

Relék (jelfogók) tranziens lengéséből eredő zaj

ETO 621.318.5-76 2:621.391.822

Olyan elektromos hálózatokban, amelyek jelfogó-kontaktusokat tartalmaznak — egyéb zavarások mellett — a jelfogó mechanikai rezgései is lehetnek zavarforrások. Ilyen mechanikai zavaró tényezők keletkezhetnek kapcsológépek működése, épület lengése vagy szomszédos jelfogók (vagy jelfogósorok) működése következtében. Jelen esetben ez utóbbi zavarokeltést és hatásait kívánjuk elemezni.

A jelenség nem elhanyagolható, mivel a működtetett jelfogók, ez esetben a jelfogó-szerelősíneket képező rudak lengéseit okozzák. Ez a lengés olyan mértékű lehet, hogy a működő jelfogóval azonos rúdra szerelt, nyugalomban levő (villamosan nem gerjesztett) jelfogó relatív elmozdulásához vezethet. Az ilyen nemkívánatos mechanikai csatolás a nyugalmi helyzetben levő jelfogó tranziens együttrezgését váltja ki. Extrém esetben a kontaktusállapot annyira változik, hogy zárt kontaktusok nyitnak, nyitott kontaktusok rövid ideig beremegnek. Nem elhanyagolható továbbá az sem, hogy a mechanikai lengés — zavarás — következtében a nyugalomban levő jelfogó rugórezgéseiből adódó átmeneti ellenállás változása meg nem engedhető pszofometrikus zajfeszültséget okozhat (különösen zavarólag hat ez a jelenség pl. beszédáramkörökben).

Kritikus tranziens állapot következhet be nagy forgalom-koncentrációjú áramkörökben, ahol a jelfogók működésének nagy a valószínűsége akkor, amikor pl. nyugalomban levő jelfogók érintkezői éppen egy vagy több beszédáramkör aktív állapotában vannak.

A kontaktusok mechanikai tranziens lengése

- monofrekvenciás (szinusz),
- polyfrekvenciás,
- ugrásszerű,
- lökésszerű (impulzus jellegű) zavarás nyomán keletkezhet.

A következőkben az impulzus jellegű zavaró rezgésekkel foglalkozunk. Ez esetben egy meglehetősen széles frekvenciatartományú zavarás léphet fel a jelfogóknál. Különösen a kis frekvenciák okozhatnak mechanikai lengésekből, illetve berezgésekből adódó zavarokat.

A lengés jelensége

A rezgékeltők (jelen esetben működtetett jelfogók) által okozott lengések jellege, a rezgések hullámformája és amplitúdója, valamint a gyorsulás több paramétertől függ. Tény az, hogy a szomszédosan beültetett és elektromosan működtetett jelfogók (sorok)

a fölöttük vagy alattuk szerelt, nyugalmi helyzetben levő jelfogókon a talppontban levő csavaró lengésből kiindulva a lapos jelfogó rugóinak a kontaktusnyomás irányába ható zavaró rezgését okozzák. A rugók zavaró rezgése az érintkezők átmeneti ellenállásának változását okozza, és ez a zajszint növekedése mellett kellemetlen zörejeket idézhet elő (analog módon, mint a mikrofonáramnál).

Előjáróban a jelfogó mechanikai modelljét és a szerelés módját szemléltetjük. A működési ütközéseket követően a jelfogósín keresztmetszetében nyomatékimpulzus keletkezik. A vasmagot és a horgonyt merev rudaknak tekintjük.

Esetünkben a szerelt *S* típusú jelfogó csavaró lengése a következők szerint lép fel (1. ábra).

Az *S* típusú jelfogónál fellépő elmozdulás vizsgálata során — a vasmag és jelfogósín csatlakozását sematikusán ábrázolva — a szerelt sínre ható csavaró lengő nyomatékimpulzus maximumának abszolút értéke kifejezhető és értelmezhető (2. és 3. ábra).

Tekintettel arra, hogy a jelfogótalp felfekvő felületén az anyamenet tengelye általában nem szimmetrikusan helyezkedik el, ezért a csavaró impulzus erőpár — amely a jelfogósín lengését okozza — más lesz a meghúzási és az elengedési ütközés hatására.

Ha P_e -vel, ill. P_h -val jelöljük a jelfogóvasmag végén az ütközési erőimpulzusokat és M_e -vel, ill. M_h -val a talppontban keletkező nyomatékimpulzusokat, akkor a 2. és 3. ábrák alapján a forgatónyomatékok egyenlőségéből felírhatók a következők:

Legyen rendre: $l_1 = 85$ mm; $l_2 = 4$ mm; $l_3 = 6$ mm; akkor:

Elengedésre: *Meghúzásra:*

az erőpár
karja $r_e = l_2 + 4,5 = 8,5$ mm, $r_h = l_3 + 4,5 = 10,5$ mm,

az erő $P_2 = \frac{l_1}{r_e} P_e = 10 P_e$, $P_3 = \frac{l_1}{r_h} P_h = 8,1 P_h$,

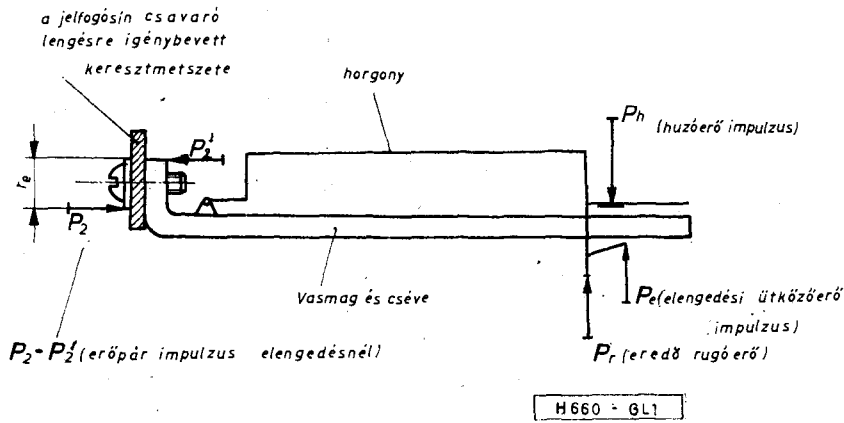
a forgatónyomaték $M_e = 85 \cdot P_e$, $M_h = 85 \cdot P_h$.

A fentiekben azt az egyszerűsítő feltevést alkalmaztuk, hogy az impulzuserőpár a jelfogótalp élei és az éllel szemben levő kerületi pontok közvetítésével hat a jelfogósínre.

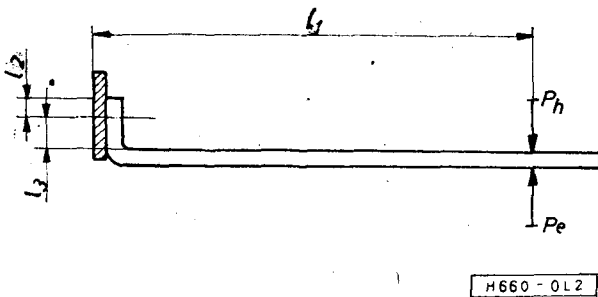
A csavaró lengés mértékére is jellemző az egységnyi hosszúságra eső elcsavarodási szög, amely egyenesen arányos a forgatónyomatékkal.

Képletben kifejezve:

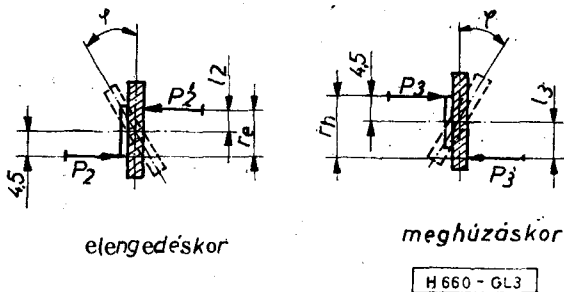
$$\varphi \approx \frac{M_{\text{forg}}}{I_t G}$$



1. ábra. Erők értelmezése a jelfogó vaskörnél



2. ábra. Merev rúdnak tekintett vasmag



3. ábra. A jelfogósín-hordozó keresztmetszetének igénybevétele

ahol:

G = az anyag E rugalmassági modulusának kb. 40%-a,

I_t = tetszőleges, de tömör keresztmetszetre számított közelítő másodrendű nyomaték.

A továbbiakban a jelfogó mágneskörét merev rendszernek tekintjük (vasmagos tekercs a szerelt horgonnyal), amely a rezgésben levő szerelősín lengését közel azonos mértékben követi. A relé szerelt rugócsomagja azonban már távolról sem merev, hanem rugalmas rendszer, amely a rezgéseket csillapított amplitúdóval, a rezgékeltő lökéseinek erősségéhez mérten és a rugók állapotának megfelelően átveszi. A rugórezgést az egyes rugók grammnyomásának beállítása és a szerelt rugócsomagban levő rugók száma is befolyásolja.

Nem elhanyagolható a rugók érintkezési és szerelési helyzete. Ez a konstrukciós felépítésből adódik.

Már az 1960-as években a nemzetközileg elismert Siemens cég nagy figyelmet fordított a rezgésekkel zavart jelfogó-érintkezőkre, és vizsgálatokat folytatott mechanikai rezgéskeltőkre visszavezethető rezgések és különböző zavaró feszültségek tárgyában. Kimutatták, hogy a Siemens lapos jelfogó nagy tehetetlenségű, de könnyen beremegő horgonya meg nem húzott állapotban igen fogékony zavaró rezgések követésére a horgonymozgás irányában (a horgony rezgéséhez már $3\cdot g$ gyorsulás elegendő). Mivel a normál horgonyerő 5 pond alatt van, az egyik végén befogott (talppont) merev jelfogó-mágneskör átveszi a csavarólengést, és horgonya a rezgékeltőtől függően rezeg. Természetesen a merev felerősítés helyett valamilyen rugós felerősítés alkalmazása csökkenti a zavaró rezgést, de csak előre nem látható mértékben.

A rugórezgésre befolyással van az érintkező rugók beállítása is. A Siemens-mérések esetében a záró érintkezők nyomásának 10 pondról 30 pondra való növelése a nemkívánatos zavarás határértékét $5\cdot g$ -ről $50\cdot g$ -re emeli. Nem így a bontó érintkezőknél, ahol 10 pond érintkezőnyomásnak 40 pondra való beállítása az érzékelhető káros zavarás határértékét $3\cdot g$ -ről csak $20\cdot g$ -re növeli. A zavaró rezgéseknek kitett bontó érintkezőknek a zárónál érzékenyebb voltát vizsgálati tapasztalataink is igazolták.

A tranziens együttlengések

A jelfogókkal működő híradástechnikai berendezéseknél fellépő zavaró feszültségek részben a szerelési apparátusok (állvány, keret, sáv, szekrény stb.) zavaró és együttrezgéseire, részben az elektromos kapcsolási folyamatoknak más (szomszédos) beszéd vagy vezérlő áramkörökre történő, nem kívánt induktív vagy kapacitív hatása révén jönnek létre.

A mechanikai rezgéseknek a jelfogó-rugókon jelentkező hatását kétféle módszerrel vizsgáltuk.

1. Villamos zajmérése

Az érzékelés igen plauzibilis formáját választottuk, amikor a zavaró lengések következtében a rugóérintkezőkön fellépő pszofometrikus zajfeszültséget mértük.

Ez a módszer első közelítésben képet ad a rezgés-keltő elhelyezésének és erősségének a nyugalmi állapotban levő jelfogó-rugókra kifejtett hatásáról.

2. Mechanikai lengés mérése

Nem gerjesztett, nyugalomban levő jelfogók mágneskör-elmozdulásainak mérése, amikor szomszédosan szerelt jelfogók működnek. A lökészerű zavarás nem periodikus gerjesztés, hanem impulzusszerű meghúzás vagy elengedés.

Ennek során relatíve kicsiny — ezred, illetve század mm — nagyságrendű, nagy sebességgel változó elmozdulások mérése történt az idő és a hely függvényében.

Szeretnénk megvilágítani azt a feltételezést, hogy ha villamosan nem működő jelfogók (S típusú) nem kívánt, zavaró tranziens lengésének kitérés amplitúdó-maximuma $\frac{k}{2}$ nagyobb, mint a jelfogó rugólábak minimális holtjáték-értéke (h), akkor a mozgató kártya feltétlenül eléri a mozgó rugók lábait.

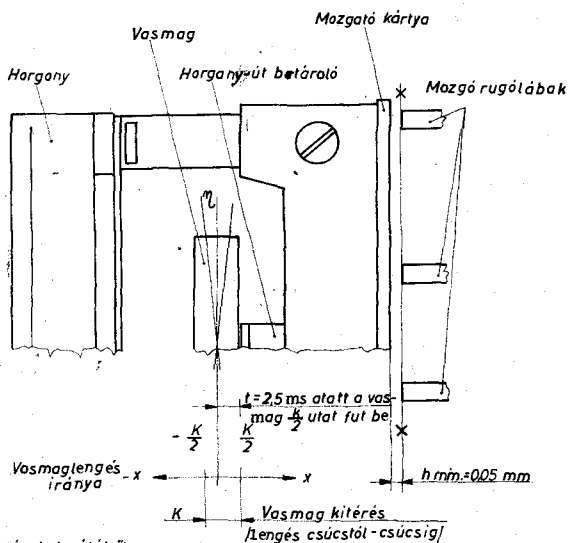
Ezt a zavarmentes mechanikai konstrukcióra vonatkozó megállapítást a következő összefüggés fejezi ki:

$$\frac{k_{max}}{2} < h_{min} \pm \epsilon,$$

ahol $\epsilon > 0$ a cséveoldallap élének érdességéből és a rugólábak szórásából adódó állandó.

Szemléltetés céljából a 4. ábrán az elmondottakhoz felvázoljuk az S típusú jelfogó vaskörének és rugómozgatási rendszerének kinagyított részletét.

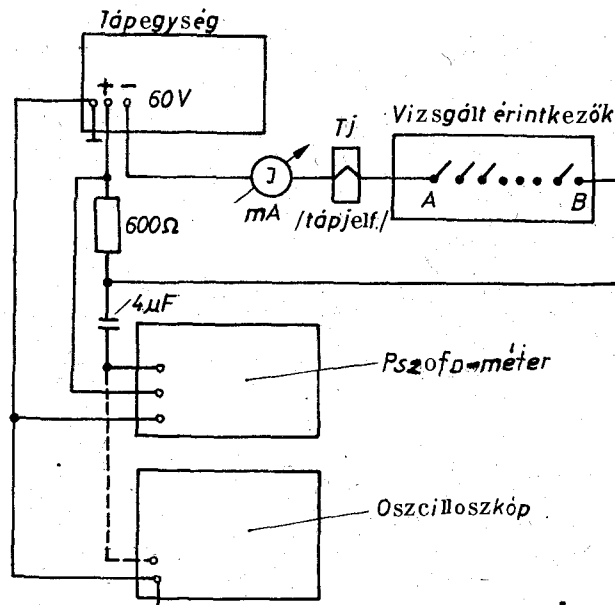
A vizsgálat tárgyát képezte — mint már előljáróban említettük — a nyugalomban levő jelfogó rugórezgéseiből adódó átmeneti ellenállásváltozás és az ebből következő pszofometrikus zajfeszültség mérése, amely a zavaró rezgések intenzitásától és a zavart jelfogók konstrukciós (és szerelési) körülményeitől függ. Egyes esetekben a zajfeszültség csúcsai



η szerelés helyzetéből adódó szög

H660 - GL4

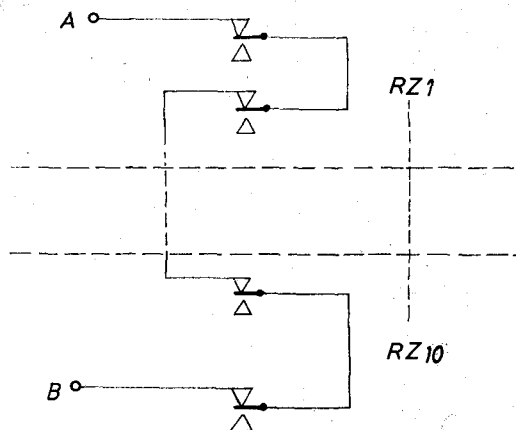
4. ábra. S típusú jelfogó vasköre és rugómozgató-rendszere



H 660 - GL5

5. ábra. A mérés kapcsolási vázlata

olyan nagy értéket vettek fel, hogy a bekötött nyugalmi érintkezőkön pillanatnyi bontás következett be. A mérési kapcsolás az 5. ábra szerinti volt.



RZ1 - RZ10 - zavart relék (10 db)

H66 - GL6

6. ábra. A mért érintkezőpárok kapcsolása

1. táblázat

Sor	Jelfogók megnevezése	Jeli. rugók száma (db)	Megjegyzés
1.	A ₁ — 10	16	A működtetett jelfogókat M jelzéssel, a zavart (mért) jelfogókat Z jelzéssel látjuk el.
2.	B ₁ — 10	16	
3.	R ₁ — 10	6	
4.	C ₁ — 10	18	

Jelfogók megnevezése		Működés fázisa	I mérő-áram [mA]	Pszofometrikus zajfesz. szintje [mV]	Szerelés módja	Megjegyzés	
működtetett	zavart						
C ₁₋₁₀ M	R ₁₋₁₀ Z	meghúzás	25	0,35	Normál merev felerősítés	C jelfogók tekercsel párhuzamos diódával működésre készítelve	
		elengedés		0,22			
		period. műk.		0,40			
		meghúzás	50	0,40			—''—
		elengedés		0,25			
		period. műk.		0,70			
C ₁₋₁₀ M	R ₁₋₁₀ Z	meghúzás	50	0,28	Rugós alátét a gerjesztett C ₁₋₁₀ alatt	Üzemszerűen nem alkalmazható, bizonytalan meghatározású szerelés	
		elengedés		0,45			
		period. műk.		0,80			
		meghúzás	50	0,28	Ua. fellazított csavarokkal		
		elengedés		0,27			
		period. műk.		0,70			
B ₁₋₁₀ M	R ₁₋₁₀ Z	meghúzás	25	0,45	Normál merev felerősítés		
		elengedés		0,60			
		period. műk.		1,00			
B ₁₋₁₀ M	R ₁₋₁₀ Z	meghúzás	50	0,55	Normál ált. szerelés	A gerjesztett jelfogók elengedésekor a fesz. csúcsok érintk. bontást is előidéznek egyes R-eknél	
		elengedés		300—500			
		period. műk.		300—500			
A ₁₋₁₀ M C ₁₋₁₀ M együttesen	R ₁₋₁₀ Z	meghúzás	25	0,60	Normál általános szerelés	Bontás esetenként Gyakori megszakítások	
		elengedés		300—500			
		period. műk.		300—500			
		meghúzás	50	300—500			Bontás esetenként Igen gyakori megszakítások
		elengedés		300—500			
		period. műk.		300—500			
C ₆₋₁₀ M	B ₆₋₁₀ Z	meghúzás	50	0,45	Normál (merev) szerelés	Megszakítás nincs	
		elengedés		0,00			
		period. műk.		0,90			
A ₆₋₁₀ M	B ₆₋₁₀ Z	meghúzás	50	0,90	Normál (merev) szerelés	Megszakítás nincs	
		elengedés		0,45			
		period. műk.		1,30			
C ₁₋₅ M	B ₁₋₅ Z	meghúzás	50	0,22	C ₁₋₅ rugalmas alátéttel szerelve	Érintk. bontás nincs	
		elengedés		0,45			
		period. műk.		0,70			
A ₁₋₅ M	B ₁₋₅ Z	meghúzás	50	0,40	A ₁₋₅ rug. alátéttel szerelve	Érintk. bontás nincs	
		elengedés		0,40			
		period. műk.		0,60			
C ₁₋₅ M	B ₁₋₅ Z	meghúzás	50	0,05	B ₁₋₅ (zavart) rugók alátéttel szerelve		
		elengedés		0,15			
		period. műk.		0,20			
A ₁₋₅ M	B ₁₋₅ Z	meghúzás	50	0,19		Csak környezeti zaj	
		elengedés		0,011			
		period. műk.		0,20—0,25			
C ₆₋₁₀ M	B ₆₋₁₀ Z	meghúzás	50	0,23	Normál (merev) szerelés mellett		
		elengedés		0,40			
		period. műk.		0,80			
A ₆₋₁₀ M	B ₆₋₁₀ Z	meghúzás	50	0,14			
		elengedés		0,10			
		period. műk.		0,70			

A mérőkörbe beállított áram 50 mA (egy esetben 25 mA). A vizsgálatot a biztosabb érzékelés miatt működtetett (zavaró) és nyugalmi állapotban levő (zavart) jelfogó sorokkal végeztük. A működtetett jelfogó sorok gerjesztését külön áramkörben, önálló telepről kapcsoltuk, a tekercskivezetéseket párhuzamosan kötöttük.

Mint az előzőekben már megállapítottuk, a zavaró lengésekre érzékenyebb bontó érintkezőket vizsgáltuk (a jelfogókon előforduló váltó érintkezők bontó oldalát) egymással sorba kötve, és az így nyert bontó érintkezősorokat az A és B pontokon csatlakoztattuk a mérőáramkörbe (6. ábra).

A zavart és mért jelfogóknak egyenként két váltó rugó kombinációjuk volt, amelyeknek bontó oldalát jelfogón belül is sorba kötöttük, így egy mérésnél összesen 20 db bontó rugópár volt sorba kötve.

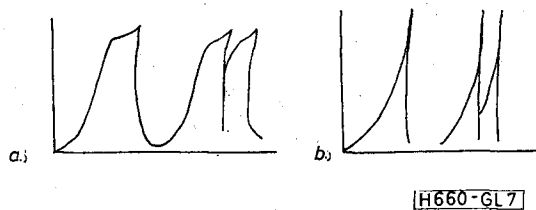
A vizsgálatokhoz felhasznált jelfogók geometriai elrendezése az 1. táblázat szerinti volt.

Mind a működtetett (gerjesztett), mind a zavart (mért) jelfogók normálisan, az általános szórásnak megfelelően voltak mechanikusan beállítva.

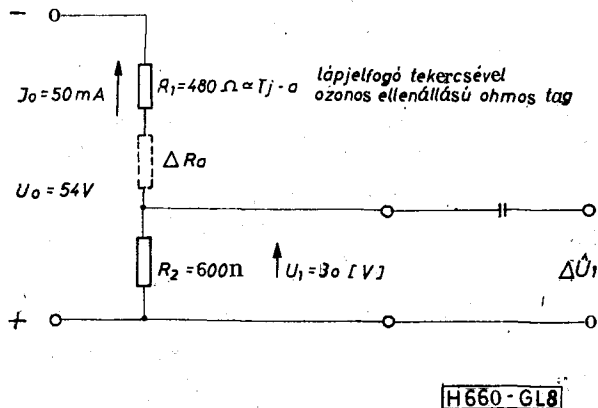
A vizsgálati eredményeket a mérés körülményeinek megjelölésével a 2. táblázatban foglaltuk össze.

A 2. táblázat természetesen a mérés pontatlanságát is magában foglalja, ami annál nagyobb, minél kisebb pszofometrikus zajfeszültséget mérünk. Az viszont következetesen megállapítható, hogy a zavarás szintje függ a rezgéseltető geometriai elhelyezésétől, erejétől (nagyobb rugócsomagú jelfogó sor meghúzáskor és elengedéskor nagyobb intenzitású zavaró impulzusokat okoz) és a vevő (zavart) jelfogó sor konstrukciós kialakításától is (kisebb rugószámú jelfogó érintkező rugóin a zavaró lengések nagyobb mértékben érvényesülnek).

A rugalmas szerelési mód csillapítja, de meg nem szünteti a lengéseket. A pszofométeren levő zajfeszültség érzékelése mellett oszcilloszkópon figyeltük



7. ábra. Oszcilloszkópon megjelenő hullámformák: a) érintkező bontás, b) feszültségcsúcsok



8. ábra. Helyettesítő mérőkapcsolás

a megjelenő hullámformákat. Jellegzetes az érintkezőbontás és a feszültségcsúcsok alakja (7. ábra).

Megjegyezzük, hogy a 8. ábrán látható feszültségcsúcsok is pillanatnyi megszakadást (bontást) jelentenek, csak igen rövid az idejük (ms törtrésze), ami lényegesen kisebb, mint az áramkörbe kapcsolt Tj jelfogó elengedési ideje.

A 8. ábra alapján az oszcilloszkópon mért feszültség ΔU_1 csúcserőértéke számítható mint a ΔR_a átmeneti ellenállás-változások függvénye.

Ha $\Delta R_a = 0$, akkor

$$U_1 = U_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 54 \cdot 0,555 = 30 \text{ V,}$$

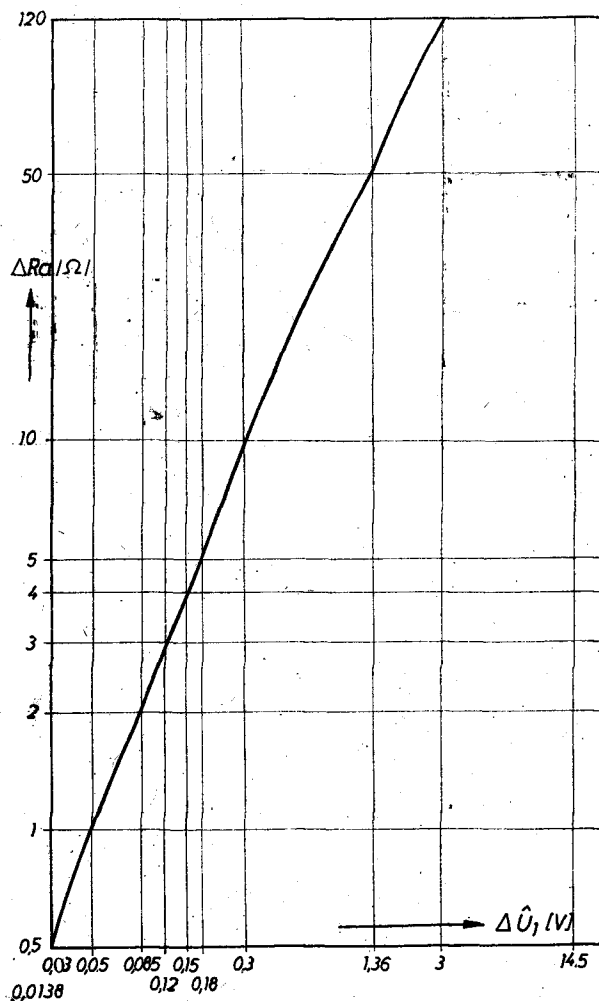
$$U_1 - \Delta U_1 = U_0 \frac{R_2}{(R_1 + \Delta R_a) + R_2},$$

$$\Delta U_1 = U_1 - U_0 \frac{R_2}{(R_1 + \Delta R_a) + R_2}.$$

A mért ΔU_1 értékekhez tartozó ΔR_a értékek összefüggése a 3. táblázat szerinti.

3. táblázat

$\Delta R_a [\Omega]$	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	50	120	1000
$\hat{U}_1 [V]$	0,03	0,05	0,85	0,12	0,15	0,18	0,3	1,36	3,0	14,4



9. ábra. ΔR_a és ΔU_1 összefüggés grafikonja

Ugyanezen összefüggés adatai grafikusán ábrázolva a 9. ábrán szemléletes képet nyújtanak.

ΔU_1 két szélső értéke:

$$\lim_{R_a(t) \rightarrow \infty} \Delta U_1(t) = U_1 - U_0 \frac{R_2}{R_1 + \Delta R_a(t) + R_2} = tJ_1,$$

valamint $\lim_{R_a(t) \rightarrow 0} \Delta U_1(t) = 0,$

ami a 9. ábra grafikonjának tendenciáját igazolja.

A teljesség kedvéért megvizsgáltuk a bontó rugópárokon mérhető pszofometrikus zaj szintjét abban az esetben is, ha a zavart jelfogók horgonya rögzítve van. Ez a mérés kimutatta, hogy a horgony lengésétől függetlenül is fennáll a zavart jelfogó egészének – mint rendszernek – a rezgése, ami a rugók rezgésének pszofometrikus zajfeszültség-változásával kimutatható.

A mért (összehasonlító) vizsgálati eredményeket a 4. táblázat tartalmazza, rugalmas szereleési mód esetén (merev szereléskor arányosan nagyobb zajfeszültség volt a várható).

A tranziens együttlengésnek kitett (zavart) relék igen különböző állapota és működési körülményei mellett adódó mérési eredményeket összevetve arra a megállapításra jutottunk, hogy a jelfogóknak a lengések csillapítása szempontjából kedvező, speciális beállításával a zajszint mértéke, illetve a bontó érintkezők pillanatnyi megszakítása csökkenthető, de maga a mechanikai lengés nem szüntethető meg.

A zavarás a rezgéseltető és a lengésre zavart egység elhelyezésétől (geometriai távolságtól), a rezgés frekvenciájától, a lengő rendszer hosszától, a működés sebességétől, a rezgés gyorsulásától, a kitérés amplitúdójától stb. függ.

A másik vizsgálati módszerrel nem a lengések következtében keletkező pszofometrikus zajfeszültséget, hanem a lengéstranziensek által okozott vasmagkitéréseket, valamint a rezgések gyorsulását regisztráltuk. E vizsgálat igen hosszadalmas gyorsfilmzési eljárást is tartalmazott, amelynek kiértékelése lehetővé teszi a működő szerelt jelfogók elfordulási szögének meghatározását.

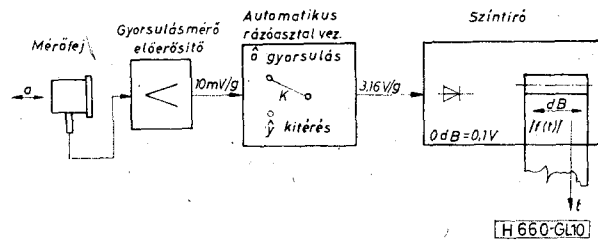
E vizsgálati módszerrel és eredményeivel csak érintőlegesen foglalkozunk e tanulmány keretében.

A jelfogó vasmag elmozdulásainak méréséhez a 10. ábrán vázolt mérési rendszert használtuk fel.

A mérő apparátus segítségével olyan sinen szerelt, elektromosan nem gerjesztett (nyugalmi állapotban levő) jelfogó-vasmag elmozdulásainak mérése történt, amelyen valamelyik másik jelfogó impulzusszerű meghúzása vagy elengedése tranziens lengéseket idézett elő.

4. táblázat

Jelfogók megnevezése		I [mA]	Működés fázisa	Pszofometr. szint [mV]	Megjegyzés
működ-tetett	zavart				
C 8, 9, 10	B 8, 9	50	meghúzás	0,15	B 8, 9, 10 jelfogók horgonya rögzítve
			elengedés	0,20	
	10		meghúzás	0,17	B 8, 9, 10 jelf. horgonya normál lengő állapotban
			elengedés	0,28	



10. ábra. Mérőrendszer tömbvázlata

A gyorsulást érzékelő mérőfej érzékenysége a hosszanti tengely irányában maximális, ezért célszerű a mérés helyét úgy megválasztani, hogy a gyorsulásvektor hatásvonala és a mérőfej tengelye párhuzamos legyen.

Az automatikus rázóasztal-vezérlő a *K* kapcsoló a gyorsulás állásában a bemenő időfüggvényt 50 dB-lel erősíti; a kitérés állásában pedig a bemenő időfüggvényt erősíti, és az idő szerint kétszer integrálja.

A szintíró az *a(t)* vagy az *y(t)* függvényeket egyenirányítja, és az *a(t)*-t vagy az *y(t)*-t regisztrálja.

Az összetartozó elmozdulás- és feszültségértékekre a következő arányosság érvényes a 10. ábra szerinti mérőrendszerben:

$$\frac{\hat{U}}{\hat{Y}} = \frac{1 \text{ (V)}}{0,08 \text{ (mm)}}, \quad \text{ebből kifejezve}$$

$$\hat{U} = 12,5 \frac{\text{(V)}}{\text{(mm)}} \cdot \hat{Y} \text{ (mm)}, \quad \text{és}$$

$$\hat{Y} = 0,08 \frac{\text{(mm)}}{\text{(V)}} \cdot \hat{U} \text{ (V)}.$$

Az elmozdulás \hat{Y} értéke a kitérés két szélső értéke közötti távolságot jelenti, míg a feszültség \hat{U} értéke a szintíró egyenirányítása következtében előállított maximális amplitúdó. Az összetartozó elmozdulás- és feszültségértékeknek különböző frekvenciákra vonatkozó grafikus ábrázolását a 11. ábra tartalmazza 1-g gyorsulás mellett, amelyet – mint paramétert – változtatva azonos jellegű görbesereget kapunk.

A 11. ábrán bemutatott összefüggő tényezők elméleti ellenőrzésére írjuk fel a harmonikus rezgőmozgás kitérés és gyorsulás csúcserkéire vonatkozó összefüggéseket:

Kitérésre: $y = Y \cdot \sin \omega t;$

Sebességre: $V = Y \omega \cos \omega t;$

Gyorsulásra: $a = y''(t) = -Y \omega^2 \sin \omega t = -A \cdot \sin \omega t,$

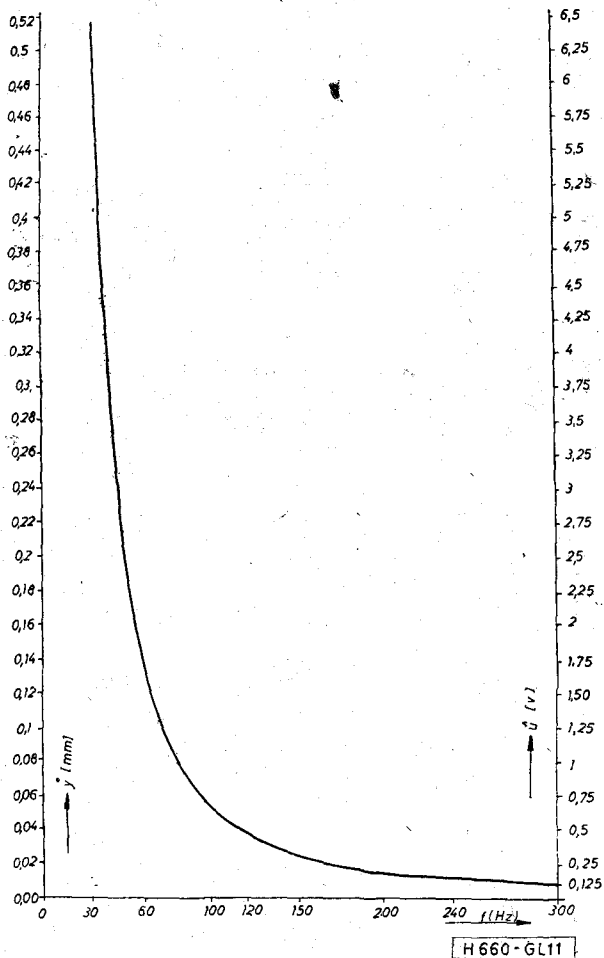
amelyből $Y = \frac{A}{\omega^2}. \quad (1)$

Mivel a harmonikus rezgőmozgást az jellemzi, hogy a kitérés az időnek szinuszos függvénye, a gyorsulással arányos feszültség:

$$U_a = -\hat{U}_a \cdot \sin \omega t.$$

A sebességgel arányos feszültség:

$$U_v = -\hat{U}_a \int \sin \omega t \, dt = \frac{\hat{U}_a}{\omega} \cdot \cos \omega t.$$



11. ábra. Összetartozó elmozdulás- és feszültségértékek

A kitéréssel arányos feszültség pedig:

$$U_y = \frac{\hat{U}_a}{\omega} \int \cos \omega t \, dt = \frac{\hat{U}_a}{\omega^2} \cdot \sin \omega t. \quad (2)$$

A kitéréssel arányos csúcsheszültség értéke:

$$\hat{U}_v = \frac{\hat{U}_a}{\omega^2}. \quad (3)$$

Az (1)-ből és a (3)-ból felírható:

$$\begin{aligned} \frac{\hat{U}_a}{\hat{U}_y \cdot \omega^2} &= \frac{A}{Y \omega^2} = 1, \\ \frac{\hat{U}_a}{\hat{U}_y} &= \frac{A}{Y} = (2\pi)^2 f^2, \\ Y &= \frac{A}{(2\pi)^2 f^2} = \frac{\hat{U}_y A}{\hat{U}_a}. \end{aligned}$$

Elektromos és mechanikus lengéscsillapítások összefüggése

Végezetül foglalkozni kívánunk a mechanikai és villamos lengések között felállítható analógia egyes kérdéseivel.

Ha már ismerjük a kérdéses mechanikai probléma egyenletét, az analóg villamos egyenletet és annak

megoldását megtalálva, a mechanikai megoldást is ismerjük.

Pl. az egydimenziós hullámegyenletet tekintve:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = f(x, t).$$

A fenti differenciálegyenlet több fizikai folyamatot írhat le, csak u és $f(x, t)$ függvénynek más fizikai jelentést és dimenziót kell tulajdonítani, valamint a c^2 konstansnak más a számértéke és dimenziója. A t változó jelentése mindig az idő.

Aránylag egyszerű mechanikai lengőrendszerek vizsgálatához sokszor bonyolult számítások szükségesek. Ha analóg villamos kapcsolást tudunk felállítani, és azon a vizsgálat mechanikus lengéscsillapításnak megfelelő üzemállapotban méréseket végzünk, az analóg villamos modell tulajdonképpen az automatikus számológép szerepét tölti be (a villamos kapcsolás állandóit lényegesen nagyobb pontossággal lehet beállítani). A számolásban azután felhasználhatjuk a már kialakult számítási módszereket: pl. impedanciaszámítás, villamos helygörbék, átviteltechnikai, négyfókuselméleti és egyéb számításokat.

Mechanikai lengőrendszerek gerjesztett lengése esetén a gerjesztő hatás amplitúdóját a gerjesztett rendszer tulajdonságaitól függetlenül állandó értéken tartó, előírt sebességet szolgáltató berendezést sebességforrásnak, az előírt erőt szolgáltató szerkezetet pedig erőforrásnak tekinthetjük. Ezen fogalmak az állandó feszültséget, illetve az állandó áramerősséget szolgáltató elektromos energiaforrás analógiáját jelentik. A valóságban a berendezések gerjesztő hatásának amplitúdója általában függ a gerjesztett rendszer tulajdonságaitól.

Egy homogén, állandó keresztmetszetű, E rugalmassági modulusú, ρ sűrűségű, longitudinális lengést végző rúd x keresztmetszetének az időtől is függő $y(x, t)$ hosszirányú elmozdulását a

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

parciális differenciálegyenlettel lehet meghatározni. Hasonló differenciálegyenlet írja le az azonos tulajdonságú, csavaró lengést végző rúd x helyen levő keresztmetszetének az időtől is függő $\varphi(x, t)$ szögelfordulását is:

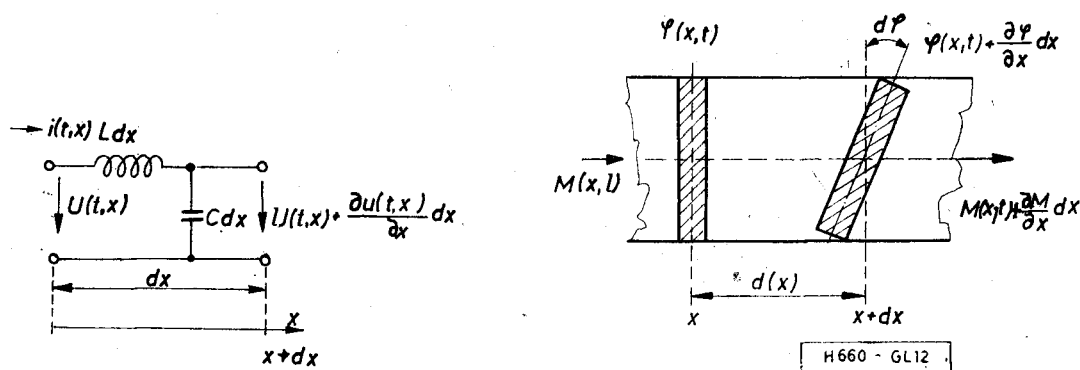
$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}.$$

Ezen analóg mechanikai egyenleteknek homogén, ellenállás- és levezetésmentes vezeték x és $(x+dx)$ helyén levő két pontja között fennálló du feszültséget leíró differenciálegyenlet a villamos analógiája. Az erre felírható differenciálegyenlet a következő:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{1}{LC} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad \text{ahol}$$

L és C a vezeték hosszegységre jutó induktivitása és kapacitása.

Természetesen a mechanikai és villamos jelenség csak akkor analóg minden tekintetben, ha a kezdeti és határfeltételek is megegyeznek.



12. ábra. Villamos és mechanikai modellek

Az eddig felírt összefüggések csak akkor értelmezhetők szemléletesen, ha a két modellből indulunk ki.

Villamos távvezeték Homogén keresztmetszetű prizmatikus rúd

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \dots \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = \frac{\Theta_0}{I_t G} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}$$

Így eljutottunk az előzőekben bemutatott hullámegyenletekhez, amelyek analógiája a jelölések értelmezése után teljesen triviálissá válik.

Az analóg állandók és függvények

Villamos

$$c^2 = \frac{1}{LC}$$

$u(x, t)$ feszültség,
 $i(x, t)$ áram,

L induktivitás,

C kapacitás,

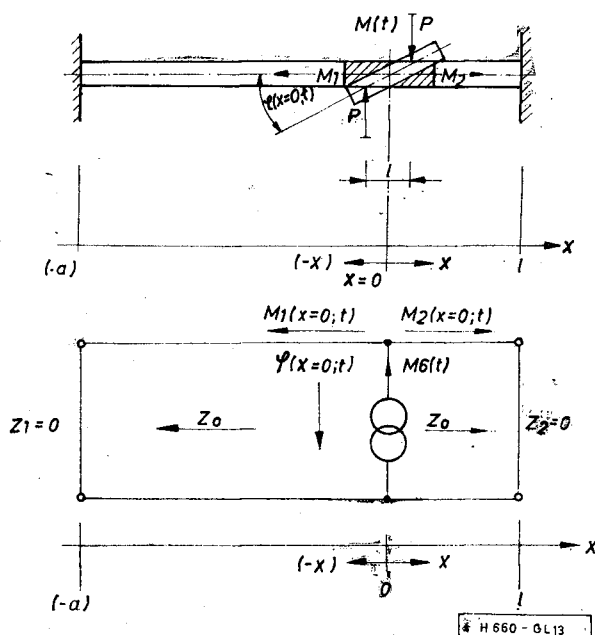
Mechanikai

$$c^2 = \frac{I_t \cdot G}{\Theta_0}$$

$\varphi(x, t)$ szögelfordulás,
 $M(x, t)$ nyomaték,

$\frac{1}{I_t G}$ csavaró rugalmasság,

Θ_0 csavaró lengés tengelyezeszámított tehetetlenségi nyomaték,



13. ábra. Mechanikai és villamos analógia jellemző paramétereinek fizikai értelmezése

ahol:

G (csúsztató) rugalmassági modulus,

I_t — a keresztmetszet csavaró igénybevételre vonatkozó poláris inercia-nyomatéka.

Majd keressük a határfeltételeket:

Villamos

rövidzár: $u=0$

szakadás: $i=0$

feszültséggenerátor

áramgenerátor

Mechanikai

megfogás: $\varphi=0$

szabad vég: $M=0$

kényszerített szögelfordulás

kényszerített nyomaték

A 13. ábra szerint az analóg villamos modellünk ideális távvezeték, $R=0$ és $G=0$, ezért a hullámelállás:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad Z_0 = \frac{1}{\sqrt{I_t G \cdot \Theta_0}}$$

A fentiek gyakorlatilag hasznosíthatók, ha a két végén befogott homogén prizmatikus rúd — amely megfelel a jelfogókat tartó szerkezeti elem-

nek — az (x) -hely és (t) -idő független változók szerinti $\varphi(x, t)$ szögelfordulását és $M(x, t)$ nyomatékát keressük a tér és idő szerint, ha a rudat valamilyen kényszerített $M_0(t)$ nyomatékkal terheljük különböző (x) -helyen.

A továbbiakban a villamos analóg modellt könnyebben kezelhető alakra lehet hozni, és végeredményben feszültséggenerátoros leképezéssel a hullámegyenletnek adott feltételek esetén a megoldását meg lehet adni.

A tárgyalt témakör és ezen belül a konkrét vizsgálati eredmények — az elméleti indoklásokkal együtt — alátámasztják, hogy érintkezős kapcsoló elemekkel felépített (főleg távbeszélő-technikai) híradástechnikai áramkörök konstrukciós felépítésénél nem hagyható figyelmen kívül a zavaró rezgések hatásának kérdése.

Nem véletlen, hogy az Aacheni Technikai Főiskolán az utóbbi időben messzemenő elemzést és vizsgálat-sorozatot folytattak az illetékes szakemberek, viszonylag széles frekvenciasávot figyelembe véve, főleg impulzúsjellegű zavarások okának és hatásainak

értelmezése és felismerése céljából. Ezek során került megfigyelésre a relék érintkezőinek nem kívánt zavaró igénybevétele; impulzusjellegű mechanikai lengése és azok gyorsulása; kapcsolómezők által előállított zavaró feszültségek és egyes relékkel szomszédosan szerelt, elektromosan működő szerelvények elektromos és mágneses zavaró — impulzusszerű (együttrezgés) hatása.

Számos oszcilloszkópos vizsgálat kimutatta, hogy a lökésszerű (impulzusjellegű) zavaró rezgések különböző amplitúdójú zavaró feszültségek alakjában jelennek meg. Egyébként a mechanikai zavarforrás okozta zavaró feszültségek jellegükben analóg módon jelentkeznek az elektromos zavaró feszültségekkel. Ez a tény is hozzájárult ahhoz, hogy a mechanikai lengésjelenség villamos analógiájával is kezdtünk foglalkozni.

A fennálló, de elemzésében mégis újszerű, igen sok

további megvilágításra váró témakört (pl. villamos analógia kifejtése és konkrét alkalmazása, leképezés stb.) igyekeztünk elméleti és gyakorlati oldaláról tárgyalni, de annak tudatában, hogy még számos megoldatlan, kifejtésre váró kérdés marad fenn.

Mindezek ellenére az eddig leírt vizsgálatok és a problémakör elméleti értelmezése elősegíti a cikkben tárgyalt zavarhatás olyan kis értéken tartását, amely a telefonközpont üzemét károsan nem befolyásolja.

IRODALOM

- [1] *Dr. Bosznay Á.*: Mechanikai rezgésstan
- [2] *Guttenmacher*: Elektromos modellek
- [3] *Sz. D. Ponomorjov*: Szilárdsági számítások a gépészetben
- [4] *M. Eckmeyer—J. Nadenau—D. H. Lüke*: Impulsförmige Störungen konventioneller Fernmeldeanlagen
- [5] *G. Weinmann—A. Holz*: Erfahrungen mit der Vibrationsprüfung