5D.165

HÍRADÁS-TECHNIKA

BZECHENYI KÖNYV-TÁR

A HÍRADÁS-TECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET LAPJA

4

XX. ÉVFOLYAM, 4. SZÁM, 97–128 OLDAL, BUDAPEST, 1969. ÁPRILIS HÓ

1969. április, XX. évfolyam, 4. szám

HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET LAPJA

TARTALOM

KOMPORDAY AURÉL: II. Megbízhatóság az Elektronikában Szimpózium 97
BALOGH ALBERT: A megbízhatóság elméleti kérdései 98
DR. KATONA JÁNOS: Passzív elektronikai alkatrészek megbízhatóság-vizsgálata 103
DR. DALLOS ANDRÁS: Elektroncsövek és jelfogók megbízhatóság-vizsgálata 106
VADÓCZ ERZSÉBET: Reed kapcsolóelemek és jelfogók 110
DR. FERENCZ CSABA: Hullámterjedés inhomogén, anizotróp időben változó közegben 123
Puskás Tivadar emlékérmeseink 126
Virág—Pollák díjasaink 126
Tartalmi összefoglalások 127
Обобщения 127
Zusammenfassungen 127
Summaires 127
Résumés 127

Szerkesztőség: BOGLÁR GYULA szerkesztő, SZŐLLŐSI GYÖRGYNÉ szerkesztőségi titkár, BALOGH PÁL, DR. SÁRKÖZY GÉZA kandidátus és MAY PÉTER tudományos szerkesztők, DR. FLESCH ISTVÁN, DR. RUPPENTHAL PÉTER 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, KŐMŰVES 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 221-285. 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 36 Ft, egész évre 72 Ft. Egyes szám ára: 6 Ft. Megjelenik havonta. Csekkszámlaszám: egyéni 61,254, közületi 61,066 vagy átutalás MNB 8. sz. folyószámlájára. A folyóirat külföldre előfizethető: „KULTURA" P. O. B. 149 Budapest, 62.

69.2170 Egyetemi Nyomda, Budapest. Felelős vezető: JANKA GYULA igazgató

HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET LAPJA

II. Megbízhatóság az Elektronikában Szimpózium

A Híradástechnikai Tudományos Egyesület és a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Osztálya másodízben rendezte meg a Megbízhatóság az Elektronikában Szimpóziumát. A 4 évvel ezelőtti első próbálkozás már igen nagy sikert aratott és az akkori előadásokról kibocsátott többkötetes, több nyelvű anyagok olyan érdeklődésre találtak hazai és külföldi viszonylatban, hogy indokolttá vált ezen szimpóziumok bizonyos időközben való folyamatos megtartása. Így került sor ezen második Szimpózium megrendezésére is, melyet 1968. X. 15—18-a között tartottunk meg Budapesten.

A szimpózium témaválasztása és Magyarországon valós szervezése azért volt célszerű, mert a KGST országok tudományos kutatása területén ezt a témát a magyar fél koordinálja és így ebben sok tapasztalattal rendelkezünk.

Az első szimpózium sikerének volt köszönhető, hogy a másodikon megfelelő zsürizéssel 53 előadást tudtunk elfogadni, melyekből 30 előadás magyar és 22 előadás külföldi előadó részéről hangzott el.

Az előadást kerekasztal viták is követték, amelyek jellemzőek voltak az előadások sikerére. Nem egy kerekasztal konferencia a programtól eltérően hosszabb ideig is tartott, sőt volt olyan kerekasztal vita, amely egy adott tématerületen az egész szimpózium időtartama alatt párhuzamosan folyt.

A jövő szimpóziumok szervezésénél a kerekasztal viták jelenlegi eredményessége szükségszerűvé fogja tenni, hogy ezek számát növeljük és a programban szereplő hivatalos időpontokon kívül lehetőséget kell biztosítani a szimpóziumon kialakuló spontán viták megtartására is.

A kerekasztal viták számunkra igen hasznosak voltak, mert szakembereink a külföldi szakemberektől olyan információkat szereztek, melyek sem az irodalomban, sem előadásokban egyébként nem hangzanak el, pl. egyes külföldi alkatrésztípusok gyártás megszüntetésének okai, konstrukciós problémái és esetleg vizsgálati eljárásai stb. Másrészről a külföldi szakemberek megismerték hazai kutatási és fejlesztési eredményeinket, amelyek főleg a magyar nyelvű publikálás miatt eddig nem jutottak el hozzájuk. Elért eredményeink, amelyeket az előadásokon kívül a szimpózium angol—orosz nyelvű 4 kötetes kiadványa is rögzített, megfelelő elismerést váltottak ki a külföldi szakembereknél és ez kihat az általunk készített és gyártott berendezésekre és gyártmányokra is, mert növelik irántuk az idegen vevők bizalmát.

Az előadásokat és az előadókat vizsgálva hiányosságként kell megállapítani azt, hogy a magyar előadók zöme egyetemi és kutatóintézeti szakember volt, és mindössze 4—5 előadást tartottak vállalati szakemberek, ugyanakkor a külföldi előadók kevés kivétellel nagy gyárak és gyárakhoz tartozó kutatóintézetek képviselői voltak.

A jövőben szükséges lesz, hogy az ipari szakembereket fokozottabban kapcsoljuk be az előadások megtartásába és eredményeink ismertetésébe, mert külső szemlélő szempontjából a „megbízhatóság" a termékekben ebben az esetben reálisabb, mintha azt csak kutatási szinten ismerik meg.

A szimpóziumon főleg a külföldi előadók érdekes és talán számunkra új szemléletet hoztak a megbízható alkatrészek és az árak viszonylatában. Több előadásból is kitűnt, hogy a megbízhatóságot kívánt mértékben lehet már tervezni az alkatrészek előállításánál is, de a megbízhatóság növelése nálunk ismeretlen árnagyságrendeket jelent. Indoklásuk teljesen elfogadható volt, mert a rendszerek gazdaságossági és megbízhatósági kérdéseit együttesen vizsgálták. Ez nagyon figyelemre méltó a hazai konstruktőrök, de a felhasználók szempontjából is, mert ha ezt a szemléletet magunkévá tesszük, úgy azon igények, amelyeket a készülék konstruktőrök vagy az alkatrészgyártókkal szemben támasztanak reális alapokra kerülnek. Különösen a gazdaságirányítás új rendszerében nem mindegy az, hogy mely területre milyen alkatrészeket vagy milyen megbízható berendezéseket igényelünk. Néha kényelemszeretetből is előfordult, hogy egyes konstruktőrök olyan paraméterek teljesítését kívánták meg egyes viszonylag nem nagyigényű berendezésekbe beépí-

tésre kerülő alkatrészektől, melyek nem voltak indokoltak, az előállítási költségeket feleslegesen növelték és utána még kifogásolták is az alkatrészek vagy szerelvények magas árát, mert szerették volna azokat a közszükségleti cikkekben felhasznált szerelvények és alkatrészek árával egyenlősíteni. Szerencsére ez a szemlélet napról napra javul és az ilyen szimpóziumok is nagymértékben segítik a felhasználókat, konstruktőröket és alkatrészgyártókat abban, hogy gazdaságossági szempontok figyelembevételével adják meg előírásaikat és értsék meg azt, hogy a túlzott követelmények túlzott költségkihatásúak, tehát minden megoldásban optimumot és nem a maximumot kell keresni.

Az Egyesület Vezetősége úgy határozott, hogy a szimpózium 4 szekciójának anyagát kivonatosan és kritikusan feldolgozzák és ismertetik a széles körű olvasóközönséggel, lehetőséget kívánnak adni arra, hogy azok is tudomást szerezzenek az ott elhangzottakról és hasznosíthassák az eredményeket, akik akadályoztatásuk miatt nem tudtak részt venni, vagy vidéki vállalatoknál, intézményeknél dolgoznak és nem volt lehetőségük ottani munkájukat megszakítva több napot a Szimpóziumon tölteni.

A következendőkben megjelenő ismertetések és cikkek a 4 szekciótól eltérően 5 részes csoportosításban — folyamatosan — jelennek meg, elsősorban azért, mert a félvezetők területén elhangzott előadások nagy száma szükségessé tette, hogy azokat a vákuumtechnikai előadásoktól külön szerepeltessük.

Reméljük, hogy az olvasóközönségnél megértésre talál ezen kezdeményezésünk és nagyon szeretnénk, ha a cikkek elolvasása után további javaslatokat és bírálatokat kaphatna a Híradástechnikai Tudományos Egyesület, hogy a 4 év múlva megrendezendő új szimpóziumunkon ezeket már figyelembe vehessük.

Komporday Aurél
a Szimpózium Szervező Bizottságának
elnöke

A megbízhatóság elméleti kérdései

A megbízhatóság elméleti kérdései és azok megoldásának módszerei mindig fontos és ugyanakkor a fejlődés adott szakaszára jellemző területei voltak a megbízhatósággal kapcsolatos kutatásoknak. Napjainkban is a megbízhatóság elméletének fejlesztése teszi részben lehetővé újabb vizsgálati módszerek, tervek kialakítását, és maguknak a lefolytatott vizsgálatoknak az értékelését. A megbízhatóság elméleti kérdései többségükben a matematikai statisztika megfelelő részterületeire, azaz a hipotézisvizsgálatra, becsléselméletre, regressziós analízisre stb. vezethetők vissza. Figyelembe kell venni az alkatrészekben lejátszódó fizikai, kémiai folyamatokat is, amelyek végső soron az alkatrészek meghibásodásához vezetnek. Ezeknek a meghibásodási mechanizmusoknak tanulmányozása, a megfelelő fizikai modell leírása képezi a megbízhatóság elméleti problémakörének másik fontos területét. A matematikai statisztikai kérdéskör és a meghibásodási folyamatok elméleti leírásának kapcsolata, valamint a megbízhatósággal összefüggő gazdaságossági kérdések jelentkeznek a legújabb kutatási irányzatok legfontosabb jellemzőiként. Az elméleti szekcióban megtartott 8 előadás tematikája is a fenti témaköröket tükrözte. Az előadásokat tartalmuk alapján a következő csoportosításban ismertetjük (mellékelten feltüntetjük az előadások sorszámait is, az előadáscímek részletes ismertetését a beszámoló végén közöljük):

1. Az Eyring-modell és a meghibásodási eloszlások közötti összefüggés [1].
2. A meghibásodási eloszlások vizsgálata, becslési kérdések [2], [3], [4] [5].
3. A választás utáni becslés kérdése berendezések tervezésénél [6] [7].
4. A gyártás megbízhatósága és gazdaságossága közötti összefüggés [8].

1. Az Eyring-modell és a meghibásodási eloszlások közötti összefüggés

A megbízhatóság és élettartam vizsgálatok során mindig jelentős nehézséget okozott az a tény, hogy igen nagy megbízhatóságú alkatrészek esetében nagyon hosszú időtartamú (10 000—100 000 óra) vizsgálatokat szükséges lefolytatni nagy darabszámú mintákon; ez egyrészt nem gazdaságos, másrészt pedig a hosszú vizsgálati idő következtében az alkatrésztípus elavultnak tekinthető a vizsgálat befejezésekor. Ez tette szükségessé a gyorsított vizsgálatok tervezését és lefolytatását. A gyorsított vizsgálatoknál meg kellett határozni azokat az összefüggéseket, amelyek alapján következtetések vonhatók le a megbízhatóság mennyiségi jellemzőinek változására, olyan környezeti tényezők függvényében, mint pl. a környezeti hőmérséklet és a villamos igénybevétel. Első közelítésként azt tételezték fel, hogy a meghibásodási ráta a hőmérsékletnek exponenciális függvénye (Arrhenius-törvény), a villamos igénybevételnek pedig (pl. kondenzátorok esetében) hatványfüggvénye (Brotherton-törvény). A meghibásodási ráta és a fenti két paraméter összefüggésére vonatkozóan legáltalánosabb törvényként célszerű az Eyring-modellből kiindulni. Az Eyring-modell, mint ismeretes, egyrészt speciális esetként magába foglalja az Arrhenius-törvényt (a degradációs sebesség, ebből következőleg a meghibásodási ráta exponenciális függvénye a hőmérsékletnek), másrészt pedig az alábbi tárgyalásból következően alkalmas a meghibásodási ráta hőmérséklettől és villamos igénybevételtől való együttes függésének kifejezésére. A nemzetközi irodalomban az Eyring-modell alkalmazása az utóbbi években vált igen gyakorivá.

Zanini [1] előadásában az Eyring-modell és a meghibásodások időbeli eloszlásának kapcsolatát vizs-

gálja. Az Eyring-elmélet által adott meghibásodási modellt tekinti, amelynek megfelelően a vizsgált alkatrész öregedési folyamatát jellemző degradációs sebesség (V) az abszolút hőmérséklet (T) és a villamos igénybevétel (S) függvényeként a következőképp fejezhető ki:

$$V = aT \exp\left[-\frac{b}{T}\right] \cdot \exp\left[\left(c+\frac{d}{T}\right)S\right], \qquad (1)$$

ahol a, b, c, d állandók, amelyek a vizsgált alkatrészre jellemzők.

Tételezzük fel, hogy egyetlen alkatrész hasznos élettartama (t_u) a megengedhető maximális degradációból (D_m) és a degradációs sebességből a következőképp származtatható:

$$t_u = \frac{D_m}{V}. \qquad (2)$$

(1)-t (2)-be helyettesítve kapjuk:

$$t_u = \frac{D_m}{aT} \exp\left[\frac{b}{T}\right] \cdot \exp\left[-\left(c+\frac{d}{T}\right)S\right]. \qquad (3)$$

t_u, az alkatrész élettartama valószínűségi változó, amely alkatrészenként véletlenszerűen más és más értéket vesz fel. Ez a valószínűségi változó a (3) képlet szerint függ az a, b, c, d mennyiségektől. t_u ugyan az Eyring-képletből adódóan S és T függvénye azok változása esetén, azonban adott S és T esetén a képletben szereplő a, b, c, d paraméterek alkatrészenként más és más értékek lesznek, így ezek valószínűségi változóknak tekinthetők. Az előadó feltételezi, hogy a, b, c, d normális eloszlású valószínűségi változók A, B, C, D várható értékekkel és σ_a, σ_b, σ_c, σ_d szórásokkal. A t_u valószínűségi változó szintén feltételezés szerint normális eloszlású τ várható értékkel és σ szórással. Ennek „sűrűségfüggvénye":

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\tau)^2}{2\sigma^2}\right]. \qquad (4)$$

Az előadásban ismertetett fenti képlet azonban matematikailag nem helyes, mivel t_u nem-negatív valószínűségi változó (az élettartam vagy meghibásodási idő nem-negatív szám), tehát a fenti függvény csak nem-negatív t értékekre értelmezett, azonban ha ez teljesül, akkor a fenti képlet által adott függvény nem valószínűségi sűrűségfüggvény, mivel

$$\int_0^\infty f(t)\,\mathrm{d}t \neq 1.$$

Tehát szükséges $f(t)$-t olyan konstanssal szorozni, hogy

$$c\int_0^\infty f(t)\,\mathrm{d}t = 1$$

legyen. Ha $c = \left[\Phi - \left(-\frac{\tau}{\sigma}\right)\right]^{-1}$, ahol $\Phi(x)$ a standardizált normális eloszlás eloszlásfüggvénye, akkor

$$f^*(t) = f(t)\left[\Phi\left(-\frac{\tau}{\sigma}\right)\right]^{-1}$$

már eleget tesz a sűrűségfüggvény tulajdonságainak.

A (4) képlet helyességét közelítő feltevéssel úgy lehet igazolni, hogy t_u csak igen kis valószínűséggel vesz fel negatív értékeket, így t_u negatív tartományban való esésének valószínűsége gyakorlatilag elhanyagolható.

A szerző ezután megadja az élettartam várható értékének és szórásának közelítő összefüggését az a, b, c, d változók várható értékével és szórásával az alábbiak szerint:

$$\tau = \frac{D_m}{AT} \exp\left[\frac{B}{T}\right] \exp\left[-\left(C+\frac{D}{T}\right)S\right], \qquad (5)$$

$$\sigma^2 = \tau^2\left(\frac{\sigma_a^2}{A^2} + \frac{\sigma_b^2}{T^2} + S^2\sigma_c^2 + S^2\frac{\sigma_d^2}{T^2}\right). \qquad (6)$$

Fel kell hívnunk a figyelmet arra, hogy az (5) és (6) képletek csak közelítőleg helyesek, alkalmazásuk csak az esetben lehetséges, ha bizonyos feltételek teljesülnek. Pl. a (6) képlet közelítése csak akkor alkalmazható, ha a függvény egyes változók szerinti parciális deriváltjai az A, B, C, D helyeken folytonosak és az a, b, c, d változók szórásai kicsinyek.

A vizsgálati adatok alapján meghatározandó A, B, C, D, σ_a, σ_b, σ_c, σ_d konstansok kiszámítására az előadó számítási módszert ismertet. Ezek után tárgyalja az extrapoláció lehetőségeit, valamint a Weibull-, ill. Gamma-eloszlás alkalmazási területeit.

Az előadásban ismertetett meggondolások lehetőséget nyújtanak arra, hogy a vizsgált alkatrészek meghibásodási eloszlásában szereplő paramétereket egyes gyorsított vizsgálatok adatai alapján meghatározhassuk, ezáltal lehetővé válik a vizsgálati eredményekből származó információk származtatásának egy viszonylag gyors és gazdaságos elvégzési módjának megvalósítása.

2. A meghibásodási eloszlások vizsgálata, becslési kérdések

A megbízhatósági vizsgálatok során kapott adatok feldolgozásánál első lépés az, hogy meghatározzuk az alkatrészek meghibásodási eloszlását. Ennek ismeretében válik lehetővé olyan megbízhatósági jellemzők származtatása, amelyek alapján pontosabban határozhatók meg az alkatrészek megbízhatósági adatai. A legismertebb, megbízhatóság területén használatos eloszlások: az exponenciális, Weibull-, Gamma-, Gauss-eloszlások. *Firkowitz* [2] előadásában az ún. „hatványeloszlás" alkalmazását tárgyalta. Az előadó a következő eloszlástípust vizsgálta:

$$F(t) = \begin{cases} 0 & ; \ t \leqq 0 \\ \left(\frac{t}{b}\right)^\alpha & ; \ 0 < t < b \\ 1 & ; \ t \geqq b \end{cases} \qquad (7)$$

A sűrűségfüggvény:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{\alpha}{b} t^{\alpha-1} ; & 0 < t < b \\ 0 & ; \text{máshol} \end{cases}$$

A T valószínűségi változó, amelynek eloszlásfüggvénye (7) által adott, k-adik momentuma:

$$E(T^k)=b^k\frac{\alpha}{\alpha+k}$$

Ennek megfelelően T várható értékei és szórásnégyzete:

$$E(T)=b\frac{\alpha}{\alpha+1}$$

$$D^2(T)=b^2\alpha\,(\alpha+1)^{-2}\,(\alpha+2)^{-1}.$$

A hatványeloszlás esetében a meghibásodási ráta időfüggvénye:

$$\lambda(t)=\frac{\alpha\left(\frac{t}{b}\right)^{\alpha-1}}{b\left(1-\left(\frac{t}{b}\right)^{\alpha}\right)};\qquad (0<t<b).$$

Könnyen belátható, hogy az általánosított Gamma-eloszlás határeloszlásaként a hatványelosztás adódik eredményül. Az is belátható, hogy $X=\ln\frac{b}{T}$ valószínűségi változó exponenciális eloszlású α paraméterrel.

Ezután az előadó a hatványeloszlás paramétereinek becslési kérdéseit tárgyalja. A maximum likelihood becslése a következő egyenletekkel adottak:

$$\alpha^*=\frac{1}{\ln t_m-\frac{1}{m}\sum_{k=1}^{m}\ln t_k}$$

$$b^*=t_m\left(\frac{n}{m}\right)^{\frac{1}{\alpha^*}}$$

ahol t_k a k-adik meghibásodás időpontja, m a vizsgálat során meghibásodott darabok száma (a vizsgálatot a t_m időpontban befejezzük), n a mintadarabszám.

Egy másik lehetséges becslési módszer a grafikus becslés, ekkor az eloszlásfüggvényt logaritmizálva kapjuk, hogy

$$\lg F(t)=\alpha\lg t-\alpha\lg b.$$

Így $\lg F(t)$ $\lg t$ függvényében lineáris függvény. Ha $\hat{F}(t_k)=\frac{k}{n}$ becslést alkalmazzuk, akkor a tapasztalati adatokból könnyen meghatározható α^* (az egyenes iránytangenséből), valamint b^* (az egyenesnek az ordináta tengellyel való metszéspontjából). Végezetül az előadó a becslések tulajdonságait vizsgálta. A hatványeloszlás alkalmazása feltehetőleg olyan alkatrészek esetében célszerű, amelyeknek meghibásodási időpontja egy adott értéknél előreláthatólag kisebb lesz és ez az adott érték előre becsülhető.

A rendezett mintaelemek és azok aszimptotikus eloszlása alapján könnyen származtathatók a meghibásodási jellemzők, mint pl. az átlagos meghibásodási ráta. *Temler* [3] előadásában ezzel a kérdéssel foglalkozott. A rendezett minta legkisebb elemének eloszlása, mint az a rendezett minták elméletéből ismeretes, a következő:

$$F_1(y)=1-[1-F(y)]^n,$$

ahol $F(y)$ az eloszlásfüggvény.

A legkisebb rendezett mintaelem aszimptotikus határeloszlása:

$$\Phi(y)=\lim_{n\to\infty}\{1-[1-F(y)]^n\}.$$

$\Phi(y)$ a következő típusok egyike:

$1-\exp.[-e^{\alpha(x-y)}]$ $\alpha\gtrless 0$
$1-\exp.[-\nu(\omega-x)^{-k}]$; $k>0$, $x\lesseqgtr\omega$, $\nu>0$
$1-\exp.[-\nu^{-1}(x-\varepsilon)^k]$; $x\gtrless\varepsilon$, $k>0$, $\nu>0$
$1-\exp.(-\nu^{-1}x^k)$; $x\gtrless 0$, $k>0$.

A megfelelő átlagos meghibásodási ráták a következők:

$$\bar{\lambda}_0\exp.[\alpha\,(x-x_0)]$$

$$\bar{\lambda}_0\left(\frac{\omega-x_0}{\omega-x}\right)^k$$

$$\bar{\lambda}_0\left(\frac{x-\varepsilon}{x_0-\varepsilon}\right)^k$$

$$\bar{\lambda}_0\left(\frac{x}{x_0}\right)^k$$

Az előadó ezután tapasztalati adatok alapján végzett számítások ismertetésével foglalkozik a meghibásodási rátának hőmérsékletfüggésével vonatkozóan. Az Arrhenius-törvény felhasználásával az adódik, hogy 10 °C hőmérsékletcsökkenés esetén a meghibásodási ráta feleződik.

Keselyák [4] előadása igen érdekes problémakörrel, a meghibásodási kritériumoknak a meghibásodási eloszlásokba való beépítésével foglalkozott. Az előadó megállapításai szerint a híradástechnikai ipar gyors fejlődése szükségessé tette az elektronikai alkatrészekkel szemben támasztott megbízhatósági követelmények állandó szigorítását és az ilyen jellegű adatszolgáltatás kiszélesítését. A megbízhatóság fogalma ennek következményeként egyre bonyolultabb fogalommá vált. A legfőbb megbízhatósági jellemző a megbízhatóság időbeli eloszlását írja le előre megadott meghibásodási kritériumok mellett. A meghibásodási kritériumok közül legfontosabbnak a teljes üzemképtelenségen kívül a legfontosabb villamos jellemzők változása, megadott tűréshatárok mellett, tekinthető. Azonban a tűréshatárok megadása meghibásodási kritériumként némileg önkényes, mivel az alkalmazás feltételeitől függ annak megállapítása, hogy milyen előre megadott határok túllépése tekinthető egy adott alkatrész esetében meghibásodásnak. Ennek megfelelően igen fontos annak ismerete, hogy a megbízhatóság időbeli eloszlásának paraméterei hogyan függnek a meghibásodási kritériumként megadott tűréshatároktól.

Az előadó szilícium tranzisztorok hosszú időtartamú vizsgálata során vizsgálta ezt a kérdést az áramerősítési tényezőre vonatkozóan. Az áramerősítési tényező időbeli változása növekvő jelleget mutatott. A vizsgálat során kapott eredményeket aszerint osztályozták, hogy a tranzisztorok áramerősítő tényezője meghaladta-e vagy sem a $p=5$, 10, 20, 50, 100% tűréshatárszintet. A kapott eredmények azt mutatták, hogy az időbeli eloszlás minden p

értékre Weibull-eloszlással közelíthető, mivel a Weibull-papíron történő ábrázolás során jó közelítéssel egyenes adódott. Az adatok arra mutattak, hogy a degradációs folyamat minden p értékre $T_0=6$ óránál kezdődött. A p tűréshatár függvényében a β Weibull-eloszlás alakparaméter exponenciális függvénnyel közelíthető:

$$\beta(p)=\beta(0)\left(1-e^{-\frac{\mu}{p}}\right),$$

ahol μ konstans, $\beta(0)$ $p=0$ esetén a Weibull alakparaméter, amely a vizsgálat során 1-nek adódott. A fenti képletből még az is adódik, hogy $p\to\infty$ esetben $\beta\to 0$.

A fentiekből látható, hogy a β alakparaméter két paraméterrel $\beta(0)$ és μ-vel helyettesíthető, ez esetben β a tűréshatár megválasztásától függően változik. Hasonlóképpen függ a tűréshatártól a $\lambda(p)$ skálaparaméter, erre vonatkozóan az összefüggés:

$$\lambda_p=\lambda_\infty T_0^{-\beta(p)}$$

ahol $T_0=6$ óra.

$$\lambda_\infty=\lg\left[-\ln\left(1-F(T_0)\right)\right];$$

$$1-F(T_0)=e^{-\lambda(p)T_0^{\beta(p)}}$$

Így a szerző kimutatta, hogy a rejtett paraméter, azaz a tűréshatár kiküszöbölhető az eloszlásból és a tapasztalati adatok alapján számítható. Az elvégzett számítások általánosabban is használhatók, mivel minden elektronikai alkatrész esetében felvehető a legfontosabb villamos jellemzők változása, ill. ezen jellemzőkre vonatkozó adott tűréshatárok függvényében a megbízhatóság időfüggvénye. Ennek alapján meghatározható, hogyan változnak az eloszlás paraméterei a tűréshatár változásának függvényében. Ez a módszer lehetőséget nyújt az alkatrészeken folytatott vizsgálatok információ tartalmának növelésére és egyúttal értékes felvilágosítással szolgál a tervező mérnökök számára az alkatrészek megbízhatósági viselkedésére vonatkozóan.

Millea [5] előadásában a Weibull-paraméterek becslési kérdéseit tárgyalta. Figyelembe véve, hogy Weibull-eloszlás esetében kétszeres logaritmizálással az eloszlásfüggvény az idő logaritmusának függvényében kiegyenesíthető, s erre vonatkozóan rendelkezésre áll az ún. Weibull-papír, az előadásban az előadó megmutatta a megbízhatósági paraméterek grafikus becslésének és konfidencia határának meghatározására szolgáló módszert. Példákat adott meg az eljárás lefolytatására.

3. A választás utáni becslés kérdése berendezések tervezésénél

Sarkadi [6] előadása az alkatrészmegbízhatósági adatok matematikai szempontból helyes felhasználásával foglalkozik sok alkatrésszel rendelkező berendezések tervezésénél. Berendezések tervezésénél gyakorta fellépő nehézség, hogy nem állnak rendelkezésre az alkatrészek megbízhatósági jellemzőire vonatkozóan elégséges megbízhatósági adatok az élettartam-vizsgálatok korlátozott volta miatt. Ezért fontos, hogy az alkatrész jellemzőkre torzítatlan becslést tudjunk megadni. Ebben az esetben a szórások az egész berendezésre vonatkozó megbízhatóság becslésénél kiegyenlítődnek, azaz a végső becslés relatív szórása sokkal kisebb lesz, mint az alkatrész becslőké volt. Ha azonban ugyanazokat az adatokat használjuk fel becslésre és választásra, akkor ez torzítást okoz. A gyakorlatban ezt sokszor figyelmen kívül hagyják, pl. a berendezés meghibásodási rátájának becslésénél, ha a becslést alkatrész adatok alapján végzik. Ezért a választás utáni becslés kérdésének különös jelentősége van a megbízhatóság területén. Egy helyesen megadott választás utáni becslőnek függnie kell mind az elfogadott, mind pedig a visszautasított alkatrész választás utáni becslőjétől. Mivel a torzítatlanság fontos követelmény, feltehető az a kérdés, vajon van-e torzítatlan megoldás a választás utáni becslés problémájára. A kérdésre adandó válasz függ a választás előtti becslők eloszlásától. Pl. két választási lehetőség esetén, ha a választás előtti becslők eloszlása Poisson-eloszlás, akkor a választás után torzítatlan becslés adható meg. Ugyanakkor ismert szórású normális eloszlás esetében nem létezik torzítatlan becslés a választás után. Ez utóbbi esetben egy olyan becslő adható meg a választás után, amelynek torzítása tetszőleges kicsivé tehető egy konstans alkalmas megválasztásával. Ha azonban a torzítás csökken, a szórás nőni fog. A megbízhatósági alkalmazásokban célszerű előírni, hogy a berendezésre vonatkozó végső becslés közel azonos nagyságrendű szórással és torzítással rendelkezzék.

Balogh [7] előadása az előző előadással hasonló problémakörrel foglalkozik. Megbízható berendezések tervezésénél fontos szempont, hogy a berendezések megbízhatóságának becslése a berendezésbe beépítendő alkatrészek megbízhatósági adatai alapján történjék. A gyakorlatban gyakran előfordul az az eset, hogy több azonos tulajdonságú alkatrészből kell kiválasztani azt az alkatrészt, amely a berendezésben meghatározott feladatot teljesít. Ekkor a választás alapja az, hogy a lefolytatott vizsgálatok alapján melyik alkatrész bizonyult legmegbízhatóbbnak. Ha ez a választás megtörtént, akkor a berendezés megbízhatóságának becslésénél az alkatrész-megbízhatósági adatok már bizonyos meggondolások figyelembevételével használhatók csak fel. A matematikai modell felállítása során az előadó egy berendezés tervezés esetét tekinti, amelynek során fejlesztés alatt álló alkatrésztípusokból kell kiválasztani a legmegbízhatóbbat, majd becsülni a megbízhatósági jellemzőt. Feltételezve, hogy a berendezésben az alkatrészek egymástól függetlenül működnek, elegendő egy alkatrész esetében vizsgálni a kérdést, majd az egy alkatrészre kapott megbízhatósági jellemző becslése alapján származtatni a berendezés megbízhatóságának becslését. Az előadó az exponenciális és binomiális eloszlás esetében tárgyalja a kérdést. A jellemzőkre torzítatlan becslést ad meg a választás után rendelkezésre álló további információ felhasználásával.

4. A gyártás megbízhatósága és gazdaságossága közötti összefüggés

Rose [8] igen érdekes előadása komplex ipari gyár megbízhatóságának és a befektetett költségeknek összefüggését tárgyalja. A gyár megbízhatósága (R) az egyes üzemegységek megbízhatóságának (R_i) szorzatával egyenlő, azaz

$$R=\prod_{i=1}^{n} R_i$$

A megbízhatóság az üzemegységre fordított összeg függvénye, azaz

$$R_i=f_i(K_i),$$

ahol K_i az i-edik üzemegységre fordított költség. Nyilvánvaló, hogy

$$K=\sum_{i=1}^{n} K_i$$

a gyárra fordított költség. Ha előírunk egy $R=0{,}95$ megbízhatóságértéket, akkor felmerül az a kérdés, hogy ismerve az f_i függvényeket, milyen befektetések mellett biztosítható ez a megbízhatóság. Ha csak két egységből áll a gyár, akkor a kisebbik egység költségráfordítása legyen 1000 pénzegység, a nagyobbiké pedig 100 000 pénzegység. Tegyük fel, hogy a jelenlegi tervezés mellett mindkét egységre a megbízhatóság 0,9, így a gyár megbízhatósága 0,81. Ha 10%-os megbízhatóságnövelést akarunk elérni, azaz $R=0{,}891$ értéket, akkor 3 lehetőség van:

- az 1000 pénzegységes egység megbízhatóságát 10%-kal növelni.
- A 100 000 pénzegységes egység megbízhatóságát 10%-kal növelni.
- Mindkét egység megbízhatóságát úgy növelni, hogy a gyár számára 10%-os megbízhatóságnövekedés jöjjön létre.

Általában természetesen a második eset sokkal költségesebb, mint az első. Ha a harmadik lehetőséget választjuk, akkor több kombinációs lehetőség van. Pl. mindkettő megbízhatóságát azonos arányban növeljük, azaz 4,9%-kal. Természetesen ez a kisebb egységnél olcsóbb és könnyebb. Azonban ebből mégsem következik, hogy csak a kisebb egységre kell elvégezni a megbízhatóság javítását, mivel nem költhető minden összeg csak a kisebb egységre. Szükséges tehát a költségelosztás optimumát meghatározni. Egyszerűsítő feltevések mellett az állapítható meg, hogy az egyes egységek megbízhatóságának logaritmusa egyenesen arányos a relatív költséggel $\left(\frac{K_i}{K}\right)$ és a gyár megbízhatóságának logaritmusával:

$$\lg R_i=\frac{K_i}{K}\lg R.$$

Ezen összefüggés alapján számítások végezhetők a karbantartások, javítások beütemezésére, az átlagos hibamentes működési időre stb. vonatkozóan.

Az elméleti témakörökben elhangzott előadások és megbeszélések, valamint a kerekasztal konferencia elméleti kérdéseinek diszkussziója rávilágított nemcsak a megbízhatósági elméleti problémák leglényegesebb jelenlegi kérdéseire, hanem a jövő fejlődésének irányára is. Ezzel kapcsolatban Firkowitz lengyel kutató azt a véleményt fejtette ki, hogy szükséges a megbízhatóság elmélet és gyakorlati alkalmazás összehangolása, ennek érdekében olyan matematikai modell kialakítását javasolta, amely alkalmas arra, hogy ebből az általános modellből származtathatók legyenek az egyes speciális gyakorlati területekre vonatkozó összefüggések. Továbbá hangsúlyozta, hogy ennek a modellnek figyelembe kell vennie a meghibásodásokhoz vezető folyamatok fizikai, kémiai kérdéseinek elméleti tárgyalását. Véleményünk szerint bár ilyen modell megalkotása csak közelítéssel lehetséges, a jövő megbízhatóság elméleti kutatásai kétségtelenül ebben az irányban fognak haladni.

Balogh Albert

ELŐADÁSOK

1. *A. Zanini:* Application of the Failure Distribution Functions to the Eyring Ageing Model.
2. *S. Firkowitz:* Egy élettartameloszlásról.
3. *A. Temler:* A rendezett mintaelemek aszimptotikus eloszlásának alkalmazása a megbízhatóság területén.
4. *Kesselyák:* Elimination of Arbitrarily Given Failure Criteria...
5. *N. Millea:* Graphical Determination of the Reliability Parameters for Weibull Distribution.
6. *K. Sarkadi:* Estimation after Selection in the Design of Equipments.
7. *A Balogh:* On Some Problems of Estimation after Selection in the Reliability Theory.
8. *S. P. Rose:* Reliability of Complex Industrial Plants.

Hibaigazítás: A XX. évf. 3. sz. 94. oldalon a **Diplomaterv-pályázat eredménye** c. közleményben a tévesen megjelent Hegyesi Csaba név helyesen **Megyesi Csaba.**

Passzív elektronikai alkatrészek megbízhatóság vizsgálata

A szimpózium „C" szekciójában tartott előadások a passzív elektronikai alkatrészek megbízhatóságvizsgálatával foglalkoztak. A megtartott előadásokat két csoportra lehet osztani; az egyik csoport a passzív elektronikai alkatrészek vizsgálati módszereivel foglalkozott, míg a másik csoport az alkatrészek konstrukciójának és technológiájának összefüggéseit vizsgálta a várható megbízhatósági paraméterekkel. Az előadásokon kívül kerekasztal-megbeszélés megszervezésére is sor került, amelynek tematikája a passzív elektronikai alkatrészek hibamechanizmusa és az igen nagy megbízhatóságú alkatrészek hibaarányainak becslése volt.

1. Vizsgálati módszerek

A „C" szekcióban a bevezető előadást *dr. Katona János* [1] tartotta. Előadásának témája az igen nagy megbízhatóságú passzív elektronikai alkatrészek vizsgálati módszerei volt.

Az elektronikai berendezések egyre nagyobb követelményeket támasztanak az alkatrészekkel szemben, 10^{-7}—10^{-8} óra^{-1} meghibásodási ráta követelmény a bonyolult elektronikai berendezéseknél időszerűvé vált. Az ilyen igen kis meghibásodási rátával rendelkező alkatrészek vizsgálata új problémák megoldását vetette fel. A korábban alkalmazott statisztikai módszerek a gyakorlatban már nem alkalmazhatók, mivel több tízezer alkatrészt több tízezer órán keresztül kellene vizsgálni ahhoz, hogy megbízhatóan becsült meghibásodási ráták legyenek megadhatók. Az előadás új vizsgálati módszerek kialakítását veti fel és a tervezésnél az alábbiakat javasolja:

1. Egy meghibásodási modell felvételét, amely a terhelést és a klimatikus körülményeket figyelembe veszi;
2. A meghibásodás fizikai, vagy fizikai-kémiai folyamatának meghatározását, amely a meghibásodás mechanizmusát feltárja;
3. Laboratóriumi vizsgálatokat annak ellenőrzésére, hogy a választott modellek megfelelnek-e a fizikai, vagy fizika-kémiai feltevéseknek;
4. E vizsgálatok alapján a fizikai folyamatot leíró függvények meghatározását;
5. Regressziós analízis lefolytatását, amely az alkatrészek paramétereinek változását meghatározza, a vizsgálati idő és a feszített vizsgálati körülmények függvényében.

Fenti elvek alapján bemutatásra került a nikkel—króm bázisú fémréteg-ellenállások megbízhatóságvizsgálata. A meghibásodást leíró folyamat az Arrhenius-törvény és a Wagner—Hauffe parabolikus oxidációs időtörvény figyelembevételével az ellenállás változására az alábbi összefüggést mutatja,

$$\frac{\Delta R}{R} = a t^{1/2} e^{-\frac{b}{\vartheta}}$$

ahol t a vizsgálati idő,
ϑ a környezeti hőmérséklet,
a, b a vizsgálat során meghatározandó állandók.

A lefolytatott vizsgálatok alapján 90% konfidenciaszint esetén meg lehetett határozni a meghibásodási rátát, amely 40 °C hőmérsékleten 10^{-8} óra^{-1} nagyságrendűnek adódott.

Hasonló módon modellkísérletek alapján meghatározták a nedves térben történő tárolás esetén a meghibásodási rátát Fick második törvényének figyelembevételével. Meghatározták azt az ellenállásérték-változást, amely 1 napos vizsgálat lefolytatása esetén tájékoztatást ad arra nézve, hogy 21 napos nedves térben való tárolás esetén milyen értékváltozásra lehet számítani. E módszert szűrővizsgálatként alkalmazzák.

B. H. Nichols [2], ellenőrző vizsgálati adatok felhasználásáról a nagy megbízhatóságú alkatrészek átvételénél tartott előadást. Felhívta a figyelmet arra, hogy a vizsgálatok során egyes gyártási sorozatok között olyan különbségeket talált, amelyek figyelembe veendők a megbízhatósági ráta becslésénél. A vizsgálatokat rétegellenállások gyártásánál folytatta. Megvizsgálta az ellenállások értékének ingadozását gyártási szakaszonként és vizsgálatai során az ingadozások okát is feltárta. Beszámolt arról, hogy az egyes gyártási szakaszok között különbséget lehetett megállapítani a réteg felvitelekor és a feldolgozás során a spirál vájatok beköszörülésekor. Az egyes gyártási szakaszok közötti ingadozások alapvető okát e két művelet bizonytalanságaiban fedezte fel és erre vezette vissza a terhelésvizsgálatok alatt bekövetkező ellenállásváltozások ingadozását is.

Célul tűzték ki egy megbízhatósági specifikáció kidolgozását, amely tartalmazza a megengedhető változásokat, adott terhelési viszonyok mellett. Ennek során a terhelésvizsgálatok mellett a rétegellenállások zajfeszültségét és nonlinearitási tényezőjét is ellenőrizték és megállapították, hogy e két vizsgálat további információkat ad az ellenállások megbízhatóságára vonatkozóan.

Az előadás során a megbízhatósági vizsgálatok gazdasági oldalával is foglalkozott és megállapította, hogy a fokozott megbízhatósági követelmények a felhasználó számára költségtöbbletet okoznak. Ezt részben a vizsgálatok költsége, és egyes esetekben a szigorúbb specifikációk betartásából adódó selejttöbblet okozza.

G. Hahn — N. Wilke [3] előadása kondenzátorok karakterisztikus paramétereinek változásaival foglalkozott forszírozott igénybevétel esetén. A kondenzátorok megbízhatóságvizsgálatánál arra a megállapításra jutottak, hogy a dielektrikumban lejátszódó fizikai folyamatok határozzák meg elsősorban a bekövetkező meghibásodást. Hivatkoztak dr. Katona

János egy korábbi előadásában szereplő kiértékelési módszerre, amely módszert polisztirol- és elektrolitkondenzátorok esetére kívántak alkalmazni. Arra a megállapításra jutottak, hogy a polisztirol-kondenzátorok kapacitásváltozásának fő oka a dielektrikumban levő mechanikai feszültség, amely a konstrukció és technológia megfelelő kialakításával csökkenthető. Az előadásukban e vizsgálatok eredményeiről számoltak be. Előadásuknak második részében az elektrolit-kondenzátorok meghibásodási folyamatával foglalkoztak és megállapították, hogy elsősorban a veszteségi tényező növekedése a meghibásodási folyamat fő meghatározója. A forszírozott vizsgálatok eredményeiből extrapolációval következtettek a normális üzem alatti viselkedésre.

Bráda Ferenc [4] előadásának témája rétegellenállások megbízhatóságára levonható következtetések egyes jellemzők vizsgálatából volt. A rétegellenállásoknál a vezetés mechanizmusában jelentkező inhomogenitások kimutatására gyártásközi ellenőrzésként különböző elektromos igénybevétel hatására bekövetkező ellenállásváltozáson alapuló vizsgálatok kerültek bevezetésre. Ezek közül a nonlinearitásvizsgálat mutatkozott alkalmas vizsgálati módszernek, mert rövid idő alatt a hibás darabok felfedezhetők és a vizsgálat roncsolásmentesnek tekinthető.

Előadásának keretében bemutatta, hogy összefüggés állapítható meg a hosszú élettartam vizsgálat elején lefolytatott nonlinearitás értéke és hosszú élettartam vizsgálatok során bekövetkező tönkremenések között. A viszonylag rövid idő alatt tönkrement példányok már a vizsgálat kezdő időpontjában is nagyobb nonlinearitási értéket mutattak. Hasonló eredmények adódtak a zajtényező-vizsgálat esetében is. A vizsgálati eredmények alapján megállapította, hogy különösképpen a nonlinearitás-vizsgálat alkalmas arra, hogy rétegellenállások kontaktushibáiból és rétegegyenlőtlenségből származó hibákat már a gyártás során kiszűrhesse.

Petrikovics László [5] „Összefüggések kondenzátorok minősége, megbízhatósága, valamint a kondenzátorokban keletkező 3. harmonikus amplitúdója között" címmel tartott előadást. Vizsgálta a kondenzátorok veszteségi ellenállásának feszültségfüggését és arra a megállapításra jutott, hogy 10 kHz feszültségen a harmadik harmonikus amplitúdójának nagysága és a dielektrikumra tett feszültség (U_F) között az alábbi összefüggés állapítható meg:

$$E_3 = K_3 U_F^3,$$

ahol: E_3 a harmadik harmonikus amplitúdójának nagysága, U_F a dielektrikumra tett feszültség, K_3 állandó.

A kondenzátorok soros veszteségi ellenállása különösképpen a párologtatott fegyverzetű kondenzátortípusoknál szokott nagyobb mértékű nonlinearitást mutatni. Hibás kontaktusok esetén a harmadik harmonikus amplitúdója a kondenzátorra tett egyenfeszültség függvényében hiszterézis jellegű jelenséget mutat. Más karakterisztika adódik a feszültség növelésekor, mint a csökkentéskor; az utóbbi karakterisztika nagyobb nonlinearitást mutat, mint a feszültség növelése esetén tapasztalt.

J. Guyonnet [6] szénréteg-ellenállások megbízhatóságvizsgálatáról tartott előadást. Vizsgálatai igen nagyszámú adatra támaszkodnak ($23 \cdot 10^6$ db·óra). Meghibásodást a vizsgált ellenállásoknál nem tapasztaltak és ennek megfelelően a meghibásodási ráta konfidenciahatára 50%-os valószínűségi szinten $3 \cdot 10^{-8}$ óra^{-1}. Megvizsgálták az ellenállásérték változását a vizsgálati idő és igénybevétel függvényében és az alábbi általános képletet kapták:

$$\frac{\Delta R}{R} = D_0 t^n \exp\left[a = \frac{B}{273 + \Theta_g}\right]$$

ahol: D_0 az 1000/óra, 70 °C környezeti hőmérsékletnél adódó ellenállásváltozás nominális terhelés esetében, t a vizsgálati idő 1000 órákban, $\Theta_g = \Theta_a + 75 \frac{P_a}{P_h}$ a környezeti hőmérséklet, P_a disszipált teljesítmény, P_n nominális teljesítmény, B állandó, n értéke 0,3 és 0,7 között változik.

R. Mäder [7] „Rétegellenállások viselkedése raktározás közben" címmel tartott előadást. Vizsgálatait kristályszén- és fémréteg-ellenállásoknál végezte szobahőmérsékleten és forszírozott körülmények mellett. A hőmérsékletforszírozást kristályszén-ellenállásoknál 125 °C, fémréteg-ellenállásoknál 155 °C-ig folytatta. A vizsgálatok eredménye azt mutatja, hogy 70 °C hőmérsékletig az ellenállásváltozás aszimptotizál egy végérték felé. 125, ill. 155 °C hőmérséklet esetében azonban pár száz óra után monoton növekedés figyelhető meg. Ennek okát a réteg fokozatos oxidálódásával indokolja.

2. A passzív elektronikai alkatrészek konstrukciójának és technológiájának hatása a megbízhatóságra

Wollitzer György—Strausz Tamás—Csanády Ágnes [8] „Vékonyréteg alumíniumoxid kondenzátorok önjavuló képességének vizsgálata" címen tartottak előadást. Beszámoltak kísérleteik eredményeiről az alumínium—alumíniumoxid — különböző fémből készült második elektróda rendszerű kondenzátorok önjavuló képességéről. A kísérletek során változtatták a második fegyvezret anyagát, ahol különböző olvadáspontú fémfegyverzeteket alkalmaztak. A második fegyverzetként ónt, indiumot, antimont, cinket és ón—antimon-ötvözetet alkalmaztak. Vizsgálták a kondenzátorok önregeneráló képességét. A vizsgált példányokat növekvő térerősség mellett átütötték és az átütés helyét fénymikroszkóppal figyelték meg. Meghatározták az önjavuló képesség hatására az átütés méretét, amivel jellemezték a kondenzátorok regenerálóképességét is. A kedvezőbb eredmények az alacsony hőmérsékleten olvadó fémekből készült második fegyverzetnél mutatkoztak.

Kolonits Pálné [9] fémezett poliészter kondenzátorok egyes öregedési jelenségeiről számolt be. Vizsgálatai során megállapította, hogy a poliészter fóliák magasabb környezeti hőmérsékleten öregedési jelenséget mutatnak, csökken az átütési szilárdság, növekszik a dielektrikum veszteségi tényezője és csökkenést mutat a hőmérsékleti együttható. E jelenségek különösképpen 85—100—125 °C környezeti hőmérsékleten mutatnak egyre növekvő hatást. Jelen-

tékeny befolyást gyakorol az előzetes hőkezelés ideje és hőmérséklete is. Minél magasabb az előzetes hőkezelés hőmérséklete, annál nagyobb mértékű az átütési feszültség csökkenése. Vizsgálta a Dupont (amerikai) és a Hostaphan (NSZK) gyártmányú fóliákat. A vizsgálatok eredménye szerint a Hostaphan fóliák öregedése nagyobb mértékű, mint az amerikai Dupont fóliáké.

Göblös János [10] korszerű műanyag dielektrikumú kondenzátorok néhány stabilitási és megbízhatósági kérdéséről számolt be. Ismertette a polisztirol kondenzátorok jellemzőit. Megállapította, hogy az időbeli stabilitás függ a gyártás során alkalmazott technológiai módszerektől, elsősorban a zsugorítás és az öregítés műveleteitől. A kondenzátorok időbeli stabilitása függ az üzemeltetés környezeti hőmérsékletváltozásaitól és a környezet nedvességtartalmától. A nedves tér hatására reverzibilis kapacitásváltozások következnek be. 10% relatív nedvességváltozás $\pm 0{,}06 - \pm 0{,}1\%$ reverzibilis kapacitásváltozást eredményez. Megfigyelhető egy irreverzibilis kapacitásváltozás is a tartós üzemeltetés során, amely az első évben 2—4%, a további idő folyamán ez ennél kisebb értéket mutat.

A poliészter-kondenzátorok közül a fémezett fegyverzetű típusok kontaktus problémáival foglalkozott. Megállapította, hogy a fémezett fegyverzetre sopirozott kontaktus 10 mohm/cm² nagyságrendű átmeneti ellenállást mutat. A kontaktusmegbízhatóságát e kondenzátoroknál nagyfrekvencián (1 Mc) mért veszteségi tényezővel ellenőrizték.

Pálffy Árpád [11] „Fémrétegek szerkezete, azok stabilitása és alkalmazása rétegellenállások céljaira" címmel tartott előadást. Beszámolt a fejlesztési munkák során lefolytatott kísérletekről. A réteget három különböző módszerrel állították elő:

1. „Flash" gőzöléssel,
2. az ötvözött komponensekkel külön gőzforrásból (króm-nikkel),
3. szilárd kompozícióból (ötvözetből).

Ismertette a párologtatás utáni hőkezelés hatását. Vizsgálta az ellenállás időbeni változásának és hőmérséklet-együtthatójának értékét az előállítás technológiai paramétereinek függvényében. Bemutatta a közép- és nagystabilitású nikkel-króm fémréteg-ellenállások megbízhatósági adatait a terhelési idő függvényében, különböző igénybevételek esetén, végül ismertette a maximális (155 °C) hőmérsékleten lefolytatott raktározási vizsgálatok eredményeit.

Soós István [12] előadásának tárgya: „Integrált áramkörök vékonyréteg-ellenállásainak terhelésvizsgálata" volt. A vizsgált ellenállások 40% nikkel, 60% króm összetételűek, a felületi ellenállásuk 400 ohm/□ értékűek voltak.

70 °C környezeti hőmérséklet mellett 1, 2, 5, 10 W/cm² fajlagos terheléssel vizsgálta a kísérleti példányokat. Megállapította, hogy 2 W/cm² fajlagos terhelésig az ellenállások változása hosszú tartós vizsgálat során csak 1—2‰ és az ellenállások változása parabolikus időtörvényt követ. 5—10 W/cm² fajlagos terhelés esetén a változások 5—30% nagyságúak. Vizsgálta az ellenállások változását a geometriai alaktól függően is. Ezután hőmérleget készített, a hőmérleget részben számítás, részben mérés alapján állította fel. A számított és mért adatok nem mutattak egymáshoz képest nagy eltérést. Vizsgálta az ellenállások egymásra gyakorolt kölcsönhatását is. Megállapította ennek eredményeként, hogy kb. 100 °C felületi hőmérséklet a maximálisan megengedhető, figyelembe véve a kölcsönhatásokat is. Ez esetben az ellenállások változása hosszabb tartós vizsgálat esetén sem lépi túl az 1—2. tized százalékot.

Berghammer Antal [13] potenciométerek megbízhatóságának néhány kérdésével foglalkozott. Bemutatta az általa kidolgozott pálya felviteli technológiával készült potenciométerek egyes megbízhatósági paramétereit. Ezek közül kiemelkedő a 100 000-szeres mozgatási ciklus után a mozgózajfeszültség viszonylag alacsony értéke és az ellenállásváltozás max. 0,76%-os értéke. 56 napos nedves térben való tárolás esetén a pályák ellenállásváltozása az ohmértéktől függően 0,5—2%.

3. Kerekasztal-megbeszélés

A szimpózium során a „C" szekció keretén belül kerekasztal megbeszélés megszervezésére is sor került. E megbeszélés tematikája a passzív elektronikai alkatrészek meghibásodási mechanizmusának vizsgálata és az igen nagy megbízhatósági alkatrészek meghibásodási rátájának becslése volt. A vitaindító előadást az elnöklő *dr. Katona János* tartotta.

A bevezető előadás során ismertette, hogy az igen nagy megbízhatóságú alkatrészek esetében a meghibásodási ráta becslése igen nehéz feladat. A korábban alkalmazott klasszikus vizsgálati módszerek a gyakorlatban már nem alkalmazhatók, mivel igen nagy mintadarabszám hosszú ideig történő vizsgálata szükséges a meghibásodási ráta megfelelő konfidenciaszinten történő becsléséhez. Röviden beszámolt egy pár, részben irodalomban ismertetett, részben intézetükben kidolgozott vizsgálati módszerről.

A vita során *Firkovitz* felvetette annak szükségességét, hogy a megbízhatósági jellemzők becslésének meghatározása céljából olyan általános matematikai módszert kell kialakítani, amely figyelembe veszi az alkatrészekben lejátszódó legfontosabb fizikai, kémiai és fizikai-kémiai folyamatokat. Ezen folyamatok alapján olyan általános jellegű összefüggéseket, eloszlásokat kell meghatározni, amelyeknek segítségével a bennük szereplő paraméterek alkalmas megválasztásával meghatározható egyes alkatrésztípusok esetében a fizikai feltételeknek legjobban megfelelő és azokat legjobban közelítő meghibásodási eloszlások. Ilyen általános jellegű modellként említhető meg az Eyring-modell, amely a legfontosabb villamos jellemzők változását adja meg a hőmérséklet és a villamos igénybevétel függvényében.

Dr. Sarkadi Károly felvetette a berendezések és alkatrészek megbízhatósága közötti összefüggés kérdését. Ebben a vonatkozásban két fő terület figyelembevételére szorítkozott. Az egyik terület annak vizsgálata, hogy a berendezések meghibásodási rátájának konfidencia-intervalluma hogyan számítható az alkatrészekre rendelkezésre álló vizsgálati eredmények alapján. Rámutatott arra, hogy az esetben,

ha minden egyes berendezésben működő alkatrész konfidencia-intervallumát figyelembe vennénk a berendezés meghibásodási rátájának kiszámításánál, akkor igen tág konfidencia-intervallumot kapnánk. Ezért nagy megbízhatóságú berendezések esetében szükséges az alkatrészvizsgálati eredmények súlyozott szórásának figyelembevétele, a berendezés meghibásodási rátájának becslésekor. A másik fő terület annak a kérdésnek vizsgálata, hogy milyen módon kell becsülni a berendezés megbízhatóságát abban az esetben, ha az egyes feladatokat ellátó alkatrészekre több választéktípus áll rendelkezésre. Ebben az esetben a választás utáni becslés statisztikai problémájához jutunk el. Célszerű olyan becslést megadni, amelynek torzítása és szórása közel azonos nagyságrendű.

Bortfeld a Markow-folyamatok alkalmazhatóságának kérdésével foglalkozott a megbízhatóságelmélet területén. Megemlítette, hogy a Markow-folyamatokat mint matematikai realizációt felhasználják a legfontosabb villamos jellemzők változása alapján történő megbízhatóság értékelésénél. Az értékelés numerikus végrehajtásánál elektronikus számítógépeket alkalmaznak.

Nichols hangoztatta, hogy szükséges az elmélet és gyakorlat összhangjának megteremtése, mivel a bonyolult elméleti képletek és összefüggések csak akkor használhatók a gyakorlati munka során, ha a lejátszódó fizikai folyamatoknak megfelelő matematikai modellt állíthatunk fel.

A vita további során a résztvevők saját vizsgálatainak egyes tapasztalatairól számoltak be, a különböző alkatrésztípusok vizsgálati eredményeiből ismertettek egyes részleteket.

E vizsgálati eredmények ismertetése igen érdekes és értékes tapasztalatokat nyújtott a kerekasztal-konferencia összes résztvevője számára.

Dr. Katona János

ELŐADÁSOK

1. *Dr. Katona János:* Újabb eredmények elektronikai alkatrészek megbízhatóság vizsgálatának területén.
2. *B. H. Nichols:* Különálló lapos, vastagréteg-ellenállások hozzájárulása logikai áramkörök megbízhatóságához.
3. *G. Hahn — N. Wilke:* Fokozott igénybevételi vizsgálatok kondenzátorok üzemi megbízhatóságának megállapításához.
4. *Bráda Ferenc:* Rétegellenállások megbízhatóságára levonható következtetések egyes jellemzők vizsgálatából.
5. *Petrikovics László:* Összefüggések kondenzátorok minősége, megbízhatósága, valamint a kondenzátorokban keletkező 3. harmonikus amplitúdója között.
6. *J. Guyonnet:* Krakkolt szénréteg-ellenállások megbízhatósága.
7. *R. Mäder:* Rétegellenállások viselkedése raktározás közben.
8. *Wollitzer György — Strausz Tamás — Csanády Ágnes:* Vékonyréteg alumíniumoxid kondenzátor önjavuló képességének vizsgálata.
9. *Kolonits Pálné:* Fémezett poliészter-kondenzátor egyes öregedési jelenségei.
10. *Göblös János:* Korszerű műanyag dielektrikumú kondenzátorok néhány stabilitási és megbízhatósági kérdése.
11. *Pálffy Árpád:* Fémrétegek szerkezetei, azok stabilitása és alkalmazása rétegellenállások céljaira.
12. *Soós István:* Integrált áramkörök vékonyréteg-ellenállásainak terhelési vizsgálata.
13. *Berghammer Antal:* Potenciométerek megbízhatóságának néhány kérdése.

Elektroncsövek és jelfogók megbízhatóság vizsgálata

A félvezető eszközök előretörésével az elektroncsöveket főleg a nagyobb teljesítmények előállítására és erősítésére, a mikrohullámon 1—2 watton felüli teljesítmény-tartományban, tv-képcső és katódsugárcső céljára használnak. Sok félvezető eszközt és kevés számú csövet tartalmazó berendezések élettartamát és megbízhatóságát az elektroncsövek erősen befolyásolják, minthogy a berendezésekbe beépített passzív elemek és félvezető eszközök megbízhatósága az utóbbi években 1—2 nagyságrenddel meghaladja az elektroncsövek megbízhatóságát.

Ez a helyzet indokolja, hogy olyan csőtípusok és csőféleségek, melyek még évekig nem lesznek félvezető eszközökkel helyettesíthetők, élettartama és megbízhatósága ma is élő probléma és ezeknek a jellemzőknek javításába érdemes további kutatás-fejlesztési munkákat befektetni.

1. Konstrukció — technológia — minősítés

Egy különleges nagy megbízhatóságra méretezett és készített trióda problematikáját ismertette *W. Veith* [1]. A feladat a Mars körüli „expedícióra" szánt Mariner űrhajó adócsövének elkészítése és kiválasztása volt. A követelmények az alábbiak voltak: 2,3 GHz-en 10 W hasznos teljesítmény, minél kisebb érzékenység ütésre, rázásra, környezeti kis nyomásra, frekvencia állandóság külső szórt mezőre, ill. sugárzásra, nagy hatásfok, hosszú élettartam. A munka folyamán a korábban már gyártott típuson konstrukciós módosításokat végeztek, a gyártást különleges gondossággal ellenőrizték, majd a tényleges beépítésre szánt példányokat nagyobb példányszámból válogatták. A munka főbb lépései az alábbiak voltak:

A konstrukciót a katód-rács rendszerben módosították. Növelték a katód felületét, továbbá a wolfram kapillár katód felületét nehezen párolgó fémmel vonták be, hogy a katód élettartamát növelhessék és a káros párolgásokat csökkentsék. A rács mechanikai és elektromos jellemzőinek javítása érdekében olyan keresztezett feszített rácsot terveztek, mely még 800 °C-on is kielégítő mechanikai sajátságokkal rendelkezik.

A gyártási ellenőrzést különleges gondossággal végezték. Minden beépített anyag spektrálanalitikai,

mélyhúzás szilárdsági, izzítási, illetve vákuumállósági ellenőrzésen ment át. A kritikus alkatrészeknél a tűréseket csökkentették. A szokásos szúrópróbák helyett minden csövet kétszeresen ellenőriztek. Minthogy a cső csak igen kis gravitációs térben való működésre volt szánva, különleges eljárásokat alkalmaztak a nemkívánatos szabadon lebegő részecskék és por eltávolítására (mikroszkópos ellenőrzés, túlnyomásos munkahelyek). — A rács huzalok minden egyes keresztezés hegesztését és a rács és katód párhuzamosságát ellenőrizték. A gyártás minden csövét kísérőlap követte. A végső beforrasztás előtt minden burát héliumos tömegspektrométeres lyukkereséssel ellenőriztek. Az aranyozott külső felületeket különleges, kopásálló aranyozással látták el.

A módosított konstrukció és technológia alkalmazása után sem fogadtak el valamennyi kezdetben jónak minősített példányt felhasználásra alkalmasnak, hanem előégetéseket és ismételt vizsgálatokat végeztek. Mintegy 1500 db-os alkatrész készletből készített csövekből az első mérés alapján 720 válogatottan jó cső példányt emeltek ki. Ebből a 720 csőből különlegesen jó aláfűtéses, illetve emissziós adatok alapján 160 csövet jelöltek ki és vetettek alá 500 órás égetésnek. Különleges fontosságot tulajdonítottak a fűtőtest helyzetének és ezt az égetésszakaszok után végzett röntgen átvilágításokkal ellenőrizték. Meghosszabbított aktiválási periódus folyamán a katód emisszivitását és a fűtőáram változását vizsgálták. Gondos mérlegelés után végül is 38 példányt további 500 órás égetésnek vetettek alá. Végül is mindössze 3 cső került felhasználásra úgy, hogy közlés idején túl voltak a 23 000 órás hibátlan üzemeltetésen.

2. Szivattyúzási technológia

A nagy megbízhatóságra szánt elektroncsövekbe — mint minden egyéb termékbe is — be kell építeni a „minőséget", minél gondosabb technológiát kell alkalmazni. Ezekkel a kérdésekkel foglalkoznak *Barla Endre, Bakoss Gergely* és *Lovas József* [2].

A TKI-ban kifejlesztett iongetterszivattyúk és fém vákuumrendszerek alkalmazásával a csövek szivattyúzása szennyezésmentes atmoszférában, alacsonyabb nyomásokon végezhető el, mint a klasszikus szivattyúrendszerekkel. Emellett az ismertetett szivattyúrendszer üzeme olcsóbb, kezelése egyszerűbb, mint a klasszikus eszközökkel működőké. Lényeges előny, hogy az iongetterszivattyú nagy érzékenységű lyukkeresést tesz lehetővé a szivattyúzás egész folyamata alatt.

A szivattyúzási munkamenetet omegatron nyomásmérővel követve a csőben végbemenő gázleadások kvantitative értékelhetőek voltak. Gázleadás jelzi az egyes alkatrészek anyagainak és előkészítésének helyes megválasztását, valamint a szivattyúzási munkamenet helyességét.

A vizsgálatok kimutatták egyes konstrukciós változtatások előnyös voltát, mint pl. egy reflex klisztron szívószár vezetésének növelése, az üveg szívószár fémmel való helyettesítése, a hideg felforrasztás és leszúrás bevezetése, az üveg és csillám alkatrészek kerámiára, illetve fémre történő kicserélése. A szivattyúzás közben megfigyelhető össz- és parciális nyomásváltozások szoros kapcsolatban állnak a működő kész csőben uralkodó viszonyokkal, így megállapítható, hogy az ismertetett szivattyúzási eljárás, valamint a vizsgálatok által alátámasztott konstrukciós változtatások elősegítették az említett csövek élettartamának és megbízhatóságának növelését.

3. Katód

A termikus elektronemitterekkel kapcsolatban két előadás hangzott el: *Szekeres Béla* [3] az új emisszivitás megítélésére alkalmas módszert ismertetett, *Bíró Istvánné, Ádám János* [4] a képcsövek katódjainak tudatosan beállított körülmények közötti aktivitását és mesterségesen előidézett károsodását az előbbi módszer alkalmazásával vizsgálták.

A katód emissziós aktivitásának összehasonlítására az irodalom számos módszert ajánl. A módszerek többségükben olyanok, hogy az eljárások folyamán jelentősen módosítják a katód állapotát. Ezen módszereknél a folyó áram aktiválja, vagy dexaktiválja a katódot és így a mérés maga nem reprodukálható. A módszerek más részénél nem lehet közvetlenül a katód emissziós állapotának jellemzésére alkalmas adatot kapni és a különböző katódok összehasonlítása nehézkes.

Szekeres Béla [3] a katód jellemzésére a hűlő katód azon hőmérsékletét tartja legjobbnak, amely hőmérsékleten a működés a tértöltésből telítéses üzemmódra éppen átmegy. A Szekeres által kidolgozott módszernél a kikapcsolt fűtésű katód tértöltéses árama a lehűlés folyamán mindaddig állandó marad, amíg egy áramgenerátor ezt egyáltalán fenntartani képes, majd a telítéses állapot jelentkezése esetén hirtelen lezuhan. Ezen állapothoz tartozó hőmérsékletet mérik közvetlenül, vagy közvetve a kikapcsolástól eltelt hűlési idő által.

A telítéses állapot jelentkezése után a mérő feszültséget kikapcsolják, hogy a katódban ne lépjen fel károsodás. Az eljárás előnyei a következők:

1. A mérés tetszőlegesen kis áramsűrűséggel végrehajtható és így a katód károsítása csökkenthető.
2. A módszer nagyon érzékeny és igen kis aktivitás különbségek is kimutathatók.
3. A mérésnél nyert számszerű értékek nem függnek a geometriai adatoktól, és csak a katód emisszivitására jellemzők.
4. A módszer egyszerű és egy csőkonstrukción belül reprodukálható.

Szekeres összehasonlította e módszer adta eredményeket egyéb (pl. lényegesen komplikáltabb sörétzaj) mérésekkel és igen jó egyeztetéseket talált.

Az elektroncsövek megbízhatóságának egyik legfőbb feltétele, hogy a katódok a működés folyamán minél kevésbé változzanak. Viszonylag igen kiélezett feltételek között üzemelnek a televíziós képcsövek katódjai, hiszen megkívánják tőlük a néhány száz mA/m^2-es áramsűrűséget. Ilyen katódok vizsgálatairól számolt be *Bíró Istvánné* és *Ádám János* [4].

A katódok aktivitása a katódtól (a magfém- és bevonat-összetétel, az aktiválás stb.) és a környezettől (gyártási módszer, alkatrészek szennyező hatása stb.) függ. A szerzők vizsgálataikhoz modellként diódákat készítettek, kevés számú és gondosan tisztított alkatrésszel, ezenkívül tömeggyártásból származó képcsöveket vizsgálták. A képcsöveken észlelt jelenségeket visszavezették a diódáknál kísérletileg létrehozott hatásokra.

A vizsgálatok folyamán tanulmányozták a különböző aktiválási módszerek hatását, és kis háttérnyomásról kiindulva, gázbeeresztő szelepen adagolt levegővel tudatosan károsították a katódokat, változtatva a nyomást, időtartamot, katód, hőfokozati stb. A jelenségeket, tömegspektrométeres analízissel követték.

A levegő beeresztéseket végeztek 10^{-3}—10^{-7} torr nyomástartományban néhány perc—néhány tíz órás időn keresztül.

Azt észlelték, hogy a károsítás kisebb mértékű volt hideg katód esetén, mint üzemi hőmérsékleten tartva a katódot. Gyors aktivitáscsökkenés után a visszaaktiválás, ugyancsak viszonylag rövid munkamenettel elérhető volt, éspedig annál közelebb a kiindulási szinthez, minél kevésbé volt a katód eredetileg túlaktiválva, minél több emissziós tartalékkal rendelkezett. Modellkísérletekből kitűnt, hogy a képcsövek katódaktivitás csökkenéséből és aktiválódási menetéből következtetni lehet arra, hogy a károsodás belső gázfelszabadulásokból vagy a bura húzósságából ered-e. Kimutatták továbbá, hogy ha 10 000 órás működőképességet biztosító helyes technológia helyett nem megfelelő tisztítási módszereket használnak az elektronbombázásnak kitett alkatrészeknél, a katódaktivitás már néhány perc alatt is megengedhetetlenül lecsökken.

4. Maradék nyomások

Az előzőekben ismertetett katódvizsgálatok szerzői rámutattak arra, hogy az elektroncsövek burájában mutatkozó gázkörnyezet nagyon jelentősen módosíthatja a katód működőképességét. Ezért fontos felvilágosításokat adhat az elektroncsövek maradékgázának mennyiségi és minőségi vizsgálata. Ilyen tanulmányokról számolt be *Hantay Ödön* [5] képcsövekkel kapcsolatban.

A vizsgálandó csőhöz csatlakoztatott fémből készült berendezés, az evakuálás iongetter — ill. szublimációs szivattyúkkal az analizálás quadropul tömegspektrométerrel történt.

A vizsgálandó csöveket a vizsgálórendszerhez törőzár közbeiktatásával kis gőznyomású epoxikittel ragasztották.

A vizsgáló rendszerben a nyomás mintacserekor is 10^{-3} torr tartományban volt tartható. A csatlakozó kifűtése után a nyomás 10^{-7} torr alá volt csökkenthető és a gáztér főként hidrogén maradékot mutatott. A vizsgálatok célja selejtes csövek hibaokainak tanulmányozása volt. A legfőbb tapasztalatok az alábbiakban foglalhatók össze:

A hibátlan vákuumzárású, de kis katódemissziójú csövek maradékgáza főként metán és egyéb szénhidrogén volt: víz, széndioxid, valamint oxigén gyakorlatilag sem volt kimutatható. Ez nem jelenti azt, hogy az utóbbi gázok nem voltak jelen a térben, hanem hogy bár valószínűleg a katód szempontjából meg nem engedhető mennyiségben voltak jelen, a katódtól viszonylag távollevő tömegspektrométernél már nem voltak kimutathatók. Érdekes, hogy a mintegy fél év alatt húzósság miatt begázosodó példányok maradékgáz elemzése sem mutatta az oxidativ gázok jelenlétét és főként csak hidrogén és argon volt észlelhető. (Ez utóbbi példányok lyukas voltát héliumos lyukkereséssel is igazolni lehetett.)

Úgy látszik, hogy az oxidativ gázok kimutatására a legérzékenyebb indikátor maga a katód. Kívánatos volna továbbá egy elektronágyút úgy kialakítani, hogy az tömegspektrométerként is felhasználható legyen.

5. Üzemeltetési körülmények

Ismeretes, hogy az elektroncső előállítók az alkalmazók részére bizonyos feltételek betartását írják elő, az optimális élettartam elérése érdekében. Nem adják viszont meg azt, hogy milyen következményekkel járhat az üzemeltetési ajánlásoktól való eltérés megbízhatóság és élettartam szempontjából. Ezt a hiányt kísérli meg részben pótolni *Csornai László*, *Dallos András* és *Rédl Endre* közleménye [6], bemutatva néhány jellegzetes, egymástól erősen eltérő jellegű csőtípus és modellcső viselkedését.

Az élettartamnak a katódfűtő-feszültségtől való függésére tömegfogyasztásra gyártott vevőcsöveknél, nagy élettartamú professzionális rendeltetésű vevőcsöveknél és nagy áramerősségű vizsgáló diódáknál történtek vizsgálatok. Mérések igazolták, hogy adott konstrukció és technológia esetén van optimális katódhőfok, ill. fűtőfeszültség. Kedvező, ha az optimális és ajánlott fűtőfeszültség megegyezik. Kedvezőtlen az aláfűtés, de különösképpen a túlfűtés veszélyes élettartam szempontjából. A katódfűtés vevőcsöveken rácsáram-növekedést és zárlat miatti korai meghibásodást, nagy áramsűrűségű diódákon korai katódemisszió vesztést okozhat.

Az élettartam és hibás működés elektróda disszipációtól, valamint hűtéstől, illetve a környezeti hőfoktól való függését vevőcsöveken és haladóhullámú csőtípuson mutatták be. A helytelen üzemeltetés vevőcsöveknél meredekség csökkenésben, haladóhullámú csöveknél FM zaj növekedésben jelentkezett.

A közlemény az észleléshez kapcsolódóan a jelenségek vázlatos indoklását is adja. Optimálisak az üzemeltetési feltételek akkor, ha az elhasználódási effektusokat a regenerálási jelenségek éppen megfelelő ütemben ellensúlyozzák.

6. Jelfogók

A jelfogókkal két közlemény foglalkozott: *Balázs János* [7], a hermetikusan zárt típusokkal, míg *Dékány Lászlóné* és *Kesselyák Péter* [8] a szabad levegőn működő érintkezők viselkedésével.

Balázs János [7] a hazai fejlesztésű, ún. Reed-jelfogókat kapcsolás-biztonság szempontjából tanulmányozta. Kis és nagy áram kapcsolására készített jelfogókat vizsgált, különböző áramok esetén. Mérte

azt a kapcsolási számot, amelynél az első meghibásodás jelentkezett. A legfőbb tapasztalatok az alábbiak voltak.

A kisteljesítményű használatra ajánlott jelfogókon észlelt hibátlan kapcsolások száma az áram növelésével csökkent. A nagyteljesítményre szánt jelfogók kis teljesítmények esetén kis hibamentes kapcsolási számot adtak. Növelve a kapcsolási áramot, mutatkozott egy optimális kapcsolási áram, mely mellett a legnagyobb számú hibátlan kapcsolás volt biztosítható.

Szabad levegőn működő jelfogó érintkezőket vizsgált *Dékány Lászlóné* és *Kesselyák Péter* [8]. Jelfogó érintkezőkön végzett gyorsított légszennyeződésvizsgálatok kapcsán olyan megbízhatóság becslési módszert mutattak be az előadók, amely figyelembe veszi az érintkezők speciális meghibásodási mechanizmusát.

A villamos érintkező működése első közelítésben akkor tekinthető hibásnak, ha zárt állapotban átmeneti ellenállása egy gyakorlati, adott tűréshatárt meghalad. A megbízhatóság mértékéül minden egyes kapcsolásnál a jó érintkezés valószínűségét tekintették. Ilyen interpretációban a megbízhatóság az érintkező felület szennyeződése (=rétegképződés) és öntisztulása (=kopás) közötti dinamikus egyensúly határozza meg.

Kénhidrogénnel és — ipari atmoszférában előforduló — dibutiftaláttal szennyezett légtérben 1 millió járatást végezve és közben érintkezőként több mint tízezer mérést regisztrálva az adódott, hogy az átmeneti ellenállás romlása és megjavulása ugrásszerű, nem folytonos jelenség, a mért ellenállás gyakoriságeloszlása diszkrét tartományokra összpontosul, amelyek feltehetőleg a fémes, a kvázifémes, illetve a különböző minőségű szigetelő réteges érintkezés állapotaihoz tartoznak. Az egyes állapotok egy ugyanazon érintkező működése során stochasztikusan váltogatják egymást, Markov-folyamatot generálva. Az egyes állapotok közötti átmenetek valószínűségét a rétegképződési és öntisztulási sebességek szabályozzák, amelyek függvényei az érintkező működési feltételeinek és a környezeti hatásoknak.

A beszámoló megmutatja, hogyan lehet a rétegképződési és öntisztulási sebesség arányát a mérési adatokból meghatározni és azt a megbízhatóság becslésénél mutatóként felhasználni. Példaként szerepel palládium, ezüstpalládium és arany—ezüst érintkezők igen alacsony terhelés melletti vizsgálatának kiértékelése.

Dr. Dallos András

ELŐADÁSOK

1. *W. Veith* (Siemens, München): Konstrukciós és gyártási rendszabályok, melyek űrhajó célra megbízható triódákat eredményeznek.
2. *Bakoss Gergely, Barla Endre, Lovas József* (TKI, Budapest): Iongetterszivattyúk alkalmazása elektroncsövek élettartamának és megbízhatóságának növelésére.
3. *Szekeres Béla* (TKI, Budapest): Termikus katódok emissziós aktivitásának jellemzése, az ún. telítési katódhőmérsékletnél.
4. *Bíró Istvánné, Ádám János* (TKI, Budapest): Tv-képcsöveknél fellépő oxid-katód problémák vizsgálata.
5. *Hantay Ödön* (TKI, Budapest): Maradékgáz vizsgálatok tv-képcsövekben.
6. *Csornai László* (EIVRT), *Dallos András* (TKI, Budapest), *Rédl Endre* (OMFB): Üzemeltetési feltételek hatása közvetett fűtésű elektroncsövek meghibásodásának.
7. *Balázs János:* Reed érintkezők megbízhatósági kérdései.
8. *Dékány Lászlóné, Kesselyák Péter* (BHG, Budapest): Megbízhatósági tapasztalatok villamos érintkezők gyorsított vizsgálatánál.

MAGYAR KÁBEL MŰVEK
VEZÉRIGAZGATÓSÁGA
Budapest, XI., Budafoki út 60 • Telefon: 453-590

GYÁRTMÁNYOK:

Jelző-, mérő-, működtetőkábelek
Erősáramú szigetelt vezetékek
Erősáramú kábelek 1—35 kV-ig
Alumínium és acél-alumínium szabadvezetékek
Tekercselőhuzalok
Switch-kábelek
Gumitömlő vezetékek
Híradástechnikai vezetékek
Távkábelek
Hírközlő kábelek
Hajókábelek
Zománchuzalok
Zárt-acélkötelek

VADÓCZ ERZSÉBET
Beloiannisz Híradástechnikai Gyár

Reed kapcsolóelemek és jelfogók

ETO 621.318.56

Egy új, elektromechanikus kapcsolóelemet fejlesztettek ki 1938-ban az Amerikai Egyesült Államokban, amely a „dry-reed-switch" néven vált ismertté.

Ez a kapcsolóelem egyetlen vas-nikkel alapanyagból készült nemes fémmel bevont érintkezőpárt tartalmaz és védőgázzal töltött üvegcsőben helyezkedik el. Az érintkezők az üvegcső egymással szemközti végein vannak beforrasztva, egymással párhuzamosak, s végeik kissé átfedik egymást. Mágneses térerő hatására a kontaktusok egymás felé mozdulnak el és érintkezést adnak.

Ez az új kapcsolóelem a következő előnyös tulajdonságokkal rendelkezik a hagyományoshoz képest:

1. gyors működésű (1—2 ms),
2. nagy élettartamú (10^9 működésszám terhelés nélkül),
3. nagy a megbízhatósága (légköri behatásokkal szemben érzéketlen stb.),
4. kis mérete és egyszerű felépítése folytán gyártása könnyen automatizálható.

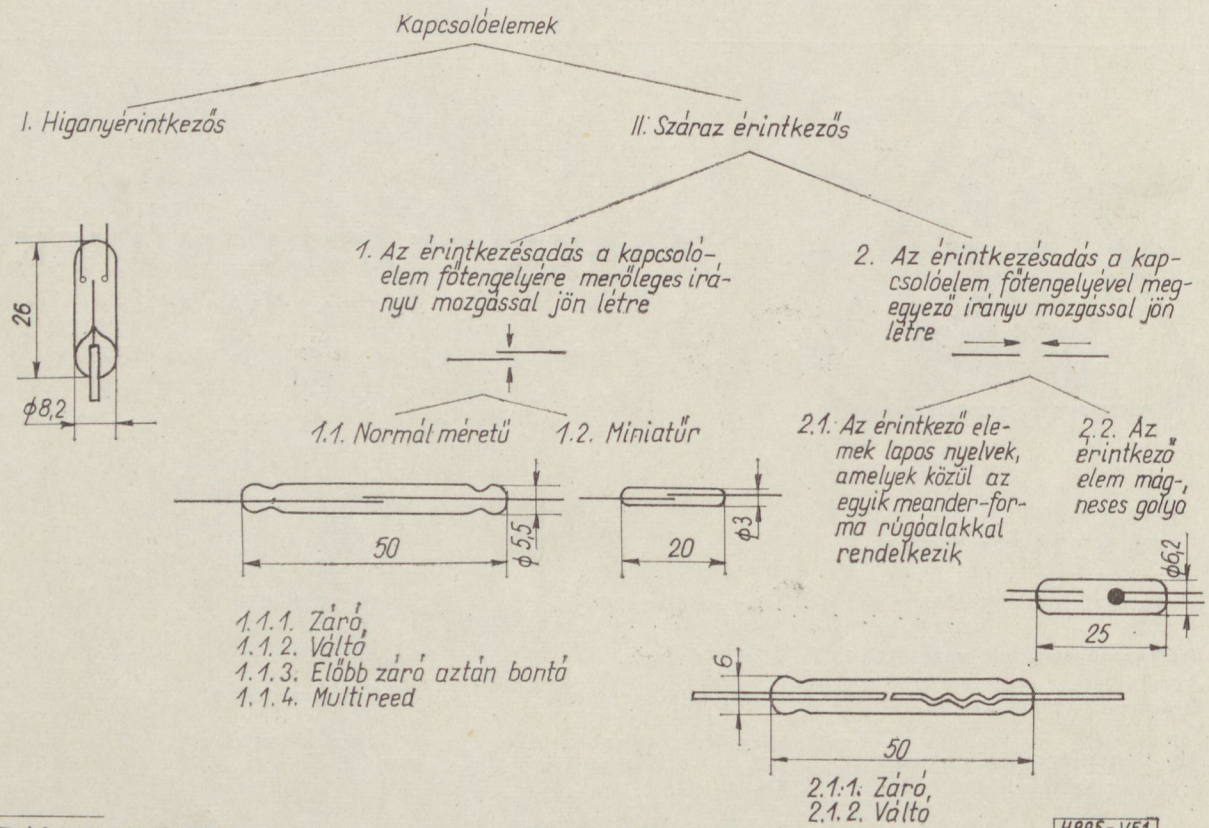
Jó tulajdonságai ellenére, a kapcsolóelemet csak az 50-es években kezdték elterjedten alkalmazni. Ekkor jelentek meg az elektronikus áramkörök, amelyek kapcsolási ideje csak néhány μs. Így felmerült az igény egy olyan elektromechanikus kapcsolóelemre, amely lényegesen gyorsabban működött, mint a hagyományos.

Az egyre növekvő igény elsősorban a telefonközpontok területén jelentkezett. Az elektronikus áramkörök alkalmazásából származó nagy előny — az igen rövid kapcsolási idő — nem használható ki, ha ezekhez képest a jelfogók, illetve kapcsológépek működése igen lassú.

Megindult tehát a tömeggyártás és ma már minden jelentősebb híradástechnikai vállalat gyárt ilyen kapcsolóelemeket, illetve jelfogókat. Noha az alkalmazás nem korlátozódik a telefontechnika területére, a fő felhasználó a telefontechnika marad. Itt igénylik a tömeges gyártást és itt a legfontosabb a fémes érintkező előnye az elektronikus kapcsolókkal szemben. Elsősorban kapcsolómezőket építenek velük, amelyek a kapcsológépeket helyettesítik. Működési sebességük egy nagyságrenddel nagyobb, mint a Crossbar gépeké.

Az első megoldást sok újabb követte, amelyek egymástól elektromos tulajdonságokban alig térnek el, inkább a konstrukciós megoldások különbözőek. Ezért nem is vállalkozhatunk arra, hogy minden típust ismertessünk.

Jelen cikk vázlatos, de áttekintő képet kíván adni az ismertebb reed kapcsolókról és jelfogókról.



1. ábra. A reed kapcsolóelemek felosztása

Beérkezett: 1968. III. 13.

1. Reed kapcsolók

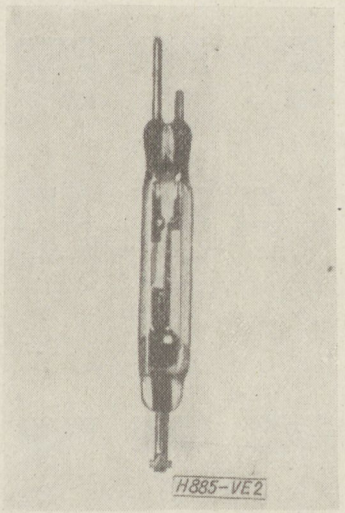
A kapcsolókat célszerű az 1. ábra alapján csoportosítani.

I. Higannyal nedvesített érintkezős kapcsoló

Ezt a típust a Bell Laboratóriumban fejlesztették ki, valamivel később, mint a normál méretű, száraz érintkezős kapcsolót. Ennek ellenére ez volt az első, amely tömeggyártásra került [1].

Alkalmazása ma nem olyan széles körű, mint a száraz érintkezős kapcsolóké, mégis érdemes foglalkoznunk vele, mert vannak olyan előnyös tulajdonságai, amelyeket a száraz érintkezős kapcsolóval nem érhetünk el.

A lágy mágneses anyagból (Ni—Fe 50—50%) készült fémnyelveket üvegcsőbe forrasztják a 2. ábra szerint. A nyugalmi érintkezők végein platina gömbérintkezők vannak. A középső, munka érintkezőt



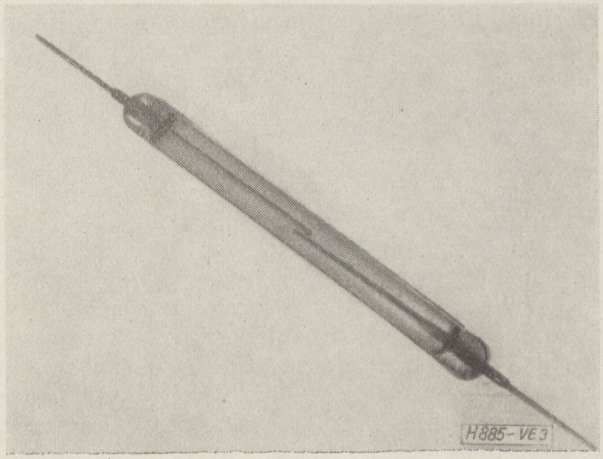
2. ábra. Higanyérintkezős kapcsolóelem

támasztócsőbe hegesztik és így forrasztják be az üvegcsőbe. Beforrasztás előtt az üvegcsőbe előírt mennyiségben folyékony higanyt adagolnak és hidrogént vezetnek, majd a munkaérintkezőt — amelyben hajszálcsatornák vannak — nikkellel vonják be. A kapilláris hatás segítségével a nikkelt nedvesíti a higany, így a középső érintkező egész felülete higannyal töltődik fel. Ez minden kapcsolásnál megismétlődik, tehát gyakorlatilag nem keletkezik érintkezőkopás, ami igen előnyös tulajdonság. További előny a megbízható működés, a hosszú élettartam. Hátránya viszont, hogy a higany miatt csak álló helyzetben használható.

II. Száraz érintkezős kapcsolók

Ebbe a csoportba tartozó valamennyi kapcsoló közös tulajdonsága:

Az érintkezők üvegcsőbe vannak forrasztva, az üvegcső védőgázzal — nitrogénnel — van megtöltve. Az érintkezők 50—50% Ni-Fe ötvözetből készülnek, mert ezen összetételnél a tágulási jellemzők azonosak az ólomüveg tágulási jellemzőivel. Az érintkezési felületeket — diffúzió útján — arannyal vonják be, így kis átmeneti ellenállást és magas élet-



3. ábra. Normál méretű száraz érintkezős kapcsolóelem

tartamot kapnak. Ha a kapcsolóelemet igen magas frekvenciák kapcsolására is használják, a skin effektus miatt az érintkezési helyeket ezüstözik.

1.1 Normál méretű száraz érintkezős kapcsoló

Ez a kapcsoló a legelterjedtebb. Mérete általában a következő:

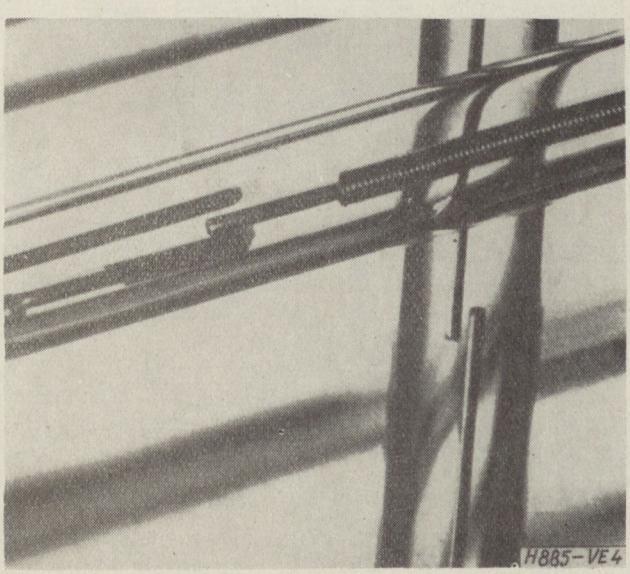
Az üvegcső hossza:	50 mm
Teljes hossz:	80 mm
Az üvegcső átmérője:	∅ 5 mm
Az elérhető működésszám:	$10^8—10^9$

1.1.1 Záró érintkező

A kapcsolóelemet a 3. ábra mutatja. Az üvegcső egymással szemközti végein van a két, egymással párhuzamos helyzetű érintkező beforrasztva. Az érintkezők végei a cső belsejében kb. 1,2—1,5 mm-re átlapolják egymást, és köztük kb. 0,15—0,2 mm légrés van [3, 4, 12, 13].

1.1.2 Átváltó érintkezők

A Siemens cég (NSZK) morse érintkezőjét mutatja a 4. ábra. Az üvegcső egyik végén két érintkező van



4. ábra. Előtérben a Siemens und Halske cég morse érintkezője, mögötte egy normál méretű záró érintkező

beforrasztva. Az egyik nem mágneses, a másik lágy mágneses anyagból készül. Az üvegcső szemközti oldalán a mágneses anyagból készült középső, munkaérintkező nyúlik az üvegcsőbe. Nyugalmi állapotban ez a nyelv a nem mágneses, nyugalmi érintkezőre támaszkodik. Elegendően erős mágneses térbe helyezve, az érintkező átvált, a mágneses tér megszűnése után nyugalmi helyzetébe tér vissza [9]. Átváltó érintkezők készítése az üvegcsőben levő bontó rugópár miatt nagyon nehézkes. Konstrukciós problémát jelentett a két rugót mechanikailag úgy előfeszíteni, hogy nyugalmi állapotban tökéletes zárást adjon, viszont a bontás és az ellenkező oldalon a zárás azonnal, pergés nélkül jöjjön létre. Ezért bontó érintkezőket nem is készítenek. Bontó érintkezőt záró érintkezőből hozhatunk létre, ha a záró érintkezőt tartalmazó üvegcsőre kívülről egy állandó mágnest helyezünk. Az érintkező bontásához az állandó mágnes terét semlegesítő ellentétes irányú és nagyságú gerjesztésre van szükség. Elegendő nagy ellentétes irányú tér esetén az érintkezők újra (vissza) zárnak.

1.1.3 Előbb záró, aztán bontó érintkező

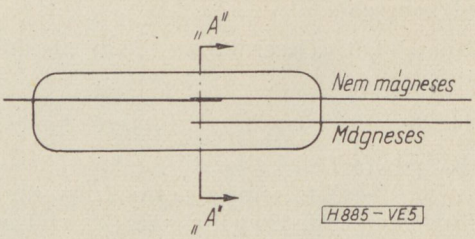
Újdonságnak számít a fenti érintkező megoldására benyújtott amerikai szabadalom. A kapcsolóelem felépítése azonos a morse kapcsolóelemével. Eltérés a középső érintkező kialakításában van. Az érintkező ugyanis az érintkezés helyén a jelfogórugóknál ismert módon fel van hasítva. A felhasított részek egyik oldalát nem mágneses anyagból készült galvanikus bevonattal látják el úgy, hogy a bevonatok az érintkező lemez ellentétes oldalaira kerüljenek.

Az 5. ábrán látható működés közben a kapcsolóelem. Képezzük az ábrán bejelölt „A"—„A" síkmetszetet, majd vizsgáljuk meg a 6*a* ábrát, amely a működés egyes fázisait szemlélteti. A középső lemez nem mágneses anyagból készült galvanikus bevonatai az ábrán látható módon helyezkednek el. Nyugalmi állapotban a középső érintkező a felső, nem mágneses anyagból készült érintkezőn nyugszik. A kapcsolóelemet mágneses térbe helyezve először csak egyik lemezfél vált át, és csak a gerjesztés növelésekor fog a másik is átváltani. Ez előbb záró, aztán bontó működést eredményez. Magyarázata a következő:

Ismert, hogy a gerjesztés hatására keletkezett mágneses térerő fordítva arányos a távolsággal. Azonos gerjesztés esetén az egymáshoz közelebb levő két mágneses anyag között nagyobb térerő lép fel, így az a lemezfél, amelynek mágneses része közelebb van a mágneses anyagú záró érintkezőhöz előbb záródik. Növelve a gerjesztést, nő a térerő is, s most már a másik érintkező fél is képes átváltani.

A gerjesztés csökkentésekor, a fellépő mágneses tapadási hatás miatt, az a lemezfél, amelynek mágneses fele érintkezik a záró érintkező mágneses anyagával, később fog visszatérni nyugalmi helyzetébe.

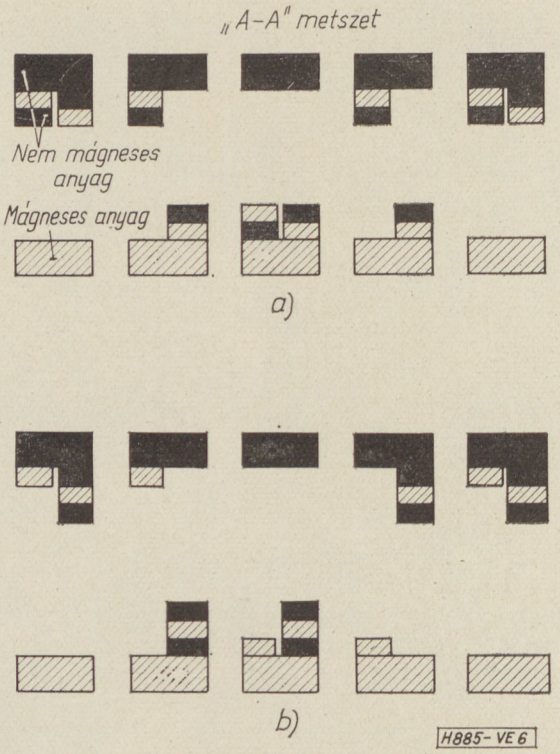
A 6*b* ábrán másik megoldást láthatunk. Itt csak az egyik lemezfél van galvanikus bevonattal ellátva, de mindkét oldalon. Működése az ábrából jól követhető, a működés magyarázata megegyezik az előbbivel.



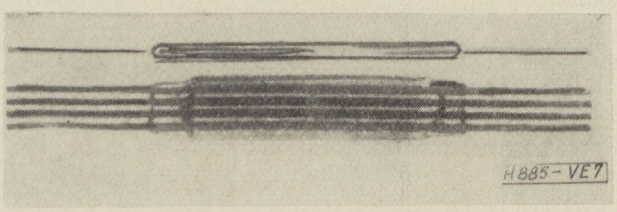
5. ábra. Előbb záró, aztán bontó érintkező

1.1.4 Multireed

A multireed négy záró érintkezőt tartalmaz egyetleg üvegcsőbe forrasztva (7. ábra). Az érintkezők kialakítása megegyezik az egyérintkezős típuséval. Terhelés nélkül 10^9 kapcsolási számot értek el vele. A meghúzási és az elengedési idő kb. 1 ms [17].



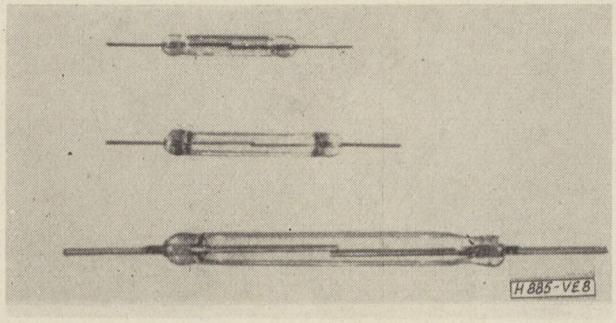
6. ábra. Előbb záró, aztán bontó érintkezők működése



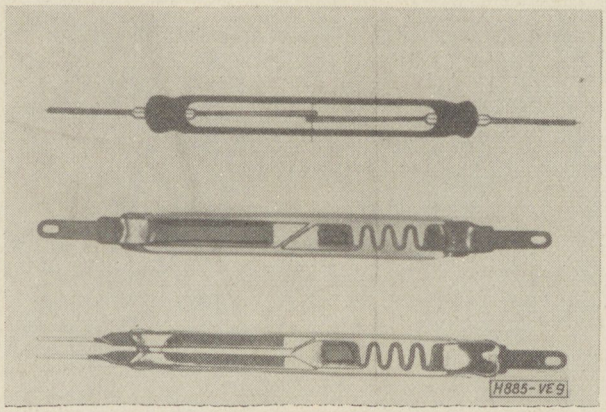
7. ábra. Multireed

1.2 Miniatűr száraz érintkezős kapcsoló

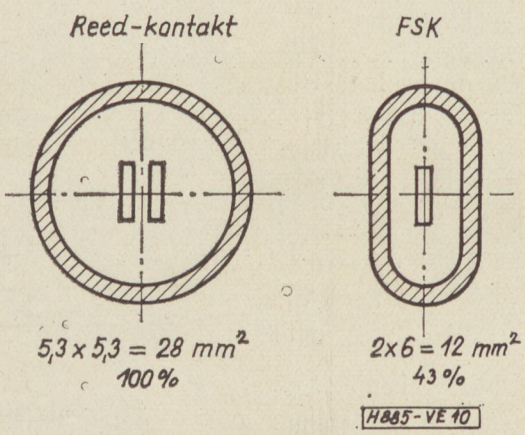
Felépítése lényegében megegyezik a normál méretű záró érintkezővel [7]. Előnyei: 1. kis mérete miatt előnyösen beépíthető félvezetős áramkörökbe; 2. a miniatűr érintkezők mozgó alkatrészeinek kisebb a tömege, ezért rezgési és ütési igénybevételek esetén



8. ábra. Miniatűr érintkező összehasonlítása normál méretű érintkezővel



9. ábra. Egy záró és egy morse FSK érintkező összehasonlítva egy normál méretű záró érintkezővel



10. ábra. Normál méretű és az FSK kontaktus helyszükséglete

jobban működnek, mint a normál méretű változatok; 3. érzékenységük nagyobb, működésükhöz kisebb térerő szükséges, mint a normál kapcsolóelemekhez; 4. az ismertetett kapcsolóelemek közül a leggyorsabb működésű.

Hátránya, hogy gyártásnál, a kis méretek miatt nehéz a tűrések betartása. A 8. ábra miniatűr érintkezőket mutat, összehasonlítva egy normál méretűvel.

1.3 FSK típusú kapcsoló

Lapos keresztmetszete miatt FSK-nak (Flachschutzkontakt) vagy újabban FRK-nak (Flachreedkontakt) nevezik a „Telefonbau und Normalzeit" (NSZK) által kifejlesztett kapcsolót.

1.3.1 Záró érintkező

Az üvegcsőbe két, lapos keresztmetszetű érintkező van forrasztva. Az érintkezők végei ferdére vannak vágva és ferde homloklapjaikkal állnak egymással szemben. Az egyik érintkező fő részét a hajtogatott fémszalag képezi, amely mint rugó (meander) működik (9. ábra).

A kapcsolóelemet megfelelő erősségű mágneses térbe helyezve, a rugóként működő érintkező a másik érintkező felé mozdul, majd érintkezést ad. Amíg az 1. pontban felsorolt kapcsolóelemeknél tiszta érintkező kontaktusról volt szó, addig itt a leválási szög mértéke szerint érintő, vagy többé-kevésbé súrlódó érintkezést lehet elérni. A meander a mozgó érintkező számára többirányú elmozdulást tesz lehetővé. Ezáltal elősegíti a két érintkező teljes felületű illeszkedését.

Az FSK legnagyobb előnye a kis helyszükséglet. Egy normál méretű záró érintkező és egy FSK keresztmetszetét mutatja a 10. ábra. Az ábrából kitűnik, hogy FSK-t alkalmazva a helyszükséglet felére csökken [2, 9]. Működésszám: 10^8—10^9.

1.3.2 Váltó érintkező

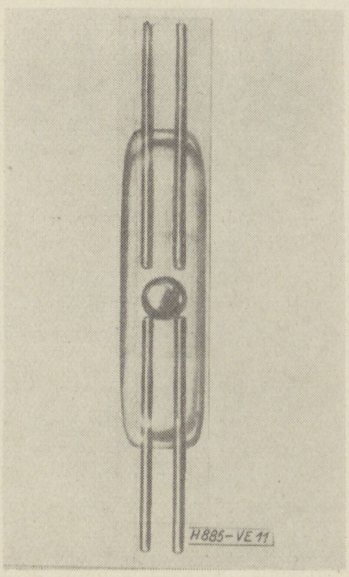
Az üvegcső egyik végén a mágneses anyagból (Fe-Ni ötvözet) készült záró és a nem mágneses anyagból készült nyugalmi érintkező van beforrasztva. Az üvegcső szemközti oldalán a mágneses anyagból készült munkaérintkező nyúlik az üvegcsőbe, amely a jelfogó gerjesztés nélküli állapotában a nyugalmi érintkezőre támaszkodik.

Gerjesztés hatására a középső munkaérintkező átvált, a gerjesztés megszűnésekor nyugalmi helyzetébe tér vissza.

A kapcsoló a 9. ábrán látható [9].

2. Golyós kapcsoló

Az utóbbi időben fejlesztették ki az NSZK-ban (SEL cég) a golyós érintkezőt (11. ábra). Az üvegcső végein két-két fémnyelv van beforrasztva. Ezek kö-



11. ábra. Golyós kapcsolóelem

zött egy mágneses anyagból készült golyó helyezkedik el. A golyónak az egyik rugópártól a másikig való mozgása által egy bontó, illetve egy záró működést kapunk. A golyót általában az üvegcsövön kívüli mágneses gyűrű tengelyirányú mozgatásával lehet működésbe hozni. A rugók megfelelő külső összekötésével a két érintkezőpár váltó érintkezőnek is felhasználható [12, 15].

Mérete kicsiny, élettartama azonban kisebb, mint a többi érintkezőé, kb. 10^6 működésszám érhető el vele.

3. Reed jelfogók

A reed kapcsolók működésbe hozhatók: *a)* állandó mágnessel, *b)* elektromágnessel, *c)* állandó mágnes és elektromágnes együttes alkalmazásával.

A leggyakoribb működtetési mód a *b)* pont szerinti, amikor a tekercsben folyó áram mágneses tere működteti az érintkezőket.

Kétféle kivitelű jelfogót készítenek. Az egyik típust ott alkalmazzák, ahol a jelfogók túlnyomó része elektronikus szerkezeti elemekkel (félvezetők, ellenállások, kondenzátorok stb.) áll szoros együttműködésben és ezért nyomtatott áramköri lapokon kerülnek elhelyezésre. A másik típus szerkezete lehetővé teszi, hogy terjedelmes jelfogós kapcsolómezőket tetszés szerinti érintkezőelrendezéssel állítsunk össze (felfűzéses építési mód).

3.1 A jelfogók jellemző adatai

A jelfogók ismertetése előtt összefoglaljuk azokat a mechanikai és elektromos jellemzőket, amelyek egy jelfogó működését meghatározzák [5, 8, 14, 16].

3.1.1 Meghúzógerjesztés

A meghúzógerjesztést befolyásoló tényezők:

a) Az érintkező anyagának mágneses és rugalmassági tulajdonságai

A jelfogó kontaktusainak zárásához szükséges, hogy a gerjesztett mágneses térerő nagyobb legyen, mint a mechanikai rugóerő, amely az érintkezőket gátolja az érintkezés létrehozásában. A mechanikai rugóerő számszerűen is meghatározható, ha az érintkezőket, mint egyoldalon befogott tartókat fogjuk fel.

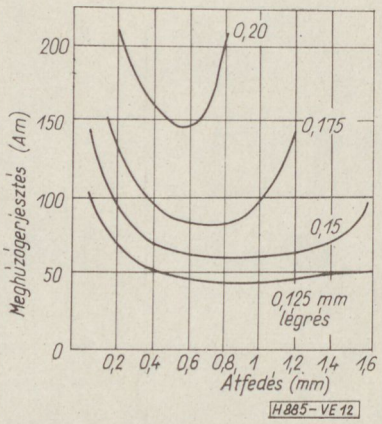
Négyszög keresztmetszetű érintkező esetén

$$F_R = \frac{Efbd^3}{8l^3} \qquad (1)$$

ahol: F_R a visszaállító erő, E a rugalmassági tényező, l az üvegcsőben levő érintkező hossza, b az érintkezőrugó szélessége, d az érintkezőrugó vastagsága, f a lehajlás.

A mérvadó kontaktus erő az, amely zárt állapotban uralkodik. Ez függ az alkalmazott mágneses erőtől, a mechanikai visszaállító erőtől, a geometriai méretektől, az alkalmazott anyagtól és a gerjesztéstől. Az összefüggést a következő egyenlet adja meg:

$$F_m = \frac{1}{2}\frac{\Theta^2}{R_m^2 \mu q} \qquad (2)$$



12. ábra. A gerjesztés változása az átfedés függvényében különböző légrések esetén

ahol: F_m a mágneses erő, Θ a gerjesztés, R_m a mágneses ellenállás, $q = bü$, $ü$ az átlapolás, $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ a permeabilitás.

b) Az érintkezők közötti légrés

A meghúzáshoz szükséges gerjesztés függ az érintkezők közötti légréstől is. A légrés növelésével nő az R_m mágneses ellenállás, az F_m mágneses erő viszont lecsökken (2). A kontaktus zárásához szükséges mágneses erő ezért csak a gerjesztés növelésével érhető el. A 12. ábra az átlapolás függvényében mutatja a gerjesztést, különböző légrések esetén. Adott átlapolás esetén a légrés növelésekor nő a gerjesztésszükséglet is.

c) Az átlapolás

A 12. ábra azt is megmutatja, hogy az átlapolás mértéke milyen hatással van a meghúzó gerjesztésre. H. Rensch szerint [18]: „Nagyon kis átfedés esetén növekszik a szükséges meghúzási gerjesztés, mivel az érintkezés környezetében mágneses telítődés lép fel. Nagyon nagy átfedés esetén a meghúzási gerjesztés szintén növekedik, mivel akkor a légrésben a kis mágneses indukció miatt az érintkező rugók zárásához nagyobb mágneses fluxusra van szükség, és ezért a huzalkeresztmetszetben következik be mágneses telítődés."

d) A jelfogóban levő érintkezők száma

Ha egy jelfogóban növeljük a kontaktusszámot, akkor minden egyes újabb kontaktus gerjesztéstöbbletet igényel.

3.1.2 A jelfogó tartásához és elengedéséhez szükséges gerjesztés

A kontaktusok zárt állapotában a mágneses ellenállás lecsökken, így az érintkezőket egymáshoz szorító kontaktuserő megnő. Ez azt jelenti, hogy csökkenthetjük a gerjesztést, a jelfogó nem enged el.

A tartáshoz szükséges gerjesztés azzal a gerjesztéssel egyenlő, amelynél a meghúzott jelfogó egyetlen érintkezője sem nyit a minimális érzékenység ellenére.

Az elengedéshez szükséges gerjesztés azzal a gerjesztéssel egyenlő, amelynél a meghúzott jelfogó minden érintkezője a maximális érzékenység ellenére nyit.

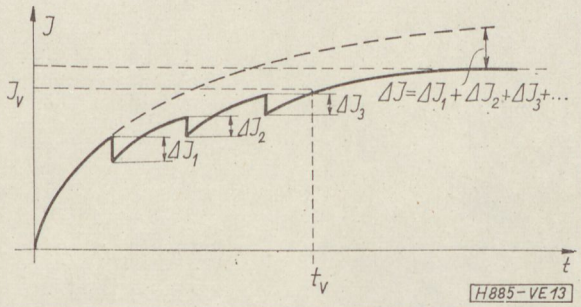
3.1.3 Meghúzási idő

A többérintkezőjű jelfogóba beépített kapcsolóelemek nem egyforma érzékenységűek, és a tekercsen belüli tér is bizonyos mértékig inhomogén, tehát a jelfogó érintkezői sohasem zárnak egyszerre. Meghúzási időként ezért azt az időt definiáljuk, amely a gerjesztőáram bekapcsolása és az utolsó érintkező zárása között eltelik.

$$t_{megh} = t_E + t_A \qquad (3)$$

ahol: t_E az érintkező saját kapcsolási ideje, t_A a gerjesztőtér felépítéséhez szükséges idő.

Az érintkezők közötti tér először exponenciálisan emelkedik. Ha záródik az érintkezők egyike, úgy lecsökken a mágneses ellenállása. Ennek az a hatása, hogy a gerjesztőáram is lecsökken, ΔI értékkel. A folyamat a többi kontaktus záródásakor megismétlődik. Végül a t_V időpontban I_V áramnál valamennyi kontaktus zár (13. ábra).

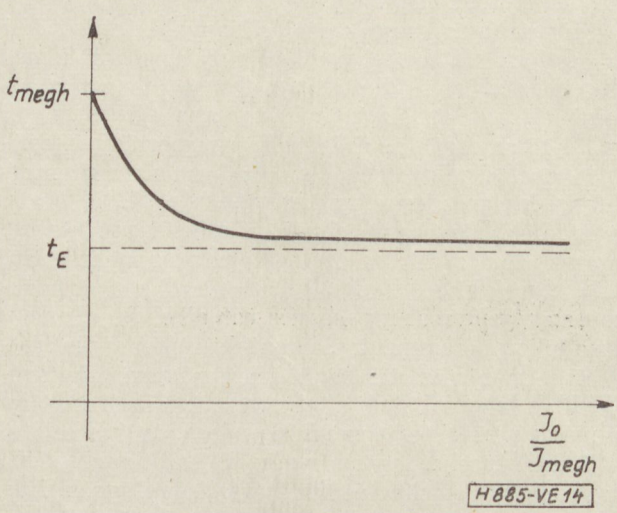


13. ábra. A gerjesztőáram változása többérintkezőjű jelfogó meghúzása esetén

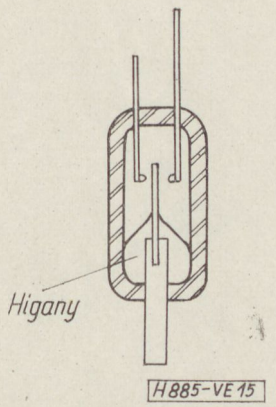
A meghúzási idő függ a túlgerjesztés mértékétől is. Van egy optimális túlgerjesztés. Ennél nagyobbat nem érdemes választani, mert az érintkező meghúzási ideje úgysem csökkenhet az érintkező saját kapcsolási ideje alá (14. ábra).

3.1.4 Elengedési idő

Elengedési idő az az idő, amely a gerjesztőáram megszakítása és az utolsó érintkező nyitása között eltelik. Ez az érintkező mechanikus felépítése által



14. ábra. A meghúzási idő változása a túlgerjesztés függvényében



15. ábra. Semleges higanyérintkezős jelfogó

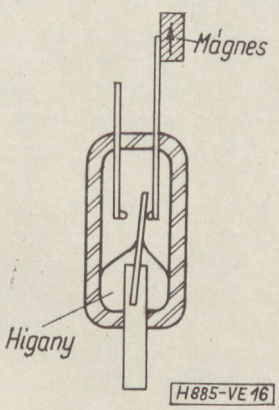
adódó saját kapcsolási időből és a mágneses tér lecsengési idejéből tevődik össze:

$$t_{eleng} = t_E + t_A \qquad (4)$$

Az első érintkező nyit, ha az áram kisebb, mint a tartóáram, az utolsó érintkező pedig akkor, ha az áram a jelfogó elengedési árama alá csökken.

3.2 Jelfogótípusok

3.2.1 Higannyal nedvesített érintkezőjű reed-jelfogók [1, 7, 12]



16. ábra. Előfeszített higanyérintkezős jelfogó

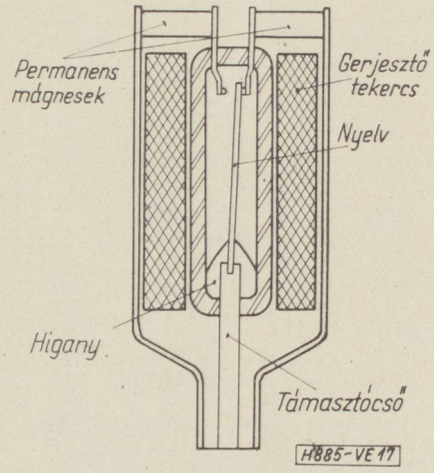
Három alapvető típus van:

Semleges jelfogó (15. ábra)

Gerjesztetlen állapotban a középső érintkező a másik két érintkező egyikével sem ad érintkezést. A tekercsbe áramot vezetve a jelfogó az áram mindkét polaritásánál ugyanannál az ampermenetszámnál húz meg. Érintkezés csak addig van, amíg a jelfogó tekercsét a meghúzás után a tartáshoz szükséges árammal gerjesztjük.

Előfeszített jelfogók (16. ábra)

Ennél a megoldásnál az egyik nyugalmi érintkezőhöz egy mágnest helyezünk. Ennek ereje elég ahhoz, hogy a mozgó rugót nyugalmi helyzetben ezen érintkezőhöz vonzza. Abban az esetben, ha olyan polaritású áramot kapcsolunk a tekercsre, amely az állandó mágnes erőterével ellentétes értelmű erőteret hoz létre, akkor elegendően nagy gerjesztés esetén a kö-



17. ábra. Polarizált higanyérintkezős jelfogó

zépső, munka érintkező átvált. Ebben a helyzetben csak addig marad, amíg a tekercs megfelelő nagyságú árammal gerjesztve van. A gerjesztés megszűnése után nyugalmi helyzetébe tér vissza.

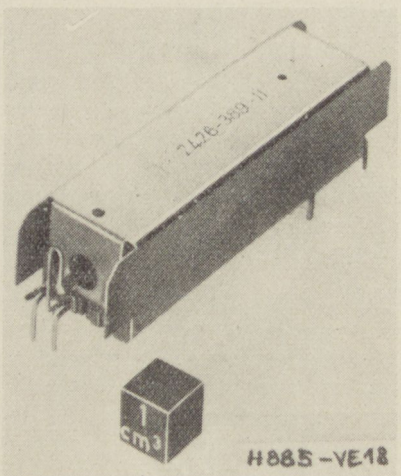
Polarizált jelfogó (17. ábra)

A leggyakrabban használt típus ma a polarizált higanyérintkezős jelfogó. A pólusokhoz kis permanens mágneseket helyeznek. A középső, mozgó érintkező az egyik vagy másik pólus felé mozog. A meghúzó tekercsnek a megfelelő polaritású árammal való gerjesztése megváltoztatja a mozgó érintkező mágnesezési irányát és az érintkezőt az ellenkező pólus felé való mozgásra kényszeríti. Ebben a helyzetben marad a gerjesztés megszűnése után is mindaddig, amíg egy ellenkező polaritású áram nem folyik a tekercsen át.

Az átváltás higanyhidak létesítése következtében egy előbb záró, aztán bontó művelet. A mindegyik oldalon stabil működést két permanens mágnes kiegyenlített erejével érjük el. A mágnes erejének megfelelő beállításával az érzékenységet meg lehet változtatni, és így vagy mindkét oldalon stabil, vagy pedig csak egy oldalon stabil működést hozhatunk létre. A mozgó rugónak hajlékonynak, a légrésnek pedig kicsinynek kell lennie. Túlságosan nagy légrés, vagy túlságosan merev érintkezőrugó megakadályozza a szerkezet mindkét-oldali stabil működését.

Polarizált jelfogók elektromos jellemzői az 1. táblázatban vannak feltüntetve. A meghúzáshoz és elengedéshez szükséges ampermenetszám a polarizáló mágnesek beállításával változtatható.

A jelfogók kivitele az elektroncsőéhez hasonló. A jelfogó megfelelő aljzatba dugaszolható.



18. ábra. HRE 804/1 típusú herkon jelfogó

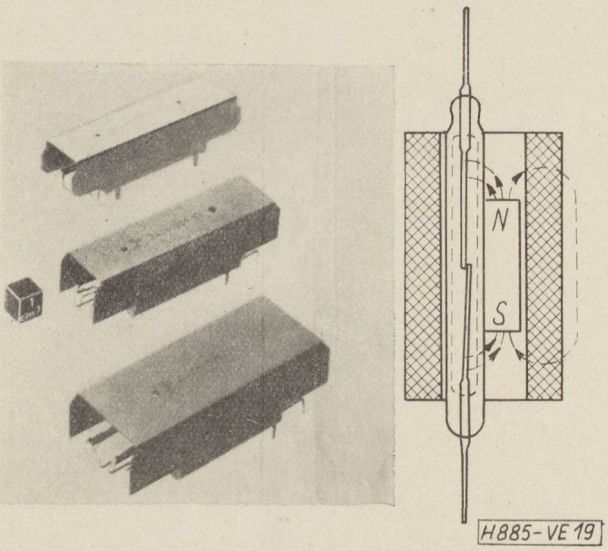
3.2.2 Szárazérintkezős reed-jelfogók

Herkon

A Standard Elektrik Lorenz cég az általa gyártott védőcsöves érintkezőket Herkon-nak (*her*metikusan zárt *kon*taktus) nevezi [4, 12].

Nyomtatott áramköri alkalmazáshoz a HRE sorozat jelfogóit használják, amelyek 1—4 záróérintkezővel készülnek.

A lágyvas bura árnyékolás nemcsak a mechanikai védelem és rögzítés célját szolgálja, hanem a meghúzási érzékenységet is növeli és messzemenően megvédi



19. ábra. HRE 806 típusú herkon jelfogó

a jelfogót a szomszédos herkon jelfogók mágneses szórási erőterei ellen.

Szorosabb mágneses csatolás, nagyobb tekercselési tér és igen kis koercitív erővel bíró árnyékoló lemez alkalmazásával a HRE 804/1 típusú jelfogóhoz jutunk (18. ábra). Ez 20 mW-tal alig 1/4-ét igényli a HRE sorozat többi jelfogója meghúzási teljesítményének és mégis még használhatóan alacsony meghúzási és elengedési teljesítményt mutat (1. táblázat).

A HRE 806 típusú jelfogókat szintén nyomtatott áramkörökhöz alkalmazzák. A jelfogóban azonban, az üvegcső külső részén, az érintkezőkkel párhuzamosan egy permanens mágnes van elhelyezve, amely ha a tekercs árammentes, a kontaktusokat zárva tartja (19. ábra). Ezáltal bontóérintkező van a jelfogóban. Ha áram folyik át a tekercsen, úgy az áramirány a mágnes külső terét gyengíti, vagy erősíti és ezáltal a kontaktusokat nyitja vagy változatlanul zárva tartja. Ezek a jelfogók tehát áramirányfüggők. Egy herkont tartalmazó jelfogó adatai az 1. táblázatban láthatók.

Jelfogó	Gyártó ország	Üvegcső hossza mm	Érintkező			Elektromos jellemzők				Megjegyzés
			váltó	záró	bontó	Meghúzás Θ Am	Elengedés Θ Am	Meghúzás t_m ms	Elengedés t_e ms	
Polarizált higany jelfogó	USA		1	—	—	60	30	1	0,8	Pergés nincs. Védőgáz H 10 atm. Csak függőleges helyzetben használható.
HRE 804/1	NSZK (SEL)	50	—	1	—	61	7	4,5	1	Kis gerjesztés szükséges, érzékeny, 33 Am-nél még zár, működésszám $50 \cdot 10^6$
HRE 806/1	NSZK (SEL)	50	—	—	1	nyitáshoz 131	zár 9,5	nyitáshoz 0,6 —1,1	1	A bontó érintkezőt állandómágnessel hozzák létre. Nyomtatott áramkörhöz alkalmazzák. Nem nyit 62 Am-nél, még nyit 68 Am-nél
HRE 501/1	NSZK (SEL)	kb. 30	—	—	1	86	9,5	0,34—0,6	1	Itt kisebb a kapcsolóelem mérete, tehát érzékenyebb a jelfogó
HRM 813	NSZK (SEL)	50	—	16	—	173	14	1,8—6,1	1	A jelfogókat felfűzéses építési módban, kapcsolómező keresztpontjaként alkalmazzák. Az érintkezők működésszáma: $50 \cdot 10^6$ terhelés esetén
SG	NSZK (Siemens)	50	1	1	—	100	60	3	1	Nyomtatott áramkörhöz alkalmazzák
	Svéd (Ericsson)	50	—	1	—	80—110	78—48	1,3	0,1	Nyomtatott áramkörhöz alkalmazzák
GEKO	NDK	50	—	2	—	100—120	25—30	1—3	0,5	Nyomtatott áramkörhöz alkalmazzák
VUT típus	Csehszlovákia	50	—	1	—	60	30	2	0,5	Nyomtatott áramkörhöz alkalmazzák
VUT típus	Csehszlovákia	50	—	1	2	110	15	0,5	0,5	Nyomtatott áramkörhöz alkalmazzák. Működésszám: 10^8 max
КЭМ1-А	Szovjetunió	50	—	1	—	55—85	25	3	0,8	Működésszám: max.: 10^8
КЭМ2-А	Szovjetunió	20	—	1	—	23—32	10	1	0,3	Érzékenyebb, működésszám: 10^8
КЭМ3-А	Szovjetunió	18	1	—	—	50—70	20	1,5	2	10^7 a max. működésszám
ZW 10350	Lengyelország	45	—	1	—	40—60	15	2	0,3	max. működésszám: 10^9 terhelés nélkül
ZW 1B	Lengyelország	25	—	1	—	55 ± 15	15	1,5	0,1	max. működésszám: 10^9 terhelés nélkül
ZW 21	Lengyelország	45	1	—	—	70—120	30	2,5	1,5	max. működésszám: 10^9 terhelés nélkül
Multireed	NSZK	50	—	4	—	65—100	30—60	1	1	max. működésszám: 10^9 terhelés nélkül
FSK	NSZK (T M)	50	—	8	—	62	18	3	3	max. működésszám: 10^8
GV	Magyarország	50	—	2	—	80—88	28—40	1,2—1,5	0,3	max. működésszám: 10^9 terhelés nélkül
GV	Magyarország	20	—	2	—	37—42	20—25	0,4	0,1—0,2	Nyomtatott áramkörhöz alkalmazzák

Egy bontó érintkezőt tartalmaz a HRE 501/1 jelfogó is. Az üvegcső mérete kisebb. Míg az előző herkonnál 50 mm, ennél csak kb. 30 mm hosszú. A kisebb méret növeli a jelfogó érzékenységét. A jelfogó adatai az 1. táblázatban találhatók.

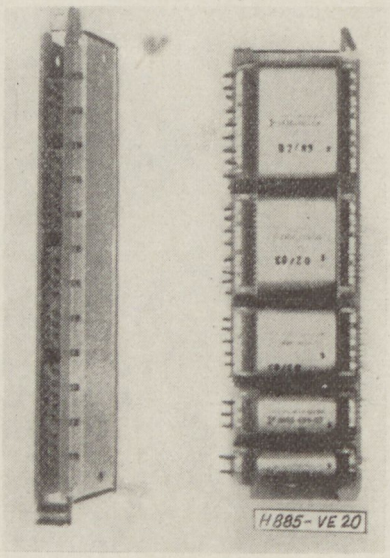
A kapcsolómezők készítéséhez felfűzéses építési módban a HRM sorozat herkonjait használják. A jelfogók azonos, vagy különböző érintkezőszámmal tetszés szerinti sorrendben közös sínekbe szerelhetők. Erre a célra, mint önmagukban zárt szerkezeti elemek vannak kiképezve. Egy teljes jelfogósávhoz két azonos felfűzősín tartozik, amely nemcsak a mágneses csatolásról, hanem egyidejűleg mechanikai tartásról is gondoskodik (20. ábra).

Ezek a sínek a tekercstesteket két oldalról fogják közre és ezekkel együtt négy tartóhuzal betolása után, tehát csavarok és egyéb rögzítőeszközök nélkül mechanikai egységet alkotnak. Az ilyen jelfogósávok 2—16 érintkezővel kerülnek alkalmazásra. Egy 16 érintkezős jelfogó adatai az 1. táblázatban fel vannak tüntetve.

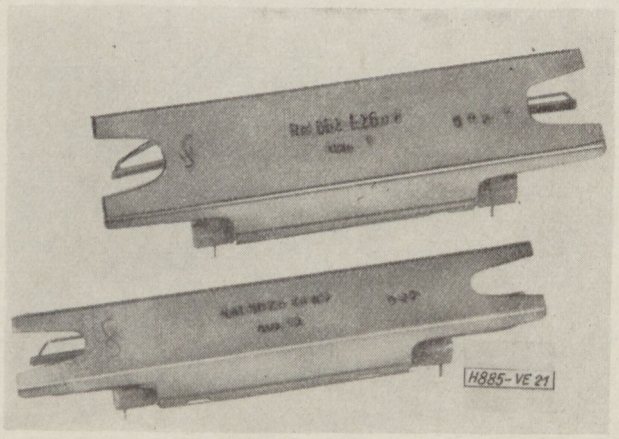
Correed

Háromkontaktusú reed jelfogó. A kapcsolók normál méretű záró érintkezők. A jelfogónak két tekercse van, egy meghúzó és egy tartó tekercs. A harmadik kontaktus a tartótekercs áramkörét zárja a jelfogó meghúzása után [15].

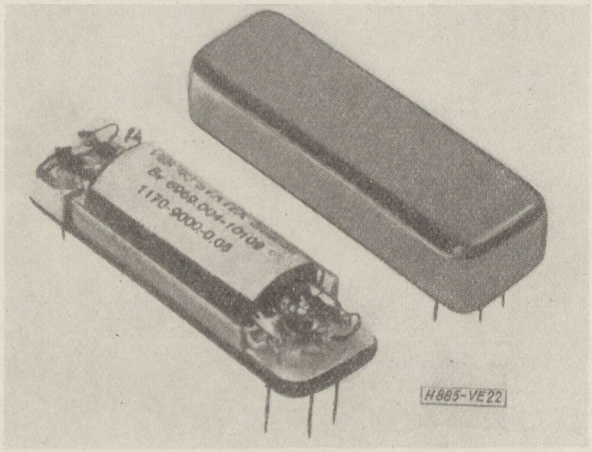
Ma már elsősorban Európában egyre több országban gyártanak reed jelfogókat. Ezek legfeljebb néhány elektromos adatban mutatnak egymástól eltérést. Az 1. táblázat tartalmazza az NDK [10], a szovjet, a lengyel, a cseh [16] és a magyar jelfogók néhány adatát. A 21. ábra a Siemens cég jelfogóját mutatja be. Adatai szintén a táblázatban találhatók.



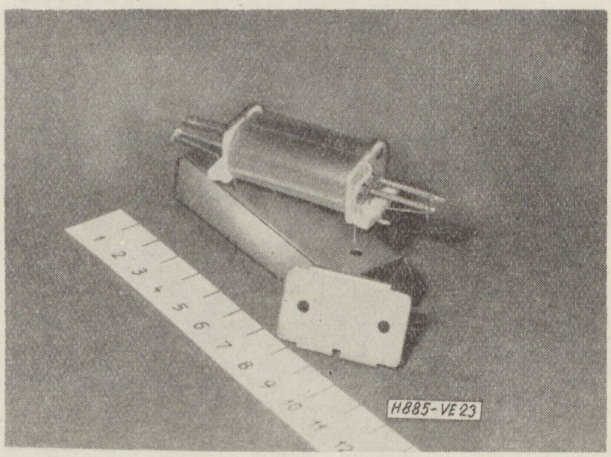
20. ábra. HRM 813 típusú herkon jelfogó



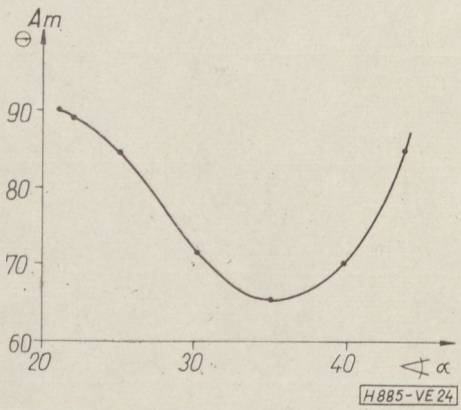
21. ábra. „SG" relé



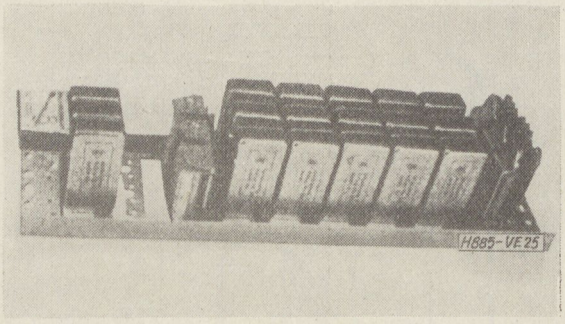
22. ábra. Geko jelfogó



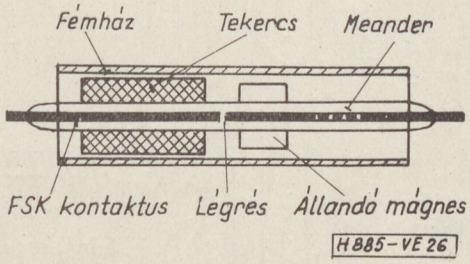
23. ábra. GV jelfogó



24. ábra. FSK relénél a gerjesztés változása a levágási szög mértéke szerint



25. ábra. FSK jelfogók kapcsolómezőhöz



26. ábra. Tartó jelfogó FSK kontaktussal

Az NDK-ban a reed jelfogót Gekonak, Magyarországon GV (gázzal védett) jelfogónak nevezik.

Egy Geko jelfogó gyakorlati kivitele a 22. ábrán látható. Két záró érintkezőt tartalmazó GV jelfogót mutat a 23. ábra (BHG gyártmány). A magyar kapcsolóelemek és jelfogók részletes ismertetésére egy későbbi számban kerül sor.

FSK, ill. FRK kapcsolóelemet tartalmazó jelfogó.

Az FSK kapcsolóelemeket tartalmazó jelfogók érdekessége, hogy a meghúzáshoz szükséges gerjesztés a kontaktus levágási szög mértékétől függ. Van egy optimális szög, ami kb. 35°, ahol a gerjesztés szükséglet minimális (24. ábra).

A kapcsolóelemek lapos formája kedvező helykihasználást eredményez. Egy jelfogóban ezért sok érintkező helyezhető el, így ezek a jelfogók jól felhasználhatók kapcsolómező keresztpontjaiként (25. ábra). A 16 záró érintkezőt tartalmazó jelfogó adatait a táblázatból láthatjuk. Készítenek jelfogókat nyomtatott áramkörökhöz is.

Az FRK kontaktus felhasználásával tartójelfogó is készül. Működési elve azonos a HRE 806 típusú herkonnal, tehát egy védőcsöves kontaktus és egy állandó mágnes kombinálásán alapul. Az állandó mágnes úgy van méretezve, hogy gerjesztetlen állapotban a kontaktusok nem záródnak, ellenben a jelfogó meghúzása, majd a gerjesztés megszüntetése után az érintkezőket zárt állapotban tartja. Elengedtetéshez az állandó mágnes terével azonos nagyságú, ellenkező irányú gerjesztést kell a jelfogóra kapcsolni (26. ábra) [11].

Érdekes kombináció, ha két FRK kontaktust és egy állandó mágnest alkalmazunk egy jelfogóban. Ha a jelfogót nem gerjesztjük, az egyik kontaktus zárt, a másik pedig nyitott állapotban van. Megfelelő polaritású és nagyságú gerjesztés hatására az előbb még zárt érintkező nyit, a másik pedig zár. Ezáltal egy nyugalmi és egy munka érintkezővel rendelkező jelfogóhoz jutunk.

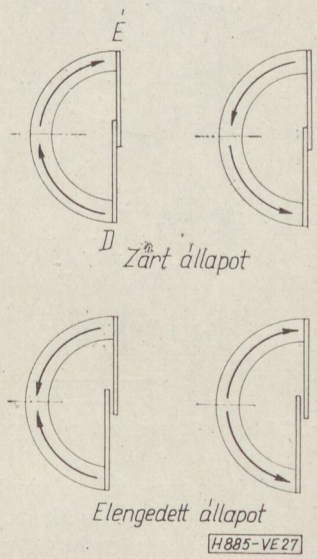
A tartójelfogó konstrukciójánál az állandó mágnes helyes méretezése a legnagyobb probléma. Ha a mágnes gyenge, akkor nem tart, erős állandó mágnes esetén pedig az árambiztonságnak kell igen nagynak lennie.

Ferreed

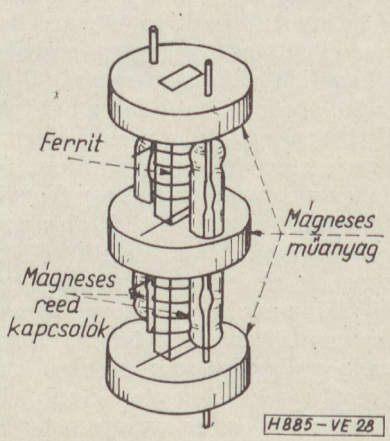
A ferreed négyszögletes hiszterézisű ferritek és reed kapcsolóelemek egyesítéséből jött létre [6, 7, 11, 15]. A ferrit néhány μs-os áramlökéssel „billenthető". A gerjesztés megszüntetése után a ferrit maradandó mágnesezettséggel rendelkezik, tehát a kapcsolóelemek meghúzatása, ill. elengedtetése utólagosan megy végbe. Nagy előny, hogy az érintkezők öntartók, tartóáramot nem igényelnek a gerjesztő tekercsben. Hátránya a magas teljesítményszükséglet, amely az igen rövid áramimpulzusokkal való működtetéshez szükséges. Két típusa ismert, a soros és a parallel ferreed.

Soros ferreed

A soros ferreed esetén egy remanens mágneses anyagú rúdban olyan mágneses állapotot hoznak létre, amely két, sorosan kapcsolt kisebb mágnesnek felel meg (27. ábra). A ferreed működtethető additív és differenciális gerjesztéssel. Egy additív gerjesztésű ferreed gyakorlati kivitelét mutatja a 28. ábra.



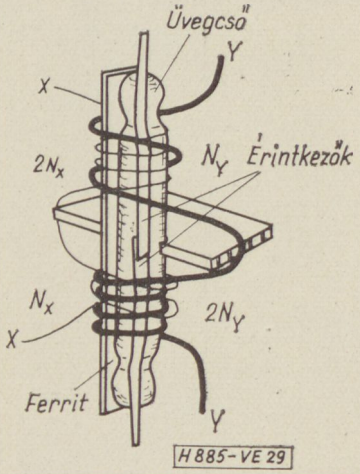
27. ábra. Soros ferreed működési elve



28. ábra. Additív gerjesztésű soros ferreed

Ha a kontaktusok *I* áram által létrehozott gerjesztés hatására zárnak, akkor a kontaktusok zárását létrehozhatjuk, ha mindkét tekercsre azonos polaritású *I*/2 nagyságú áramot kapcsolunk. Biztonságosabb működés eléréséhez a gyakorlatban a tekercsekre 3/4 *I* áramot kapcsolnak. Az érintkezők nyitnak, ha az egyik tekercsbe ellenkező polaritású *I* nagyságú áramot vezetnek. A ferreed miniatűr reed kapcsolóelemeket tartalmaz. Ezáltal kisebb méret és nagyobb érzékenység érhető el. A ferritek és a kapcsolóelemek közötti mágneses csatolást a mágnesesen vezető, de elektromosan szigetelő anyagból készült tárcsákkal oldják meg. Ezekbe vannak rögzítve a reed kapcsolóelemek végei. A középső tárcsa lágy mágneses sönt, amely az elengedési érzékenységet javítja.

A ferrit helyett ma már fémet, a remendurt alkalmazzák. Ez kobalt-vas-vanádium ötvözet (48% Co, 48% Fe, 3,5% V, 0,5% Mn). Alkalmazását az indokolja, hogy nyilvánvaló lett a kobalt ferrit néhány hátrányos tulajdonsága, így a mágneses tulajdonságok erős hőmérsékletfüggése és a kis fluxussűrűség. Ennek következtében a mágneses kör keresztmetszetét nagyra kellett választani és kicsi lett a hatásfok.

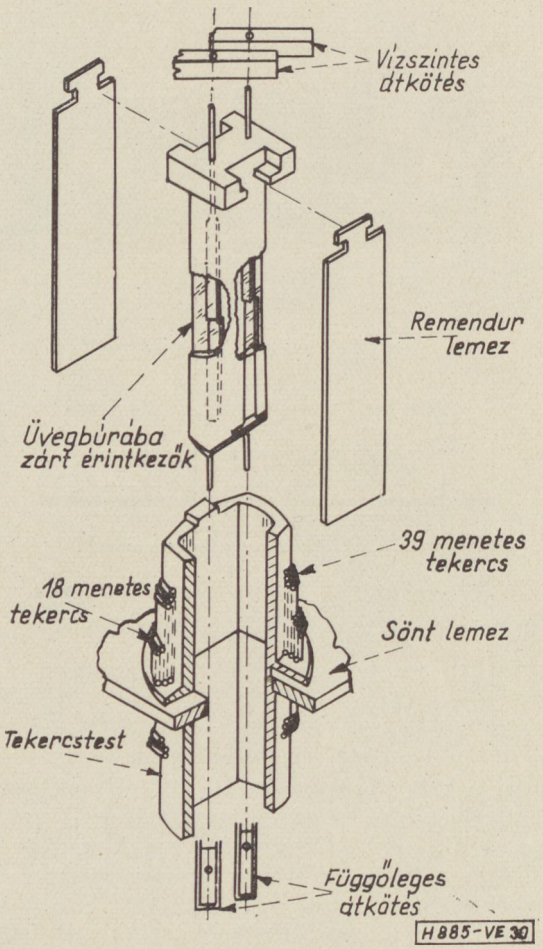


29. ábra. Differenciál gerjesztésű soros ferreed

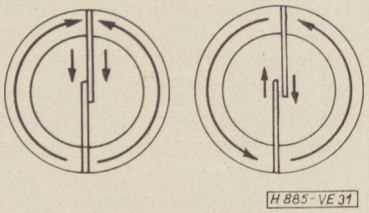
Ezért megvizsgálták annak lehetőségét, hogy a ferritet fémmel helyettesítsék. A választás a kifejlesztett ötvözetek közül a remendurra esett.

A ferreed működtetésének másik módja a differenciális gerjesztés. Itt a ferrit rúd vagy remedur lap mindkét fele két tekercset tartalmaz. Az egyik fél egy tekercse ellentétes értelemben sorbakapcsolódik a másik fél egy fele akkora menetszámú tekercsével, amint az a 29. ábrán látható. Ha a két tekercs közül valamelyiket gerjesztjük, akkor a lemez két fele ellentétes gerjesztés alá kerül és a kontaktus nyitva marad. Ha azonban a két tekercset egyidejűleg és ugyanakkora árammal gerjesztjük, akkor a két lemezfél tere segíti egymást és az érintkezők zárnak.

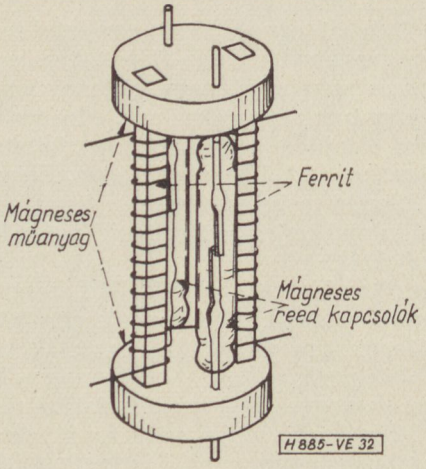
A ferreedet is elsősorban kapcsolómező keresztpontjaként alkalmazzák. Az azonos sorban, ill. oszlopban elhelyezett ferreedek tekercseit multiplikálják. Ahhoz, hogy egy keresztpont záruljon, a sor-, és oszloptekercset egyidejűleg gerjeszteni kell. Egy ferreed tehát, amely a sor és oszlop metszéspontjában van, meghúz. Ugyanekkor azonban az áram áthalad



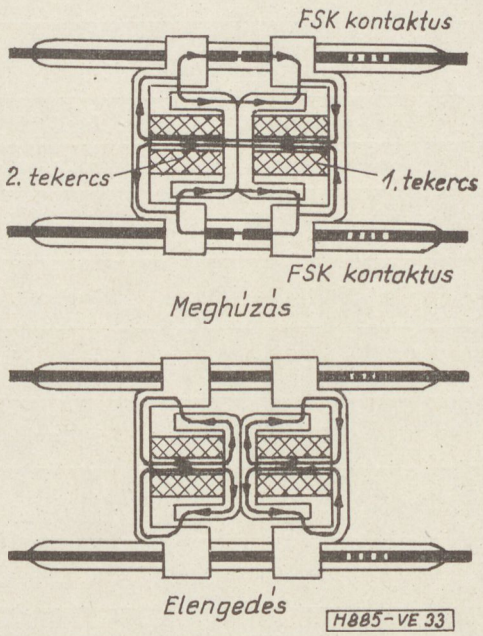
30. ábra. Kapcsolómező keresztpontjaként alkalmazott soros ferreed



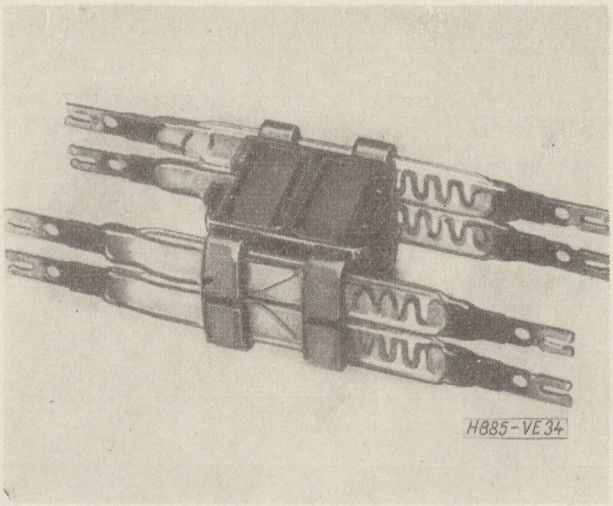
31. ábra. Parallel ferreed működési elve



32. ábra. Parallel ferreed



33. ábra. FSK kontaktussal készült soros ferreed elvi felépítése és mágneses fluxusok



34. ábra. FSK kontaktussal készült soros ferreed gyakorlati megvalósítása

ugyanezen sorban és oszlopban levő összes ferreedek egyik tekercsén is és ha valamelyik ferreed meghúzott állapotban van, azt elengedteti. Itt tehát egy kapcsolat annak eredményeképpen és azzal egyidőben bontódik el, amikor egy másik kapcsolat felépül.

Differenciálgerjesztésű, soros, remendur lapos keresztponti ferreedet mutat a 30. ábra.

Parallel ferreed

Parallel ferreednél a kontaktusok zárása a két tekercs olyan gerjesztésével történik, amely a két ferrit ágban parallel mágnesezettséget hoz létre, az elengedés pedig olyan gerjesztéssel, amely a két ágban soros mágnesezettséget állít elő (31. ábra). A gerjesztés módja itt is additív vagy differenciális lehet.

A parallel ferreed kivitelét a 32. ábra mutatja. A miniatűr reed érintkezőket tartalmazó ferreedeket az Egyesült Államokban készítették.

A Telefonbau und Normalzeit is készített ferreedet FSK kontaktusok felhasználásával. Működési elve azonos a miniatűr érintkezőket tartalmazó ferreedével. Ez is lehet soros, vagy parallel felépítésű. Egy soros ferreed elvi felépítését és a mágneses fluxusokat mutatja a 33. ábra, a kontaktusok meghúzott és elengedett állapotában. A ferreed gyakorlati kivitele a 34. ábrán látható [11].

Polár ferreed

Bizonyos ferreed szerkezetekben a miniatűr száraz reed kapcsolóelem helyett higanyos érintkezőket alkalmaznak. Érzékenységük összemérhető a parallel ferredek érzékenységével. Előnye az átváltó érintkező, valamint a higannyal nedvesített felület következtében a magas kapcsolási szám [7].

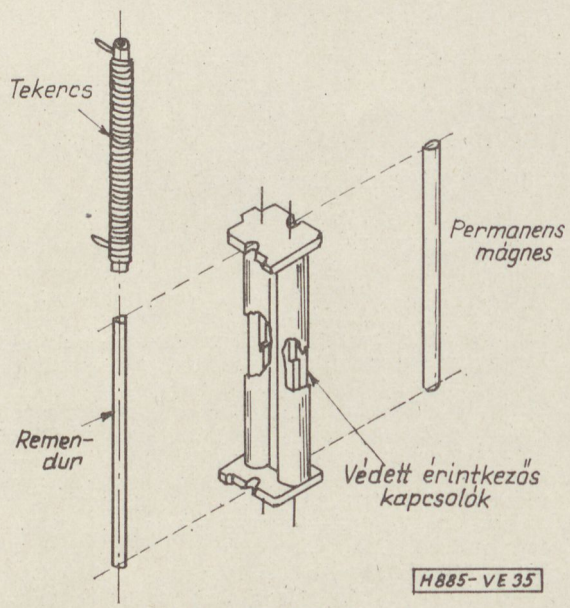
Bipoláris ferreed

A bipoláris ferreed egy kontaktuspárt tartalmaz és egyedileg is (nem koordináta rendszerben) vezérelhető. Két parallel remanens mágnességű elemet használnak fel hozzá, amelyek közül az egyik permanens mágneses anyagból készül, míg a másik — amelyet egy tekercs is körülvesz — remendurból (35. ábra). A kontaktusok zárása és bontása a tekercsre adott áramimpulzus polaritásától függ [7].

A reed jelfogók alkalmazási területe egyre bővül (szabályozástechnika, biztonsági berendezések), de a számottevő felhasználó továbbra is a telefontechnika marad.

Azokban a távbeszélő központokban, amelyekben a Crossbar gép helyett reed jelfogós kapcsolómező került alkalmazásra, nagy tömegben használják a kis helyet igénylő, gyors kapcsolóelemeket. Az első központot az Amerikai Egyesült Államokban készítették 1952-ben. A következő években néhány európai vállalat is kifejlesztett kapcsolóelemeket, jelfogókat és ezekkel működő központokat [15]. Amíg 1954-ben csak egy, addig 1965-ben már öt ilyen központ készült.

A legtöbb központ ma még csak laboratóriumban üzemel, de néhányat már a posta is forgalomba



35. ábra. Bipoláris ferreed

2. táblázat

	Rendszer	Az első üzembehelyezés időpontja	Gyártó vállalat	Vonalszám kísérleti/teljes	Keresztpont
1	ECASS	1952	BTL	12/10 000	Reed-relé
2	DIAD	1954	BTL	27/1 000	Reed-relé
3	ESM II	1962. nov. München	S & H	500/3 000	Mágneses kapcsolómező
4	HE-60L	1963 július Stuttgart	SEL	2 000/	Herken
5	EAX	1964 vége Portage	Autelce	600/2 400	Correed
6	ESS 1	1965. május Successunna	BTL	4 300/10 000	Ferreed
7	FRK	1965. dec. Frankfurt	T & N	1 000/	FRK
8	RS 31	1965. márc. Leamington	GEC (JERC)	200/2 000	SRK
9	PENTEX	1965 Peterborough	Ericsson	200/1 200	SRK
10	REX	1965 vége Leighton Buzzard	AEI/STC (JERC)	3 000/20 000	SRK
11	HE-60L	1966. márc. Wien	SEL/STT	500/2 000	Herkon
12	IIIW 6010	1966	T & N	50/	FRK
13	TXE 2	1966. dec. Ambergate	Ericsson	750/2 000	SRK
14		1967 Berlin	CSSR (RGW)	120—25/500—50	SRK
15	800 A		BTL	180	Ferreed
16	Herkomat		SEL	30/100	Herkon
17	Artemis	1967 vége Boulogne	SOCOTEL	800/1 000	Tartó SRK
18	10 CX	1967	BTM		Herkon

helyezett. Így pl.: 1967-ben az angol posta megkezdte a Pentex és Rex reed jelfogós központok sorozatgyártását.

A 2. táblázat áttekintő képet ad az eddig elkészült reed jelfogós telefonközpontokról [15].

IRODALOM

1. *Bannochie, J. G., Fursey, R. A. E.:* Selaed Contact Relays. Journal of the Britisch Institute of Radio Engineers, 1960.
2. *Bergsträger, G.:* Relais mit Flach — Schutzkontakten. NTZ (1960) Heft 8. 375—378
3. *Levkowetz, H.:* Der Schutzgaskontakt — ein gekapselter Kontakt mit grosser Beriebssicherheit. Ericsson Review, 1962. 4. 112—116
4. *Rensch, H., Bernutz, J.:* Bauelemente mit Schutzrohrkontakten im Fernsprech-Vermittlungssystem HE-60L. SEL Nachrichten 11. Jahrgang (1963) Heft 3. 155—159
5. *Proksch, K., Thamsa, J.:* Jazyckové rele. Slaboproudy Obzor, Praha (1963) 24. k. 10. sz. 606—611
6. *Feiner, A.:* The Ferreed. The Bell System Technical Journal 1964. 1. sz. 1—14
7. *Keller, A. C.:* Recent Developments in Bell System Relays- Particularly Selaed Contacts and Miniature Relays. 1964. 1. sz. 15—44
8. *Gärtner, E.:* Betriebseigenschaften von Relais mit Schutzrohrkontakten. NTZ 1964. Heft 4.
9. Aufbau und Eigenschaften von Schutzgaskontakten. Elektronik (1965) Jan. 13—15
10. *Rab, D.:* Geschützte Kontakte — Bausteine für moderne Steuerungen. Elektronie (1965) 2. 95—98.
11. *Gärtner, E., Ringler, H.:* Haftrelais und Ferreeds mit Flachschutzkontakten und deren Steuerung. NTZ (1965) 4. 195—204.
12. Elektromechanische Bauteile. 1966. SEL.
13. Mechanisch-elektrische Bauteile für elektronische Geräte. 1966. Siemens
14. *Kaiser, E.:* Erkenntnisse am Schutzrohrkontakt. Der Fernmelde — Praktiker (1967) Mai. Heft 5. 104—106.
15. *Haslinger, H.:* Der internationale Entwicklungsstand der elektronischen Vermittlungstechnik. Technische Mitteilungen. STT. 14. Jahrgang (1967) Heft 23.
16. *Klika, O., Novák, J.:* Prizpusobivost jazyckového relé Slaboproudy Obzor 1967. 2. 82—88.
17. Neuheiten der Nachrichtentechnik. Der Fernmelde — Praktiker, (1967) August. Heft 8. 188—192.
18. *Rensch, H.:* Eigenschaften und Anwendung von Schutzrohrkontakten. VDI-Zeitschrift 1965. Febr. Heft 4. 160—167.

DR. FERENCZ CSABA
Budapesti Műszaki Egyetem
Elméleti Villamosságtan Tanszék

Hullámterjedés inhomogén, anizotróp időben változó közegben

ETO 538.566:621.391.81

A címben jelzett általános jellemzőkkel rendelkező közegekben való terjedés vizsgálatát részben az űrkutatás fejlődése, részben a különleges, különösen mikrohullámú eszközök kialakulása tette szükségessé. Tekintettel arra, hogy az eredeti vizsgálat célja az űrkutatásnál előforduló ionizált, térben és időben változó, anizotróp közegekben való terjedés volt, különösen a Doppler-effektus pontosabb tárgyalási lehetőségének a keresése, ezért az alkalmazott megszorítások is ehhez igazodnak.

A vizsgálat során feltesszük, hogy a közeg tértöltése $\varrho=0$, azaz elektromosan semleges. A Maxwell-egyenletek

$$\bar{E}=\bar{E}_0\cdot e^{j(\omega t-\varphi)} \tag{1}$$

alakú, „síkhullám" típusú megoldását keressük, miközben kizárjuk a térből a hirtelen ugrásokat, szakadásokat, azaz

$$\frac{1}{E_{0i}}\frac{\partial E_{0i}}{\partial x_i}\ll \operatorname{grad}_i\varphi, \tag{2}$$

$$\frac{1}{\omega-\dfrac{\partial\varphi}{\partial t}}\cdot\sum_{i=1}^{3}\frac{1}{E_{0i}}\cdot\frac{\partial E_{0i}}{\partial t}\ll 1.$$

Ha alaposan diszkutáljuk a tett megkötéseket — (2) —, akkor (1) típusú megoldások esetén ez igen kis megszorítás.

A tárgyalás során nem vizsgáltuk a közeg és az elektromágneses hullám energiacseréjének a közegjellemzőkre gyakorolt hatását, vagyis feltételeztük, hogy annak a „generátornak" az energiája, amely a közegjellemzők értékét meghatározza, végtelen. Ez akkor igaz, ha az elektromágneses hullám által leadott vagy felvett energia a közeg energiatartalmához képest kicsiny, vagy ezt az energiacserét állandó pótlással (pl. pump-forrás) vagy elnyeletéssel ellensúlyozzuk.

1. A probléma megoldása klasszikus formalizmus alkalmazásával

Tételezzük fel, hogy a közeg jellemzői: $\bar{\bar{\varepsilon}}(\bar{r},t)$ és $\bar{\bar{\mu}}(\bar{r},t)$, relatív permittivitás és permeabilitás, ahol $\bar{\bar{\varepsilon}}$ az ismert módon tartalmazza a vezetési tagot vagy tagokat is. A keresett megoldás alakja $\bar{E}=\bar{E}_0(r,t)\cdot e^{j[\omega t-\varphi(\bar{r},t)]}$, amelyre érvényesek a (2)-ben tett megkötések. Csak ilyen megoldást keresünk.

Ekkor a Maxwell-egyenletek:

$$\operatorname{rot}\bar{H}=\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_0\cdot\bar{\bar{\varepsilon}}\bar{E})$$

$$\operatorname{rot}\bar{E}=-\frac{\partial}{\partial t}(\mu_0\bar{\bar{\mu}}\bar{H})$$

$$\operatorname{div}(\mu_0\bar{\bar{\mu}}\bar{H})=0 \tag{3}$$

$$\operatorname{div}(\varepsilon_0\bar{\bar{\varepsilon}}\bar{E})=0,$$

ahol ε_0 és μ_0 a vákuum permittivitása, és permeabilitása $\bar{r}$ a helyvektor, t az idő, $\bar{\bar{\varepsilon}}$ és $\bar{\bar{\mu}}$ a közeg realiv permeabilitása és permittivitása, $\bar{E}$ az elektromos térerősség vektor, $\bar{H}$ a mágneses térerősség vektor, ω a jel körfrekvenciája, φ a teljes fáziscsúszás értéke, és

$$\bar{D}=\varepsilon_0\bar{\bar{\varepsilon}}\bar{E},\qquad \bar{B}=\mu_0\bar{\bar{\mu}}\bar{H}, \tag{4}$$

ahol $\bar{D}$ az eltolási vektor és $\bar{B}$ az indukció vektora.

Ha bevezetjük a

$$\bar{K}=\operatorname{grad}\varphi \tag{5}$$

és

$$\omega^*=\omega-\frac{\partial\varphi}{\partial t}$$

jelöléseket, akkor a (3) egyenletrendszer helyett a (3)-mal minden vonatkozásában ekvivalens egyenletrendszer kapható:

$$\begin{aligned}
\bar{K}\times\bar{H}&=-\omega^*\varepsilon_0\bar{\bar{\epsilon}}\bar{E}\\
\bar{K}\times\bar{E}&=\omega^*\mu_0\bar{\bar{M}}\bar{H}\\
\mu_0\bar{K}\bar{\bar{M}}\bar{H}&=0\\
\varepsilon_0\bar{K}\bar{\bar{\epsilon}}\bar{E}&=0
\end{aligned} \tag{6}$$

ahol

$$\begin{aligned}
\bar{\bar{\epsilon}}&=\bar{\bar{\varepsilon}}-j\frac{1}{\omega^*}\frac{\partial\bar{\bar{\varepsilon}}}{\partial t}=\bar{\bar{1}}+\bar{\bar{e}}^*\\
\bar{\bar{M}}&=\bar{\bar{\mu}}-j\frac{1}{\omega^*}\frac{\partial\bar{\bar{\mu}}}{\partial t}=\bar{\bar{1}}+\bar{\bar{m}}^*
\end{aligned} \tag{7}$$

A (6) egyenletrendszer alakja megfelel a homogén, időben állandó közegben terjedő síkhullámokra vonatkozó hullámegyenlet alakjának, így az ott szokásos megoldási módszert követjük: $\bar{K}$-val való ismételt vektorszorzás után az egyik egyenlet a másikba helyettesíthető és csak $\bar{E}$-re vagy csak $\bar{H}$-ra kifejezhető.

Az alkalmazott jelölések:

$$\begin{aligned}
\bar{\bar{A}}&=\bar{K}\times(\bar{K}\times\ldots)\\
\bar{\bar{P}}^*\ldots&=\bar{K}\times\bar{\bar{e}}^*\ldots\\
\bar{\bar{M}}^*\ldots&=\bar{K}\times\bar{\bar{m}}^*\ldots
\end{aligned} \tag{8}$$

* Beérkezett: 1968. VII. 10.

Ily módon

$$(\overline{\overline{A}}+\omega^{*2}\varepsilon_0\mu_0\overline{\overline{M}})\bar{H}+\omega^*\varepsilon_0\overline{\overline{P}}^*\bar{E}=0$$
$$-\omega^*\mu_0\overline{\overline{M}}^*\bar{H}+(\overline{\overline{A}}+\omega^{*2}\varepsilon_0\mu_0\overline{\overline{\epsilon}})\bar{E}=0 \qquad (9)$$

A (9) homogén lineáris egyenletrendszernek létezik triviálistól különböző megoldása, ha az egyenletrendszer determinánsa zérus. Ily módon tehát megkapjuk a homogén esetre jól ismert diszperziós egyenletet, amelyet két kedvező, egymással teljes mértékben ekvivalens alakban írhatunk fel. Használjuk ekkor az $\alpha^2=\omega^{*2}\varepsilon_0\mu_0$ rövidítést.

$$\left|\left(\frac{\overline{\overline{A}}}{\alpha}+\alpha\overline{\overline{\epsilon}}\right)+\overline{\overline{M}}^*\left(\frac{\overline{\overline{A}}}{\alpha}+\alpha\overline{\overline{M}}\right)^{-1}\overline{\overline{P}}^*\right|=0 \qquad (10)$$

vagy

$$\left|\left(\frac{\overline{\overline{A}}}{\alpha}+\alpha\overline{\overline{M}}\right)+\overline{\overline{P}}^*\left(\frac{\overline{\overline{A}}}{\alpha}+\alpha\overline{\overline{\epsilon}}\right)^{-1}\overline{\overline{M}}^*\right|=0. \qquad (11)$$

Ezen egyenletek megadják a terjedéskor fellépő $\varphi(\bar{r},t)$-t és egyben a terjedési utat $-\bar{r}-$ és az időt $-t-$ egymáshoz rendelve. Ezek ismeretében a (9) egyenletrendszerből az éppen adott peremfeltételeket kielégítő és mostmár szükségképpen létező $\bar{E}$ és $\bar{H}$ meghatározható.

A (10), illetve (11) egyenlet tartalmazza a már ismert hullámterjedési eseteket — a bevezetésben tett megkötések mellett (!) — és általánosabb vizsgálatok elvégzésére is lehetőséget biztosít.

2. Az eredmény általános alkalmazhatóságának igazolása, a numerizálás útja

2.1. *Vákuumbeli terjedés*

Ekkor $\overline{\overline{\varepsilon}}=\overline{\overline{\mu}}=\overline{\overline{1}}$, és $\frac{\partial\varphi}{\partial t}=0$, mivel semmilyen jellemző időben nem változik. A diszperziós egyenlet — (10) vagy (11) — alakja

$$|\overline{\overline{A}}+\omega^2\varepsilon_0\mu_0\overline{\overline{1}}|=0, \qquad (12)$$
$$\operatorname{grad}^2\varphi=\omega^2\varepsilon_0\mu_0=k_0^2 \quad \text{és} \quad \varphi=k_0\bar{n}\bar{r}$$

ahol $\bar{n}$ tetszőleges egységvektor. Az eredmény közismert.

2.2. *Homogén ferrit vagy plazma*

A közegjellemzők $\overline{\overline{\varepsilon}}=\overline{\overline{\text{áll.}}}$ és $\overline{\overline{\mu}}=\overline{\overline{1}}$ — plazma, vagy $\overline{\overline{\mu}}=\overline{\overline{\text{áll.}}}$ és $\overline{\overline{\varepsilon}}=\overline{\overline{1}}$ — ferrit. Plazma esetén célszerűbb (10), ferrit esetén (11) felhasználása. A két adódó diszperziós egyenlet:

$$|\overline{\overline{A}}+\omega^2\varepsilon_0\mu_0\overline{\overline{\mu}}|=0 \quad - \quad \text{ferritre},$$
és $$|\overline{\overline{A}}+\omega^2\varepsilon_0\mu_0\overline{\overline{\varepsilon}}|=0 \quad - \quad \text{plazmára} \qquad (13)$$

szintén közismert.

2.3. *Stacionárius, izotróp, inhomogén közeg*

Legyen $\overline{\overline{\varepsilon}}=\varepsilon(\bar{r})\cdot\overline{\overline{1}}, \overline{\overline{\mu}}=\overline{\overline{1}}$ és tekintsünk el az időbeli változástól. (10) új alakja

$$|\overline{\overline{A}}+\omega^2\varepsilon_0\mu_0\varepsilon(\bar{r})\cdot\overline{\overline{1}}|=0,$$

amelyet kifejtve a

$$k^2=\omega^2\varepsilon_0\mu_0\varepsilon(\bar{r})$$

alakhoz jutunk. Ez az egyenlet a geometriai optika alapja, a jól ismert Eikonal — egyenlet:

$$\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)+\left(\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)^2=\omega^2\varepsilon_0\mu_0\varepsilon(\bar{r}). \qquad (14)$$

A megoldási (numerizálási) módszer a további inhomogén esetekre is jól átvihető, ezért itt részletesebben megvizsgáljuk. Az ugrásokat — szakadásokat — kizáró szokásos karakterisztikamódszert alkalmazzuk. Az egyenlet alakja:

$$H\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x},\ \frac{\partial\varphi}{\partial y},\ \frac{\partial\varphi}{\partial z},\ x,\ y,\ z\right)=0.$$

Célszerű az ívhossz paraméter helyett a

$$\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}\sigma}=\sqrt{\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)^2}=k$$

definíciós egyenlettel behozni a σ paramétert. Ekkor megkaphatjuk az $\bar{r}=x(\sigma)\bar{i}+y(\sigma)\bar{j}+z(\sigma)\bar{k}$ terjedési utat, a lehetségesek közül az aktuális a peremfeltételek figyelembevételével választható ki. Két adott pont közötti teljes fáziscsúszás

$$\varphi_{12}=k_0^2\int_{\sigma_1}^{\sigma_2}\varepsilon[\bar{r}(\sigma)]\,\mathrm{d}\sigma, \qquad (15)$$

míg a felső határt változóvá téve a keresett $\vartheta[\bar{r}(\sigma)]$ függvényt kapjuk meg. Ha például az elektromágneses hullám Doppler-csúszását keresnénk, akkor az adó és vevő mozog egymáshoz képest, azaz $\sigma_1=\sigma_1(t)$ és $\sigma_2=\sigma_2(t)$. A Doppler-csúszás pedig

$$\Delta\omega_D=-\frac{\mathrm{d}\varphi_{12}}{\mathrm{d}t}.$$

Konkrét feladat megoldása során a felvetődő határozott integrálok géppel értékelhetők.

2.4. *Izotróp, inhomogén, kvázistacionárius közeg*

Feltételezzük, hogy $\overline{\overline{\varepsilon}}=\varepsilon(\bar{r},t)\cdot\overline{\overline{1}}, \overline{\overline{\mu}}=\overline{\overline{1}}$ és

$$\frac{1}{\omega}\frac{\partial\varepsilon}{\partial t}\ll\varepsilon.$$

A (10) egyenlet konkrét alakja

$$K^2=\omega^{*2}\cdot\varepsilon_0\mu_0\varepsilon(\bar{r},t) \qquad (16)$$

A karakterisztikákkal való megoldás után adódik

$$\bar{r}=x(\sigma)\cdot\bar{i}+y(\sigma)\cdot\bar{j}+z(\sigma)\cdot\bar{k}$$
és
$$t=t(\sigma)$$

ahol σ az előzőtől eltérő megoldási paraméter; valamit

$$\varphi = k_0^2 \int \left(\frac{p_t(\sigma)}{\omega} - 1\right)^2 \varepsilon \, d\sigma + \frac{k_0^2}{\omega} \int \int \left(\frac{p_t(\sigma)}{\omega} - 1\right)^2 \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \left[\frac{1}{2} - k_0^2 \varepsilon \left(\frac{p_t(\sigma)}{\omega} - 1\right)\right] d\sigma \, d\sigma \qquad (17)$$

ahol $p_t(\sigma) = \frac{\partial \varphi}{\partial t}$ és a karakterisztikus megoldás során értéke adódik. Ha feltesszük, hogy a mennyiségek időben állandóak, (17) (15)-be megy át.

2.5 *Stacionárius, anizotróp, inhomogén közeg*

Legyen például $\overline{\overline{\varepsilon}} = \overline{\overline{\varepsilon}}(\bar{r})$, $\overline{\overline{\mu}} = \overline{\overline{1}}$, és a közeg időben állandó. Ekkor, ha $\overline{\overline{\varepsilon}}$ szimmetrikus a kristályoptikával, ha antiszimmetrikus, a plazmával állunk szemben. (Ha $\overline{\overline{\varepsilon}} = \overline{\overline{1}}$, $\overline{\overline{\mu}} = \overline{\overline{\mu}}(\bar{r})$ inhomogén ferrit tárgyalása, stb. lehetséges. Az eredmények az itt közölttel formailag teljesen azonosak.)

A (10) egyenletet kifejtve a következő alakhoz jutunk:

$$K^2[K_x^2\varepsilon_{11} + K_y^2\varepsilon_{22} + K_z^2\varepsilon_{33}] + k_0^2[A(K^2 - K_x^2) + B(K^2 - K_y^2) + C(K^2 - K_z^2)] + K_xK_y[k_0^2D + (K^2 - k_0^2\varepsilon_{33})F] + K_yK_z[k_0^2G + (K^2 - k_0^2\varepsilon_{11})J] + K_xK_z[k_0^2L + (K^2 - k_0^2\varepsilon_{22})M] + k_0^4R = 0 \qquad (18)$$

ahol $A, B, C, D, F, G, J, L, M$ és R csak az $\overline{\overline{\varepsilon}}$ egyes komponenseiből álló, adott függvények.

Ha feltételezzük, hogy $\overline{\overline{\varepsilon}}$ homogén és antiszimmetrikus, visszajutunk a homogén plazma közismert diszperziós egyenletére. (18) karakterisztikákkal megoldható. A diszperziós egyenlet diszkutálásával pedig a terjedés módjára kapunk felvilágosítást.

Legyen $N = \frac{K}{k_0}$ és új változóként vezessük be a z-tengellyel bezárt ϑ és az x-tengellyel bezárt φ szöget — gömbi koordinátákat. (18) új alakja ekkor

$$N^4 + aN^2 + b = 0$$

ahol a és b minden térbeli pontban az ott értelmezhető ϑ és φ függvényei.

Nem terjed a jel, ha $N^2 < 0$ és valós, ideálisan terjed, ha $N^2 > 0$ és valós. Más esetben csillapodva terjed. Így kijelölhető az a tartomány (felület vagy felületrendszer) minden pontban, amely mentén a jel ideálisan terjed, az

$$\left| -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 - b} \right| = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 - b}$$

megoldásaként adódó $F_i(\vartheta, \varphi)$; és az is, amely mentén nem terjedhet,

az $$\left| -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 - b} \right| = -\left(-\frac{a}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 - b} \right)$$

megoldásaként adódó $F_n(\vartheta, \varphi)$.

2.6. *Időben gyorsan változó, izotróp közeg.*

Tegyük fel, hogy $\overline{\overline{\varepsilon}} = \varepsilon(\bar{r}, t)\overline{\overline{1}}$, $\overline{\overline{\mu}} = \overline{\overline{1}}$, ekkor (10) szerint

$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2 - \left(\frac{k_0}{\omega}\right)^2 \varepsilon \left(\frac{\partial \varphi}{\partial t}\right)^2 + \frac{k_0^2}{\omega}\left(2\varepsilon - j\frac{1}{\omega}\frac{\partial \varepsilon}{\partial t}\right)\frac{\partial \varphi}{\partial t} - k_0^2\varepsilon + j\frac{k_0^2}{\omega}\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = 0 \qquad (19)$$

amely φ-t meghatározza. φ komplex, tehát ekkor az ideális izotróp közeg csillappítja, vagy erősíti (!) a jelet.

Itt, az eredmény érdekessége miatt, röviden nézzük meg (19) speciális, térben homogén közegre vonatkozó eredményeit.

Ekkor (19) új alakja például:

$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial t}\right)^2 \varepsilon_0\mu_0\varepsilon(t) - j\frac{d\varepsilon(t)}{dt}\varepsilon_0\mu_0\frac{\partial \varphi}{\partial t}. \qquad (20)$$

Ideális terjedés esetén $\mathrm{Im}\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right) = 0$, s ekkor

$$\bar{E}_1 = \frac{\bar{E}_0}{\sqrt{\varepsilon(t)}} e^{j(\omega t - \mathrm{Re}\,\varphi)}$$

modulált jel, vagy

$$\bar{E}_2 = \bar{E}_0 \cdot e^{b + ja}, \qquad a = \text{áll.}, \qquad b = \text{áll.}$$

sztatikus elektromos tér léphet fel.

A közegben nem terjed a jel, ha $\frac{\partial(\mathrm{Re}\,\varphi)}{\partial x} = 0$. Ennek speciális esete a $\mathrm{Re}\,\varphi = 0$. Ekkor

$$\varepsilon = \frac{\beta^2 - 1}{4} e^{j2\omega(t+t_0)} + \frac{1}{2}\cos 2\omega(t + t_0), \qquad t_0 = \text{áll.}$$

kell, hogy legyen. A tett feltevések mellett ($\mathrm{Re}\,\varphi = 0$) csak $\beta = \pm 1$ létezik. Ekkor

$$\mathrm{Im}\,\varphi = \ln \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2}\cos 2\omega(t + t_0)}} \pm x + \gamma, \qquad \gamma = \text{áll.}$$

és

$$\bar{E} = 2\bar{E}_0 \left(\sqrt{\frac{2}{\cos 2\omega(t + t_0)}} + \gamma \right) e^{j\omega t} \qquad (21)$$

az elosztott paraméterű, degenerált, ideális parametrikus erősítőkben lejátszódó jelenségeket írja le. Mágneses parametrikus erősítők hasonló módon vizsgálhatók, stb.

Látható, hogy (10), illetve (11) tartalmazza az eddigi eredményeket, amelyek közül néhányat itt bemutattunk. Megfelelő feltételek melletti megoldása új jelenségeket tárhat fel.

3. Relativisztikus formalizmus

A $\tau = jct$ koordináta bevezetése elvi újat nem jelent, csak annyit, hogy egyenleteink alakja egyszerűbb lesz, mivel a Maxwell-egyenletek természetes koordinátáit alkalmazzuk. A bevezetésben tett feltevések mellett legyen

$$\bar{E} = \bar{E}_0 e^{j\Phi}. \qquad (22)$$

Ekkor alkalmazva a

$$\overline{K}=\frac{\partial\varphi}{\partial x}\bar{i}+\frac{\partial\varphi}{\partial y}\bar{j}+\frac{\partial\varphi}{\partial z}\bar{k}$$

$$\overline{\overline{\epsilon}}=\overline{\overline{\varepsilon}}-j\frac{\partial\overline{\overline{\varepsilon}}/\partial\tau}{\partial\Phi/\partial\tau}=\overline{\overline{\varepsilon}}-j\frac{1}{\alpha}\frac{\partial\overline{\overline{\varepsilon}}}{\partial\tau}$$

$$\overline{\overline{M}}=\overline{\overline{\mu}}-j\frac{\partial\overline{\overline{\mu}}/\partial\tau}{\partial\Phi/\partial\tau}=\overline{\overline{\mu}}-j\frac{1}{\alpha}\frac{\partial\overline{\overline{\mu}}}{\partial\tau} \qquad (23)$$

$$\alpha=\frac{\partial\Phi}{\partial\tau}$$

jelöléseket, a többi jelölést értelemszerűen megtartva, a (10) és (11) egyenletek változatlanul érvényesek.

Ekkor például a 2.4-ben szereplő feladat diszperziós egyenlete a

$$\text{grad}^2\,\Phi=-e\left(\frac{\partial\Phi}{\partial\tau}\right)^2, \qquad \varepsilon=1+e$$

alakba írható, ami áttekinthetőbb és számítástechnikailag kedvezőbb, stb.

További általánosítási feladat olyan tárgyalásmódot találni, amely ugyanilyen általánosan ezen eseteken túl az ugrások (szakadások) figyelembevételét is lehetővé teszi.

*

Ezúton is szeretnék köszönetet mondani a munkámhoz nyújtott támogatásért dr. Simonyi Károly tanszékvezető egyetemi tanárnak és dr. Csurgay Árpád villamosmérnöknek.

IRODALOM

1. *Dr. Simonyi Károly:* Elméleti Villamosságtan, Tankönyvkiadó, 1967
2. *K. G. Budden:* Radio Waves in the Ionosphere, Cambridge at the University Press, 1966
3. *Max Born, E. Wolj:* Principles of Optics, Pergamon Press 1959
4. *Dr. Simonyi Károly:* Elektronfizika, Tankönyvkiadó, 1965

EGYESÜLETI HÍREK

A Híradástechnikai Tudományos Egyesület Elnöksége 1969. március 10-én ülést tartott. *Dr. Barta István*, az MTA lev. tagja, a HTE elnöke ünnepélyesen átadta a kitüntetéseket a Puskás Tivadar Emlékérmeseknek, a Virág—Pollák díjasoknak és a Diplomaterv Pályázat nyerteseinek. *Susánszky László* ügyvezető főtitkár folyó ügyekről számolt be.

* * *

A **HTE májusi rendezvényeiről** postai értesítést kapnak az egyesületi tagok, mert a BNV miatt a program még nem rögzített.

PUSKÁS TIVADAR EMLÉKÉRMESEINK

Dienes Béla, az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt. vezérigazgatója, a Híradástechnikai Tudományos Egyesület Elnökségének és Végrehajtó Bizottságának tagja. A magyar híradástechnikai ipar területén hosszú időn keresztül kiváló szervező és irányító munkát végzett a Kohó- és Gépipari Minisztériumban. Mint az EIVRT vezérigazgatója, sokat tett a magyar vákuumtechnikai és félvezető ipar fejlődésért. Az általa vezetett Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt mind a mai napig megőrizte előkelő helyét az európai elektroncső- és fényforrásiparban. Munkájával komolyan támogatja az egyesületi életet. Elnöke volt az „Elektroncső 50 Éve" jubileumi rendezvényeknek.

Komporday Aurél, a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet igazgatója, az Egyesület Elnökségének és Végrehajtó Bizottságának tagja. A felszabadulás óta vezető beosztásokban komoly érdemeket szerzett a magyar híradástechnikai ipar fejlesztésében. Előbb a KGM Híradásipari Igazgatóság főmérnöke, majd igazgatója volt. A Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet vezetése alatt az elektronikai ipar aktív és passzív alkatrészeinek fejlesztésében, az integrált áramkör technika meghonosításában eredményesen működik. Aktív vezető szerepet visz a KGST munkájában. Egyesületi tevékenysége igen sokrétű, múlt évben a Megbízhatóság Szimpózium elnöke volt.

Kocsis Miklós, a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet osztályvezetője, a HTE Félvezető Eszközök és Integrált Áramkörök Szakosztály vezetője. A félvezető eszközök kutatásában jelentős eredményeket ért el a meghibásodási mechanizmus elméleti és kísérleti feltárásában és a gyártástechnológia megjavításában. Külföldi szakmai előadásai széles körű érdeklődést váltottak ki. Kiemelkedő a Szovjetunióban a Popov Tudományos Egyesületben elhangzott előadása, nevét ott megjegyezték és most újból vitára hívták meg. Szakosztályi vezető tevékenységét az egyesületben igen nagy lendülettel és lelkiismeretesen végzi.

VIRÁG–POLLÁK DÍJASAINK

A Híradástechnikai Tudományos Egyesület Elnöksége lapunk alábbi szerzőit Virág—Pollák díjjal tüntette ki:

Dr. Ambrózy András „Lineáris Integrált áramkörök újabb fejlődése" című, a Híradástechnika 1968. 9. számában megjelent dolgozatáért és a 9. szám (integrált áramkörök célszám) társszerkesztői tevékenységéért;

Balogh Pál „Integrált mágneses tárolók" című, a Híradástechnika 1968. 11. számában megjelent cikkéért;

Dr. Katona János „Vékonyréteg áramkörök hazai kutatási és fejlesztési eredményei" című, a Híradástechnika 1968. 7. számában megjelent cikkéért;

Mészáros Sándor „A Tungsram elektroncsőgyártás története" című, a Híradástechnika 1968. 5. számában megjelent cikkéért;

Scultéty László „Pólusérzékenység minimalizálás elektronikus áramkörökben, különös tekintettel a negatív visszacsatolt erősítőkre" című, a Híradástechnika 1968. 2. számában megjelent cikkéért;

Dr. Tomaschek Zoltán „Intermetallikus szilicidek getterhatása" című, a Híradástechnika 1968. 8. számában megjelent cikkéért.

Tartalmi összefoglalások

ETO 621.318.56

Vadócz E.:

Reed kapcsolóelemek és jelfogók

HÍRADÁSTECHNIKA XX. (1969) 4. sz.

A reed kapcsolóelemek között higanyérintkezős és „száraz" típust különböztetünk meg. Utóbbi kapcsolóelemekben az érintkezés a nyelvek kereszt- vagy hosszirányú elmozdulásával jön létre. A reed jelfogók egy vagy több kapcsolóelemet tartalmazhatnak. A gerjesztés és előmágnesezés módjának változtatásával megvalósíthatók a hagyományos jelfogók ismert működési funkciói. Néhány különleges reed jelfogó ismertetése után a cikk felsorolja a működő és kísérleti reed jelfogós telefonközpontokat is.

ETO 538.566:621.391.81

Dr. Cs. Ferencz:

Hullámterjedés inhomogén, anizotróp, időben változó közegben

HÍRADÁSTECHNIKA XX. (1969) 4. sz.

A dolgozat célja, hogy inhomogén, anizotróp, időben változó közegben általános tárgyalásmódot találjon a hullámterjedés tanulmányozására. A vizsgálat során a térből kizárjuk a hirtelen ugrásokat, azaz „síkhullám-szerű" megoldást keresünk. A probléma általános megoldása után a dolgozat numerizálási eljárást is javasol, s kimutatja, hogy az egyes ismert hullámterjedési egyenletek (pl. az eikonal-egyenlet stb.) speciális esetként az általános megoldásból következnek. Végül megmutatja a relativisztikus átfogalmazás módját.

Обобщения

ДК 621.318.56

Э. Вадоц:

Элементы соединения и реле «Рид»

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) XX. (1969) № 4.

Соединительные элементы «Рид» являются типами с ртутными контактами и «сухыми». В последних контакт создается поперечным или продольным сдвигом язычков. Реле «Рид» могут содержать один или нескоько соединительные элементы. разные сцособы возбужъения и подмагничивания могут осуществламв известные функции действия обычных реле. После описания некоторых особых реле «Рид» статья перечислит телефонные станции работающие с реле «Рид» или находящиеся в опытной работе.

ДК 538.566:621.391.81

Д-р. Ференц Ч.:

Распространение радиоволн в неоднородной анизотропической среде меняющейся во времени

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) XX. (1969) № 4.

Целью статьи является найти общий метод дискуссии для изучения распространения радиоволн в неоднородной, анизотропической среде меняющейся во времени. В течение испытания исключены из поля внезапные скачки, т. е. решения «плоских волн» требуются. После общего решения проблемы предложен тоже метод расчета и показано, что отдельные известные уравнения распространения (на пример уравнение эйканал и т. д.) следуют из общего решения как специальные случаи. Наконец показан метод релативистической переписки.

Zusammenfassungen

DK 621.318.56

E. Vadócz:

Schutzrohrkontakt-Schaltelemente und Relais

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XX. (1969) Nr 4.

Es werden Schutzrohrkontat-Schaltelementtypen mit Quecksilberkontakten und „trockene" Schutzrohrkontakt-Elementtypen unterschieden. In den letzten Schaltelementen entsteht der Kontakt durch die Verschiebung der Zungen in Kreuz- oder Längsrichtung. Die Schutzrohrkontaktrelais können ein oder mehrere Schaltelemente enthalten. Mit der Änderung der Methode der Erregung und Vormagnetisierung können die bekannten Betriebsfunktionen der traditionellen Relais verwirklicht werden. Nach der Erörterung einiger speziellen Schutzrohrkontaktrelais werden die funktionierenden und experimentellen Schutzrohrkontaktrelais-Telephonzentralen aufgezählt.

DK 538.566:621.391.81

Dr. Ferencz Cs.:

Wellenausbreitung in einem inhomogenen anisotropen, zeitvariablen Mittel

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XX. (1969) Nr 4.

Das Ziel des Artikels ist eine allgemeine Diskussionsform zum Studium der Wellenausbreitung in einem inhomogenen, anisotropen zeitvariablen Mittel zu finden. Während der Untersuchung werden die plötzlichen Sprünge aus dem Feld ausgeschlossen, dass heisst es wird eine planwellenartige Lösung gemacht. Nach der allgemeinen Lösung der Probleme schlägt der Artikel auch eine Numerisierungsverfahren vor und zeigt, dass die einzelnen bekannten Wellenausbreitungsgleichungen (z. B. die Eikonalgleichung, etc.) als spezielle Fälle aus der allgemeinen Lösung folgen. Zuletzt wird die Methode der neuen relativistischen Umformung gezeigt.

Summaries

UDC 621.318.56

E. Vadócz:

Reed Switching Elements and Relays

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XX. (1969) No 4.

Two types of switching elements are distinguished: mercury contacts and dry type contacts. In these last ones the contact is made by the displacement of the reeds in transversal or longitudinal direction. The reedrelays may contain one or several switching elements. The known operation functions of the traditional relays may be realized by the change of the method of excitation and premagnetization. After the presentation of some special reed relays the operating and experimental telephone exchanges with reed relays are described.

UDC 538.566:621.391.81

Dr. Ferencz Cs.:

Wave Propagation in an Inhomogeneous Anisotropic Time Variable Medium

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XX. (1969) No 4.

The aim the paper is to find a general discussion method for the study of wave propagation in an inhomogeneous anisotropic, time variable medium. In the course of the examination the unexpected rapid changes are excluded from the field. After the general solution of the problem the paper proposes also a numerical procedure, and shows that every single known wave propagation equation (e. g. the eiconal equation, etc.) follows from the general solution as a special case. Finally the method of the relativistic transformation is presented.

Résumés

CDU 621.318.56

E. Vadócz:

Elements de connexion et relais à lames (reed)

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XX. (1969) No 4.

Il y a des élements de connexion à lames avec contacts de mercure et «secs». Le contact est fait dans les dernières par un déplacement transversal ou longitudinal des lames. Les relais à lames comprennent un ou plusieurs élements de connexion et — par variant la manière de l'excitation et prémagnétisation — en fonctions de service connues des relais conventionels peuvent être réalisées. Après la description des quelques relais à lames spéciaux l'article donne une énumeration des centraux téléphoniques en service et experimentaux à relais à lames.

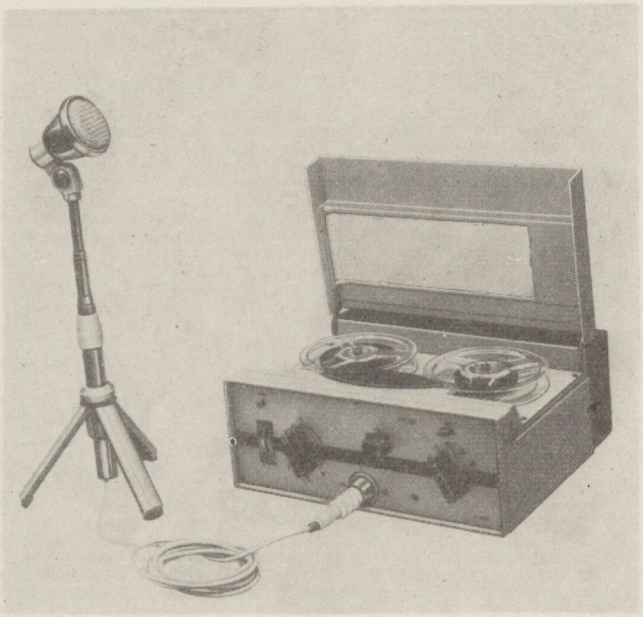
CDU 538.566:621.391.81

Dr. Ferencz Cs.:

Propagation des ondes dans un milieu inhomogène, anisotropique, changeant avec le temps

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XX. (1969) No 4.

Le but de l'article est de trouver une méthode générale pour l'étude de la propagation des ondes dans un milieu inhomogène, anisotropique changeant avec le temps. Au cours de l'investigation les sauts brusques sont exclus, c'est à dire des solutions «ondes en pleines« sont cherchées. Après la solution générale du problème l'article propose une méthode de calcul numérique et démontre que les équations de propagation des ondes connues (par exemple l'équation eiconal etc.) dérivent de la solution générale, comme cas spéciaux. Enfin la méthode d'une transformation rélativistique est donnée.



R-6
riportermagnetofon

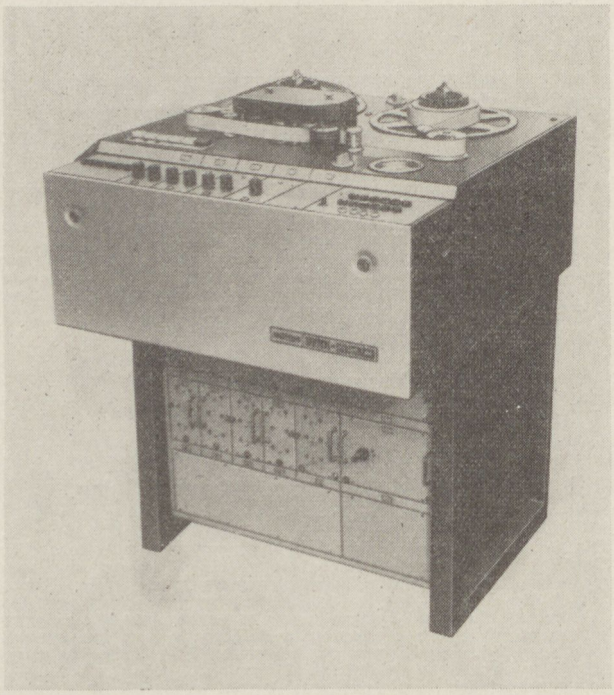
Teljesen kontaktusok nélküli egyenáramú elektromotor alkalmazásával készült. A beépített dinamikakompresszor a tízszeres hangerő növekedést kevesebb mint 4/1000 mp alatt szabályozza le önműködően normál szintre.

Szalagsebesség: 9,5 és 19,05 cm/mp

STM-220
négycsatornás (Play-Back) stúdiómagnetofon

Alkalmazásával sztereo műsorok elkészítése lényegesen egyszerűbbé válik.
Csíkszélesség: 4,5 mm. Minden csík külön törölhető és rájátszható.

Szalagsebesség: 38,1 és 19,05 cm/mp
Alkalmazott szalag: 25,4 mm széles
Max. tekercsátmérő: 300 mm

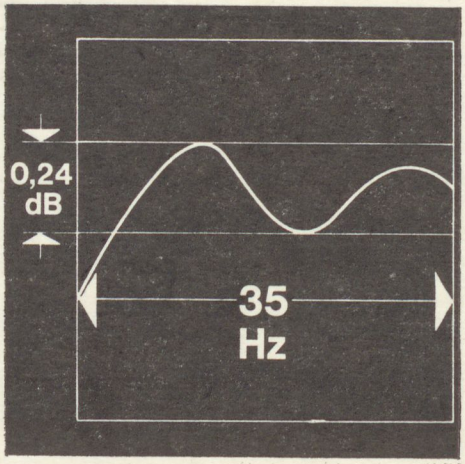


MECHANIKAI LABORATÓRIUM

Híradástechnikai Kísérleti Vállalat

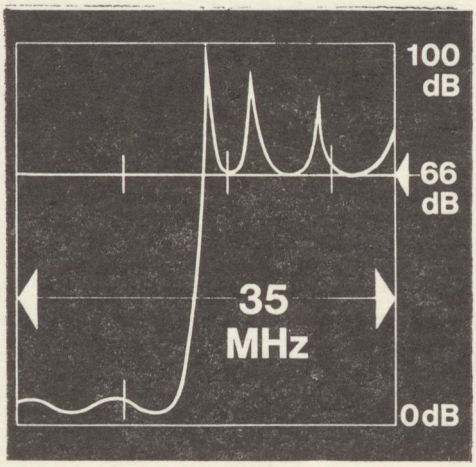
Budapest VII., Gorkij fasor 25

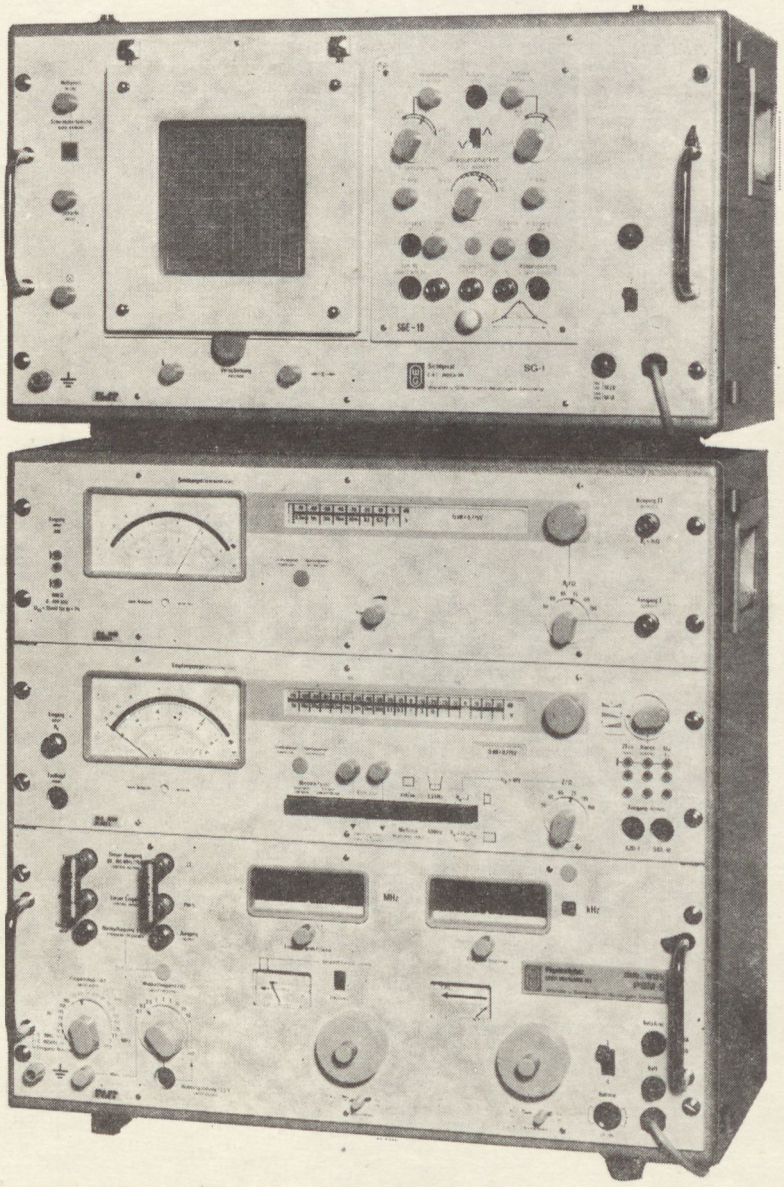
A 10 kHz.. 36 MHz
PSM-5 SZINTMÉRŐHELY wobbuláló lehetőségei



Legkisebb frekvencialöket
Y-lineáris lépték
Tízszeres nyújtás

Legnagyobb frekvencialöket
Y-logaritmikus lépték
Mérővonal és
10 MHz frekvenciajelek





Frekvenciabeállítás: 10 kHz (2 kHz) . . . 36 MHz
100 kHz-kvarcrács, 1 kHz-kvarcellenőrzőpontok
2 frekvenciaskála, egyenként 2,5 m hosszú
Beépített, szintadáshoz és szintméréshez közös elektronikus wobbuláló berendezés
Frekvencialöketek: ±17,5 Hz . . . ±17,5 MHz
Wobbuláló frekvencia: 0,1 . . . 50 Hz, kézi és külső

Szintmérő tartomány: —130 dB . . . . +20 dB
Átváltható sávszélesség: 500 Hz és 3,5 kHz
Lineáris szintskála (20 dB) és logaritm. (100 dB)
Átkapcsolható szinthitelesítés: dB-dBm, illetve Np-Npm
Képcső szintmérő-vonallal és frekvenciamarkerekkel

Szintmérőlépték (10 cm-re): 1 dB . . . 100 dB
Frekvencialépték (10 cm-re): 35 Hz . . . 35 MHz
Hálózati és telepes csatlakozás
Segédkészülékek: skálanyújtó (± 1 dB), érzékelőfej, átkapcsolók, reflexiómérőhíd (50 . . . 150 ohm)

Látogasson meg bennünket a Budapesti Nemzetközi Vásár alkalmával!
Május 16-tól május 26-ig áll kiállító kocsink a 27 a. és 15. számú csarnokok közötti szabad területen

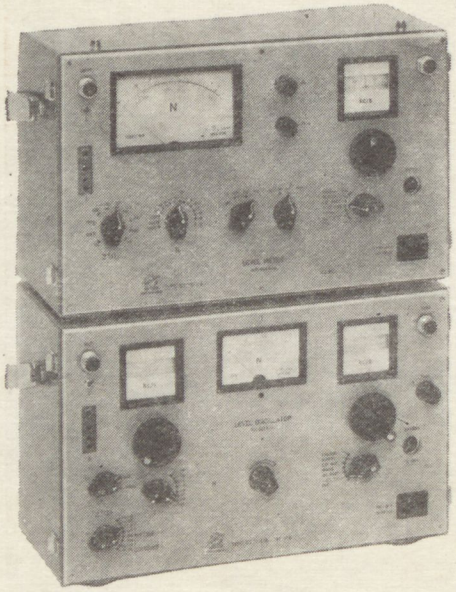
Wandel u. Goltermann

7410 Reutlingen, BRD, Postfach 259, Telefon: 07121/226 Telex: 0729-833 wugd

Új gyártmány:

a hordozható szintmérő és szintadó

- súlyuk nem haladja meg a 8,5 kg-ot
- táplálás telepről vagy hálózatról
- beépített automata-teleptöltő
- aszimmetrikus és szimmetrikus ki-, illetve bemenetek
- feszültség- és teljesítményszintes üzemmód
- a készülékek egymással szinkronizálhatók
- laboratóriumi és terepmérésekre kiválóan alkalmas



SZINTMÉRŐ ET–70T/V

Frekvenciatartomány	
szélessávú szintmérésnél	50 Hz—620 kHz
szelektív szintmérésnél	4 kHz—620 kHz
Mérési tartomány	
szélessávú szintmérésnél	—7 N— +2 N
szelektív szintmérésnél	—12 N—+2 N
Illesztett bemeneti impedanciák	75, 135, 150 és 600 ohm
Szimmetria és reflexiómérés	0—5 Np
Impedancia mérés	50—3000 ohm

SZINTADÓ ET–70T/A

Frekvenciatartomány	0,3 ... 620 kHz
Kimenőszint tartomány	—6 ... +1 N
Kimeneti impedanciák	
feszültségszintes üzemmódban	~ 0,75, 135, 150, 600 ohm
teljesítményszintes üzemmódban	75, 135, 150, 600 ohm
Méretek fedél nélkül	345×220×150 mm

Egyéb termékeinkből

- komplett átviteltechnikai mérőhelyek
- mérőhidak
- kiscsatornaszámú speciális vivőfrekvenciás berendezések

ELEKTRONIKA

BUDAPEST VII., KLAUZÁL-U. 30 • TEL.: 221–646

Elektronika BUDAPEST