

# Hírközlő kábelek vizsgálata

ETO 621.315.21.621.317.34:621.395.73

## Bevezetés

A hírközlő kábelek gyártásakor, mint általában a kábelgyártás minden területén, nagyértékű anyagokat dolgozunk fel. Az anyagféleségek között jelentős az importanyagok mennyisége, például réz, ólom, kábelpapír, különféle műanyagok. A gyártás folyamán igen nagy jelentőséget tulajdonítunk a fokozott ellenőrzésnek. Csak magas szintű gyártásközi ellenőrzéssel biztosíthatjuk, hogy a gyártás közben előforduló meghibásodásokat időben észleljük, megelőzzük, a selejt keletkezését elkerüljük.

Felhasználóink jogosan egyre szigorúbb minőségi követelményeket támasztanak termékeinkkel szemben, kábeleink tulajdonságairól egyre többet kívánnak tudni.

Új típusú kábelek gyártásánál új mérési módszereket kell bevezetni. Ezzel egyidőben gondoskodnunk kell a hagyományos mérési módszerek továbbfejlesztéséről is.

Ezek a szempontok igen nagy feladatot rónak minőségellenőrző szerveinkre.

A következőkben a hírközlő kábelek méréseiről adunk rövid összefoglalást.

## Ellenállásmérés

A törzsáramkörök erei egyenáramú ellenállásának mérésére Wheatstone-hidat használunk. Egyébként ez a mérés szolgál az erek folytonosságának ellenőrzésére is. A mérési kapcsolás az 1. ábrán látható.

$R_x$  a mérendő törzsáramkör erének ellenállása;

$R_m$  a mérővezeték ellenállása.

A hídgyensúly feltétele:

$$R_1 R_3 = R_2 (R_x + 2R_m)$$

$$R_x + 2R_m = R_3 \frac{R_1}{R_2}$$

Mint látható, a műszer által mért érték magában foglalja a mérővezeték ellenállását is. Ezt a mérési eredményből le kell vonni. A híd kiegyenlítetttségét galvanométer jelzi. A mérési módszer hátránya, hogy a mért eredményt utólag korrigálni kell, vagy egy külön kiegyenlítő ellenállás-hálózatot kell beépíteni a mérővezeték kiegyenlítésére.

Pontosabb mérési eredményt kapunk a HIKI digitális multiméter és áramgenerátor összeállítással.

Az ismeretlen  $R_x$  ellenállású éren meghatározott erősségű áramot hajt át egy áramgenerátor. Az éren eső feszültség és az átfolyó áram ismeretében  $R_x$  meghatározható. A mérővezeték ellenállását tehát a mérési eredmény már nem foglalja magában.

A mérési eredményt 1 km hosszúságra és 20 °C-ra az alábbi képlettel lehet átszámolni.

$$R_{20} = R_t [1 + \alpha(20 - t)] \cdot \frac{1000}{l}$$

ahol  $R_t$  a  $t$  hőmérsékleten mért ellenállás;

$\alpha$  a hőmérsékleti együttható;

$t$  a hőmérséklet.

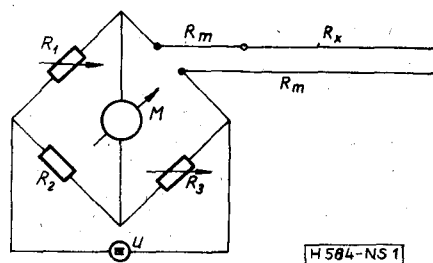
Szükség van az ellenállásdifferencia meghatározására. Ellenállásdifferencián valamely törzsáramkör egy-egy erének ellenállása és a hurokellenállás aránya értendő.

$$\Delta R = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_1}{R_h} [\%]$$

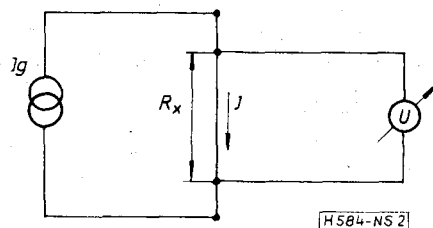
Ezt az értéket számíthatjuk az érellenállások értékéből, vagy a 3. ábra szerinti elrendezésben mérhetjük.

$R_a$  és  $R_b$  a törzsáramkör két ere;

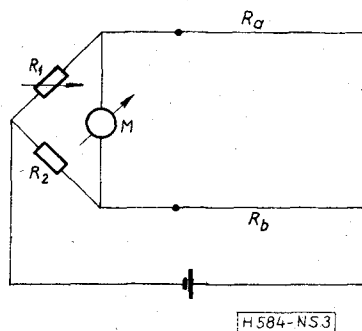
$R_1$  és  $R_2$  megfelelő megválasztásával az  $M$  műszerrel közvetlenül %-ban olvasható le  $\Delta R$  értéke.



1. ábra



2. ábra



3. ábra

### Üzemi kapacitás

Az üzemi kapacitás a 4. ábrán látható részkapacitásokból tevődik össze.

Az 1. és 2. ér a törzsáramkör két ere.

Az üzemi kapacitás értéke:

$$C_{\bar{u}} = C_{12} + \frac{C_{10}C_{20}}{C_{10} + C_{20}}$$

Mérése az alábbi kapcsolással lehetséges.

$C_{\bar{u}}$  a fent meghatározott üzemi kapacitás,  $G_{\bar{u}}$  az üzemi levezetés. A kapcsolás három fő egységből áll:

- 800 H<sub>Z</sub>-es  $G$  generátor,
- $A$  erősítő és  $M$  indikátor,
- mérőhíd.

A mérőhíd a 800 H<sub>Z</sub>-es  $G$  generátor által táplált  $TR_2$  differenciáltranszformátorból áll. Ha a  $Z_{\bar{u}} = Z_N$  feltétel teljesül a transzformátor jobb és baloldali mérőhurokjának áramai kioltják egymást, így a transzformátor középkivezetései között nem jelenik meg feszültség, amit a  $TR_1$  transzformátor kimenetére kapcsolt nullindikátorral jelezhetünk.

A hídgyensúly tehát

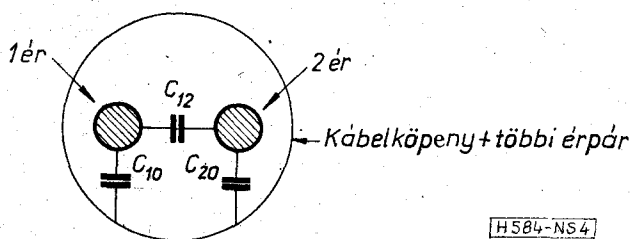
$$R_N + \frac{1}{j\omega C_N} = Z \text{ cth } \gamma$$

ahol a jobboldali tag a kábel üresjárás bemeneti impedanciája. Az egyenletet megoldva kapjuk:

$$C_{\bar{u}} = C_N$$

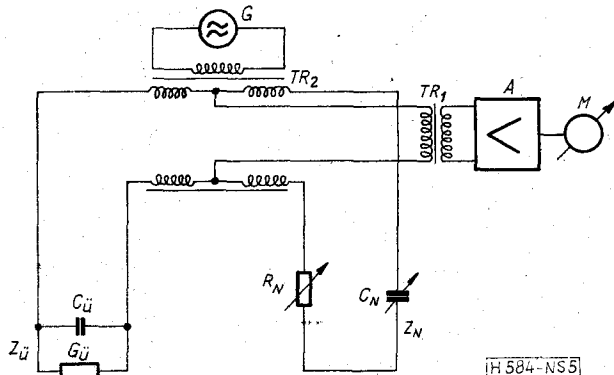
$$G_{\bar{u}} = \left( R_N - \frac{R_h}{3} \right) \omega^2 C_N^2$$

Az üzemi kapacitás közvetlenül olvasható le a kapacitásdekádról.



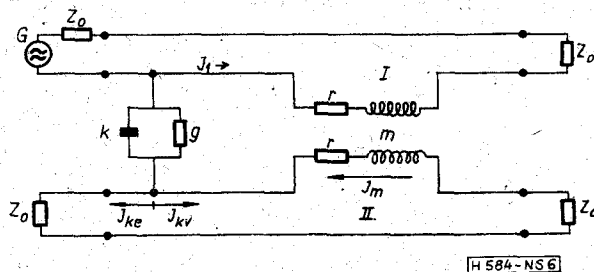
4. ábra

H 584-NS 4



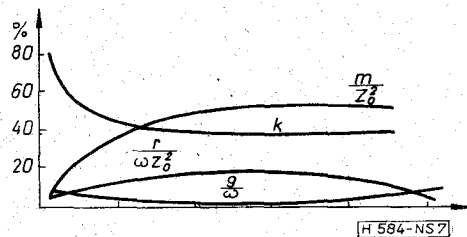
5. ábra

H 584-NS 5



H 584-NS 6

6. ábra



H 584-NS 7

7. ábra

Az üzemi levezetésénél szereplő  $R_{\bar{u}}$  az áramkör veszteségi ellenállása, amely 800 H-en jó közelítéssel megegyezik az egyenáramú hurokellenállással.

Az áramkör veszteségi tényezőjét jellemző  $G/C$  viszony a fentiek figyelembevételével a következő:

$$\frac{G_{\bar{u}}}{C_{\bar{u}}} = \left( R_N - \frac{R_h}{3} \right) \omega^2 C_{\bar{u}}$$

### Csatolások

Az áramkörök közötti áthallást az okozza, hogy a vonalra adott energia nemcsak az adótól a vevő felé terjed, hanem az áramkörök közötti csatolásokon keresztül egyik áramkörből a másikba is. A csatolások lehetnek mágneses és kapacitív csatolások, melyek komplex mennyiségek. E csatolások a következőképpen ábrázolhatók (6. ábra).

A két áramkör közötti eredő csatolás

$$K = \left( \frac{g}{\omega} + jk \right) \pm \frac{\left( \frac{r}{\omega} + jm \right)}{Z_0^2}$$

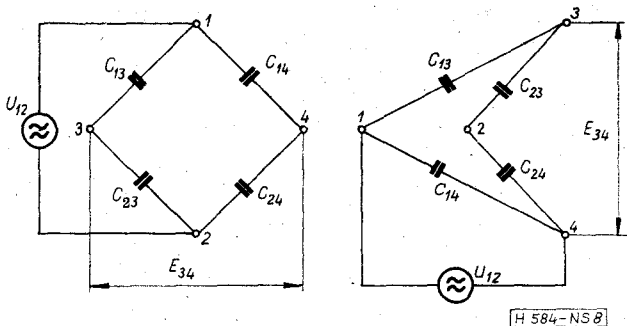
ahol  $K$  az eredő csatolás;

- $k$  a kapacitív csatolás képzetes összetevője;
- $g$  a kapacitív csatolás valós összetevője;
- $m$  a mágneses csatolás képzetes összetevője;
- $r$  a mágneses csatolás valós összetevője.

A képletben szereplő  $+$  jel a közlő,  $-$  jel pedig a távollevő eredő csatolásokra vonatkozik. A zavaró áramok a II. áramkör elején összegeződnek, a végén pedig kivonódnak. Az egyes csatolásfajták százalékos megoszlása a 7. ábrán látható.

### Kapacitív csatolás

Az MKM által gyártott hírközlő kábelek egy-két kivételtől eltekintve négyes felépítésűek. A 8. ábra egy csillagnégyes és egy  $DM$  négyes ereinek geometriai



8. ábra

elhelyezését, valamint az erek között jelentkező részkapacitásokat mutatja. Az I. törzsáramkört az 1. és 2., a II. törzsáramkört pedig a 3. és 4. ér alkotja. A négyesen belül az erek között a  $C_{13}$ ;  $C_{14}$ ;  $C_{23}$ ;  $C_{24}$  részkapacitások jelentkeznék, melyek egy hidat alkotnak.

Ha ez a híd nincs kiegyenlítve, akkor az  $U_{12}$  zavaró feszültség hatására a 3. és 4. ér között az  $E_{34}$  üresjárás feszültség jelenik meg.

$$E_{34} = U_{12} \left[ \frac{\frac{1}{j\omega C_{14}}}{\frac{1}{j\omega C_{14}} + \frac{1}{j\omega C_{24}}} - \frac{\frac{1}{j\omega C_{13}}}{\frac{1}{j\omega C_{13}} + \frac{1}{j\omega C_{23}}} \right]$$

Az egyenletet rendezve, a  $k_1 = C_{13} + C_{24} - C_{14} - C_{23}$  jelölést bevezetve, valamint a  $C_{13} \approx C_{14} \approx C_{23} \approx C_{24} \approx C$  közelítéssel élve.

$$E_{34} = U_{12} \frac{k_1}{4C}$$

Ha  $k_1 \neq 0$ , akkor a 3. és 4. érre jutó feszültséget a 9. ábra alapján kaphatjuk.

$$U_{34} = E_{34} \cdot \frac{R_k}{R_b + R_k},$$

ahol

$$R_b = \frac{1}{j\omega C}$$

$$R_k = \frac{Z_2}{2},$$

így az áthallási feszültség

$$U_{34} = U_{12} \frac{\omega k_1 Z_2}{8},$$

ill. a  $K$  eredő csatolás bevezetve

$$U_{34} = U_{12} \frac{\omega K Z_2}{2},$$

ahol

$$K = \frac{k_1}{4}.$$

Mint az eddigiekből látható, az I. áramkörből a II. áramkörbe jutó zavaró feszültség nagyságát  $k_1$  értéke határozza meg, ha az  $U_{12}$  zavaró feszültséget, a frekvenciát és  $Z_2$ -t adottnak vesszük.

Két áramkörből kialakítható fantomáramkör ka-

pacitív csatolása a törzsáramkörhöz a 10/a és 10/b ábra alapján a  $k_1$  csatoláshoz hasonlóan levezethető.

Az I. törzsáramkör és a fantomáramkör közötti kapacitív csatolást  $k_2$ -vel, a II. törzsáramkör és a fantomáramkör közötti csatolást  $k_3$ -mal jelölve.

$$k_2 = C_{13} + C_{14} - C_{23} - C_{24}$$

$$k_3 = C_{13} + C_{23} - C_{14} - C_{24}$$

Az eredő csatolás  $K = \frac{k_2}{2}$ , ill.  $K = \frac{k_3}{2}$  lesz.

Egy négyesen belül még beszélhetünk az úgynevezett földcsatolásokról. Ezek a 11. ábra jelöléseivel a következőképpen határozhatók meg.

I. törzsáramkör és föld között  $e_1 = C_{10} - C_{20}$ ;

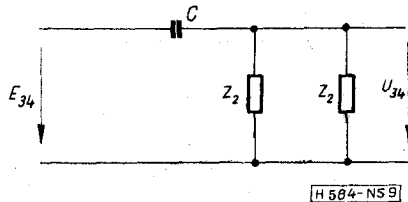
II. törzsáramkör és föld között  $e_2 = C_{30} - C_{40}$ ;

Fantomáramkör és föld között  $e_3 = C_{10} + C_{20} - C_{30} - C_{40}$ .

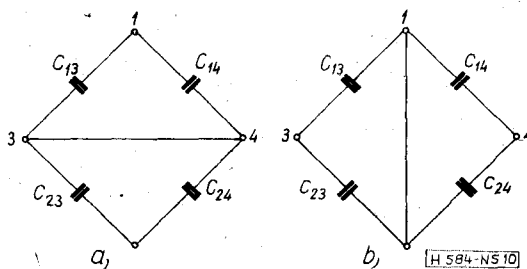
Két négyes között még 9 kapacitív csatolást lehet megkülönböztetni. Ezek a 12. ábra jelöléseivel a következők.

I. n., II. n.

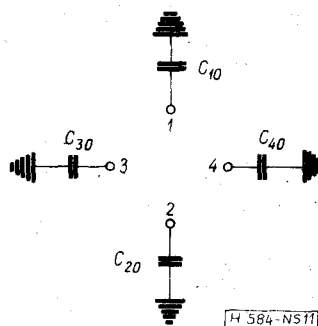
F	F	$k_4 = C_{15} + C_{16} + C_{25} + C_{26} + C_{37} + C_{38} + C_{47} + C_{48} - C_{17} - C_{18} - C_{27} - C_{28} - C_{35} - C_{36} - C_{45} - C_{46}$
1	F	$k_5 = C_{15} + C_{16} + C_{27} + C_{28} - C_{17} - C_{18} - C_{25} - C_{26}$
2	F	$k_6 = C_{35} + C_{36} + C_{47} + C_{48} - C_{37} - C_{38} - C_{45} - C_{46}$
F	1	$k_7 = C_{15} + C_{25} + C_{36} + C_{46} - C_{16} - C_{26} - C_{35} - C_{45}$
F	2	$k_8 = C_{17} + C_{27} + C_{38} + C_{48} - C_{18} - C_{28} - C_{37} - C_{47}$
1	1	$k_9 = C_{15} + C_{26} - C_{16} - C_{25}$
1	2	$k_{10} = C_{17} + C_{28} - C_{18} - C_{27}$
2	1	$k_{11} = C_{35} + C_{46} - C_{37} - C_{45}$
2	2	$k_{12} = C_{37} + C_{48} - C_{38} - C_{47}$



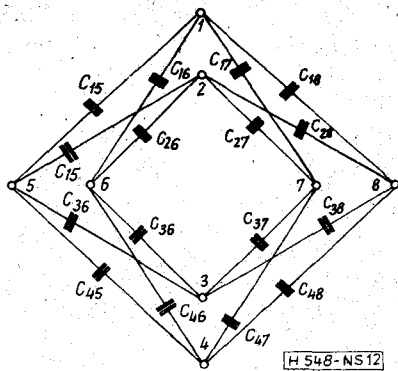
9. ábra



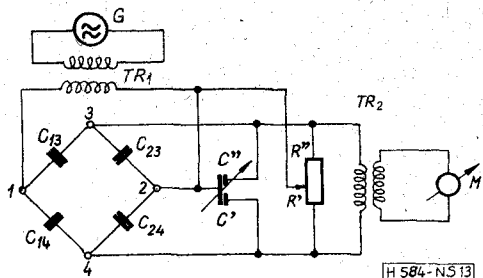
10. ábra



11. ábra



12. ábra



13. ábra

A  $K$  eredő csatolás  $\frac{k_4 \dots k_{12}}{4}$  lesz.

Mint az eddigiekből kitént a kapacitív csatolásokat a  $k_1 - k_{12}$ -ig és  $e_1 - e_3$ -ig a részkapacitások alkotta híd kiegyenlítetlensége okozza. Ezzel már adva is van a mérési módszer. A kiegyenlítetlenségének mértékét kell meghatározni. A csatolások mérésére alkalmas hídkapcsolást a 13. ábra mutatja.

A hidat a  $TR_1$  transzformátoron keresztül a 800 Hz-es  $G$  generátor táplálja. A híd kimenetelén kapott jelet a  $TR_2$  transzformátoron keresztül az  $M$  nullindikátor jelzi. Egy kapcsoló egység (az ábrán nincs feltüntetve) a műszerhez csatlakoztatott két négyes ereit a kívánt kombinációba kapcsolja. Az ábrán a  $k_1$  csatolás mérésére létrehozott kapcsolást tüntettük fel. A hidat a  $C' + C''$  differenciál kondenzátorral lehet kiegyenlíteni.

A hídegyensúly feltétele:

$$C_{13} + C_{24} + C' - C_{23} - C_{14} - C'' = 0.$$

A kiegyenlítés folyamán tehát a differenciál kondenzátorral egyik vagy másik hídághoz adunk plusz kapacitást. A kiegyenlített híd 3. és 4. pontja között nincs feszültség, ami a nullindikátorral jelezhető. A  $k_1$  csatolás értéke  $(C' - C'')$ -vel egyenlő. Ez az érték közvetlenül olvasható le a differenciál kondenzátor skálájáról.

### Induktív csatolás

Két vezetékpár közötti induktív csatolás mértéke a zavaró áramkörben folyó áram által a zavart áramkörben indukált feszültség nagysága.

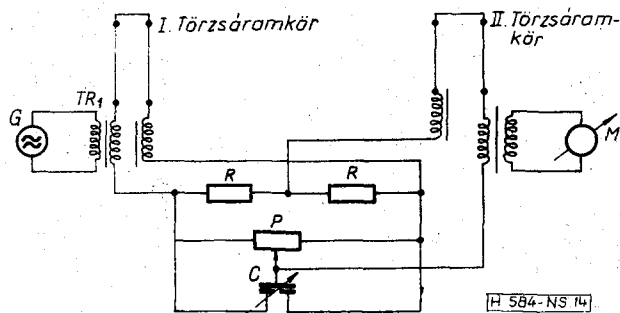
Az induktív csatolás a  $k$  kapacitív csatoláshoz hasonlóan  $m_1 - m_{12}$ -ig terjedő kapcsoláskombinációban

mérhető. Egy induktív csatolás mérésére alkalmas kapcsolás látható a 14. ábrán. A  $G$  generátor a  $TR_1$  transzformátoron keresztül táplálja a végén rövidre zárt I. törzsáramkört. A II. törzsáramkörben indukált feszültséget a  $P$  potenciométerrel és a  $C$  differenciál kondenzátorral lehet kiegyenlíteni, így a  $TR_2$  transzformátor kimenetén nem kapunk feszültséget, amit az  $M$  nullindikátorral lehet érzékelni. A  $C$  differenciál kondenzátort nHy osztású skálával ellátva az  $m$  mágneses csatolás közvetlenül leolvasható.

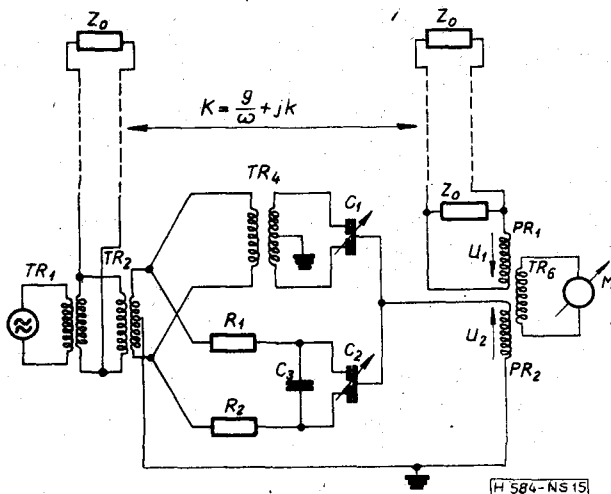
### Komplex csatolás

A komplex csatolást üzemi lezárások mellett lehet mérni, vagyis a kapacitív és induktív csatolás mérésekor az érpárok végeit  $Z_0$  hullámellenállással kell lezárni. A méréskor olyan műszer szükséges, amelyen  $g/\omega$ ,  $r/\omega$ ,  $k$  és  $m$  értékeit külön-külön mérni lehet. A komplex kapacitív csatolás a 15. ábrán látható kapcsolásban mérhető.

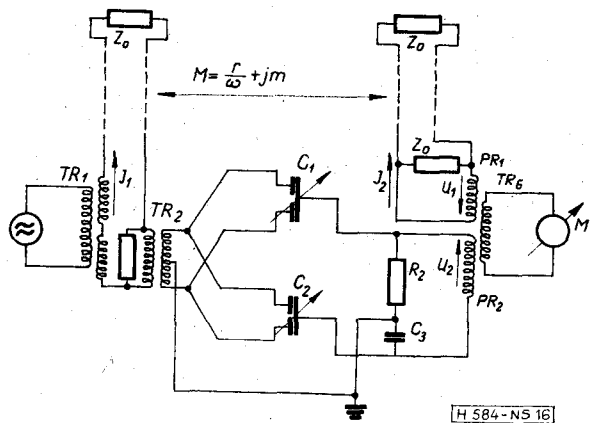
A  $G$  generátor feszültsége a zavaró áramkört képező I. áramkörre jut. Ugyanaz a feszültség a fokozatosan állítható áttételű  $TR_2$ , valamint a  $TR$ -transzformátoron keresztül a  $C_2$  differenciál kondenzátorra jut. A  $C_3$  kondenzátor értékét a mérőgenerátor frekvenciájának függvényében változtatni kell az állandó feszültségosztás eléréséhez. Ha  $R_1 + R_2 \gg 1/\omega C_3$ , akkor a  $C_1$  és  $C_2$  kondenzátorra jutó feszültség egymáshoz képest  $90^\circ$ -kal tolódik el. A II. áramkörben a csatolási tényezővel arányos feszültség keletkezik. Ez



14. ábra



15. ábra



16. ábra

a feszültség a  $TR_6$  transzformátor primer tekercsére ( $PR_1$ ) jut. Ugyanennek a transzformátornak a másik primer tekercsére ( $PR_2$ ) kapcsolódik a  $C_1$  és  $C_2$  differenciál kondenzátorok állásától függő nagyságú feszültség. Ha a feszültség egymást kompenzálja, a  $TR$ -transzformátor sekunder tekercsére kapcsolt  $M$  null-indikátor nem jelez feszültséget, akkor a  $C_1$  kondenzátor forgórészének a középhelyzettől való elfordulása  $g/\omega$ -val, a  $C_2$  kondenzátoré pedig  $k$ -val arányos.  $C_1$  és  $C_2$  forgórészét skálával el lehet látni, amely egy meghatározott fm mérőfrekvencián a komplex kapacitív csatolás értékét adja pF-ban.

A komplex induktív csatolás mérésére szolgáló kapcsolás a 16. ábrán látható.

Ez a csatlakozás az előzőhöz hasonlóan kompenzációs módszerrel mér. A kompenzáló feszültségek a  $TR_6$  transzformátor  $PR_1$  és  $PR_2$  primer tekercseire jutnak. Az egyik feszültség a II. áramkörben az induktív csatolás miatt indukált  $U_1$  feszültség, amely arányos a komplex csatolási tényezővel. A másik feszültség az  $R_2$  és  $C_3$  elemekből álló kapcsolás végén megjelenő  $U_2$  feszültség. A  $G$  generátor feszültsége a  $TR_1$  transzformátoron keresztül áramot hajt az I. áramkörben, amely átfolyik az  $R$  ellenálláson. Az ellenálláson az árammal arányos a feszültség. Ez a feszültség a  $TR_2$  transzformátoron át a  $C_1$  és  $C_2$  differenciálkondenzátorokra jut. Ha a  $TR_2$  transzformátor nem terheli nagymértékben az  $R$  ellenállást, és  $R_2$  sokkal kisebb, mint a  $C_2$  differenciálkondenzátor részkapacitásainak ellenállása a mérőfrekvencián, valamint  $C_3$  ellenállása sokkal kisebb, mint a  $C_1$  részkapacitásainak ellenállása, akkor  $R_2$  és  $C_3$  feszültségei egymáshoz viszonyítva  $90^\circ$ -kal tolnak el, és nagyságuk  $C_2$  és  $C_1$  forgórészének helyzetével arányos.  $C_2$  forgórészének elfordulása  $r/\omega$ -val,  $C_1$  pedig  $m$ -mel arányos feszültséget ad a kompenzáló transzformátorokra.  $C_1$  és  $C_2$  differenciálkondenzátorokat nHy osztású skálával ellátva a komplex induktív csatolás közvetlenül leolvasható.

**Áthallás**

A hírközlő kábelek beszédátvitelének minőségét nagymértékben befolyásolják a különböző zavarások. A zavarások feloszthatók torzításokra és zajokra. A torzítás a zavaró jelnek az a része, amely csak akkor van jelen az áramkör kimenetén, ha annak

bemenetén hasznos jel van. Ezek az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- a) lineáris torzítás,
- b) nem lineáris torzítás,
- c) echotorzítás (visszhangtorzítás).

A zaj a zavaró jelnek az a része, amely attól függetlenül megjelenik az áramkör kimenetén, hogy annak bemenetén van-e hasznos jel vagy sem. A zajok csoportosítása a következő:

- a) nullarendű vagy alapzajok,
- b) elsőrendű zajok vagy lineáris áthallások,
- c) nem lineáris vagy intermodulációs zajok.

Az egymáshoz közel fekvő áramkörökben a saját áramkör jelei mellett megjelennek a szomszédos zavaró áramkör jelei is. Ezt a jelenséget nevezük áthallásnak. Az áthallás mértéke az áthallási csillapítás és az áthallási védettség. Az előbbi a zavaró és az áthallott szintek különbsége, az utóbbi pedig a hasznos és az áthallott jel szintkülönbsége, ha mindkét áramkört azonos szinttel tápláljuk. Az áthallások keletkezési helyük szerint lehetnek

a) közelségi áthallások:

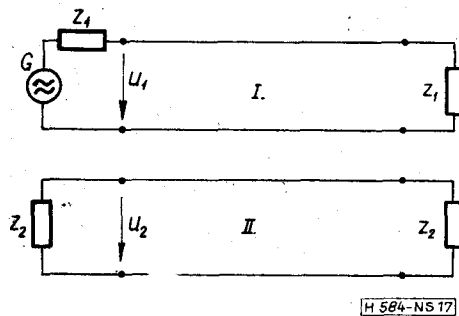
a zavarforrás és a mérőhely a zavaró és zavart áramkör ugyanazon végén van (17. ábra).

Az áthallási csillapítás

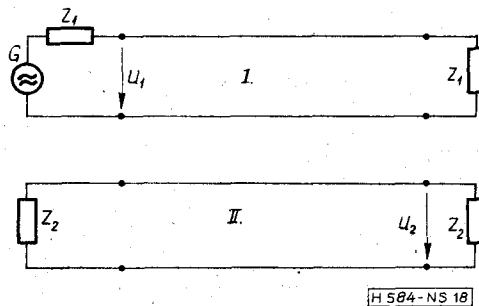
$$a_k = \ln \sqrt{\frac{P_1}{P_2}} = \ln \frac{U_1}{U_2} + \frac{1}{2} \ln \frac{Z_2}{Z_1}$$

b) távolvégi áthallás:

a zavarforrás a zavaró áramkör közeli, a mérőhely pedig a zavart áramkör távoli részén van (18. ábra).



17. ábra



18. ábra

Az áthallási csillapítás

$$a_t = \ln \sqrt{\frac{P_1}{P_3}} = \ln \frac{U_1}{U_3} + \frac{1}{2} \ln \frac{Z_2}{Z_1}$$

Ha a zavaró és zavart áramkör hullámimpedanciája megegyezik, akkor az áthallási csillapítás értéke az alábbiak szerint egyszerűsödik:

$$a_k = \ln \frac{U_1}{U_2}$$

$$a_t = \ln \frac{U_1}{U_3}$$

Az áthallási csillapítás mérése egy szintadóval és szintvevővel végezhető el.

$$a_k = \ln \frac{U_1}{U_2} = \ln \frac{\frac{U_1}{U_0}}{\frac{U_2}{U_0}} = \ln \frac{U_1}{U_0} - \ln \frac{U_2}{U_0} = S_{U_1} - S_{U_2}$$

$S_{U_1}$ , ill.  $S_{U_2}$  az abszolút feszültség szintek.

A távbeszélőtechnikában az úgynevezett vonatkoztatási feszültség és teljesítmény fogalmait vezették be. A vonatkoztatási teljesítmény és vonatkoztatási feszültség közötti összefüggés:

$$P_0 = \frac{U_0^2}{Z_0} = 1 \text{ mW} = \frac{(0,775 \text{ V})^2}{600 \Omega}$$

Azaz a 600 Ω-on mért vonatkoztatási feszültség a vonatkoztatási teljesítménynek felel meg. Egy tetszőleges U feszültség abszolút feszültség szintje:

$$S_{U_a} = \ln \frac{U}{U_0} = \ln \frac{U [\text{V}]}{0,775 [\text{V}]} [\text{N}]$$

Az abszolút teljesítményszint

$$S_{P_a} = \frac{1}{2} \ln \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \ln \frac{P [\text{mW}]}{1 [\text{mW}]} [\text{Nm}]$$

lesz.

Az abszolút teljesítmény, ill. feszültség közötti összefüggés

$$S_{P_a} = S_{U_a} - \frac{1}{2} \ln \frac{Z [\Omega]}{600 [\Omega]}$$

Vivőfrekvenciás kábeleink hullámimpedanciája a mérőfrekvencián eltér 600 Ω-tól. A különböző ellenállásértékek miatt a teljesítményszint egy konstanssal eltér a feszültség szinttől.

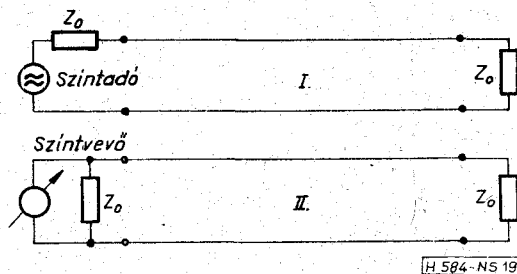
Pl.:

$$\begin{aligned} Z = 150 \Omega \text{ esetén} & \quad S_{P_a} + 0,7 \text{ N} \\ Z = 75 \Omega \text{ esetén} & \quad S_{P_a} + 1,05 \text{ N} \end{aligned}$$

Az áthallási csillapítás mérésére használt szintadó és szintvevő műszerek skálája abszolút feszültség vagy teljesítményszintre van kalibrálva.

Az áthallási csillapítás az alábbi kapcsolásban mérhető (19. ábra):

$S_{U_1}$  értéke a szintadóról,  $S_{U_2}$  értéke pedig a szintvevőről olvasható le. Ha  $S_{U_1} = [N]0N$ , akkor  $S_{U_2}$  közvetlenül az áthallási csillapítás értékét adja.



19. ábra

A távlevégi áthallási csillapítás méréséhez a szintvevőt és a II. áramkört lezáró  $Z_0$  ellenállást értelemszerűen fel kell cserélni.

Szimmetrikus kábelek esetén az áthallási csillapítást a használt frekvenciasáv felső határán (pl.  $C_3$  kábeleknél 252 kHz), koaxiális kábeleknél pedig az alsó határon (60 kHz) kell mérni.

### Hullámimpedancia

A hullámimpedanciát bármely érpáron definíciója alapján mérhetjük, azaz az érpár egyik végén hullámimpedanciájával lezárva, a másik végén a bemenő impedanciát mérve kapjuk a hullámimpedanciát. Tehát a hullámimpedancia-mérést bemenő impedancia-mérésre vezettük vissza. A hullámimpedancia komplex mennyiség. Ez az alábbi alakban írható:

$$Z_0 = |Z|e^{j\varphi}$$

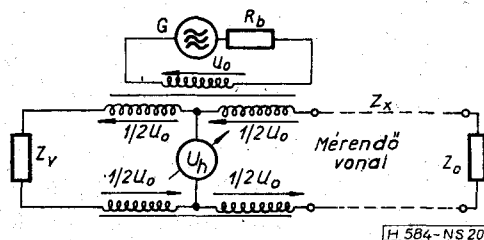
A gyakorlatban elég az abszolút érték megadása. Az érpár üresjárású és rövidzárt bemeneti impedanciáját megmérve a hullámimpedancia abszolút értéke a

$$|Z_0| = \sqrt{|Z_{ü}| |Z_v|}$$

képlettel számítható. Az érpár elsődleges paramétereit megmérve a

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

képlet felhasználásával szintén meghatározható. Az említett módszerek közül bármelyiket is használjuk, a hullámimpedancia meghatározása hosszadalmas és bonyolult lesz. A gyakorlatban olyan mérési módszerre van szükség, amely gyorsan, kevés számításal is elegendő pontosságú mérési eredményt ad. A szimmetrikus vivőfrekvenciás távkábelek hullámimpedanciájának mérését hibacsillapítás-mérésre vezetjük vissza. A mérési kapcsolás a 20. ábrán látható.



20. ábra

A differenciáltranszformátor egyik áramkörére az ismert hullámimpedanciájú  $Z_v$  művonal, a másikra pedig a  $Z_x$  hullámimpedanciájú mérendő vonal csatlakozik. A differenciáltranszformátor primer tekercsére adott  $U_0$  feszültségű  $Z_v$  és  $Z_x$  értékétől függően a transzformátor középkivezetései között  $U_h$  értékre csillapodik. A csillapodás mértéke.

$$a = S_{U_0} - S_{U_h} = \ln \left| \frac{Z_v + Z_x}{Z_v - Z_x} \right| \text{ [N]}$$

A csillapodás mértékéből  $Z_x$  értéke számítható. A számítás az erre a célra készített nomogram segítségével gyorsan elvégezhető.

A koaxiális kábelek mérésére az úgynevezett rezonancia-módszert alkalmazzuk.

A mérés elve a következő:

A koaxiális kábelek, mint kis veszteségű kábelek, hullámimpedanciája és hullámátviteli mértéke a

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{j\omega C}} = Z_v + Z_k$$

és

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)j\omega C} = \alpha + j\beta$$

képletekkel írhatók le, ahol

- $R$   $L$  és  $C$  a kábel elsődleges paraméterei;
- $Z_v$  a hullámimpedancia valós része;
- $Z_k$  a hullámimpedancia képzetes része;
- $\alpha$  a kábel hullámcsillapítása;
- $\beta$  a kábel fázisforgatása.

A képletből levezethető, hogy

$$Z_v = \frac{\beta}{\omega C}, \quad \text{ill.} \quad Z_k = -\frac{\alpha}{\omega C}.$$

Ha a kábel egyik végére feszültséget kapcsolunk, akkor lesz egy feszültség-hullám, amely a kábel eljé-  
től halad a vége felé, és lesz egy feszültség-hullám, amely a kábel nyitott végétől halad a generátor felé. Ez a két feszültség-hullám a kábel mentén összegződik, így feszültségminimumok és maximumok alakulnak ki. Az előbbiekhöz hasonlóan a végén rövidrezárt kábel mentén árammaximumok és minimumok jönnek létre. Ahol feszültségmaximum van, ott lesz áramminimum és megfordítva. Ezek a helyeken  $U$  maximum és  $I$  minimum, ill.  $U$  minimum és  $I$  maximum azonos fázisúak, így az ott mérhető impedanciák valós értékek lesznek. A feszültségminimumok a  $\beta = K \frac{\pi}{2}$  helyeken lesznek. Ezt behelyettesítve  $Z_v$  értékére kapjuk, hogy

$$Z_v = \frac{K}{4fC}.$$

Először a kapacitás értékét kell megmérni. Ezután impedanciamérő hídval azokat a frekvenciákat kell megkeresni, ahol a kábel bemeneti impedanciája tisztán valós. Ezt az  $R_e$  értéket később a hullámcsillapítás meghatározásánál fogjuk felhasználni.  $K$  értéke a

$$K = 14,5 \cdot 1_{\text{km}} \cdot f_{\text{MHz}} + 0,5$$

képlettel számítható.

## Hullámcsillapítás

A kábelben terjedő energia csillapodik és fázisforgatást szenved, amit a hullámátviteli-mérték fejez ki.

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta$$

Mint a hullámimpedancia mérésénél már szó volt róla, a kábel üreszárási és rövidzárási bemeneti impedanciájának képzetes része a fázisforgatás  $K\pi/2$  helyein zérus.

$$Z_r = Z_0 \text{ th } \gamma l = Z_0 \text{ th } (\alpha + j\beta)l$$

$$Z_{\bar{r}} = Z_0 \text{ cth } \gamma l = Z_0 \text{ cth } (\alpha + j\beta)l$$

a  $\beta = K \frac{\pi}{2}$ -t behelyettesítve, páros  $K$  esetén kapjuk

$$\text{th } \alpha l = \frac{Z_v}{R_e}$$

ahol  $Z_v$  a hullámimpedancia valós része, amit már ismerünk.

$R_e$ -t szintén a hullámimpedancia meghatározásánál mértük.

th  $\alpha l$  értékét táblázatból lehet kikeresni. th  $\alpha$  a hossz ismeretében számítható. A gyakorlatban a fenti számítást számítógép végzi.

## Hullámimpedancia egyenletlenség

A végén hullámimpedanciájával lezárt homogén érpárba betáplált energia visszaverődés nélkül átmegy a lezárársba. Ha azonban az érpárt nem a hullámimpedanciával zárjuk le, akkor az energia egy része visszaverődik a tápláló generátor felé. Gyártástechnológiai okok miatt tökéletesen homogén érpárt előállítani nem lehet, így az érpár hossza mentén a hullámimpedancia váltakozik.

A betáplált energia a hullámimpedancia-változás helyéről visszaverődik. A visszaverődés mértéke kifejezhető

a) a reflexiós tényezővel

$$r = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

értéke  $-1 - +1$ -ig terjed;

b) ezrelékben

$$r_{\%} = \frac{\Delta Z}{2Z + \Delta Z} \cdot 1000;$$

c) a reflexiós csillapítással

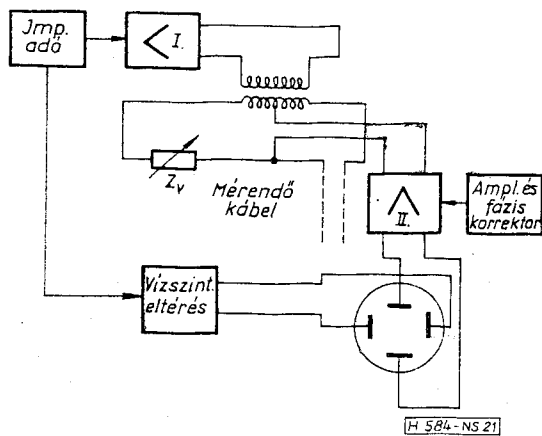
$$a_r = \ln \left| \frac{1}{r} \right| \text{ [N]};$$

d) abszolút értékkel

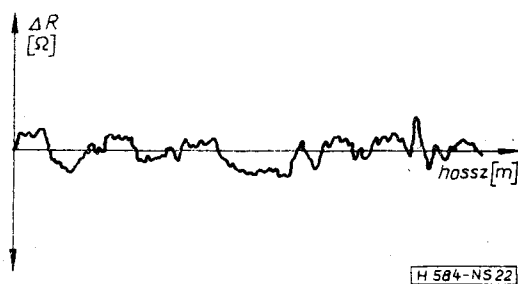
$$\Delta Z = |Z_1 - Z_2|.$$

A reflexió mértékének meghatározása impulzusvisszaverődésen alapuló műszerrel, úgynevezett echométerrel történik. Egy ilyen műszer vázlatos blokkdiagramját láthatjuk a 21. ábrán.

Az impulzusadó meghatározott alakú, szélességű és ismétlődési frekvenciájú impulzussorozatot ad az



21. ábra



22. ábra

I. erősítőn és a hídkapcsoláson keresztül a kábelre. A kábel reflexiós helyeiről az impulzusok visszaverődnek és a hídkapcsoláson a II. erősítőn keresztül a katódsugárcső függőleges eltérítő lemezeire jutnak. A kábel különböző helyeiről visszaverődött impulzusok a terjedési sebességnek megfelelő eltolódással jelennek meg a képernyőn, ahol egy álló reflexiós görbét kapunk. Az impulzus terjedési sebességének ismeretében az egyes reflexiós pontok helyei meghatározhatók. Egy adott kábeltípusnál a képernyő vízszintes skálája m-ben kalibrálható.

A visszavert impulzus amplitúdója arányos a reflexió mértékével. Ha amplitúdó és fáziskorrekciót végez a műszer, akkor a reflexiós görbéről közvetlenül leolvasható a reflexió nagysága.

A 22. ábrán egy 1,2/4,4 mm típusú kiskoaxiális érpár reflexiós görbéje látható. Az adóimpulzus szélessége 60 nsec. A vízszintes tengely m-ben, a függőleges Ω-ban van kalibrálva.

A műszerrel meghatározhatók a kábel végimpedanciái is. A hídkapcsoláshoz egy kiegyenlítő művonal csatlakozik, amellyel biztosítani lehet a kábel illesztését a műszerhez. Ha a művonal impedanciája megegyezik a kábel bemenő impedanciájával, akkor az impulzus reflexió nélkül megy át a kábelbe. Ellenkező esetben a kábel bemeneténél az illesztetlenségnek megfelelő reflexió jelentkezik, amely jól látható a katódsugárcső ernyőjén. Ha tehát a kezdeti reflexiót a művonal állításával minimálisra csökkentjük, akkor a művonal egyenáramú ellenállását a kábel bemenő impedanciájaként fogadhatjuk el.

Ez az érték leolvasható a művonal skálájáról, vagy — mint például a FOG 102 műszernél — a művonal külön erre a célra készült kivezetésén megmérhető.

Egyes echométerekkel megmérhető a kábel, vagy annak egy meghatározott szakaszának egyenértékű reflexiós tényezője. Az egyenértékű reflexiós tényező egy adott kábelszakaszt úgy jellemez, mintha a szakasz összes reflexiója egy helyen lenne. Mérése olyan integráló taggal történik, amely a kiválasztott szakaszból visszaverődő energiát összegzi.

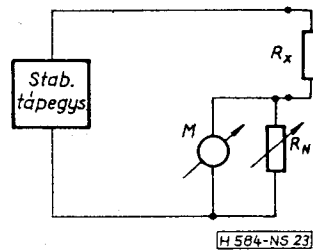
Szigetelési ellenállás

Egy kábel áramvezetőinek egymáshoz és a kábel fémköpenyéhez meghatározott nagyságú szigetelési ellenállással kell rendelkezniük. A 23. ábrán látható egyszerűsített kapcsolás mutatja a szigetelési ellenállás mérését.

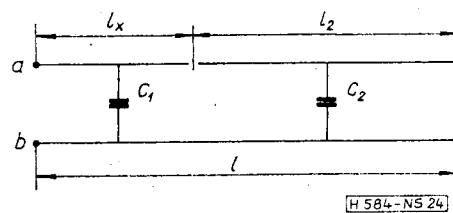
A stabilizált tápegység fokozatosan állítható feszültséget ad az  $R_x$  mérendő és az  $R_N$  etalon ellenállás által alkotott feszültségosztóra. Az  $R_N$  ellenálláson eső feszültség az  $R_x$  ellenállással arányos, így az  $M$  feszültségmérő műszer  $M\Omega$ -ban kalibrálható.

Hibahelymérések

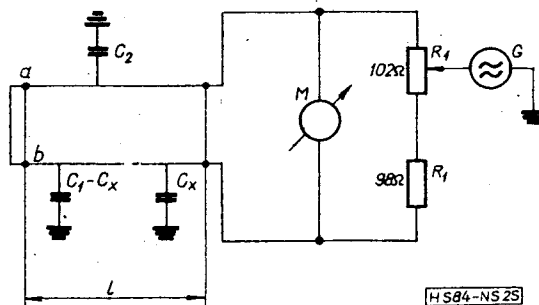
Kábeleink a gyártás folyamán a legnagyobb elővigyázatossággal ellenére is meghibásodhatnak. A hibákat még gyártás közben, vagy a gyártás befejezése után ki kell javítani. Az előforduló hibák (zárlat, szakadás, magas kapacitív csatolás, magas reflexió) többnyire helyi jellegűek. A javításhoz tehát meg kell ha-



23. ábra



24. ábra



25. ábra



tározni a hiba helyét. A következőkben néhány hibahelymérés módszert ismertetünk.

Valamely áramvezető ér szakadásának helyét kapacitásméréssel határozhatjuk meg. Megmérjük egy jó és egy szakadt ér kapacitását a kábel mindkét végéről. A 24. ábra jelöléseivel a szakadás helye:

$$l_x = l \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

Ugyancsak kapacitásmérésen alapul az alábbi módszer.

A méréshez a vezetők arányekolással képzett kapacitását lehet felhasználni. A részkapacitások és az  $R_1$   $R_2$  ellenállások által képzett híd egyensúlyának feltétele a 25. ábra alapján

$$R_1 \frac{1}{\omega C_2} = (200 - R_1) \frac{1}{\omega(2C_1 + C_x)}$$

amiből

$$l_x = l \frac{R_1}{100}$$

A zárlatok helyének meghatározását mutatja a 26. ábra.

Az ábrán látható módon megfelelő teljesítményű hanggenerátorral tápláljuk a zárlatos érpárt. A  $T$  érzékelőtekercset végighúzva a kábel fölött, a fejhallgatóban addig halljuk a hanggenerátor jelét, amíg a zárlat helyét elérjük. Ércsere okozta magas kapacitív csatolásnál az ércsere helyét az alábbiak szerint kell meghatározni...

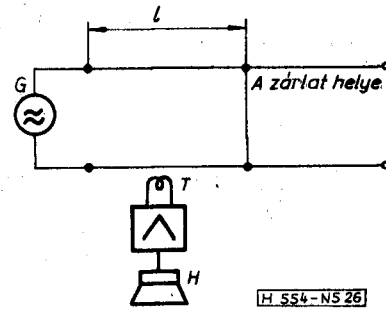
Kétszer kell megmérni a  $k_1$  csatolást arról a végről, ahol az erek sorrendje megfelelő. Az első esetben az ereket helyes sorrendben csatlakoztatjuk a műszerre. Az így kapott eredményt jelöljük  $k_1'$ -vel. Másodszor az ércsere sorrendjében csatlakozunk a műszerre, és a kapott eredményt  $k_1''$ -vel jelöljük.  $k_1'$  csatolást gyakorlatilag az  $L_{II}$  szakasz csatolásának vehetjük, mert az  $L_I$  szakasz csatolása elhanyagolható az  $L_{II}$ -éhez képest, ahol oldalkapacitásként a párok üzemi kapacitásai szerepelnek, a  $k_1''$  értéket pedig a teljes  $L$  hossz csatolásának vehetjük az előbbi megfontolás miatt. Így a csatolás helye

$$L_{II} = \frac{k_1'}{k_1' + k_1''}$$

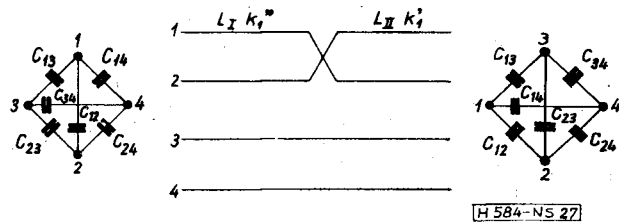
lesz.

A reflexiómérésnél ismertetett echométer univerzálisan használható hibahely-meghatározáshoz. A szakadás, ill. a zárlat a hullámimpedancia megváltozását jelenti. Az előbbi végtelen, az utóbbi pedig nulla ellenállású lezárást képvisel. Az echométer képernyőjén ezek mint nagy reflexiók jelennek meg, melyek helyei a vízszintes tengelyről leolvashatók. A csatolási, ill. áthallási hibák helymeghatározása az alábbiak szerint történik. A zavaró érpárt az impulzusadóra kapcsoljuk, a zavartat pedig a II. erősítő bemenetére. Ekkor a képernyőn a csatolás eloszlása jelenik meg. Ilyen görbe látható a 28. ábrán.

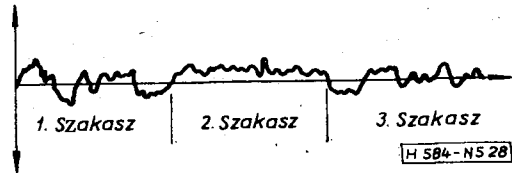
Látható, hogy a görbe 1. és 3. szakaszában a pozitív és negatív csatolások váltakozva követik egymást, így kiegyenlítődnek. A középső harmadban viszont egyoldalúak, tehát a kábel magas csatolását ez a szakasz okozza. A szakasz kezdő és végpontja a reflexiók helyéhez hasonlóan határozható meg.



26. ábra



27. ábra



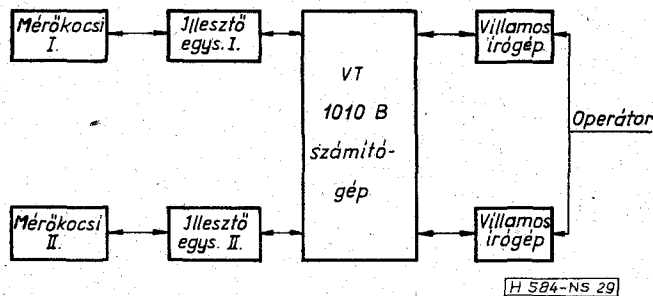
28. ábra

### Automatikus mérések

Hírközlő kábelek mérési igényét a hagyományos, manuálisan végzett mérésekkel egyre nehezebben lehet kielégíteni. A gyártott érkilométerek növekedésével nő a vizsgálandó kábelek száma is, melyek mérése több műszert, embert és időt igényel. A gyártás-közi ellenőrzésnél a mintavételezéses ellenőrzés bevezetése bizonyos mértékig megoldható. Ez lényegében azt jelentené, hogy nem minden gyártási fázis után kell minden paramétert mérni, hanem csak a legjellemzőbbeket. Azonban nagy veszélyt jelent, hogy esetleg túl későn veszik észre a hibát, ami a selejtes kábelek számát növelné meg. Végellenőrzésnél ilyen módszerrel nem lehet a mérések számát csökkenteni. Megfelelő megoldást tehát csak a mérések automatizálása jelenthet. Automatikus mérőműszerek, ill. mérőautomaták beszerzésénél gondosan meg kell vizsgálni a műszaki, szervezési és gazdasági szempontokat. Ahhoz, hogy eldönthessük, mely méréseket célszerű automatizálni, mindenekelőtt a jelenlegi állapotot kell szemügyre venni. Mit, hogyan, milyen költségekkel mértünk eddig, majd ezt összehasonlítani az automata által létrehozandó eredményekkel.

Egy automatától elvárható előnyök a következők:

- csökkentse az előkészületi munkák idejét;
- a mérési idő nagymértékű csökkentése;
- szubjektív mérési hibák kiküszöbölése;
- nagy mérési pontosság;
- a mérési adatok feldolgozása;
- a kezelőszemélyzet csökkentése;
- a továbbfejlesztés lehetősége.



29. ábra

A mérések automatizálásához vezető út első szakaszát jelenthetik az egyedi digitális kijelzésű olyan automata mérőműszerek, melyekhez nyomtató berendezés is csatlakoztatható. Ilyen műszerünk a digitális ellenállásmérő, a digitális kapacitás és kapacitív csatolásmérő műszer. Ezeknél az előkészületi munkák még nem, vagy csak kis mértékben csökkenthetők. A mérések viszont automatikusan mennek végbe és lehetőség van jegyzőkönyv nyomtatására. Mérési pontosságuk megfelelő. A kezelőszemélyzet írószerkezet alkalmazásával csökkenthető. Az ilyen egyedi, automatikus mérőműszerek megfelelő megválasztásával a későbbiek folyamán számítógépes vezérlésű mérőautomata alakítható ki. A mérés-

sek automatizálását az olyan programvezérelt mérőautomaták jelentik, melyek a kiválasztott programnak megfelelően a kábel jellemző adatainak ismeretében a méréseket, a szükséges számításokat és a jegyzőkönyvet automatikusan végzik, ill. készítik el. A telefon- és távkábelek mérése a HIKI gyártmányú mérőautomatát vásároltuk meg. Kiválasztásánál döntő szempont volt, hogy két különálló mérőegységgel rendelkezik, így egyidejűleg két különböző szerkezetű kábel mérhető vele. Az automata felépítését a 29. ábra mutatja.

Az automata központi egységét a VT 1010 B kis-számítógép, a két ASR 33 típusú villamos írógép, és a két illesztőegység alkotja. A két illesztőegység kapcsolja a két mérőkocsit a központi egységhez. A kábel csatlakoztatása a mérőkocsihoz tartozó befogópófkával történik. A mérőprogramok lyukszalagon vannak rögzítve. Gyors betöltésüket gyorsolvasó biztosítja. Az automatával a következő paraméterek mérése, ill. számítása végezhető el:

- egyenáramú ellenállás, ellenállásdifferencia;
- üzemi kapacitás;
- üzemi levezetés;
- kapacitív csatolás.

A megfelelő program betöltése után először a villamos írógép a fejlécet írja ki:

MKM BUDAPESTI KABELGYAR HIRKOZLO MEO

KELT: 1977. 09. 25; IDO: 11. 45; MERTE: GATSADINE, MAJORNE;

TIPUS: KGSZ—48.3501; 27\*4\*0,9 DM;

OSSZ SZAM: 344; DOBSZAM: 203533/FA;

VISSZAIG. SZAM:

GEPI KOD: 11; 27; HOSSZ (M): 311,0;

HOMERSEKLET: 23,0;

KOSZORU ATMENETEK: 3-3-9-15;

DIMENZIOK: R=OHM\*10 EXP TENYEZO C, K, E=PF\*10 EXP TENYEZO

G=NANO S\*10 EXP TENYEZO

JELZES: < ELOIRT MAX. ERTEKNEL NAGYOBB

JEL

R1	R2	RD1	RD2	RDF	C1	G1	C2	CF	E1	E2	E3
K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12

TENYEZOK

-2	-2	-2	-2	-2	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NEVL. ERT.

5510	5510	0000	0000	0000	3850	0000	3850	0000	0000	0000	0000
0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000

MAX. ERT.

5720	5720	0057	0057	0114	4230	0106	4230	6780	0811	0811	1622
0114	0283	0283	0189	0148	0148	0148	0148	0148	0148	0148	0148

A fejléc kiírása közben kell a kábelre, ill. a mérésre jellemző adatokat begépelni a jegyzőkönyvbe. A fejléc elkészítése után a számítógép elindítja a méréseket és az eredményeket kiírja.

A mérések lefutása után a mérési eredmények értékelése következik.

MŰSZAKI VILÁG

KABELRE  
MIN

5190 5179 3858 0022 3855 6276 0001 0016

MAX.

5495 5481 0050 0028 0014 4254 0035 4257 7096 0190 0190 0630  
0066 0224 0229 0067 0055 0044 0042 0042 0040 0030 0027 0042

ATL

5274 5266 0009 0006 0004 4064 0028 4064 6625 0056 0066 0179  
0022 0069 0047 0014 0014 0015 0012 0011 0013 0011 0008 0017

MIN/ATL

0984 0983 0949 0785 0948 0947

MAX/ATL

1041 1040 5555 4666 3500 1046 1250 1047 1071

ATL/NEV

0957 0955 1055 0006 1055 1018

CATL = 4064

1000\*GATL/CATL = 0006

1000\*CFANT/1,6CATL = 1018

1000\*CMIN/CATL = 0948

1000\*CMAK/CATL = 1047

1000\*CATL/CNEVL = 1055

A számítógép szalaglyukasztója a jegyzőkönyv-írással egyidőben lyukszalagot készít, amely lehetővé teszi a mérési eredmények további feldolgozását, értékelését. Mint már szó volt róla, a mérőautomaták-kal szemben támasztott egyik követelmény az egyszerű továbbfejlesztettség.

A HIKI mérőautomata mérőkocsija csak a már ismerttetett mérések elvégzésére alkalmas. Ahhoz, hogy a mérések számát növelhessük, új mérőkocsi készítése vagy a meglévők átépítése szükséges. A Siemens cég által kifejlesztett Pegamat rendszer jó példája az egyszerű bővíthetőségnek. A rendszer alapkiépítésében egy vezérlő készülékből és egy vagy két vezérelhető mérőműszerből áll. A vezérlőegység a betáplált mérőprogramnak megfelelő 12 bites szóból álló vezérlőjelet egyidejűleg minden mérőműszerhez eljuttatja. A mérőműszerek címozonosítással rendelkeznek, melyek csak akkor lépnek működésbe, ha a vezérlőjel első 8 bitjét elfoglaló címben a saját címét ismeri fel. Ebben az esetben a cím után következő utasítás a műszer saját tárolójába kerül, amely továbbadja a megfelelő vezérlőáramkörnek. Ezen a módon a lyukszalagon kódolt formában jelenlevő minden beállítási információ egymás után eljut a megfelelő tárolóba, amely meghatározza a kapcsoló kapcsolási helyzetét, és a mérés elvégezhető. A rendszerbe utólag beépíthető műszerek számának felső határát az határozza meg, hogy 8 biten maximum 256 különböző cím állítható be.

Az automatikus mérések megvalósítása a gyártás-közi ellenőrzést rendkívül hatékonyvá teheti. Jelenleg a kábeleket két gyártási fázis között ellenőrzik, tehát már csak a meghibásodás tényét lehet megállapítani, megfelelő berendezésekkel viszont a gyártási

fázis közben folyamatosan lehet ellenőrizni a lényeges paraméterek alakulását. Az előre megállapított tűrésmező túllépése esetén lehetővé válik az azonnali beavatkozás. Tehát már nem a hiba megállapítása, hanem megelőzése lehetséges. Itt elsősorban a műanyag érszigetelésre és négyesítésre gondolunk. Műanyagtömölésnél a következő paraméterek ellenőrzése szükséges: érszigetelés falvastagsága, excentricitás. Négyesítésnél pedig a kapacitív csatolás alakulása jöhet szóba. Különböző gépeknél elhelyezett mérőegységeket egy központi számítógép vezérelheti, amely azután a kapott mérési eredményeket kiértékeli és szükség esetén jelzést ad a beavatkozásra, vagy esetleg automatikusan el is végzi azt. A mérési eredményeket tárolja az esetleges további feldolgozáshoz, ill. rendelkezésre állnak — mint a gyártásközi ellenőrzés dokumentumai.

Az MKM-ben a mérésautomatizálás első lépését a HIKI gyártmányú mérőautomata üzembeállításával már megtettük. A műanyag-szigetelésű telefonkábelek vizsgálatához szükséges műszerezettséget a most folyó beruházás fogja biztosítani. A meglévő műszerpark felújítása pedig a rekonstrukció keretében válik lehetővé.

I R O D A L O M

- [1] Hegedűs Miklós: Műszer és méréstechnika (főiskolai jegyzet) Bp. 1972.
- [2] Pattantyús: Gépész- és villamosmérnökök kézikönyve. 10. kötet. Bp. Műszaki K. 1969.
- [3] Simon Béla: HIKI kábelmérő automata (tanulmány)
- [4] Kertész Ilona: Hazai gyártmányú koaxiális kábelek elektromos jellemzőinek minősége (PKI) 1974.
- [5] Vukovics—Felsővárti: Karbantartás és hibahelymérés távközlési hálózatokon.