

A Fourier-amplitudók meghatározása operátorszámítással

TAKÁCS JENŐ

1. Bevezetés

A híradástechnikában igen nagy jelentősége van a különböző periodikus függvények harmonikusokra való felbontásának. A következőkben, a komplex Fourier-sorok rövid áttekintése után, módszert adunk arra, hogyan lehet a híradástechnika leggyakoribb impulzussorozatainak sorát meghatározni, lehetőleg kevés számítással, a Laplace transzformáció ismeretében.

Vizsgáljunk egy tetszőleges periodikus időfüggvényt, amelyre nyilván fenn kell állnia a következő összefüggésnek: $i(t) = i(t + T)$. Ennek a periodikus függvénynek az ismétlődési frekvenciája: $\omega_0 = 2\pi/T$

Ez az $i(t)$ függvény előállítható mint mindkét irányban végtelen sok tagból álló komplex sor, amely az alábbi alakban írható:

$$i(t) = \dots + B_{-2} e^{-j2\omega_0 t} + B_{-1} e^{-j\omega_0 t} + B_0 + B_1 e^{j\omega_0 t} + B_2 e^{j2\omega_0 t} + \dots \quad (1,1)$$

avagy rövidítve,

$$i(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} B_n e^{jn\omega_0 t}$$

Itt B_n a komplex amplitudót jelenti, amely a következő integrállal van definiálva:

$$B_n = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (1,2)$$

és ugyanígy

$$B_0 = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt \quad (1,3)$$

Vizsgáljuk a viszonyokat ha $i(t)$ függvény valós.

Írjuk fel az $i(t)$ komplex sorának $-n$ -ik és $+n$ -ik tagjának együtthatóját:

$$B_{-n} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) e^{jn\omega_0 t} dt$$

és

$$B_n = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) e^{-jn\omega_0 t} dt$$

Azt találjuk tehát, hogy az együtthatók konjugálással átvihetők egymásba vagyis:

$$B_{-n} = B_n^* \quad (1,4)$$

Hajtsuk ketté az $i(t)$ kétszeresen végtelen sorát és írjuk az alábbi alakba:

$$i(t) = B_0 + \begin{cases} B_1 e^{j\omega_0 t} + B_2 e^{j2\omega_0 t} + \dots \\ B_{-1} e^{-j\omega_0 t} + B_{-2} e^{-j2\omega_0 t} + \dots \end{cases} \quad (1,5)$$

Ezt az (1,4) segítségével átírhatjuk a következő formába

$$i(t) = B_0 + \begin{cases} B_1 e^{j\omega_0 t} + B_2 e^{j2\omega_0 t} + \dots \\ (B_1 e^{j\omega_0 t})^* + (B_2 e^{j2\omega_0 t})^* + \dots \end{cases} \quad (1,6)$$

A páronként összeadott tagok nyilván a $B_n e^{jn\omega_0 t}$ valós részének kétszeresét adják vagyis:

$$(B_n e^{jn\omega_0 t} + B_{-n} e^{-jn\omega_0 t}) = 2 \operatorname{Re}(B_n e^{jn\omega_0 t}) \quad (1,7)$$

Az egész sor tehát a következőbe megy át:

$$i(t) = 2 \operatorname{Re} \frac{B_0}{2} + 2 \operatorname{Re}(B_1 e^{j\omega_0 t} + B_2 e^{j2\omega_0 t} + \dots)$$

amely ismét átírható így

$$i(t) = \operatorname{Re}(B_0 + 2 B_1 e^{j\omega_0 t} + 2 B_2 e^{j2\omega_0 t} + \dots) \quad (1,8)$$

Vezessünk be most új jelölést az együtthatókra. Legyen

$$\begin{aligned} A_0 &= B_0 \\ A_n &= 2 B_n \end{aligned} \quad (1,9)$$

Ekkor pedig az ismert együttható definíciókra jutunk, vagyis

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt$$

és

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (1,10)$$

2. Összefüggés a Laplace transzformáció és a Fourier-sor együtthatói között

Vágjuk ki az $i(t)$ periodikus jelenség egy fél periodusát. Ha ez a félperiodus a t_1 és t_2 időpontok között van, akkor nyilván a következő törvényszerűségnek tesz eleget:

$$f(t) = \begin{cases} 0, & \text{ha } -\infty < t < t_1 \\ \text{véges}, & \text{ha } t_1 < t < t_2 \\ 0, & \text{ha } t_2 < t < +\infty \end{cases} \quad (2,1)$$

Ezt az $f(t)$ függvényt nevezzük impulzusnak.

Írjuk fel ennek az $f(t)$ függvénynek a Laplace transzformáltját. Ez per definitionem a következő

$$F(p) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-pt} dt = \int_{t_1}^{t_2} f(t) e^{-pt} dt \quad (2,2)$$

ahol $F(p)$ -vel a transzformált függvényt jelöltük. Ezt a függvényt operátor-függvénynek vagy röviden operátornak fogjuk nevezni.

Ha emellé még felírjuk az $i(t)$ függvény n -ik Fourier együtthatóját:

$$B_n = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} i(t) e^{-jn\omega_0 t} dt = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} f(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (2,3)$$

akkor összevetve a (2,2) és (2,3) egyenleteket a következő összefüggést találjuk az $f(t)$ függvényt Laplace transzformáltja és az n -ik Fourier együttható között:

$$B_n = \frac{1}{T} F(jn\omega_0) \quad (2,4)$$

Ha már most figyelembe vesszük az (1,9) összefüggést, akkor a következőket írhatjuk:

$$\begin{aligned} A_0 &= \frac{1}{T} F(0) \\ A_n &= \frac{2}{T} F(jn\omega_0) \end{aligned} \quad (2,5)$$

Az így kapott eredményeinket behelyettesítve az (1,8) egyenletbe, a következő sort kapjuk eredményül:

$$i(t) = \operatorname{Re} \left(\frac{1}{T} F(0) + \frac{2}{T} \sum_{n=1}^{\infty} F(jn\omega_0) e^{jn\omega_0 t} \right) \quad (2,6)$$

3. Az egyenesekkel határolt impulzusok összerakhatósága

Az előző pont eredményének jelentősége abban áll, hogy a híradástechnikában leggyakrabban előforduló impulzusalakok operátor függvényei rendkívül egyszerűen határozhatók meg. Ahhoz például, hogy az egyenes vonalakkal határolt impulzusok operátorait meghatározzuk, csupán az $f(t) = at$ függvény operátorát kell ismernünk, amely az operátorszámítás szabályai szerint:

$$\mathcal{L} [f(t)] = \int_0^{\infty} \alpha t e^{-tp} dt = \frac{\alpha}{p^2} \quad (3,1)$$

Ha a belépő $f(t)$ függvény belépése nem a $t = 0$ időpillanatban történik, akkor az eltolási szabály ismeretében az időtengely bármely pontjába áthelyezhetjük a függvényt. Az eltolási szabály kimondja ugyanis, hogy ha az $f(t)$ függvényt a t tengely mentén τ -val eltoljuk akkor az $F(p)$ operátor függvény $e^{-\tau p}$ -vel szorzódik.

Vagyis:

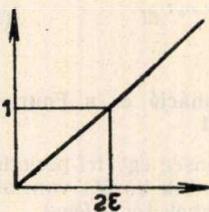
$$\mathcal{L} [f(t-\tau)] = F(p) e^{-\tau p} \quad (3,2)$$

ha

$$\mathcal{L} [f(t)] = F(p)$$

Állapítsuk meg például a legáltalánosabb egyenesvonalú impulzus, a trapezoid impulzus operátorát.

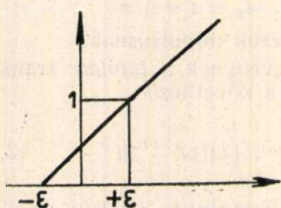
Az 1. ábrán látható időfüggvény operátora:



1. ábra

$$\mathcal{L} [f_1(t)] = \frac{1}{2 \varepsilon p^2} \quad (3,3)$$

Toljuk el a függvényt $-\varepsilon$ -nal (2. ábra), akkor a (3,2) összefüggés értelmében:

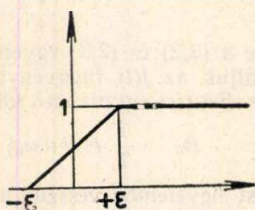


2. ábra

$$\mathcal{L} [f_2(t)] = \frac{1}{2 \varepsilon p^2} e^{\varepsilon p} \quad (3,4)$$

Vonjuk le ebből a $+\varepsilon$ -nal eltolt egyenest, akkor az így kapott függvény (3. ábra) operátora:

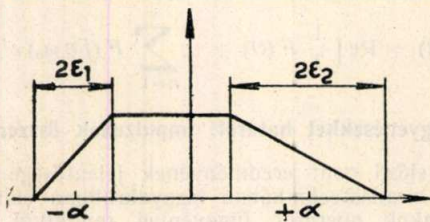
$$\mathcal{L} [f_3(t)] = \frac{1}{2 \varepsilon p^2} (e^{p\varepsilon} - e^{-p\varepsilon}) = \frac{1}{\varepsilon p^2} \text{sh } \varepsilon p \quad (3,5)$$



3. ábra

Toljuk el ezt a függvényt $-\alpha$ -val és vonjunk le ebből egy hasonló függvényt, mely $+\alpha$ -val van eltolva (4. ábra). Az így kapott trapezoid impulzus operátora:

$$\mathcal{L} [f(t)] = \frac{1}{\varepsilon_1 p^2} \text{sh } \varepsilon_1 p e^{\varepsilon_1 p} - \frac{1}{\varepsilon_2 p^2} \text{sh } \varepsilon_2 p e^{\varepsilon_2 p} \quad (3,6)$$

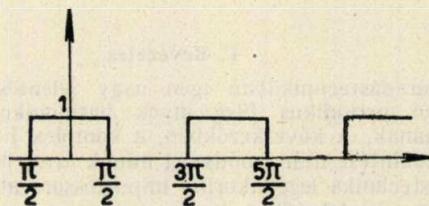


4. ábra

Ennek a trapezoid impulzusnak operátorát ismerve, az összes egyenesvonalú impulzusok operátorai meghatározhatók.

4. Operátortáblázat

Határozzuk meg a fent ismertetett eljárás segítségével az 5. ábrán feltüntetett négyszögrezgés Fourier sorát.



5. ábra

Az 5. ábra első impulzusának operátora a (3,6)-ból $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0$ és $\alpha = \pi/2$ helyettesítéssel:

$$F(p) = \frac{2 \text{sh } \frac{\pi}{2} p}{p} \quad (4,1)$$

Helyettesítsük be a (4,1) operátort a (2,5) összefüggésekbe, akkor megkapjuk a Fourier-sor együtthatóit.

$$A_n = \frac{1}{2\pi} \lim_{n \rightarrow 0} \frac{2 \text{sh } j \frac{\pi}{2} n}{j n} \quad (4,2)$$

L'Hospital szabályát alkalmazva,

$$A_n = \frac{1}{2} \quad (4,3)$$

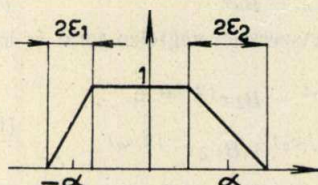
és

$$A_n = \frac{2}{2\pi} \frac{2 \text{sh } j \frac{\pi}{2} n}{j n} = \frac{2}{\pi} \frac{\sin \frac{\pi}{2} n}{n} \quad (4,4)$$

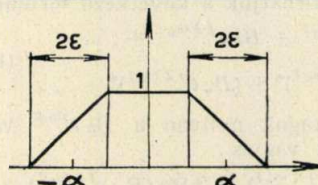
Az együtthatókat a (2,6) egyenletbe helyettesítve a fenti négyszögrezgés Fourier sorát kapjuk:

$$f(t) = \text{Re} \left[\frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\pi} \frac{\sin \frac{\pi}{2} n}{n} e^{j n t} \right] \\ = \text{Re} \left[\frac{2}{\pi} \left(\frac{\pi}{4} + e^{jt} - \frac{1}{3} e^{j3t} + \frac{1}{5} e^{j5t} - \dots \right) \right]$$

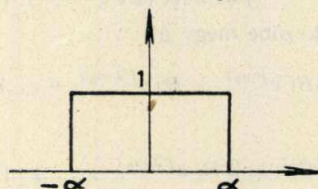
Az alábbiakban táblázatosan a híradástechnikában leggyakrabban használt impulzusok operátorait állítottuk össze.



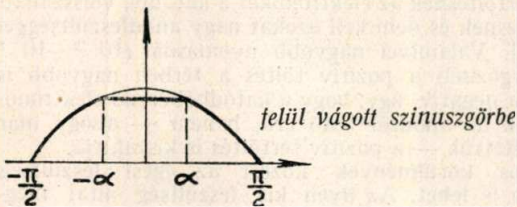
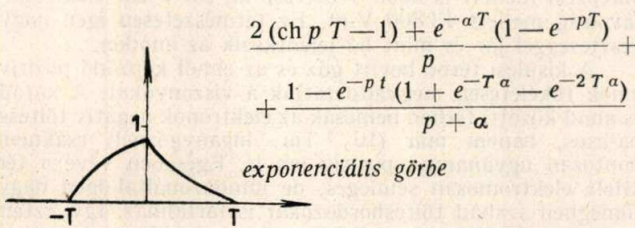
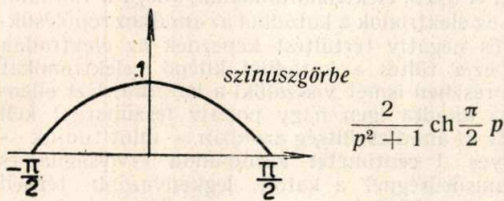
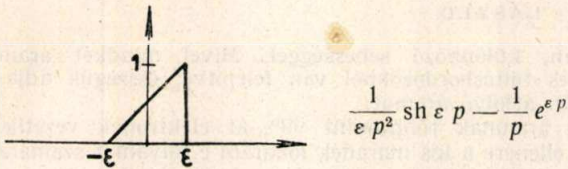
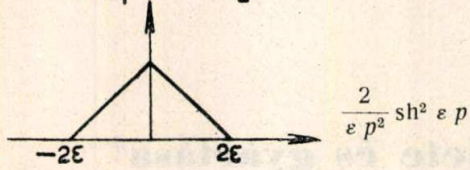
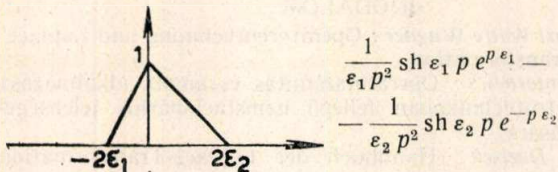
$$\frac{1}{\varepsilon_1 p^2} \text{sh } \varepsilon_1 p e^{\varepsilon_1 p} - \frac{1}{\varepsilon_2 p^2} \text{sh } \varepsilon_2 p e^{\varepsilon_2 p}$$



$$\frac{2}{\varepsilon p^2} \text{sh } \varepsilon p \cdot \text{sh } \alpha p$$



$$\frac{2 \text{sh } \alpha p}{p}$$



$$\frac{2}{p^2 + 1} \left[\text{ch } \frac{\pi}{2} p - p \cos \alpha \text{ sh } p \alpha - \sin \alpha \text{ ch } p \alpha \right] + \frac{2 \text{ sh } \alpha p}{p} \cos \alpha$$

5. Fourier-sor meghatározása impulzussorozat operátor függvényéből

Az eljárás akkor is alkalmazható, ha nem egy impulzus operátorát, hanem az egész periodikus függvény operátorát ismerjük. Ezek a függvények minden operátorszámítási kézikönyvben vagy táblázatban rendelkezésünkre állnak. Jelöljük az illető periodikus függvényt $\varphi(t)$ -vel akkor a $\varphi(t)$ függvény Laplace integrálja a következő:

$$\varphi(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} \Phi(p) e^{p t} dp \quad (5,1)$$

Itt $\Phi(p)$ -vel a $\varphi(t)$ függvény transzformált függvényét jelöltük és az integrálás az összes pólustól jobbra végzendő.

Az (5,1) integrált a komplex függvénytan ismert tétele alapján a következő alakban írhatjuk:

$$\varphi(t) = \frac{1}{2\pi j} \sum^n \oint_{p_n} \Phi(p) e^{p t} dp \quad (5,2)$$

Itt az összeg tagjai az egyes pólusokat körülzáró görbére vett integrált jelentik. Az összegezést ki kell terjesztetni a $\Phi(p)$ függvény összes pólusaira. Az integrál tehát redukálódott az egyes pólusok körül vett zárt görbe menti integrál meghatározására. Ennek az integrálnak meghatározása pedig Cauchy integrál-tétele alapján az alábbiak szerint történhetik.

Legyen p_1 a $\Phi(p)$ függvénynek k -szoros pólusa, akkor:

$$\frac{1}{2\pi j} \oint_{p_n} \Phi(p) e^{p t} dp = \frac{1}{2\pi j} \oint \frac{M(p)}{(p-p_n)^k} e^{p t} dp = \frac{d^{k-1} [M(p) e^{p t}]}{d p^{k-1}} \Big|_{p=p_n} \quad (5,3)$$

itt

$$\Phi(p) = \frac{M(p)}{(p-p_n)^k} \quad (5,4)$$

és p_n már nem gyöke $M(p)$ -nek.

A híradástechnikai gyakorlatban általában olyan függvények szerepelnek, amelyeknek csak egyszeres gyökeik vannak. Gyakorlatilag tehát legnagyobb jelentőségű az az eset, amikor $k = 1$. Ekkor az (5,3) formula az alábbi alakba megy át:

$$\frac{1}{2\pi j} \oint_{p_n} \Phi(p) e^{p t} dp = M(p_n) e^{p_n t} \quad (5,5)$$

Itt p_n szintén már nem gyöke $M(p)$ -nek. Korlátozzuk most vizsgálatainkat az imaginárius pólusokra. Ha az imaginárius tengely ezen diszkrét pontjait az (5,3) egyenlőségbe helyettesítve a kapott tagokat összegezzük, akkor a keresett Fourier-sort kapjuk. Vagyis:

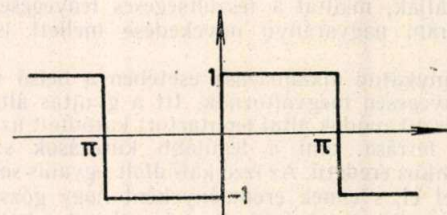
$$\varphi(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[\frac{d^{k-1} M(p) e^{p t}}{d p^{k-1}} \right]_{p=p_n} \quad (5,6)$$

Avagy ha $k = 1$, az (5,5) formulából

$$\varphi(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} M(p_n) e^{p_n t} \quad (5,7)$$

Ez a sor ismét mindkét irányban végtelen, s ebből a 0-tól ∞ -ig tartó sor együtthatói szintén az (1,7), (1,8) és (1,9) alapján határozhatók meg. Alkalmazzuk ezt az eljárást a 6. ábrán feltüntetett impulzussorozatra. Az itt feltüntetett négyzetgöregzés Laplace transzformáltja:

$$\Phi(p) = \frac{\text{th } \frac{\pi}{2} p}{p} = \frac{\text{sh } \frac{\pi}{2} p}{p \text{ ch } \frac{\pi}{2} p} \quad (5,8)$$



6. ábra

$\Phi(p)$ -nek pólusa van, ahol $p = jn$, itt $n = 2k + 1$, ha $k = \dots -2, -1, 0, 1, 2, \dots$. Az (5,6) alapján tehát

$$\varphi(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{\text{sh } \frac{\pi}{2} p}{p \text{ ch } \frac{\pi}{2} p} [p - (2k+1)j] e^{p t} \Big|_{p=(2k+1)j} \quad (5,9)$$

Ebből L'Hospital szabályával a következő adódik:

$$\varphi(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{e^{j(2k+1)t}}{j(2k+1) \frac{\pi}{2}} \quad (5,10)$$

Ebből most már az (1,9) figyelembevételével a sor :

$$\varphi(t) = \frac{4}{\pi} \operatorname{Re} \frac{1}{i} \left(e^{jt} - \frac{1}{3} e^{j3t} + \frac{1}{5} e^{j5t} - \frac{1}{7} e^{j7t} + \dots \right) \quad (5,11)$$

IRODALOM :

Karl Willy Wagner : Operatorenrechnung und Laplace'sche Transformation.

Kontorovics : Operátorszámítás és annak alkalmazásai az elektrotechnikában fellépő nemstacionárius jelenségek tárgyalására.

G. Doetsch : Handbuch der Laplace-Transformation.

Higanygőz-áramirányítók elmélete és gyártása*

HOSZPODÁR SÁNDOR és LÁSZLÓ

Azokról a kérdésekről szeretnénk beszámolni, amelyek az áramirányítók gyártásával és üzemével kapcsolatosak, különös tekintettel arra, hogy hazánkban az áramirányítók gyártása röviddel ezelőtt megindult.

Mindenekelőtt azokról a fizikai alapelvekről és jelenségekről kell beszélnünk, melyek az áramirányítás elvi kérdései és amelyek az olvasók többsége előtt nagyjából ismeretesek, de úgy hisszük, hogy a teljesség kedvéért szükséges egy rövid, vázlatos áttekintés az egységes kép kialakítására.

A vákuumtérben létrejövő kisülések, illetőleg áramvezetés fizikai jelenségeinek magyarázata a következőkben foglalható össze :

A vákuumtérben történő áramvezetésnek egyik ismert példája az izzókatódos vákuumcső. Ennél katódul izzó fémspirálisan használnak, amely elektronokat bocsát ki. Az így keletkezett elektronok a vákuumtérben nagy sebességgel az anód felé áramlanak, ha az anód a katódhoz képest pozitív. Az elektronok a katód és anód között az áramvezető összeköttetést létesítik, amíg az anód pozitív. Ha az anódfeszültség negatív lesz, az áramvezetés megszűnik, a következő pozitív félhullámig. Az anód nem emittál elektronokat, tehát áram ellentétes irányban nem folyhat, de még — a gázok és gőzök teljes hiánya miatt, ellentétben a gáz- vagy gőztöltésű áramirányítókkal — glimm-kisülés sem léphet fel. A vákuumcsövek ezért tökéletes szelepek, tökéletes egyenirányítók. Ezeknél azonban a katód körül jelentős negatív tértöltés keletkezik, amelynek nagy feszültségvesztéses a következménye.

A tértöltés következtében fellépő nagy feszültségvesztés miatt ezeket a csöveket nagy feszültségű, de kis erősségű áramok egyenirányítására használják, például a Röntgen-berendezéseknél.

Egészen más a helyzet gázzal, vagy gőzzel töltött edényekben, mint a vákuumtérben. Itt a folyamatok lényegesen bonyolultabbak. A gáz- vagy gőztöltés mindenképp előtt arra szolgál, hogy a fellépő pozitív ionok a tértöltést kompenzálják, miáltal a feszültségvesztés lényegesen kisebb, és az áram nagyarányú növekedése mellett is állandó marad.

Higanykatód alkalmazása esetében a belső viszonyok ismét lényegesen megváltoznak. Itt a gyújtás által keltett és a gerjesztő anódok által fenntartott katódfolt az elektronemisszió forrása, ami a legújabb kutatások szerint itt nem termikus eredetű. Az izzó katódfolt ugyanis sok higanyt gőzöltet el, s ennek eredményeként nagy gőzsűrűség és igen sok pozitív ion keletkezik, közvetlenül a katód fölött. Ezek pozitív tértöltést alkotnak és a szembenfekvő katód felületével erős elektromos mezőt létesítenek, amely az elektronokat a katódból kiszakítja. Az így felszabadult elektronok az anód felé vándorolnak és a gáz- és gőzmolekulákat az ívút hosszában ionizálják.

Az ionizálás folyamata és a vele kapcsolatos alapjelenségek meglehetősen bonyolultak, de tisztázottak, és röviden a következőkben foglalhatók össze :

A katódból kiszakított elektronok a pozitív anód felé repülnek. Útjukban beleütköznek a gáz- és gőzatomokba, azokból elektronokat hasítanak le. A leváló negatív elektron miatt a pozitív magtöltés túlsúlyba kerül és a maradék atomból pozitív töltésű ion lesz. Az elektron az elektromos tér irányában halad a pozitív elektróda, az anód felé, a pozitív ion pedig a negatív katód felé. Az ívkisülés tartama alatt tehát két áramlás folyik a vákuumtérben ellentétes

irányban, különböző sebességgel. Mivel mindkét áram ellentétes töltéshordozókból van felépítve, összegük adja a csövön átfolyó áramot.

Az áramnak több mint 99%-át elektronok vezetik. Ennek ellenére a kis maradék ionáram e folyamat számára életszükséglet. A tiszta elektronáramoknál, ahogy a vákuumcsőnél láttuk, az elektronok a katódból az anódhoz repülésükben olyan erős negatív tértöltést képeznek az elektródák között, hogy ez a töltés a katódból kilépő elektronokat a legnagyobb részben ismét visszalöki a katódra. Ezt ellensúlyozandó az anódra igen nagy pozitív feszültséget kell alkalmazni. Ez az anódfeszültség azonban — mint tudjuk — igen tekintélyes : 1 centiméter katód-anód távolságnál és 1 A/cm² áramsűrűségnél a katód legkedvezőbb térbeli kiképzése mellett is 5500 V-ot tesz ki, sőt 2 cm elektródatávolság mellett 13 800 V-ot. Ez természetesen igen nagy veszteséggel jár és mint hő jelentkezik az anódon.

A kisülési térbe bevitt gőz és az ebből képződő pozitív ionok tökéletesen megváltoztatják a viszonyokat. A katód és anód közötti térben nemcsak az elektronok negatív töltése hatásos, hanem már (10⁻³ Tor. higanygőznél) csaknem pontosan ugyanannyi pozitív ion is. Egészben véve a tér kifelé elektromosan semleges, de mindazonáltal igen nagy tömegben szabad töltéshordozókat is tartalmaz. Így aztán a negatív tértöltésnek az elektronokat a katódba visszahajtó erői most elesnek és nem kell azokat nagy anódfeszültséggel kompenzálni. Valamivel nagyobb nyomásnál (10⁻²—10⁻² Tor. higanygőznél) a pozitív töltés a térben nagyobb is lehet, mint a negatív, úgy, hogy a katódból eredő elektronokat nemcsak az anódról ható erő, hanem — ahogy már fentebb említettük — a pozitív tértöltés is kiszakítja.

Bizonyos körülmények között az égési feszültség még kisebb is lehet. Az ilyen kis feszültség által meggyorsított elektronok közvetlenül ugyan nem tudnak ionizálni, mindazonáltal több atom összehatása következtében előállhat ionizációs állapot. Ez akkor lehetséges, ha egy első elektron egy neutrális atomnak kisebb energiát átadott, azt gerjesztette és egy másik elektron a gerjesztett atomnak az ionizációhoz hiányzó energiamennyiséget hozzáadja.

Az atomok gerjesztésénél az atommag körül keringő elektront az elektromos térbe repülő egyik elektron pályájáról kiemeli, anélkül azonban, hogy az atom-kötélekből eltávolította volna. A gerjesztett elektronok azonban 10⁻⁸ másodperc után pályájukra visszaesnek, de közben a felszabadult energiájuk fényjelenségben nyilvánul.

A gerjesztett atomnak ez a normális állapota tehát lehetővé teszi, hogy egy bizonyos időn belül (10⁻⁸ mp) egy újabb kisenergiájú elektronnal való összeütközéskor a ki-mozdított elektron teljesen eltávozzék az atomkötélekből és töltéshordozóvá váljon. Az ionizáció tehát fokozatokban történhet. A gerjesztett atomok között azonban vannak olyanok is, amelyek 1/100 — 1/10 mp-ig tudják az energiát tárolni. Ezeket az atomokat *metastabilnak* nevezik. Az ilyen gerjesztett metastabil atomok ütközési statisztikája lényegesen jobb. Metastabil atomok a kisülésben tömegesen is felléphetnek, és annak viszonyait nagymértékben befolyásolhatják.

Amint láttuk, az atom gerjesztéséhez elegendő az ionizáló feszültségnél jóval alacsonyabb feszültség. Engel és Steenbeck szerint higanygőznél a gerjesztéshez 4,86 V,

* Egyesületünkben 1952. okt. 8-án tartott előadás.

az ionizációhoz 10,4 V szükséges. Nátriumnál a gerjesztő feszültség 2,12 V, az ionizációhoz pedig 5,12 V szükséges.

A világítási jelenség a kisülési pályán a gáz, vagy gőz gerjesztő feszültségétől függ. A 10^{-8} mp után visszaeső elektronok a gerjesztő, illetőleg ionizáló energiáknak megfelelő hullámhosszúságú fénysugarat bocsátanak ki. Ez a fény higanygőznél kékesfehér, míg neonnál vörösrózsín. A fényoszlop kis áramerősségnél szétfolyó, ritka szerkezetű, míg nagyobb terhelésnél betölti az egész cső keresztmetszetét. Nagyobb gőznyomásnál és növekvő áramnál az ívoszlop mindjobban összehúzódik.

Egyenirányítóknál az állandó elektronemisszió fenntartására az ú. n. segédanódokat alkalmazzák, amelyek tulajdonképpen induktív terhelésű kisfogyasztású elektródák. Rendszerint két anóddal az egyenirányító edény alsó részében helyezik el őket, külön kis transzformátorral, gyűjtőszervezettel és korlátozó ellenállással. Segédanódokra azért van szükség, mert ha az egyenirányító üzemében a terhelés nullára esik, akkor megszűnik az elektron kibocsátás, megszűnik az ionizáció, a főanódokon az ív kialszik és nem tud többé begyulladni.

Ha a főanódokon a feszültségpotenciál megfordulása miatt az ívkisülés kialszik, az ívet a szomszédos anód veszi át. A kialakuló anód közelében a hosszabb élettartamú iontömeg a most már negatívvá vált anód felé áramlik. Ilyenkor leghajlamosabb az áramirányító a visszagyűjtásra. A törekvés az tehát, hogy az ionokat semlegesítsük; az erre szükséges időtartamot iontalánítási időnek hívjuk.

Ha az új ionok és elektronok a kisülési térben vezető felületbe, falba ütköznek, ott rekombinálnak, s ezáltal semlegesítődnek. Minél gyorsabban jutnak a töltéshordozók a falhoz, vagyis a falak minél közelebb állanak a kisülési pályához, és minél nagyobb a töltéshordozók szabad úthossza, annál kisebb az iontalánítási idő. Számítások szerint ez az idő a faltávolság négyzetével fordítva, s a töltéshordozók szabad úthosszaival lineárisan csökken. Az iontalánítási időt Steenbeck szerint lehetőleg 10^{-5} mp-re, de legalább 10^{-4} mp-re kell leszorítani.

A rács szerepe

Ha az anódokon a negatív félperiódus jelenik meg, a kisülési út áram nélkül marad. Ilyen pólushelyzetnél a téroró az elektronokat a katódból nem engedni kilépni, hanem azokat visszazorítja. Az elektronok ezért nem tudnak ionizálni, a hordozók újraképződése megszűnik, mintha az anódkról a feszültséget elvették volna.

A vákuumcsöveknél — amelyek ionokat nem tartalmaznak — ha az anód és a katód közé rácsot helyezünk el, amely a katóddal szemben negatív töltéssel bír, ez a negatív elektronokat a katódhoz visszaují. Ha a rácson a negatív töltést a katódhoz képest gyengítjük, akkor a katódból kijövő elektronok egy része a rácson keresztül az anódhoz jut, ha az anódon pozitív feszültség van. Minél kevésbé negatívvá tesszük a rácsot a katóddal szemben, annál nagyobb lesz az áram, amely az anód és a katód között folyik. De bármilyen nagyvá tesszük a pozitív töltést a rácson, a katódról szállított elektronoknak csak egy része fog az anódhoz eljutni, mert az elektronok az anódhoz való repülésükben a katód előtt negatív töltést képeznek és mint egy negatívra töltött rács, az elektronok egy részét mindig visszahajtják a katódba. Ez a negatív töltés a katód előtt megakadályozza tehát, hogy az összes emittált elektron az anódhoz jusson.

Ha egy ionizált gáztérben elhelyezett semleges elektródát a katódhoz képest negatívvá tesszük, akkor az a közvetlen körülötte levő ionizált térből az elektronokat taszítja, míg a pozitív ionokat magához vonzza. Így az elektróda körül egy majdnem kizárólagosan pozitív ionokból álló réteg képződik. A negatív töltésű elektródtól kiinduló erővonalakat ez a tértöltés árnyékolja. Ezért a térorósság a felületről az ionizált plazma felé mérve állandóan csökken, míg egy adott d távolságban nullával lesz egyenlő. A réteg vastagsága

$$d^2 = \frac{\sqrt{2e}}{9\pi} \frac{U^{3/2}}{j^+}$$

ahol U az elektródafeszültség
 j^+ a pozitív ionáramsűrűség.

Egy az ionizált térben elhelyezett rács szerepét vizsgálva, láthatjuk, hogy a magas vákuumban lefolyó folyamattal ellentétben, a rács csak egy igen kis d távolságban van hatóképesen jelen. Ha a rácsselemek távolsága kisebb, mint az ionpárna kétszeres vastagsága, úgy a rácson elvileg teljesen záróképesnek kellene lenni. Ez gyakorlatilag igen nagy negatív rácsfeszültséggel lenne elérhető, de a felépítő lökésionizáció miatt a rácson ilyenkor egy önálló rész-kisülés keletkezik.

Az ionsűrűség kis mértéken való tartásával a vezérelhetőség kisebb feszültségekkel is elérhető, ilyen folyamatosan vezérelhető szelepek egyidőben készültek is. Amennyiben azonban nem minden rácsonyílás egyszerre zár le, a kisülés egyes rácsonyílásokon át fennmaradhat, akkor már az áramsűrűség és ezáltal az ionkoncentráció olyan nagy, hogy az ionréteg vastagsága a záráshoz nem elegendő. Ezért nagy egyenirányítóknál a rácsot csak a kisülés beindítására és védelemre szokás használni, de soha a már égő kisülést kioltására.

Az ívfény természete

A kisülés az anód és katód között mindaddig fennáll, amíg a pozitív anódfeszültség az ionizációhoz szükséges értéken felül marad. Az elektronok pályája a katódból való kilépéstől az anódhoz való útjukon pontosan olyan, mint egy áramló gáz molekuláinak pályája, mintha a gáz a katódból lépne ki és az anódhoz áramlana. Eszerint tehát az elektronok elpárolognak a katódon és kondenzálódnak az anódon.

Ha a kisülés az anódon beáll, de az áram, amely az ívben folyik, olyan értékű, hogy az ívfény nem fedi be az egész anód felületét, akkor a felületi áramsűrűség is kicsi. Ha az áram nő, az ívfény mindjobban kiterjed, s egy bizonyos áramsűrűségnél az egész anódfelületet világítani kezd. Ha ennél az értéknél feljebb emeljük az áramot, akkor az anódosés nő. Ez a jelenség a következőképpen magyarázható: ha az anód áramot vezet, akkor egy bizonyos elektronréteg képződik az anód körül, amely most már az anód felé repülő elektronokra — azonos töltésűknél fogva — fékező hatással van, úgy hogy azoknak az elektronoknak, amelyek az áramvezetésben résztvesznek, le kell győzni e réteg negatív töltésének ellenállását, amely energiaelvonással, feszültségeséssel jár együtt.

Az áramirányító konstruktőrök egyik fő törekvése oda irányul, hogy a berendezés hatásfokának emelése céljából az ívfeszültségesést minél alacsonyabbra szorítsák le. A jó hatásfok szempontjából ugyanis főképp az ívben jelentkező feszültségesés okozta veszteség jön elsősorban tekintetbe.

Mielőtt ennek vizsgálatához fognánk, nézzük meg, miből tevődik össze az ívfeszültségesés veszteség, milyen értéket vehet fel, illetőleg mennyi az az elektromos energia, amely ekkor meleggé alakul. Több kutató végzett méréseket, hogy kimutassa az összveszteség értékét. Ez a veszteség a kisülési úton három részből tevődik össze. Az anódon, az ívben és a katódon jelentkező feszültségesésből. Vizsgálatuk a három rész üzemi viszonyoktól való függőségére is kiterjedt. Ezekről a kutatóktól közölt értékek nem egészen egyeznek, mivel a feszültségesés egyes részeit igen nehéz megmérni. A méréseket úgy végezték, hogy a mérendő helyekre külön elektródákat, szondákat helyeztek el az ívfényben. Az így alkalmazott szondák feltöltődése sokszor komoly hibák forrásául szolgált. Újabb méréseknél ezt a hibát most már ki tudják küszöbölni. Egyértelműen megállapítható, hogy például a katódosés mindenfajta egyenirányítónál közel állandó és úgy látszik, hogy az edényben levő állapottól és a terheléstől független. Ez a katódosés több vizsgálat egybehangzó adata szerint 6—9 V-ban állapítható meg. Ez a veszteség használódik fel az elektron kilépési munkájára.

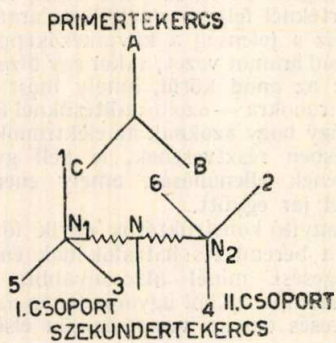
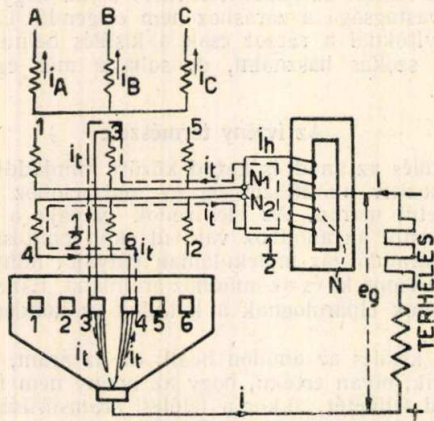
Magában az ívben a feszültségesés cm-ként átlag 0,1 V. Ez a feszültségesés megfelel a lökésionizációhoz felhasznált energia összegének, és nő a vákuum romlásával, a gáznyomás növekedésével, amely a hőmérséklettel emelkedik, továbbá növekszik még az árammal is.

Az anódosés körülbelül 5 V-ot tesz ki. Ez megfelel annak az energiaösszegnek, amelyet az anódokhoz repülő elektronok az elektromos mezők legyőzésére felhasználnak és amely elektronok a felülethez való ütközéskor meleggé alakulnak. Ez az anódosés függ az anód anyagától, alakjától és az edényben uralkodó nyomástól.

A fentiekben megadott részvesztésektől függ az összvesztéses értéke. Normális feszültségű ivfényeknél és egy olyan áramirányítónál, amelynek az ivhossza 1 m, a katódcsésés 7 V, ivfénycsésés 0,1 V/cm, és anódcsésésre 5 V veszteséget számolunk, a következő összvesztés adódik:

$$7 + (100 \times 0,1) + 5 = 22 \text{ V}$$

Mivel az áramirányítónál a belső veszteségek az alkalmazott egyenáramú feszültségekkel nem nőnek, egy nagyfeszültségű áramirányítónál ez a veszteség csak kis része az összvesztésnek. Viszont alacsony feszültségű áramirányítónál ez viszonylag jelentős értékre emelkedik, tehát az áramirányítók hatásfoka nagyobb feszültségeknél kedvezőbb.

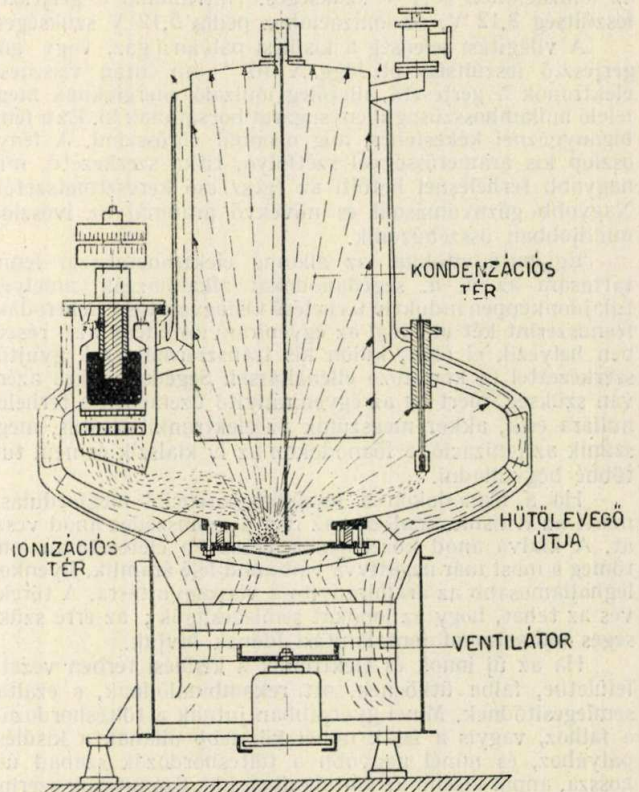


1. ábra. Szívó-fojtós kapcsolás hatfázisú vasegyenirányítóhoz; a transzformátor ciklikus csatlakozása az egyenirányító anódjaihoz.

Meg kell még említeni, hogy az ivfénycsésés csökkentését egy másik ivfénycsésés közvetlen szomszédsága — amely az ionizációban segítségére van — jól befolyásolja. Ez okból a többfázisú áramirányító anódjai ciklikus sorrendben a fázisforgás szerint vannak rendezve, az egymásra következő fázisok átlapolási idejére tekintettel azért, hogy az ivfénycsésés az egyik anódról a másikra simán átvándoroljon (1. ábra).

Fentebb említettük, hogy az áramirányító feszültségcsésés az anódáramtól is függ. Ezért van, hogy a terhelést az anódok közt elosztó, ú. n. szívófojtós kapcsolás esetében, ahol állandóan két anód vezet áramot (1. ábra), s így az anódok részárama egyenlő a fél katódárammal, a belső feszültségcsésés is lényegesen kedvezőbb.

A 2. ábra léghűtésű, hatanódos szívattyús egyenirányító szerkezeti rajzát mutatja, vezérelt és vezéreltlen ráccsal, a dóm tetejéről lenyúló gyújtórúddal, hűtőventilátorral. Üzemben lévő alakját a 3. ábra szemlélteti, önműködő hűtéssel, az egyenirányítóra szerelt külső hűtőköpenyvel. Ezek a hazai egyenirányítók évek óta működnek (a HÉV állomásokon) és a villamos vontatás részére szolgáltatnak egyenáramot. Ez a hatanódos elrendezés tulajdonképpen több évtizedes fejlődés után alakult vissza, a 18 és a 24 anódos és főként az alu-kohónál alkalmazott, gyakran 10 tonnás egységekből az ivfénycsésés csökkentése céljából, részben pedig egyéb megfontolások miatt. A külföldi nagy gyárak már beszüntették a hatnál nagyobb anódszámú áramirányító egységek gyártását.

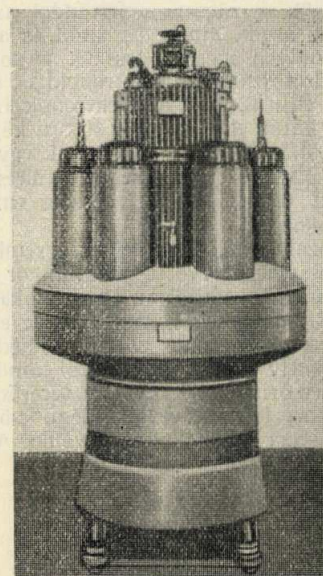


2. ábra. Hazai gyártmányú léghűtésű egyenirányító elvi elrendezése, 6 anóddal, 3 segédanóddal, merülő gyújtással.

A 2. ábra az egyenirányító belsejében lefolyó eddig tárgyalt fizikai jelenségek pontos helyét is mutatja.

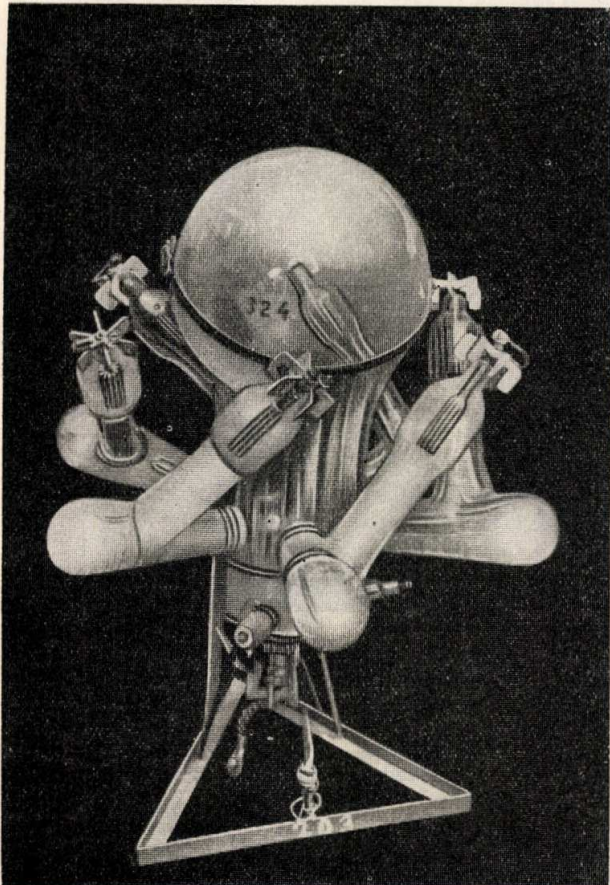
Üveg- és vastestű higanygőz-egyenirányítók szerkezete és felépítése

Mielőtt továbbmennénk, meg kell ismerkednünk az egyenirányítók kifejlődésében a kezdeti alakokkal, az üvegtestű egyenirányítóval, amelynek első megoldása ú. n. billenő gyújtással készült. Ennél a szerkezetnél az egész edény elbillentésével meg kellett szakítani az edénybe mereven beépített gyújtótű és a higanycsésés összeköttetését, amelynek folytan keletkezett iv állította elő a tér ionizálását. Ez a nehézkes megoldás teljesen kiment a használatból.



3. ábra. Hatanódos egyenirányító önműködő hűtéssel

Az üvegegyenirányítók általában 2, 3 és 6 anódkarral készülnek. Anódukat kizárólag grafitot használnak. Az anódok rövidebb csőtoldal, vagy hosszabb és megtört, könyökkel ellátott kar végében vannak az üveggel azonos hőkitérjedésű. az üvegbe beforrasztott fémrúd végére menettel rácsavarva. A meglehetősen nagy, néha 12 mm átmérőt is meghaladó bevezető fémnek az üveggel való összeolvasztása komoly gyakorlatot és nagy elővigyázatot igényel, mert ha a beforrasztás után való temperálás nem történik a használt üvegfajtának pontosan megfelelő hőmérsékleten és ideig, akkor a fémbeforrasztás elreped, és az üvegedény nem légteleníthető.



4. ábra. 250 ampéres üvegtüstű higanygőz-áramirányító, megtört karokkal, a könyök végén kiöblösödés a pótkompenzáció céljára.

Ahogy említettük, a nagyobb feszültségeknél megtört karokat alkalmazunk, és a gőzsűrűség csökkentése céljából kiálló könyököket képezünk a gyors kondenzálás megkönnyítésére (4. ábra). Ezeknek a kiöblösített karvégződéseknél az is a szerepük, hogy az ott kondenzálódott higany által előállított részvákuum szívóhatást gyakoroljon a katód környezete felé, a fölös higanygőznyomást az anód körül megszüntesse és a higanygőz áramlását az anódokhoz megkönnyítse.

Előnyösnek bizonyult azonkívül az üveg túlságos felmelegedésének az elkerülése végett, főként az anód körül, az üveg kiöblösítése. A karok megtörése az ionbombázás és így a visszagyújtások megállítására való. A már említett ivkisülés befejezésekor az ionoknak a falakba ütközését a nem egyenesvonalú úton keresztül álló üvegfalak jobban lehetővé teszik. Úgy fejezik ezt ki gyakorlati nyelven, hogy az anód ne lássa a katódot.

A higanykatód az üvegtüstű megfelelően kiképzett lapos fenekében foglal helyet. Egy 250 A-es hatkarú higanygőz egyenirányítóban kb 4½ kg higany van. Ennek a katódnak a külső térbe való kivezetését, mivel az üvegbeforrasztó fémek ellenállású krómtartalmú anyagok, megfelelő nagy keresztmetszetre kell méretezni. A katód felett foglalnak helyet a segédanódok, amelyek a belső tér állandó ionizációját biztosítják.

A segédanódok gyújtására különböző megoldások vannak. Ezek közül leghasználatosabb még most is az ú. n. merülő gyújtás, amelynél egy rúgós, meggörbített végű tűt — melynek vége az üvegen keresztül ki van vezetve — egy külsőleg alkalmazott elektromágnes a higanyba ránt.

A tű árama a higanyból való kihúzáskor megszakad, a szikra helyén a felizzott higany elektronokat bocsát ki, amelyek ionizálnak és így a segédanódokon levő feszültséggel kisülést létesítenek. Ha beáll a kisülés, a segédanódok árama egy relével megszakítja a gyújtótű mozgására szolgáló mágnes gerjesztését.

A másik megoldás, amely főként vastestű egyenirányítóknál van alkalmazásban, az ú. n. fröccsgyújtás. Ez úgy működik, hogy a higanykatód alatti csőrészben egy elektromágnessel lehúzó dugattyú mozog, amely az aláfolyt higanyt a tengelyében levő csövön keresztül felfecskendézi a katód fölött álló gyújtóanódhoz.

Használunk ú. n. kontrakciós gyújtást is, amelynek egyik továbbfejlesztett formáját az »Anód« Áramirányítógyárban kiviteleztek, amely szerint a higanykatódba beemert porcelángyűrűvel elválasztott két higanyrész között a porcelánban alkalmazott résben levő higanyt alacsony feszültségű nagy áramerősséggel felrobbantjuk. E robbanás természetesen nagy ívet hűz, amely sokkal biztonságban ionizálja a teret, mint az előbb említett megoldás. További előnye, hogy mozgó alkatrész nincs benne.

Vastestű áramirányítók

A fejlődés fokozódó igényeinek kielégítése céljából szükséges volt nagyobb teljesítményű áramirányítók szerkesztése. Az üvegegyenirányítók teljesítményének az üveg anyaga szab határt. Az eddig legfelső határ, amelyet az üvegegyenirányítóval értek, 1000 A volt. Azonban az ilyen méretű áramirányítók kezelése és üzeme rendkívül kényes, nehézkes, úgy, hogy ma már ezek gyártása nem gazdaságos. 500 A-es teljesítményű üvegegyenirányító még itt-ott előfordul, de ez is mindinkább háttérbe szorult a vastestű áramirányítókkal szemben. A legáltalánosabb használatos üvegegyenirányítók teljesítménye manapság maximálisan 250—300 A.

Az első vastestű áramirányítót a magyar származású Schäfer Béla szerkesztette 1910-ben. Ez az első, három fázisú vasáramirányító három külön vasedényből állt, mindegyikben egy katód és egy anód volt. Tehát az első vasáramirányító egyanódos szerkezetű volt. Ugyancsak ő alkalmazott először segédanódot is, ivfenntartás céljából, amelyet külön egyenáramú áramforrással táplált.

Schäfer Béla első vasáramirányítója olyan kitűnő eredményt ért el, hogy ennek hatása alatt külföldön mindennél megindult azok szerkesztése és gyártása.

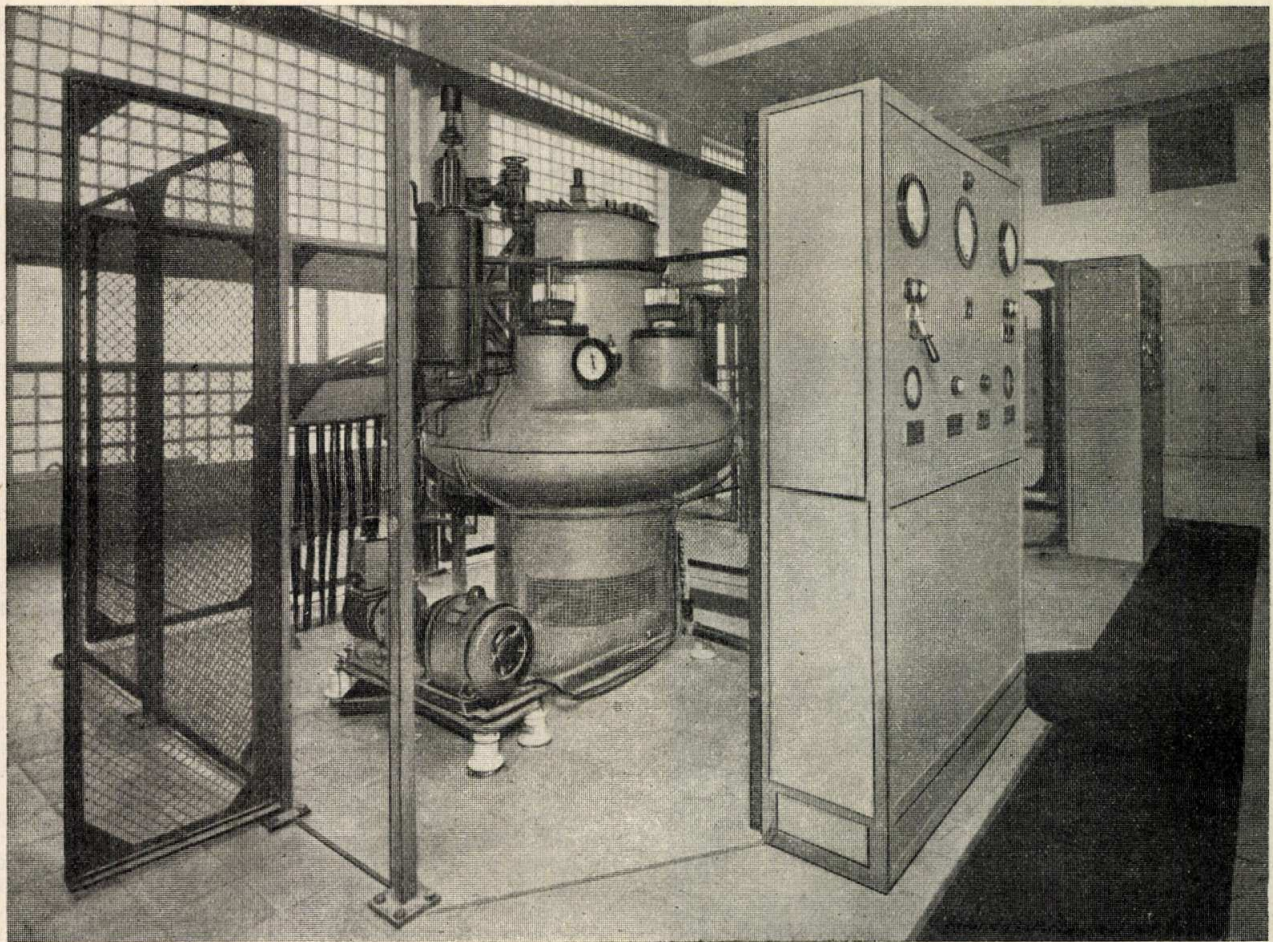
A kezdeti sikerek után mind nagyobb méretű és teljesítményű egyenirányítókat gyártottak, 18, sőt 24 anódosokat is. Kiderült azonban rövidesen, hogy az ilyen nagy súlyú gépek (10—13 tonna) nehéz megmunkálásuknál és nagy üzemi veszteségüknél fogva nem előnyösek és ma már azokat nem is gyártják.

Az elmúlt 10 év óta az ilyen nagy teljesítményeket kisebb egységek parallel-kapcsolásával érik el. Ezenkívül pedig a vízhűtést — ami nem mindenütt áll rendelkezésre és nagyobb költséggel jár — az egyszerűbb, olcsóbb léghűtéssel helyettesítik.

Az áramirányító edények alakja is fejlődésen ment át. A régi fazékalak, amelynek gőzterében foglalnak helyet az összes alkatrészek, nem bizonyultak elég jól hűthetőnek és a kondenzációs tér nem volt az ionizációs tértől kellően különválasztva.

Ma már majdnem általánosan azt az alakot használják, ahol az ívtér lencsealakban kibővült. Az anódkarok az ívtérből ki vannak emelve és az ugyancsak kiemelt hűtődóm a felesleges gőzök gyors kondenzálódását segíti. Az ilyen alakú edény — ahol az ionizációs tér a kondenzációs tértől el van választva — jól hűthető és legkevésbé hajlamos visszagyújtásra (2. ábra).

A hazai egyenirányító-gyártás az összes típusok megvizsgálása után ezt az alakot választotta (5. ábra). Egyetlen hátránya ennek az alaknak, hogy a belső felületek tisztítása kissé nehézkes, de igen nagy előnye, hogy nincs többmázsás, nehezen megmunkálható és kezelhető anódfedelemeze és



5. ábra. Hazai hatanodos léghűtésű áramirányító felállási helyén, üzemben. A perforált lemez mögött a hűtő ventilátor foglal helyet, a hűtő levegő a látható burkolaton belül az edény vastestére hegesztett hűtőbordák között áramlik. A hűtődóm tetején van a gyújtótű, a dóm mellett a diffúziós szivattyú. Az áramirányító lábánál az olaj-előszivattyú a hajtómotorjával látható. A kapcsolótáblán a felső 3 műszer közül a középső Pirani-féle elektromos vákuummérő

minden szerkezeti része külön kiemelhető. Újabbán a külföldi gyárak is ezt a megoldást használják a szivattyús vasegyenirányítóknál.

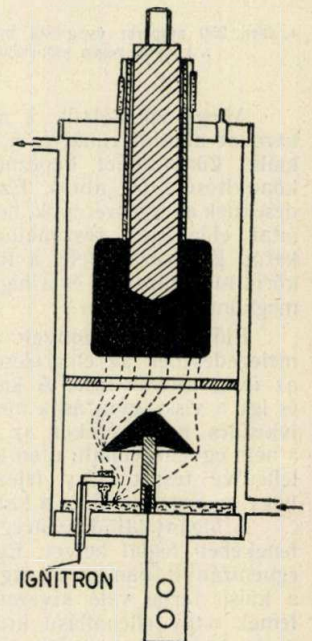
A szivattyú nélküli, többanodos vasáramirányítók szerkesztésében is a legtöbb gyár ezen az úton halad. A léghűtés itt még nagyobb jelentőségű, mivel az elmaradó gumitömítések miatt nagyobb felmelegedés is megengedhető, amely körülmény teljesítmény-növekedéssel jár. (A 3. ábra mutat ilyen szivattyú nélküli léghűtésű, AEG gyártmányú, 800 V 1500 A vasegyenirányítót.)

Az egyanodos áramirányítók közül is a léghűtésű és a szivattyúnélküli típusok bizonyultak a leggazdaságosabbnak. Az ezeknél alkalmazott ú. n. Ignitron-gyújtásnak (6. ábra) újabbán több hátránya is kiderült. Így például az, hogy a gyújtás vezénylése drága berendezés és a gyújtótű egy-két év alatt alkopik; ennek ellensúlyozására ma már egy edényben két gyújtóberendezést is alkalmaznak. (A 7. ábra ilyen fejlettebb típust mutat be, fröccs-gyújtással, központi segédanóddal, léghűtéssel.) Nagy előnyük azonban az egyanodos egyenirányítóknak az, hogy a tartalékok beállításánál nem szerepel nagy, költséges berendezés, hanem mindig csak 1—2 egyanodos edény. Az anód-katód közelség miatt az ívfeszültségesés kicsi. Mivel a melegé alakult energia az áramirányítónál főként az ívfeszültségesés és a katódáram szorzatából áll, az ívfeszültségesés minél kisebbre való leszorítása a szerkesztés egyik fő törekvése lett. Ez azonban természetesen egyéb okok miatt, főként a megnövekedett visszaram veszélye miatt, megfelelő határok között tartandó. Ha a legújabb konstrukciójú egyanodos áramirányítókat összehasonlítjuk egy korábbi gyártmányú 24 anódos 6000 A alu-kohó áramforrásával akkor 8—10 V ívfeszültség különbséget találunk. Ez a melegé alakult energia 30%-al való csökkenését jelenti. Ez pedig nem megvetendő érték egy olyan üzemnél, ahol 50—60 000 A fogyasztással kell számolni.

Üveg- és vasedény hűtése

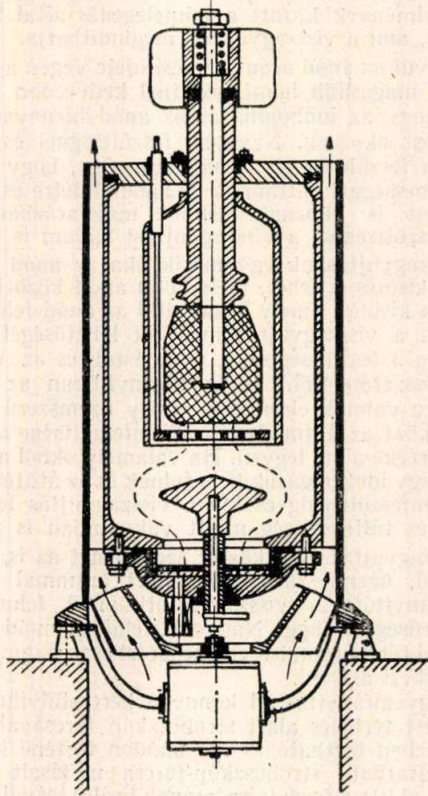
Az üvegestű higanygőz-egyenirányítókat 50 A-ig használják természetes hűtéssel. Azonfelüli terhelésre már mesterséges léghűtést alkalmaznak. Kísérletek folytak üvegegyenirányítók olajhűtésével is. W. Müller leír egy ilyen kísérletet, ahol egy 50 A-es üvegedényt olajhűtésben 600 A-el terheltek. De ez a gyakorlatban nem válhatott be, mert a berendezés az olaj-cirkulációt előállító szivattyú és a különleges hűtőedény előállítási ára miatt nem versenyképes, annál is inkább, mert keményüvegből 500 A-es egyenirányítókat is tudnak már gyártani. A szivattyúnélküli vasedények pedig egyszerű kezelésük miatt, léghűtéssel, messze felette állnak az olajjal hűthető egyenirányítóknak.

Az üvegegyenirányítók hűtése ma kizárólag levegővel történik, egy megfelelően elhelyezett ventilátorral, amelynek meghajtó motorja elektromos csatlakozását minden fázisában 1—1 fojtótekercs menetein vezetik át, és a fojtót az egyenirányító munkárammával telítik, amikor is a fojtó veszít induktív ellenállásából. A telítés fokozatos a katód-



6. ábra. Vízűtésű Ignitron elvi elrendezése a higanyba beérő gyújtótűvel.

áram növekedésével és így az indukciós motor fordulata, ill. levegőszállítása a motor karakterisztikájának meg-



7. ábra. Léghűtésű, fejlettebb egyenirányító fröccsgyújtással, egy segédanóddal.

felelően, a terheléstől függően változik. A fojtók induktív ellenállása olyan nagy, hogy egyenáramú mágnesezés nélkül a motorba nem folyik a megindításra szükséges áram.

A vastestű egyenirányítókat — eltekintve az elektrolitikus üzemekben alkalmazott nagyteljesítményű egyenirányítóktól — legnagyobb részben szintén levegőhűtéssel gyártják. A léghűtésnek az üzemekben olyan nagy előnye van, hogy mindenütt szívesebben alkalmazzák. Mindenestre meg lehet állapítani, hogy a fejlődés ezen a téren a léghűtés felé mutat.

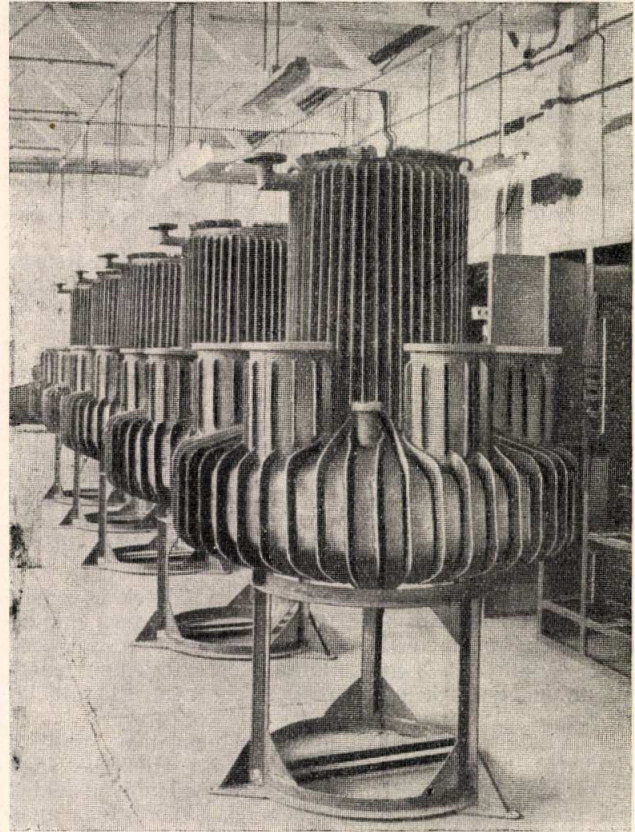
A vastestű szivattyú nélküli higanyoszáraz-áramirányítóknál a vízhűtés az edény falának közvetlen a vízzel való érintkezése miatt is kivihetetlen, mivel a hűtővízből a szabad hidrogén ionok a vassalon keresztül az evakuált térbe be-diffundálnak.

Magyar szerkesztésű egyenirányítók, amelyek közül az első a múlt évben érte el működésének hároméves évfordulóját, szintén léghűtésűek. A hűtést itt is az edény alatt elhelyezett függőleges tengelyű ventilátor végzi. Ennek kapcsolóját egy az edény felekén elhelyezett termosztát vezényli, pontosan a beállított be- és kikapcsoló hőfoknál (5. ábra).

Az edényt lemezburkolat veszi körül és az alulról befolyt hűtőlevegő a hűtőbordákkal ellátott edény falának görbületeit mintegy körülöleli. A léghűtésű vasedények gyártás alatti állapotát mutatja a 8. ábra, levegőburkolat nélkül.

Az egyenirányító üzem hőfoka a különböző kutatók szerint a következő: üvegegyenirányítóknál az anódkar üzem hőfoka 260° . Az üvegegyenirányító többi részén a hőmérséklet $100-60^{\circ}$. A víz- és léghűtésű vasedényeknél gumitömítések, valamint a hűtővíz elpárolgás veszélye miatt az edény falának megengedhető hőfoka 60° . A szivattyú nélküli higanyoszáraz-áramirányítóknál, ahol már gumitömítéseket nem alkalmazunk, az anódkar hőfoka 150° -ra emelkedhet.

Az egyenirányító szerkesztésénél főtörekvés az, hogy az üzem hőmérséklet minél magasabb legyen, főként a gumitömítés nélküli beforrasztott vagy zománczott tömítésű bevezetőknél. A magasabb hőmérsékleten működő edények-



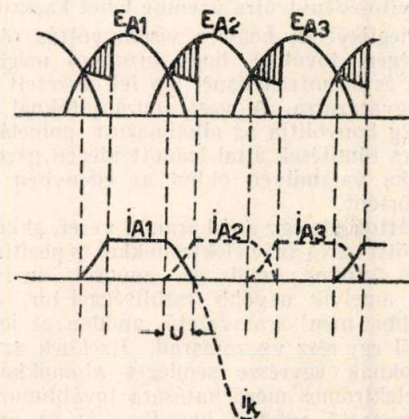
8. ábra. Gyártás alatt álló hazai hatanodos léghűtésű áramirányítók, külső burkolat nélkül.

nek az az előnyük, hogy a nagyobb hőfokokhoz hatványozottan növekvő elsugárzási és konvekciós hőelvezetés tartozik, tehát könnyebben hűthetők.

Egyenirányítók üzemeltetése. Az átlapolás

Az egyenirányító üzemében előforduló jelenségek megismeréséhez szükséges, hogy megegyezően érintsük a kommutáció jelenségét, amelyen az egyik anódról a másikra való áramváltást értjük.

Ha az áramkör semmiféle önindukciót nem tartalmazna, akkor az egyik anódról a másikra való áramváltás áramsietés vagy késlekedés nélkül állna be. A transzformátor szórási reaktanciája folytán az égő anódon a kislézési idő végén a rajtalevő pozitív potenciál lecsökkenésével az áram nem hirtelen szűnik meg, ugyancsak nem emelkedik fel a feszültség megjelenésekor hirtelen a következő anódon pillanatszerűen, hanem a két áram rövid ideig együtt ég



9. ábra. Átlapolás lefolyása. A transzformátor szórási reaktanciája folytán két anódon van egyszerre kislézés a feszültség megjelenése és eltűnése idején. Ezt a pillanatnyi rövidzár a két anódon a vonalazottan ábrázolt területnek megfelelően torzítja el az anód szinuszalakú feszültségét, u az átfedés idejé villamosfokokban jelenti.

az ú. n. átfedési idő alatt. Rövid ideig, tehát egyidejűleg áram folyik mind a két anódon, és előáll egy elektromos összeköttetés a transzformátor két fázistekercse közt, mely a transzformátorra nézve átmenetileg rövidzárlatot jelent. Az egyidejűleg égő anódokon váltóáram is folyik, az egyenáramra ráültetve. A transzformátor fázis-zárjarta alatt feszültségcsökkenés lép fel a katód és a csillagpont között. Az egyenfeszültség lecsökken a számtani középértékre, mindkét kommutálásban levő fázisnál (9. ábra). Ezt a feszültségcsökkenést természetesen befolyásolja még a transzformátor kapcsolása és a terhelés.

A kommutációnál tapasztalt ezen jelenséget átfedésnek, vagy átlapolásnak nevezzük. Az átlapolást villamos fokokban fejezzük ki, mely 6%-os rövidzárlási feszültségű transzformátornál 18—20° körül van.

Visszagyújtás

Az egyenirányítók üzemében a legsúlyosabb hiba a visszagyújtás. Hatásaiban sokszor erősen romboló esemény mely nemcsak az áramirányítót, hanem a vele kapcsolatos transzformátort is tönkretéheti. A visszagyújtás fellépése természetesen több vagy kevesebb ideig tartó üzemzavart, és általában mindenütt, de különösen az elektrolitikus üzemekben igen nagy károkat is okoz.

A visszagyújtást előidéző okok a vizsgálatok folyamán mindig kisebb és kisebb körre szorúlnak, de még mindig vannak váratlan és előzményeikből előre nem látott visszagyújtások, amelyek a gyakorlatban lépten-nyomon fellépnek, de amelyeknek okát mindezekig nem sikerült kideríteni.

A visszagyújtás tulajdonképpen nem más, mint a szelephatás megszűnése egy vagy több anódnál, vagy rövidzár anódok között. Ha ugyanis valamilyen okból egyik anódon elektronemisszió lép fel, akkor ez az anód katódként működik és az áram a többi anódtól hozzá folyik. Mivel ez az áram csak a transzformátor ohmikus és induktív ellenállásával van korlátozva, a visszagyújtás a trafóra nézve rövidzárlatot jelent. Súlyosbodik az eset, ha a visszagyújtott áramirányító több más áramirányítóval parallel-járásban van, mert akkor a visszagyújtásnál vissz-áram folyik az egyenáramú áramforrás pozitív polusától a visszagyújtott anódhoz.

Abban az esetben, ha a védőkapcsolók a rövidzárlatot nem tudják elég gyorsan lekapcsolni, akkor a visszagyújtás az anód felületén beégést — gödröt — okoz, aminek folytán az ilyen anód további visszagyújtásra lesz hajlamos. Nem elég gyorsan lekapcsolt visszagyújtásnál az érintett anód annyira felmelegedhet, hogy igen sok gáz szabadul fel a környezetéből is és a vákuum leromlik.

Vinograd szerint : »dacára a számos kísérletnek, amelyet a visszagyújtások okainak kutatására nézve éveken át folytattak, ennek a jelenségnek az okait és a feltételeket, amelyek között beáll, mindezekig nem sikerült tökéletesen felderíteni.«

Ma már olyan kitűnő védőberendezés áll rendelkezésre, hogyha az jól működik, a visszagyújtásnak semmi komoly következménye nincs és közvetlenül a visszagyújtás után az áramirányító-edényt újra üzembe lehet kapcsolni.

Az a megfigyelés, hogy a visszagyújtás röviddel az égési idő végén, továbbá, hogy bizonyos meghatározott feszültségnél és áramterhelésnél lép fel, vezetett egy megközelítő magyarázatra. A vasáramirányítóknál természetesen ezt még bonyolítja az alkalmazott porcelánok, fémalkatrészek és tömítések által leadott idegen gázok hatása, különösen, ha valamilyen okból az edényben helyi felmelegedés történt.

Amint láttuk, ha egy anód áramot vezet, akkor az anód és katód közötti tér és az ív elektronokkal és pozitív ionokkal van feltöltve. Amikor erről az anódról az ívfény egy másikra, — amelyik nagyobb feszültséggel bír, — átmegy, akkor a többi nem áramvezető anódon az ionokból és elektronokból egy rész visszamarad. Ezeknek az ionoknak és elektronoknak egyrésze semleges atomokká egyesül, a többi az elektromos mező hatására továbbmozog. Mivel a nem áramvezető anód a katódhoz és az áramvezető anódhoz képest negatív, úgy, hogy közöttük és a katód között az elektromos mező most már fordított irányú, mint előbb, az elektronok az anódtól eltaszítódnak és az ionok odavonzódnak. Az ionok és az elektronok mozgás-

irányának ez a megfordulása az áramirányító ívében első oka lehet a visszagyújtásnak. Az ionok felütődése által az anód felületén meleg fejlődik és ott bizonyos meghatározott körülmények között a felmelegedés által katódolt fejlődhet ki, ami a visszagyújtást megindíthatja.

Ezenkívül az anód áramvezetési ideje végén a nagyobb áramnál és magasabb hőmérsékletnél kedvezőbb feltételek adódnak, hogy az ionbombázás az anód bizonyos helyein túlmelegedést okozzon. Nagyobb feszültségnél és az égési idő végén a feszültségcsökkenés is nagyobb, úgy, hogy az ionok nagyobb sebességgel pattannak az anódfelületre és nagyobb felmelegedést is okoznak. Ebből magyarázható, hogy nagyobb feszültségnél a visszagyújtási hajlam is nagyobb.

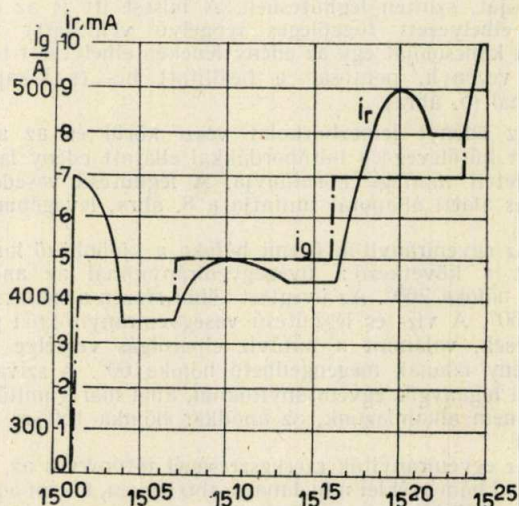
A visszagyújtásnak egy másik oka az anód és katód közötti gázkisülés is lehet, mely több anód között is fennállhat. Ez a kisülés, amely a katódtól az anód felé irányul, előállíthatja a visszagyújtás második lehetőségét. A gázkisülés függ a feszültségtől, a nyomástól és az edényben levő gáz összetételétől. Az áramirányítóban az anód és a katód úgy vannak elrendezve, hogy üzemszerű nyomásviszonyok közt az áramirányító üzemi feszültsége az átütési feszültség értéke alatt legyen. Ha valamely okból a vákuum leromlik, vagy idegen gázok behatolnak és az átütési feszültség az üzemi feszültségig csökken, visszagyújtás léphet föl. Ilyen kisülés túlfeszültség miatt vákuumban is előállhat.

A visszagyújtás okai között szerepelhet az is, ha nem a megfelelő, üzemi feszültséghez előírt árammal terheljük az áramirányítót. A visszagyújtott anód felmelegedése az áramsűrűségtől függ. Nagyobb felületű anód túlmelegedés nélkül több áramot vezethet, azért csak nagyszámú ion melegítheti azt túl.

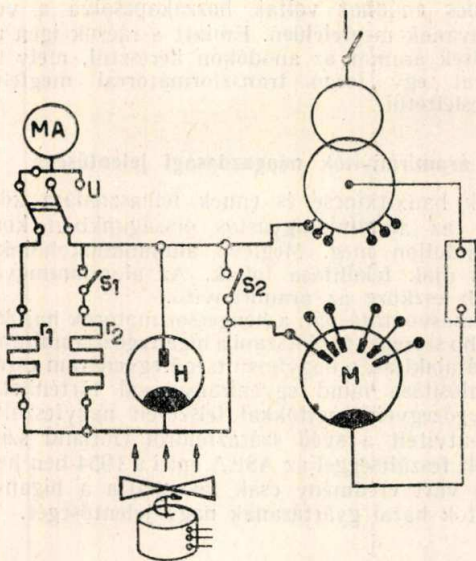
Üvegegyenirányítóknál könnyen keresztülvihető, hogy a gázkisülést terhelés alatt stroboszkóp tárcsával szemléljük. Ha kézben tartható és egy anódon történő kisüléshez szinkron járatható stroboszkóp-tárcsa nyílásait szemünk elé tartjuk, akkor a fordulatszámának beállításával elérhető, hogy az illető anódnak az áramszüneti állapotát szemléljük, azt az állapotot, amikor a már említett vissz-áram, illetőleg gázkisülés fellép. Ezt a gázkisülést, ha a többi égő anód fényét megfelelően elárnyékoljuk, szemmel láthatóvá tehetjük.

Visszáram

Ha az anód nem vezet áramot, a negatív félperiódus alatt egy csak miliampérekben kifejezhető áram folyik a katódtól az anód felé. Ez az ú. n. vissz-áram. A visszagyújtást előidéző okok között a légvalószínűbb a vissz-áram olyan mértékű megnövekedése, amely ívfénybe mehet át. A vissz-áram Marti—Vinograd szerint két összetevőből áll. Az egyik a pozitív ionok áramlása a nem áramvezető anód felé, mely a katódhoz képest negatív. Ez a komponens a legnagyobb értékét az égési idő végén éri el és fokozatosan csökken nullára. A vissz-áram másik komponense előáll a szintén nem áramvezető anód és katód között fellépő gázkisülésből, melyet a két elektróda közötti feszültség



10. ábra Visszáram egy 400 A áramirányító üvegedényben



11. ábra. F. Geyer kapcsolása a visszaram középérték-diagrammjának felvételére.

határoz meg. A visszaram nagysága gyakorlat szerint függ a feszültségtől, az áramtól, a gőzsűrűségtől és az edény hőmérsékletétől.

A visszaram nagysága az edény terhelhetőségére fontos mértékadó tényező. A 10. ábra a visszaram időbeli lefolyását mutatja egy 400 A üvegegyenirányító edény szakaszos áramirányító terhelésénél. A 11. ábra F. Geyer által kidolgozott kapcsolást mutat, mellyel ezt a visszaram-mérést végezték. Meg kell jegyeznünk, hogy ezzel a kapcsolással a visszaram középértéke mérhető.

Vezérlés és védelem

Mint már említettük, az ionok főszerepe a negatív tértöltés megsemmisítése, illetőleg kompenzálása. Azt is tudjuk, hogy lényegesen kevesebb ion szükséges számbelileg a kompenzációhoz, mint amennyi elektron az áramvezetésben résztvesz. Ezek az ionok azonban lassúbb mozgásúak az elektronoknál és lassúbb útjuk alatt állandóan semlegesítik a negatív tértöltést azzal is, hogy egynél több elektront is befoghatnak. Bár az edény fala és az anód védőcsöve semlegesítik úgy az elektront, mint az iont a kisülés bevégeződése után, mégis a térben mozgásban levő ionok az anódhoz repülhetnek és ott visszagyújtások okozói lehetnek. Ezt a lehetőséget megfelelő védőrács alkalmazásával hártjuk el. A védőrács vezérelt és vezéreltlen is lehet.

Nem vezérelt rács

A nemvezérelt rács rendszerint az anódcsőben, azzal egy potenciálon, de az anódtól és az edénytől szigetelten van elhelyezve. Ez a rács az anódhoz közel, az ívfényben fekszik, kivezetéssel nem rendelkezik és főként az áramirányító visszagyújtás elleni védelmét szolgálja. Ha az anód áramot vezet, a rács az ívfény potenciálját veszi fel, mely az anódra vonatkoztatva negatív. Amint az anód kialszik, a rács megtartja potenciálját, s azért egy rövid ideig az anódra vonatkoztatva negatív marad, míg az anód potenciál tovább esik. Ezen idő alatt, mikor az anód legjobban hajlamos a visszagyújtásra, a rács úgy működik, mint egy negatív ernyő és óvja azt a mezőnek pillanatnyi megfordulásától. Ez az ernyőzés úgy működik, hogy el tudja hártani az elektronemissziókat az anódon képződhető izzófoltját, és így alkalmat nyújt az anód lehűlésére azért, hogy a pozitív ionokat magához vonzza. Egy további kedvező működése az, hogy mivel a szabad ionokat feltartja, melyek az anódok felé mozognak, megkönnyíti felületén az ionoknak az elektronokkal való egyesülését és ezáltal az ionok számát, melyek az anódokat érik, és ott visszagyújtás okozóivá lehetnek, lecsökkenti.

Vezérelt, vagy feltöltött védőrács

A vezérelt rács az anód védőcsőtől szigetelve van és kivezetéssel rendelkezik, mellyel külső áramforráshoz csat-

lakoztatható. Rendszerint negatív potenciálhoz kapcsolják. E rács működése hasonló a nemvezérelt rácséhoz, azonban magasabb negatív feszültséget vehet fel és még hosszabb ideig tudja azt fenntartani.

A rácsok normális üzemben a negatív áramforrásról le vannak kapcsolva és úgy működnek, mint a nem vezérelt rács. Visszagyújtás fellépésekor minden anód előtt levő rácsra negatív feszültség kapcsolódik és ez a visszagyújtás által nem érintett anódokat meggátolja abban, hogy az ívet átvegyék, ha egyszer áramtalanok lesznek. Ennélfogva a visszagyújtás által érintett anódok nem tudnak áramot szállítani, és így a visszagyújtás a periódus egy tört részén elmúlik anélkül, hogy a váltóáramú hozzávezetés megszakadna. Sajnos, a gyakorlatban ez nem történik mindig így, különösen nem a nagy áramokkal terhelt egyenirányítóknál fellépő visszagyújtások kioltásánál. A nagy áramot vivő egyenirányítóknál, vagy nagy visszagyújtási áram esetén, amikor a deionizáció ideje nagyon meghosszabbodik és az anódok égési idejének tartama is szabálytalanra válik, a rácsokra helyezett negatív potenciált a fennmaradó nagy iontömeg semlegesíti, és így a ráccsal való ívöltás lehetlenné válik. A gyakorlatban így gyakran megtörtént, hogy csak a váltóáramú oldalon az olajkapcsoló kiváltása mentette meg a berendezést a visszagyújtó áram romboló hatásától. Ezért a rácsvédelmi relét a hálózati olajkapcsoló ú. n. lekapszó tekercesének vezérlésére is felhasználják visszagyújtás esetén.

Rácsvédelem megoldására kétféle változat van használatban. Az egyiknél egy állandóan negatív potenciálon tartott rács van és az anódok begyújtását az állandó negatív feszültségre ráhelyezett pozitív impulzusokkal végzik el, melyeket az anódokon levő váltóáram fázisa vezényel. Ezek az impulzusok kezdetben hegyes feszültségcsúcsok voltak, míg ma már 60 villamosfokig tartó lapostetejű hullámot alkalmaznak a begyújtás biztonsága érdekében. Ha visszagyújtás vagy egyéb okok miatt a rácsokat le kell zárni, akkor az alkalmazott rácsvédelmi relé egy ellenálláson keresztül rövidre zárja az impulzustranzformátort, úgy hogy csak a negatív feszültség érvényesülhet. Ezt az eljárást használják fel a szovjet egyenődos, vízűtésű egyenirányítóknál is.

A másik rácsvédelmi megoldásnál állandó pozitív potenciált alkalmaznak a rácsra, természetesen most pozitív impulzusok nélkül, és a rácslezárást a rácsvédelmi gyorsrelé úgy végzi el, hogy szükség esetén a pozitív előfeszültséget negatív potenciálra cseréli át. A rácsvédelmi relék kistehetlenségű, gyorsmozgású relék, amelyek azt a célt szolgálják, hogy külső rövidzárlat vagy visszagyújtás esetén a rácsokkal az ívet kioltás. Kívánatos, hogy ezek a relék félperióduson belül, öt ezredmásodperc alatt meghúzzanak, hogy a visszagyújtás és a rövidzárlati áramok ne tudjanak maximális értékükre kifejődni.

Rácsvezérlés

Vezérelt rácsokat általában, — ahogy fentebb mondtuk — rácsvédelem, továbbá feszültségcsabályozás céljából alkalmaznak. Alkalmaznak vezérelt rácsokat még azonkívül ú. n. váltóirányítás, visszairányítás, periódusváltóztatás és pontthegeztés vezérlése céljából is.

A feszültségcsabályozás legrégibb alakja egy szinkronmotor által forgatott kontaktus-tárcsával ellátott berendezés, mely a gyújtás sorrendjében az anódokra — azokhoz fázisban eltoltan — pozitív impulzusokat adott. Mégegyszer ismételjük, hogy amint az ívkisülés beáll, a pozitív ionok a rácsra rakódnak és megszüntetik annak negatív töltését olyan mértékben, hogy a kisülés tartama alatt többé negatív tenni nem lehet. Amint az ívkisülést vezető anód pozitív félhullámának értéke a szomszéd anóddal szemben lecsökken, az ív kialszik rajta és az ívkisülés vezetését a másik, a megnagyobbodott pozitív potenciálú anód veszi át. Az áramot nem vezető anód körül az ionok eltűnnek és így a rácsra szabadon érvényesül a negatív potenciál és újra alkalmas lesz a kisülés beállításának megakadályozására. A periodikusan és megfelelően késleltetett pozitív impulzusokkal átmenetileg a rácsot pozitívvá tesszük, hogy az ívkisülés újra meg tudjon indulni.

A negatív előfeszültség, amely az ívfény újra begyűladását gátolja meg, mindig alkalmazkodik az anódfeszültséghez, csak annál alacsonyabb, úgy, hogy az anódfeszültség-

hez képest egészen kisértékű negatív előfeszültséget kell alkalmazni.

Ha a pozitív impulzusokat az anódon levő váltóáram fázisához képest eltolhatóan, késleltetve adjuk a rácsra, akkor az ívkisülés egyik fázisról a másikra az impulzusok késleltetésének a szögével tér át és az egyenfeszültség középvértéke ennek megfelelően csökken.

Az előbb említett forgókontaktussal való szabályozás ősi alakját többféle megoldás váltotta fel. Ezek közül említésre méltó a Toulon-féle szabályozás, mely az impulzusok fázisban való eltolását forgó transzformátorral végzi, az impulzusokat pedig telített fojtótekerccsekkel állítja elő.

A legmodernebb szovjet egyenirányítóknál e fázis-eltolást transzduktorok előmágnesezésével, az impulzusokat pedig ú. n. csúcsgenerátorok különböző elkapcsolásával állítják elő, aszerint, hogy 30 vagy 60 villamosfok szélességű impulzusokat akarnak használni.

Az első, Magyarországon készült higanygőz egyenirányító rácsvezérlés, mely most már 7 éve van üzemben, új utakon indult el. A rácsvezérlésnél alkalmazott pozitív impulzusokat az erre a célra szerkesztett kis, hatfázisú rácsos üvegáramirányítóval állítottuk elő úgy, hogy a rácsok

a szomszédos anódhoz voltak hozzákapcsolva a vektor forgási irányának megfelelően. Emiatt a rácsok igen rövid ideig engedtek áramot az anódokon keresztül, mely rövid impulzusokat egy forgó transzformátorral megfelelően lehetett késleltetni.

Az áramirányítók népgazdasági jelentősége

Hazánk bauxitkincse és ennek felhasználása kötelez arra, hogy az alumíniumgyártás országunkban komoly alapokon induljon meg. Meglevő alumíniumkohóink kibővítése és újak felállítása folyik. Az alumíniumgyártás legfontosabb eszköze az áramirányító.

A villamosvontatásnál, a hengersor-motorok hajtásánál mindnagyobb szerepet fog játszani a higanygőz-áramirányító. A periódusátalakítás, a nagyfeszültségű egyenáram eszméjének megvalósítása mind egyenirányítóval történhet. Az első higanygőz egyenirányítókkal felszerelt nagyfeszültségű egyenáram-átvitelt a svéd szárazföldről Gotland szigetre 100 000 Volt feszültséggel az ASEA építi s 1954-ben helyezi üzembe. A várt eredmény csak fokozhatja a higanygőz-áramirányítók hazai gyártásának nagy jelentőségét.

Elektroncsöves feszültség-stabilizátorok

KEMÉNY ADÁM

1. Alaptípusok

A vákuumcsöves stabilizátorok két alaptípusra vezethetők vissza: a soros és a shunt szabályozócsöves kapcsolásokra. A fontosabb és a gyakorlatban általában használt típus a soros szabályozócsöves; ebben a dolgozatban ezt a válfajt tekintjük át.

A tisztán elektronikus eszközökkel dolgozó stabilizátorok — még általánosabb tárgyalásban — két egészen különböző elvi alapon dolgoznak.

Az egyik működési alapelv: a hídkapcsolás — amelynél stabil feszültség elérésére egy híd egyensúlyi feltételét kell kielégíteni. Az ilyen hídkapcsolású stabilizátorokat általában mint shuntcsöves kapcsolásokat tárgyalják. A kiegyenlítési feltételben az elektroncsövek, mint lineáris kapcsolási elemek valamelyik konstansa szerepel — az erősítési tényező (μ) vagy a meredekség (g_m). Ez azt jelenti, hogy a stabilizálás addig tökéletes, míg az egyensúlyi feltételben szereplő csőkonstans meg nem változik — így pl. addig, míg a terhelő áram konstans. Ebből belátható, hogy az ilyen rendszerek vagy csak a bemenőfeszültség megváltozása (s) vagy csak a terhelő áram megváltozása (R_b) hatását tudják kiküszöbölni, egyszerre a kettőt nem.

A feszültségstabilizáló rendszerekre két paraméter jellemző: az egyik a szabályozási jóság (s) vagyis a bemenőfeszültség (differenciálisan kicsiny) megváltozásának (ΔV_i) aránya a kimenőfeszültség megváltozásához (ΔV_o):

$$s = \Delta V_i / \Delta V_o; \text{ ha } \Delta I_o = 0 \text{ és } s' = \frac{\Delta V_i / V_i}{\Delta V_o / V_o} = s V_o / V_i$$

a másik a rendszer kimenőellenállása (belsőellenállása, R_b). Ez a kimenő feszültség megváltozása (ΔV_o) a terhelő áram (differenciális) megváltozásához (ΔI_o) képest:

$$R_b = - \Delta V_o / \Delta I_o; \text{ ha } \Delta V_i = 0$$

A másik működési alapelv: az automatizálás. Itt a következő elemeket találjuk:

a) Az állandósítási kívánt mennyiség (V_o kimenőfeszültség) megváltozását észlelő érzékelő szervet, melyben a »kimenő« mennyiséget egy adott értékhez hasonlítjuk;

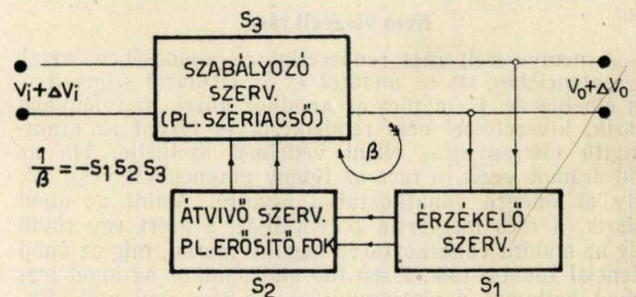
b) egy átvevő elemet, mely a hibajelét erősíti (jelen esetben pl. az erősítő fok), esetleg más mennyiség megváltozásává alakítja át (pl. elektromos mennyiség változását mechanikussá vagy fordítva);

c) egy szabályozó szervet, mely a szabályozandó mennyiséget az átvevő elem útján valamilyen módon a megfelelő irányban befolyásolja.

Feszültségszabályozóknál mind a tiszta elektromos, mind a mechanikusan transzponáló automatizmust sikerrel használjuk.

A második módszer szervomechanizmusokat tartalmaz (pl. amplitudín generátort, selsyn átvivőket) és általános használatos a lokátor-technikában. Az ilyen rendszerek szabályozási jósága függ az egyes átvivő elemek részmeredekségétől és ettől függően lehetnek alul- vagy túlszabályozók. Alulszabályozásnál a szabályozó elemek részmeredeksége független egymástól. Túlszabályozásnál — ha a szabályozandó mennyiség kis megváltozása a szabályozó szervnél a megváltozást kompenzáló hatáznál nagyobb változást okoz — oszcillációkra vezethet.

A tisztán elektromos rendszereknél, melyek kapcsolási vázolata hasonló az elektromechanikusokhoz, az az alapvető különbség, hogy a részmeredekségek nem függetlenek, mivel a rendszer nem más, mint egy, a változást csökkentő visszacsatoló hurok (1. ábra).



1. ábra

Mint majd látjuk, ha az érzékelés kizárólag a szabályozni kívánt mennyiségtől — V_o -tól — függ, a tökéletes szabályozás elérhetetlen, mivel a hurok visszacsatolási helyezőjének: $\beta = 1$ -nek, azaz $S_1 S_2 S_3$ hurokerősítésnek végtelennek kellene lennie.

Az elektromechanikus rendszerekkel ellentétben tisztán elektromos rendszereknél csak akkor lehet a szabályozás végtelen jó, ha az érzékelő szervet nemcsak a kimenő, de a bemenő feszültség változásának egy része is vezérli. Ilyen elv alkalmazásával a 10. pontban találkozunk.

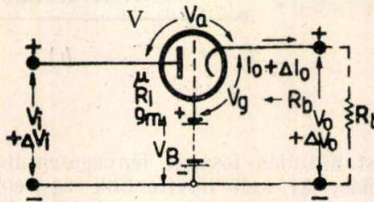
Az automatikus, — negatív visszacsatolás elvén működő — szabályozóknak nagy előnye a hidas kapcsolások-

kal szemben, hogy mind a bemenőfeszültség, mind a kimenő-áram változásából eredő kimenőfeszültség változást egyidejűleg, véges- vagy műkapcsolásokkal — végtelen kis értékekre csökkentik, mivel az érzékelő szervnek mindegy, hogy a kimenőfeszültség változása melyik okból származik. Előnynek mondható az is, hogy a visszacsatolt szabályozók-nál, ellentétben a hidas stabilizátorokkal, a kimenő teljesítménynek elméletileg nincs felső határa.

Ilyen kapcsolások kerülnek a későbbiekben tárgyalásra.

2. A soros szabályozócsöves stabilizátor alaptípusa

Az alapkapcsolást a 2. ábrán láthatjuk. A kapcsolás működése: A fogyasztó (R_t) áramkörében sorosan van a V cső, alkalmasint egy trióda. Így V csővön a fogyasztó



2. ábra

teljes árama keresztülfolyik. A szabályozás a V_g rácsheszültség megváltozásával jön létre. Ez a megváltozás, V_g , függvénye az I_o kimenő áram, vagy V_i bemenőfeszültség megváltozásának. V_b telepre azért van szükség, hogy a cső katódja és rácsa közt megfelelő munkaponthoz tartozó előfeszültség álljon elő. Mivel $V_g = V_o - V_b$ rácsheszültség szabályszerűen a katódhoz képest negatív, kell hogy V_b kisebb legyen, mint V_o . V cső R_t fogyasztóval sorosan feszültségosztót képez. A szabályozási processzusnál a V cső egyenáramú ellenállása változik a V_g rácsheszültség megváltozása hatására (a kimenő feszültség megváltozására, ellenkező értelemben).

Nézzük meg, miként működik a rendszer a terhelés megváltozásánál. Ha I_o terhelőáram nő ΔI_o -al, a V_o feszültség R_t -n csökken ΔV_o -al. Ez a változás, mint ΔV_g jelenik meg a szabályozó cső rácán, azaz amennyivel V_o negatívabbá vált, ugyanannyival válik pozitívabbá a cső előfeszültsége. Az ily módon lecsökkent előfeszültség a V szabályozó cső ellenállását kisebbé teszi a szabályozás előtti helyzetéhez képest. Így a $V-R_t$ feszültségosztó felső tagján — a szabályozócsővön — a feszültségese csökken, ezáltal a terhelés növekedése miatt az R_t -n különben — szabályozás nélkül — csökkenő feszültséget eredeti értékére igyekszik visszaállítani a kapcsolás.

Hasonló a helyzet, ha nem a terhelés, hanem a V_i bemenőfeszültség változik meg, pl. nő ΔV_i -vel. Így R_t -n is, mint a $V - R_t$ osztó második tagján, megemelkedik a feszültség ΔV_o -al, amely negatívabbá téve V cső rácát, annak egyenáramú ellenállását növeli. A csőellenállás növekedése az R_t -n levő eredeti ΔV_o növekedést csökkenti és így a változás ellenében dolgozik. A szabályozás módja így teljesen azonos a terhelés-változásnál elmondottakkal.

3. A soros szabályozócsöves alaptípus analízise

Legyen a fent felsorolt két ok valamelyikéből V_o megváltozása ΔV_o . Nézzük meg, hogy milyen változást okoz ez a V cső anódáramában.

A Barkhausen II. formula alapján

$$\Delta I_o = g_m \left(\Delta V_g + \frac{1}{\mu} \Delta V_a \right) \tag{1}$$

Így (1)-ből, mivel $\Delta V_g = - \Delta V_o$:

$$\Delta V_a = \frac{\mu}{g_m} (\Delta I_o + g_m \Delta V_o) \tag{2}$$

Mivel

$$\Delta V_a = \Delta V_i - \Delta V_o \tag{3}$$

Ezt (2)-be téve, és mivel $\mu/g_m = R_i$, *

$$- \Delta V_o = R_i \Delta I_o + \mu \Delta V_o - \Delta V_i$$

—1-el szorozva és rendezve:

$$\Delta V_o = \frac{\Delta V_i - R_i \Delta I_o}{1 + \mu} \tag{4}$$

Kaptunk egy kifejezést ΔV_o véglegesen beálló értékére, amely függvénye úgy ΔV_i -nek (bemenő feszültségre való stabilizálás), mint ΔI_o -nak (terhelésre való stabilizálás). Hamármost a két függvény közül az S stabilizálási jóságot keressük, azaz ΔV_i változásra fellépő ΔV_o változást, ha közben $\Delta I_o = 0$:

$$s = \Delta V_i / \Delta V_o; \text{ ha } \Delta I_o = 0 \tag{lásd : 1}$$

Ha (4)-et megnézzük erre a kifejezésre, úgy a fenti eltétel miatt $R_i \Delta I_o = 0$ és így

$$s = \Delta V_i / \Delta V_o = 1 + \mu \tag{5}$$

Ha viszont a rendszer belsőellenállását nézzük, (terhelésre való stabilizálás):

$$R_b = - \Delta V_o / \Delta I_o; \text{ ha } \Delta V_i = 0 \tag{lásd 1}$$

(4)-ből lesz, mivel a ΔV_i tag = 0,

$$R_b = - \Delta V_o / \Delta I_o = \frac{R_i}{1 + \mu} \tag{6}$$

Mint (5) és (6) végeredményéből látszik, jó szabályozás-hoz igen nagy erősítési tényezőjű cső kell. Ha s szabályozási jóságra vagyunk tekintettel, úgy az annál nagyobb, minél nagyobb V cső μ -je. Magas μ -nél 1-et elhanyagolva mondhatjuk, hogy a szabályozási jóság

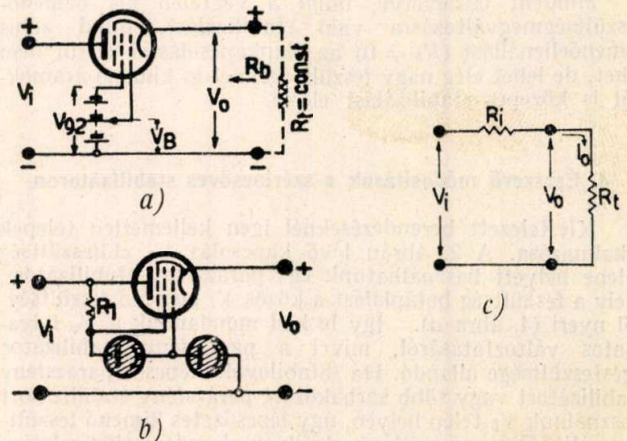
$$s = \mu, \text{ ha } \mu \gg 1 \tag{7}$$

Ez általában áll egy pentódára nézve. Erre még később visszatérünk. A rendszer kimenő ellenállása akkor lesz minimális, ha (6) szerint egy igen kis belső ellenállású (R_g) de nagy μ -jú csövet alkalmazunk. Ha R_b -t zérussá akarnánk tenni, úgy a cső R_i -jének zérusnak, vagy μ -jének végtelen nagyra kellene lenni. Pentódáknál magas a μ , de R_i is igen magas, úgyhogy, ha terhelés változás szempontjából is jó stabilizálást akarunk, ellentétes követelményekkel állunk szemben. Legjobban megközelelt az ideált egy nagy végerősítő trióda, vagy triódának kapcsolt pentóda, elég magas μ -vel és lehető alacsony (néhány $k\Omega$) R_i -vel. Ha ilyen esetben is élünk azzal az elhanyagolással, hogy $\mu \gg 1$, így $\mu + 1 \approx \mu$, (6)-ot leegyszerűsíthetjük:

$$R_b = \frac{R_i}{\mu} = 1/g_m \tag{8}$$

azaz a rendszer kimenőellenállása nagyjából egyenlő a cső meredekségének (g_m) reciprokéval. Tehát cél minél nagyobb meredekségű csövet alkalmazni. (Pl. modern végerősítő pentódák, mint pl. az EBL 21, UBL 21, EL 6, EL 3, EL 41 triódának kötve.)

Mint láthatjuk (5)-ből, végtelen jó szabályozást ezzel az alapkapcsolással nem tudunk elérni. Ha konstans I_n



3. ábra

* Barkhausen I. csőformulája.

terhelőáramra akarjuk csak igénybevenni rendszerünket, úgy igen magas μ -jú (tehát szabályszerűleg nagy R_i -jú), magasfrekvenciás pentódát használhatunk 10^3 nagyságrendű μ -vel és néhány mA/V g_m -el, pl. az EF 42-vel ($\mu = 10\,000$ és $g_m = 10$ mA/V, így $R_i = 1$ M Ω) az s értéke megközelítheti a 10^4 -t. Ilyen kapcsolás azonban igen nagy kimenőellenállású, a felhasznált 1 M Ω -os R_i -jú pentóda miatt, így csakis állandó terhelésnél jöhet számításba.

Ilyen elrendezésnél a V szabályozó cső pentóda, és segédrács feszültségének nem szabad változnia. Ezt elérhetjük, ha a segédrácsfeszültséget külön telepből, vagy még jobban parázfénylámpával stabilizált V_i -ből táplált forrásból nyerjük (3. ábra a) és b)).

Ha a 3. ábrát megnézzük, láthatjuk, hogy az nem más, mint egy konstans áramú generátor, a pentódák ama tulajdonsága miatt, hogy anódáramuk az anódfeszültség széles határok közt való megváltozásánál sem változik, azaz R_i -jük igen magas.

Így a kép leegyszerűsödik egy feszültség osztóra, ahol a felső ágban a pentódát egy R_i belső ellenállás helyettesíti (3. ábra c)).

Mivel R_i M Ω nagyságrendű nagyfrekvenciás pentódáknál, így mondhatjuk, hogy $R_i \gg R_t$, akkor a kapcsolás, állandó V_{g2} -nél, a kimenőáramot I_o -t stabilizálja.

A 3. ábra szerinti elrendezés jól stabilizál kis áramokat, vagy kis hitelesítésre használható stabil feszültségeket ad, melynek nagysága R_t -től függ, és V_i változásától független V_o feszültséget ad konstans R_i -n.

Az előbbi kitérés után vizsgáljuk tovább az alappkapcsolást. Ha úgy s , mint R_b szempontjából jó stabilizálást akarunk, a követelmények még nehezebbek, mivel a magas μ mellett igen alacsony R_i is szükséges V szabályozó csőnél. Mivel a csőveknél alacsony R_i -vel alacsony μ is jár, csak rossz kompromisszumot köthetünk, ha mindkét feltételnek eleget akarunk tenni. Mivel e célra alkalmas és kapható cső az EL6, melynél trióda kapcsolásban a $\mu \approx 8$ és $R_i \approx 1$ k Ω , az elérhető $s = 8$ és a kimenő ellenállás $R_o = 110\Omega$.

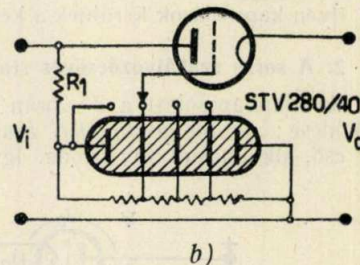
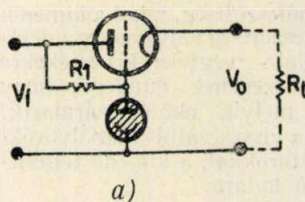
A stabilizálás így mindkét szempontból csak közepes és nem haladja meg egy jó parázfénylámás stabilizátor jóságát. Az elektroncsöves kapcsolás előnye mégis, hogy a kimenő áram felső gazdaságos határa jóval nagyobb, mint a parázfénylámás stabilizátoroké, és a V szabályozó csövek parallel kapcsolásával növelhető, gazdaságosan cca 500 mA-ig. Előny még, hogy a hatásfok jobb, mivel a szabályozócső működésében kb 100 V nagyságrendű anódfeszültségésés eléréses. Így V_o növekedésével a hatásfok nő. Pl. $V_o = 1000$ V-on (mely határesetnek tekinthető), 100 V-os esésnél a csővön, a hatásfok 90%-ig növelhető.

Még egy nagy előny a parázfény stabilizátorral szemben, hogy V_o kimenőfeszültség szabályozható, ha kis tartományokban is. (A 2. ábrán pl. a V_b telep feszültségének megváltoztatásával) Az alappkapcsolásnak megfelelő konstrukciókban egy 1 : 1,5 átfogás elérhető.

Mindent összevetve, mind a végtelen kis bemenőfeszültségmegváltozásra való stabilizálást, mind zérus kimenőellenállást ($R_b = 0$) az alappkapcsolással elérni nem lehet, de lehet elég nagy feszültségeknél és kimenő áramoknál is közepes stabilizálást elérni.

4. Észszerű módosítások a szériacsöves stabilizátoron

Kivitelezett berendezéseknél igen kellemetlen telepek alkalmazása. A 2. ábrán lévő kapcsolás V_b előfeszültség telepe helyett használhatunk egy parázfény stabilizátort, mely a feszültség betáplálást a közös V_i bemenő feszültségtől nyeri (4. ábra a). Így le kell mondanunk a V_o folyamatos változtatásáról, mivel a parázfény stabilizátor égésfeszültsége állandó. Ha »Stabilovolt« lépcsős parázfény stabilizátort vagy több sorbakötött parázfény stabilizátort használunk V_b telep helyén, úgy lépcsőzetes kimenő feszültség változásra van módunk. Az ilyen elrendezéseket relatív magas V_o -ra és kis I_o -ra, pl. elektronokszorozó fotocella, vagy Geiger—Müller számolócsövek anódfeszültség céljaira alkalmazzák általában (4. ábra b).

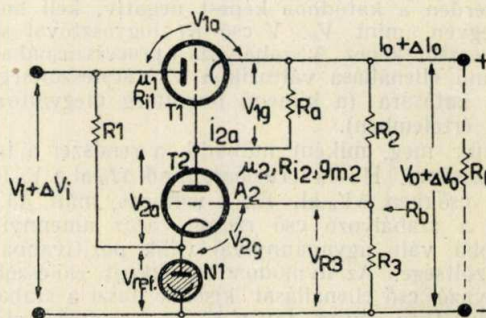


4. ábra

Hogy a stabilizálás jóságát lényegesen megnöveljük, az alappkapcsolást ki kell bővítenünk egy erősítő elemmel. Így a folyamatos szabályozást is biztosítani fogjuk.

5. Az erősítőcsöves széria stabilizátor

A stabilizálási folyamatot lényegesen javíthatjuk, ha ΔV_o változást egyenáramú erősítőfokozat után, fel-erősítve vezetjük a széria szabályozó cső vezérlőrácsára. Az így kiépített elvi kapcsolás az 5. ábrán látható.



5. ábra

A kapcsolás abban különbözik a 2. ábra alappkapcsolásától, hogy V_o változás visszavezetése egy osztón keresztül ($R_2 - R_3$) a T_2 erősítő cső rácsára kerül, ahol erősítés után a változás R_a -n, T_2 munkaelenállásán jelenik meg. Az R_a -n megjelenő V_{1g} feszültség adja a szabályozó cső vezérlőrács előfeszültségét, amely függve ΔV_o -tól, a szabályozást végrehajtja. A T_2 cső munkaponti előfeszültsége úgy adódik, hogy egy N_1 parázfénylámánál V_{2g} feszültségénél az előfeszültség (V_{2g}) értékével magasabb égésfeszültsége kivonódik, azaz $V_{2g} = V_{r3} - V_{ref}$. A V_{ref} égésfeszültség, másképpen referenciafeszültség az időben állandó, és a V_o változásával arányos V_{r3} , vezérelve T_2 cső rácsát, végzi a szabályozási processzust. (R_a ellenállás olyan nagy legyen, hogy a T_1 cső $V_a - I_a$ karakterisztikája által megadott, V_o két szélső határához szükséges V_{1g} előfeszültségek essenek rajta, T_2 cső anódára által.) A kapcsolás működési mechanizmusa: R_t fogyasztóval sorba van kötve T_1 cső, melyen $V_i - V_o = V_{1a}$ feszültség esik. Ha V_o kimenő feszültség — mondjuk — csökken (a terhelés megnövekedése miatt pl), $R_2 - R_3$ osztón is csökken a feszültség. T_2 cső előfeszültsége egy parázfény stabilizátor által előállított V_{ref} referenciafeszültség és az R_3 ellenálláson, cső V_{r3} feszültségek különbsége. Mivel V_{r3} arányos V_o -al, csökkenő (növekvő) V_o -nál T_2 csövet V_{r3} változása, ΔV_{r3} vezérli. T_2 előfeszültsége (V_{2g}) ΔV_{r3} -al negatívabbá válva T_2 anódáramát csökkenti, így V_{1g} feszültségésés is csökken R_a munkaelenálláson, ΔV_{1g} -vel.

Mivel V_{1g} így kisebb lett, azaz T_1 cső rácsa pozitívabbá vált, az I_o áram — T_1 csővön keresztül — nő, mivel T_1

cső ellenállása csökken. Így $T_1 - R_t$ osztón T_1 ellenállás csökkenése folytán V_o kimenő feszültség nő és így ellene dolgozik a megnövekedett terhelés miatti eredeti V_o csökkenésének.

Hasonló elgondolás alapján működik a V_i bemenő feszültség változásának kikompenzálása.

A fogyasztó felől nézve a kapcsolás lényegében egyenértékű egy kis kimenőellenállású és kis zajfeszültségű egyenáramú generátorral. E két szempont analízisét a következőkben tárgyaljuk.

6. Az erősítőcsöves széria stabilizátor analízise

A gondolatmenet analóg a 3. pontéval.

Legyen V_o megváltozása ΔV_o . Ez a ΔV_o leosztódik $R_2 - R_3$ osztón:

$$\Delta V_{R3} = \Delta V_o \frac{R_3}{R_2 + R_3} \quad (9)$$

értékre.

ΔV_{R3} vezérli T_2 csövet és a cső által felerősítve R_a -n jelenik meg, mint ΔV_{1g} , éspedig, ha T_2 cső erősítése A_2 :

$$\Delta V_{1g} = - A_2 \Delta V_o \frac{R_3}{R_2 + R_3} \quad (10)$$

(T_2 cső erősítése, ha az trióda, úgy

$$A_{2(tr)} = \mu_2 \frac{R_a}{R_{i2} + R_a};$$

ha pentóda, úgy

$$A_{2(pen)} \cong g_{m2} R_a$$

Fenti két formula a cső helyettesítő kapcsolásokból levezethető.)

A következőkben számoljunk pentódával az egyszerűség kedvéért (az analízis pentóda esetén csak akkor érvényes, ha T_2 pentóda segédárcsöves stabilizált, vagy trióda esetében, ha az $A_2 = g_{m2} R_a'$, képlettel számolunk, de

$$R_a' = \frac{R_a R_{i2}}{R_a + R_{i2}}$$

figyelembevételével, mivel a trióda alacsony R_i -je parallel képzelhető el az R_a munkaellenállással.)

Így (10)-et átírva:

$$\Delta V_{1g} = - g_{m2} R_a' \frac{R_3}{R_2 + R_3} \Delta V_o \quad (11)$$

A (10) és (11) azért negatív előjelű, mert T_2 cső fázist fordít. Ebből látható, hogy V_o negatív irányú változása V_{1g} pozitív irányú változását vonja maga után, és ez T_1 cső ellenállásának esését hozza létre, az eredeti helyzetet igyekszik visszaállítani.

Barkhausen II. formulája alapján felírhatjuk:

$$\Delta I_o = g_{m1} \left(\Delta V_{1g} + \frac{1}{\mu_1} \Delta V_{1a} \right) \quad (11a)$$

ebből

$$\Delta V_{1a} = \frac{\mu_1}{g_{m1}} (\Delta I_o - g_{m1} \Delta V_{1g}) \quad (11b)$$

V_{1g} értékét (11)-ből (11b)-be helyettesítve és $g_m R_i = \mu$ formulából $R_i = \frac{\mu}{g_m}$ -t beírva:

$$\Delta V_{1a} = R_{i1} \Delta I_o + \mu_1 g_{m2} R_a' \frac{R_3}{R_2 + R_3} \Delta V_o \quad (12)$$

Mivel

$$\Delta V_{1a} = \Delta V_i - \Delta V_o \quad (13)$$

Ez (12)-be helyettesítve:

$$-\Delta V_o = \Delta I_o R_{i1} + \mu_1 g_{m2} R_a' \frac{R_3}{R_2 + R_3} \Delta V_o - \Delta V_i \quad (14)$$

(14) ΔV_o -t kiemelve:

$$\Delta V_o \left(1 + \mu_1 g_{m2} R_a' \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) = - \Delta I_o R_{i1} + \Delta V_i$$

ebből

$$\Delta V_o = \frac{\Delta V_i - \Delta I_o R_{i1}}{1 + \mu_1 g_{m2} R_a' \frac{R_3}{R_2 + R_3}} \quad (15)$$

(15)-el megkaptuk a keresett függvényt, miképpen függ ΔV_o a ΔV_i -től és ΔI_o -tól.

A rendszer kimenő ellenállása (terhelés változás $\Delta V_i = 0$ mellett):

$$R_b = - \frac{\Delta V_o}{\Delta I_o} = \frac{R_{i1}}{1 + \mu_1 g_{m2} R_a' \frac{R_3}{R_2 + R_3}} \quad (16)$$

Ha a stabilizálási jóságot nézzük, (15)-ben a ΔI_o -s tagot zérussá téve:

$$s = \Delta V_i / \Delta V_o = 1 + \mu_1 g_{m2} R_a' \frac{R_3}{R_2 + R_3} \quad (17)$$

(16) és (17) végeredményekből a következő olvasható ki: a) T_2 cső μ -je minél nagyobb legyen, hogy mindkét szempontból jó stabilizálást kapjunk.

b) Kis kimenő ellenállás eléréséhez T_1 cső R_i -je minél kisebb legyen.

c) Mindkét szempontból javul a stabilizálás, ha az erősítő fokozat (T_2) g_m -je minél nagyobb, helyesebben a $g_{m2} R_a = A_2$ -vel az s lineárisan, az R_b hyperbolikusan javul.

d) Az $R_2 - R_3$ osztón a leosztás minél kisebb mértékű legyen, azaz $\frac{R_3}{R_2 + R_3}$ viszony közelítse meg az 1-et.

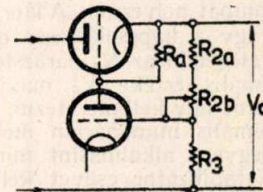
e) A 2. ábrán látható alaptípushoz képest a javulás, ha $R_2 - R_3$ osztásától eltekinthetünk, A_2 -szűrős, azaz a stabilizálás az erősítő fokozat tényleges erősítésével szorzódik.

f) Az analizált erősítőcsöves alapkapsolás sem alkalmas még végtelen nagy s érték és zérus kimenőellenállás elérésére.

g) Az a) és b) pont a csőtechnika szempontjából ellentmondó, ezért itt is kompromisszumot kell kötni.

Végző fokon T_1 csőnek alkalmasak nagy μ -jú, kis R_i -jú triódák, (pl. triódának kötött nagy g_m -jú végerősítő pentódák) T_2 viszont pentóda legyen, minél magasabb meredekséggel.

Mivel A_2 erősítése néhányszor tízszeres, ilyen elrendezéseknél reálisnak mondható s -re egy 100 körüli nagyságrend, míg R_b -re 10 Ω körüli nagyságrend.



6. ábra

Ha $R_2 - R_3$ osztót potencióméteres kiképzéssel látjuk el (6. ábra), V_o folytonosan változtatható kb. 1 : 1,5 arányban. Az 5. ábra szerinti alapkapsolás továbbfejlesztésével s végtelen; $R_b = 0$ megvalósítható és elérhető a V_o átfogásának sokkal szélesebb határa. Ezeket a lehetőségeket később tárgyaljuk. Az 5. ábra szerinti kapcsolás (a 6. ábra szerinti potencióméteres megoldással) jól használható olyan helyekre, ahol határozott feszültségű stabilizált források szükségesek: így pl. elektronikus készülékek anódfeszültségének szolgáltatására.

7. A kimenőfeszültség szabályozási tartományának kitérítése az erősítő fokozatos széria stabilizátoron

Az 5. ábra szerinti alapkapsolásnál V_o széles határok közt való szabályozását (jó stabilizálási viszonyok mellett) a kapcsolás egy hátrányos tulajdonsága lehetetlenné teszi, éspedig:

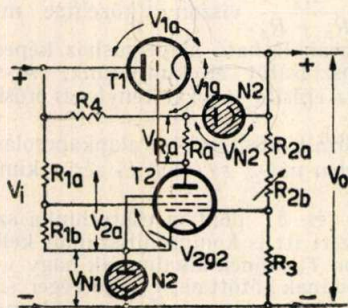
Ahhoz, hogy V_o kimenőfeszültséget nagy átfogással megváltoztassuk, szükséges, hogy T_1 cső előfeszültsége (V_{1g}) széles határok közt változzék, pl. V_o maximumánál a szükséges V_{1g} alacsony érték, amelynek határa általában T_1 cső rácsáram indulásához tartozó előfeszültség érték, ami $V_{1g} \approx -1,5$ V körül van. Minimális V_o -hoz tartozó érték viszont, amely szükségszerűen V_o max 50%-a, vagy még kisebb, néhányszor 10 V előfeszültség szükséges T_1

csövön. (A szükséges érték T_1 cső $I_a - V_a$ görbeseregéből határozható meg, a kimeneti osztón átfolyó konstans áram ordinátáján, a szükséges $V_{1a} = V_i - V_o$ abszcisszákhöz tartozó V_{1g} metszéspontokkal. Mivel V_{1g} -nek az alapkapsolásban (5. ábra) R_a -n kell esni, úgy ilyen 1 : 2 (vagy még nagyobb) $V_o \text{ min}/V_o \text{ max}$ átfogásnál T_2 cső anódáram értékének olyan arányban kell változni a max. és min. V_o közti beállításnál, mint a V_{1g} szükséges változásának, mivel $V_{1g} = I_{2a}R_a$. Ez azt jelenti, hogy T_2 cső anódáramánál igen nagy változások lépnek fel, pl. az előbbiekbentárgyalt eseténél 1 : 10 — 1 : 30 arányban.

A T_2 cső erősítése a meredekség függvénye, mint arról a 6.-ban már beszéltünk. A meredekség függvénye viszont az anódáramnak:

$$g_m = k I_a^{2/3} \quad (18)$$

A fenti függvényből nyilvánvaló, hogy alacsony I_a -nál a meredekség is igen alacsony lesz. Ez a helyzet akkor, mikor az alapkapsolásnál V_o max. értékéhez tartozó $V_{1g} \approx -1,5$ V érték esik R_a -n. A szabályozás g_{m2} alacsony értéke miatt nagyon rossz lesz (16) és (17) szerint magas V_o -nál. Fent leírt hibán egy második parázfénylámpával egyszerűen segíthetünk. A javított kapcsolás a 7. ábrán látható.



7. ábra

A $+V_i$ és T_1 katódja közé egy R_4 ellenálláson át betáplált N_2 parázfénylámpát helyezünk. A láncon eső feszültség egyenlő a V_{1a} -val, így a kapcsolás egy minimális V_{1a} -ig működik, ahol V_{1a} elegendő az N_2 parázfénylámpa biztos égéséhez. V_{1a} minimális értéke V_o maximális értékénél van, itt $R_4 - N_2$ láncot úgy kell méretezni, hogy N_2 parázfénylámpa a minimális munkaáram mellett működjön. Hogy V_{N2} stabil legyen, alkalmasint minél alacsonyabb égésfeszültségű N_2 stabilizátor csövet kell választanunk.

V_o minimum felé menve, az áram $R_4 - N_2$ láncban erősen nő, V_{1g} növekedése miatt, ezért vigyázni kell, nehogy N_2 árama az abnormális parázfény kisülés értékéig emelkedjen.

A kapcsolás előnye a következő: V_{1g} nem egyenlő többé V_{Ra} -val, hanem $V_{1g} = V_{N2} - V_{Ra}$. Így V_{1g} előfeszültségének egy konstans részét képezi V_{N2} és egy — a szabályozástól függő — változó részét V_{Ra} . A szükséges előfeszültség T_2 csövön pl. $-1,5$ -től -30 V (V_{1g}). Ha N_2 égésfeszültsége pl. 55 V, R_a -n a szabályozás folyamán a V_{Ra} -nak változnia kell 56,5 V-tól 85 V-ig, hogy $V_o \text{ max}$ -ról $V_o \text{ min}$ -re menjünk. Így látható, hogy az alapkapsolásnál szükséges legnagyobb I_{a2} változás (kb 1 : 20 nagyságrendben) lecsökken a 7. ábra szerinti kapcsolásnál kb. 1 : 1,5 — 1 : 2-re. Ilyen esetben T_2 cső anódárama nem csökken le egész kis értékre, a szabályozás a teljes V_o sávon át egyenletesen jó lesz, mivel g_{m2} alig változik.

Ezzel a módszerrel elérhető V_o tartományának 1 : 2 — 1 : 3 arányú változtatása, jó és egyenletes stabilizálási karakterisztika mellett.

A minimális kimenőfeszültség értéke a kereskedelemben közismert csövek hssználata esetén nem nagyon lehet kisebb 125—150 V-nál. Ez érthetővé válik, ha a 7. ábrát megnézzük, amiből látható, hogy

$$V_o = V_{ref} + V_{2a} + V_{Ra} - V_{N2} = V_{ref} + V_{2a} + V_{1g} \quad (19)$$

V_{1g} szükséges értéke $V_o \text{ min}$ -hoz kb. 20—45 V. T_2 cső anódfeszültségével pentóda esetén sem tudunk 25—30 V alá menni. V_{ref} -el 55—75 V-nál lejjebb nem tudunk menni,

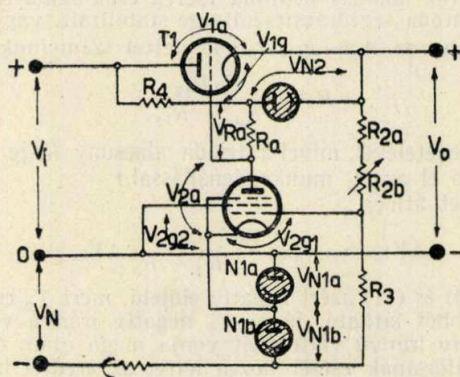
mivel a kereskedelmi forgalomban levő legkisebb égésfeszültségű parázfény stabilizátorok ilyen égésfeszültséggel bírnak. Ez összesen 105—150 V-ot ad ki V_o legkisebb elérhető értékére.

A 8. ábrán látható kapcsolási változat ad arra, hogy V_o minimális értékével lejjebb menjünk, kb. 75 V-ig a stabilizálási jóság csekély rovására. Itt V_{ref} feszültség értékével úgy megyünk lejjebb N_1 égés-feszültségénél, hogy V_{N1} stabilizált feszültséget egy alacsony ohmos osztón (10 k Ω nagyságrendű) leosztva, a referencia feszültséget a megsapolásról vesszük le. Ily módon 25—30 V-ig le tudunk menni V_{ref} -el.

A 8. ábra szerinti kapcsolással 1 : 3 átfogást is el lehet érni, elég jó stabilizálási viszonyok mellett. Ilyen stabilizátor típus igen alkalmas pl. elektroncsömérő állomások táplálására. (A cikk utolsó részében, a kidolgozott példák részében fogunk találkozni ilyen megoldással.)

8. A kimenőfeszültség határának kitágítása zérus kimenő feszültségig

Ha gondoskodunk arról, hogy zérus kimenőfeszültség esetén is működtessük valamilyen módon az erősítő fokozatot, úgy T_1 cső kellő mértékű előfeszítésével zérus kimenőfeszültség közeléig lemehetünk alapkapsolásunkkal. Ez elérhető akkor, ha T_2 erősítő cső feszültség betáplálása egy külön negatív segéd feszültség forrásáról történik, meghozzá úgy, hogy T_2 segédrcsa a közös 0-hoz, katódja egy 0-nál negatívabb ponthoz van kapcsolva. Az ily módon átalakított kapcsolást a 9. ábrán láthatjuk.



9. ábra

Látható a 9. ábrából, hogy T_2 cső katódja a 0-nál negatívabb potenciálon van. Ez biztosítja azt, hogy a V_o zérussá válása környezetében T_2 cső anódfeszültsége, V_{2a} ne essen 0-ra és T_2 cső működjön. T_2 cső segédrcsfeszültsége — V_{2g2} — egyenlő V_{N1a} -val. Így V_{2g2} stabilizálva van. V_N negatív tápláló feszültséggel működtetjük egy korlátozó ellenálláson keresztül N_{1a} és N_{1b} sorbakapcsolt parázfény stabilizátorokat. Mint mondtuk, N_{1a} -n eső feszültség V_{N1a} alkotja V_{2g2} stabilizált segédrcsfeszültségét T_2 csőnél.

A stabilizált referencia feszültség viszont itt nem más, mint N_{1b} parázfénylámpa sarkain eső feszültség, V_{N1b} .

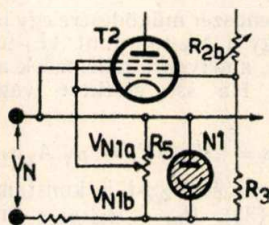
T_2 cső előfeszültsége akkor a következőképpen adódik:

$$V_{2g1} = V_{N1b} - V_{R3} \quad (20)$$

Ha T_2 cső vezérlésének méretezésénél gondoskodunk arról, hogy V_{1g} a $V_o \text{ max}$. értékéhez tartozó kb. $-1,5$ V-től egészen T_1 cső lezárásának értékéig változhasson, úgy elérhető, hogy T_1 ellenállását annyira megnöveljük, hogy rajta (V_{1a}) majdnem a teljes V_i essen, és így a rendszer kimenőfeszültsége a zérust közelítse meg, azaz $V_o = V_i - V_{1a} \approx 0$ legyen. A stabilizálás a zérus kimenőfeszültség környezetében természetesen elég rossz, mivel a levágás környékén T_1 cső R_i -je igen magas, és g_m -je alacsony a normális működéshez képest. Ezért 10—20 V kimenőfeszültség alatt nem nagyon használhatók az ilyen kapcsolások. Hogy a rendszer stabil működésű legyen, V_N feszültséget igen jól stabi-

lizálni, amelyet el lehet érni egyrészt nagy $V_N/V_{N1a} + V_{N1b}$ viszonytal és az ehhez tartozó nagy korlátozó ellenállás értékkel, másrészt V_N -et erősen szűrni kell $R - C$ láncsal, a V_N -en fellépő villogások (»flickerek») és zúgófeszültség szűrésére. Ilyen kidolgozott kapcsolást a cikk utolsó részében még tárgyalni fogunk.

Ha alkalmazzuk a 8. ábra szerinti elvet, úgy a V_N áramkörben levő két parázfénylampa helyett alkalmazhatunk egy stabilizátor csövet is, és T_2 katódját a megcsapolási ponthoz kötjük. Ilyen kapcsolás, bár stabilizálási viszonyai valamivel rosszabbak a 9. ábra szerinti kapcsolásnál, igen alkalmas elektroncső mérőállomásokba; egy kidolgozott típust az utolsó részben tárgyalunk (10. ábra).

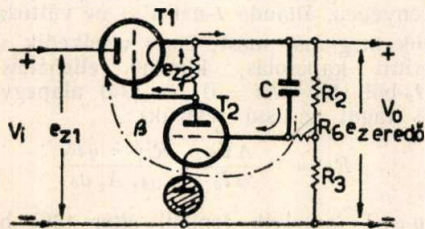


10. ábra

9. A zajfeszültség csökkentése műkapcsolással

Külön megemlékezünk az erősítő fokozatos széria stabilizátor egy kitűnő tulajdonságáról és ez a zúgófeszültség igen erős lecsökkentése, az alant tárgyalt egyszerű műkapcsolással. Ha ugyanis a kimenet (V_0) és T_2 vezérlőrácsa közé egy olyan nagy kondenzátort helyezünk el, amelynek reaktanciája a zúgófeszültség alap és harmonikus frekvenciáin sokkal kisebb, mint $R_{2a} - R_{2b}$ és így elhanyagolható, úgy nem történik más, mint a zúgófeszültséget a kimenetről visszacsatoltuk T_2 cső rácsára, méghozzá leosztás nélkül. A zúgófeszültség jelét T_2 felerősíti és fázisában megfordítja, ez a feszültség szuperponálódik V_{1g} -re, ahol is a felerősített zúgófeszültség az eredeti zúgófeszültség komponenssel ellenkező fázisban vezérli a T_1 cső anódáramát. Így T_2 katódján — a kimeneti ponton — az eredeti zúgófeszültséggel ellentétes fázisú visszacsatolt és felerősített zúgófeszültség ellenkező fázisban lévén, annak nagy részét kioltja. A folyamat nem más, mint egy intenzív negatív visszacsatolás a zúgófeszültség frekvenciáján. A kimeneti ponton maradó kis zúgófeszültség a visszacsatolás vezérléséhez szükséges T_2 vezérlőrácsán.

Ha a folyamatot numerikusan nézzük meg, egy közelítő képpel, a következőket kapjuk (11. ábra):



11. ábra

Ha az eredeti zúgófeszültség:

$$e_{z1} = E_0 \sin \omega t$$

és ezt T_2 cső rácsára vezetjük, ott erősítés után fázisában megfordul, és T_1 csövet vezérli. Ha T_2 rendszerében a visszacsatolási faktor β (amely függvénye a visszacsatoló kör elemeinek és T_2 erősítésének), akkor V_{1g} váltókomponense a 180° fázisfordítás (π) figyelembe vételével:

$$e_{z2} = \beta E_0 \sin (\omega t + \pi) \tag{21}$$

Az eredő zúgófeszültség, mely a vezérlést fenntartja:

$$e_{z \text{ eredő}} = e_{z1} + e_{z2} = E_0 \sin \omega t + \beta E_0 \sin (\omega t + \pi)$$

az ismert trigonometriai összefüggés alapján:

$$e_{z \text{ eredő}} = E_0 \sin \omega t - \beta E_0 \sin \omega t = E_0 \sin \omega t (1 - \beta),$$

azaz

$$e_{z \text{ eredő}} = e_{z1} (1 - \beta) \tag{22}$$

hasonlóan »s« fogalmához, képezhető

$$S_z = \frac{e_{z1}}{e_{z \text{ eredő}}} = \frac{1}{1 - \beta}$$

fogalom. Mivel a kimeneti osztó nem hatásos, $S_z = 1 + \mu_1 A_2$ ahol A_2 a T_2 fok erősítése a zúgófrekvencián.

Az eredő zúgófeszültség (22) szerint az eredetinek kis töredéke, mivel $1 - \beta$ értéke erősen megközelíti a zérust.

Módot kell adni a kapcsolásban arra, hogy C kondenzátorral R_2 ne képezzen feszültségosztót számottevő leosztással R_3 alacsony értéke miatt. Ezért T_2 rácsa és R_3 közé egy nagy ohmikus R_0 ellenállást (kb. 20 k Ω) helyezünk.

C kondenzátor értékének megválasztásánál arra kell tekintettel lenni, hogy reaktanciája az 50 c/s zúgófeszültség frekvencián sokkal kisebb legyen, mint a vele párhuzamos R_2 ellenállása. C nem lehet túl nagy sem, mivel tranziens oszcillációk léphetnek fel V_i vagy V_0 hirtelen ugrásainál. Ennek a tranziensnek az az oka, hogy N_1 parázfény stabilizátor cső belső ellenállása 50 c/s és 100 c/s-on jelentősen nagyobb a statikus értékénél, és így V_i -re a cső belső ellenállása miatt a rendszerben a zúgófeszültség frekvenciáján túlstabilizálás van és emiatt lengések jöhetnek létre, mindaddig, míg C töltése nem ér el állandó értéket.

Olyan műkapcsolásoknál, melyet a következő pontban tárgyalunk, az s szabályozási jóságot végtelenné tudjuk tenni, és ezzel együtt jár a zúgófeszültség majdnem teljes eliminálása a kimenő kapcsokon.

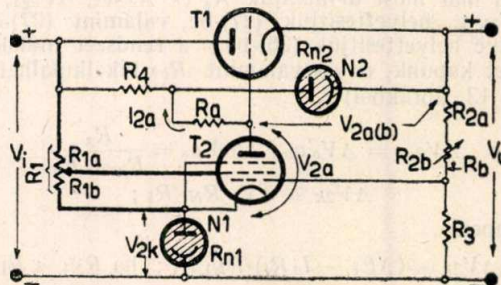
10. A stabilizálási jóság emelése műkapcsolásokkal

A széria csöves stabilizátor alapkapcsolás (5. ábra) hibája, hogy — miként az (16) és (17)-ből kiderül — sem »s« értékét nem lehet végtelenig emelni (V_i változás teljes eliminálása V_0 -on), sem a kimenő ellenállást (R_0) zérussá tenni, mivel akkor T_2 erősítő fokozat végtelenül nagy erősítése, illetve T_1 cső és V_i forrás zérus belső ellenállása lenne szükséges.

Az 5. ábra szerinti kapcsolást t. i. egy helyen, T_2 vezérlőrácsán vezéreljük csak egy ΔV_0 -val arányos megváltozással, és így bármilyen nagy véges erősítés esetén is, a kimenő kapcsokon kell egy minimális ΔV_0 változás, amely a szabályozást vezérli (a visszacsatolási faktor értéke nem érheti így el az 1-et). Ezekből az okokból a kapcsolás R_0 -je mindig pozitív, azaz I_0 megnövelésével V_0 esik, és V_i növekedésére ΔV_0 is pozitív irányú.

Ha a rendszert nemcsak V_0 változása vezérli, hanem egyidejűleg ΔV_i -vel arányos változás is vezérli V_2 -t, úgy elérhető, hogy $R_0 = 0$ legyen, vagy »s« végtelen legyen bizonyos feltételek megvalósításával, sőt R_0 és $1/s$ negatívvá is tehető. 1, 2

Egy jó és egyszerű kapcsolási módszer fentiek teljesítésére az, hogy T_2 -nek egy pentódát választunk és annak segédrácsát úgy tápláljuk, hogy annak segédrácsfeszültsége V_i függvénye legyen. A kapcsolás a 12. ábrán látható.



12. ábra

A 12. ábrán T_2 vezérlése a megszokott módon a kimenő oldalról, másrészt R_{1a} és $R_{1b} - R_{N1}$ -ből álló osztón a bemenő oldalról történik, méghozzá úgy, hogy T_2 segédrácsa R_{N1} és

¹ Miller, S. E.: Sensitive D. C. Amplifier With A. C. Operation, Electronics 1941 14. évf. 27. nov. — ² Harris, E. J.: A note on stabilizing power supplies, Electronic Engng. 1948. 20. 960.

R_{1b} közti megcsapolási pontra van kötve. Mármost R_{1a} és R_{1b} osztó beállítható úgy, hogy a kapcsolás kompenzálja $R_{i1} + R_i$ -t, azaz a teljes soros belső ellenállást, így bizonyos V_o -nál $R_b = 0$ állítható be; vagy pedig, hogy »s« végtelen nagy legyen V_o egy pontjánál. Ha az osztási ponttal V_i felé haladunk, úgy V_i hatása jobban érvényesül (vagy: I_o megváltozása következtében a kapcsolást tápláló V_i belső ellenállásán fellépő és miatti V_i hatása) és a túlkompensálás esete jön létre, — a stabilizátor kimenő ellenállása, vagy az $1/s$ érték negatív lesz.

Az alábbiakban újból analízis alá vetjük a módosított 12. ábra szerinti áramkört. A helyettesítő képet a 13. ábrán láthatjuk.

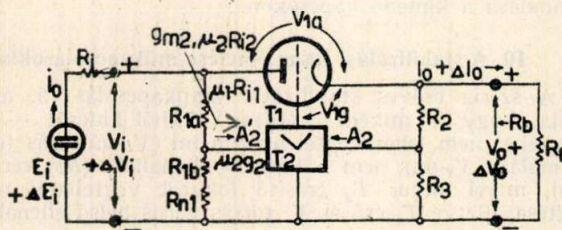
Most azonban s -t nem a $\Delta V_i/\Delta V_o$ -val, hanem $\Delta E_i/\Delta V_o$ -val fogjuk definiálni, és így a kapcsoláshoz hozzátartozó tápláló egység belsőellenállását is figyelembe vesszük. Így természetesen s' (a relatív szabályozási jóság) definíciója:

$$s' = \frac{\Delta E_i}{E_i} \cdot \frac{\Delta V_o}{V_o} = s \frac{V_o}{E_i}; \text{ ha } \Delta I_o = 0 \quad (23)$$

A következőkben minden áramot, amely nem T_1 csövön halad keresztül, elhanyagolunk.

A II. Barkhausen formulát (11a) kissé átírva: T_1 csőre felírhatjuk:

$$\Delta I_o = \frac{1}{R_{i1}} (\Delta V_{1a} + \mu_1 \Delta V_{1g}) \quad (24)$$



13. ábra

A 13. ábrából:

$$\Delta V_{1a} = \Delta E_i - \Delta I_o R_i - \Delta V_o \quad (25)$$

Így (24) és (25)-ből:

$$\Delta I_o (R_{i1} + R_i) = \Delta E_i + \mu_1 \Delta V_{1g} - \Delta V_o \quad (26)$$

Mivel T_2 cső pentóda, így I_{2a} széles határok közt nem függ V_{2a} -tól, felírhatjuk ΔV_{1g} függvényét:

$$\Delta V_{1g} = -A_2 (\Delta V_{2g1} - \Delta V_{2k}) - A_2' \Delta V_{2g2} \quad (27)$$

ha $\Delta V_{2a(b)}$ -t (lásd 12. ábra) a többi változáshoz képest elhanyagoljuk, (mivel $R_n \ll R_4$).

A_2 a T_2 cső feszültségerősítése az első rácsról,

A_2' a T_2 cső feszültség erősítése a második rácsról.

Ha már most definiáljuk A_2 és A_2' -et, ΔV_{2g1} , ΔV_{2g2} , és ΔV_{2k} -t, helyettesítjük (27)-be, valamint (27)-et így kibővítvé helyettesítjük (26)-ba; a rendszer működéséről jó képet kapunk, és »s« valamint » R_b « kikalkulálható. Így (12. és 13. ábrákból):

$$\Delta V_{2g1} = \Delta V_o a_o; \text{ ahol } a_o = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \quad (28)$$

$$\Delta V_{2k} \cong \Delta V_i \cdot R_{N1}/R_1;$$

másképpen

$$\Delta V_{2k} \cong (\Delta E_i - I_o R_i) \cdot R_{N1}/R_1; \text{ ha } R_{N1} \ll R_1 \quad (29)$$

$$\Delta V_{2g2} = \Delta V_i R_{1b}/R_1,$$

másképpen:

$$\Delta V_{2g2} = (\Delta E_i - I_o R_i) \cdot R_{1b}/R_1 \quad (30)$$

Így definiáltuk V_{2g1} , V_{2g2} és V_{2k} értékeit.

Helyettesítve ezeket (27) majd (26)-ba:

$$\Delta I_o (R_{i1} + R_i) = \Delta E_i - \mu_1 \{ A_2 [\Delta V_o a_o - (\Delta E_i - I_o R_i) \cdot R_{N1}/R_1] + A_2' [(\Delta E_i - I_o R_i) \cdot R_{1b}/R_1] \} - \Delta V_o \quad (31)$$

Amint látjuk, a függvény fenti felírásban nagyon bonyolult. Ezért a következő egyszerűsítéseket tesszük: Egyrészt a csőelméletből felírhatjuk:

$$A_2' = A_2/\mu_{2g2} \quad (32)$$

ahol μ_{2g2} a T_2 cső segédrács-erősítési tényezője; és ha elhanyagoljuk 1-et $\mu_1 A_2 a_o$ -hoz képest:

$$q = 1 + \frac{\mu_1 A_2}{R_1} \left(R_{N1} - \frac{R_{1b}}{\mu_{2g2}} \right) \quad (33)$$

Ezt (31)-be rendezés után helyettesítve a következő egyszerűbb alakot kapjuk:

$$\Delta I_o (R_{i1} + qR_i) + \Delta V_o (\mu_1 A_2 a_o) = q \Delta E_i \quad (34)$$

Kaptunk a rendszer működésére egy jellemző függvényt, ahol ΔV_o függ úgy a ΔI_o -tól, mint ΔE_i -től, valamint a kapcsolási elemektől, amelyekre jellemzőek a q , a_o , A_2 , μ_1 , R_{i1} és R_i értékek. Ha »s« értékére vagyunk kíváncsiak, úgy (34)-ből:

$$s = \Delta E_i/\Delta V_o = \mu_1 A_2 a_o/q \quad (35)$$

Ha ΔV_{2k} zérus és V_{2g2} -t is konstansnak vesszük, úgy q kifejezésében (33), $R_{N1} - R_{1b}/\mu_{2g2}$ kifejezés zérus lesz, így $q = 1$, és »s« redukálódik a (6) pont szerint (17) képletre, ha ott az 1-et $\mu_1 A_2 a_o$ -hoz képest elhanyagoljuk. Így a szabályozási jóság egyenlő lesz a visszacsatoló kör eredő erősítésével. Eggyé tehető még q akkor is, ha:

$$R_{1b} = \mu_{2g2} \cdot R_{N1} \quad (36)$$

Azokban, és éppen ebben áll a kapcsolás lényege, s -et végtelen nagyra tudjuk tenni, másképpen végtelen jó bemenő feszültség változásra való stabilizálást tudunk elérni, ha (35)-ben a nevezőben levő q -t 0-vá tesszük.

Nézzük meg, hogyan lehetséges ez (33) szerinti q kifejezésével: q zérussá lesz, ha:

$$\frac{\mu_1 A_2}{R_1} \left(R_{N1} - \frac{R_{1b}}{\mu_{2g2}} \right) = -1,$$

azaz »s« végtelen, ha:

$$R_{1b} = \mu_{2g2} \left(\frac{R_1}{\mu_1 A_2} + R_{N1} \right) \quad (37)$$

R_{N1} nem más, mint N_1 parázsfénylampa differenciális (belső) ellenállása. Így mint az (37)-ből látható, végtelen »s«-t produkálhatunk az R_{1b}/R_1 viszony beállításával. Túl kicsi R_{N1} -jú N_1 stabilizátort nem érdemes vennünk, mivel akkor R_1 optimális értékére igen alacsony ellenállást kapunk, mely egyrészt nem elegendő nagy arra, hogy N_1 -en az áramot a normális kisülés értékén tartsa, hanem N_1 túlterhelődik, másrészt $R_1 - N_1$ osztó sok áramot fogyaszt. Legcélzerűbb egy 2—300 Ω -os R_{N1} . Sokkal lényegesebb N_1 -nél: az égési idő függvényében, állandó I -nél V_{N1} ne változzék.

Nézzük meg már most, hogy viselkedik a 12. és 13. ábra szerinti kapcsolás, kimenő ellenállásra. $R_b = -\Delta V_o/\Delta I_o$ -ból, ha $\Delta E_i = 0$, és (34) alapegyenletünkéből (ha ΔE_i -s tagot zérussá tesszük):

$$R_b = -\frac{\Delta V_o}{\Delta I_o} = \frac{R_{i1} + qR_i}{\mu_1 A_2 a_o} \quad (38)$$

Ha $q = 1$, amelyik fennáll akár (36) betartásának esetén, akár V_{N1} -t és V_{2g2} -t konstansnak vesszük, R_b kifejezése redukálódik a 6 pont (16) alakfejezésére, feltéve, a ha $\mu_1 A_2 a_o$ mellett R_i -t elhanyagoljuk. Így, ha $q = 1$, a kapcsolás kimenő ellenállása egyenlő a T_2 cső belsőellenállásával, osztva a visszacsatoló hurok eredő erősítésével ($\mu_1 A_2 a_o$ -al).

Nézzük meg, mi a helyzet R_b -vel, ha »s« végtelen lesz, a (37) szerinti helyzet betartásával:

$$R_b = \frac{R_{i1}}{\mu_1 A_2 a_o}; \text{ ha } s = \infty \text{ és } q = 0 \quad (39)$$

azaz a (16) képletet kapjuk. Tehát ha $q = 0$, a rendszer az E_i forrás belső ellenállása (R_i) miatti $\Delta I_o R_i$ esést kompenzálja V_i visszacsatolásával $R_{1a} - R_{1b}$ -n keresztül T_2 cső segédrácsára.

Ha R_b -t akarjuk zérussá tenni, azaz R_i és R_{i1} együttes hatását akarjuk kompenzálni, akkor R_{1b}/R_1 más viszonyra fogja ezt elvégezni. Ehhez (38) jobboldalának számlálóját kell zérussá tenni: $R_{i1} + qR_i = 0$;

azaz:

$$R_b = 0,$$

ha:

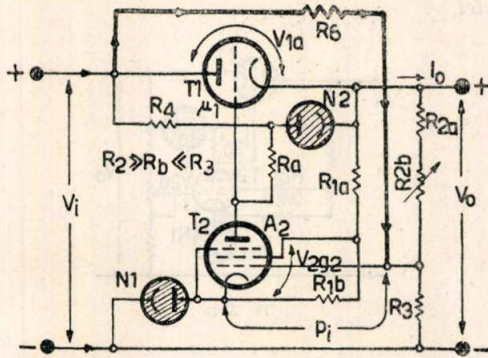
$$R_{1b} = \mu_{2g2} \left(\frac{R_1}{\mu_1 A_2} \cdot \frac{R_{i1} + R_i}{R_i} + R_{N1} \right) \quad (40)$$

Ilyen esetben »s« értéke: ha $R_b = 0$:

$$s = -\mu_1 A_2 a_0 R_i / R_{i1} \quad (41)$$

azaz, ha R_{1b}/R_1 viszonytal $R_b = 0$ kompenzálásra állunk, a szabályozási jóság (igen magas) negatív érték lesz: ha ΔE_i pozitív, ΔV_o negatív. Látható (37) és (38)-ból, valamint (40) és (41)-ből, hogy vagy a végtelen »s«-t, vagy $R_b = 0$ -t tudunk létrehozni R_{1b}/R_1 és R_{N1}/R_i megfelelő arányával, de egyszerre a kettőt nem. Igaz viszont az a tény, hogy a két R_{1b} érték, melyik a fenti két kívánt kondíciónak felel meg, igen közel esik egymáshoz. Ha az egyik feltételt teljesítjük, a másik feltétel is elég jól megközelíti az ideálást és fordítva. Megvalósítandó konstrukciókban R_{1b} két értékét az $s =$ végtelen és $R_b = 0$ -hoz rendelve kiszámítjuk (37) és (40)-el, és végleges értékek a kettő közötti R_{1b} -t tesszük be, így jó kompromisszumot kaptunk. Ha egyszer az $s =$ végtelen, máskor az $R_b = 0$ lenne kívánatos a felhasználásnál, úgy $R_{1b} - R_{1b}$ átkapcsolható kivitelezése lehetséges.

Az együttes bemenet-kimenet visszacsatolásnak más módszere is ismeretes. Ezek részletezését e cikk keretében röviden érintjük (l. 14., 15., 16., 17. ábra).



14. ábra

A 14. ábrán (1, 3) egy példát látunk a bemenő feszültség változás és a kimenő feszültség változás együttes alkalmasára T_2 cső első rácsán, míg a második rács V_o köréből kap táplálást. A ΔV_i visszacsatolás R_6 nagy-ohmikus ellenálláson keresztül történik. R_6 értékének megfelelő megválasztásával, egy adott kapcsolásban, $s = \infty$ könnyen beállítható. Ebben a kapcsolásban V_{2g2} konstans, mivel $R_{1a} - R_{1b}$ a V_o -ról van táplálva. Ha feltesszük, hogy $\Delta I_o = 0$, V_o változása alatt, $\Delta V_o = 0$ az elérendő cél; akkor kell, hogy V_i kizárólag V_{1a} -ra szuperponálódjék. Ha most R_6 értékét akarjuk kikalkulálni, úgy fentiek alapján V_{1a} -nak egyenlőnek kell lenni a visszacsatolási körben levő erősítéssel, megszorozva p_i -vel, azaz $R_6 - R_2 + R_3$ osztó osztási arányával és ΔV_i -vel. Mivel ezek szerint

$$\Delta V_a = \mu_1 A_2 p_i \Delta V_i \quad (42)$$

ahol

$$p_i = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3 + R_6} \quad (43)$$

(42) és (43)-ból, ha $\mu_1 A_2 \gg 1$ elhanyagolást vesszük (feltéve, hogy $\Delta V_i = \Delta V_{1a}$ -val):

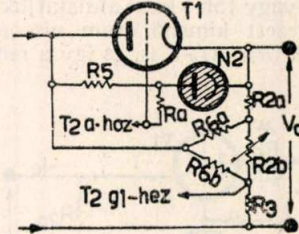
$$R_6 = \mu_1 A_2 \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \mu_1 A_2 a_0 R_2 \quad (44)$$

ahol a_0 a V_o hányada, amely T_2 első rácsára van vezetve (28). Mivel $\mu_1 A_2$ igen nagy (10^3 nagyságrendű) és R_2 $10^4 \Omega$ nagyságrendű, $10 \text{ M}\Omega$ nagyságrendű R_6 szükséges a kapcsoláshoz.

Hátránya a 14. ábra szerinti kapcsolásnak, (és ez a 12. szerinti kapcsolás hátránya is), hogy V_o változtatásával változik a_0 viszony is, egyúttal megváltozik, ha kevésbé is, A_2 és μ_1 értéke.

Ezért a 12. ábra szerinti levezetésnél q érték megváltozva, a kapcsolás egyensúlya felborul. A 12. ábra szerinti levezetésnél nem tehetünk mást, mint q -t egyetlen V_o értékre állítjuk be, méghozzá V_o átfogott sávjának közepén. Úgy »s«, mint » R_b « a közepes V_o -tól eltérve, kicsiny, nem nagyon számottevő változást mutat mindaddig, míg V_o max./ V_o min. nem túl nagy. Jól használható úgy a 12. mint a 14. kapcsolás $V_o \text{ max.}/V_o \text{ min.} = 2$ átfogásra, de feljebb nem érdemes fenti okok miatt menni.

A 14. ábra szerinti kapcsolás egy alternatívája módot ad a_0 változásának kompenzálására, és így »s« végtelen tartására széles V_o sávon át (15. ábra, 1, 3). A működési



15. ábra

elv a következő: R_6 két részre van osztva ($R_{6a} - R_{6b}$) és rácsatlakoznak R_{2b} sarkaira. Tegyük fel, hogy V_o minimális értékre szabályozunk úgy, hogy R_{2b} -t rövidebbre zárjuk. Ilyenkor R_{6a} és R_{6b} parallel kapcsolódik, és kikalkulálható R_6 szükséges értéke a (44)-ből. Ha V_o nem minimális, R_{6b} , R_{2a} és R_3 , R_{2b} -vel áthidalva, tulajdonképpen egy Wheatstone-hidat alkot, (15/a ábra) mivel a kimenetet közel zérus ellenállásúnak vesszük, azaz $R_{2a} \gg R_b \ll R_3$ egyenlőtlenség fennáll, és így R_2 és R_3 végpontjait $p_i \Delta V_i$ szempontjából összeköthetjük. A Wheatstone-híd feltételeit felírva láthatjuk, hogy az $s = \infty$ betartásához, a teljes V_o sávon át az:

$$R_{6a} = \mu_1 A_2 R_{2a}$$

és

$$R_{6b} = \mu_1 A_2 R_3 \quad (45)$$

feltételeket kell teljesíteni, azaz az $s =$ végtelen teljesítése a teljes sávon át a következő egyenletekből folyik:

$$R_6 = \mu_1 A_2 a_0' R_2; \quad \left(\text{ahol } a_0' = \frac{R_3}{R_{2a} + R_3} \right) \quad (46)$$

és

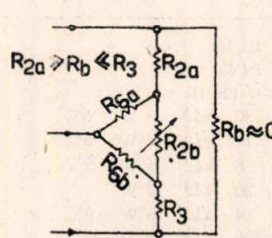
$$R_{2a}/R_3 = R_{6a}/R_{6b} \quad (47)$$

valamint

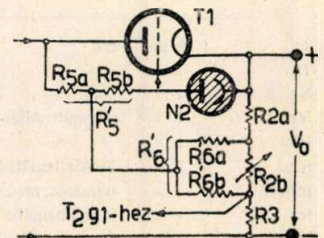
$$R_6 = \frac{R_{6a} \cdot R_{6b}}{R_{6a} + R_{6b}} \quad (48)$$

A 15. ábra szerinti kapcsolásnál R_{6a} és R_{6b} igen magas értékek, többször $10 \text{ M}\Omega$ nagyságrendűek konkrét esetben. Ezért előnyös R_5 -öt potencióméteresen kiképezni és egy alacsonyabb V_i -vel arányos potenciálú pontról leagaztatni $R_{6a} - R_{6b}$ -t (15/b ábra). Ilyenkor R_5 megcsapolásával kényelmesen beállíthatunk a kívánt pontra és (46) a következő képpen módosul:

$$R_6' = \frac{R_{5b}}{R_5} \cdot \mu_1 A_2 a_0' R_2 \quad (49)$$



15/a ábra



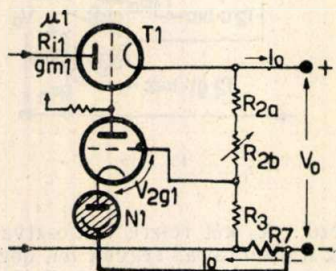
15/b ábra

¹ M. G. Scroggie: Stabilized Power Supplies, Wireless World, X, XI, XII 1948.
² H. J. Re ch.: Theory & Appl. of Electron Tubes, Mc. Graw Hill, 1949, 593. o.

(47) és (48)-ba R_6 helyett R_6' , R_{6a} helyett R_{6a}' , R_{6b} helyett R_{6b}' kerül, R_{6a}' és R_{6b}' kezelhető, 1 M Ω nagyságrendű értékek lesznek.

A 12, 15, és 15b. szerinti kapcsolásoknak az a hátrányuk még, hogy vagy az $s = \infty$, és $R_b = 0$ helyzet nem egy beállításnál van, (12. kapcsolás) vagy csak V_i változását kompenzálják teljesen (15. és 15b. kapcsolás). Míg az első feltétel: $s = \infty$ az E_1 forrás belső ellenállását kompenzálja ki ($R_i = 0$), a második feltétel a T_1 cső belső ellenállását kompenzálja ($R_i = 0$).

A bemenő visszacsatolás kompenzálhatja így R_i -t teljesen, valamint az I_o változás miatt fellépő $R_i \cdot \Delta I_o$ feszültség változást, de nem kompenzálja az $R_{i1} \cdot \Delta I_o$ -t. Ha mármost 15. vagy 15b-t kissé átalakítjuk 16. ábra szerint, úgy az úgynevezett kimenő áram visszacsatolás elvével kompenzálhatjuk $R_{i1} \cdot \Delta I_o$ -t is, és így a rendszer működése tökéletes lesz.



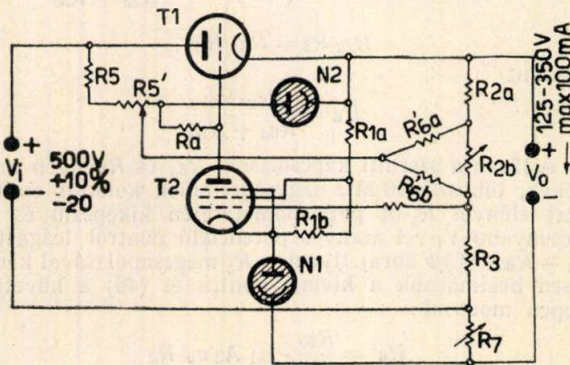
16. ábra

A kimenő áram visszacsatolást a 16. ábrán, majd kombinálva a 15b. szerinti bemenőfeszültség visszacsatolással (17. ábra) mutatjuk be. R_{i1} hatása kikompensálható R_7 ellenállással, a kimenő áram körében. Jelen esetben

$$V_{2g1} = V_{R3} + I_o R_7 - V_{N1},$$

tehát $I_o R_7$ vezérelni fogja T_1 csövet ΔI_o -tól függően és 16. ábrából megfigyelhető, hogy a ΔV_{R7} változás a $\Delta I_o \cdot R_{i1}$ ellenében dolgozik. Kompenzálást akkor érünk el, ha V_{R7} egyenlő lesz az ellenkező előjellel és a visszacsatolási körben levő eredő erősítéssel megszorozott ΔV_{1a} -val, azaz a T_1 belsőellenállásán eső feszültséggel:

$$\Delta V_{1a} = \Delta I_a R_{i1} = - \Delta I_a R_7 A_2 \mu_1 / a_o \quad (50)$$



17. ábra

T1	2 db	cső	EL41			
T2	1 *	"	EF42			
N1, 2	2 *	stab. cső	G 120/1B			
R1a	1 *	rétegellenállás	30 k Ω	3 W	5%	
R1b	1 *	"	15 k Ω	2 W	5%	
R2a	1 *	huzalellenállás	8 k Ω	6 W	5%	
R2b	1 *	huzalpot. méter	20 k Ω	12 W		
R3	1 *	huzalellenállás	4 k Ω	6 W	5%	
Ra	1 *	rétegellenállás	400 k Ω	0,5 W	5%	
R5	1 *	"	35 k Ω	3 W		
R5'	1 *	huzal pot. méter	10 k Ω	3 W		
R6a	1 *	rétegellenállás	1,5 M Ω	1 W	5%	
R6b	1 *	"	1 M Ω	1 W	5%	
R7	1 *	huzal pot. méter	1 Ω			

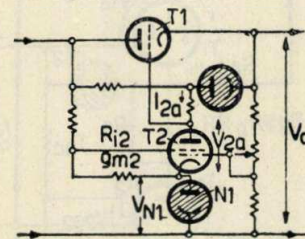
Az $a_o = \frac{R_3}{R_2 + R_3}$ azért van a nevezőben, mert a kimenő lánc V_{R7} szempontjából megfordítottan működik. Így:

$$R_7 = \frac{R_{i1} (R_2 + R_3)}{\mu_1 A_2 R_2} = \frac{1}{g_{m1} A_2} \cdot \frac{R_3 + R_2}{R_2} \quad (51)$$

Igen jó stabilizálást tudunk elérni most már mindkét szempontból, ha 15b. és 16. ábrákat közösítjük (l. 17. ábra), ugyan még mindig fennmarad $R_b = 0$ esetében a függés a_o változó értékétől. Ezért R_{2b} közepes értékére számolunk. R_b a zérustól igen kis mértékben fog eltérni óvatos konstrukció esetén.

11. A kimenő feszültség sáv kitágítása a magasabb feszültségek felé

Az erősítőfokozatos széria stabilizátoroknál V_o max értékének határt szab T_1 és különösen T_2 cső feszültségbírása. T_1 -nél a helyzet csak akkor lesz kritikus, ha a V_i magas és V_o -t alacsony értékre szabályozzuk le, így T_1 -re esik a teljes $V_{1a} = V_i - V_o$ érték. Mivel egyrészt V_o max / V_o min = = 2-nél nagyobb arányt nem szokás egy lépésben szabályozni (legfeljebb egy nagyobb sávot két részre osztani), másrészt alacsony R_i -jú cső nagy feszültségbírással az anódon könnyen kivitelezhető (P27,500, OS1, ED100, OS18/600 Tungstram csövek), a nehézség T_2 feszültségbírásnál lép fel.



18. ábra

Nézzük meg, hogy milyen feszültség lép fel T_2 -n, ha V_o maximális. 15. és 18. ábrákból látható, hogy (19) szerint:

$$V_{2a} = V_o - V_{N1} - V_{1g}$$

Mivel V_{N1} kb. 2–300 V max, és V_o max környezetében V_{1g} közel zérus (pár volt), úgy $V_{2a} = V_o$ max - V_{N1} . Ha pl. V_o max = 1000 V, úgy V_{2a} 700–800 V és ilyen feszültséget nagy belsőellenállású és nagy meredekségű (rádiófrekvenciás erősítő) pentóda nem nagyon bír ki az anódon, mivel az ilyen csövek nem készülnek felső anódkivezetéssel és gondos szigeteléssel. Ilyen esetben célszerű egy aránylag nagy meredekségű végerősítő pentódat felső anódkivezetéssel (pl. OS1, EL51, EL12 spec.) használni. Hogy az erősítés ne essen nagyon magas R_a esetén az alacsony R_{i2} miatt, úgy egyrészt relative alacsony, (50–100K Ω) R_a -t, másrészt nagyobb V_{2g1} -el kisebb anódáramot és így nagyobb R_{i2} -jú karakterisztika szakaszt választunk. V_{2g1} -el és I_{2a} -val nem érdemes túl negatívra, ill. túl alacsonyra menni, mert akkor g_{m2} esése miatt lesz a T_2 erősítése alacsony.

I_{2a} és R_{i2} értékének egy lapos optimuma van adott R_a esetén a T_2 erősítése szempontjából, itt kell járni a csövet. Egy kivitelezett 250–1000 V-os nagyfeszültségű és nagy terhelhetőségű (max. 0,5A) egység leírása az utolsó részben található.

12. Felhasználási és gazdaságossági szempontok

Az előbbiekből világos, hogy a szériacsöves erősítőfokozatos stabilizátor használható és gazdaságos olyan helyeken, ahol a nagy stabilizálási jóság és az alacsony kimenő ellenállás lényeges — és esetleg a kimenőfeszültség egyszerű és teljesítmény nélküli vezérlése fontos. A kapcsolások különböző válfajai jól stabilizált feszültséget tudnak adni 20 V-tól fel egészen 1000 V-ig, és gazdaságosan működnek pár mA terheléstől, fel egészen 1 A-ig. (mivel T_1 csövek parallel kapcsolásával a max. I_o megnövelhető). Mint kis

és közepes feszültségű egységek nagy jósággal alkalmazhatók h iradás-, műszertechnikai és egyéb fizikai vagy laboratóriumi alkalmazásban, valamint egyes gyártási ágakban (pl. elektroncső, izzólámpa gyártás és mérés) valamint nagyfeszültségű egységek, 1000 V-ig és kb. 1 kW-ig, 90% körüli hatásfokkal (1. 3 pont). A hatásfok könnyen kiszámítható, ha elhanyagoljuk a rendszer shunt áramkörét így a T_2 cső tápláló körét és az $R_2 - R_3$ osztót. A rendszer hatásfoka akkor nem lesz más, mint a V_o/V_i viszony, mivel ugyanaz az I_o áram lehad át T_1 csővön és R_t osztón:

$$\eta = 100 \cdot V_o/V_i (\%) \quad (52)$$

Alacsony feszültségű egységeknél a V_{1a} tetemes része V_i -nek, és ezért a hatásfok nagyon alacsony. 3. pontban beszéltünk már arról, hogy V_{1a} minimális értéke, ami mellett triódák még kielégítően dolgoznak, csőtől függően 50–150 V. Ezért alacsony és közepes V_o feszültségeknél a hatásfok erendően rossz, de ez nem is túl érdekes, kis teljesítményekről és laboratóriumi berendezésekről lévén szó. A hatásfok akkor kezd javulni, ha V_{1a}/V_o viszony egyre jobban a zérust közelíti meg, azaz magas V_o -oknál.

Mivel az előzőekből $V_o \text{ max} = 1000 \text{ V}$, vegyünk $V_{1a} = 100 \text{ V}$ -ot, így a hatásfok optimuma szériacsöves stabilizátornál ilyen esetben:

$$\eta = \frac{10^3}{1,1 \cdot 10^3} 10^2 \approx 91\%$$

de csak abban az esetben, ha V_o a maximális 1000 V-ra van szabályozva.

1 kW-nál nagyobb egységeket elektroncsöves szériastabilizátorral nem érdemes építeni. Itt jobban használható más a thyatronos stabilizátor, melynek az az előnye is megvan, hogy mindjárt egyenirányít is, ellentétben a vákuumcsöves stabilizátorokkal, melyek elé jól szűrt egyenirányító egység szükséges.

12. Kivitelezett példák

Az alábbiakban négy kivitelezett példát ismertetünk a szériacsöves stabilizátorokról.

a) A 19. ábra egy univerzális használhatóságú, kettős stabilizált feszültségforrás rajza. A berendezés 2 stabilizált, zérushoz képest pozitív forrást, (E_1, E_2) egy zérushoz képest negatív, stabilizált előfeszültség forrást (E_g), stabilizálatlan +500 V-t, valamint 6,3 V-os váltóáramú stabilizálatlan forrást tartalmaz. A berendezés specifikációja a következő:

Táplálás: 110–220 V, 40–60 ~. E_1 forrás: stabilizált 100–300 V kimenő feszültségsáv, egy sávban max. kivihető áram 100–250 V közt 200 mA, 250–300 V közt 150 mA. R_b max. értéke a használati sávban $\pm 5\Omega$, »s« minimális értéke ugyanakkor ± 500 . A sáv közepe körül R_b a zéruson, illetve »s« a végtelenen megy át, előjelet váltva.

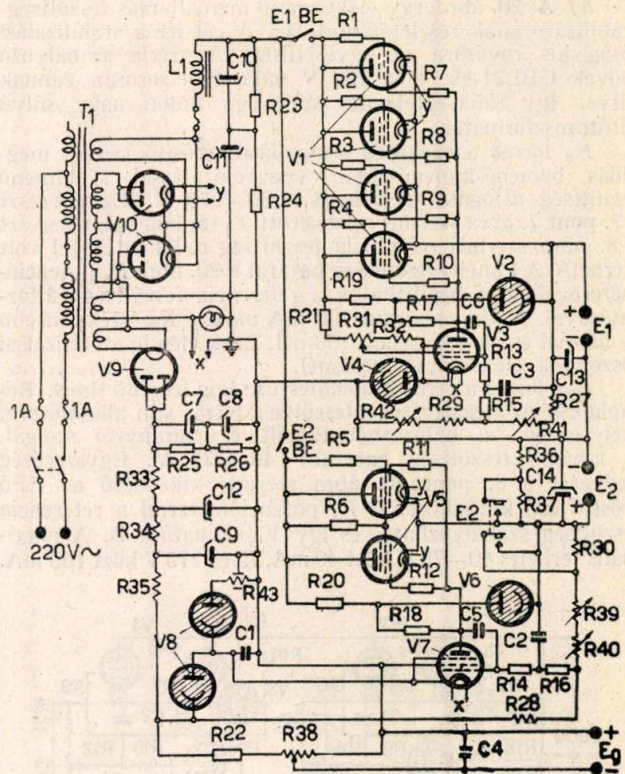
E_2 forrás: stabilizált feszültség átkapcsolható 0–200 V és 50–300 V sávokra. Maximális kivihető áram 20–60 V között 40 mA, 60–300 V között 100 mA. R_b és »s« mindenütt pozitív, $s > 200$ és $R_b < 4\Omega$, $V_i = 75 \text{ V}$ felett. R_b legkisebb értéke 2Ω , míg »s« optimális értéke kb. 500, közepes V_o feszültségeknél.

E_g forrás: a zérushoz képest negatív, 0–15 V között folytonosan változtatható; »s« értéke kb 25–35. A forrás belsőellenállása 15 V kimenőfeszültségnél (R_{38} potencióméter maximum állásban) 300–400 Ω . Kisebb feszültségeknél R_{36} közbeiktatása miatt R_b nő kb. 2800 Ω -ig, majd ismét csökken, zérus felé tartva. Maximális áramlevétel 3 mA.

E_1 feszültségforrás a 10. pont 12. ábra szerinti megoldású, együttes bemenő-kimenő-oldali visszacsatolás elvén működik, így az $R_b = 0$ és $s = \infty$ kondíció, bizonyos V_o és I_o értékeknél megvalósított. A stabilizálás nagy jóságú, és érdekes a nagy átfogott V_o sáv e mellett.

E_2 feszültségforrás a 8. pont, 9. ábra szerinti megoldású, és közel $V_o = 0$ -ig le tud szabályozni. A stabilizálási viszonyok jók, az univerzális felhasználhatóság mellett.

Az E_g feszültségforrás a 2. fejezetben leírt egyszerű parázfénylámás megoldás. A parázfénylámák nem mások, mint N_{1a} és N_{1b} a 9. ábrában, így V_{15} és V_{16} kettős kihasználású, mivel a sarkain levő V_n -ből stabilizált feszültséget használjuk leosztás után, mint E_g feszültségforrást.



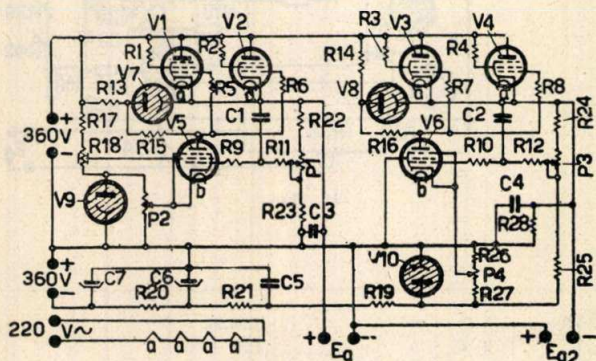
19. ábra

V1, V5	6 db	cső	EBL21
V3, 7	2 "	"	EF6
V2, 4, 6	3 "	stab. cső	G120/1B
V8	2 "	"	OA3/VR75
V9	1 "	"	AZ21
V10	2 "	"	EZ4
R1–6	6 "	rétegellenállás	50 Ω 0,5 W
R7–12	6 "	"	1 k Ω 0,5 W
R13, 14	2 "	"	50 k Ω 0,5 W
R15, 16	2 "	"	10 k Ω 0,5 W
R17	1 "	"	200 k Ω 0,5 W 5%
R18	1 "	"	400 k Ω 0,5 W 5%
R19, 20	2 "	"	100 k Ω 3 W 10%
R21, 22	2 "	"	50 k Ω 3 W 10%
R23–26	4 "	"	200 k Ω 2 W
R27, 35	2 "	huzalellenállás	5 k Ω 6 W 5%
R28	1 "	"	12,5 k Ω 6 W 5%
R29	1 "	"	4,5 k Ω 6 W 5%
R30	1 "	"	20 k Ω 6 W
R31, 32	2 "	"	10 k Ω 6 W
R33, 34	2 "	"	3 k Ω 6 W
R36, 37	2 "	"	10 k Ω 15 W
R38	1 "	huzalpot. méter	10 k Ω 3 W
R39	1 "	"	50 k Ω 12 W
R40	1 "	"	5 k Ω 3 W
R41	1 "	"	20 k Ω 12 W
R42, 43	2 "	"	500 Ω 3 W
C1–3	3	tömbkondenzátor	0,5 μ F 500/1500 V
C4	1	"	1 μ F 250/750 V
C5, 6	2	csillámkondenz.	100 pF
C7–12	6	elektrolitkond.	16 μ F 450/500 V
C13, 14	2	"	32 μ F 450/500 V
L1	1	vasmagos fojtó	2Hy, 200 mA
T1	1	hálózati trafó	primer 110–220 V sec. anód 2 \times 490 V max. 200 mA fűtés I. 6,3 V max. 6A " II. 6,3 V max. 2A " III. 6,3 V max. 1A " iV. 4 V max. 1A

b) A 20. ábra egy elektroncső mérőállomás feszültség-stabilizátorának részletét mutatja. A cél itt a stabilizálási jóság kis rovására az egyszerűség. A széria szabályozó csövek UBL21-ek, és a 220 V hálózatról sorosan vannak fűtve. Így szükségtelemmé válik egy külön nagy súlyú fűtőtranszformátor.

E_a forrás a szokásos kapcsolású, erősítő csöves megoldás, bemenő-kimenő-oldali visszacsatolással. A kimenő feszültség átfogása igen nagy: 80–275 V. Ez egyrészt a 7. pont 7. ábra szerinti módosított T_2 táplálással, másrészt a 8. ábra szerinti referencia feszültség csökkentésével volt elérhető. A kimenő feszültség határai a 20. ábra P_2 potencióméterével ezért beállíthatók a referencia feszültség változtatásával. A kimenő áram 200 mA max.; R_b értéke kisebb $\pm 5\Omega$ -nál és »s«-é nagyobb 150-nél. Ezek elég jó stabilizálási viszonyok elektroncső mérésnél.

E_{g2} forrás a zérus kimenőfeszültségig lemenő típus. Betáplálásához negatív segédfeszültség forrás van alkalmazva, melyre egy, a hálózatról táplált egyenirányító szolgál. A kimenő feszültség határai: 40–275 V. Egyszerűség kedvéért a 8. pont 10. ábra szerinti kiképzésű az EF6 erősítő cső katódköre. A P_4 potencióméterrel a referencia feszültség szabályozható, és így V_o sávhatára is. A maximális terhelés 40–75 V közt 40 mA, 75 és 275 V közt 100 mA.



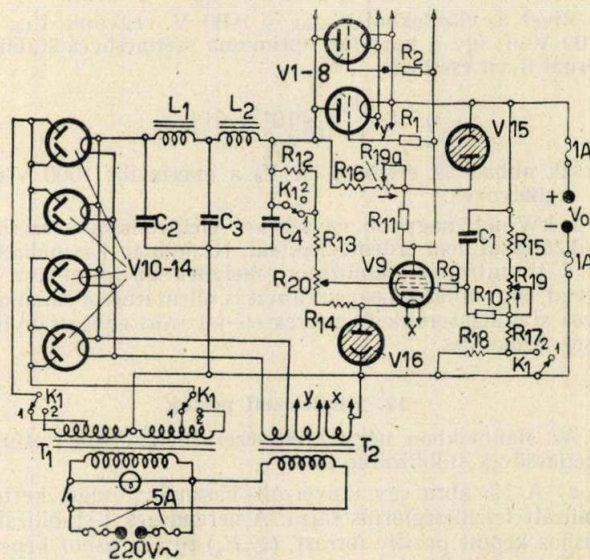
20. ábra

nagymeredekségű erősítő triódát alkalmaztunk, így a maximális 0,5 A terhelést a készülék üzemszerűen kibírja. Az átfogott V_o sávot a kapcsolásban két részre osztottuk: 250–500 és 500–1000 V-ra. Így az átfogás egy sávban 1 : 2, e mellett elég jó és egyforma stabilizálási karakterisztikát nyerünk. R_b értéke 10–20 Ω nagyságrendben, míg »s« értéke 100–150 nagyságrend körül mozog ebben a kapcsolásban. A stabilizátor áramkör megfelelő elemeinek átkapcsolása mellett a tápegyenirányító anódváltófeszültsége is átkapcsolódik a V_o sáv váltásnál.

Érdekeség a kapcsolásban R_{2b} (20 k Ω) közös tengelyen járatása N_2 tápellennállás (R_4) potencióméteresen kiképzett részével. Így N_2 -n áthaladó áram nagyjából konstans a teljes V_o sávon át.

A berendezés specifikációja:

- Kimenő feszültség sávjai: 250–500 V (1 állás)
- 500–1000 V (2 állás)
- Max. kimenő áram: 0,5 A
- Kimenő ellenállás (R_b): 7–28 Ω ; V_o és I_o -tól függően
- Stabilizálási jóság (s): 50–200 V_o és I_o -tól függően



21. ábra

V1–4	4 db	cső	UBL21
V5, 6	2 "	"	EF6
V7–17	4 "	stabilizátor cső	OA3
R1–4	4 "	rétegellenállás	50 Ω 1/4 W
R5–8	4 "	"	1 k Ω 1/4 W
R9–10	2 "	"	10 k Ω 1/4 W
R11–12	2 "	"	50 k Ω 1/4 W
R13–14	2 "	"	25 k Ω 3 W
R15	1 "	"	200 k Ω 0,5 W
R16	1 "	"	400 k Ω 0,5 W
R17–19	3 "	huzalellenállás	5 k Ω 15 W
R20–21	2 "	"	3 k Ω 15 W
R22	1 "	"	5 k Ω 6 W
R23	1 "	"	3,6 k Ω 6 W
R24	1 "	"	10 k Ω 6 W
R25	1 "	"	6 k Ω 6 W
R26–27	2 "	"	4 k Ω 6 W
R28	1 "	"	10 k Ω 15 W
P1	1 "	huzalpot. méter	20 k Ω 12 W
P2	1 "	"	35 k Ω 12 W
P3–4	2 "	"	10 k Ω 3 W
C1–2	2 "	tömbkond.	0,2 μ F 1500 V
C3–5	3 "	"	1 μ F 1500 V
C6–7	2 "	elko	16 μ F 450/500 V

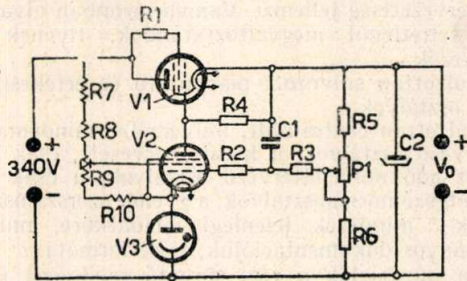
V1–8	8 db	cső	P27/500
V9	1 "	"	OS1
V10–14	4 "	"	PV200/1000
V15	1 "	stab. cső	OA3/VR75
V16	1 "	"	OC3/VR105
R1–9	9 "	rétegellenállás	1 k Ω , 0,25 W
R10	1 "	"	20 k Ω , 0,25 W
R11	1 "	"	150 k Ω , 1 W 5%
R12	1 "	huzalellenállás	30 k Ω , 20 W 5%
R13	1 "	"	50 k Ω , 25 W 5%
R14	1 "	"	1 k Ω , 15 W 5%
R15	1 "	"	7,5 k Ω , 15 W 5%
R16	1 "	"	7 k Ω , 15 W 10%
R17	1 "	"	2250 Ω , 6 W 2%
R18	1 "	"	4,3 k Ω , 6 W 2%
R19–19a	1 "	huzalpot. méter	20+35 k Ω , 12 W
R20	1 "	"	12 k Ω , 12 W
C1	1 "	tömbkond.	0,2 μ F, 1/3 kV
C2–4	3 "	"	6 μ F, 1/3 kV
L1–2	2 "	fojtótekeres	3 Hy, max. 10 Ω
T1	1 "	anódtranszform.	pr. 215 V 600 VA sec. 2 \times 720, 2 \times 1250 V, max. 0,5 A
T2	1 "	fűtőtranszform.	pr. 215 V 150 VA sec. 4 V 16 A, 4 V 10 A, 6,3 V 2 A
K1	1 "	nagyfeszültség-kapcsoló	4 \times 2 áramkör

c) Feszültség stabilizátor egység nagyfeszültségű mérőállomáshoz.

A megépített készülék elvi kapcsolása a 21. ábrán látható. A konstrukciónál a 11. pont szerinti megoldással élve, T_2 erősítő csőnek az OS1-et választottuk, egy relatíve alacsony áramú munkapontban, így T_2 cső feszültségbírása biztosítva van. T_1 csőnek 8 db parallel kötött P27/500

d) Stabilizált anódfeszültség-forrás elektronikus mérő-készülékek táplálására.

Az elvi kapcsolás a 22. ábrán látható. A készülék alkalmas kb. 150–220 V stabilizált anódfeszültség szolgáltatására és a felhasznált miniatűr csövek miatt, igen kis helyen fér el. A kapcsolás a szokásos bemenő-kimenő-oldali visszacsatolásos, mint a 10. pontban 12. ábráé, így $s = \infty$ telen és igen kis zúgófeszültség érhető el, annak ellenére, hogy az egyenirányító után nem L–C szűrőkör, hanem csak egyetlen puffer kondenzátor van alkalmazva. Jellemző



22. ábra

erre a kapcsolásra a maximális áramkivitel mellett $s = \infty$ telen beállításnál kb. 2–5 mV zúgófeszültség. Egyetlen EL41-nél (T_1) a maximális kivihető áram 40 mA. Nagyobb terhelő áramokra 2 vagy 3 EL41-et kell parallel kapcsolni. A mindenkor állandó V_0 -nál kell a 10 k Ω -os potencióméterrel az $s = \infty$ teltent beállítani.

V1	1 db	cső	EL41		
V2	1 db	cső	EF42		
V3	1 db	stab cső	G120/1B		
R1	1 db	rétegellenállás	50 Ω	0,25 W	
R2–3	2 db	rétegellenállás	20 k Ω	0,25 W	
R4	1 db	rétegellenállás	0,5 M Ω	0,25 W	5%
R5	1 db	rétegellenállás	50 k Ω	2 W	3%
R6	1 db	rétegellenállás	25 k Ω	2 W	5%
R7–9	3 db	huzalellenállás	10 Ω	6 W	5%
R10	1 db	huzalellenállás	3 k Ω	4 W	5%
P1	1 db	szénpotméter	50 k Ω		
C1	1 db	tömbkondenzátor	0,5 μ F	500/1500 V	
C2	1 db	elektrolitkondenzátor	16 μ F	250/280 V	

Az új Tervgazdasági és Szervezési Szakosztály feladatai*

VIG ISTVÁN

Nemcsak valamely gép megtervezése mérnöki munka, hanem mérnöki munka egy tervgazdálkodási feladat megoldása is, mint például a termelést végrehajtó szervezet megtervezése. E kétféle munka azonos természetű. A feladat alapos ismeretében, a gazdaságtudomány, alaptörvényeinek a felhasználásával olyan munkát végző szervezetet kell tervezni, amely a legkevesebb befektetéssel, a legkevesebb energiával, a legkisebb hibalehetőséggel, a legkönnyebb irányítási lehetőséggel, a legjobb minőségben a leggyorsabban elvégzi a feladatot. Szem előtt kell tartani, hogy a feladat minden részletének a végrehajtására legyen a szervezetnek megfelelő szerve és fordítva, ne legyen a szervezetnek olyan szerve, mely a feladat megoldásához szükségtelen.

A tervgazdálkodási és szervezési kérdéseket nem bízhatjuk csak gazdasági és adminisztratív munkatársakra, hanem azokba nekünk, műszakiaknak is be kell kapcsolódnunk, különben a kérdések megoldása hiányos, egyoldalú marad.

A helyes szervezésnek a tervgazdálkodás eredményeire döntő kihatása van. Ötéves tervünk roppant feladatai csak az erőforrások és tartalékok legcélszerűbb felhasználásával oldhatók meg, ez pedig helyes szervezés nélkül nem képzelhető el. Éppen a helyes szervezés biztosítja az erőforrások leggazdaságosabb felhasználását, a veszteségek csökkentését, a kapacitások beruházás nélküli növelését, a versenymozgalmat kiszélesítést, eredményeinek fokozását. A helyes szervezés teszi lehetővé az élmunkások, újítók erőfeszítéseinek a kibontakozását. Ezzel szemben a helytelen szervezés a termelés gátja, mely lehetetlenné teheti a legkorszerűbben felszerelt üzem helyes kihasználását is.

A szervezésnek mindenütt helye van, ahol valamilyen feladat végrehajtása a cél. Mi természetesen az ipar, sőt saját iparágunk területén maradunk, és ezen belül a vállalatok szervezési feladataival fogunk foglalkozni. Azonban egy vállalatban belül is igen széles területe van a szervezésnek. Ezért nem volna célszerű az összefüggő egész áttekintése nélkül egyes szervezési részfeladatokat rendszertelenül kiragadni és azokat egymástól függetlenül, a kapcsolatok rögzítése nélkül tárgyalni. Célszerű először a vállalatban belüli egész szervezési területet áttekinteni, a részfeladatokat összefüggéseik alapján egy-egy feladatcsoportba foglalni, s a feladatcsoportból az egész szervezési területet, mint egy nagy munkaterület áttekintő térképét szemünk elé állítani. Ha ez a térkép előttünk áll, akkor kitűzhetjük az

egy-egy szervezési munkaterületeket, ezen belül egy-egy szervezési feladat megoldását, mindig szem előtt tartva a környező munkaterületeket, az azokkal való összefüggéseket, a kiemelt terület jelentőségét a feladat megoldásánál.

E gondolatmenetnek megfelelően egy vállalatban belül a szervezési területeit a következő rendszerezésben foglalhatnánk egységbe:

I. A vállalati szervezet felépítése. Tervkészítési, előkészítési, termelési és kiértékelési feladatok jellegzetességeinek leginkább megfelelő korszerű vállalati szervezet kidolgozása az egyes szervek feladatainak, létszámarányának, valamint fegyelmi és funkcionális függőségeinek megadásával. A szervezet felépítésénél figyelembe veendő a szervezés főbb alapelvei: a munka legcélszerűbb szétbontása és szétosztása az egyes szervek között (munkamegosztás), az egyforma természetű munkák egy szervezeten belüli csoportosítása (rendszerezés), a feladatok központi összevonásának vagy szervekhez történő kihelyezésének optimális mértéke (centralizáció, decentralizáció, a felelős egy személyi vezetés biztosítása, önálló egységek kijelölése, stb.)

II. A tervkészítéssel kapcsolatos szervezési feladatok. A tervkészítési feladatok rendszerbefoglalása, az iparági sajátosságok kihangsúlyozása, a feladatok nagyságrendjének (volumenének) megjelölése, a feladatok nagyságának és bontásának megfelelő felépítésű és létszámú tervosztályok szervezeti felépítése, a tervkészítés szükséges alapszabályainak (normák, normatívák: kapacitási adatok, az anyag-szükséglethez, munkaigényességhez, stb.) pontos megállapítása, ezek megteremtésének módja, a tervosztályok legheylesőbb munkamódszereinek megállapítása, a tervosztály által szolgáltatott tervek globálitásának ill. részletességének mértéke, a tervosztály kapcsolatai felsőbb hatóságokkal és a vállalat többi szerveivel, az egyéb vállalati szervek közreműködésének a szabályozása a tervkészítésben, a tervosztály ellenőrzési és kiértékelési feladatainak optimális mélysége, stb., szem előtt tartva azt a célt, hogy tervosztályainkon *reális, teljesíthető*, de az elérhető *legnagyobb fejlődésre ösztönző tervek* szülessenek.

III. A tervteljesítés műszaki előkészítésével kapcsolatos szervezési feladatok. A gyártmánytervezés, gyártásvezetés, művelettervezés, gyártóeszköz-tervezés, műszaki norma-

* Az 1953. május 19-i alakuló ülés titkári beszámolójából.

tervezés feladatainak részletes felsorolása, a szervekbe beáramló és a szervek által szolgáltatandó adatoknak, ezek legcélszerűbb formájának kialakítása, a szervek leg-gazdaságosabb munkamódszerének kidolgozása, a munkák legfontosabb műszaki szempontjainak rögzítése, szervezeti felépítése, helyes centralizáció- decentralizáció, fegyelmi és funkcionális függőségek, szükséges létszámárnyok megállapítása, minden szervezési munkánál azt a célt tartva szem előtt, hogy az összes műszaki előkészítő szervek-munkái, adatszolgáltatásai, közvetlenül a gyártás *ügyviteli előkészítésének és a tervteljesítésnek* a leghathatósabb támogatására irányuljanak.

IV. A gyártás időrendi megtervezésével, előfeltételeinek biztosításával, irányításával és ellenőrzésével kapcsolato szervezési feladatok. Programozó, rendeléskiíró, munkaerő biztosító, anyagbiztosító, gyártóeszköz-biztosító szervek feladatainak részletes kidolgozása, kiindulási okmány, szolgáltatandó adatok, ezek formáinak megtervezése, leg-gazdaságosabb munkamódszerek kidolgozása, a munkák leghelyesebb bontása, a szükséges decentralizáció mértéke, szervezési felépítés, fegyelmi és funkcionális kapcsolatok, létszámárnyok megállapítása, legfontosabb szempontnak véve a tervteljesítés határidőinek a biztosítását.

V. Közvetlenül gyártásszervezési feladatok. A gyártó szervek tagolása a tervgazdálkodásnak leginkább megfelelő módon. Önelszámoló egységek kialakítása. Zárt ciklus értelmezése és kialakítása. Üzem és műhelyvezetéssel kapcsolatos feladatok részletes kidolgozása, a feladatok meg-osztása, feladatkörök behatárolása, kapcsolódása, leghelyesebb munkamódszerek kialakítása, az egyszemélyi vezetés megalapozásának módjai, a vezetés színvonalának az emelését célzó szervezési intézkedések, legfontosabb szempontnak véve a *tervfeladatok* feltétlen teljesítését.

VI. A keretgazdálkodás betartásával és a tervteljesítés folyamatos kiértékelésével kapcsolatos szervezési feladatok. Az üzem belüli önelszámolás kiépítése, a bérelszámolás, üzemkönyvelés, utókalkuláció feladatainak részletes kidolgozása, alapokmányok előírása a műszaki tervező osztályoktól kezdve a rendelés kiírókig, szolgáltatandó adatok, azok formájának és időrendjének megtervezése, mutatószámok kialakítása, számviteli munkák célszerű decentralizálása, munkamegosztás, kooperáció, szervezeti felépítés, fegyelmi és funkcionális kapcsolatok, legfőbb szempontnak véve a tervteljesítés *gazdaságosságának* biztosítását.

A szervezés területeinek rendszerbe foglalása után önként adódik a kérdés, hogy hogyan fogjunk hozzá a munkához, melyik területtel foglalkozunk előbb. Nyilvánvaló, hogy legcélszerűbb volna parallel foglalkozni az összes területtel ez azonban kapacitás hiányában esetleg nem keresztülvihető. Sor kerül tehát a súlypont képzésre.

A választás irányadó szempontjai kétféleképpen fogalmazhatók meg. Az egyik fogalmazás szerint azokon a területeken kell súlypontot képezni, ahol a legnagyobb a lemaradás a korszerű szervezethez. A másik fogalmazás ugyanazt jelenti, bár másképp hangzik: ott kell súlypontot képezni, ahol a szervezethez legnagyobban mértékben gátolja a tervteljesítést.

Ha kutatjuk a korszerű szervezethez lemaradt területeket, célszerű a lemaradások okaiból kiindulni. A lemaradások okai részben a tőkés gazdálkodás maradványaira, részben iparvállalataink gyors növekedésére vezethetők vissza. Hazánkban nem olyan régen váltotta fel a tőkés gazdálkodást a tervgazdálkodás, és a vállalatok szervezeti felépítése még nem követte teljes mértékben az átalakulást. Mi az, aminek át kell alakulnia, másszóval mi a különbség a tőkés és a szocialista vállalat szervezeti felépítése között?

A különbség lényege természetesen abban áll, hogy a tőkés vállalat célja a profitszerzés, a kizsákmányolás volt, a szocialista vállalat célja a szükségletek kielégítése. A tőkés vállalkozás tele volt ellentmondásokkal: társadalmi munka — egyéni kisajátítás, harc a dolgozókkal az alacsonyabb bérért, harc az eladóval az olcsóbb anyagért, harc a vevővel a magasabb árért, harc a konkurens vállalattal a piacért. A szocialista vállalatot ezzel szemben a tökéletes összhang jellemzi: társadalmi munka — társadalmi kisajátítás,

közös cél a dolgozókkal, kooperáció a nyersanyagtermelő és továbbfeldolgozó vállalatokkal, összhang a felhasználókkal, a vállalatok tökéletes együttműködése az összefüggő egészet képező egységes népgazdaságban. A kapitalista vállalatok vezetése diktatórikus, a szocialista vállalatoké a demokratikus centralizmus elvén alapszik, stb.

A lényegbe vágó különbségek ellenére a szervezeti formában vannak ill. lehetnek olyan részek, melyek változtatás nélkül átvihetők a szocialista vállalatba, hiszen tudjuk, hogy a korszerű tőkés vállalatokat általában a gyáron belüli szervezethez jellemzi. Vannak azonban olyan részek, melyek feltétlenül megváltoztatandók. Ilyenek például a következők.

A túlzottan súlyozott piacutató és értékesítő kereskedelmi osztályok.

A túlzottan centralizált, univerzális, mindennel foglalkozó tervező osztályok, a kicsire tervezett, csak műveleti sorrendet adó művelettervező osztályok, a csak stopperórával dolgozó normaosztályok, a gyenge szerszámszerkesztő osztályok; mindezek jelenlegi feladatköre, munkamódszere, hiányos dokumentációjuk, ezek formája.

Nem megfelelőek a régi sürgető rendszerű előkészítő osztályok, a gyártási okmányok formái, a túlcentralizált programozó szervek, a gyenge anyagbiztosító csoportok, a csökevényes munkaerőbiztosító csoportok, a hiányos szerszámdokumentáció.

Nem felelnek meg a szakmai felépítésű műhelyek, a műveleti utasítás nélkül folyó munka, a hiányos alsó munkaelőkészítés, az alacsony színvonalú műhelyvezetés, a hiányos keretgazdálkodás, a toldott-foldott, kuckórendszerű, levegőtlen, egészségtelen műhely-építkezés.

Nem megfelelőek a nagy fáziskéséssel dolgozó kiértékelő szervek, a gyenge utókalkuláció, az elszigetelt, túlcentralizált üzemkönyvelés, a túldecentralizált bérelszámolás, a gyenge munkaerőből összeállított minőségellenőrző osztályok.

Nem megfelelőek a rendszertelenül, terv nélkül, pillanatnyi szükség szerint dolgozó minőségellenőrző osztályok, a hasonlóan dolgozó karbantartó osztályok stb.

Az újonnan megalakult szakosztály egyik feladata, hogy a fenti természetű hiányosságokat feltárja és rámutasson a szervezés útján elérhető lehetőségekre.

Legidősebb feladat nyilván a tervteljesítés legnagyobb mértékű hiányosságainak a felszámolása. Ezek fontossági sorrendben, nagy vonalakban: egyes vállalatoknál még a tervteljesítés bizonytalansága, több helyen a tervteljesítés egyenlőtlensége, sok helyen pedig a tervteljesítés gazdaságosságának a hiánya.

Az ilyen hibák okait kell elsősorban feltárni és a szovjet tapasztalatok, a gazdaságtudományi szakirodalom, a jól működő vállalatok példái, tapasztalatcsere, alapos tanulmányok, és megfontolások alapján felszámolni. A szervezeti eltolódások felszámolása érdekében például alapos tanulmányok útján helyes bázisokat kell kidolgozni a célszerű létszámárnyok megállapításához.

Megfontolandó, hogy az előkészítő szervek, pl. művelettervezők vagy időrendi tervezők (programozók), létszámát helyese-e a fizikai dolgozók létszámára vonatkoztatni, vagy pedig a fizikai dolgozók létszámától függetlenül a profilszélesség és a gyártmányösszetettség alapján kiszámított munkatételszámra kell-e vonatkoztatni. Nyilván az utóbbi lesz a helyes és igazságos.

Vagy például megfontolandó, hogy milyen mértékig gazdaságos centralizáltan végezni az egyes előkészítő munkafeladatokat és mikor kell ezeket már decentralizálni. Melyek azok a tényezők, melyek a fenti kérdésre a választ megadnák (munkavolumen, profilszélesség, munkahelyi adottságok, egy vezetőre eső irányított létszám stb.)?

Vagy például felkutatandó, hogy melyek azok a szervek, melyek a tervgazdálkodásunk jelenlegi pillanatnyi állapotához igazodva normális mértéken túl megerősítendőek, esetleg időlegesen beállítandók (pl. anyagbiztosító szervek, inkur-renciát értékesítő szervek).

A most megalakuló szakosztálynak még sok hasonló kérdést kell felkutatnia, meglátnia, tanulmányoznia, fel-dolgoznia és lehetőleg közvetlenül felhasználható formában közreadnia.