

# EGYSZERES ZSUGORGYÚRÚS KOMMUTÁTOROK ERŐJÁTÉKÁNAK SZÁMÍTÁSA

HUSZÁR ISTVÁN

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

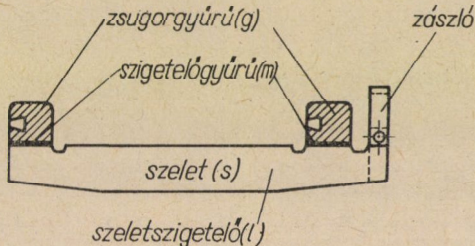
CANZ VILLAMOSSÁGI MŰVEK, BUDAPEST

[Beérkezett 1964. április 20-án]

Szimmetrikusnak tekinthető zsugorgyűrűs kommutátor erőviszonyainak tisztázására az egész szerkezetet egydimenziós rugórendszerrel lehet helyettesíteni. A rugórendszer általános megoldásának bevezetésével megadja a cikk a kommutátor erőjátékának számítási módját. Az eljárást különféle üzemi (szerelés, álló meleg, forgó hideg, forgó meleg) állapotokra alkalmazza.

## I. A zsugorgyűrűs kommutátor ismertetése

Vázlatunk tünteti fel a zsugorgyűrűs kommutátor felépítését (1. ábra). A rézből készült szeletek ( $s$ ) között mikanit szigetelő lemezek ( $l$ ) helyezkednek el. Melegen ráhúzott zsugorgyűrűvel ( $g$ ) történik a kellő összeszorító erő kifejtése. A gyűrűk és a szeletek közé szigetelés ( $m$ ) van iktatva mika anyagból [1].



1. ábra. Zsugorgyűrűs kommutátor felépítése

A kész kommutátor megfelelően kiképzett agyra kerül. Kisebb igénybevételek és kis méretek esetén az agy a felületének egy részén támaszkodik fel a szigetelőréteg közbeiktatásával. Ilyenkor a kommutátorhoz képest lágy szigetelőanyag biztosítja azt, hogy az agy hatása a kommutátorra csekély. Nagyobb hosszúságok és igénybevételek esetén a hő okozta tágulás és a forgás közben fellépő deformáció hatásának csökkentésére lágyabb megtámasztást kell kialakítani. Axiális irányban ez történhet a kommutátor végéhez csatlakozó rugógyűrű révén [2], amely esetleg membránszerű. Sugárirányban viszont úgy lehet az agy befolyását csökkenteni, hogy a kommu-

tátort csak egyik végén támasztjuk fel az agyra. Ismeretes olyan megoldás is, amelynél a kommutátor két végén axiálisan lágy membránrugókra van felfüggesztve és az agy teljesen elmarad, vagyis az egész rendszer szabadon állónak tekinthető.

A kommutátor hosszmeteszében nagyjából szimmetrikus, keresztmeteszében pedig körszimmetrikus. Vizsgálatainkban (a zászlós végre nem nézve) hosszában is szimmetrikusnak vesszük a szerkezetet. Ezenkívül az agytól független egységként kezeljük megfelelően annak, hogy a készre szerelt kommutátor üzemében kellő megtámasztás esetén elhanyagolhatjuk az agyhatását.

## • II. Az ideális kommutátor erőviszonyai

Szimmetrikusnak tekintjük a szerkezetet az erők szempontjából is, azaz feltételezzük a szorítógyűrűk egyenletes felfekvését a paláston és a szeletek azonos felfekvését egymáson. Mindez azt jelenti, hogy a gyűrűn keresztül sugárirányú, egyenletesen megoszló  $q$  terhelés adódik át a szeletre, másrészt a szeletek között fellépő  $p$  normális erőrendszer azonos megoszlású bármely szeletre nézve és a hossz mentén szimmetrikus. Első közelítésképp a legegyszerűbb megoszlással számolunk, azaz  $p =$  állandó feltételt tesszük. Az előbbieken kívül azt is feltételezzük, hogy a szelet, a szeletszigetelés, a szigetelőgyűrű és a zsugorgyűrű egyaránt ideálisan homogén, izotróp anyagból valók.

A 2. ábrán feltüntettük a szerkezet egyes részeit, berajzolva a terhelő erőket, valamint a centrifugális erőt is.

Egyetlen szeletre hat a gyűrűkön  $q$  megoszló erőrendszer  $Q_s$  eredővel, illetve  $p$  boltozatnyomás  $P_s$  eredővel, valamint  $C_s$  centrifugális erő. Az egész szelet egyensúlyából felírható a vektorábra szerint:

$$Q_s - C_s = 2 P_s \sin \chi = B_s, \quad (1)$$

ahol  $B_s$ -et boltozaterőnek nevezzük.

A szeletszigetelő terhelését és egyensúlyát az ábrából könnyű belátni.

A szeletkoszorú erőjátékát szintén az ábra szemlélteti. Most külső terhelés a sugárirány  $Q_s$  erők egyensúlyi rendszere, melyeknek numerikus összegét célszerű bevezetni:

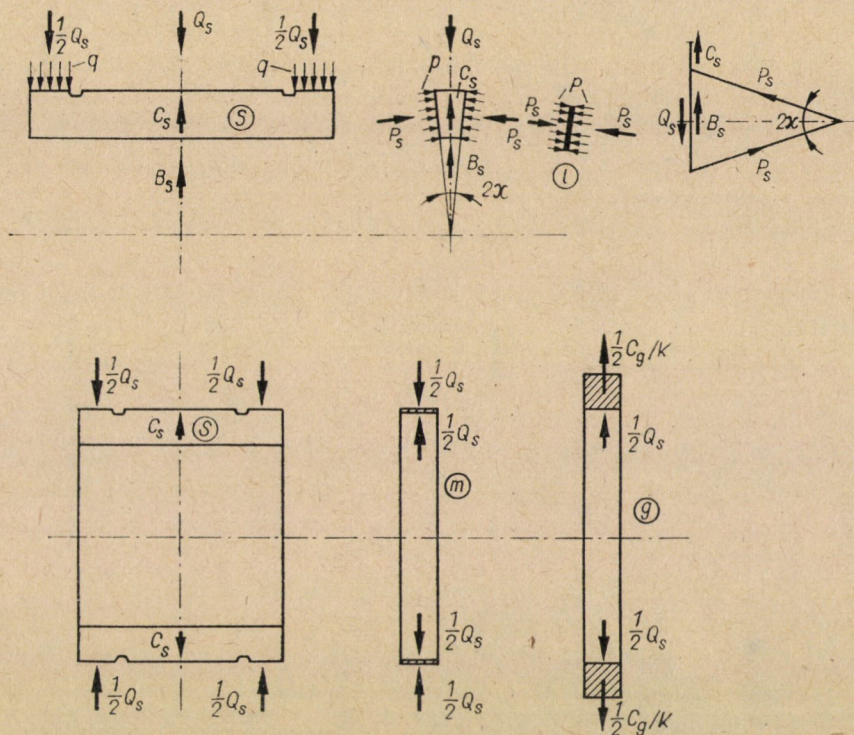
$$Q = K Q_s, \quad (2)$$

ahol  $K$  a szeletek száma. A későbbiek miatt a boltozaterők numerikus összegét is felírjuk az előzőek alapján

$$B = K B_s. \quad (3)$$

Hasonlóan az egyes szeletek centrifugális erőinek numerikus összege

$$C = K C_s. \quad (4)$$



2. ábra. Kommutátor alkatrészek erőviszonyai

Az (1) — (4) összefüggések alapján

$$B = Q - C. \tag{5}$$

Ugyancsak az ábra mutatja a szigetelőgyűrűt szeletenként terhelő  $1/2 \cdot Q_s$  egyensúlyi erőrendszert.

Végül a szorítógyűrű terhelése egy-egy szeletre eső  $1/2 \cdot Q_s$ , valamint  $1/2 \cdot C_g/K$  centrifugális erők egyensúlyi erőrendszere. ( $1/2 \cdot C_g/K$  az egy szelet-hez tartozó gyűrűrész centrifugális erejét jelenti.)

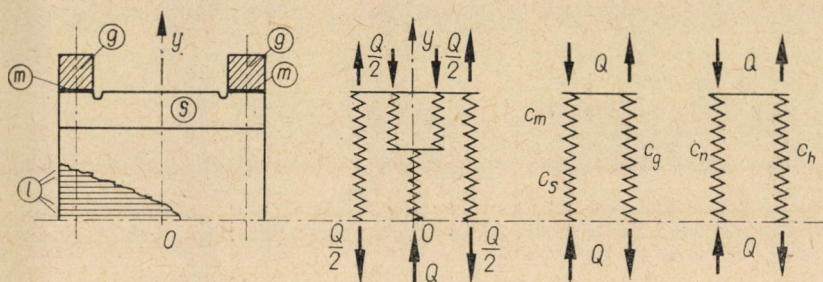
### III. Helyettesítő rugórendszer

Az összeszerelt kommutátor statikailag határozatlan szerkezetet jelent, amelynek megoldását a deformációk figyelembevételével tudjuk elvégezni. Éppen ezért, de a könnyebb áttekintés miatt is célszerű a kommutátort egy egyenértékű rugórendszerrel helyettesíteni, amely éppen a deformációk és az erők szempontjából egyenértékű az eredeti rendszerrel. A 3. ábra tünteti fel a helyettesítő rugórendszert.

Mivel a deformációk sugárirányúak és teljes körszimmetria van, egy-dimenziós, y irányban dolgozó rendszerrel lehet helyettesíteni a kommutátort

úgy, hogy az origót a szerkezet középpontjában választjuk meg. Az egyenértékűség fennáll akkor, ha bármely alkatrész sugármenti deformációja megegyezik az eredeti, ill. a helyettesítő rendszerben, feltéve, hogy az eredeti terhelés működik. Válasszuk a terhelést  $Q$ -nak, azaz a gyűrűk és a szeletkoszorú között fellépő erővel számoljunk a továbbiakban. Akkor csak azt kell megkövetelni, hogy

$$y = c Q \quad (6)$$



3. ábra. Helyettesítő rúgórendszer

kifejezés szerint számítandó deformációban a  $c$  rugóállandó az eredeti terhelésnek megfelelő pozitív állandó legyen. Ezt úgy érhetjük el, ha az eredeti terheléshez tartozó alakváltozást meghatározzuk  $Q_s$  függvényében, majd a  $Q_s$  és  $Q$  között fennálló kapcsolat segítségével a fenti alakot állítjuk elő. Ekkor  $c$  automatikusan rendelkezésünkre áll.  $c_s$  a szeletkoszorú,  $c_m$  a szigetelőgyűrűk,  $c_g$  pedig a zsigorgyűrűk állandóját jelenti.

#### IV. Rugóállandók

Közelítéssel feltételeztük, hogy a szeletek közt ébredő  $p$  nyomás egyenletesen megoszló terhelést jelent, akárcsak a gyűrű helyén fellépő  $q$  erőrendszer [3].

##### 1. $c_s$ számítása

Határozzuk meg először egyetlen szeletnek ( $\lambda_s$ ) és a határoló mikaszigetelésnek ( $\lambda_l$ ) a kerület mentén bekövetkező deformációját a  $Q_s$  erőrendszer, illetve a vele egyenértékű  $P_s$  erő hatására. A 4. ábra alapján

$$\lambda_s + \lambda_l = s_s \varepsilon_s + s_l \varepsilon_l = s_s \frac{p}{E_s} + s_l \frac{\sigma}{E_l},$$

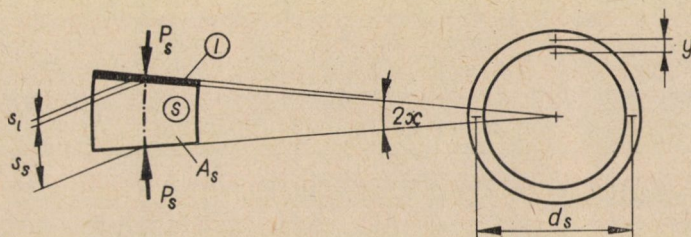
ahol  $\varepsilon$  a fajlagos nyúlás,  $E$  a rugalmassági tényező,  $\sigma = p$  pedig a felületekre

ható nyomófeszültség. Az egész kerület hosszváltozása a  $K$  szeletszámnak megfelelően

$$\Delta k = K(\lambda_s + \lambda_l) = K \left( \frac{s_s}{E_s} + \frac{s_l}{E_l} \right) p = 2y\pi,$$

ha a  $d_s + 2y$  megváltozott átmérőjű és a  $d_s$  átmérőjű eredeti kerületek különbségét képezzük. Mivel a nyomást állandónak vettük,

$$p = \frac{P_s}{A_s} = \frac{B_s}{2 \sin \chi A_s} \frac{K}{K} = \frac{B}{2 \pi A_s} = \frac{Q - C}{2 \pi A_s}, \quad (7)$$



4. ábra. Kommutátor-koszorú

ahol  $A_s$  a szelet felülete.  $P_s$ -t az (1) kifejezésből számítjuk és  $\sin \chi = \chi$  közelítéssel élünk a kis szögre való tekintettel, másrészt  $2K\chi = 2\pi$  behelyettesítést végeztük el.

Az előbbi két kifejezésből tehát  $C = 0$  helyettesítéssel

$$y = \frac{1}{2\pi} K \left( \frac{s_s}{E_s} + \frac{s_l}{E_l} \right) \frac{Q}{2\pi A_s} = \frac{1}{4\pi^2} \frac{K}{A_s} \left( \frac{s_s}{E_s} + \frac{s_l}{E_l} \right) Q.$$

Végül is a szeletkoszorú rugóállandója

$$c_s = \frac{K}{4\pi^2 A_s} \left( \frac{s_s}{E_s} + \frac{s_l}{E_l} \right). \quad (8)$$

## 2. $c_m$ számítása

A szigetelőgyűrűk egész felületükön egyenletesen nyomottak.  $\sigma = q$  nyomófeszültség hatására bekövetkező rövidülések tehát az 5. ábra szerint:

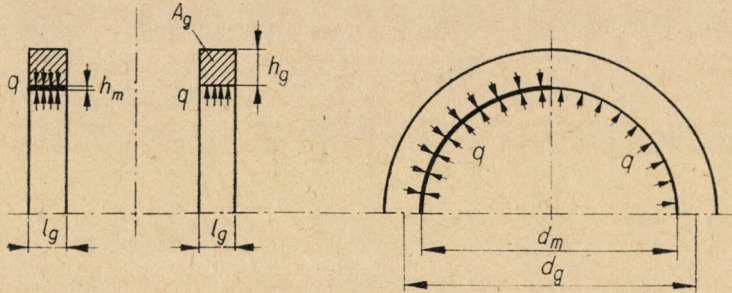
$$y = \varepsilon_m h_m = \frac{\sigma}{E_m} h_m = \frac{h_m}{E_m} q.$$

Könnyen számíthatjuk a nyomást az eredeti  $Q_s$  terhelésből az ábra szerint

$$q = \frac{Q_s K}{2l_g \cdot d_m \pi} = \frac{Q}{2\pi l_g d_m}. \quad (9)$$

Betéve  $y$  kifejezésébe

$$y = \frac{h_m}{E_m} \frac{Q}{2 \pi l_g d_m} = \frac{h_m}{2 \pi E_m l_g d_m} Q,$$



5. ábra. Kommutátor-gyűrűk

azaz a két szigetelőgyűrű együttes rugóállandója

$$c_m = \frac{h_m}{2 l_g \pi E_m d_m} \quad (10)$$

### 3. $c_g$ számítása

Közelítéssel mint vékony gyűrű határozzuk meg a  $q$  hatására előálló deformációt az 5. ábra jelöléseivel:

$$y = \varepsilon_g \frac{d_g}{2} = \frac{\sigma}{E_g} \cdot \frac{d_g}{2} = \frac{d_g}{2 E_g} \cdot \frac{d_g q}{2 h_g}$$

Felhasználva  $Q$ -ra az előbbieken nyert kifejezést,

$$y = \frac{d_g^2}{4 E_g h_g} \frac{Q}{2 \pi l_g d_m} = \frac{d_g^2}{8 \pi E_g d_m h_g l_g} Q.$$

Tehát a két zsongoryűrű együttes rugóállandója

$$c_g = \frac{d_g^2}{8 \pi E_g d_m A_g}, \quad (11)$$

ahol  $A_g$  egy gyűrű keresztmetszetének területét jelenti.

### 4. Eredő rugóállandók

A 3. ábra alapján a szorítógyűrűkből alkotott húzott rendszer eredő rugóállandója

$$c_h = c_g. \quad (12)$$

A szeletkoszorú és a szigetelőgyűrű nyomott rendszerének eredője pedig

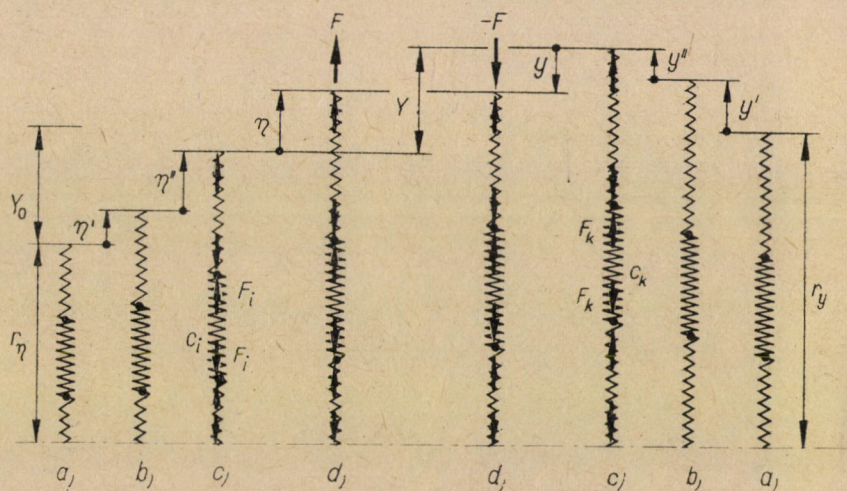
$$c_n = c_s + c_m. \quad (13)$$

Végül az egész rendszerre jellemző tényező

$$c = c_h + c_n. \quad (14)$$

### V. A rugórendszer számítása

Egydimenziós, csak az  $y$  tengely irányában elmozduló rendszert tüntet fel a 6. ábra. Elegendő lesz a későbbiek számára csupán a szimmetrikus felépítésű rugóláncot vizsgálni — bár megfontolásaink érvényesek tetszőleges rendszerre is. Éppen ezért ábránkon a rugórendszer felét tüntetjük fel.



6. ábra. Rugórendszer-séma

Az összeszerelés előtti helyzetet az  $a - a$  jelű rész mutatja. Ekkor a rugórendszer két oldala között

$$Y_0 = r_y - r_\eta \quad (15)$$

méretkülönbség áll fenn.

Ha valamely külső körülmény folytán — pl. az egyes alkotó elemek melegedésekor — a rugók hossza megváltozik, akkor a  $b - b$  helyzet áll elő. Most a két oldal egymáshoz képest

$$Y_{\Delta l} = y' - \eta' \quad (16)$$

értékkel mozdult el.

További deformációval kell számolni akkor, ha az egyes rugókra valamilyen egyensúlyban levő erők hatnak — pl. forgáskor számításba veendő centrifugális erők. Ezt az állapotot a  $c - c$  jelzés mutatja. A két rugóoldalnak további relatív elmozdulása

$$Y_c = y'' - \eta'' \quad (17)$$

Ha végül a két rugóoldalt a tényleges állapotnak megfelelően egyesítjük úgy, hogy felső végpontjaikat összekapcsoljuk, akkor előáll a  $d - d$  jelű helyzet. Ilyenkor az egyes oldalak elmozdulásából felírhatjuk:

$$Y = \eta - y \quad (18)$$

Az egyes deformációkat a megváltozást előidéző körülmények ismeretében számíthatjuk a rugók deformációjának összegezésével:

$$y' = \sum_k y'_k; \quad \eta' = \sum_i \eta'_i \quad (19)$$

Hasonlóan a  $c_i$  rugón fellépő  $F_i$  és a  $c_k$  rugón működő  $F_k$  erőknek megfelelően

$$y'' = \sum_k c_k F_k; \quad \eta'' = \sum_i c_i F_i \quad (20)$$

A végállapotban a rugóvégeken  $F$ , ill.  $-F$  erővel kell számolni a húzott, ill. a nyomott oldalon. A megfelelő alakváltozás így  $\sum c_k = c_n$ , ill.  $\sum c_i = c_h$  jelöléssel

$$y = \sum_k c_k (-F) = -c_n F, \quad \text{ill.} \quad \eta = \sum_i c_i F = c_h F, \quad (21)$$

ugyanis a  $\pm F$  erő az összes rugóra hat.

A keresett erő végül a

$$c_n + c_h = c$$

jelöléssel az

$$Y = Fc \quad (22)$$

összefüggésből számítható ki a (18) és (21) kifejezés alapján. Ugyanakkor a 6. ábra szerint egyszerűen

$$Y = (r_y + y' + y'') - (r_\eta + \eta' + \eta''),$$

vagy másként a (15), (16) és (17) összefüggéssel

$$y = (r_y - r_\eta) + (y' - \eta') + (y'' - \eta'') = Y_0 + Y_d + Y_c \quad (23)$$



Egyes különleges esetekben a rugóvégeken fellépő erők számítására felírhatjuk a (22) kifejezés szerint:

$$y' = 0 = \eta' \quad \text{és} \quad y'' = 0 = \eta''; \quad Y_0 = cF_0, \quad (24)$$

$$r_y - r_\eta = 0 \quad \text{és} \quad y'' = 0 = \eta''; \quad Y_{\Delta l} = cF_{\Delta l}, \quad (25)$$

$$r_y - r_\eta = 0 \quad \text{és} \quad y' = 0 = \eta'; \quad Y_c = cF_c. \quad (26)$$

Vagy pedig a (23) figyelembevételével

$$F = F_0 + F_{\Delta l} + F_c, \quad (27)$$

azaz az erők egyszerűen összegezhetőek.

## VI. A zsugorgyűrűs kommutátor erőjátéka

A kommutátor üzemét tekintve az alábbi körülményekre kell figyelemmel lennünk. A szereléskor az egyes szeleteket a szorítógyűrűvel szilárd rendszerré alakítják, létrehozva a szükséges összeszorító erőt a boltozatnyomás formájában.

Üzemben az áramterhelés, a kefesúrlódás és az egész gép felmelegedése következtében a kommutátor jelentősen felmelegszik. A szeletek rézanyaga természetesen a tőle hő szempontjából is szigetelt agyhoz és szorítógyűrűkhöz képest lényegesen nagyobb hőmérsékletű lesz. Könnyű belátni, hogy ezen felmelegedés kapcsán a kommutátorrendszerben az erőviszonyok megváltoznak, a boltozatnyomás megnövekszik. Minthogy pedig a gép üzemben forog, számolni kell a centrifugális erőkkel is. Ez az erőrendszer viszont a koszorút lazítani igyekszik, tehát a boltozatnyomást csökkenti. Vizsgáljuk meg közelebbről az egyes terhelési állapotokat.

### 1. Szerelés.

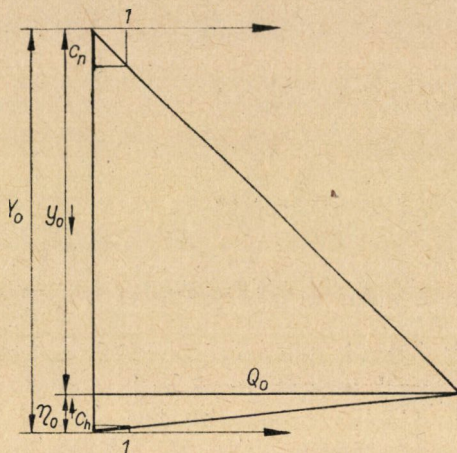
Azzal hozzák létre az összeszorító erőt a szeletek által alkotott dongarendszerben, hogy a szorítógyűrűk és a szeletkoszorú felülete között  $Y_0 = r_y - r_\eta$  méretkülönbség van. Melegen felhúzza a gyűrűket, azok lehülve rázsugorodnak a szeletekre, kifejtve a megfelelő erőhatást. A (15) és (24) kifejezést felhasználva, az ott szereplő  $F$  erő helyébe a megfelelő érintkezési ponton fellépő  $Q_0$  erőt írva

$$Q_0 = \frac{1}{c} Y_0. \quad (28)$$

Ugyanakkor a húzott gyűrű, ill. a nyomott koszorúrendszer elmozdulása a szerelés előtti helyzethez képest a (21) összefüggés szerint

$$\eta_0 = c_h Q_0 \quad \text{és} \quad y_0 = -c_n Q_0. \quad (29)$$

Eredményeinket egyetlen diagramban foglalja össze a 7. ábra. Itt a függőleges tengelyre az elmozdulásokat, a vízszintesre a velük arányos erőt vittük fel. Bejelöltük az egységnyi erőhöz tartozó elmozdulást is, amely éppen a rugóállandó.



7. ábra. Erőjáték ábrája szereléskor

## 2. Melegedés

Tételezzük fel az egyszerűség kedvéért, hogy a szeletkoszorú és a szorítógyűrűk között nincs gyártási méretkülönbség. A felmelegedéskor megváltozik a gyűrűk hőmérséklete  $\Delta t_g$ -vel, tehát mérete is

$$\eta' = \alpha_g \frac{d_m}{2} \Delta t_g \quad (30)$$

értékkel, ahol  $\alpha_g$  a hőtágulási együttható. Hasonlóan a szeletkoszorú mérete is megnő. Ennek kiszámítására a (8) összefüggés levezetésének megfelelően járhatunk el. A 4. ábra jelöléseivel

$$y' = \frac{1}{2\pi} \Delta k = \frac{1}{2\pi} K (\alpha_s s_s \Delta t_s + \alpha_l s_l \Delta t_l). \quad (31)$$

Itt  $\alpha_s$ , ill.  $\alpha_l$  és  $\Delta t_s$ , ill.  $\Delta t_l$  a szelet, ill. a szeletszigetelés hőtágulási együtthatója és hőmérsékletváltozása. A szigetelőgyűrű hő okozta méretváltozásától eltekinthetünk, mivel a kis vastagság miatt az csekély a többi alkatrészhez képest.

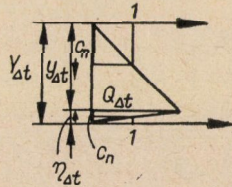
Felhasználva a (16) és (25) összefüggéseket, a melegedéskor előálló erő a szorítógyűrű és szeletkoszorú között

$$Q_{\Delta t} = \frac{1}{c} Y_{\Delta t}. \quad (32)$$

A rugórendszer helyzetét a szabad deformációnak megfelelő helyzethez képest a (21) összefüggés szerint nyerjük:

$$\eta_{\Delta t} = c_h Q_{\Delta t} \quad \text{és} \quad y_{\Delta t} = -c_n Q_{\Delta t}. \quad (33)$$

A 8. ábra ezt az állapotot szemlélteti.



8. ábra. Erőjáték ábrája melegeedéskor

### 3. Forgás

Ismét feltételezzük azt, hogy nincs gyártási méretkülönbség. A forgás során az egyes alkatrészek deformációt szenvednek. Mégpedig a húzott rugórendszer, azaz a gyűrűk méretváltozása a (20) összefüggés értelmében

$$\eta'' = c_g C_g, \quad (34)$$

ahol  $C_g$  a két gyűrűre számítandó centrifugális erők numerikus összege. Az 5. ábra jelöléseivel egyszerűen

$$C_g = 2 \left( \frac{\gamma_g}{g} A_g d_g \pi \right) \frac{d_g}{2} \omega^2 = \frac{G_g}{2g} d_g \omega^2, \quad (35)$$

ha  $\gamma_g$  a gyűrű fajsúlya,  $\omega$  a forgás szögsebessége,  $G_g$  a gyűrűk együttes súlya.

A nyomott rendszer méretváltozásánál elhanyagolva ismét a szigetelőgyűrű csekély deformációját, elég a szeletkoszorú alakváltozását meghatározni. A (20) összefüggésnek megfelelően.

$$y'' = c_s C, \quad (36)$$

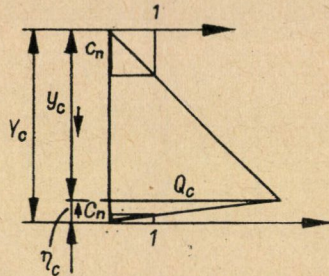
ahol  $C$  az egész szeletkoszorú centrifugális erejének numerikus összege (lásd a 4. ábrát):

$$\begin{aligned} C &= K \left( \frac{\gamma_s}{g} A_s s_s \right) \frac{d_s}{2} \omega^2 + K \left( \frac{\gamma_l}{g} A_s s_l \right) \frac{d_s}{2} \omega^2 = \\ &= K \frac{A_s}{2g} (\gamma_s s_s + \gamma_l s_l) d_s \omega^2. \end{aligned} \quad (37)$$

Itt  $\gamma_s$ , ill.  $\gamma_l$  a szelet, ill. a szeletszigetelés fajsúlya.

Hivatkozva a (17) és (26) összefüggésre, a forgáskor előálló erő a rugórendszer kapcsolódásánál

$$Q_c = \frac{1}{c} Y_c \quad (38)$$



9. ábra. Erőjáték ábrája forgáskor

A rugórendszer helyzetét pedig a (21) összefüggés alapján nyerjük

$$\eta_c = c_n Q_c \quad \text{és} \quad y_c = -c_n Q_c, \quad (39)$$

amelyet a 9. ábra szemléltet.

#### 4. Összetett terhelési állapotok

A kommutátor üzemében előforduló összes terhelési eseteket ezekután könnyűszerrel tudjuk követni. Egyik állapotot a szerelés véghelyzete jelenti. Üzem után leállított gépnél meleg kommutátorral kell számolni, azaz a szerelés és a melegedés együttes hatását kell vizsgálni. Hidegen induló gép esetén viszont a szerelés és a forgás hatásai összegeződnek. Végül üzemi állapotnak nevezhetjük azt a helyzetet, amelyeknek során a gép meleg és forog, tehát a szerelést, a melegedést és a forgást egyidejűleg kell figyelembe venni.

**Álló hideg állapot:** Jellemzi a (15) összefüggéssel meghatározott  $Y_0$  méretkülönbség, valamint a (28) kifejezés szerint számított  $Q_0$  erő. Figyelembe véve  $C = 0$  egyenlőséget, az (5) összefüggésből egyszerűen kapjuk a boltozatnyomóerőt

$$B_0 = Q_0 \quad (40)$$

(lásd a 10. ábrát).

**Álló meleg állapot:**  $Q$  számításánál figyelembe veendő méretkülönbség a (15), (16) és (23) összefüggés értelmében

$$Y_\delta = Y_0 + Y_{\Delta t}, \quad (41)$$

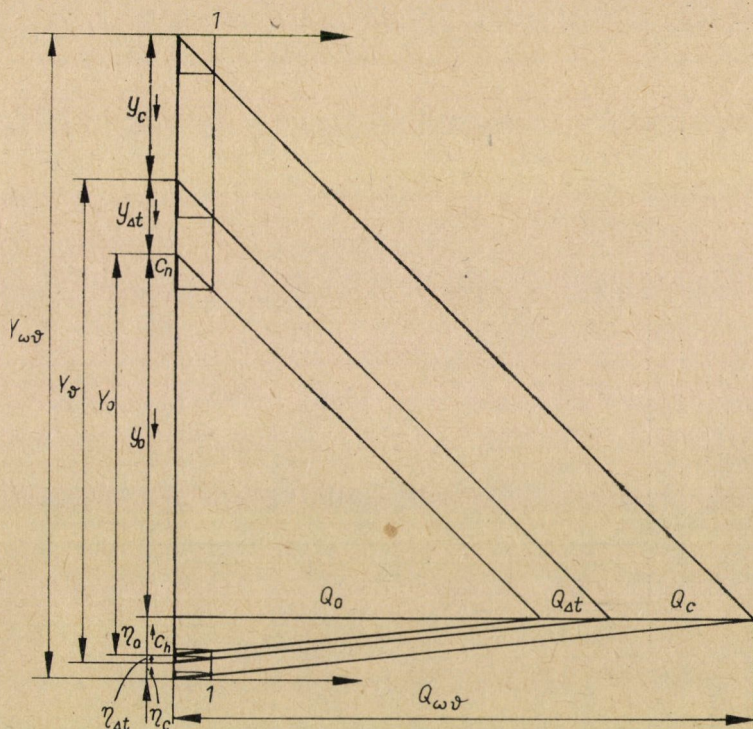
amelyből a (22), (28), (32) és (27) kifejezések alapján

$$Q_\delta = \frac{1}{c} Y_\delta = Q_0 + Q_{\Delta t}. \quad (42)$$

A boltozatnyomóerő ismét  $C = 0$  miatt

$$B_{\delta} = Q_{\delta}, \quad (43)$$

amely a szerelési állapothoz képest megnövekedett érték.



10. ábra. Erőjáték ábrája üzemi állapotban

A viszonyokat összefoglalja a 10. ábra, ahol mind  $Y_{\theta}$ , mind  $Q_{\theta}$  fel van tüntetve és különösebb magyarázat nélkül mutatja a szereléshez képest megváltozott deformáció és erő értékeket.

*Forgó hideg állapot:* A számítás alapjául szolgáló méretkülönbség most a (15), (17) és (23) összefüggések szerint

$$Y_{\omega} = Y_0 + Y_c. \quad (44)$$

A megfelelő erő a két rugórendszer között a (22), (28) és (38) kifejezésekből

$$Q_{\omega} = \frac{1}{c} Y_{\omega} = Q_0 + Q_c. \quad (45)$$

Most természetesen  $C_g \neq 0$ ,  $C \neq 0$  [lásd (35) és (37)]. Éppen ezért a boltozatnyomóerő az (5) szerint

$$B_{\omega} = Q_{\omega} - C. \quad (46)$$

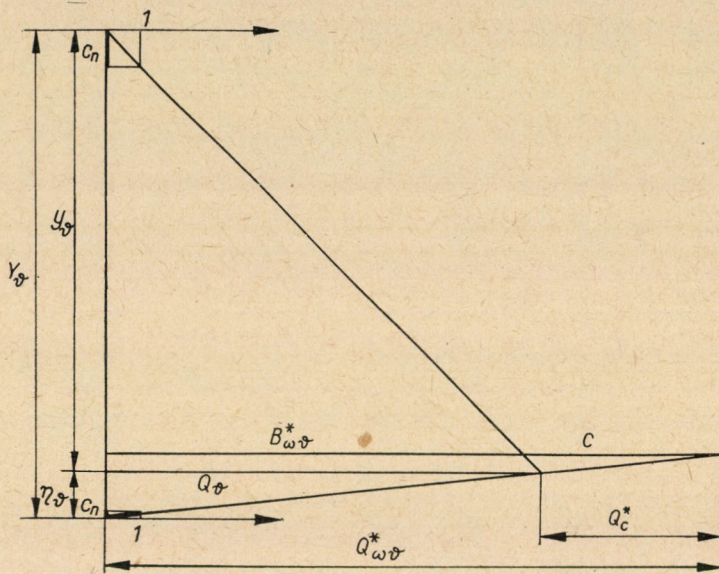
A szorítógyűrűket terhelő erő pedig a 2. ábra alapján könnyen belátható módon

$$S_{\omega} = Q_{\omega} + C_g. \quad (47)$$

A grafikus ábrázolás a 10. ábra szerint történhet,  $Y_{\theta}$  helyébe  $Y_{\omega}$ -t téve.

Üzemi állapot: Most a (15) — (17) és (23) összefüggések alapján írhatjuk

$$Y_{\omega\vartheta} = Y_0 + Y_{\Delta l} + Y_c, \quad (48)$$



11. ábra. Közelítéssel nyert erők ábrája

illetve az erőre a (22), (28) és (38) szerint

$$Q_{\omega\vartheta} = \frac{1}{c} Y_{\omega\vartheta} = Q_0 + Q_{\Delta l} + Q_c. \quad (49)$$

Mínt hogy pedig  $C_g \neq 0$ ,  $C \neq 0$  [lásd (35) és (37) kifejezéseket], az (5) összefüggés alapján

$$B_{\omega\vartheta} = Q_{\omega\vartheta} - C, \quad (50)$$

illetve a szorítógyűrűkre

$$S_{\omega\vartheta} = Q_{\omega\vartheta} + C_g. \quad (51)$$

10. ábránk szemlélteti a viszonyokat.

\*

A [2] alatt közölt módszer a fentiek alapján csak közelítésnek tekinthető a forgás okozta változások követésére. A 11. ábrán tüntettük fel az eljárás szerint meghatározott  $Q_{\omega\vartheta}^*$ , ill.  $B_{\omega\vartheta}^*$  erőket. A szerkesztés alapelve az, hogy

a  $C$  erő a  $c_n$  rugóállandóval jellemzett nyomott rugórendszer végein hat húzóerőként. Így a diagram szerint a húzott oldal terhelése  $B_{\omega\delta}^* + C$  lesz, a nyomott oldalé pedig  $B_{\omega\delta}^*$ -ra csökken. A felfogás egyik hibája az, hogy  $C$  erő nem az egész nyomott  $c_n$  rugórendszerre működik, csak a szeletkoszorúra, azaz a  $c_s$ -el jellemzett részre; másik pedig az, hogy nem veszi tekintetbe a gyűrűk deformációját  $C_g$  hatására. Az említett eljárás szerint

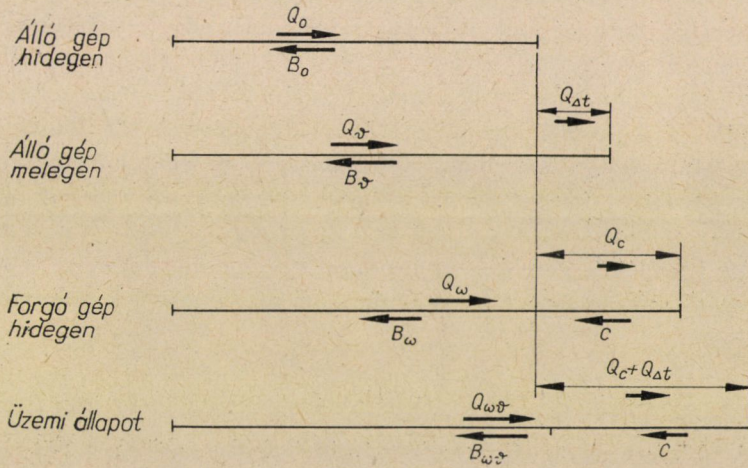
$$Y_c^* = y_*'' - \eta_*'' = c_n C.$$

Ezzel szemben helyesen számítva a (17), (34) és (36) alapján

$$Y_c = y'' - \eta'' = c_s C - c_g C_g < Y_c^*.$$

A (38) összefüggés alapján belátható, hogy

$$Q_c^* = \frac{1}{c} Y_c^* > Q_c = \frac{1}{c} Y_c.$$



12. ábra. Az egyes üzemiállapotoknak megfelelő erők ábrája

A különbségekre pedig (10. és 11. ábrák)

$$Q_{\omega\delta}^* - Q_{\omega\delta} = Q_c^* - Q_c = \frac{1}{c} [c_n C - (c_s C - c_g C_g)] = \frac{1}{c} [c_m C + c_g C_g].$$

Hasonlóan a boltozaterőre

$$B_{\omega\delta}^* - B_{\omega\delta} = Q_{\omega\delta}^* - C - (Q_{\omega\delta} - C) = Q_c^* - Q_c > 0.$$

\*

Célszerű a diagramot az összes előforduló állapotok áttekintésére a 12. ábra szerint kiegészíteni a 10. ábrán nyert adatokkal. Ennek segítségével könnyűszerrel lehet ítéletet mondani a kommutátorról a boltozatnyomóerő

szempontjából. Legnagyobb a boltozaterő az álló meleg állapotban, legkisebb a forgó hideg állapotban. (Ha a villamos gépeknél próba alkalmára előírt növelt, ún. pörgetési fordulatszámot vesszük tekintetbe, akkor  $\omega$  helyet  $\omega_p$ -vel számított  $C_p$  és a még kisebb  $B_{\omega p}$  értékét kell figyelembe venni.) Áttérhetünk a fajlagos erőkre is, azaz a (7) összefüggés szerint  $B$ -vel arányos boltozatnyomással számolva

$$p_{\max} = \frac{B_{\nu}}{2 \pi A_s} \quad (52)$$

és

$$p_{\min} = \frac{B_{\omega p}}{2 \pi A_s} \quad (53)$$

a két szélső nyomásérték.

Nyilván (az ábra alapján is ellenőrizhető módon) tetszőleges üzemi állapotban  $B_{\omega\theta}$ , illetve  $p_{\omega\theta}$  a két szélső érték közé esik. Természetszerűleg meg kell kívánni azt, hogy  $p_{\min}$  zérusnál nagyobb legyen, ellenkező esetben nincs összetartó erő a lamellák között, azaz lazulás áll elő. Könnyű belátni, hogy biztonságból a legkisebb nyomásértéket valamilyen határ fölött kell megválasztanunk [2, 4, 5]; másrészt a felső határ sem lehet bármekkora, hiszen a boltozatnyomás nöttével az összes erők, tehát a feszültségek is nőnek a kommutátorrendszerben. A tervezésnek éppen egyik feladata az említett két határérték figyelembevételével a kommutátor geometriai méreteinek kiszámítása természetesen úgy, hogy ugyanakkor a villamos szempontból is megfelelő legyen.

#### IRODALOM

1. LISKA J.: Villamos gépek; II. Egyenáramú gépek. Tankönyvkiadó, Budapest 1951.
2. LISKA J.: Villamosgépek; V. Szerkezettan. Tankönyvkiadó, Budapest 1954.
3. КРАСОВСКИЙ В. И.: Вопросы прочности электрических машин. Изд. Академии Наук С.С.С.Р., Москва 1951.
4. RAUHUT P.: Berechnung von Kommutatoren auf innere Reibung. *Schweizer Archiv* (1946).
5. HUSZÁR I.: Bemerkungen zur Wahl des Gewölbdruckes von Kommutatoren. *Elektrische Bahnen* (1965).