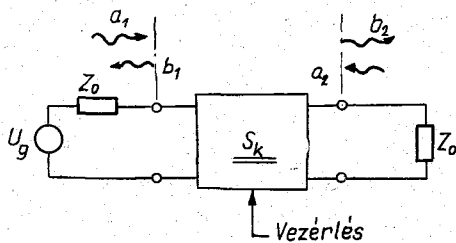


BALLA GÁBOR
Távközlési Kutató Intézet

Egyszerű PIN-diódás reflexiós kapcsolók tervezése

ETO 621.372.837.2:621.382.2

A mikrohullámú technikában használatos kapcsoló áramkörök alapeleme olyan kétkapu, melynek csillapítása két meghatározott értéket vehet fel. Ideális esetben az egyik állapotban a csillapítás nulla, a másikban végtelen, a valóságban azonban mindkét csillapításérték véges. A legegyszerűbb kapcsoló egy ilyen kétkapuból áll, egy bemenete és egy kimenete van. A bemenetre adott nagyfrekvenciás jel a kapcsoló állásától függően erősen csillapítva, vagy kis csillapítással jelenik meg a kimeneten. Több kétkapu megfelelő összekapcsolásával olyan kapcsolókat készíthetünk, melyeknek több be- és kimenete van. Mivel ezek működési elve megegyezik az először említett, ún. SPST (Single Port Single Throw) kapcsolóéval, így elegendő, ha csak ezt vizsgáljuk.



H 270-86 1

1. ábra. Szimmetrikus lezárások mellett működő kapcsoló

Működjön kapcsolónk szimmetrikus lezárások mellett, mint azt az 1. ábra mutatja és legyen adott a kétkapu szórási mátrixa:

$$S_k = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}$$

Az áramkör legfontosabb jellemzői a következők:

- Áteresztőcsillapítás, vagyis a nyitott állapotban levő kétkapu beiktatási csillapítása:

$$A_a^{[dB]} = 10 \lg \frac{|a_1|^2}{|b_2|^2} \Big|_{\text{át}} = 10 \lg \frac{1}{|S_{21}|^2} \Big|_{\text{át}}$$

- Zárócsillapítás, vagyis a kétkapu csillapítása záró állásban:

$$A_z^{[dB]} = 10 \lg \frac{1}{|S_{21}|^2} \Big|_{\text{zár}}$$

A zárócsillapításnak két összetevője van, a reflexiós és a disszipatív csillapítás, s attól függően, hogy melyik dominál, beszélhetünk reflexiós és disszipatív típusú kapcsolóról.

- Bemeneti reflexiós tényező:

$$|T| = \frac{|b_1|}{|a_1|} = |S_{11}|$$

A reflexiós és a disszipatív típusú kapcsoló éppen abban különbözik, hogy a reflexiós kapcsoló záró állapotában $|T|$ értéke nagy, a disszipatívnál mindkét állapotban alacsony értékű. Ahol tehát lényeges, hogy a záró állapotban se okozzon nagy reflexiót a kapcsoló, ott a disszipatív típust használják.

- Maximális kapcsolható teljesítmény.
- Átkapcsoláshoz szükséges teljesítmény.
- Kapcsolási idők.

Meg kell adni ezenkívül a fenti jellemzők frekvenciafüggését, hőmérsékletfüggését és stabilitását.

A különböző követelmények általában csak egymással ellentmondó feltételek mellett teljesíthetők. Egyes kapcsolók jellemzésénél ezért külön kiemeljük a domináns tulajdonságot, így beszélünk például gyors kapcsolóról, nagyteljesítményű kapcsolóról stb.

Jelen cikkben a PIN-diódás reflexiós kapcsolók tervezéséhez szükséges fogalmakat, összefüggéseket foglaljuk össze. Mint a későbbiekben látni fogjuk, ezek egyszerű felépítésük miatt jól használhatók közepes követelmények mellett, másrészt sok esetben a szigorúbb előírásokat teljesítő disszipatív kapcsolók elemeiként.

1. Mikrohullámú kapcsolók

A kapcsolóeszköztől függően a gyakorlatban használatos mikrohullámú kapcsolók három csoportba oszthatók:

1.1 Mechanikus kapcsolók

Készülhet TEM hullámvezetőbe és csőtápvonalba is. Gondos konstrukció esetén zárócsillapítása igen nagy, áteresztőcsillapítása és bemeneti reflexiós tényezője alacsony. Közepes és nagy teljesítmények kapcsolására is alkalmas. A kapcsoláshoz viszonylag nagy teljesítmény szükséges és a kapcsoló lassú. Leginkább a mérés technikában használják.

1.2 Ferrites kapcsolóeszközök

A ferritnek azt a tulajdonságát használják ki, hogy gerjesztő mágneses térbe helyezve permeabilitása és veszteségei függenek a mágneses tér erősségétől és polarizációjától. Megfelelő kialakítás esetén, a ferritet tápvonalba helyezve, az eszköz csillapítása a gerjesztéssel változtatható. Nagy teljesítmények kapcsolására is alkalmasak, a mechanikus kapcsolóknál gyorsabb működésűek. Hátrányuk a nagy méret, a nagy vezérlő teljesítményigény, valamint az, hogy a ferrit tulajdonságai elég erősen függenek a hőmérséklettől.

1.3 Félvezetős kapcsolók

Legsokoldalúbban a diódás mikrohullámú kapcsolók használhatók. Működésük azon alapul, hogy a dióda nagyfrekvenciás ellenállása az egyenáramú előfeszítéssel széles határok között változtatható. A diódás kapcsolók legfontosabb tulajdonsága a gyors kapcsolás és a kis vezérlő teljesítményigény. Előnyük még a megbízhatóság, a stabilitás. Különleges diódával igen nagy teljesítmények kapcsolhatók.

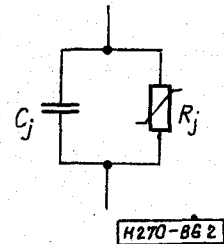
2. Diódás mikrohullámú kapcsolók

Mint az előzőekben láttuk, mikrohullámú kapcsoló alatt olyan kétkaput értünk, melynek csillapítása külső beavatkozás hatására két szélsőséges értéket

vesz fel. Diódás kapcsolónál a beavatkozás a dióda előfeszítésének változtatásával történik.

Egy PN-dióda egy legegyszerűbb helyettesítő képét a 2. ábra mutatja. A diódaáram változásakor mind a rétegellenállás, mind pedig a rétegtkapacitás változik, a különböző diódatípusoknál ez a változás más és más. Varaktor-dióda esetében a kapacitásváltozást használjuk ki, tús diódánál és PIN-diódánál a rétegellenállás értéke határozza meg alapvetően a dióda-impedanciát. Minél nagyobb a különbség a nyitó és a záró impedancia között, annál jobb kapcsoló készíthető egy diódával.

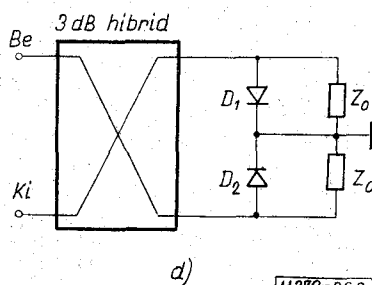
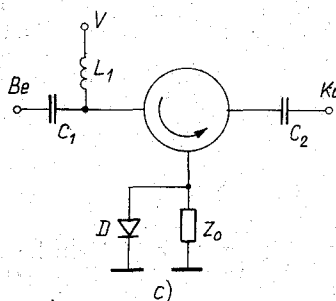
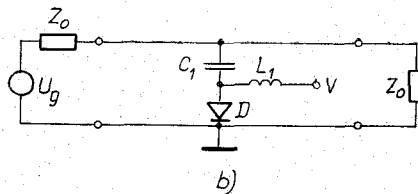
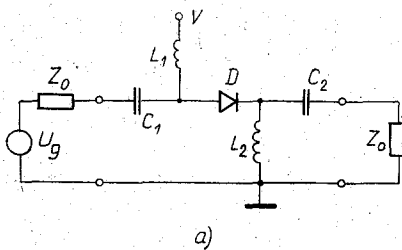
A 3. ábrán feltüntetjük a gyakrabban használt kapcsolótípusok alapkapcsolását. A 3a) és b) ábra a legegyszerűbb, egydiódás, reflexiós megoldást



2. ábra. PN dióda egyszerű helyettesítő képe

mutatja. A dióda előfeszítése, tehát a kapcsoló vezérlése a V pontokon történik. A feltüntetett L-C elemek az egyenáramú kör záródását és az AC-DC körök szétválasztását szolgálják. Különleges követelmények esetén — nagy csillapítás, nagy sávszélesség, nagy teljesítmény stb. — több diódát használhatunk. Disszipatív típusú kapcsolóra mutat példát a 3c) és d) ábra. Mindkét megoldásnál a bemeneti és kimeneti impedancia állandó, a kapcsoló állapotától független.

Kapcsolóeszközként legelterjedtebben a már említett három diódafajtát, a tús-, varaktor- és PIN-diódát használják. Ezek közül is kiemelkedik a kü-



H270-B63

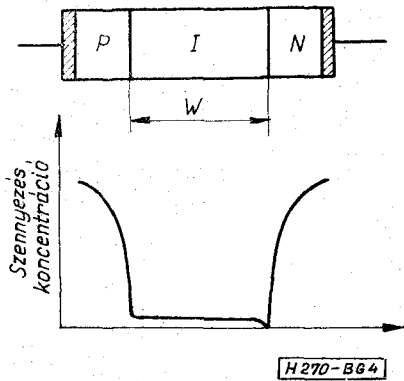
3. ábra. Néhány gyakrabban használt kapcsolótípus

lönösen jó tulajdonságú és sokoldalú PIN-dióda, ezért célszerű röviden áttekinteni ennek a félvezető eszköznek főbb jellemzőit, működését.

3. A PIN-dióda felépítése, működése

A PIN-dióda kifejezetten a nagy teljesítményű kapcsoló, osztó és modulátor áramkörök céljára kifejlesztett félvezető eszköz. Szilícium alapú, háromréteges felépítésű. A kristálykeresztmetszet vázlatos rajza és a szennyezéseloszlás a 4. ábrán látható [1]. Az erősen szennyezett P és N réteg között nagy tisztaságú intrinszc réteg helyezkedik el, melynek vastagsága w viszonylag nagy, 10–200 μm között változik. Nézzük meg, hogyan viselkedik ez az eszköz a kapcsaira adott egyenfeszültség hatására.

Nyitóelőfeszítés esetén 0,7–1 V diódafeszültségnél indul meg hirtelen az áram. A P rétegből lyukak, az N rétegből elektronok injektálódnak az I rétegbe.



4. ábra. PIN-dióda kristálykeresztmetszete

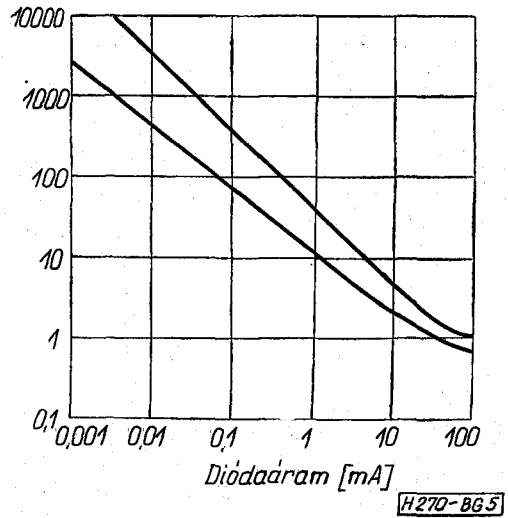
A két oldalról történő injekció már viszonylag kis áramnál azt eredményezi, hogy a középső rétegben jelentősen megnő a töltéshordozók koncentrációja. Rekombináció lényegében csak az I rétegben történik, a diódaáram a rekombinálandó töltések pótlását szolgálja. A dióda ellenállását majdnem kizárólag csak az I réteg ellenállása határozza meg, egyrészt nagy méretei, másrészt a P és N oldal erős szennyezése miatt. Jó közelítéssel mondhatjuk, hogy a diódaellenállás nyitóelőfeszítés esetén

$$R_d \cong K/I_0^2$$

alakban írható, ahol K és α a diódára jellemző állandók, I_0 a diódaáram [2].

A diódaellenállás változására mutat példát az 5. ábra diagramja. Látható, hogy kis diódaáramnál is igen alacsony a rétegellenállás. Ez a kis ellenállás sőtöli a rétegek kapacitást, így a PIN-dióda nyitóelőfeszítéskor ohmos ellenállásnak tekinthető.

Záróelőfeszítés esetén a PI és IN átmeneteknél kiürített réteg keletkezik, a P és N rétegben azonban ezek vastagsága igen kicsi az erős szennyezés miatt. Egy bizonyos feszültség felett a középső réteg teljesen kiürül, a dióda ohmos ellenállása állandó nagy értékűnek tekinthető, egészen addig, míg egy kritikus feszültségnek be nem következik a lavina-



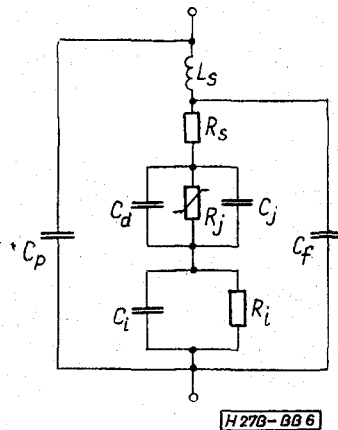
5. ábra. Diódaellenállás változása a nyitóáram függvényében

letérés. Lezárt diódánál már figyelembe kell venni a rétegek kapacitást is, ami $C_j = eA/S_T$ alakban számolható. Itt e a kristály dielektromos állandója, A a kristálykeresztmetszet, S_T a kiürített réteg vastagsága. A kiürítési feszültség felett $S_T = w$, így $C_j = eA/w$ is állandónak tekinthető. A záróirányban előfeszített P–I–N struktúra tehát parallel RC taggal egyenértékű a kiürítési és a letérési feszültség közötti tartományban.

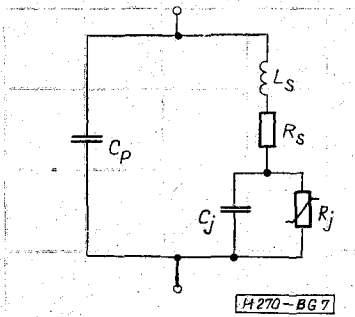
3.1 A PIN-dióda helyettesítő képe

A PIN-dióda váltóáramú viselkedése a ráadott feszültség frekvenciájától függ. Egy, a diódára jellemző f_0 frekvencia alatt és környezetében a dióda ugyanúgy viselkedik, mint az egyszerű P–N átmenet, jóval f_0 felett pedig lineáris ellenállásnak tekinthető. Az f_0 frekvencia jelenlegi diódáknál megahertz nagyságrendű, értéke $f_0 = 1/2\pi\tau$, ahol τ a töltéshordozók élettartama az I rétegben [2].

Az eddig elmondottakat tokozott dióda esetére még ki kell egészíteni. A kisméretű kristálylapocskát ugyanis hőátadás, mechanikai védelem, elektromos hozzáférés céljából tokozással kell ellátni, ami viszont parazita elemekkel járul hozzá a dióda he-



6. ábra. PIN-dióda helyettesítő képe



7. ábra. PIN-dióda helyettesítő képe kapcsolóként való alkalmazás esetén

lyettesítő képéhez. Egy egészen általános, mind alacsony, mind magas frekvencián, változó előfeszítési viszonyok mellett jól leíró helyettesítő képet mutat a 6. ábra [1].

Kapcsolóként való alkalmazás esetén a 7. ábra egyszerűbb helyettesítő képét használhatjuk, ahol [3]

- L_s a tokozás és a hozzávezetések inductivitása, értéke 0,2–2,0 nH,
- C_p a tokozás kapacitása, értéke 0,1–1,0 pF,
- R_s a hozzávezetések, valamint a P és N réteg ellenállása, értéke 0,5–5,0 ohm,
- C_j a kiürített réteg kapacitása, értéke 0,05–5,0 pF,
- R_{ja} a nyitott dióda rétegelőállása, értéke 0,1–10 ohm,
- R_{jz} a lezárt dióda rétegelőállása, értéke 10^3 – 10^5 ohm.

3.2 Teljesítménykorlátozások PIN-diódánál

A diódára adható teljesítményt három tényező korlátozza:

- a dióda maximális feszültsége,
- a maximális diódaáram,
- a maximális megengedhető disszipáció.

Legyen a nyitott diódán eső feszültség U_1 , az áram I_1 , a disszipált teljesítmény P_{d1} , ugyanezek zárt diódánál U_2 , I_2 és P_{d2} . Ezekre fenn kell állni a következő egyenlőtlenségeknek:

$$\begin{aligned} |U_1| &\leq U_{max} & |U_2| &\leq U_{max} \\ |I_1| &\leq I_{max} & |I_2| &\leq I_{max} \\ P_{d1} &\leq P_{dmax} & P_{d2} &\leq P_{dmax} \end{aligned}$$

Ezek a korlátozások nem függetlenek egymástól, azonkívül a hat egyenlőtlenség kényelmetlenül kezelhető. Egyszerűbb leírást kapunk a következő módon [4]. Foglaljuk egy-egy vektorba a nyitott és a zárt dióda áramát és feszültségét, valamint vezessük be az

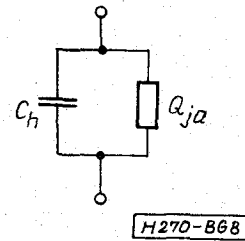
$$\alpha' = \begin{bmatrix} \alpha'_{11} & \alpha'_{12} \\ \alpha'_{12} & \alpha'_{22} \end{bmatrix} \quad \text{és} \quad \alpha'' = \begin{bmatrix} \alpha''_{11} & \alpha''_{12} \\ \alpha''_{12} & \alpha''_{22} \end{bmatrix}$$

mátrixokat. Fejtsük ki a következő szorzatot:

$$\begin{aligned} [U_1^* I_1^*] \begin{bmatrix} \alpha'_{11} & \alpha'_{12} \\ \alpha'_{12} & \alpha'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} &= \\ = \alpha'_{11} |I_1|^2 + \alpha'_{22} |U_1|^2 + 2\alpha'_{12} P_d &\leq 1 \end{aligned}$$

A korlátozások miatt ennek értéke nem lehet nagyobb egy bizonyos értéknél, ami az α' mátrix elemeinek megfelelő választásával egységnyi lehet. Hasonló eredményt kapunk a lezárt dióda esetére.

A PIN-dióda letörési feszültsége az I réteg miatt igen magas, jelenlegi típusoknál nem ritka az 1000 V sem. A maximális disszipációs teljesítményt a réteg felmelegedése korlátozza, ami szilícium alapú diódánál 150–200 °C lehet. A réteg hőmérsékletét (T_j) a disszipált teljesítmény (P_d), a hőleadó felület hőmérséklete (T_a), valamint a réteg és a hőátadó felület közti hőellenállás (Q_{ja}) határozza meg. Impulzusszerű terhelés esetén a réteg hőkapacitását (C_h) is figyelembe kell venni. A maximális disszipációs teljesítményt a 8. ábrán látható egyszerű termikus helyettesítő kép alapján számíthatjuk, ha feltételezzük, hogy a disszipáció a réteg felületén egyenle-



8. ábra. Dióda kristály termikus helyettesítő képe

tesen történik. A dióda által eldisszipálható folytonos teljesítmény:

$$P_{dmax} = \frac{T_{jmax} - T_a}{Q_{ja}} \quad (1)$$

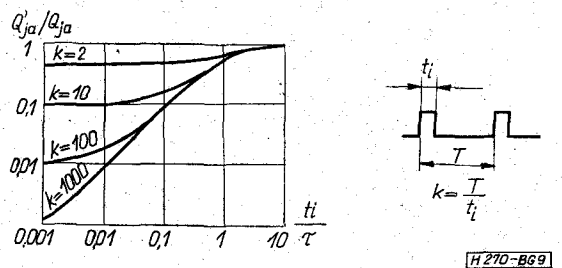
Impulzusterhelés esetén az impulzusszünetekben a réteg hűlni tud. Ezt figyelembe vehetjük úgy, mintha a Q_{ja} hőellenállás egy [1]:

$$Q'_{ja} = Q_{ja} \frac{1 - e^{-t_i/\tau}}{1 - e^{-kt_i/\tau}} \quad (2)$$

értékre csökkenne. A képletben t_i az impulzusszélesség, k a kitöltési tényező, $\tau = Q_{ja} C_h$ a termikus időállandó, ami néhány száz mikroszekundum, illetve milliszekundum nagyságrendű. A 9. ábrán grafikusán mutatjuk be a látszólagos hőellenállás-csökkenést.

Végül foglaljuk össze azokat a fő tulajdonságokat, melyek a PIN-diódát különösen alkalmassá teszik mikrohullámú kapcsolókban való alkalmazásra:

- a nagyszintű ambipoláris injekció igen alacsony nyitólőellenállást eredményez,



9. ábra. Hőellenállás változása impulzusterhelés esetén

- záróelőfeszítésnél az I réteg jelenléte miatt rendkívül nagy a diódaellenállás,
- a réteggkapacitás még nagy kristálykeresztmetszet esetén (nagy teljesítmények kapcsolásakor) is alacsony,
- magas a letörési feszültsége.

A nagyméretű I réteg beiktatásának hátránya, hogy a töltéstárolási idő igen nagy. Megfelelő vezérlőáramkörrel azonban így is igen jó kapcsolási idők érhetők el.

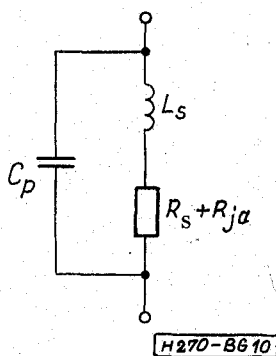
4. PIN-diódás reflexiós kapcsolók

Ebben a részben bemutatjuk a leggyakrabban használt PIN-diódás kapcsolótípusokat, kiszámítjuk fontosabb jellemzőiket. A számításokat a 7. ábra helyettesítő képe alapján végezzük, figyelembe véve, hogy kapcsolóként való felhasználás esetén a diódaelőfeszítés két értéket vehet fel [1].

a) Viszonylag nagy nyitóáram

A réteggellenállás lesöntöli a réteggkapacitást, így (10. ábra):

$$Y_a = G_a + jB_a = \frac{B_s + R_{ja}}{(R_s + R_{ja})^2 + \omega^2 L_s^2} + j \left(\omega C_p - \frac{\omega L_s}{(R_s + R_{ja})^2 + \omega^2 L_s^2} \right)$$



10. ábra. Nyitóirányban előfeszített PIN-dióda

Ha az üzemi frekvenciára igaz, hogy $\omega \ll 1/\sqrt{C_p L_s}$, akkor

$$Y_a \approx \frac{R_s + R_{ja}}{(R_s + R_{ja})^2 + \omega^2 L_s^2} - j \frac{\omega L_s}{(R_s + R_{ja})^2 + \omega^2 L_s^2} \quad (3)$$

$$Z_a \approx (R_s + R_{ja}) + j\omega L_s \quad (4)$$

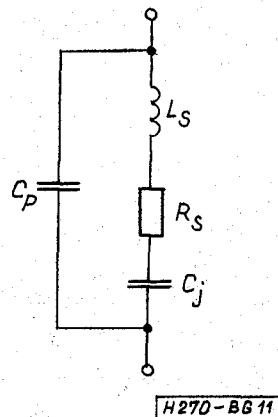
b) Záróelőfeszítés

Dióda-helyettesítő képünk ekkor a 11. ábra szerint egyszerűsödik. Bevezetve az $\omega_c = 1/R_s C_j$ és $\omega_0^2 = 1/L_s C_j$ frekvenciákat, a zárt diódára írhatjuk, hogy

$$Y_z = G_z + jB_z = \frac{1}{R_s} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2 + \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2$$

$$+ j \left(\omega C_p + \frac{\omega C_j \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2} \right)$$

Ha az üzemi frekvenciára teljesül, hogy $\omega \ll \omega_0$,



11. ábra. Záróirányban előfeszített PIN-dióda

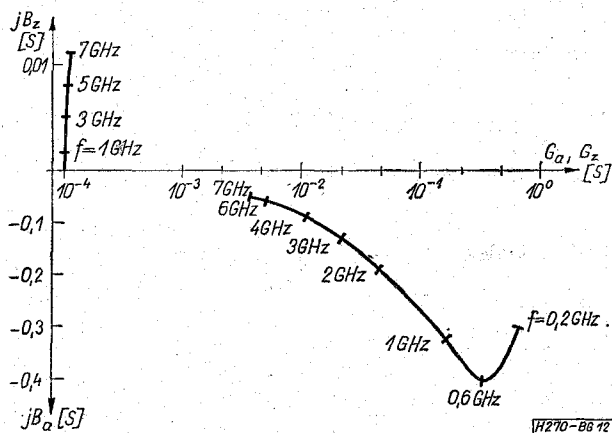
valamint figyelembe véve, hogy ω_c jelenlegi dióda-típusoknál igen nagy értékű, akkor

$$Y_z \approx \frac{1}{R_s} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2 + j\omega(C_p + C_j) \quad (5)$$

$$Z_z = \frac{G_z}{G_z^2 + B_z^2} - j \frac{B_z}{G_z^2 + B_z^2} \quad (6)$$

A 12. ábrán példaképpen megrajzoltuk egy átlagos közepes teljesítményű PIN-dióda (pl. HP 5082–3002) admittanciájának frekvenciafüggését, nyitott és zárt állapotban. A számítás alapját szolgáló helyettesítőképek elemei a következő értékűek:

$$\begin{aligned} L_s &= 0,4 \text{ nH} & R_s &= 0,6 \text{ } \Omega \\ C_p &= 0,15 \text{ pF} & R_{ja} &= 0,6 \text{ } \Omega \\ C_j &= 0,1 \text{ pF} & R_{jz} &= 10^4 \text{ } \Omega \end{aligned}$$



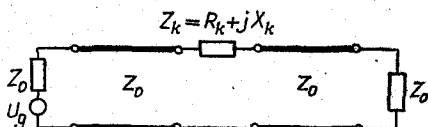
12. ábra. HP 5082–3002 típusú dióda admittanciájának frekvenciafüggése

4.1 Egydiódás reflexiós kapcsolók

Alapkapcsolásuk a 3a) és 3b) ábrán látható. Hogy a hangolatlan és hangolt kapcsolókra egyaránt alkalmazható eredményeket kapjunk, vezessük be a $Z_k = R_k + jX_k$ kapcsolóimpedancia, illetve az $Y_k = G_k + jB_k$ kapcsolóadmittancia fogalmát. Hangolatlan esetben $Z_k = Z_d$ és $Y_k = Y_d$, egyébként pedig tartalmazzák a hangolóelemeket is.

A kapcsoló bemeneti reflexiós tényezőjét és csillapítását a kétkapú szórási mátrixából írjuk fel. Z_0 hullámimpedanciájú vonalba kapcsolt Z_k soros impedancia (13. ábra) reflexiós mátrixa [5]:

$$S_s = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{Z_k + 2Z_0} \begin{bmatrix} Z_k & 2Z_0 \\ 2Z_0 & Z_k \end{bmatrix}$$



13. ábra. Soros kapcsolóimpedancia

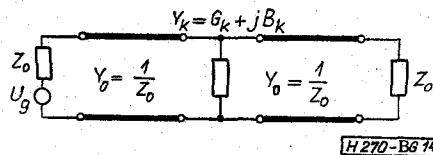
Ennek alapján a soros diódás kapcsolóra

$$|\Gamma_{be}| = \left| \frac{Z_k}{Z_k + 2Z_0} \right| \quad (7)$$

$$A_1^{[dB]} = 10 \lg \left| \frac{2Z_0 + Z_k}{2Z_0} \right|^2 = 10 \lg \left[\left(1 + \frac{R_k}{2Z_0} \right)^2 + \left(\frac{X_k}{2Z_0} \right)^2 \right] \quad (8)$$

Párhuzamos diódánál az Y_0 hullámadmittanciájú vonalba helyezett Y_k admittancia (14. ábra) szórási mátrixából indulunk ki:

$$S_p = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{Y_k + 2Y_0} \begin{bmatrix} -Y_k & 2Y_0 \\ 2Y_0 & -Y_k \end{bmatrix}$$



14. ábra. Párhuzamos kapcsolóadmittancia

Hasonlóan a soros diódás esethez írható:

$$|\Gamma_{be}| = \left| \frac{Y_k}{Y_k + 2Y_0} \right| \quad (9)$$

$$A_1^{[dB]} = 10 \lg \left| \frac{2Y_0 + Y_k}{2Y_0} \right|^2 = 10 \lg \left[\left(1 + \frac{G_k}{2Y_0} \right)^2 + \left(\frac{B_k}{2Y_0} \right)^2 \right] \quad (10)$$

Ezek az eredmények egész általánosan igazak az egydiódás kapcsolókra. Könnyebben használhatóak viszont az 1. táblázatban összefoglalt képletek.

A soros és párhuzamos diódás kapcsoló összehasonlítása érdekében a 15. ábrán felrajzoltuk a már említett HP 5082-3002 dióda csillapítás-frekvencia karakterisztikáit.

4.2 Kétdiódás reflexiós kapcsoló

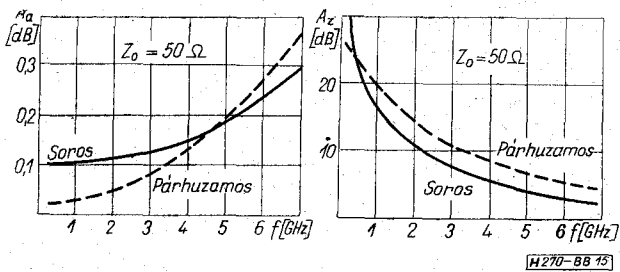
A több diódás reflexiós kapcsolók közül most csak azt az esetet nézzük meg, amikor két diódát helyezünk el egymástól l távolságban, a tápvonalba párhuzamosan kapcsolva (16. ábra). Ha feltételezzük, hogy a két dióda azonos Y_k admittanciájú, tehát egyforma, akkor a kapott kétkapú reflexiós mátrixának S_{21} eleme a következő [6]:

$$S_{21} = \frac{4Y_0^2}{(2Y_0 + Y_k)^2 e^{i\beta l} - Y_k^2 e^{-i\beta l}} ; \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (11)$$

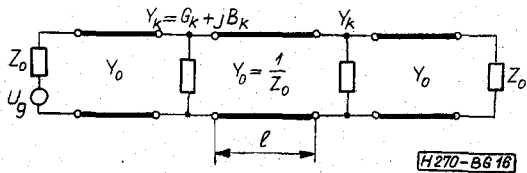
1. táblázat

Dióda		Áteresztőcsillapítás [dB]	Zárócsillapítás [dB]	3 dB-es relatív sávzélesség	Disszipáció által korlátozott max. teljesítm.
Soros	Nyitva $R_k = R_a$ $X_k = X_a$	$20 \lg \left(1 + \frac{R_s + R_{ja}}{2Z_0} \right)$		$\frac{2Z_0 + R_s + R_{ja}}{2\pi L_s}$	
	Zárva $R_k = R_z$ $X_k = X_z$		$20 \lg \left(1 + \frac{R_{jz}}{2Z_0} \right)$	$\frac{1}{2\pi R_{jz}(C_j + C_p)}$	$P_{dM} \left(1 + \frac{Z_0}{R_z} \right) *$
Párhuzamos	Zárva $R_k = R_z$ $X_k = X_z$	$20 \lg \left(1 + \frac{Z_0}{2R_{jz}} \right)$		$\frac{Z_0}{8\pi L_s} \left(\sqrt{1 + \frac{16L_s}{C_j Z_0^2}} - 1 \right)$	
	Nyitva $R_k = R_a$ $X_k = X_a$		$20 \lg \left(1 + \frac{Z_0}{2(R_s + R_{ja})} \right)$	$\frac{R_s + R_{ja}}{2\pi L_a}$	$P_{dM} \left(1 + \frac{Y_0}{G_a} \right) *$

* P_{dM} a diódára megengedett maximális disszipáció.



15. ábra. HP 5082—3002 dióda csillapítás-frekvencia karakterisztikái



16. ábra. Kétdiódás párhuzamos kapcsoló

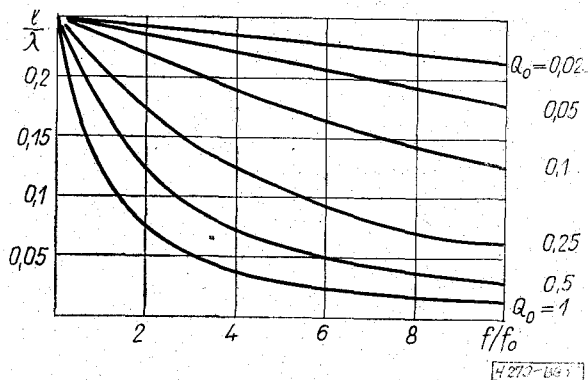
Ebből a csillapítás az ismert kifejezéssel

$$\left. \begin{aligned} A_2^{[dB]} &= 20 \lg \left| \frac{2Y_0 + Y_k}{2Y_0} \right|^2 + 20 \lg \left| 1 - \frac{Y_k}{2Y_0 + Y_k} e^{-j2\beta l} \right|^2 \\ &= 2A_1^{[dB]} + \Delta A^{[dB]} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Az egyszerű átalakítások után kapott (12) kifejezés első tagja (10) szerint az egydiódás kapcsoló csillapításának kétszerese, a második tag pedig arra jellemző, milyen fázisban találkoznak a diódák reflexiói. Az optimális diódatávolság hullámhosszra normalizált értékét a 17. ábrán tüntettük fel. A Q paraméter:

$$Q = \frac{2\pi f_0 L_s}{R_s + R_{ja} + \frac{Z_0}{2}} \quad (13)$$

ahol az f_0 frekvencia tetszőlegesen választható. Megjegyezzük még, hogy $\Delta A^{[dB]}$ maximálisan +6 dB lehet.



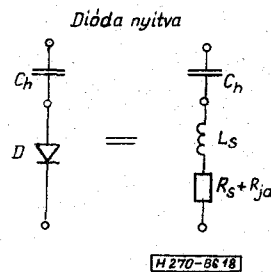
17. ábra. Optimális diódatávolság kétdiódás párhuzamos kapcsolónál

4.3 Hangolt kapcsolók

Jó tulajdonságú kapcsolónál az áteresztő és záró csillapítás minél nagyobb különbsége a cél. Ezt csak akkor lehet elérni, ha az alkalmazott kapcsoló-impedancia széles határok között változik. A dióda-impedancia reaktáns elemei a frekvencia növekedésével a nyitó- és záróimpedancia különbségének csökkenését eredményezik. Kézenfekvő az a megoldás, hogy a diódához megfelelően kapcsolt kiegészítő elemekkel kompenzáljuk a parazita elemek hatását. Néhány gyakrabban használt megoldás a következő:

1. A 18. ábra az egyik legegyszerűbb, párhuzamos diódás kapcsolóknál használt hangolási mód vázlatát mutatja. A C_h hangolókapacitás értéke olyan, hogy a nyitott dióda induktivitásával soros rezgőkört képezzen, a kívánt működési frekvencián:

$$C_h = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 L_s} \quad (14)$$



18. ábra. Hangolás soros kapacitással

A sávközépi frekvencián ekkor $Z_k = R_s + R_{ja}$ a zárócsillapítás pedig maximális:

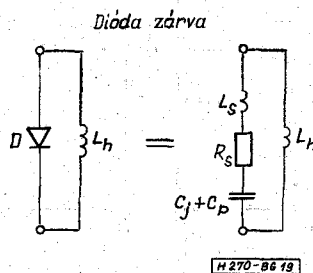
$$A_p^{[dB]} = 20 \lg \left(1 + \frac{Z_0}{2(R_s + R_{ja})} \right) \quad (15)$$

A zárócsillapítás 3 dB-es csökkenéséhez tartozó relatív sáv szélesség:

$$\frac{2\Delta f}{f_0} = \frac{R_s + R_{ja}}{2\pi f_0 L_s} = 2\pi f_0 C_h (R_s + R_{ja}) \quad (16)$$

A hangolókapacitás az áteresztőcsillapítást nem befolyásolja lényegesen.

2. Soros diódás kapcsolóknál használható a 19. ábra szerinti hangolás. Az L_h hangolóinduktivitás a



19. ábra. Hangolás párhuzamos induktivitással

lezárt dióda kapacitásával párhuzamos rezgőkört alkot a kívánt frekvencián:

$$L_h = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 (C_j + C_p)} \quad (17)$$

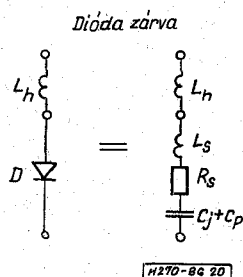
A rezonanciafrekvencián $Z_k = R_{jz}$, és a maximális zárócsillapítás ekkor

$$A_{s\max}^{[dB]} = 20 \lg \left(1 + \frac{R_{jz}}{2Z_0} \right) \quad (18)$$

A zárócsillapítás 3 dB-es csökkenéséhez tartozó relatív sávzélesség:

$$\frac{2\Delta f}{f_0} = \frac{1}{2\pi f_0 (C_j + C_p) R_{jz}} = \frac{2\pi f_0 L_h}{R_{jz}} \quad (19)$$

3. Párhuzamos diódás kapcsolóknál néha használják a 20. ábra szerinti hangolást. Itt a zárt dióda kapacitásával és egy L_h soros induktivitással alkotunk rezgőkört. Most tehát a kapcsoló inverz üzem-



20. ábra. Hangolás soros induktivitással

módban dolgozik: zárt diódánál a kapcsoló is zár, nyitott diódánál pedig átereszt. A hangolóinduktívitás értéke:

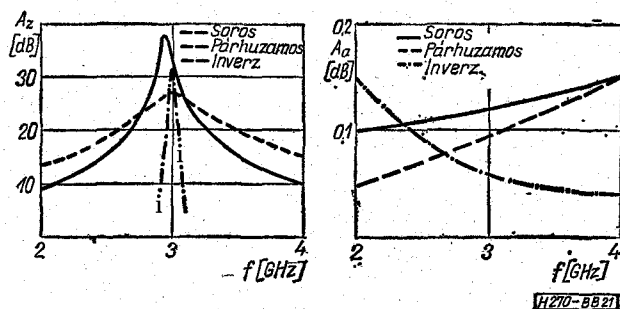
$$L_h = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 (C_j + C_p)} - L_s \quad (20)$$

Sávközépen a kapcsolóimpedancia $Z_k = R_s$, a maximális csillapítás pedig

$$A_{p\max}^{[dB]} = 20 \lg \left(1 + \frac{Z_0}{2R_s} \right) \quad (21)$$

A zárócsillapítás 3 dB-es sávzélessége:

$$\frac{2\Delta f}{f_0} = \frac{R_s}{2\pi f_0 (L_s + L_h)} = 2\pi f_0 (C_j + C_p) R_s \quad (22)$$



21. ábra. Hangolt diódás kapcsolók csillapításkarakterisztikái

Mivel ebben az esetben az áteresztőcsillapítást a soros induktívitás határozza meg, ez a megoldás csak magasabb frekvenciákon használható.

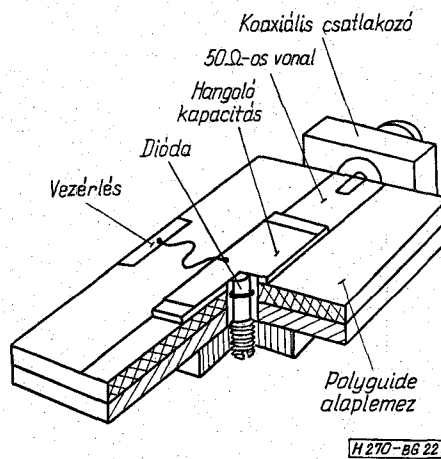
A hangolt diódás kapcsolók tulajdonságainak szemléltetésére a 21. ábrán az említett típusok csillapításkarakterisztikáját tüntettük fel, ugyancsak a HP 5082-3002 diódát véve alapul, a sávközépi frekvenciát pedig $f_0 = 3$ GHz értékre választva.

5. Egydiódás kapcsoló tervezési szempontjai

Az egydiódás reflexiók kapcsolók jellemzőinek vizsgálata azt mutatja, hogy átlagos diódaparaméterek mellett a zárócsillapítás értéke és frekvenciamenete a leginkább meghatározó tényező a tervezés során. Ezért a kapcsolótípus (soros vagy párhuzamos dióda, hangolás) kiválasztásánál is főleg a zárócsillapítást vesszük figyelembe. A 15. ábrán feltüntettük egy adott diódára vonatkozóan a csillapítások frekvenciafüggését, amiből látható, hogy a hangolás nélküli esetben a soros és párhuzamos diódás kapcsoló egyaránt csak az alacsonyabb mikrohullámú frekvenciáig ad elegendően nagy zárócsillapítást. A hangolóelemek hiánya viszont az egészen alacsony frekvenciákon való működést is lehetővé teszi. Az összehasonlításból kitűnik az is, hogy alacsony frekvencián a soros dióda ad nagyobb csillapítást, a frekvencia növekedtével azonban a párhuzamos diódánál kapunk jobb eredményt. Abban a frekvenciasávban, ahol a hangolatlan kapcsoló használható, az áteresztőcsillapítás értéke igen alacsony.

Magasabb frekvenciákon az egydiódás kapcsoló csak hangolással ad jó eredményt. Ez viszont a korlátozott sávzélességet eredményezi. A 21. ábrán néhány egyszerűbb hangolási mód összehasonlítását tüntettük fel. Látható, hogy a párhuzamosan hangolt soros dióda nagyobb zárócsillapítást ad, mint a soros kapacitással hangolt párhuzamos dióda. Az utóbbi viszont szélesebb sávban használható. Az inverz működésű kapcsoló, mint azt már említettük, csak néhány magasabb frekvenciás alkalmazásban fordul elő, és nem is ad túl jó eredményt.

A kapcsolótípus ismeretében a megfelelő dióda kiválasztása a diódajellemzők (a helyettesítőkép



22. ábra. Egydiódás szalagvonalas kapcsoló

elemei) szerint, valamint a kapcsolni kívánt teljesítmény figyelembevételével történik.

Az alkalmazott tápvonal hullámimpedanciája is beleszól a csillapításba, és a kapcsolható teljesítménybe, értékét azonban csak indokolt esetben célszerű a csatlakozó tápvonalakétól eltérőre választani.

Az esetleges hangolóelemek értékét a (14), (17), (20) képletek szerint számíthatjuk, a pontos behangolás azonban általában méréssel való ellenőrzés segítségével történik.

Egy szalagvonalas konstrukciójú kapcsoló felépítését mutatjuk be a 22. ábrán. A $Z_0=50$ ohm hullámimpedanciájá vonalba párhuzamosan kapcsolódik a már említett HP 5082-3002 típusú dióda, amit soros kapacitással hangolunk a kívánt $f_0=1,3$ GHz frekvenciára. A hangolókapacitás értéke (14) szerint

$$C_h = \frac{1}{4\pi^2 \cdot 1,3^2 \cdot 10^{18} \cdot 0,4 \cdot 10^{-9}} = 37 \text{ pF}$$

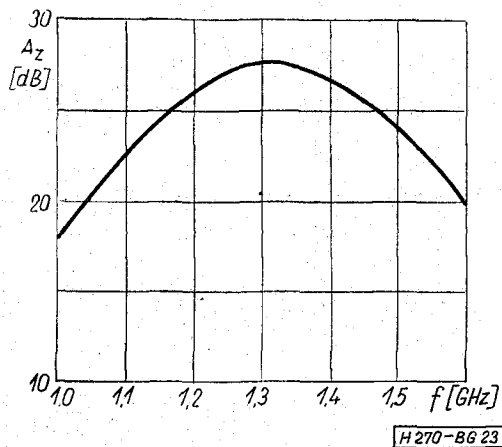
A sávközépi zárócsillapítás (15) szerint

$$A_{p\max}^{[dB]} = 20 \lg \left(1 + \frac{50}{2(0,6 + 0,6)} \right) = 27 \text{ dB}$$

A (16) képlettel számítható sáv szélesség

$$2\Delta f = \frac{0,6 + 0,6}{2\pi \cdot 0,4 \cdot 10^{-9}} = 470 \text{ MHz}$$

A megépített kapcsoló zárócsillapításának frekvenciamenete a 23. ábrán látható. Az áteresztőcsillapítás 2 GHz-ig kisebb, mint 0,3 dB.

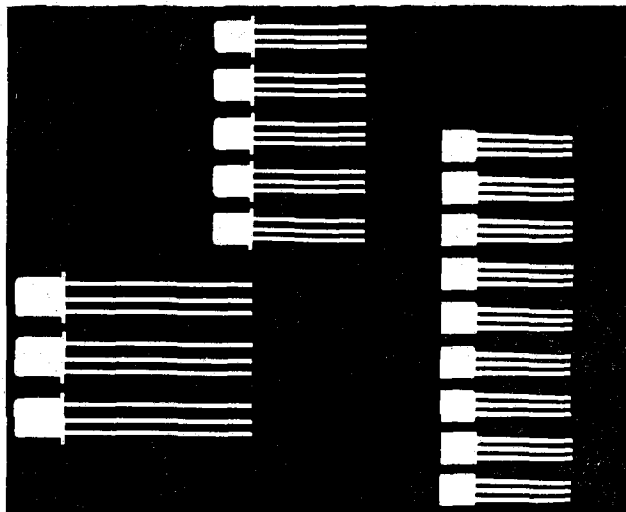


23. ábra. Szalagvonalas kapcsoló zárócsillapítása

A szerző köszönetét fejezi ki dr. Kása Istvánnak a munkájában nyújtott értékes segítségért.

IRODALOM

- [1] Watson: Microwave Semiconductor Devices and Their Circuit Applications. McGraw Hill, 1969.
- [2] Applications of PIN Diodes. Hewlett Packard Application Note 922.
- [3] The PIN Diode. Hewlett Packard Application Note 904.
- [4] Csurgay, Youla: Design of Optimum Imbedding for two State Devices Subject to Power Limitations. Kézirat.
- [5] Csurgay A.—Markó Sz.: Mikrohullámú passzív hálózatok. Tankönyvkiadó, 1965.
- [6] Balla G.: PIN-diódás mikrohullámú kapcsoló. Diplomaterv, 1971.



Sokoldalú a modern félvezető-alkatrészek alkalmazási területe. Bő gyártmányválasztékot készítünk és szállítunk: integrált áramköröket a rádió- és TV-készülék gyártáshoz, TTL- és MOS-áramköröket a számítógépipar részére, gyors működésű diódákat, egyenirányítókat 250 A-ig és szilícium-tranzisztorokat az ipar és a szórakoztató elektronika számára SF 121/123 planár-tranzisztorok széles sávú és nagyfrekvenciás erősítőkhöz (600 mW, 20-66 V)

SF 126/129 epitaxiális planár-tranzisztorok széles sávú erősítőkhöz és közepesen gyors kapcsolóként (600 mW, 33-120 V)

SF 131/132 planár-tranzisztorok széles sávú erősítőkhöz és gyors kapcsolóként (300 mW, 20/40 V)

SF 136/137 epitaxiális planár-tranzisztorok nagyfrekvenciás erősítőkhöz (300 mW, 20/40 V)

SC 206/207 műanyagházas kisfrekvenciás tranzisztorok (200 mW, 20 V)

SF 225 epitaxiális planár-tranzisztorok műanyagházban nagyfrekvenciás erősítőkhöz, valamint előkörökhöz és KF-fokozatokhoz

SF 235 epitaxiális planár-tranzisztorok műanyagházban nagyfrekvenciás erősítőkhöz és URH-előfokozatokhoz

SF 240/245 műanyagházas nagyfrekvenciás tranzisztorok szabályozott és nem szabályozott TV KF-erősítő fokozatokhoz

SF 150 planár-tranzisztor video-végfokozathoz

Kérjen tájékoztatást a részletes műszaki adatok és az egyedi szállítási lehetőségek felől. Tapasztalt szakmérnökök adnak tanácsot az összes alkalmazási kérdésben.

Szilícium tranzisztorok az ipar és a szórakoztató elektronika számára

Exportálja az

Elektrotechnik
EXPORT-IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER
DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
DDR 102 BERLIN ALEXANDERPLATZ
HAUS DER ELEKTROINDUSTRIE

RFT
electronic

Tájékoztatást nyújt az
NDK Magyarország
Nagykövetsége
27. Kereskedelem-
politikai Osztály
Budapest XIV.,
Népstadion út 101-103