultsága szab határt, magának a monolitikus szerkezet kialakításának és a vezeték elhelyezéseinek nehézségei mellett. Az elektronikus rész árát tovább növeli, hogy a bitvezetékek íráskor meghajtó, olvasáskor pedig érzékelő vezetékeként szolgálnak. A gyártási műveletek közül az igen vékony, és nagyon sűrűn elhelyezkedő vezetéknek a külső áramkörökhöz való csatlakoztatása okozza a legtöbb nehézséget.

A monolitikus ferrit tárolók a következő adatokkal jellemezhetőek: a tároló vastagsága: $150\ \mu\text{m}$; szó-, ill. bitvezeték-sűrűség: $4/\text{mm}$; bitsűrűség: $16/\text{mm}^2$. Ezek az adatok több tároló átlagának tekint-

hetők. Egy konkrét, 256 szavas, szavanként 60 bitet tartalmazó ($15\ 360$ bit kapacitású) monolitikus ferrit tároló 6×2 cm helyet foglal el. Ciklusideje $500\ \text{ns}$ alatt van.

Mágneses vékonyréteg tárolók

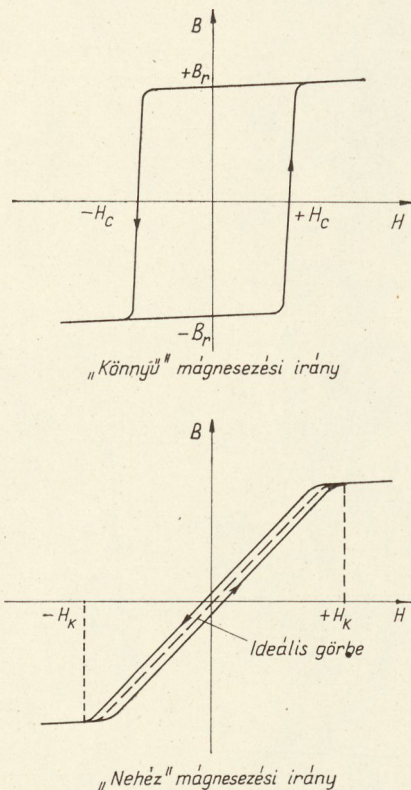
Fémes mágneses anyagoknak korszerű tárolókban való alkalmazását korlátozza az örvényáramok késleltető hatása. Néhány mikron vastag rétegben azonban ez a késleltetés már elhanyagolhatóvá válik. Ha a vastagságot tovább csökkentjük, akkor az anyag mágneses tulajdonságaiban lényeges változás jelentkezik: az átmágnesezés többé már nem a domain-falak mozgásával, hanem a magnetizáció koherens rotációjával zajlik le. Ez a jelenség akkor következik be, ha a mágneses réteg olyan vékony, hogy a domainek már csak egymás mellett tudnak elhelyezkedni. A koherens rotáció sokkal gyorsabb folyamat, mint a domain-falak mozgása, így a mágneses vékony rétegekből nagy működési sebességű tárolók építhetők.

Néhányszor $0,1\ \mu\text{m}$ vastagságú permalloy rétegben megfelelő eljárással olyan anizotróp mágneses tulajdonság alakítható ki, hogy az anyag egyik irányban kemény mágnesként viselkedik, a másik irányban pedig gyakorlatilag nincs hiszterézis (3. ábra). Azt a mágnesezési irányt, amelyben az anyag négyzetes hiszterézis hurokkal rendelkezik, „könnyű” mágnesezési iránynak, míg a másikat „nehéz” mágnesezési iránynak nevezzük.

A mágneses vékonyrétegeket üveg vagy fém hordozó felületre vákuumpárolgatással, fémfelületre elektrolitikus úton, katódporlasztással, vagy kémiai redukcióval lehet felhordani. A fenti megoldások közül legelterjedtebb a vákuumpárolgatás, melyet szolenoid belsejében, egyenáram mágneses terének jelenlétében végeznek. Ez a tér alakítja ki a kívánt anizotróp mágneses szerkezetet. Az egyes tároló elemeket vagy maszkon keresztül történő párolgatással, vagy pedig a folytonos film utólagos (fotokémiai) maratásával állítják elő.

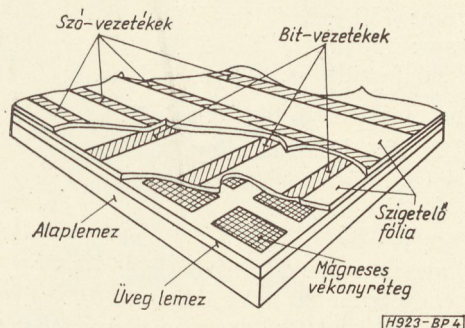
Az egyes tároló elemek méretét számos tényező befolyásolja. A vastagság felső határát a koherens rotáció kb. $1\ \mu\text{m}$ -ben szabja meg. Az öndemagnetizáció csökkentése miatt célszerű minél vékonyabb réteget használni; a rétegvastagság csökkentését viszont a kiolvasott jel csökkenése korlátozza. A megfelelő kompromisszum 500 és $2000\ \text{\AA}$ között van. A tároló elem hosszának a könnyű mágnesezési irányban elég nagyra kell lennie a vastagságához képest, hogy megfelelő négyzetes hiszterézishurkot kapjunk. Nagy kapacitású tárolók csak akkor építhetők, ha a koercitív erőt (H_c) állandó értéken tudjuk tartani úgy, hogy H_k -nál valamivel kisebb legyen. Gondos párolgatással elérhető, hogy H_c értéke kb. 10%-on belül kézben tartható.

Annak érdekében, hogy a vékonyréteg kényes mágneses tulajdonságait a mechanikai hatások minél kevésbé befolyásolják, előállításukhoz kis magnetostrikciós együtthatójú ötvözetet — általában 80% Ni, 20% Fe tartalmú permalloyt — használnak fel.



3. ábra

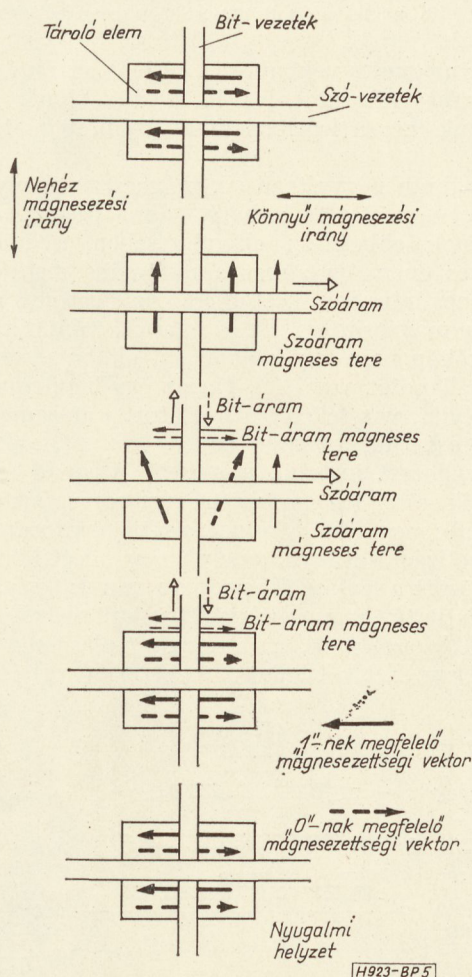
H923-BP3



4. ábra

Sík mágneses vékonyréteg tároló felépítése látható a 4. ábrán. Az alaplemezen kialakított — általában téglalap alakú — tároló elemek fölé helyezik a vékony szigetelő rétegen fényképészeti eljárással kialakított bitvezetékeket. A szóvezetékeket a bitvezetékekre merőlegesen helyezik el a következő rétegben. A bitvezetékek a vékonyréteg nehéz mágnesezési irányával, a szóvezetékek pedig a könnyű mágnesezési iránnyal haladnak párhuzamosan.

Az ilyen felépítésű, ún. sík mágneses vékonyréteg tároló működését az 5. ábra alapján követhetjük. A tároló elem nyugalmi helyzetben mindig a könnyű mágnesezési irány valamelyik remanens állapotában



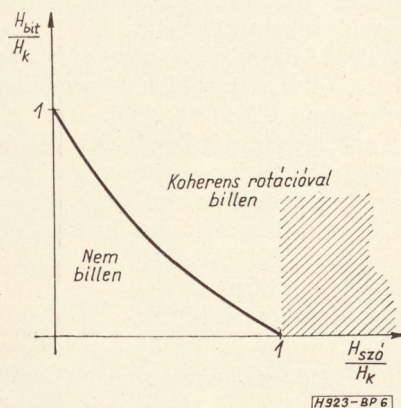
5. ábra

($-B_r$ vagy $+B_r$) van. Íráskor a szóvezetéken akkora áramot bocsátunk át, hogy annak tere (H_k) a magnetizációt a nehéz mágnesezési irányba állítsa. Ezzel egyidőben a bitvezetéken is áramot bocsátunk át. Ennek mágneses tere — az áram irányától függően — a magnetizációt a könnyű irány egyik értelmébe akarja állítani. Ekkor a magnetizáció vektora a két tér hatására kitér a nehéz irányból, és bizonyos egyensúlyi helyzetet vesz fel. Ezután, amikor a szóáram megszűnik, a tároló elem a bitvezetéken folyó áram irányával kijelölt remanens állapotba kerül, amely állapot a bitmező megszűnte után sem változik. Látható, hogy a működés feltétele az, hogy a szóáram tere legyen nagyobb mint H_k , a bitáram tere pedig kisebb mint H_c .

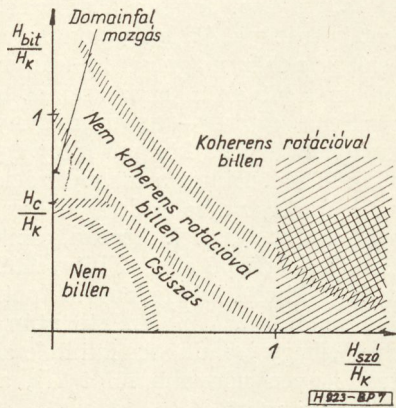
Olvasáskor a szóvezetéken áramimpulzust bocsátunk át, amely a magnetizációt a nehéz mágnesezési irányba állítja. Ekkor a bitvezetéken érzékelő feszültség keletkezik, amelynek polaritása attól függ, hogy a cella 0-t vagy pedig 1-t tárolt.

Ismeretesekek olyan megoldások is, melyekben a bitvezetéken csak egyféle áramirányra van szükség. Ezen megoldások lényege az, hogy a szóvezeték nem a könnyű iránnyal párhuzamosan helyezik el, hanem azzal hegyes szögben. Ekkor a szóáram megszűnte után, bitáram nélkül, a tároló a könnyű irány kijelölt értelmébe áll vissza (pl. 0-ba). A bitvezetékre tehát csak 1 beírása esetén kell adott irányú áramot bocsátani.

A mágneses vékonyréteg tárolóknak különleges előnye a koherens rotációból eredő nagy billenési sebesség. Ha ideális anizotróp mágneses vékonyréteg billenési karakterisztikáját vizsgáljuk, akkor a 6. ábrán látható eredményre jutunk. A billenési zónát a fent leírt működésű tárolóban a vonalkázott területen használjuk ki. A valóságos vékonyrétegekre jellemző billenési karakterisztika azonban lényegesen eltér ettől (7. ábra). A működtetési terület a valóságban a keresztben vonalkázott területre korlátozódik. A nem koherens rotáció miatt nem lehet tetszőlegesen kicsiny bitáramot alkalmazni. Látható az is, hogy ha a bitmező meghaladja H_c -t, akkor szómező nélkül is billenés következhet be a domain-falak mozgása révén. A „csúszás” zónában a térerősség ismételt megváltoztatásának hatására irreverzibilis változások játszódnak le. A billenési karakterisztika egyes területei között az átmenet



6. ábra



7. ábra

határozatlan; az egyik billenési mód folytonosan megy át a másikba.

A sík mágneses vékonyréteg tárolók gyakorlati megvalósítása számos nehézségbe ütközött. Jelentős probléma a rétegvastagság homogenitásának, és a koercitív erő állandóságának biztosítása. Nem teljesen megoldott még a mágneses vékonyréteg kristályszerkezeti változásainak megakadályozása sem, ami a réteg mágneses paramétereinek megváltozását vonja maga után. A legújabb kutatási eredmények alapján ezt az öregedési folyamatot úgy előzik meg, hogy a párologtatást kb. $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra lehűtött alapelemre végzik.

További problémát jelent az, hogy a gyakorlatban a fő mágnesezési tengelyek (párologtatási hiba miatt) nem esnek egy egyenesbe, hanem kismértékben változnak elemről elemre. Emiatt a magnetizáció kívánt irányba való térítéséhez nagyobb bitáramra van szükség, mintha a tároló csak egy elemből állana. Ha azonban a bitmező túl nagy, akkor a szórt mező révén hamis beírás történhet nem kiválasztott tároló elembe.

A sík elrendezésből adódik, hogy az egyes tároló elemek nyitott mágneses körben helyezkednek el. Emiatt egyrészt igen kicsi a kiolvasott jel, másrészt előfordulhat, hogy a külső térből eredő mágneses mező lemágnesezi az egész tárolót. Ezen okok miatt a tároló elemeknek a könnyű mágnesezési irányban kb. 10^4 -szer akkora kell lenniük, mint a vastagságuk. Így az egyes elemek hossza 1 mm nagyságrendjébe esik. A külső terek lemágnesező hatása ellen a tárolót mágneses árnyékolással védik.

A mágneses vékonyréteg tárolók 1962-ben már gyors működésű, megbízható részévé váltak a számítógépeknek. Ilyen tárolókkal rendelkeznek az 1962-ben megjelent UNIVAC ADD-1000, az 1963-as UNIVAC 1824, és az 1967-es CDC 449 aerospace számítógépek is, melyek a vékonyréteg tárolók első felhasználási területének tekinthetők.

A kereskedelmi forgalomban levő számítógépek közül elsőnek az UNIVAC 1107 használt sík mágneses vékonyréteg tárolót.

Jellegzetes példaként tekintsük át a FABRI-TEK tároló adatait:

Kapacitása: 128 szó, szavanként 39 bit (5×10^3 bit).

Ciklusidő: 300 ns.

Szóáram: 450 mA (310–530).

Bitáram: 160 mA (130–200).

Érzékelő feszültség: 1,2 mV; 6 ns.

A mágneses vékonyréteg jellemzői:

81% Ni, 19% Fe permalloy.

$H_k = 4\text{ Oe}$

$H_c = 2,5\text{ Oe}$

Vastagsága: $850\text{ Å} \pm 10\%$

A mágneses tengelyek diszperziója max 3° . E nélkül elegendő lenne 80 mA bitáram.

Ma már számos mágneses vékonyréteg tárolót állítanak elő. Ezek, illetve a felhasználó számítógépek az 1. táblázatban találhatók.

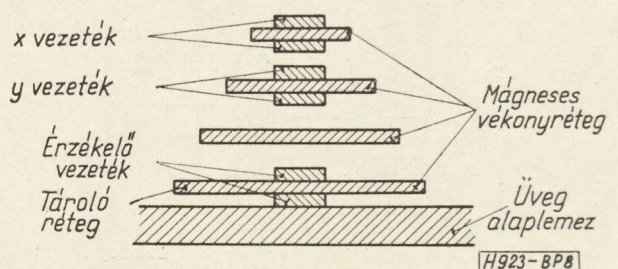
1. táblázat

Tároló	Kapacitás 10^3 bit	Ciklusidő ns
UNIVAC 1107	4,6	600
FABRI-TEK	5	300
FABRI-TEK	18	300
Sperry-Rand 52-00	160	500
Sperry-Rand F1D	27	100
Burroughs	3	200
Burroughs	850*	500

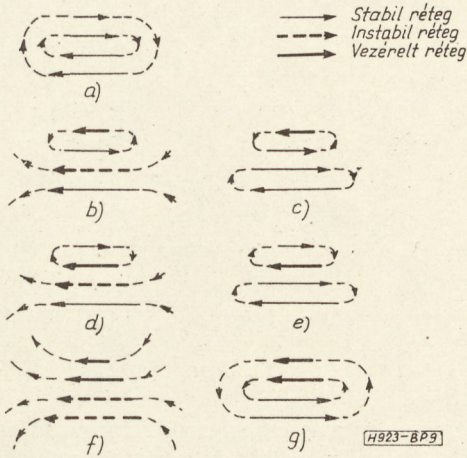
* 16 000 db 52 bites szó. 4 db 1024×208 -as mátrixból van összeállítva.

A sík mágneses vékonyréteg tárolók számos egyéb elrendezési változatát is kidolgozták. Ezek közül vizsgáljuk meg a legelterjedtebb többretegű tárolókat.

A 8. ábrán négyrétegű sík mágneses vékonyréteg tároló elem metszete látható. A mágneses vékonyrétegeknek ebben az elrendezésében a rendszer mágneses energiája akkor a minimális, ha két réteg azonos irányban, kettő pedig az ellentétes irányban van magnetizálva. Ez az állapot stabil, ha tehát a vezetőkön nem folyik át áram, akkor a rendszer ezt az állapotot veszi fel. Ha az egyik rétegnek — valamelyik vezetéken átbocsátott árammal — megváltoztatjuk a magnetizációs irányát, akkor az így létrehozott instabil, nagyobb energiájú állapot az egyik réteg mágnesezettségének megfordulásával szűnik meg. Mindig annak a rétegnek fordul meg a magnetizációs iránya, amelyhez az adott körülmények között a legkisebb energiára van szükség. A 8. ábrán látható, hogy a négy réteg különböző szélességű. A legszélesebb, alsó réteg a tulajdonképpeni tároló elem. Ezt két oldalról az érzékelő vezeték ve-



8. ábra



9. ábra

szi szorosan közre. Az x — beíró — vezetékkel közrefogott legkeskenyebb réteg felül helyezkedik el, alatta pedig az y réteg az y vezetékkel.

A négyrétegű tároló elemekből ko incidens szervezésű tároló építhető (9. ábra). A 0-t tároló elem alaphelyzetben az a ábra szerinti elrendeződésben van. A tároló x vezetékén átbocsátott áram megfordítja az x réteg magnetizációját, és ezzel a b ábrán látható instabil helyzetbe viszi a tároló elemet. A stabil állapot a legkönnyebben megváltoztatható harmadik réteg magnetizációjának megfordulásával áll vissza (c ábra). Az y vezetékén átbocsátott áram hatása hasonló (d és e ábrák). A tároló elemben alul elhelyezkedő tároló réteg magnetizációs iránya csak az x és y vezeték egyidejű gerjesztésével változtatható meg. Ekkor ugyanis stabil állapot kizárólag a két alsó réteg mágnesezettségének egyidejű megfordulásával állhat elő (f és g ábrák).

Kiolvasáskor az x és y vezetékeken ellentétes irányú áramot bocsátunk át, amely az alsó, tároló réteget 0-nak megfelelő állapotba viszi. 1 tárolása esetén az érzékelő vezetékén feszültségimpulzus keletkezik.

A négyrétegű tárolót Al vezető, SiO szigetelő és permalloy rétegek sorozatos párologtatásával állítják elő. Előnye, hogy nem érzékeny a vezérlő áramok megváltozásával szemben, és a mágneses paraméterek szórására sincsenek szigorú kikötések.

Sík mágneses vékonyrétegekből nem destruktív kiolvasású (NDRO) tárolók is előállíthatóak. Ilyen működésre alkalmas a 10. ábrán látható, ún. „Bicore” elrendezés, amelyből szószervezésű, NDRO tároló készíthető. A „tároló” réteg nagy koercitív erejű ($H_c=6-9$ Oe, $H_k=15-18$ Oe) Fe, Co, Ni ötvözetből, az „olvasó” réteg pedig kisebb koercitív erejű ($H_c=1-3$ Oe, $H_k=2,5-4$ Oe) permalloyból készül.

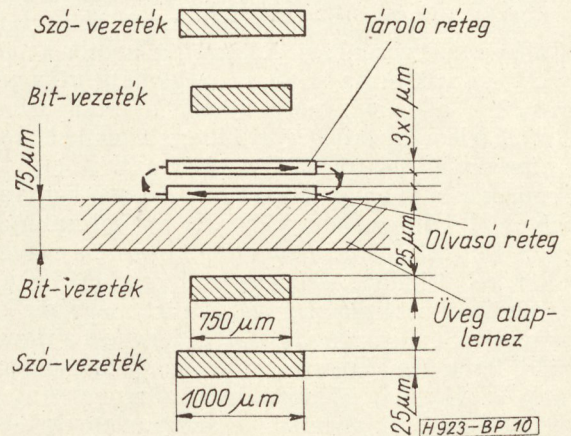
Olvasáskor a kiválasztott szóvezetékre adott áramimpulzussal az olvasó réteg magnetizációját a 0-nak megfelelő irányba állítjuk. Ekkor — 1 tárolása esetén — a bitvezetékben érzékelő feszültségimpulzus keletkezik. Ez a szóáram akkora, hogy tere kisebb a „tároló” réteg koercitív erejénél, így annak magnetizációját nem képes befolyásolni. A szóáram megszünte után a tároló réteg mágneses tere visszaállítja az olvasó réteget az eredeti állapotba. Látható,

hogy a kiolvasás nem jár a tárolt információ kitorlélésével.

Beíráskor a szó- és bitvezetéseken ko incidenciában érkező áramimpulzusoknak együtt már elég nagy a térerejük ahhoz, hogy a tároló réteg magnetizációját a kívánt állapotba ($-B_r$ vagy $+B_r$) billentsék. Az 1 ill. 0 beírását a bitvezetékén folyó áram iránya vezérli. Az elrendezés előnye — az NDRO működésen kívül — hogy igen gyors működésű, és nem túl érzékeny a szelekciós áramok megváltozására.

A fent leírt alapelvek felhasználásával készült a Burroughs Co. NDRO tárolója. Mind a tároló, mind az olvasó réteg $0,875 \times 1,125$ mm méretű téglalap. A tároló elemek középpontjainak távolsága mindkét dimenzióban 1,25 mm. A többi geometriai méret a 10. ábráról olvasható le. Beíráshoz a szóvezetékén 700 mA, a bitvezetékén 300 mA áramra van szükség. Kiolvasó áram a szóvezetékén 300 mA. A tárolót 256 szó, szavanként 100 bit, azaz 25×10^3 bit kapacitással építették meg. Kiolvasási ideje 40–50 ns. A kiolvasott jel 1 mV, 7–10 ns szélességgel. Írás esetén a ciklusidő 1 μ s-ra nő.

A Sperry-Rand Co. NDRO kísérleti tárolója még gyorsabb működésű. A tároló olvasáshoz 300 mA,

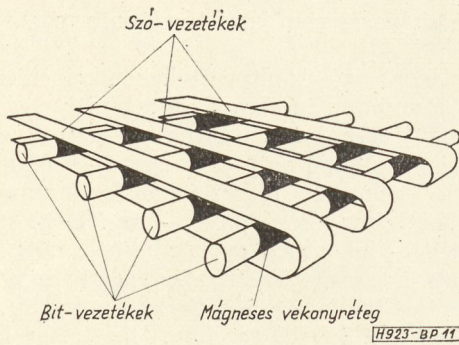


10. ábra

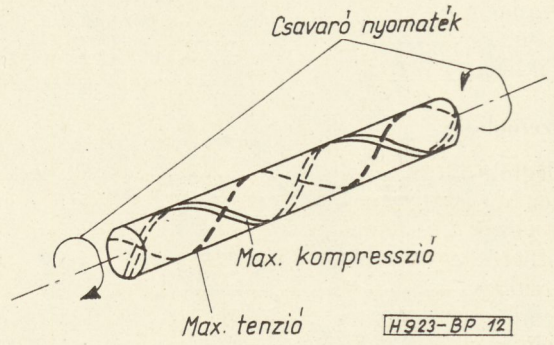
íráshoz 500 mA szó- és 80 mA bitáramot használ. Kapacitása 512 szó, szavanként 40 bittel. Olvasási ideje 15–20 ns. Írással együtt ciklusideje mindössze 50 ns. A kiolvasott jel 2 mV, 1,5 ns szélességgel.

Hengeres integrált mágneses vékonyréteg tárolók

A sík mágneses vékonyréteg tárolók fizikai működését egyesíti a ferritgyűrűk kedvező tulajdonságaival a mágneses vékonyréteggel borított vezetők-ből felépített tároló. Ezeket a tárolókat a szakirodalom „plated wire memory”-nak nevezi. A mágneses vékonyréteg ebben az esetben is egytengelyű anizotrópiával rendelkezik. A mágneses vékonyréteget vagy Be—Cu vezetőre galvanikus úton, vagy pedig vékony üvegcsőre vákuum párologtatással viszik fel. A réteg könnyű mágnesezési iránya körkörös, a nehéz mágnesezési irány pedig párhuzamos a tengellyel. Ez úgy valósítható meg, hogy a párologtatás ideje alatt az üvegcsővön áthúzott vezeték — ez lesz a bitvezeték is — egyenáramot bocsátanak



11. ábra



12. ábra

át. Ennek tere alakítja ki a kívánt mágneses szerkezetet.

Ezekből a tároló elemekből általában szószervezésű tárolókat készítenek (11. ábra). Mint már említettük, a bitvezeték az egyes tároló elemeken halad keresztül. A szóvezeték a szóhoz tartozó tároló elemeket öleli körül. Működése megegyezik a sík mágneses vékonyréteg tárolókéval. Íráskor a szóvezetékre adott áramimpulzussal a magnetizációt a tengellyel párhuzamos nehéz mágnesezési irányba állítjuk, majd a bitvezetéken áramot bocsátunk át, amely irányától függően a 0-nak vagy 1-nek megfelelő állapot felé vezérli azt. A kijelölt állapotba a mágnesezettség vektora a szóáram megszűnte után jut. Olvasáskor a szóvezetékra adunk áramimpulzust. A tároló elem tartalmára a bitvezetéken keletkező feszültségimpulzus polaritása jellemző.

A mágneses vékonyrétegnek henger alakban való elhelyezése számos előnnyel jár. A legfontosabb az, hogy a könnyű mágnesezési irányban zárt a mágneses kör, tehát kiolvasáskor nagyobb érzékelő feszültség vehető ki a tároló elemből. A zárt mágneses kör csökkenti az öndemagnetizációt, és megvédi a tárolót a külső terek átmágnesező hatásától. Az öndemagnetizáció csökkenése lehetővé teszi a rétegvastagság növelését, ami a kiolvasott jel arányos növekedését vonja maga után. A rétegvastagság növelésének a koherens rotáció megszűnése szab határt. A megnövelt rétegvastagság viszont a billentéshez több energiát igényel.

A Bell Telephone Lab. (Murray Hill) 1964-ben kezdte meg egy nagy működési sebességű plated wire tároló tervezését. Az 1966-ra elkészült rendszer adatai jól bizonyítják a fent leírt jellegzetességeket.

Szóáram: 900 mA.

Bitáram: 10 mA.

Kiolvasott jel: 10 mV.

A permalloy réteg vastagsága kb. 1 μm .

A Be—Cu vezeték átmérője 0,1 mm.

Kapacitása: 1024 szó, szavanként 80 bit (8×10^4 bit).

Ciklusidő: 150 ns.

Ez a tároló az adott áramkörök felhasználásával a tervezők becslése szerint 320 000 bit kapacitására is kiépíthető.

A legújabb adatok közlik, hogy a US AIR FORCE 10^8 bit kapacitású plated wire tárolót fejlesztett ki.

A hengerfelületre felvitt mágneses vékonyréteg tárolók másik csoportjába a „twistorok” tartoznak.

A twistor, vagy más néven „rúd” tároló időrendben az első — egydimenziós — integrált mágneses tárolók közé sorolható. Magnetostriktív anyagból készített rudat csavarásnak vetnek alá, aminek hatására a rúd — helikálisan — maximálisan összenyomott szál keletkezik (12. ábra). Negatív magnetostrikciós együttthatójú anyag esetén ez képviseli a könnyű mágnesezési irányt. Erre merőlegesen, elentétes sodrási iránnyal halad a nehéz mágnesezési irány.

A csavart magnetostriktív rúd mágneses szerkezete más úton is elérhető. Nem mágneses vezetékre tengelyirányú és körkörös mágneses tér egyidejű jelenlétében (melyek eredője a kívánt helikális tér) elektrolitikus úton permalloy vékonyréteget visznek fel. A csavart rudakból, ill. helikális anizotrópiával rendelkező mágneses vékonyrétegekből felépített tárolókban a bitvezeték tengelyirányú, tehát vagy maga a csavart rúd, vagy pedig az alapvezeték. A szóvezeték a rúdra merőlegesen haladnak. Alaphelyzetben — a tárolt információtól függően — a magnetizáció vektora a könnyű mágnesezési irány egyik értelmében ($-B_r$ vagy $+B_r$) helyezkedik el.

Kiolvasáskor a szóvezetékre bocsátott áram ezt a vektort a tengely irányába fordítja be. 0 tárolása esetén a vektor 45° -ot fordul, és ezzel egyidejűleg a bitvezetékben kis feszültség indukálódik. 1 tárolása esetén a szögfordulás 135° , tehát az előbbinél lényegesen nagyobb, ellentétes polaritású feszültség keletkezik a bitvezetékben. Íráskor a szóárammal incidenciában bitáramot létesítünk, melynek irányja vezérli a 0 ill. 1 beírását.

A rúd tárolók különleges előnye, hogy egy bitvezeték mentén igen sok tároló elem helyezhető el, anélkül, hogy egymást zavarnák. A rúdra merőleges több vezeték alkalmazása esetén alkalmazhatóak koinkidens szervezésű tárolóban is.

Csavart rudas twistorból készült a Bell N° 1 ESS program tárolója. A tároló kapacitása kb. 6×10^6 bit. Ciklusideje 5,5 μs .

Az NCR-315 RMC (Rod Memory Computer) számítógépben felhasznált vékonyréteg rúd tároló a következő adatokkal jellemezhető:

A réteg vastagsága: 4000 Å.

$H_c = 16$ Oe.

A vezeték átmérője: 0,24 mm.

Olvasóáram a szóvezetékben: 480 mA.

Íróáram a szóvezetékben: 280 mA.

Íróáram a bitvezetékben: ± 160 mA.

Kapacitása (a kiépítéstől függően):

$0,25 \times 10^6 - 10^6$ bit.

Ciklusidő: 800 ns.

Összefoglalás

A legfontosabb integrált mágneses tárolók ismeretében megállapíthatjuk, hogy azok a korszerű számítógépek igényeit igen széles körben kielégíthetik. Építhető belőlük gyors működésű, nagy kapacitású, destruktív vagy nem destruktív kiolvasású tároló. Az integrált gyártási eljárás nem igényli az egyes tároló elemek külön-külön való kezelését, ami különösen a nagy kapacitású tárolók árát befolyásolja kedvezően. Az igen nagy működési sebesség még a kis kapacitású tárolóknál is ellensúlyozza azt a hátrányt, melyet a kis kiolvasott jel jelent. Az integrált érzékelő erősítők lehetővé teszik, hogy a kis szintű jeleket mindössze néhány cm távolságra kell eljuttatni erősítés nélkül, így az egy mV-os jeleket is jól fel lehet használni. Az integrált mágneses tárolók gazdaságosságát és megbízhatóságát mindennél jobban bizonyítja rohamos elterjedésük a korszerű számítógépekben.

Végezetül tekintsük át, hogy milyen fejlődés várható a közeljövőben a különböző funkciójú tárolók körében. A 2. táblázat az 1970-re várhatóan kialakuló helyzetet vázolja. A táblázat háromféle tároló: az operatív segédtároló, operatív tároló és háttér tároló várható alakulását elemzi. Az operatív segédtároló (az angol szakirodalom a „scratch-pad memory” elnevezést használja) a legkorszerűbb számítógépekben használt áramkör. Jellemző rá az igen nagy működési sebesség, és az aránylag kis kapacitás. Egyes részei többszörös aritmetikai és ve-

zérő regiszterként szolgálnak, más részeiben a leggyakrabban használt adatok, állandók és rövid szubrutinok tárolhatók. A táblázatban a sík mágneses vékonyréteg, a hengeres mágneses vékonyréteg és a monolitikus ferrit tárolókon kívül feltüntetettük a ferritmagos és az integrált elektronikus tárolók közül a MOS FET tárolók helyzetének alakulását. A táblázat utolsó oszlopában megtalálható az adott kapacitású és ciklusidejű tároló első megjelenésének, ill. várható első megjelenésének időpontja. Ezek az időpontok természetesen csak hozzávetőlegesek; kisebb kapacitású, vagy lassabb működésű, esetleg drágább tárolók már hamarabb is megjelenhetnek.

I R O D A L O M

1. W. Renwick: Digital Storage Systems; Spon, London, 1964.
2. N. S. Prywes: Amplifier and Memory Devices: with Films and Diodes; McGraw-Hill, New York, 1965.
3. G. Hass: Physics of Thin Films; Academic Press, New York, 1963.
4. Bonghard, Buckingham: Switching Process in Thin Ferromagnetic Film Memory Elements; IEEE Magnetics, Vol. MAG-1, pp. 258, December, 1965.
5. Sakurai, Kusuda, Konishi, Sugatani: Wall Motion and Rotational Magnetization in Thin Permalloy Films; IEEE Magnetics, Vol. MAG-2, pp. 570, September, 1966.
6. W. Kayser: Magnetization Creep in Magnetic Films; IEEE Magnetics, Vol. MAG-3, pp. 141, June, 1967.
7. J. H. Hoper: A Study of Noncoherent Rotational Switching for Thin Magnetic Films; IEEE Magnetics, Vol. MAG-3, pp. 166, June, 1967.
8. W. N. Mayer: Sputtered Thin Magnetic Films; IEEE Magnetics, Vol. MAG-2, pp. 166, September, 1966.
9. Matcovich, Flannery, Adomines, Luciw, Moore, Olmigan, Weilerstein: A Magnetic, Thin-Film, Integrated Circuit Memory System; IEEE Magnetics, Vol. MAG-3, pp. 77, March, 1967.
10. R. J. Petschauer: Engineering Aspects of Magnetic Film Memories; IEEE Magnetics, Vol. MAG-1, pp. 185, September, 1965.
11. F. R. Janisch: Permalloy Film NDRO Memory; IEEE Magnetics, Vol. MAG-1, pp. 266, December 1965.
12. Bittman, Arndt, Hart: A 20—MHz NDRO Thin Film Memory; IEEE Magnetics, Vol. MAG-3, pp. 476, September, 1967.
13. Pohm, Smay, Mayer: A $0,25 \times 10^6$ Bit, High-Density, Low-Power NDRO Film Memory; IEEE Magnetics, Vol. MAG-3, pp. 481, September 1967.
14. S. Waaben: High-Speed Plated Wire Memory System; IEEE Electronic Computers, Vol. EC-16, pp. 335, June, 1967.
15. Maeda, Mitsushita: Woven Thin-Film Wire Memories; IEEE Magnetics, Vol. MAG-1, pp. 13, March, 1965.
16. Kashiwagi, Murakami: Highly Reliable Cylindrical Thin Magnetic Film Memory; IEEE Magnetics, Vol. MAG-2, pp. 524, September, 1966.
17. J. H. Kefalas: Design of Half-Million Bit Wire Memory; IEEE Magnetics, Vol. MAG-3, pp. 135, June, 1967.
18. P. Higashi: A Thin-Film Rod Memory for the NCR 315 RMC Computer; IEEE Electronic Computers, Vol. EC-15, pp. 459, August, 1966.
19. D. O. Baechler: State of the Art of Aerospace Digital Computers, 1962—1967; IEEE Computer Group News, Vol. 2, pp. 1, January, 1968.
20. J. I. Raffel: Megabit Memories; British Communications and Electronics, pp. 578, August, 1964.
21. A. V. Pohm: Magnetic Film Scratch-Pad Memories; IEEE Electronic Computers, Vol. EC-15, pp. 452, August, 1966.
22. L. C. Hobbs: Present and Future State-of-the-Art in Computer Memories; IEEE Electronics Computer, Vol. EC-15, pp. 534, August, 1966.
23. Louis, Shevel: Storage Systems — Present Status and Anticipated Development; IEEE Magnetics, Vol. MAG-1, pp. 206, September, 1965.

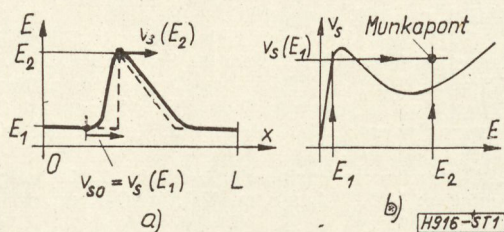
2. táblázat

Tároló	Kapacitás (bit)	Ciklusidő (ns)	Első megjelenés éve
Operatív segédtárolók			
Ferritmagos	50×10^3	300	1966
MOS FET	50×10^3	150	1967
Sík mágneses v.r.	25×10^3	75	1966
Hengeres mágneses v.r.	50×10^3	100	1966
Monolitikus ferrit	25×10^3	150	1967
Operatív tárolók			
Ferritmagos	3×10^6	500	1966
MOS FET	8×10^5	250	1968
Sík mágneses v.r.	3×10^6	600	1967
Hengeres mágneses v.r.	6×10^6	300	1968
Monolitikus ferrit	3×10^6	500	1968
Háttér tárolók			
Ferritmagos	10^8	3000	1966
MOS FET	—	—	—
Sík mágneses v.r.	10^8	1000	1969
Hengeres mágneses v.r.	2×10^8	1000	1968
Monolitikus ferrit	—	—	—

A Gunn-dióda domain-dinamikája

Az új mikrohullámú félvezetőeszközeiről, a Gunn-diódáról szerzők a közelmúltban írtak összefoglaló cikket a Híradástechnika számára [1]. E rövidközleményben a domainkialakulásra vonatkozó újabb eredményeiket hozzák nyilvánosságra.

A domainkialakulás folyamata szemléletesen ábrázolható a GaAs alapanyag jellemző $v_s(E)$ (drift-sebesség — térerő) diagramjában. A domain pillanatnyi állapotának megadására új fogalmat vezetünk be: *domain-munkapont*. A munkapontot a domain maximális térerőssége E_2 és a domainen kívüli térerőhöz tartozó sebesség $v_{s0} = v_s(E_1)$ tűzik ki (1. ábra). (Láthatjuk, hogy a domain-munkapontból nem adódik teljesen egyértelműen a domainforma; sarkos háromszög-domain és lekerekítettebb domainek azonos munkaponthoz tartozhatnak.) A domain kialakulását (elfojtódását) a munkapontnak a $v_s(E)$ diagramon történő vándorlásával fogjuk leírni.



1. ábra

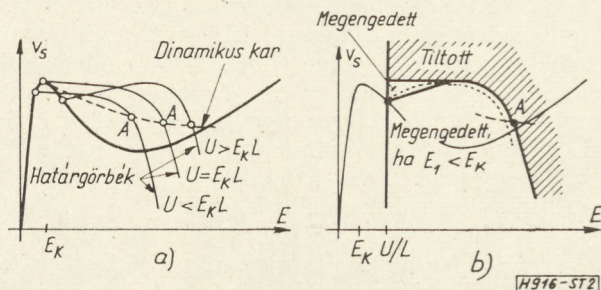
Az U kapcsolófeszültség, N_d donorsűrűség és L mintahosszúság adatok korlátozzák a $v_s(E)$ diagramon a munkapont mozgási szabadságát. E paraméterek rögzítésével bármely E_1 domainen kívüli térerőhöz az elképzelhető legnagyobb E_2 domain csúcs-térerő az ideális háromszög-domain esetén adódik. Erre [1] alapján

$$U = \frac{\varepsilon}{2qN_d} (E_2 - E_1)^2 + E_1 \cdot L$$

$$E_2 = E_1 + \sqrt{\frac{2qLN_d}{\varepsilon} \cdot \sqrt{\frac{U}{L} - E_1}} \quad (1)$$

Az $E_1 - E_2$ értékpárok domain-munkapontjait $v_s(E)$ -ben ábrázolva a *határgörbék*et nyerjük. A határgörbék a dinamikus karakterisztikán [1] kimetszik az A stabilis domain-munkapontokat (2a ábra). A határgörbe a 2b ábrán feltüntetett módon megengedett és tiltott munkapont-területeket választ el. A határgörbén fekvő munkapontok idealizált háromszög-domainhez tartoznak. A diffúzió miatt kis-mértékben lekerekített domainek [1] a határgörbéhez közeli munkapontokat jelentenek (2b ábra, pontvonal).

A domainkialakulás kezdőpillanatában a dióda munkapontja $E_1 = E_2 = U/L$; innen vándorol azután a kialakult, stabil domain A munkapontjába (2b ábra). Bizonyítani fogjuk, hogy a munkapont vándorlása során a határgörbéhez közeledő pályán igyekszik futni. Számoljuk a munkapontvándorlás gyorsaságát: dE_1/dt és dE_2/dt -t.



2. ábra

A domain E_1 térerejű széle és E_2 csúcsa (1a ábra) különböző sebességgel halad; e két pont között (a kiszoruló donor-háttér miatt) változik a semlegesítetlen töltés és ezzel az $E_2 - E_1$ térerőlépcső:

$$\frac{d}{dt} (E_2 - E_1) \leq \frac{qN_d}{\varepsilon} [v_s(E_1) - v_s(E_2)] \quad (2)$$

(Egyenlőség akkor áll fenn, ha a domain teteje lapos. Sarkos tetejű háromszög-domainnél, vagyis a határgörbe közvetlen közelében a diffúzió befolyása miatt a $<$ jel érvényes.)

A dióda teljes áramának (drift + diffúziós + eltolási) a $(0, L)$ határok közti hossz-integrálját egyenlővé téve a domainen kívüli áram L -szeresével, nyerjük:

$$\frac{dU}{dt} = \dots = \frac{qN_d}{\varepsilon} \int_0^L (v_s - v_{s0}) dx + L \frac{dE_1}{dt}$$

Ebből, teljesen kiürített domainfrontot feltételezve (a nem túl erős diffúzió esete), és konstans kapcsolófeszültség mellett

$$\frac{dE_1}{dt} = \frac{1}{L} \int_{E_1}^{E_2} (v_s - v_{s0}) dE \quad (3)$$

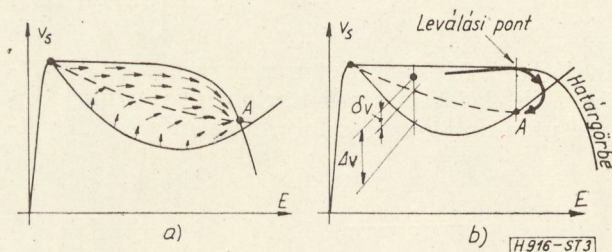
Innen, közelítőleg

$$\frac{dE_1}{dt} \approx \frac{1}{L} (E_1 - E_2) \cdot w \quad (4)$$

ahol (l. 3b ábra)

$$w = \begin{cases} \delta v & \text{ha } E_1 < E_K \\ \frac{\Delta v}{2} & \text{ha } E_1 > E_K \end{cases} \quad (5)$$

A (2) és (4) összefüggések alapján minden munkaponthoz megrajzolhatjuk a továbbvándorlás irányát — 3a ábra. (Egyes közelítéseink miatt teljes pontosságot csak a határgörbe közelében várhatunk.) Az iránymező jól mutatja, hogy a munkapont minden módon az A egyensúlyi pont felé tart.



3. ábra

(2) ill. (4)-ből meghatározható a munkapontvándorlás irányának dE_2/dE_1 hajlása. Összevetve ezt a határgörbe—(1) deriválásával nyerhető— $dE_2/dE_1|_{\text{hat}}$ hajlásával, az adódik, hogy a háromszög-domain munkapontja mindig közeledni igyekszik a határgörbéhez. Átmetszeni nem fogja, mert a határgörbét megközelítve a (2) összefüggés egyenlőtlenséggé válik; így a munkapontpálya a határgörbéhez simul, annak közvetlen szomszédságában fut végig (2b ábra, pontvonal). Lapos tetejű domainnél az A egyensúlyi munkapont felett $dE_2/dE_1 = dE_2/dE_1|_{\text{hat}}$. Itt a munkapont leválik az általa eddig követett

határgörbéről, s bekanyarodik az egyensúlyi pont felé (3b ábra).

A (4) összefüggésből, a határgörbét követő munkapontmozgás mellett a csúcstérerő $E_{2a} \rightarrow E_{2b}$ növekedéséhez szükséges idő is kifejezhető

$$t_{ab} = \frac{\varepsilon}{qN_d} \int_{E_{2a}}^{E_{2b}} \frac{dE_2}{w(E_2)}. \quad (6)$$

Ebből az összefüggésből számolhatjuk triggerelt üzemből a domain indításához vagy elfojtásához szükséges trigger-időt is.

A domain-dinamikára vonatkozó analízisünk létrejötte után jelent meg a [2] alatt hivatkozott cikk, mely hasonló témával foglalkozik. Tárgyalásában azonban elhanyagolja a diffúzió befolyását, s a kialakulási időre vonatkozó, (6)-hoz hasonló összefüggést sem közöl.

Szerzők köszönetet mondanak Dr. Valkó I. Péter egyetemi tanárnak a munkájuk során tapasztalt értékes támogatásért.

Beérkezett: 1968. június 24.

IRODALOM

1. Székely V.—Dr. Tarnay K.: A Gunn-dióda Híradástechnika, s. a.
2. W. Heinle: Principles of a phenomenological theory of Gunn-effect domain dynamics. Solid-State Electronics, V. 11. No. 6. p. 583, 1968. jún.



MAGYAR KÁBEL MŰVEK

VEZÉRIGAZGATÓSÁG ÉS KÖZPONTI GYÁR

Budapest, XI., Budafoki út 60 • Telefon: 453-590

ZOMÁNCBUZALGYÁR | SZEGEDI KÁBELGYÁR

Budapest, XI., Hunyadi J. út 1.

Szeged, Huszár utca 1.

Telefon: 268-930

Telefon: 15-330

GYÁRTMÁNYOK:

Erősáramú szigetelt vezetékek

Jelző-, mérő-, működtetőkábelek

Erősáramú kábelek 1—35 kV-ig

Alumínium és acél-alumínium szabadvezetékek

Tekercselőhuzalok

Switch-kábelek

Gumitömlő-kábelek

Híradástechnikai vezetékek

Távkábelek

Hírközlő kábelek

Hajókábelek

Zománchuzalok

Zárt-acélkötelek

Hullámosított lemezkábeldobok

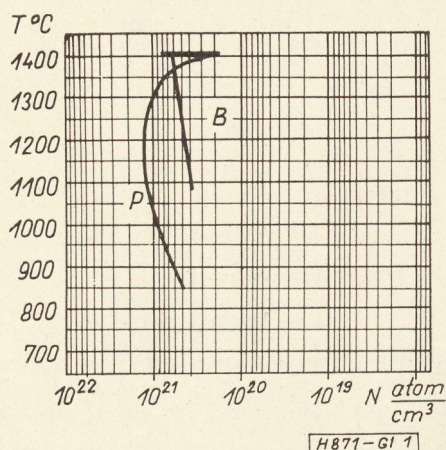
Adalékanyagok diffúziója szilíciumba zománcdiffúziós forrásból

ETO 539.219.3:669.782

Félvezető eszközök gyártásához nem csak meghatározott paraméterű kristályokra, hanem annak lehetőségére is szükség van, hogy a kristályok fizikai tulajdonságait a gyártás céljainak megfelelően módosítani tudjuk. Az ilyen módosítások egyik komplex s egyszersmind leghatékonyabb módszere a diffúzió, amelynek során különböző technológiai eljárások útján idegen adalékanyagokat, szennyezőket juttatunk a félvezető kristályokba [1]. Az adalékanyagok, mint ismeretes, megváltoztatják a kristályrács potenciál viszonyait, mozgékony töltéshordozókat — donorokat és akceptorokat — valamint elnyelési, rekombinációs centrumokat hozhatnak létre. Félvezetők esetében a diffúziót leggyakrabban egyenirányító p-n átmenetek kialakítására vagy a félvezető kristály vezetőképességének — vezetési típusát nem érintő — befolyásolására alkalmazzák.

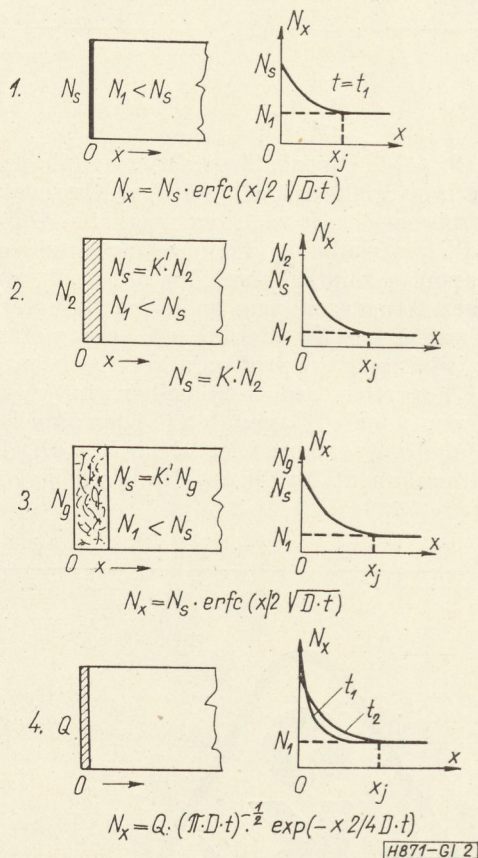
Az előbbi eljárás eredményeként az alapkristályénál eggyel kisebb vegyértékű adalékanyag atom akceptor, az eggyel nagyobb vegyértékű adalékanyag atom pedig donor típusú töltéshordozókat hoz létre. Az utóbbi cél elérésére, az azonos típusú vezetőképesség növelésére n-típusú kristályoknál donor szennyezőket, p-típusnál pedig akceptor töltéshordozókat keltő szennyező atomokat visznek be a félvezető kristályba. Az adalékanyag atomja az alapkristály rácsában valamelyik atomot helyettesíti, a diffúzió tehát egy szilárd oldatú atomos elegyedési folyamat, melyben olvadt ötvözetfázis nem keletkezik. A diffúzió egyik legjellemzőbb paramétere a szennyező atomok koncentrációja $\left(N \frac{1}{\text{cm}^3}\right)$.

Az általunk is használt Si-nál a diffúzióval előállítható maximális szennyező atom koncentrációt a hőfok függvényében az 1. ábrán mutatjuk be. Az áb-



1. ábra. Bór és foszfor oldhatósági görbéje szilíciumban

rán látható felső vízszintes szakasz az olvadt ötvözetfázis keletkezésének tartománya. Ennek elérése után az ötvöződés folyamata már az állapot-



2. ábra. A diffúziós folyamat alapesetei:

1. Az adalékanyagok végtelen forrása a kristály felületén; N_1 — koncentráció az alapkristályban; N_s — felületi szennyező koncentráció; D — diffúziós állandó; t — a diffúzió időtartama; N_s — adalékkoncentráció tetszőleges x síkban
2. Diffúzió folyadékfázisból; N_2 — adalékkoncentráció a folyadékfázisban K' — megoszlási állandó
3. Diffúzió gázfázisból; N_g — adalékkoncentráció a gázfázisban
4. Diffúzió véges síkforrásból; Q — adalék mennyiség a felületi forrásban atom/cm²

ábrának megfelelően megy végbe, ezért diffúziónál rendszerint az alsó szakaszon dolgozunk. A két legfontosabb, általunk is alkalmazott donorszennyező (foszfor) és akceptorszennyező (bór) maximális koncentrációjának értéke a szokásos 1200–1300 °C hőfoktartományban $N = 10^{21}$ ill. $4 \cdot 10^{20} \frac{\text{atom}}{\text{cm}^3}$. Az ilyen koncentrációk egy-két nagyságrenddel meghalad-

ják az elfajulást jelentő néhányszor $10^{19} \frac{\text{atom}}{\text{cm}^3}$ értéket.

Diffúziós eljárás során a fenti adalékanyag koncentrációkat csak az alakristály felületén szokták előállítani. A felülettől távolodva, a kristály belsejében a szennyezőatomok koncentrációja a diffúzió módszerétől függően csökken. A p–n átmenet a kristályban ott alakul ki, ahol a donor és akceptor atomok száma egyenlő.

A diffúziós folyamat alapeseteit a 2. ábrán mutatjuk be. E vonatkozásban négy főbb variációt különböztethetünk meg:

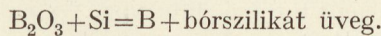
1. Az adalékanyagok végtelen tartaléka a kristály felületén

N_s a felületi koncentráció állandó értékű minden t-időpillanatban. Értékét az adalékanyag oldhatósága szabja meg. Ilyen diffúziót létrehozhatunk egyrészt végtelen felületi forrást biztosító gőz- vagy gázfázisú eljárással; másrészt végtelen kontakt forrást biztosító felületi szennyezőatom rétegekből. Az adalékanyagok végtelen felületi tartaléka ideális szennyezésprofilot eredményez, s egyöntetűen leírható matematikailag az erfc-hibafüggvénnyel.

2. Folyadékfázisból történő diffúzió

a) A felületen olvadt folyadékfázis keletkezik, amely adalékanyag forrásként szerepel. A folyadékfázisba a szennyezőkoncentráció N_2 . A felfezető kristályban a diffúzió határfeltételét jelentő felületi koncentrációt a megoszlási állandó $\left(K = \frac{N_s}{N_2}\right)$ szabja meg. Utóbbi adott hőfokon konstans. (Például: alumíniumdiffúzió ötvözetfázisból).

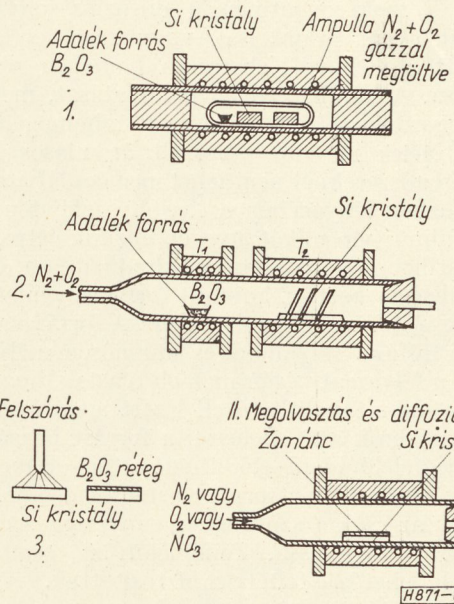
b) Gyors kémiai reakció játszódik le a kristály felülete és a folyadék komponensek között. Például:



Állandó hőfok mellett a bórnak egyensúlyi koncentrációja keletkezik, amely megszabja az adalékanyagok felületi koncentrációját. A megoszlási állandó $\left(K' = \frac{N_s}{N_2}\right)$ adott hőfokon állandó és jellemző a diffúziós folyamatra. A diffúziós profil számítására ill. leírására a megoszlási állandó figyelembevételével az erfc-összefüggés használható, amennyiben a diffúzió sebessége a határfelületi folyamatok sebességéhez képest kicsi.

3. Gázfázisból történő diffúzió

Az adalékanyag gáz alakjában érintkezik a kristály felületével rendszerint valamely semleges vagy inert gáz kíséretében. Amennyiben a felületen egyensúlyi állapot alakul ki a diffúzió mennyisége és a diffúzió sebessége között, s a felületen nem keletkezik valamilyen közbenső fázis, a diffúzió az erfc-összefüggéssel írható le.



3. ábra. Diffúziós rendszerek: 1. Zárt ampullás rendszer. 2. Nyitott csöves rendszer. 3. Diffúzió előre elkészített forrásból nyitottcsöves rendszerben

4. Véges sík forrásból történő diffúzió

Ha a kristály felületére $Q \frac{\text{atom}}{\text{cm}^2}$ sűrűségű adalékanyagot juttatunk, a diffúzió exponenciális összefüggéssel írható le. A felületi koncentráció természetesen kisebb lesz, mint egyéb diffúziós eljárások esetében. A diffúzió létrejöhet felületi ötvöződéssel keresztül is. A folyamat jellegét a Q értéke és a diffúziós hőfok szabja meg.

Magát a diffúziót zárt vagy nyitott rendszerű térben végezhetjük el. E rendszerek vázlatos ismertetését szolgálja a 3. ábra.

A fenti rövid áttekintés után rátérünk a zománcdiffúzió egyik lehetséges, általunk alkalmazott megoldásának ismertetésére.

Gyakorlati munkánk során a leírt diffúziós eljárások közül nem véletlenül választottuk a zománcdiffúziót. Olyan eljárást kerestünk ugyanis, amelynek alkalmazásával a lehető legegyszerűbb módon állíthatunk elő erfc-alakú diffúziós profilt Si-ban, s elegendő tehetünk az alábbi követelményeknek:

a) a felületi adalékanyag koncentráció legyen

$$N_s > 10^{20} \frac{\text{atom}}{\text{cm}^3}$$

b) a szennyezőgradiens legyen $a > 10^{20} \frac{\text{atom}}{\text{cm}^4}$

c) a p–n átmenet síkja legyen egyeneses;

d) az egyoldali diffúziót a későbbiek során bővíthessük kétoldali diffúzióvá n⁺-n epitaxiálisan növesztett kristályokon vagy donor és akceptor anyagok egyidejű diffúziójává Si hordozó kristályon.

A fenti követelményeket gázdifúzióval csak körülményesen lehet kielégíteni. Különösen nehéz a diffúziós kályhában homogén gázáramlást biztosítani, amely az egyeneses adalékanyag eloszlás alapfel-

tétele. A szokásos átmérőjű diffúziós kályhákban csak turbulens áramlással, vagy zárt rendszerben készített diffúzióval lehetséges homogén réteg kialakítása. A kályha csövének falhatását, mely egyrészt visszadoppolásból, másrészt inhomogén áramlási feltételek létrehozásából áll, áramlásos és zárt-csőves rendszereknél nem lehet megakadályozni. Diffúzió közben lényegében a kristály felületén magas börtartalmú bórszilikát üveget hozunk létre, melyből a szilícium folyamatosan kiredukálja a diffúzióhoz szükséges bört. E kontakt forrás egyenletességétől függ a diffúzió egyenletessége. A forrás vastagsága nő a diffúzió folyamán, és különösen mély diffúzióknál a folyamat végén már oly vastag, hogy rendkívül nehezen távolítható el. [Ezért a diffúziót vagy két lépcsőben készítik (először a forrást hozzák létre és a megfelelő idejű elődiffúzió után eltávolítják), vagy az adalékanyag forrás vastagságát úgy állítják be, hogy az csak a szükséges mennyiségű szennyező anyagot biztosíthassa. Zománcdiffúzió segítségével az utóbbi lehetőség feltételei biztosítottak.]

A szakirodalomban eddig a zománcdiffúzióról kevés közlemény látott napvilágot.

Amerikai szerzők [3] többkomponensű donor, illetve akceptor adalékanyagokat tartalmazó lágy-üvegeket szabadalmaztattak. A leírások több, mint 50 féle variációt tartalmaznak az üvegek összetételére vonatkozóan. Lágyítóként nátrium, illetve kalcium nyert alkalmazást. (Itt jegyezzük meg, hogy a lágy-üvegek fluorsavas maratással könnyen eltávolíthatók a kristály felületéről, míg a magas börtartalmú bórszilikát üveg rendkívül stabil a kémiai maratással szemben.)

Az utóbbi években szovjet közleményekben [4, 4/a] utaltak a bórax, illetve bórtioxid alkoholos szuszpenziójának diffúziós forrásként történt felhasználására.

Egy nemrég megjelent munka arról tesz említést, hogy zománcdiffúziós eljárással mikrohullámú varaktordiódákat készítettek [5, 6].

Foszfor zománcdiffúziójára bővebb anyagot találunk I. M. Mackintosh cikkében [7], melyben foszforpentoxid és kalciumoxid összetételű üveg felpárolgatásával létesítenek adalékanyag forrást a szilícium felületén. A felpárolgotatást semleges gázban végezték 1050–1250 °C hőfoktartományban, a zománc vastagsága 3000–8000 Å. A további diffúziót magasabb hőfokon készítették. A foszforüveget fluorsavban könnyen el lehet távolítani.

Tolopko közleményében [8] az I. B. M. cégnél kidolgozott zártcsöves diffúziós technológiát ismerteti; diffúziós forrásként magas szennyezettségű szilíciumot használtak.

Reynolds és munkatársai finomszemcséjű alumíniumoxidba szuszpendált bórtioxid, illetve foszforpentoxid felszórásával létesítették a diffúziós forrást [9].

Brookers a bórtioxidot vákuumban párolgattatta fel a szilícium felületére [10].

A diffúziós forrást anodikus oxidnövelés közben alakították ki úgy, hogy az elektrolit tartalmazta a szükséges adalékanyagot [11].

Kísérleti eredmények

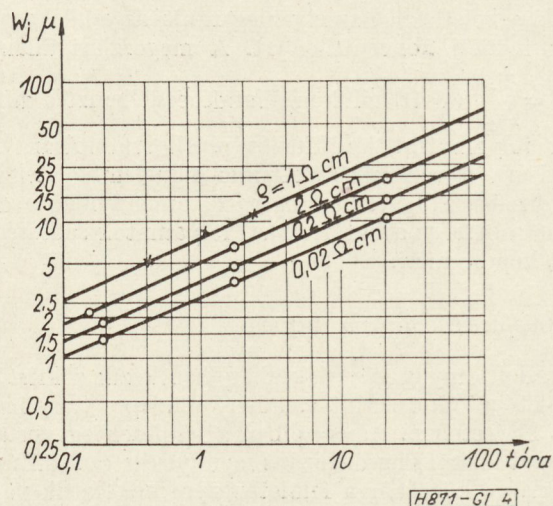
Saját munkánkban diffúziós forrásként az irodalomból ismert egyszerűbb üveg összetételeket választottuk. Akceptor diffúziós forrásként vízmentes bórtioxid, illetve bórax alkoholos szuszpenzióját, donorforrásként pedig a [7]-ben ismertetett zománcot alkalmaztuk.

A diffúziós forrás elkészítésére többféle módszert próbáltunk ki. Ezek közül a legprimitívebb és legkevésbé hatékony az ecsettel történő felkenés. Valamivel egyenletesebb rétegeloszlást biztosít az ülepítés alkoholos szuszpenzióból. Megfelelő eredményt szolgáltatott a bórtioxid felpárolgotatása semleges atmoszférában platina, illetve kvarccsónakból, vagy nagytisztaságú szilíciumra felvitt bórtioxid rétegből. Az átpárolgotatást 1150–1200 °C-on végeztük. A legegyszerűbb módszernek bizonyult a többrétegű felszórás, amikor az alkoholos bórtioxid szuszpenziót nyomás alatti levegővel, a kívánt vastagságban szórjuk fel a felületre.

A felület állapotát nagymértékben befolyásolja diffúzió után a zománc egyenletessége, vastagsága. A lágyító nélküli börtartalmú zománc nehezen távolítható el a kristály felületéről. Vastagságát ezért úgy kell megválasztani, hogy börtartalma biztosítsa a diffúzióhoz szükséges adalékanyag mennyiségét. Ez 10–15 µm mélységű p–n átmenetnél kb. 0,3–0,5 µm.

Bór zománcdiffúziókor a bórtioxid réteg felvitele után annak megolvasztása következik. Ezt a műveletet a megfelelő felmelegítési sebesség megválasztása mellett végezhetjük el. Amint elértük a B₂O₃ olvadáspontját jelentő 576 °C hőfokot, a zománc egyenletes kialakításának érdekében célszerű a kristályt e hőfoktartományban néhány percig ferde helyzetben tartani. Ha ugyanis a hőfokot hirtelen emeljük, a zománc összecsomósodik, s a kristály felületén bemaradások keletkeznek.

Az elmondottakból kitűnik, hogy a zománcdiffúzió tulajdonképpen az adalékanyag reagens folyadékfázisából történő diffúziója. Az optimális felületi koncentrációt a bórvegyület + SiO₂ + Si kölcsönös reakciója szolgáltatja.



4. ábra. A p-n átmenet helye bórdiffúzióval különböző ellenállású szilíciumokban ($T = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$)

A diffúziós folyamat a továbbiakban védőgáz atmoszférában, levegőn vagy oxigénben játszódik le. A p—n átmenet helyét az adalékanyagok felületi koncentrációja, a diffúzió hőfoka, az alakristály ellenállása, valamint a diffúzió ideje együttesen szabják meg (4. ábra). Zománctiffúzióknál számunkra nem egészen megmagyarázható módon a p—n átmenet helye valamivel mélyebben húzódik, mint ahogyan az várható lenne a számításokból, ill. az irodalmi adatokból. Az eltérés 1,1–1,4-szeres szorzóval változik, erősen függ a felvitt zománcreteg vastagságától és a kristályfelület előkészítésétől.

A diffúziós paraméterek megfelelő körülmények között reprodukálhatók.

Kísérleteinknél a diffúzió hőfoka 1200–1300 °C között volt, a p—n átmenet helyét pedig az igényeknek megfelelően 2,5–25 mikron között változtattuk. A diffúzió befejeztével a kristály hőfokát nem szabad hirtelen csökkenteni. Ennek egyik oka az irodalomból ismeretes: hirtelen lehűlés megváltoztatja a kristály paramétereit [12]. Szólnunk kell azonban egy másik okról is, ti. arról, hogy zománctiffúzióknál a zománc és a Si-kristály hőtágulási együtthatóinak különbözősége miatt lehűléskor a kristály felületén mechanikai feszültségek keletkeznek. Hirtelen lehűtéskor a zománc valósággal „leborotválhatja” a felületi réteget, és kagylós kitoréseket eredményez. Tapasztalataink szerint ez a jelenség különösen az epitaxiálisan növesztett kristályoknál lép fel. A zománc által okozott mikrorepedések kimutathatók az 100 hasított síkon diszlokációs maratással. A repedésekkel kapcsolatos vizsgálataink eredményeire egy későbbi cikkünkben visszatérünk.

A fenti okok miatt a felfűtést és a lehűtést maximum 20–30 $\frac{C^\circ}{perc}$ sebességgel végezhetjük.

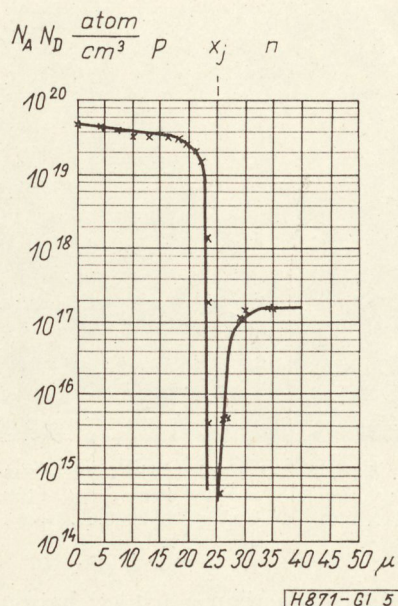
Diffúzió után a felületen levő zománctot fluorsavval távolítottuk el. Amennyiben a kristály felületén barnás színű, magas börtartalmú zománcreteg maradt vissza, ez könnyen lemartható néhány másodperces krómoxid+fluorsav tartalmú maróban. Ha a zománc a szükségesnél lényegesen vastagabbra készült, maratáskor folyamatos réteg alakjában válik el a felülettől.

A diffúzió minősítése a felületi koncentráció, az átmenet mélysége, a letörési feszültség, valamint az átmenet fajlagos kapacitásának megállapításából tevődik össze. Az átmenet mélységét az 100 hasított síkon, illetve 2° szögű ferde csiszolaton mértük [13]. A letörési feszültséget és a fajlagos kapacitást fantom diódákon minősítettük.

A dióda paraméterek mérését a fentiekén kívül a kapacitás feszültség összefüggés hatványkitevőjének megállapításával, a p—n átmenet kontaktpotenciál kiszámításával, a dióda határfrekvencia megjelölésével végeztük.

Epitaxiális rétegeken alkalmazott zománctiffúzióval 100 GHz határfrekvenciáig működő varaktordiódák, 200 ns tárolási és 200 ps feléledési idejű töltéstároló diódák is készültek.

A kontaktpotenciál értéke zománctiffúzióknál 0,55–0,65 V között változott, a kapacitásfeszültség



5. ábra. Az aktivált szennyezőatomok eloszlása a Si-kristályban egyoldali zománctiffúzió esetében. A kristály fajlagos ellenállása 0,8 Ω cm. A diffúzió hőfoka $T=1300$ °C. A p—n átmenet mélysége $W_j=24,5$ mikron

összefüggés hatványkitevője pedig 0,33–0,36 között mozgott.

Kísérleteink alapján megállapítható, hogy zománctiffúzió segítségével is elő lehet állítani olyan p—n átmeneteket, amelyek az irodalomból ismert egyéb diffúziós eljárásokkal létrehozott p—n átmenetekével azonos eredményeket adnak. Az előzetes feltevéseket igazolják még a diffúziós profilvizsgálataink, melyeket a [14]-ben ismertetett módszerhez hasonlóan végeztünk. Egyoldalról végzett diffúzióknál az általunk megvizsgált diffúziós profilt az 5. ábrán mutatjuk be.

A bórax alapú zománctiffúzióra vonatkozó experimentális vizsgálataink még egy figyelemre méltó megállapításhoz vezettek. Bebizonyosodott ugyanis, hogy a bóraxban levő nátrium jelenléte diffúziókor jelentékeny változásokat idéz elő a kristály tulajdonságaiban. E változások legfontosabb jellemzőit a következőkben foglalhatjuk össze:

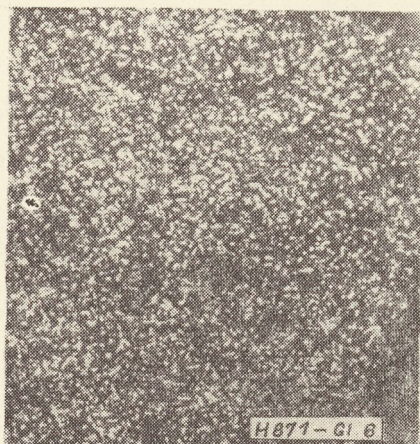
1. Nagymértékben megnő a diódák differenciális soros ellenállása, a nyitóirányú áram rendszerint egy nagyságrenddel is kisebb lehet, mint az Na nélküli diffúzióknál.

2. A diódák letörési feszültsége a kristály eredeti ellenállásától függetlenül 3–5 V-ra csökken.

3. A p—n átmenet fajlagos kapacitása anomálishan megnő. Értéke a számítotténak 4–8-szorosát is elérheti.

4. p-típusú szilíciumba diffundálva a nátrium a vezetőképességet erőteljesen fokozza. Néhány száz μ m vastagságú szilícium kristályban, a lap teljes térfogatában jelentősen megnő a vezetőképesség. Ez arra enged következtetni, hogy a nátrium diffúziós sebessége a szilíciumban igen nagy lehet. (Úgy tűnik, hogy a lithiuméhoz hasonló.)

A nátrium hatásával kapcsolatban a mai napig kevés tanulmány látott napvilágot. A jelenleg talál-

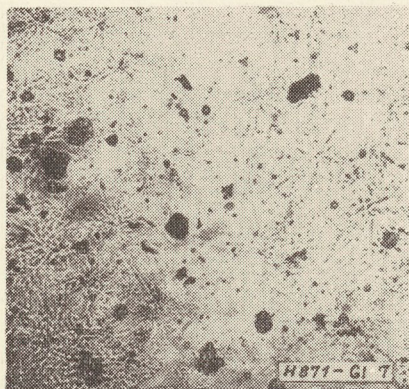


6. ábra. A szilíciumkristály felülete vastag zománc okozta bomlás után. A felületi rücskösség kb 2000 Å. Nagyítás 240×

ható irodalom elsősorban a felületi hatásokkal foglalkozik [15, 16]. Az eddig közölt, meggyőzőnek látszó adatokból, valamint saját kísérleteink gyakorlati tapasztalataiból annyi azonban kétségtelenül kitűnik, hogy a nátrium jelenléte diffúziókor káros és ezért elkerülendő.

A továbbiakban a zománcdiffúzió folyamatát kísérő néhány felületi és térfogati struktúraváltozást ismertetünk.

A zománcvastagság kritikus határt szab a diffúzió utáni felület minőségének. Ha a zománc a szükséges néhány ezer Å-nél vastagabb, úgy a zománc eltávolítása után a felületen finom eloszlású maratási gödrök jelennek meg. A 6. ábrán egy ilyen felület képe látható. A bomlások erős nagyítás mellett vizsgálva kagylós kitörésekre engednek következtetni. Ennek oka pedig a zománc okozta feszültség. Epitaxiális rétegben végrehajtott zománcdiffúzió-nál az epitaxiális réteg hibái fokozottan láthatóvá válnak struktúrafüggő maratáskor. Ez arra enged következtetni, hogy a defektusok környezetében a szennyező atomok feldúsulása fokozott mértékű, és a maratási sebesség megnő. A 7. ábrán egy epitaxiális réteg felülete látható diffúzió után. A finom, polipszerű hálózat a kloridból növesztett epitaxiális

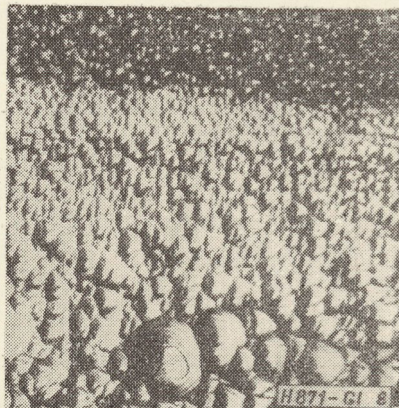


7. ábra. A zománcdiffúzió által előhívott kristályhibák epitaxiális réteg felületén. Nagyítás 240×

réteg egyik strukturális hibája. Diffúzió-nál e hiba határvonala is élesebbé válik.

Nátrium tartalmú zománcból végrehajtott diffúzió-nál a kristály felületén kialakul egy jól előhívható polikristályos réteg, melynek vastagsága 1250 C°-nál magasabb hőfokon végzett diffúzió-nál néhány mikron is lehet. Polikristályos szerkezet kialakulását bórtrioxidból történt diffúzió-nál nem tapasztaltuk.

A 8. ábrán a kristályszerkezet változásának egy sajátos esete látható. Az n^+-n-p szerkezetű, zománcdiffúzióval készített átmenetnél 2°-os ferde csiszolaton diszlokációs maróval előhívtuk az átmenet strukturális képét. A diffúzió felőli oldalon teraszos szerkezetű, kagyló formájú krisztallitzemcsézottség vált láthatóvá, amelynek jellege és nagysága a szennyezőkoncentráció csökkenésével a kristály belseje felé haladva változik. A teraszos szerkezet keletkezésének oka magas bórkoncentrációjú epitaxiális rétegépülés közben az irodalomból ismert jelenség [17]. Számunkra nem világos, hogy diffúzió-nál milyen magyarázata lehet egy ilyen struktúra kiala-



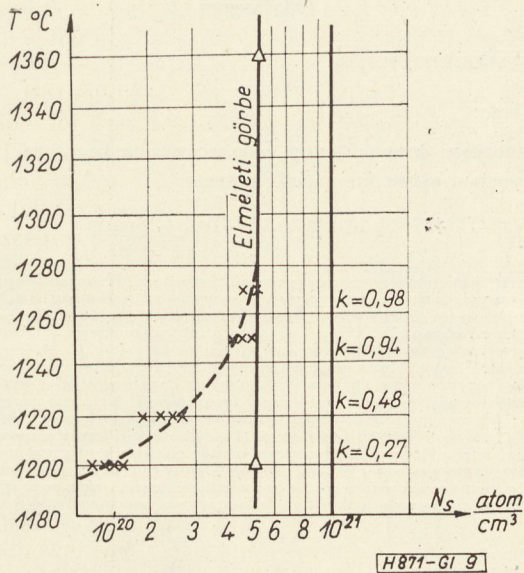
8. ábra. A p-n átmenet strukturális képe 2°-os ferde csiszolaton. Nagyítás 240×. Epitaxiális réteg fajlagos ellenállása: 1 Ω cm. Rétegvastagság: 20 mikron. Hordozó kristály fajlagos ellenállása: 0,004 Ω cm. A p-n átmenet helye $w_j = 17 \mu$

kulásának. Mivel a tapasztalt teraszos struktúra egyik okozója lehet a spirál-diszlokáció, mely jelen esetben indokolatlan, a probléma megismerése további vizsgálatokat tesz szükségessé.

A zománcdiffúziós folyamat eredményeként létrejött szerkezeti változások okai még nem teljesen tisztázottak számunkra. Tényként fogadhatjuk el azonban azt, hogy szennyezőatom-koncentráció és a felületi mechanikai feszültségek jelentős strukturális változásokat idéznek elő a kristályban. E kérdések pontosabb megválaszolására csak további, részletes vizsgálatok alapján vállalkozhatnánk.

Végezetül még egy problémára utalunk.

A 9. ábrán a bór oldhatósági görbét láthatjuk a szilíciumban. Mint már említettük, az adott hőfokhoz tartozó adalékanyag koncentrációk megfelelnek a diffúziós felületi koncentrációnak. A maximális felületi koncentráció zománcdiffúzió-nál csak 1200 C° körüli hőfoknál érhető el. Alacsonyabb hő-



9. ábra. A megoszlási együttható a diffúziós hőfok függvényében zománcdiffúzióánál

foknál, mint ez az ábrán is látható, értéke 0,27–0,98 között változott. A nagy számban elvégzett kísérlet átlagértékei arra engednek következtetni, hogy B_2O_3 -ból végrehajtott zománcdiffúzióánál a csökkenés törvényszerű.

Minden valószínűség szerint kapcsolatban van a kristály folyadékfázis határfelületén lejátszódó reakciókkal, melyben a jelenlevő oxigén fontos szerepet játszhat.

A megoszlási állandó védőgáz atmoszféra (nitrogén, argon stb.) alkalmazásakor is alacsonyabb hőfokon emelkedő tendenciát mutat. Az 1-et megközelítő értéket azonban ez esetben is csak 1200 °C feletti hőfoktartományban éri el.

A kísérleti eredmények értékelése

A diffúziót a kristály felületén előre elkészített zománctól hajtottuk végre. A zománc anyaga párologtatással vagy felszórással készített bórtioxid réteg.

A felületi adalékanyag koncentrációt négytűs ellenállás méréssel értékeltük, majd profilvizsgálatokkal és dióda paraméter mérésekkel egészítettük ki.

Megállapítottuk, hogy homogén, az előzetes számításoknak megfelelő diffúziós átmenetek készíthetők a zománcdiffúzió felhasználásával.

A felületi koncentrációt nagymértékben befolyásolja a megoszlási állandó, mely az 1-körül értéket csak 1200 °C közelében éri el.

A kísérletek alapján képet alkothatunk a zománcdiffúziós technika alkalmazásának várható előnyeiről, de lehetséges hátrányairól is.

A módszer előnyeihez tartozik viszonylag egyszerű megvalósítása; a vele elérhető nagy diffúziós sebes-

ség; a zománc védő hatása, amelyet más anyagok diffúziójával szemben kifejt; az így előállítható és könnyen szabályozható nagy felületi koncentráció, mely különösen néhány mikron mélységű diffúziós rétegek esetében jelentős stb.

Megfelelő nagytisztaságú anyagok felhasználásával, a zománckészítés technológiájának fejlesztésével a módszer tovább tökéletesíthető. Rendkívül célszerű a zomántechnika felhasználása kétoldali diffúzióánál; más eljárásokkal ugyanis a kétoldali diffúzió csak körülményesen valósítható meg.

A módszer hátrányai közé sorolhatjuk azokat a nehézségeket, amelyeket a zománc viselkedése okoz lehűléskor; a zománcal borított kristályfelület érzékenységét a fűtési periódusban; az alacsonyabb hőfokon létrejövő csökkenő megoszlási állandót.

Meg kell azonban jegyezni, hogy jelenleg elhamarkodott lenne a tárgyalt módszer további perspektíváiról ítéletet mondani, mivel a zománcdiffúzió kérdéskörének számos problémája még tisztázatlan.

IRODALOM

1. B. I. Boltaksz: Diffuzija v poluprovodnyikach. Fizmatgiz, Moszkva, 1961.
2. L. V. Luma a oth.: Metallurgy Elemental and Compound Semiconductors. New York — London, 1961., 75.
3. W. H. Armistead: U. S. Patent N° 2.339.449., 1959.
4. H. G. Grimm a oth.: U. S. Patent N° 1.964.629., 1961.
5. V. A. Bruk, V. V. Garsenjin, A. J. Kurnoszov: Proizvodstvo poluprovodnyikovich priborov. Proftechizdat, Moszkva, 1963.
6. J. R. Noszov: Poluprovodnyikovije impulsnije diodi. Szovjetszkoje Radio, Moszkva, 1963.
7. A. E. Bakanovszki, N. G. Cianna, A. Uhlir: Diffused Silicon Nonlinear Capacitors, IRE Trans. El. Devices, 1959. Oct. 384—390.
8. K. D. Smith: PGED-IRE Conf. Washington DC., 1956.
9. I. M. Mackintosh: The Diffusion of Phosphorus in Silicon, J. El. Chem. Soc., 109 5. 392—402 (1962).
10. L. N. Tolopko: Transactions of the IBM, Electron News, 10 6. 516. (1965).
11. J. E. Reynolds, K. D. Holloway: U. S. Patent N° 3183. 130., 1964.
12. G. J. Brookers: G. B. Patent N° 973348., 1964.
13. P. F. Schmidt, A. E. Owen: J. El. Chem. Soc., 111 7. 682 (1964).
14. N. B. Hannay: Semiconductors. Murray Hill, New Jersey, 1959., Cap. XI.
15. Gál I.: Mikroinhomogenitások tanulmányozása hasított Si egykristály síkokon; Félvezető eszközök mérése kollokium, Bp., 1967.
16. S. B. Watelski, W. R. Runyan, R. C. Wackwitz: A Concentration Gradient Profiling Method, J. El. Chem. Soc. 112 10. 1051—1053. (1965).
17. T. J. Puritzs, I. E. Ozolinja, R. J. Krike, L. A. Freiberga: Mikroplazmennije javlenija v elektronno-dirocsnich perechodach kremnyija, Poluprovodnyiki i ich primenyenije v elektrotehniké III., Riga, 1964.
18. T. J. Puritzs, I. E. Ozolinja: Mikroplazmennije javlenija v kremnyijevom elektronno-dirocsnom perechode, Fizika p-n perechodov. Riga, 1966., 383—390.
19. R. W. Cahn: Impurities and Imperfections, ASM Seminar, 1955., 41.

ETO 519.14:621.372:681.32.06

Pávó I.:

Hálózatfüggvény meghatározása topológiai formulával digitális számológépen

HÍRADÁSTECHNIKA XIX. (1968) 11. sz.

A cikk felhasznál egy, a Kirchhoff-törvényekből levezethető topológiai formulát, amely lineáris, koncentrált paraméterű, passzív és invariáns hálózatok transzfer impedancia függvényének meghatározásához alkalmazható. A topológiai formula alkalmazásához szükséges hálózat gráf fát és kettőfát L. M. Maxwell és J. M. Cline Jr. egy 1966-ban megjelent dolgozata nyomán algebrai úton állítja elő. Az előállítást számítástechnikailag némileg módosítja, és ezzel az említett részgráfok digitális számológépen történő generálásának egyszerűbb lehetőségét kapja. A szerző megad több vázlat formájában egy olyan programvázlatot is, amellyel digitális számológépen adott hálózat transzfer impedancia függvénye meghatározható. E cikkben ismertetett módszer előnye más módszerekkel összehasonlítva abban áll, hogy a gépi nyelven elkészített program lefuttatásához minimális memória kapacitás szükséges. Alkalmazásul a szerző egy konkrét feladatot is bemutat, amelynek programját egy viszonylag kis memória kapacitású és műveleti sebességű számológépen le is futtatták, s tájékoztatásul a program futtatásával kapcsolatos adatokat közöl.

ETO 517.5:621.372.2

Kóta G.:

Hálózatfüggvények gyökeinek függése az áramköri elemektől

HÍRADÁSTECHNIKA XIX. (1968) 11. sz.

A hálózatfüggvények az áramköri elemek értékétől általában bilineáris formában függenek és így azok zérusainak és pólusainak egy áramköri elemtől függő változása a szabályozástechnikában jól ismert gyökhelygörbék módszerével írható le. Az ideális transzformátor áttételétől, az ideális girátor ellenállásától és a negatív impedancia konverter konverziós tényezőjétől való függés azonban bikkvadratikum alakú. Ez érdekessé teszi a paraméterre nézve másodfokú gyökhelygörbék vizsgálatát.

A cikk röviden összefoglalja a pozitív és negatív paraméterértékekhez tartozó elsőfokú gyökhelygörbék tulajdonságait, majd ismertet a másodfokú görbék vizsgálatánál nyert főbb eredményeket.

ETO 621.3.049.7—111:621.377.244:681.327.66

Balogh P.:

Integrált mágneses tárolók

HÍRADÁSTECHNIKA XIX. (1968) 11. sz.

A szerző az irodalom alapján ismerteti a legelterjedtebb integrált mágneses tárolókat. Röviden vázolja a monolitikus ferrit tárolók, egy- és többretegű, DRO és NDRO működésű sík mágneses vékonyréteg tárolók, és a hengeres mágneses vékonyréteg tárolók működésének fizikai alapjait, működési módjukat és gyártásukat. Az egyes tárolótípusoknak ismerteti a leglényegesebb adatait (ciklusidő, kapacitás, működtető áramok stb.), és a használatban levő típusokat. Végül áttekintést ad a különféle tárolók 1970-re várható elterjedéséről.

ETO 539.219.3:669.782

Gál I.:

Adalék-anyagok diffúziója szilíciumba zománediffúziós forrásból

HÍRADÁSTECHNIKA XIX. (1968) 11. sz.

A cikk a jelenleg használatos diffúziós eljárások és módszerek ismertetése, illetve összehasonlítása után a B_2O_3 kontakt forrásból szilíciumba készített diffúzió technológiájával foglalkozik. A diffúziós forrást felszórással létesítették. A diffúzió mélysége 2–25 mikron, az adalék-anyagok felületi koncentrációja $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ diffúziós

hőfoknál $4 \cdot 10^{20}\text{ cm}^{-3}$. Ismerteti az elkészült p-n átmenetek elektromos és strukturális tulajdonságait, megfigyeléseket közöl a Na szerepével kapcsolatban, valamint a diffúziós megoszlási állandó hőfokfüggését mutatja be $1050\text{--}1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ tartományban. Értékeli a zománediffúzió alkalmazhatóságát a kísérletek alapján.

ДК 519.14:621.372:681.32.06

И. Паво:

Определение функций сетей топологической формулой с помощью вычислительной машины

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) XIX. (1968) № 11.

В статье используется топологической формулой, употребляемой для определения функции трансферного импеданса линейных пассивных и инвариантных сетей концентрационных параметров. Дерива и 2-дерива сетей, необходимые для употребления этой топологической формулы, получаются алгебраическим путем по одной из работ Л. М. Мексвела и Дж. М. Клинни. Представление модифицируется технически-вычислительно, которое дает возможность получить простейшее образование упомянутых подграфов с помощью цифровой вычислительной машины. Автор дает в виде схем блоков программную схему, использованием которой можно определить функцию трансферного импеданса данных сетей. Провосходство этого метода состоит в том, что он употребляет минимальную емкость запоминающего устройства. Автор дает пример, программа которого была выполнена вычислительной машиной небыстрой скорости и небольшой емкости запоминающего устройства.

ДК 517.5:621.372.2

Г. Кота:

Зависимость корней функций сетей от элементов цепи

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) XIX. (1968) № 11.

Функции сети зависят вообще от величин элементов цепи в билинейной форме и таким образом изменения их нулевых мест и полюсов в зависимости одного элемента цепи могут быть определены методом кривых мест корней хорошо известным в технике регулировании. Зависимость от отношения витков идеального трансформатора, от сопротивления идеального гиратора и от коэффициента преобразования преобразователя отрицательного импеданса, однако, является биквадратным. По этому испытание кривых мест корней второй степени по параметрам является интересным.

Дано краткое обобщение свойств кривых мест корней первой степени принадлежащих к положительным и отрицательным величинам параметров, а изложены основные результаты полученные у испытания кривых второй степени.

ДК 621.3.049.7—111:621.377.244:681.327.66

П. Балог:

Интегральные магнитные памяти

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) XIX. (1968) № 11.

Изложены самые употребительные интегральные магнитные памяти на основе литературы. Кратко описаны монохрические ферритные памяти, физические основы, метод работы и производство плоских магнитных пленочных памят типа ДРОНДРО. Даны важнейшие параметры (цикл, время, емкость, рабочее токи и т. д.) отдельных типов память и употребительные типы. Наконец дан обзор ожидаемого распространения отдельных памят в 1970 г.

ДК 539.219.3:669.782

И. Гал:

Диффузия добавительных материалов в кремний из эмаливого источника диффузии

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) XIX. (1968) № 11.

Излагаются и сравниваются методы диффузии известны в настоящее время. Потом технология диффузии из контактного источника B_2O_3 в кремний. Источник диффузии был изготовлен насыпательным методом. Глубина диффузии: 2–25 микрон, поверхностная концентрация добавительных

материалов при температуре $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$: $4 \cdot 10^{20}\text{ cm}^{-3}$. Описаны электрические и структуральные свойства изготовленных p-n переходов, даны наблюдения по роли Na, а показана зависимость от температуры постоянной распределения диффузии в область $1050\text{--}1300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Анализируется способ применения эмаливой диффузии на основе экспериментов.

DK 519.14:621.372:681.32.06

I. Pávó:

Bestimmung einer Netzfunktion durch eine topologische Formel auf digitalen Rechenmaschinen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XIX. (1968) № 11.

In der Arbeit wird eine von den Kirchhoff-Sätzen ableitbare topologische Formel benutzt, die für die Bestimmung der Transferimpedanzfunktion linearer passiver invarianten Netze mit konzentrierten Parametern zu verwenden ist. Die Bäume und die 2-Bäume des Netzgraphen, die für die Anwendung der Formel nötig sind, werden nach einer Arbeit von L. M. Maxwell und J. M. Cline jr. von 1966 in einer algebraischen Form dargestellt. Diese Darstellung wird in rechen technischer Hinsicht etwas modifiziert; somit erhält man eine einfachere Möglichkeit die genannten Teilgraphen auf digitalen Rechenmaschinen zu erzeugen. Der Verfasser gibt eine Programmskizze in der Form eines Blockschemas an mit deren Hilfe man die Transferimpedanzfunktion eines gegebenen Netzes auf einer digitalen Rechenmaschine bestimmen kann. Der Vorteil der in der Arbeit beschriebenen Methode gegen andere Methoden besteht darin, dass der Durchlauf des Programms nach Übersetzung auf Maschinensprache eine minimale Speicherkapazität benötigt. Als Anwendung führt der Verfasser auch eine konkrete Aufgabe hin, deren Programm auf einer Rechenmaschine mit verhältnismäßig kleiner Kapazität und kleiner Operationsgeschwindigkeit gelaufen ist, und er teilt behufs Information einige Angaben bezüglich des Durchlaufs des Programms mit.

DK 517.5:621.372.2

G. Kóta:

Die Abhängigkeit der Wurzel der Netzfunktion von den Stromkreiselementen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XIX. (1968) № 11.

Die Netzfunktionen hängen von den Werten der Stromkreiselemente in allgemeinem in einer bilinearen Form ab und so kann die von einem Stromkreiselement abhängige Änderung ihrer Null- und Polstellen mit der in der Regelungstechnik wohl bekannten Methode der Wurzelstellenkurven beschrieben werden. Aber die Abhängigkeit von der idealen Transformatorübersetzung, von dem Widerstand des Girators und von dem Konversionsfaktor des Konverters für negative Impedanzen hat eine biquadratische Form. Diese Abhängigkeit macht die Untersuchung der quadratischen Wurzelstellenkurven bezüglich des Parameters interessant. In dem Artikel werden die Eigenschaften der linearen Wurzelstellenkurven, die zu den positiven und negativen Parameterwerten gehören kurz zusammengefasst. Ferner werden die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung der quadratischen Kurven erörtert.

DK 621.3.049.7—111:621.377.244:681.327.66

P. Balogh:

Integrierter magnetischer Speicher

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XIX. (1968) № 11.

Der Verfasser erörtert auf Grund der Fachliteratur die weitverbreiteten integrierten magnetischen Speicher. Er schildert kurz die physikalischen Grundlagen, Funktionsmethoden und Fabrikation der monorischen Ferritspeicher, Ein- und Mehrschichtspeicher und die flachen magnetischen Dünnschichtspeicher, die mit der DRONDRO-Methode funktionieren. Die wichtigsten Angaben der einzelnen Speichertypen (Zyklus, Zeit, Kapazität, Betätigungsströme, etc.) und die Typen im Gebrauch werden behandelt. Zuletzt wird ein kurzer Überblick über die voraussichtliche Verbreitung der verschiedenen Speicher im Jahre 1970. gegeben.

DK 539.219.3:669.782

I. Gál:

Diffusion der Ingredienzien in Silizium aus einer Email-diffusionsquelle

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XIX. (1968) № 11.

Nach der Erörterung, bzw. Vergleichung der zur Zeit angewendeten Diffusionsverfahren und Methoden behandelt der Artikel die Diffusionstechnologie aus der B_2O_3 Kontaktquelle in Silizium. Die Diffusionsquelle wurde durch Aufspritzen hergestellt. Die Tiefe der Diffusion ist $2-25 \mu$, die Oberflächenkonzentration der Hilfsmate-

rialien ist $4 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^3$ bei einer Diffusionstemperatur von 1300°C . Weiter werden die elektrischen und strukturellen Eigenschaften der verfertigten p-n Durchgänge erörtert, und in Zusammenhang mit der Rolle des Na-s werden Beobachtungen bekannt gemacht. Ferner wird die Temperaturabhängigkeit der Diffusionsverteilungskonstante in dem Bereich $1050-1300^\circ \text{C}$ gezeigt. Die Anwendbarkeit der Emailldiffusion wird auf Grund der Experimente ausgewertet.

UDC 519.14:621.372:681.32.06

I. Pávó:

Representation of Network Function with the Aid of a topological Formula by digital Computer

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XIX. (1968) № 11.

The paper makes use of a topological formula that can be deduced from Kirchhoff's laws concerning transfer impedance function of linear, passive and invariant networks with concentrated parameters. The trees and 2-trees of a graph network, which are needed to using the above topological formula, are represented by an algebraic method due to L. M. Maxwell and J. M. Cline (1966). The representation is somewhat modified so as to get a simpler way of representing trees and 2-trees by digital computer. The author also sketches a short program in a form of a block-diagram to determining transfer impedance function of a given graph network. Comparing the method presented in this paper with other ones, its advantage is due to the fact that a minimal store capacity is needed to make its program run. The author presents also an example, the program of which was run on a computer of fairly small store capacity and average speed. For information in connection with the run of program, data are given as well.

UDC 517.5:621.372.2

G. Kóta:

Dependence of the Roots of Network Functions of the Circuit Elements

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XIX. (1968) № 11.

The network functions depend generally in a bilinear form on the values of the circuit elements and the change of their zeros and poles depending on a circuit element can be described by the method of root locus curves which is well known in the control engineering. But the dependence on the ratio of the ideal transformer, on the resistance of the ideal girator and on the conversion factor of the negative impedance converter has a biquadratic form. This makes the examination of the quadratic root locus curves regarding the parameters interesting. In the paper the properties of the first degree root locus curves belonging to the positive and negative parameters are briefly summarized and the main results of the examination of the quadratic curves presented.

UDC 621.3.0.497—111:621.377.244:681.327.66

P. Balogh:

Integrated Magnetic Memories

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XIX. (1968) № 11.

On the basis of literature the author presents the most wide-spread magnetic memories. The physical grounds, methods of operation and manufacturing of the monoric ferrite memories, one and several layer memories and the planar magnetic thin film memories of the DRONDRO type are briefly described. The main data of certain individual memory types (cycle, time, capacity, actuating currents, etc.) and of the types in use are presented. Finally a survey of the different memories to be expected to spread in 1970 is given.

UDC 539.219.3:669.782

I. Gál:

Diffusion of Ingredients in Silicon from an Enamel Diffusion Source

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XIX. (1968) № 11.

The paper presents the diffusion procedures and methods used at present and after comparing them deals with the technology of the diffusion from B_2O_3 contact source in silicon. The diffused source was made by pulverization. The depth of the diffusion is $2-25 \mu$

the surface concentration of the ingredients is $4 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^3$ at a diffusion temperature of 1300°C . The electrical and structural properties of the finished p-n junction are presented, informations concerning the role of Na are given and the temperature dependence of the diffusion distribution constant is shown in a temperature range of $1050-1300^\circ \text{C}$. The applicability of the enamel diffusion is evaluated on the basis of the experiments.

CDU 519.14:621.372:681.32.06

I. Pávó:

Détermination de la fonction du réseau par la formule topologique avec la calculatrice digitale

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XIX. (1968) N° 11.

L'auteur, dans son article emploie une formule topologique qu'on peut déduire des lois Kirchhoff. Cette formule peut être appliquée à la détermination des réseaux linéaires, concentrés paramétriques, passifs et invariants ainsi qu'à la détermination des fonctions transferts impédances. Les arbres et 2-arbres du réseaugraphe nécessaires à l'emploi de la formule topologique ont été obtenus algébriquement d'après les études de L. M. Maxwell et J. M. Cline Jr. parues en 1966. La production est en quelque sorte modifiée par une nouvelle technique de calcul, et ainsi les sus-nommées sous-graphes générées par la calculatrice digitale sont rendues plus simples. L'auteur donne entre autre sous une forme schéma-synoptique un programme à l'aide duquel on peut déterminer la fonction du réseau transfert impédance reçu de la calculatrice digitale. L'avantage de la méthode exposée ici, comparée à d'autres, consiste en cela que le parcours du programme préparé en langue de machine ne nécessite qu'une minime capacité de mémoire. En vue d'une application, l'auteur veut présenter un devoir concret dont le programme a été parcouru sur une calculatrice dont la capacité de mémoire et la rapidité de calcul étaient relativement plus petites. A titre d'information il y a l'incéré des données relatives au processus du programme.

CDU 517.5:621.372.2

G. Kóta:

Dépendance des radices des fonctions de réseau des éléments du circuit

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XIX. (1968) N° 11.

Les fonctions de réseau dépendent en général de la valeur des éléments du circuit en forme bilinéaire, ainsi la variation de leurs zéros et pôles en fonction des éléments du circuit peut être décrite avec la méthode des courbes des lieux des radices, qui est bien connue dans la technique de commande. Cependant la dépendance du rapport du transformateur idéal, de la résistance du girateur idéal et du facteur de conversion du convertisseur à impédance négative est biquadratique. Ce fait est intéressant pour l'examen des courbes des radices quadratiques en vue des paramètres. L'article récapitule brièvement les propriétés des courbes de lieu des radices de 1^{er} degré appartenant aux valeurs négatives des paramètres, puis les résultats principaux gagnés par l'examen des courbes quadratiques sont donnés.

CDU 621.3.049.7—111:621.377.244:681.327.66

P. Balogh:

Mémoires magnétiques intégrées

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XIX. (1968.) N° 11.

L'auteur expose, à la base de la littérature, les mémoires magnétiques intégrées les plus utilisées. Un bref résumé est donné sur les mémoires de ferrite monorique, les mémoires magnétiques minces ayant une et deux couches planaires de foction DRONDRO, leurs bases physiques, méthode du travail et fabrication. Les paramètres les plus importants (cycle, temps, capacité, courants d'opération) des mémoires individuelles et les types utilisés sont donnés. Enfin une estimation de l'extension présumée des mémoires différentes pour 1970 est présentée.

CDU 539.219.3:669.782

I. Gál:

Diffusion des matières d'alliage en silicium d'une source de diffusion d'email

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XIX. (1968.) N° 11.

L'article, après une exposition et comparaison des méthodes et traitements de diffusion utilisés actuellement, décrit la technologie de diffusion en silicium d'une source de contact B₂O₃. La source de diffusion a été réalisée par pulvérisation. La profondeur de la diffusion est 2—25 micron, la condensation superficielle des matières,

l'alliage est $4 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ à une température de diffusion de 1300 °C. Les propriétés électriques et structurales des jonctions p-n réalisées sont données, des observations concernant la rôle de Na sont décrites, ainsi que la dépendance de température du coefficient de distribution de diffusion dans le domaine de 1050—1300 °C est présentée. La possibilité de l'utilisation de la diffusion d'email est analysée à la base des essais.

Kerek dugaszos csatlakozók

Dugaszos csatlakozók nyomtatott áramkörök részére

Lapos dugaszos csatlakozók armatúrával

az elektronika és elektrotechnika céljaira

a gép- és készülékiparban
a közlekedésnél

a repüléstechnika berendezéseiben
a szállítás- és emelőtechnikában
a kapcsolás-, mérés-, vizsgálás-, vezérlés-,
szabályozás- és híradástechnikában
az adatfeldolgozásnál / irodagépekben
az optika / finommechanikában

— Kérjük az alábbi szelvényt letépni, kitölteni, postai levelezőlapra felragasztani és címünkre feladni.

Póstafordultával küldjük részletes tájékoztatónkat.

Név: _____

Cég: _____

Uzletag: _____

Város: _____

Utca: _____

AMPHENOL-TUCHEL ELECTRONICS GMBH

71 HEILBRONN/N., BRD, Postfach 920, Abt. C

Pályázat

Az IPARGAZDASÁG Szerkesztősége pályázatot hirdet olyan művek elkészítésére, amelyek gyakorlatilag megvalósítható, komplex műszaki-gazdasági javaslatot tartalmaznak

KŐOLAJTERMÉKEK ÉS FÖLDGÁZ ENERGETIKAI FELHASZNÁLÁSÁNAK GAZDASÁGOS NÖVELESI LEHETŐSÉGEIRE

1. A pályamű tartalmazzon *javaslatot* az energiahordozó-felhasználás korszerűsítésével kapcsolatban, a kőolajtermékek (fűtő-, tüzelőolaj stb.) vagy földgázfelhasználás gazdaságos növelésére, illetve energiahordozó-cserére, helyi racionális megoldásokra
nemcsak a nagy- és középipar, hanem a helyiipar, kisipar, kommunális ellátás, mezőgazdaság, kereskedelem, közlekedés, lakossági fogyasztás stb. területén.

2. A pályaműnek tartalmaznia kell:

- a) a javasolt megoldásra vonatkozó sokoldalú gazdaságossági számításokat, olyan részletesen, hogy annak alapján dönteni lehessen a beruházások elhatározása tekintetében. Előnyben részesítjük azokat a megoldásokat, amelyek a jelenlegi árak mellett vállalati szinten is jövedelmezőek. A javaslat lehetőleg tartalmazzon népgazdasági szintű gazdaságossági számításokat is.
- b) A pályamű tartalmazza a javasolt műszaki megoldásokat, olyan részletesen, hogy az jelenlegi adottságainkkal itthon megvalósítható legyen. Előnyben részesítjük azokat a javaslatokat, amelyek megvalósítása hazai forrásból vagy szocialista országokból beszerezhető berendezésekkel oldható meg. Kíváncsok megjelölni az ilyen berendezések forrását, árát, az esetleges szükséges átalakításukat.
- c) Központilag már elhatározott beruházás előterjesztése csak akkor tekinthető elbírálásra alkalmas javaslatnak, ha a pályamű ezzel kapcsolatban olyan részleteket dolgoz ki, amelyek rendelkezésre bocsátása meggyorsítja az ennek korszerűsítést célzó beruházás kivitelezését, illetőleg, ha a pályaműben javasoltak számottevően növelik a kérdés energiahordozó-csere gazdasági eredményét. Ilyen esetben a pályaműben ki kell emelni a központi elhatározás megtörténtét és az ahhoz képest jelentkező előnyöket.

3. Pályadíjak:

2 db	I. díj	á 15 000,—	Ft=30 000 Ft
3 db	II. díj	á 10 000,—	Ft=30 000 Ft
4 db	III. díj	á 5 000,—	Ft=20 000 Ft

Ezenkívül a pályadíjat nem nyert munkák egy részét jutalomban részesítheti a bíráló bizottság.

4. A pályázatok jelígesek. A pályázó nevét és címét zárt borítékban köteles mellékelni. A pályázó a pályázati anyagban nevét nem tüntetheti fel. Amennyiben a pályázó a pályázati anyagban bárhol feltünteti nevét, a pályázat nem kerül elbírálásra.

5. A pályázathoz részletes, gondos, megalapozott, a közölt adatokat igazoló számítások és a megvalósításra alkalmas formában kidolgozott rajzok, gazdasági számítások stb. csatolandók. A műszaki megoldást tartalmazó rajzmelléletek csak olyan részletesek legyenek, amelyek alapján a javaslat megvalósíthatósága elbírálható. A pályamű terjedelme lehetőleg ne haladja meg a 30 gépell oldalt.

6. Nem lehet pályázni:

- ötletek felvetésével,
- megfelelő műszaki-gazdasági színvonalú indokolást nélkülöző egyszerű újítási javaslattal,
- más intézményhez benyújtott javaslattal vagy pályázattal,
- kutatóintézeti zárójelentéssel, utasításra készült előterjesztéssel, javaslattal, diplomatervvvel, hivatali munkában elkészült dolgozatokkal,
- a pályázati eredmény kihirdetése előtt nyilvánosságra hozott, nyomtatott vagy sokszorosított formában kiadott munkával.

7. A benyújtott pályamunkát más szerv által meghirdetett pályázatra benyújtani nem lehet.

8. A pályázatban közölt újítások, találmányok nem csorbítják az újítók, feltalálók ilyen irányú jogait.

9. A pályázatokat 2 példányban, szabványos méretű gépirói papír egyik oldalán, ritkított sorokban kell gépeltetni. A lapok folytonatosan számozandók. Az összes rajzokat ugyancsak A/4 papíron tussal vagy kemény ceruzával kell elkészíteni. Az ábrák számozására a szövegben hivatkozni kell.

10. A pályázat eredeti forrásmunkái feltüntetendők a szöveg megfelelő helyén és a pályamű végén összesítve.

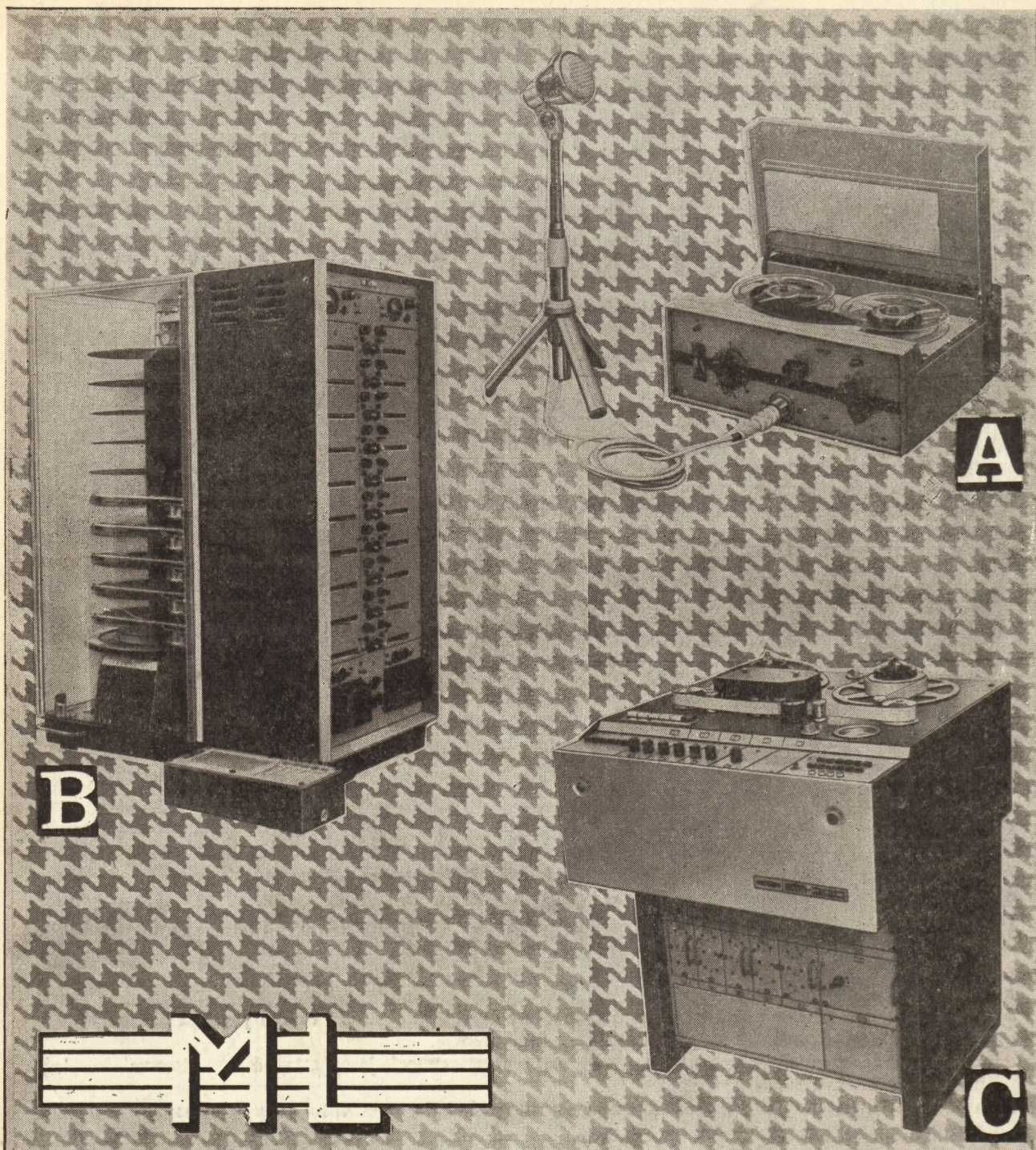
11. A pályázatokat az IPARGAZDASÁG Szerkesztősége címére (Bp. V. Szabadság tér 17.) kell beküldeni.

12. Az eredeti pályázatok a szerkesztőség tulajdonát képezik. Beküldési határidő: 1969. március 31.

A pályázatokat az IPARGAZDASÁG szerkesztő bizottsága által létrehozott bizottság bírálja el. A bíráló bizottság jogosult indokolt esetben a pályadíjak megosztott, vagy csökkentett kiadására.

A pályázat eredményhirdetésének helyét és idejét az IPARGAZDASÁG 1969. júniusi számában közli az

IPARGAZDASÁG SZERKESZTŐSÉGE



MECHANIKAI LABORATÓRIUM
HÍRADÁSTECHNIKAI KÍSÉRLETI VÁLLALAT
Budapest, Gorkij fasor 25—27.

A RIPORTERMAGNETOFON

Teljesen kontaktusok nélküli egyenáramú elektromotor alkalmazásával készült. A beépített dinamika-kompresszor a tízszeres hangerő növekedést kevesebb mint 4/1000 mp alatt szabályozza le önműködően normál szintre.

Szalagsebesség: 9,5 és 19,05 cm/mp

B INFORMÁTOR-AUTOMATA

Mágnesesen rögzített és tárolt hanginformációt távindításra lejátszik. Hálózati táplálással működik, a felvétel mikrofonról történik.

Műsorideje: 2 × 10 csatorna esetében csatornánként max. 5 perc.

C STM-220 NÉGYCSATORNÁS (PLAY-BACK) STÚDIÓMAGNETOFON

Alkalmazásával sztereo műsorok elkészítése lényegesen egyszerűbbé válik.

Csík szélesség: 4,5 mm. Minden csík külön törölhető és rájátszható.

Szalagsebesség: 38,1 és 19,05 cm/mp

Max. tekercsátmérő: 300 mm

Alkalmazott szalag: 25,4 mm széles