

# Magyar HIRADÁSTECHNIKA



**II.** évfolyam

**1-2** szám



**Felelős szerkesztő:**

Lévai Pál

**Szerkesztőségi titkár:**

dr. Lukács Pál

**Szerkesztők:**

Gerő István

Izsák Miklós

Valkó Iván Péter

**Szerkesztőbizottság:**

Alkér Tibor

Balla Miklós

Barcza László

dr. Barta István

Bognár Géza

Gerő István

Honti Péter

Izsák Miklós

Koczka László

Kodolányi Gyula

Lévai Pál

dr. Lukács Pál

Sárközy Géza

Szigeti György

Szikszay Lajos

dr. Tarján Rezső

Vágó Artur

Valkó Iván Péter

Winter Ernő

|                                                                           |        |
|---------------------------------------------------------------------------|--------|
| Elektronikus műszerek az Újító Kiállításon .....                          | 1      |
| H. Sz. Valejev: Nagyfeszültségű nagyfrekvenciás steatit kondenzátorok ... | 1      |
| Horváth Gyula: Az automatikus szabályozás alapelvei .....                 | 6      |
| Bohner Endre: Elektromos gépek és készülékek trópusi védelme .....        | 17     |
| A. I. Berg: A radar népszerű ismertetése .....                            | 22     |
| Bodó Zoltán: Félvezetők .....                                             | 28     |
| Pályázati felhívások .....                                                | 5, 16  |
| Könyvismemle .....                                                        | 21, 27 |

**ТЕХНИКА СВЯЗИ**

Журнал Научного Союза Связи

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Электронные приборы на новаторской выставке .....                           | 1  |
| Х. С. Валеев: Высоковольтные высокочастотные стеатитовые конденсаторы ..... | 1  |
| Дюла Хорват: Основы автоматического регулирования .....                     | 6  |
| Эндре Бонер: Защита электрических машин и приборов на тропиках ..           | 17 |
| А. И. Берг: Радар .....                                                     | 22 |
| Золтан Бодо: Теория полупроводов .....                                      | 28 |

**TECHNIQUE DE LA TÉLÉCOMMUNICATION**

Bulletin de l'Association Scientifique pour la Télécommunication

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Innovations aux instruments de mesure électroniques. ....                    | 1  |
| Ch. S. Valejev: Condensateurs en stéatite à haute tension et haute fréquence | 1  |
| G. Horváth: Les principes de la régulation automatique.....                  | 6  |
| E. Bohner: La protection des machines et appareils électriques .....         | 17 |
| A. J. Berg: Le radar .....                                                   | 22 |
| Z. Bodó: Semi-conducteurs .....                                              | 28 |

**TELECOMMUNICATION ENGINEERING**

Periodical of the Scientific Association for Telecommunication

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| New electronic measuring apparatus .....                             | 1  |
| Ch. S. Valejev: High-tension high-frequency steatite condensers..... | 1  |
| G. Horváth: Principles of automatic control.....                     | 6  |
| E. Bohner: Tropical finish for electrical equipment.....             | 17 |
| A. I. Berg: Radar .....                                              | 22 |
| Z. Bodó: Semi-conductors .....                                       | 28 |

**NACHRICHTENTECHNIK**

Zeitschrift des Nachrichtentechnischen Wissenschaftlichen Vereines

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Neue elektronischen Messgeräte .....                                    | 1  |
| Ch. S. Valejev: Hochspannungskondensatoren aus Steatit für Hochfrequenz | 1  |
| G. Horváth: Die Grundlagen der automatischen Regelung.....              | 6  |
| E. Bohner: Tropenschutz elektrischer Maschinen und Geräte.....          | 17 |
| A. I. Berg: Radar .....                                                 | 22 |
| Z. Bodó: Halbleiter .....                                               | 28 |



## Elektronikus műszerek az Újító Kiállításon

Három, világviszonylatban is újszerű készüléket mutatott be a második Újító Kiállításon az elektronikus ipar képviselője, a Műszeripari Kutató Intézet és az Elektronikus Mérőkészülékek Gyára, melyek vállvetve dolgoznak, hogy ezt a fiatal és nagy feladatokra hivatott iparágat fellendítsék.

A bemutatott műszerek között legérdekesebb az elektromágneses elven működő »Rétegmutató«. A készülék vasanyagok védőbevonat-vastagságának mérésére szolgál, alkalmas azonban bármilyen nem ferromágnes-réteg (pl. alumíniumfólia, papíros, műanyag stb.) vastagságának lemérésére 10% pontossággal, 10 mikrontól 2 mm vastagságig.

A rétegmutató tulajdonképpen érzékelőfejének csúcsa és egy vasfelület közötti távolság változását indikálja. A készülék indikálóműszerét nullára lehet állítani egy hiteles vagy óhajtott vastagságnál és ezután a vizsgálandó réteg vastagságának eltérése közvetlenül százalékban olvasható le. A kisméretű, hordozható kivitelben előállított készülék alkalmas a gyártmányok felületi kikészítésének, vagy vastagságának folyamatos ellenőrzésére számos üzemben.

A másik ipari műszer a sztroboszkop (*kép a címdoldalon*). Ez lényegében olyan fényforrás, mely nem folyamatos, hanem tetszésszerűtlen periódusban felvillanó fényt sugároz. A kiállított készülék mp-enként 10–250 felvillanásra állítható be, egy villanás időtartama kb. 5 milliomodmásodperc.

A villanófrekvenciát hangolható multivibrátorral lehet beállítani 1% pontosságra. A fényforrás egy különleges rácsvezérlésű, nagy fényerejű ködfénylámpa, melyet egy 20 cm átmérőjű, parabolikus reflektor vesz körül. A készülék forgó géprészek fordulatszámának mérésére alkalmas, percnként 15 000-es fordulatszámig. Alkalmazásának ezenfelül beláthatatlan területe nyílik gépek káros lengéseinek, indukciós motorok »rázásának«, turbogenerátorok torziós rezgéseinek és számos más, eddig csak elméletileg megközelített problémának közvetlen szemlélet útján való tanulmányozására.

A kiállításon bemutatásra került még egy szellemes kombinált csővoltmérő, mely valószínűleg minden elektronikus laboratóriumban helyet fog kapni. A műszer egyenfeszültségű mérőhatárai 3–1000 V 30 mc/s–25 mc/s váltófeszültségre 3–300 V-ig terjednek. Bemenőimpedanciája 15 Megohm + 20 pF. Ellenállásmérésre  $10^{-1}$ -től  $10^{-9}$  Ohmig alkalmas. Műszerén közvetlen ohmokban kalibrált skála is van. A készülék váltóáramú hálózati táplálású, a hálózat 10%-os ingadozásánál a méréspontosság csak 1%-t változik, tehát minden külső stabilizálás nélkül használható. A készülék emellett kis méretű,  $27 \times 15 \times 10$  cm és súlya 4 kg. E mérőkészülék szerkesztőit is az a cél vezette, hogy szocialista iparunkat minél szélesebb alkalmazhatóságú, minél jobb minőségű, a termelést minél jobban előmozdító készülékkel lássák el.

Honti Péter

## Nagyfeszültségű nagyfrekvenciás steatit kondenzátorok

H. SZ. VALEJEV, a műszaki tudományok doktorjelöltje. (Állami Elektrokéramiás Kutatóintézet).\*

Azzal kapcsolatban, hogy a nemzetgazdaság különböző ágazataiban széles körben alkalmazzák a nagyfrekvenciás berendezéseket, a nagyfeszültségű nagyfrekvenciás kondenzátorok iránti kereslet jelentősen megnövekedett és a rájuk vonatkozó műszaki feltételek sokkal szigorúbbak lettek. A nagyfeszültségű nagyfrekvenciás kondenzátorok legnagyobb fogyasztói azok a gyárak, amelyek az elektrotermia céljaira csőgenerátorokat hoznak forgalomba.

Ezelőtt az edző-olvasztó kemencékben csillám-kondenzátorokat alkalmaztak, amelyek a magas hőfok okozta átütés következtében gyakran üzemképtelenné váltak. Ezek a kondenzátorok igen drágák és például a »faradon« típusú csillám-kondenzátoros edző-olvasztókemencék csőgenerátorokban a kondenzátorok ára az egész berendezés árának mintegy 50%-át teszi ki.

1946 vége óta a rezgőkörben »hordó«-típusú kerámiás rutilmasszából készült kondenzátorokat kezdtek alkalmazni, amelyeket először a GIEKI (Állami Elektrokéramiás Kutatóintézet) dolgozott ki. A GIEKI munkáinak eredményeit 1947 májusában az Állami Villamosszigetelési Intézet Moszkvában megtartott XXVIII-ik közgyűlésen ismertették.

Jelenleg az összes forgalomba kerülő edző-olvasztókemencéket a különböző minisztériumokhoz tartozó gyárak által forgalomba hozott »hordó«-típusú kondenzátorokkal szerelik fel. A »hordó«-típusú kondenzátorok alkalmazásának következtében a nagyfrekvenciás berendezések ára jelentősen csökkent (a kondenzátorblokk ára az egész berendezés árának mintegy 30%-a).

Annak ellenére hogy a jelenleg alkalmazott »hordó«-típusú kondenzátorok kielégítik a gyárak igényeit, a nagyfrekvenciás kemencék számára szükséges racionális kondenzátortípus kidolgozásának kérdését nem tekinthetjük befejezettnek.

\* Elektricseszto, 1949. 3. 63–67 p. kivonata. A szerző Leningrádban, az Állami Elektroszigetelési Intézet tudományos-műszaki ülészakán tartott előadása. Egyesületünk szovjet klubestjén dr. Déri Márta ismertette az előadást.



A »hordó«-típusú kondenzátorok reaktív teljesítménye és kapacitása kicsi, aminek következtében egy kondenzátorblokk elkészítéséhez mintegy 1500 kondenzátort kell felhasználni, ami erősen megnöveli a szerelési munkákat. Egyik-másik kondenzátor átütése esetén, ami elég gyakran fordul elő, ha a rezgőkör teljes üzemi feszültséggel dolgozik, az átütött kondenzátort nehéz megtalálni. Ezenkívül a kondenzátorok felületi átívelési feszültsége is kicsi.

A fentiekkel kapcsolatban 1947-ben a GIEKI hozzákezdett az intézetben kidolgozott steatit anyagok segítségével a »fazéka«-típusú nagyfeszültségű nagyfrekvenciás nagyobb reaktív teljesítményű és kapacitású kondenzátorok kidolgozásához. A munkákat a szerző végezte és pedig az elektrofizikai részben V. D. Ponomarenko, G. R. Turszkij és A. Sz. Joffe, míg a technológiai részben A. A. Vaszjutinszkaja és T. V. Remizov munkatársakkal együttesen.

A kondenzátorok szerkezetét úgy választottuk meg, hogy a kitűzött méreteknél az anyagot a legjobban ki lehessen használni, meg lehessen növelni az átívelési feszültséget, továbbá figyelembe vettük a technológiai lehetőségeket is.

Az anyag kidolgozásakor a következő alapvető követelményeket támasztottuk:

1. A steatit masszának jó öntési tulajdonságokkal kell bírnia, amelyek biztosíthatják a kitűzött alakú kondenzátorok tömeges gyártását a meglévő gyárakban. Olyan öntési módszert választottunk ki, amely nem igényel szakmunkaerőt.

2. Az anyagnak kis dielektromos veszteségekkel kell bírnia (rádiófrekvenciák esetén 20-tól 100° C-ig terjedő hőmérsékleti határokon belül  $tg\delta < 8 \cdot 10^{-4}$ )

3. Az anyagnak egyneműnek kell lennie, dielektrikumban nem lehetnek zárványok, az anyag sűrűsége és térfogatsúlya közötti különbségnek minimálisnak kell lennie. Ezek a követelmények különösen fontosak, mert ha égetés alatt kitáguló zárványok vannak jelen, akkor a dielektrikumban egyenetlenül oszlik el az elektromos tér és ezáltal koronajelenségek jönnek létre. A helyi koronajelenségeket helyi túlmelegedés kíséri, ami átütést vagy a dielektrikum megbontását (repedését) okozhatja.

4. Az anyag elektromos és mechanikus szilárdsága nagy legyen.

A steatit anyagok némely tulajdonsága. — A rendelkezésünkre álló steatit anyagok azonban nem voltak olyan tulajdonságúak, mint a jóminőségű steatitok (gyenge mechanikai szilárdság, nagy  $tg\delta$  különösen nedvesség hatására). Ezzel kapcsolatban olyan steatit anyagokat dolgoztunk ki, amelyek bonyolult alakzatú gyártmányok elkészítésére, többek között kondenzátorok gyártására alkalmasak. Túltettük magunkat azon az ezelőtt uralkodó véleményen, hogy a hazai onodszki pikkelyes szerkezetű talkumból nem lehet minőségi steatit gyártmányokat gyártani, annak ellenére, hogy az onodszki talkum tisztaságát tekintve egyike a világ legjobb talkumainak. A főleg száraz sajtolással készített, forgalomba hozott steatit gyártmányok rossz minőségét a vegyi összetétel és a technológia hiányos kidolgozásával magyarázhatjuk.

Munkánk eredményeképpen kidolgoztuk az M-7, M-8 és egyéb steatit masszákat, amelyek gyártását az ipar jelenleg már teljesen mértékben elsajátította; ezekből a legbonyolultabb alakzatú gyártmányokat készítik.

Legalaposabban az M-7-es anyagot tanulmányoztuk, amelyből a nagyfeszültségű nagyfrekvenciás kondenzátorokat akartuk gyártani és amely részben zsugorított TB—15 anyagból, nyers onodszki talkumból és báriumoxidból áll. A TB—15 (nyers onodszki talkum és báriumoxid keveréke), TK—21 (nyers talkum kevés kalciumoxiddal keverve) steatit anyagokat és az  $MgO \times SiO_2$  klineostatitot (amely minden steatit anyag kristályos része) a GIEKI-ben Sz. N. Gracsev tanulmányozta. Ezen kívül tanulmányoztuk az SzK—1 anyagot, amely az előzőleg égetéssel zsugorított TB—15 masszából áll.

Az anyagok dielektromos tulajdonságainak tanulmányozása céljából 50 mm átmérőjű és 3—5 mm vastagságú korongokból mintákat készítettünk. Elektrodákként védőgyűrűk nélküli, beégetés útján rávitt ezüst rétegek szolgáltak. A  $tg\delta$  és  $\rho_v$  mérésekor, magas hőmérsékletek esetén, a mintákat masszív ezüstözött elektrodákkal szorítottuk le és sárgaréz árnyékolóhengerbe helyeztük. Az árnyékolóhengerben levő mintákat téglés kemencében hevítettük, s a méréseket úgy növekvő, mint csökkenő hőmérsékleteknél végeztük. Fagypon alatti hőmérsékleteknél történő vizsgálatok alkalmával a mintákat folyékony levegőjű kriosztátba mártottuk.

A térfogatra vonatkoztatott szigetelési ellenállás méréséhez hidat alkalmaztunk, míg a  $tg\delta$  méréséhez Q-métert. Egyéb jellemző adatok mérésénél a GOSZT (Állami szabvány)-nak megfelelő módszereket és műszereket alkalmaztunk.

Az M—7-es anyag GOSZT-módszer szerint végzett vizsgálatainak eredményeit táblázatban foglaltuk össze. Amint ebből látjuk, az anyag dielektromos és fiziko-mechanikai tulajdonságai eléggé jók; elég magas a térfogatra vonatkoztatott porozitás.

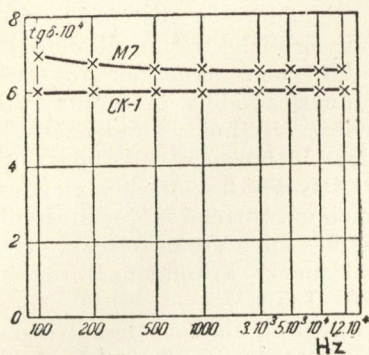
Az M-7 steatit tulajdonságai

| Karakterisztika                                      | Értékek   |           |            |
|------------------------------------------------------|-----------|-----------|------------|
|                                                      | Minimális | Maximális | Középérték |
| Dielektromos állandó $\epsilon \dots$                | 6,5       | 7,2       | 6,8        |
| $TK \times 10^6 \dots \dots \dots$                   | 90        | 120       | 105        |
| $tg\delta \times 10^4 \dots \dots \dots$             | 5         | 8         | 7          |
| $20 \pm 5$ C°-nál $\rho_v$ ohm. cm                   | $10^{13}$ | $10^{13}$ | $10^{13}$  |
| Az átütési feszültség effektív értéke, kV/mm $\dots$ | 22        | 35        | 25         |
| Térfogatsúly, g/cm <sup>3</sup> $\dots$              | 2,86      | 2,86      | 2,86       |
| Sűrűség, g/cm <sup>3</sup> $\dots \dots$             | 3,11      | 3,16      | 3,1        |
| Porozitás, % $\dots \dots \dots$                     | 5,9       | 6,7       | 6,1        |
| Lineáris hőtágulási együttható $10^{-6}/C^0 \dots$   | 6,1       | 6,4       | 6,2        |
| Hajlítási szilárdság, kg/cm <sup>2</sup>             | 1350      | 1600      | 1500       |

A steatit anyagok  $tg\delta$  változása a frekvencia függvényében az 1. ábrán, míg a  $tg\delta$  változása a hőmérséklet függvényében a 2. ábrán látható. Amint az a 2. ábrából látszik, a báriumoxidot tartalmazó M—7 és SzK—1 anyagok a negatív és a pozitív

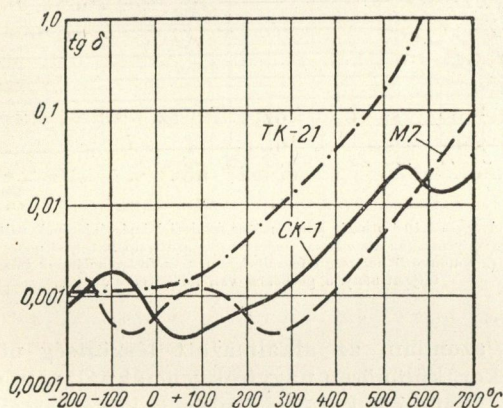


előjelű hőmérsékleteknél két maximumot mutatnak. Az SzK—1 anyag esetén a  $tg\delta$  második hőmérsékleti maximuma a magas hőmérsékletek ( $560^\circ\text{C}$ ) táján van, míg az M—7 anyag esetén aránylag alacsony hőmérsékletnél. Az alkalmazott



1. ábra: Az M—7 és SzK—1 steatitanyagok  $tg\delta$  változása  $20^\circ\text{C}$ -nál a frekvencia függvényében.

frekvencia növelésével ezek a maximumok a magasabb hőmérsékletek irányába eltolódnak, míg a maximumok abszolút értékei csökkennek. Az említett jelenségek ismétlődnek a hőmérséklet emelkedése, illetve csökkenése közben, függetlenül az ismételt egymást követő változások számától.

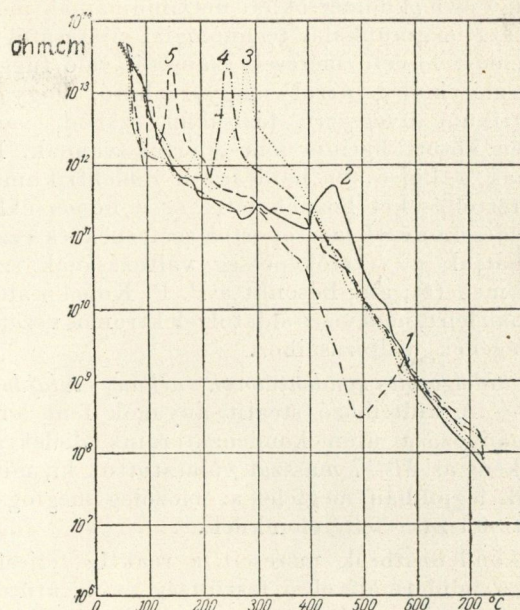


2. ábra: Az M—7, SzK—1 és TK—21 steatitanyagok  $tg\delta$  változása  $10^6\text{ Hz}$ -nél a hőmérséklet függvényében.

Báriumoxid helyett kalciumoxidot tartalmazó TK—21 anyag  $tg\delta$  változásának menete normális; egy meghatározott hőmérséklettől kezdve a  $tg\delta$  nagyjából az exponenciális törvénynek megfelelően növekszik.

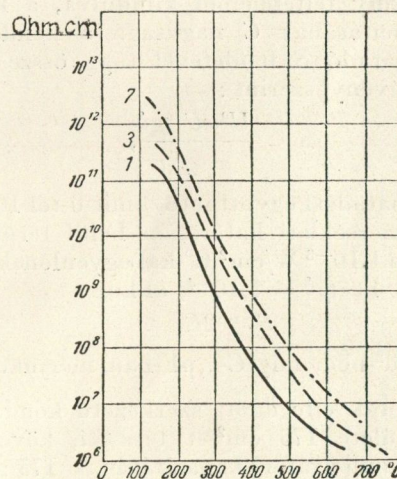
A  $tg\delta$  változás észlelt szokatlan menetével kapcsolatban méréseket végeztünk a fajlagos ellenállásra vonatkozóan is. Legrészletesebben a TB—15 masszából száraz préseléssel készült mintákat tanulmányoztuk, mert a TB—15 masszában nagymennyiségű szabad és gyengén kötött báriumoxidot tételeztünk fel. A mintákat egymás után hétszer mértük 100, 380 és 580 voltos feszültségeknél. Azért végeztünk méréseket különböző feszültségeknél, mert a nagyfeszültségű polarizációra jellemző feszültség alkalmazása után a minták ellenállása elég lassan növekedett a kitűzött hőmérsékleten (a nagyfeszültségű polarizáció tanulmányozása folyik).

A TB—15 massa mérési eredményeit a 3. ábrán közöljük; mint látjuk, az ellenállás hőmérsékleti menetében vannak maximumok, amelyek az egymásutáni (1-től 7-ig) hevítéseknel fokozatosan a kisebb hőmérsékletek irányába tolódnak el. Fordított hőmérsékleti menet esetén az ellenállás minden különösebb jelenség nélkül növekszik. Egy ugyanilyen minta 580 voltos feszültségnél való



3. ábra: A TB—15 anyag  $Q_v$  változása hőmérséklet függvényében egymásutáni melegítéseknel (a melegítések sorszáma a görbékben fel van tüntetve). A mintán levő feszültség 100V.

tanulmányozásakor maximumot csak az első hőmérsékleti ciklusnál mutatott. Azonos méréseket végeztünk az M—7 masszából száraz sajtolás és plasztikus formázás útján készült mintákon is (az



4. ábra: Az  $\text{MgO.SiO}_2$  klineostatit  $Q_v$  változása a hőmérséklet függvényében egymásutáni melegítéseknel (a melegítések sorszáma a görbékben van feltüntetve).

öntött minták sokkal egyenműebbek); a száraz sajtolással készített mintánál a maximum a második hőmérsékleti ciklus után, míg a plasztikus formázással készült mintánál csak a negyedik hőmérsékleti ciklusnál jelentkezik. A TK—21 anyagból



száraz sajtolással készült mintákon ugyanúgy, mint a klineostatit mintán, semmiféle észrevehető rendelkezést nem tapasztaltunk a  $\varrho_v$  változásában.

Az ellenállás változásának rendellenes menetét többszörös hőmérsékleti igénybevételnél néha dendritek képződése kíséri. Dendritek növekedését leggyakrabban a redukáló közegben égetett anyagoknál észlelünk.

A  $tg\delta$  és a  $\varrho_v$  hőmérsékleti maximumainak megjelenése a megmunkálás technológiai eljárásától és az egymást követő mérések számától való függősége valószínűleg azzal magyarázható, hogy a dielektrikum üvegszerű fázisában szabad, vagy gyengén kötött bárium ionsoportok vannak. Ez utóbbiak a külső tér hatására a dielektrikumon belül tértöltéseket hoznak létre és a hőmérséklet emelkedésekor ezek a csoportok szétesnek és ezzel kiválthatjuk a vezetőképesség változásának szokatlan menetét, ami hasonlít a P. P. Kobeko által korábban leírt, nem vizes oldatok elektromos vezetőképességének változásaihoz.

A kidolgozott kondenzátorok néhány tulajdonsága. — A különböző steatit anyagok fent leírt tanulmányozása után kondenzátoraink dielektrikumaként az  $M=7$  masszát választottuk ki, mint amelyik legjobban megfelel az előzőleg megfogalmazott műszaki feltételeinknek.

A kondenzátorok méreteit a reaktív teljesítmény, a felületi átívelési feszültség és az átütési feszültség megengedett nagyságaiból kiindulva, továbbá a technológiai eljárásoknak megfelelően választottuk meg. A kondenzátorok kiindulásul szolgáló üzemi feltételei a következők: az üzemi feszültség effektív értéke  $U = 10^4$  V, frekvencia  $f = 2 \cdot 10^5$  Hz, a megengedett reaktív teljesítményt a kondenzátorok megengedett túlmelegedése határozza meg. Mint megengedett túlmelegedést  $\Delta t = 50^\circ \text{C}$  értéket fogadtunk el. Ebben az esetben a hőegyensúly feltételeiből kiindulva, a kondenzátor kapacitásának  $C$  nagysága a kondenzátor hatásos hőátadó  $S$  felületével függ össze a már ismert függvény szerint:

$$S = \frac{U^2 \omega C \, tg\delta}{\sigma \cdot \Delta t},$$

ahol  $\sigma$  = hőátadási együttható, amit 0-tól  $100^\circ \text{C}$ -ig terjedő hőmérsékleti határokon belül természetes hűtés esetén  $1.10^{-3} \text{ W/cm}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ -kal egyenlőnek fogadhatunk el; ha  $tg\delta = 8,10^{-4}$ , akkor

$$S = 2C,$$

ahol  $S$ -t  $\text{cm}^2$ -ben, míg  $C$ -t  $\text{pF}$ -ban mérjük.

Az általunk elfogadott szerkezetű kondenzátor hatásos felülete  $175 \text{ cm}^2$ -et tesz ki, következésképpen a kondenzátor kapacitásának  $175 : 2 \approx 85 \text{ pF}$ -nak kell lennie.

Az elkészített kondenzátorok kapacitásméréseinek eredményei  $78$ -tól  $92 \text{ pF}$ -ig terjedő értékeket adnak,  $100$  kondenzátorra vonatkoztatott középértékben pedig  $84 \text{ pF}$ , ami megfelel a számított értéknek. A számított és a mért kapacitás értékek egybeesése arra mutat, hogy az elfogadott gyártási technológiai módszerrel eléggé pontos méreteket lehet elérni.

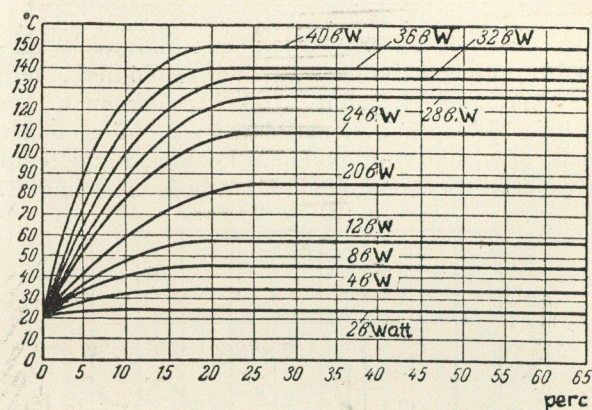
A felületi átívelési feszültség értékének közelítő értékelésére a következő empirikus képletet használtuk:

$$U_p = 74,8 \left( \frac{d}{\varepsilon} \right)^{0,44}$$

ahol  $d$  = a szigetelőréteg vastagsága  $\text{cm}$ -ben,  $\varepsilon$  = a szigetelő anyag dielektromos állandója; az általunk elfogadott méreteknél ez az érték  $40 \text{ kV}$  nagyságrendűnek adódott. A felületi átívelési feszültség emelése céljából a kondenzátor konstrukciójában szigetelő harangot alkalmaztunk.

A felületi átívelési feszültség végleges nagyságát ipari frekvenciánál történő mérés után állapítottuk meg, és pedig  $35\text{--}38 \text{ kV}$ -ban (effektív érték). Ipari frekvenciánál mérve a kondenzátorok átütési feszültsége  $100\text{--}135 \text{ kV}$ .

A kondenzátorok alacsony feszültségen  $Q$ -méter segítségével mért  $tg\delta$ -ja  $5\text{--}8 \cdot 10^{-4}$  határokon belüli értéknek adódott. A félkristályos ipari anyag  $tg\delta$



5. ábra: A  $tg\delta = 8,10^{-4}$  steatit kondenzátor felületi hőmérsékletének változása az idő függvényében (az abszcissa tengelyen) és a disszipált teljesítmény függvényében (a különböző nagyságú feszültségeknek és frekvenciáknak megfelelő teljesítmény a görbékben van feltüntetve).

értéke azonban, az alkalmazott feszültség növekedésekor, különösen nagyfrekvenciáknál, nem maradhat állandó a koronajelenségek következtében.

Ha betartjuk a kondenzátorgyártás technológiai utasításait, a zárványok kiküszöbölése nem okoz nehézséget; ami a zárt, egyenletesen elosztott parányi zárványokat illeti, úgy ezeket gyakorlatilag valószínűleg nehéz eltávolítani. Mindazonáltal a gondosan kidolgozott technológiai folyamat és az égetés menete jelentősen csökkentheti a zárt porozitás százalékát és ezáltal csökkentheti a  $tg\delta$  függőségét az alkalmazott feszültségtől.

A kondenzátorok melegezése. — A kondenzátorok hőmérsékleti eredményeit az 5. ábrán tüntettük fel. Mint ebből látható, egy kondenzátor esetén a hőegyensúly beállításának ideje mintegy  $25$  perc. Ha csoportba szereljük a kondenzátorokat, a hőegyensúly beállításának időtartama eléri az  $1,5$  órát.

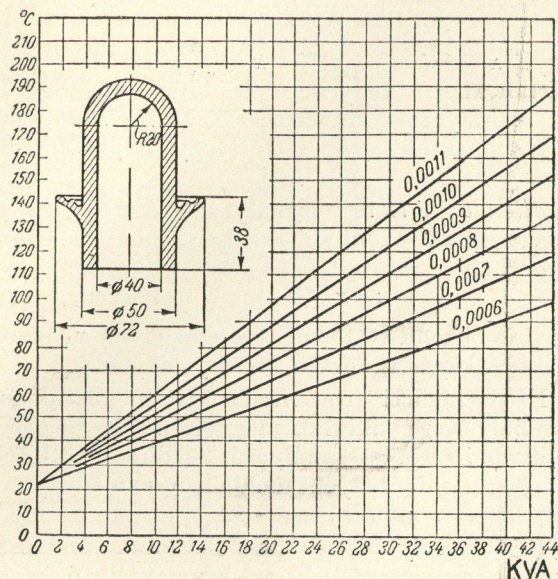
A 6. ábrán vannak feltüntetve a különböző  $tg\delta$  értékű kondenzátorok hőmérsékleteinek megállapodott értékei a reaktív teljesítmény nagyságától függően.

Megjegyezzük, hogy a MEP (Villamosságipari Minisztérium) egyik üzemében gyártott »fazékalakú« kondenzátorok kapacitása  $85\text{--}100 \text{ pF}$  és



reaktív teljesítményük 10—12 kVA 50—70° C túlmelegedésnél.

Számos mérés bebizonyította, hogy a kondenzátorok hőmérséklete és felmelegedési időtartama nem függ a kondenzátorok elhelyezésétől, vagy pedig ezek a függőségek olyan kicsinyek, hogy kísérleteinkben nem tudtuk őket felfedezni.

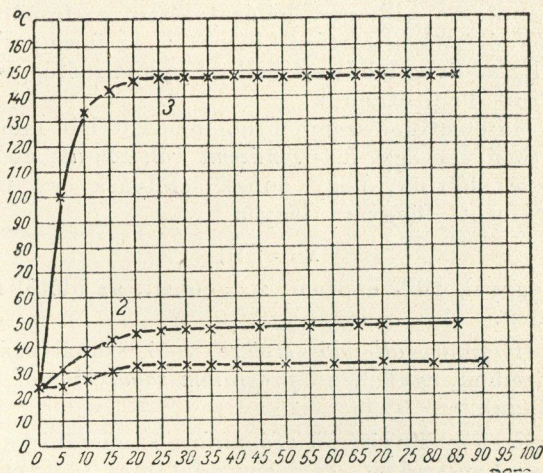


6. ábra: A  $85 + 5 \text{ pF}$  kapacitású, különböző  $\text{tg} \delta$  értékkel bíró (a grafikonon jelölve) kondenzátor (a vázlaton a méretek mm-ben értendők) megállapodott hőmérsékletének változása a reaktív teljesítmény függvényében.

Végeztünk továbbá kondenzátor-melegedési kísérleteket mesterséges hűtésnél. A mesterséges hűtést először ventilátor segítségével hoztuk létre, miközben a kondenzátort érő levegőáram sebessége 5—6 m/sec határokon belül ingadozott. A 7. ábrán 24 és 40,7 kVA reaktív teljesítménynél mért kondenzátormelegedési grafikonok láthatók. Összehasonlítás céljából ugyancsak a 7. ábrán bemutatjuk ugyanennek a kondenzátornak természetes

hűtésnél mért melegedési grafikonját 40 kVA reaktív teljesítménynél. Mint látható, a léghűtés harmadrészére csökkenti a kondenzátor túlmelegedését.

Miután a mesterséges hűtés alkalmazása lehetővé teszi, hogy a kondenzátorok reaktív teljesítményét és kapacitását jelentősen növeljük anélkül, hogy méretváltozásokat eszközölnénk, továbbá csökkenti a gyártási költségeket, 1948-ban új típusú,  $400 \pm 40 \text{ pF}$  kapacitású, 25 kV-ig terjedő átviteli feszültségű és legalább 50 kV (effektív érték) át-



7. ábra: A  $\text{tg} \delta = 10^{-3}$  kondenzátor hőmérsékletének változása az idő függvényében; 1 = 24 kVA reaktív teljesítmény, léghűtés ventilátorral; 2 = 40,7 kVA, ventilátoros hűtés; 3 = 40,7 kVA, természetes hűtés.

ütési feszültségű kondenzátorokat dolgoztunk ki és kis sorozatban forgalomba hoztuk. Kidolgoztunk továbbá olaj—víz-hűtéses, 4000 és 20 000 pF kapacitású és 600—3000 kVA reaktív teljesítményű kondenzátorblokkokat. Üzem közben a blokk egyetlen kondenzátorja sem vált üzemképtelenné; az edző-olvasztókemencék csőgenerátorának hosszas üzeme alatt sem haladta meg a kondenzátorok túlmelegedési hőmérséklete a 34 C°-t.

## PÁLYÁZATI FELHÍVÁS

A Magyar Tudományos Akadémia, az Országos Találmányi Hivatal, a Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetsége és az Anyagtakarékossági Gazdasági Iroda pályázatot hirdet mű és helyettesítő anyagoknak új, — eddig nem ismert és gyakorlatba nem vett — minél szélesebb körben való alkalmazására.

A pályamunkák feladata az, hogy:

1. külföldi származású nyersanyagoknak, nevezetesen: ötvöző anyagok, színes fémek, nemesacélanyagok, grafit-elektroda, fa stb. műanyaggal, vagy egyéb hazai anyagokkal való pótlására mutassanak rá.

2. belföldi származású drágább anyagoknak, olcsóbb anyagokkal való helyettesítését oldják meg.

A pályázatok vonatkozhatnak egyes nyersanyagokra, ipari segédanyagokra, gépekre, géprészekre, szerszámokra, használati tárgyakra stb.

Ésszerű felhasználási és alkalmazási ötletek pusztán felvetésével is lehet pályázni, de általában szükséges a javaslat műszaki indokait, kiviteli módját és gazdaságossági jelentőségét is közölni.

A pályázat jelígis, a pályázó nevét és címét zárt borítékban, »Anyagtakarékossági Pályázat« felirattal ellátva kell

benyújtani az Országos Találmányi Hivatalhoz. (Budapest, V., Nádor-u. 7. sz.)

A pályamunkák benyújtási határideje 1951. március 15.

A pályázati díjak a következők:

|    |          |           |
|----|----------|-----------|
| 1  | I. díj á | 10 000 Ft |
| 2  | II. « á  | 5 000 Ft  |
| 10 | III. « á | 3 000 Ft  |

A pályázatok bírálóbizottság bírálja el, melyben a Magyar Tudományos Akadémia illetékes szakosztályai, az Á. G. I., a Találmányi Hivatal, az M. T. E. SZ., az illető iparági kutató intézet és az illető iparági szakszervezet 1—1 taggal vesz részt.

A pályázat eredményét 1951. április 30-ig a nyertesekkel levélben, egyébként pedig az Újítók lapjában közli a bíráló bizottság.

A pályázat kihirdetésekor újtásként vagy találmányként már benyújtott javaslatot pályamunkaként beküldeni nem lehet. Amennyiben azonban valamelyik pályázat megvalósításra kerülne, a pályázót a találmányi, illetve újtási jogok a pályadíjtól függetlenül megilletik, de a bizottság döntése nem terjed ki a találmányi, illetve újtási jelleg megállapítására.



# Az automatikus szabályozás alapelvei<sup>1</sup>

HORVÁTH GYULA

## Bevezetés.

Az iparban gyakran van szükségünk valamely, az ipari folyamatra nézve fontos fizikai mennyiség állandó értéken tartására, vagy előírt időfüggvény szerint való lefolyásának biztosítására. Így pl. a villamos hálózatokban a feszültség állandó értéken tartása kívánatos, az üvegiparban pedig az üveg lehűlését kell megadott időfüggvény szerint biztosítanunk.

Matematikai szempontból nézve tehát minden esetben van egy ú. n. »üzemi változó«-nk, melyre nézve előírjuk, hogy annak lefolyása egy meghatározott függvény legyen:

$$x = f(t), \quad (1)$$

a leggyakoribb esetben,  $x = \text{const.}$ , az időtől független.

Ilyenkor *állandó értékre* való szabályozásról beszélünk, egyébként *programmszabályozással* van dolgunk.

Ezen mennyiség a szóbanforgó műszaki berendezés konstrukciós és üzemi adatainak függvénye:

$$x = f_1(A, B, \dots a, \beta, \gamma, \dots a, b, c) \quad (2)$$

ahol  $A, B, \dots$  a berendezés konstrukciója által rögzített adatok, ill. tényezők,  $a, \beta, \gamma \dots$  a berendezés olyan adatai, melyek üzem közben is változtathatók (pl. egy változtatható ellenállás értéke), míg végül  $a, b, \dots$  üzemi adatok, melyek részben a környezet hatása, részben az üzem természetéből kifolyólag, az üzemvitel szempontjából gyakorlatilag befolyásolhatatlanul változnak. Ilyen lehet pl. a környezet hőmérséklete, a légkör állapota, vagy a villamos elosztóhálózatra kapcsolt terhelés. Utóbbiakat *szabad változóknak* nevezzük.

A szabályozás feladata most már az, hogy az  $a, \beta, \gamma$  mennyiségeket úgy változtassuk, hogy  $x$  az előírt függvény szerint változzék. Ennek biztosítására a  $a, \beta, \gamma$  mennyiségeknek az ú. n. *vezérelt változóknak* olyan időfüggvényeknek kell lenniük, melyek az előre ismeretlen  $a, b \dots$  függvényekkel együtt a (2) alatt felírt függvénykapcsolaton keresztül az

$$f(t) = f_1(A, B \dots a, \beta, \gamma \dots a, b, \dots) \quad (3)$$

egyenlet teljesülését eredményezik.

Mivel az  $a, b \dots$  függvények előre ismeretlenek, az  $a, \beta \dots$  mennyiségek változtatása csak menetközben, az  $a, b, \dots$  változásának bekövetkezése után lehetséges, miközben  $x$  értéke már változást szenvedett.

Ezért az (1) alatti előírás nem teljesíthető, hanem gyakorlatilag a szabályozás csak úgy valósítható meg, hogy egy alkalmasan választott  $T$  időtartamra nézve a

$$D = \int_0^T [x - f(t)]^2 dt \quad \text{mennyiség, (4)}$$

vagyis  $x$  szórása az előírt  $x = f(t)$  értékhez képest előírtan kicsiny legyen. A  $T$  időtartam célszerűen egy szabályozási művelethez szükséges idő, vagy programmszabályozás esetén egy folyamat ideje lehet.

*Állandó értékre* szabályozás esetén sokszor megelégszünk azonban azzal is, hogy stacionér állapotban

$$x - x_0 \leq \varepsilon \quad \text{legyen, (5)}$$

vagyis az üzemi változó eltérése az előírt  $x_0$  állandó értékhez képest előírtan kicsiny legyen.

Ezen elméleti megfontolások után nézzük meg a szabályozás gyakorlati megvalósítását, mégpedig az állandó értékre szabályozás esetére szorítkozva. A programmszabályozás ebből ugyanis egyszerű kiegészítéssel adódik.

*Kézi szabályozás* esetén szükségünk van először egy mérőműszerre, mely az üzemi változó értékét jelzi, másodsor egy kézikerekre vagy egyéb szerkezetre, mellyel a vezérelt változókat változtatni tudjuk. (1. ábra). Általában elegendő, ha az  $a, \beta \dots$  mennyiségek közül csak egyet tudunk oly határok között változtatni, hogy ezzel az  $a, b, \dots$  mennyiségek várható változásait kompenzálni tudjuk. Matematikailag az

$$f_1(A, B \dots a - \text{ext}, \beta_0, \gamma_0 a + \text{ext}, b + \text{ext}, \dots) = f_1(A, B, \dots a + \text{ext}, \beta_0, \gamma_0, \dots a - \text{ext}, b - \text{ext}) \quad (6)$$

egyenlet teljesítésére van szükség, ahol  $\beta_0, \gamma_0$  ezen változók előre beállított és rögzített értékei, míg  $a - \text{ext}$  index ama szélső értéket jelenti, melyre nézve a rögzített többi változó mellett az  $f_1(\dots)$  függvény legkisebb, ill.  $+ \text{ext}$  index esetén legnagyobb értéket veszi fel.  $a$  szélső értékeit tehát úgy kell választanunk, hogy a (6) teljesíthető legyen.

## Kézi szabályozás.

Ez esetben a működés a következő fázisokra bontható:

- a) mérés és a műszer megfigyelése,
- b) a mért adat összehasonlítása az előírt értékkel (pl. a műszerskálára rajzolt piros vonal segítségével),
- c) a szükséges működés meghatározása.
- d) a kézikerek működtetése,
- e) a szabályozás eredményének figyelemmel kísérése, vagyis az a)–d) működések ismétlése.

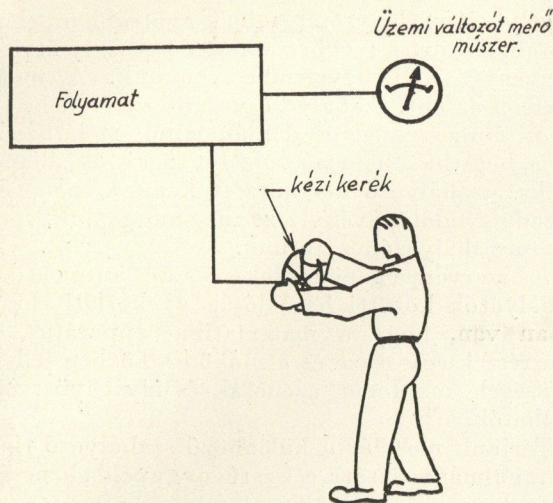
Ezekről a következők jegyezhetők meg:

ad a) A mérés körülményekhez alkalmazkodó mérési módszerrel és eszközzel történik,

ad b) az összehasonlítás eredménye az eltérés, vagy hiba, mely a további működést kiváltja.  
 $e = x - x_0 = f_2(t),$

<sup>1</sup> Egyesületünk ipari automatizálási munkabizottságának előadássorozataiból.





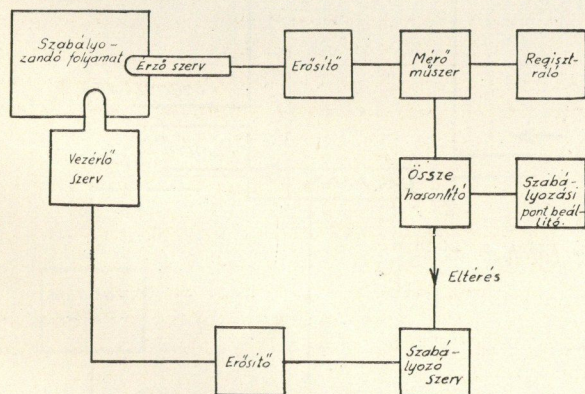
1. ábra. Kézi szabályozás.

ad c)—d) A kezelő az eltérés alapján megállapítja, hogy a kézikereket milyen irányban, milyen mértékben és sebességgel kell elállítania. Ha ügyes, az eltérés változása alapján átmeneti túlszabályozást is végez,

ad e) a fenti műveleteket ismételni kell addig, míg az eltérés zérussá nem válik.

### Automatikus szabályozás.

Automatikus szabályozás esetén a tennivalók ugyanazok, mint a kézi szabályozás esetén, de most a kezelő helyett gép működik. Az automatikus szabályozó tehát ugyanazon részekből áll, mint a kézi szabályozó, kiegészítve egy különbségmegállapító szervvel és egy irányító szervvel, melyek a kezelőt helyettesítik és amelyek együtt a szűkebb értelemben vett szabályozót képezik. A 2. ábrán



2. ábra. Automatikus szabályozó vázlata

feltüntetett részeket kiegészítettem még a sokszor előforduló erősítő, valamint regisztráló műszerrel és a szabályozási pont ( $x_0$ ) beállítójával.

Az ábra szerint a szabályozandó folyamattal közvetlen kapcsolatban van az **érzőszerv**, mely az üzemi változó értékét mérésre alkalmas jellel alakítja át. Ezt követi, ha szükséges, egy **erősítő**,

mely esetleg a jel további átalakítását végzi. Az erősítőhöz kapcsolt műszer és regisztráló műszer ellenőrzés céljait szolgálja. Az erősítő kimenő jele az **összehasonlítóba** kerül, mely azt az előírt értékkel hasonlítja össze. Gyakran kívánatos, hogy az előírt érték bizonyos határok között változtatható legyen, ekkor az összehasonlító által felhasznált, előírtérték jelet kézzel beállíthatóvá tesszük. Feltétlen szükséges ez programmszabályozás esetén, amikor szabályozót változtatlanul alkalmazhatjuk, csak az előírtérték beállítót kell a megadott  $f(t)$  függvény szerint mozgatnunk.

Az összehasonlító egy különbségi jelet szolgáltat a **szabályozó** felé, mely ennek alapján megállapítja a kimenő jelet. Ha ennek energiája nem elegendő a végső **vezérlő szerv** működtetésére, akkor az egy erősítőn megy át, mely a jelet esetleg át is alakítja.

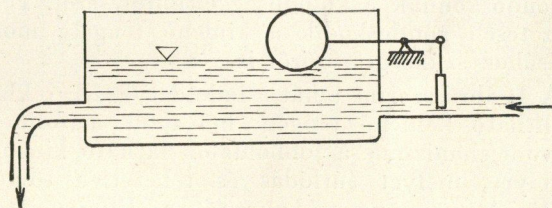
Az itt felsorolt részlegek csak nagyobb szabályozó berendezéseknél különböztethetők meg így élesen. Egyszerű berendezéseknél ezek összevonva találhatók, de a lényeges elemek, ú. m.

**érzőszerv,**  
**szabályozó,**  
**vezérlőszerv.**

illetve az ezeknek megfelelő működések a leg-egyszerűbb szabályozó berendezésnél is felismerhetők.

Pl. a 19. ábra szerinti hőmérséklet-szabályozásnál az érzőszerv az ellenálláshőmérő. Ennek ellenállásváltozása az érzékeny Wheatstone-híd galvanométer ágában jelentkezik. A különbség megállapítását a híd végzi, majd a kontaktgalvanométer indikációját a motor felerősítve juttatja a gáz-szelepre, mely a vezérlőszerv szerepét tölti be.

Viszont egy egyszerű vízszintszabályozónál érzőszervül az uszótők szolgál, az erősítés az áttétel



3. ábra. Vízszint szabályozás.

hatására történik. Az előírt érték beállítása a rudazat hosszának változtatásával intézhető el, az összehasonlító és szabályozó működés pedig a berendezés természetében benne van, külön szerve nincs is. Vezérlésre közönséges szelep v. tolózár szolgál. 3. ábra.

Matematikai szempontból a 2. ábrán feltüntetett részlegek önállóaknak tekinthetők, melyek mindegyikét egy átviteli függvény<sup>2</sup> jellemez. Ez összefüggést állapít meg a bemenő és kimenő jel között.

Az összehasonlító elem átviteli függvénye rendszerint egy különbségi egyenlet:

$$e = x - x_0 \quad (7)$$

<sup>2</sup> Nem azonos az átviteltechnikában használatos »átviteli függvény«-nyel, mert itt a bemenő jel frekvenciájától függetlenül, a bemenő oldali jel és a kimenő oldali jel közötti függvénykapcsolatról van szó.



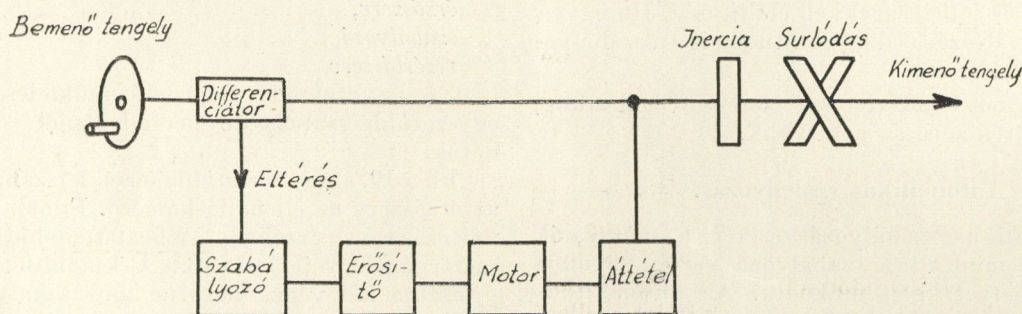
míg a szabályozandó folyamat egyenlete a folyamat fizikai természetéből kifolyóan sokszor kellemetlen függvény, melyet (3) alatt írtunk fel. A szabályozó átviteli függvényét úgy választjuk meg, hogy a szabályozó pontosság, stabilitás és gyorsaság szempontjából az adott helyzetben a követelményeknek megfeleljen. Ehhez a szabályozandó folyamat átviteli függvényét kell figyelembe venni, de ha az erősítők, vagy az érző és végrehajtó szervek átviteli függvénye nem lineáris, úgy ezek torzító hatásával is számolnunk kell a szabályozó átviteli függvényének megválasztásánál.

Az egyes szabályozó típusokat az átviteli függvény jellege szerint osztályozzuk.

Mielőtt ezek részletes tárgyalásához kezdenénk, nézzük meg a szabályozók és szervomechanizmusok közötti hasonlóság kérdését.

#### Szervomechanizmusok.

Ezek olyan átvivő szerkezetek, melyek egy rendszerint kézzel állítható bemenő tengely állását egy kimenő tengelyre viszik át úgy, hogy auto-



4. ábra. Szervomechanizmus vázlata.

matikusan ellenőrzik a két tengely relatív helyzetét és gondoskodnak a különbség eltüntetéséről. Természetesen gondoskodik a kimenő tengely mozgathatóságához szükséges erőről is.

A 4. ábra szerint tehát a baloldali kézikerékkel beállítható bemenő tengely helyzetét másolja a szervomechanizmus a jobboldalon látható kimenő tengelyre, melyet súrlódás és tehetetlen tömeg terhel. A két tengely helyzetét a differenciátor hasonlítja össze, mely a különbségi jelet egy szabályozónak továbbítja, mely az eltérés alapján meghatározza a szükséges működést és rendszerint egy erősítőn keresztül vezérli a motort, mely a kimenő tengely mozgathatóságához szükséges energiát szolgáltatja. A motor megfelelő áttételen keresztül hajtja a kimenő tengelyt.

Ezekután a hasonlóság a szervomechanizmusok és az automatikus szabályozók között már szembe-tűnő.

A szervó bemenő tengelye megfelel a szabályozó előírt érték beállítójának, kimenő tengelyének helyzete pedig az üzemi változó értékének. Az üzemi változó mérésének a kimenő tengely helyzetének megállapítása felel meg, mely a differenciátorban közvetlenül történik. A szabályozó szerv feladata azonos az automatikus szabályozó szabályozószervének feladatával. Átviteli függvényét úgy választjuk meg, hogy a kimenő

tengely előírt helyzetét minél gyorsabban elérje és stabilan tartsa; ehhez a kimenő tengely átviteli függvényét kell figyelembe vennünk. A motor megfelel az aut. szabályozó vezérlő szervének.

Az ábra szemlélete alapján mindjárt láthatjuk azt is, hogy ha a bemenő tengelyt rögzítjük, állandó értékre szabályozó berendezést kapunk, ha pedig megadott időfüggvény szerint mozgatjuk, programszabályozóhoz jutunk.

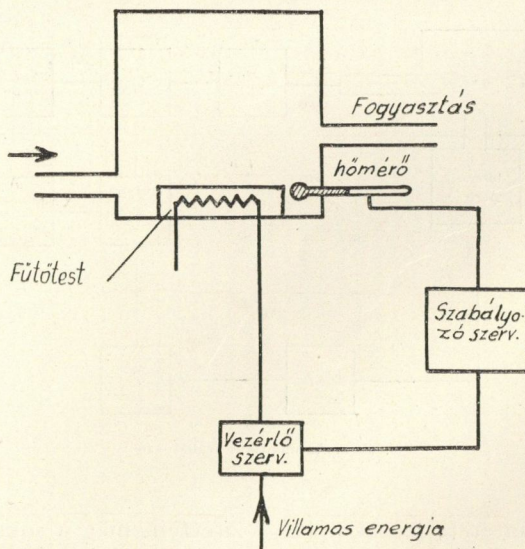
A szervomechanizmusok és az automatikus szabályozók közötti hasonlóság gyakorlati előnye abban van, hogy a matematikai apparátus, az alkatrészek egy része és a működés közben fellépő jelenségek majdnem azonosak és így együtt tárgyalhatók.

Térjünk most át a különböző szabályozó típusok tanulmányozására, célszerűen egy példa kapcsán.

#### Kétállású szabályozók.

Nézzünk meg egy hőmérsékletszabályozót, mely egy melegvíztároló hőmérsékletét van hivatva állandó értéken tartani (5. ábra).

Legegyszerűbb szabályozást akkor kapunk, ha egy meghatározott minimális hőmérséklet elérésekor a fűtést bekapcsoljuk, majd egy meghatározott

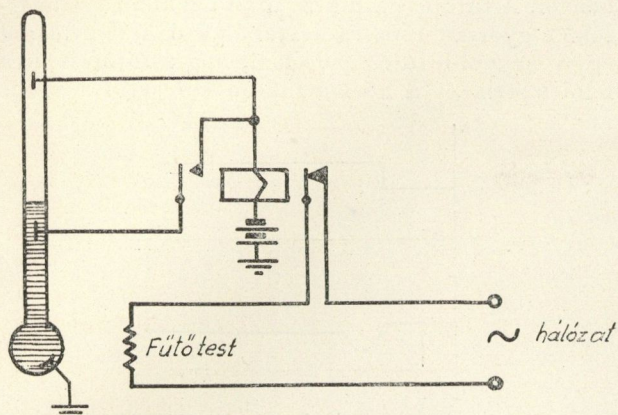


5. ábra. Vízhőmérséklet szabályozás.

maximális hőmérséklet elérésekor kikapcsoljuk. Ez az ún. kétállású (ki-be) rendszerű szabályozás. Ennek megvalósítása pl. egy kontakt-hőmérőve



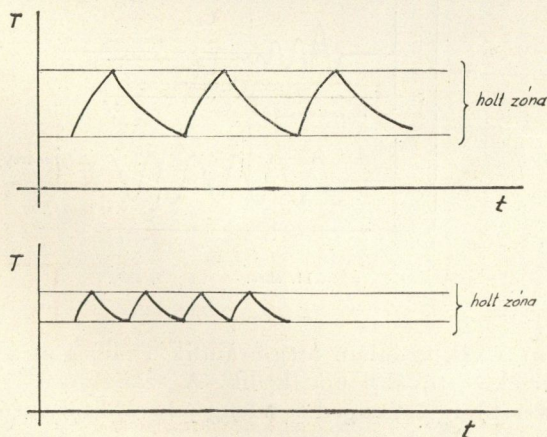
történhet, melynek higanyszála bizonyos hőmérséklet elérésekor meghuzatja a segédjelfogót, amely a fűtést kikapcsolja. A megengedett minimális hőmérséklet eléréséig a jelfogó tart, majd ezen hőfok alatt elenged és a fűtést újra zárja (6. ábra).



6. ábra. Kontakt hőmérő.

Az ilyen szabályozó nem képes a hőmérsékletet állandó értéken tartani, hanem csak megadott határok között. Egyszerűbb esetekben ez elegendő is. A szabályozó a maximális és minimális hőmérséklet közötti hőmérsékleteket nem érzékeli. Ezt a szakaszt *holt zónának* nevezzük, mert a szabályozó ezen belül érzéketlen. Nyilván a szabályozó annál pontosabban szabályoz, minél szűkebb a holt zónája. A holt zóna túlságos szűkítése azonban nem célszerű, mert ez a kapcsoló gyakoribb működését és így elhasználódását vonja maga után. A 7. ábrában látható, hogy azonos feltételek mellett a szűkebb holt zónával a szabályozó működési periódusa rövidebb. Ezért a kétállású szabályozó nem alkalmazható már ott, ahol a körülményekből kifolyólag gyakori működés keletkezik, pl. a melegváltatóból való huzamos nagy vízfogyasztás esetén.

A kétállású szabályozó működésén javítani tudunk, ha nem az egész fűtőtéljesítményt, hanem annak csak egy részét kapcsoljuk, vagyis a szabá-



7. ábra.

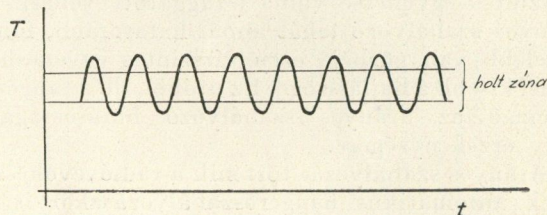
lyozótól független *alapfűtést* adunk. Ekkor a szabályozási periódusok meghosszabbodnak. Ennek előfeltétele viszont, hogy a melegváltatóból való

hőelvonás természetes hűlés és vízelvétel útján ne legyen kevesebb, mint az alapfűtés teljesítménye.

Másik nehézség állhat elő akkor, ha a melegváltató elrendezése folytán a tehetetlenséget is figyelembe kell venni. A víz egész tömegének a hőmérséklete ugyanis nem állandó. A fűtőtest körül a legmelegebb és a termoszfionos áramlás vonala mentén csökkenő. Melegedés alatt a hőmérő körül a víz hidegebb, mint a fűtőtest közelében. A hőmérő viszont akkor kapcsol ki, amikor mellette a víz hőmérséklet a max. határt elérte. Ekkor a fűtés kikapcsolódik ugyan, de a hőmérséklet a víztömegben belül kiegyenlítődik és magasabb lesz, mint a hőmérő által érzékelt max. hőmérséklet.

Ugyanez történik az alsó hőmérsékletkhatár elérésekor is. A fűtés bekapcsolása után időre van szükség a fűtőtest bemelegedésére és a konvekciós áramlás megindulására, addig a víz tovább hűl (8. ábra).

Ennek eredményeképpen a víz hőmérséklete túllépi a holtzóna határait. Ezen a holtzóna szűkítésével már nem lehet segíteni, csak a min. és max. fűtőtéljesítmény közötti különbség csökkentésével. Komoly megoldást azonban csak egy tökéletesebb szabályozó hozhat.

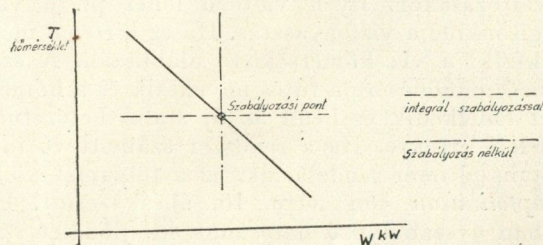


8. ábra.

### Arányos szabályozás.

Tökéletesebb szabályozást kapunk, ha az üzemi változót nem lépcsősen v. adagokban, hanem *folytonosan* tudjuk vezérelni. A kétállású szabályozó csak két lehetséges teljesítményértéket tud beállítani. Nyilvánvaló, ha a fenti példánkban a fűtőtéljesítményt folytonosan tudjuk változtatni, a szabályozás tökéletesebb lesz.

A folytonosan működő szabályozók legegyszerűbb típusa az *arányos szabályozó*, melynek átviteli függvénye lineáris. Eszerint a vezérlőszerv állása arányos az eltéréssel és ezen keresztül az üzemi változóval, vagyis közöttük rögzített lineáris függvénykapcsolat van. A viszonyokat a 9. ábra



9. ábra. Arányos szabályozás.

alapján tanulmányozhatjuk, a vízmelegítő példájával kapcsolatban. Ha a beömlő víz hőmérséklete és a vízfogyasztás ismert állandó értékek, kiszá-



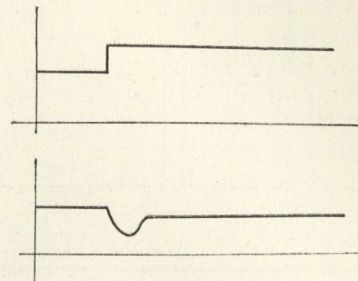
mítható, hogy a kiömlő víz előírt hőmérsékletének betartásához mekkora fűtőteltjesítmény szükséges. Ezt a pontot az ábrán vastag ponttal jelöltük. Ha most ezt a fűtőteltjesítményt állítjuk be és szabályozót nem alkalmazunk, a betáplált teljesítmény a hőmérséklettől független és ha az átfolyó vízmennyiség, vagy a beömlő víz hőmérséklete megváltozik, az új helyzetnek megfelelő hőmérséklet fog beállni (eredményvonal).

Arányos szabályozás alkalmazása esetén a szabályozó a kihúzott vonallal jelzett összefüggést teremti meg a hőmérséklet és a fűtőteltjesítmény között. Ennek megfelelően, ha a berendezés külső tényezői megváltoznak, a rendszer állapota e vonal mentén fog változni. Így a vízfogyasztás emelése után a hőmérséklet csökken, ennek megfelelően a szabályozó nagyobb fűtőteltjesítményt állít be, mely pótolja a nagyobb vízfogyasztással elvitt hőt. Teljesen pótolni azonban nem tudja, mert a görbe szerint ahhoz, hogy a melegítő tartósan nagyobb teljesítményt kapjon, tartósan alacsonyabb hőmérséklet szükséges. A hőmérséklet tehát ez esetben is változik, de sokkal szűkebb határok között, mint szabályozó nélkül. Nyilvánvalóan, ha a szabályozó tehát tökéletes lenne, a szabályozási görbe vízszintes egyenessé válna (szaggatott vonal). Az arányos szabályozó tehát annál hatásosabb, minél közelebb van görbéje ezen vízszintes egyeneshez, minél kisebb a hajlásszöge. Ez utóbbi, ill. a tangense jellemző az arányos szabályozó hatásosságára, vagy érzékenységre.

Arányos szabályozás történik a rádióvevőkészülékek automatikus hangerőszabályozásakor is. A szabályozócsövek exponenciális karakterisztikája éppen abból a követelményből adódik, hogy arányos szabályozást akarunk létrehozni. A rádió automatikus hangerőszabályozója kapcsán közvetlenül látjuk az arányos szabályozás hatását: a széles határok között változó bejövő jelet szűkebb határok között változó kimenő jellé alakítja át. Az arányos szabályozás nagy előnye egyszerűségén kívül, *stabilitása*. Már az elején láttuk, hogy a szabályozóra nézve a szabályozási görbe bármely pontja stabilis helyzet. Ezért a szabályozó minden állásában stabilis egyensúlyban van és hirtelen terhelésváltozásnál az átmenet egyik stabil helyzetből a másikba erősen csillapítva történik.

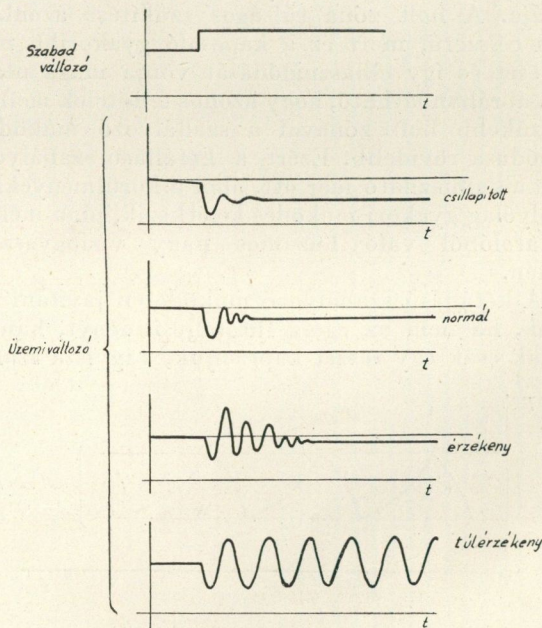
Szabályozók *stabilitásának* vizsgálatakor általában megnézzük a szabályozó viselkedését valamely külső  $a, b \dots$  változó hirtelen, ugrásszerű megváltozásakor. Ilyen változó lehet pl. a vízmelegítőnkénél a vízfogyasztás. Ha ez hirtelen megnövekszik, a víz hőmérséklete alábbszáll. A szabályozó működésére a fűtés növekszik és a hőmérséklet emelkedik és beáll az új stabil helyzetnek megfelelő értékre. Ha a rendszer számottevő időkonstanssal nem rendelkezik, ez a folyamat közel *aszimptotikusan* jön létre, 10. ábra szerint. Ha azonban a szabályozó hatásának kifejlődését számottevő időkonstans gátolja, a stabilizálódási folyamatot *lengések kísérik*, melyek bizonyos határon túl már nem is csillapodnak. Így pl. ha a vízmelegítőnkénél a hőáramlás útjában jelentős hőellenállás van és a fűtőtest hőkapacitása is jelentős, akkor a fűtőtest hőmérsékletének lényegesen na-

gyobbnak kell lennie ahhoz, hogy hőátadás létrejöhessen. Ennélfogva hirtelen fogyasztásnövekedésnél a hőmérséklet csak lassan esik, mert a fűtőtest hőkapacitása egy darabig szolgáltatja a szükséges energiát. Ezért a szabályozó is csak kevés pótfűtést adagol. A fűtőtest kihűlése után azonban a hőmérséklet gyorsan esik és a szabályozó hiába adagol egyre nagyobb fűtést, idő kell, míg a fűtőtest újra felmelegszik és a hőellenálláson keresztül a víz is



10. ábra.

melegedni kezd. Mivel most a hőmérséklet az új stationér állapot alatt, a fűtőteltjesítmény pedig felette van, a rendszer melegedik. A fűtőteltjesítménynek tehát csökkenie kell még a stationér állapot eléréséhez. Ez azonban csak akkor következik be, ha a víz már a hőmérő körül is felmelegedett, mire a szabályozó a fűtőteltjesítményt csökkentti. A nagykapacitású fűtőtestből, mely lényegesen melegebb,



11. ábra.

mint a víz, azonban még áramlik a meleg és a hőmérséklet tovább emelkedik. A szabályozó egyre kevesebb fűtést enged és a lengés továbbfolytatódik (11. ábra).

Hasonló hatása van a szabályozó érzékenységének is. Minél laposabb a szabályozónak a 9. ábra szerinti karakterisztikája, vagyis minél kisebb hőmérsékletváltozásra minél nagyobb fűtőteltjesítmény változással felel, annál kisebb időkonstans



mellett léphet fel lengés. Ezért látjuk a 11. ábrán, hogy a növekvő érzékenységnél az új stabil hőmérséklet közelebb kerül ugyan az előírt értékhez, de az új helyzet csak több periódus után érhető el. Összefoglalva tehát mondhatjuk, hogy a szabályozó érzékenysége és stabilitása fordított viszonyban vannak egymással.

### Integrál szabályozás.

Az arányos szabályozás azon hátrányát, hogy az üzemi változó eredeti értékét nem állítja helyre, kézi utánállítással kompenzálhatjuk. Ez az előírt érték beállítójával történhet. Ilyenkor a szabályozási görbe önmagával párhuzamosan eltolódik. Ez a módszer persze akkor célszerű, ha csak bizonyos határokon túli eltéréseket állítunk utána és ezek nem gyakran fordulnak elő. Ezt a műveletet gépi úton is végezhetjük az u. n. *integrál* szabályozással. Más néven *lebegő* vagy *izodrom* szabályozásnak is nevezik.

Felmerül tehát a kérdés, hogyan lehet olyan szabályozót szerkeszteni, mely az üzemi változó értékét elméletileg állandó értéken tartja. Láttuk, hogy ennek az arányos szabályozónál az az akadálya, hogy az üzemi változó értéke és a vezérelt változó (a) értéke között fix összefüggés van. — Ezért nem tudjuk elérni, csak megközelíteni a 10. ábrában szaggatott vonallal jelzett állapotot, mely az ideális szabályozásnak felel meg. Viszont mindjárt látjuk, hogy a vezérelt változónak az üzemi változótól való függetlensége az előfeltétele annak, hogy ilyen szabályozást meg tudjunk valósítani.

Ez matematikailag az *integrálszabályozással* valósítható meg, melynél

$$a = \int_0^T f_3(x - x_0) dt \quad (8)$$

vagyis a vezérlő szerv addig mozog, míg eltérés egyáltalában fennáll. Mindjárt látható, hogy ez gyakorlatilag csak akkor használható, ha az üzemi változó gyorsan követi a vezérelt változót, különben túlszabályozás és ezáltal lengés következik be.

Ezt a szabályozási elvet többféleképpen valósíthatjuk meg.

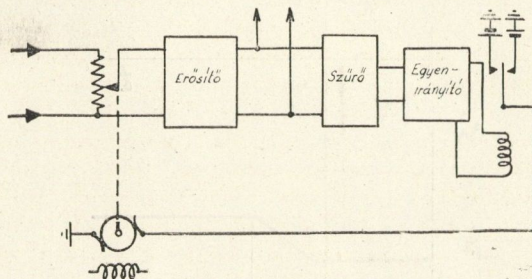
### Állandó sebességű integrál szabályozás.

Példaképpen a vívőhullámú berendezések nívószabályozásának egyik régebbi módja hozható fel.<sup>2)</sup> Eszerint a nívószabályozás a vonalra állandó nívón kibocsátott pilótfrekvencia segítségével történik. A pilótfrekvenciát a vétel helyén egyen-irányítjuk és a nyert egyenfeszültséget pl. egy kontaktvoltmérőre vezetjük (12. ábra). A kontaktvoltmérő úgy van beállítva, hogy az előírt nívó esetén tűje középen áll. Ha most a nívó pl. lecsökken, a kontaktvoltmérő zárja a baloldali kontaktust, mire a motor megindul és a bemenő potenciómétert növekvő nívó irányában forgatja. A forgás addig tart, míg a nívó eredeti értékét el nem éri, amikor is a kontaktvoltmérő tűje ismét középre kerül és a motort megállítja. A potencióméter karja ebben a helyzetben megmarad.

<sup>2)</sup> A szemléletesség kedvéért a berendezést a megvalósított kivitelől kissé eltérően írtuk le.

A nívó emelkedése esetén (mely a helyi erősítő üzemi adatainak változásából is adódhat) a kontaktvoltmérő a jobboldali kontaktusát zárja és így a motort ellenkező irányú forgásra vezérli. Mindkét esetben a motor forgása addig tart, míg a nívó eredeti értéke helyre nem állt.

A kontaktvoltmérő természete miatt az állandó értékre szabályozás pontosan nem áll fenn, mert a kontaktvoltmérőnek holtjátéka és így a beren-



12. ábra. Nívó szabályozás.

dezésnek holtzónája van, melyen belül érzéketlen. A holtzóna azonban a kontaktvoltmérő érzékenységének növelésével csökkenthető.

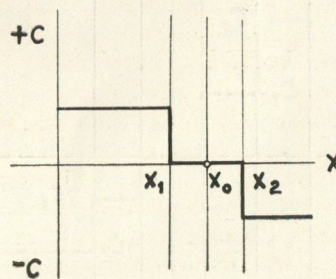
Ez a szabályozás *állandó sebességű*, mert a motor sebessége független az eltérés számszerű értékétől, ha már a motor jár. A (8)-ban szereplő  $f_3(x - x_0)$  függvény most így alakul:

$$\begin{aligned} f_3(x - x_0) &= 0 & \text{ha } x_1 < x < x_2 \\ f_3(x - x_0) &= c & \text{ha } x < x_1 \text{ és} \\ f_3(x - x_0) &= -c & \text{ha } x > x_2 \end{aligned} \quad (9)$$

ahol  $c$  a motor állandó sebessége,  $x_1$  és  $x_2$  pedig a holtzóna alsó, ill. felső határát jelzik.

A viszonyokat grafikusán a 13. ábra szemlélteti. A szabályozás ezen módja két hátrányt rejt magában: egyrészt a rendszer lengésre hajlamos, másrészt a működés sebessége nem veszi tekintetbe az eltérés nagyságát, így nagy változásoknál lassúvá válhat.

A lengésre hajlamosság akkor keletkezik, ha

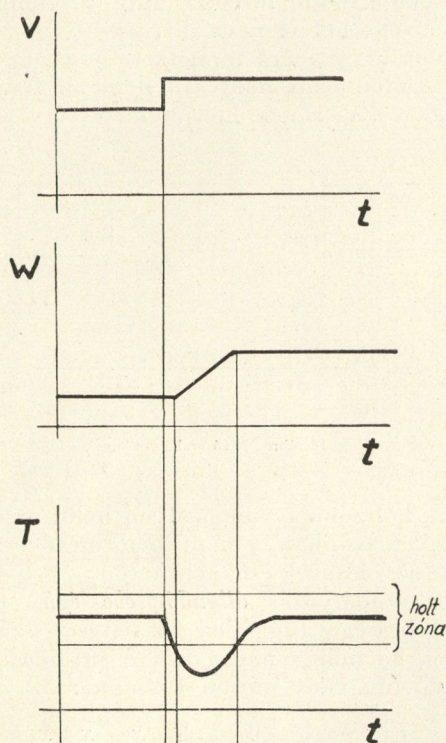


13. ábra. Állandó sebességű integrál szabályozás.

a vezérelt változót nem követi azonnal az üzemi változó. Az érzőszerv ugyanis csak akkor állítja meg a vezérlőszerv mozgását, ha az üzemi változó a holtzónán belül jutott. Hőmérséklet szabályozás esetén tehát a fűtés állandóan emelkedik és csak akkor áll meg, ha a hőmérő környezete a holtzóna hőmérsékletét elérte. A fűtőtéljesítmény most azonban ezen az értéken marad és túlfűtés áll be, mire a szabályozó újra működni kezd és lengés áll be.

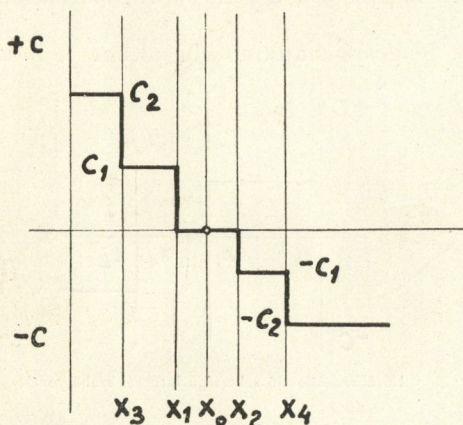


Az integrál szabályozó lengésre hajlamosságát a holtzóna megfelelő növelésével csökkenthetjük. Ha ugyanis a rendszer időkonstansa oly kicsiny,



14. ábra.

hogy a stacionér állapot a holtzónán belül beállhat, lengés még nem következik be. 14. ábra. Mindenesetre a módszer hátrányos tulajdonsága, hogy a rendszer időállandója és a holtzóna megengedett



15. ábra. Két állandó sebességű integrál szabályozás.

legkisebb szélessége között fordított viszony van.

A működés lassúságán a *több állandó sebességű*, vagy *arányos sebességű* integrál szabályozással lehet segíteni.

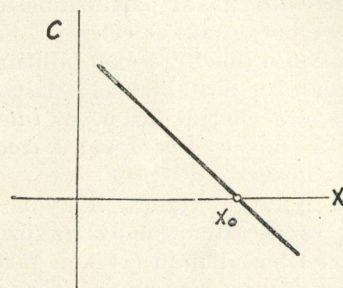
*Két állandó sebességű* integrál szabályozásnál egy külső holtzónát is felállítunk, melynek túl-

lépése esetén a vezérlőszerv nagyobb sebességgel mozog. 15. ábra.

Ez a stabilitást is növeli, mert a külső holtzónán belül a vezérlőszerv már lassabban mozog, tehát a túlszabályozás veszélye csökken.

### Árányos sebességű integrál szabályozás.

A holtzóna elkerülhető az arányos sebességű integrál szabályozás alkalmazásával, amikor a stabilitás is növekszik. (16. ábra). Itt a motor sebes-

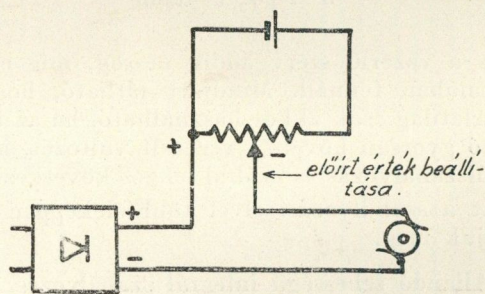


16. ábra. Árányos sebességű integrál szabályozás.

sége az eltéréssel arányos, tehát a szabályozó átviteli függvénye :

$$a = \Psi \int_0^T (x - x_0) dt \quad (10)$$

Ez a 12. ábra szerinti berendezésnél elvileg úgy valósítható meg, hogy az egyenirányítóból nyert



17. ábra. Árányos sebességű nívó szabályozás.

feszültséget egy fix egyenfeszültséggel szembe kapcsolva a motor hajtására használjuk fel (17. ábra.)

Ez a szabályozási rendszer egészen pontos szabályozást ad, viszont teljesen *labilis*, mert a vezérlőszerv az eltérés egész fennállása alatt mozog és így a legkisebb időkonstans már túlszabályozást okoz. Ezért önállóan nem is alkalmazható, csak más rendszerekkel kombinálva.

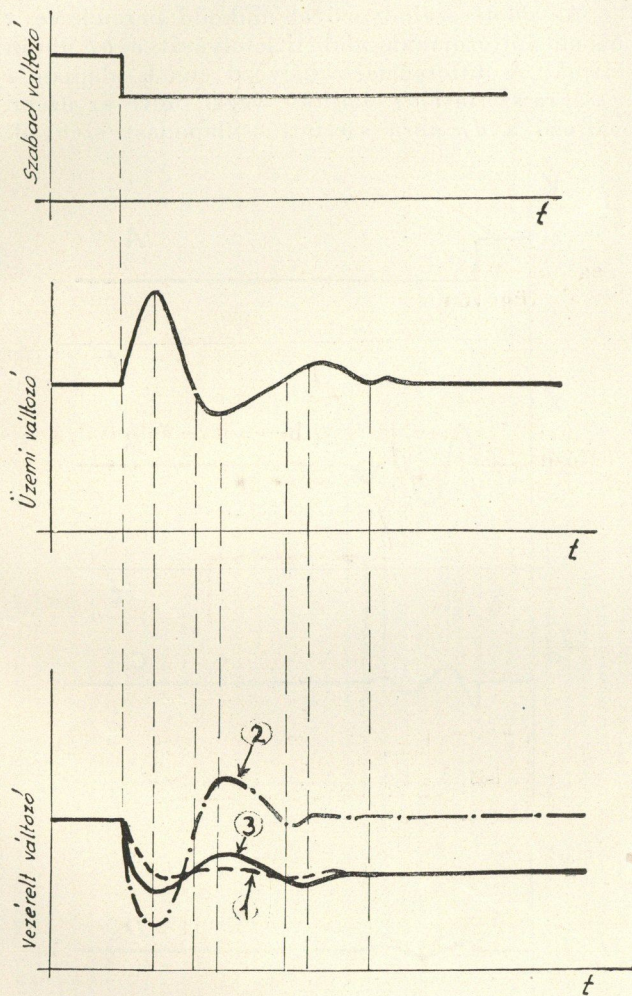
### Kombinált arányos és integrál szabályozás.

Az előzőekben megismertedtünk az arányos és integrál szabályozás lényegével, előnyeivel és hátrányaival. Láttuk, hogy a szabályozók helyes működésénél annyira fontos stabilitást az arányos



szabályozónál találjuk, míg az üzemi változót a pontos előírt értékre csak az integrálszabályozás viszi vissza, de mindkét jótulajdonsággal egyszerre egyik sem rendelkezik. Kézenfekvő gondolat tehát a két rendszer kombinálása, a jó tulajdonságok egyesítése céljából.

Az arányos szabályozónál már láttuk, hogy tartós eltérés eltüntetését az előírt érték beállítójának elállításával lehet elérni. Erre az utánállításra az integrál szabályozó felhasználható. Ilyenkor az eljárás az, hogy a vezérelt változó értékét visszavezetjük az előírt érték beállítóra, illetve a szabályozó bemenetére egy integrál szabályozón keresztül. Ennél a működésnél azonban vigyázni kell, hogy az integrál szabályozó működése némi



18. ábra. 1. görbe : Integrál szabályozás,  
2. görbe : Arányos szabályozás,  
3. görbe: Eredő szabályozás

késéssel történjék, mire az arányos szabályozó működésével kapcsolatos lengések már lejátszódtak, különben további lengések állnak be.

Az elmondottakból látható, hogy erre a célra csak holtzóna nélküli integrál szabályozót érdemes használni, mert különben az előírt értékre való pontos visszaállítás nem lehetséges.

Ilyen rendszerű szabályozók pneumatikus kivitelben vannak megvalósítva.

Ugyanezen eredményre jutunk akkor is, ha a

vezérlő szerv mozgását két szabályozó működésétől tesszük függővé úgy, hogy az arányos és integrál szabályozás hatása összegeződik. Az összegezést célszerű úgy megszerkeszteni, hogy a kétféle szabályozó hatásának aránya változtatható legyen.

Lényegileg az előző esetben is összegeződik a kétféle szabályozás hatása, úgyhogy a szabályozó egyenlete mindkét esetben

$$a = \Theta + \Phi e + \Psi \int_0^t e dt \quad (11)$$

ahol  $\Theta$ ,  $\Phi$  és  $\Psi$  a szabályozás állandói.

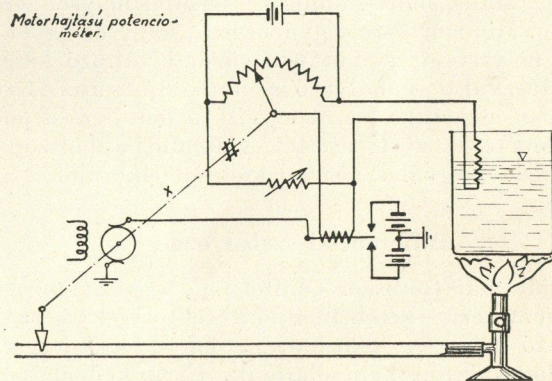
Az arányos és integrál szabályozás hatását külön-külön és összegezve a 18. ábra szemlélteti.

Eszerint az arányos szabályozás stabilitása párosult az integrál szabályozás pontosságával, ehhez azonban a kétféle szabályozás viszonyának helyes beállítása, vagyis a  $\Theta$ ,  $\Phi$  és  $\Psi$  értékek jó megválasztása szükséges. A korszerű pneumatikus szabályozó műszerekben, ahol az arányos és integrál szabályozó egybe van építve, ezen értékek külön gombokkal beállíthatók.

Az integrál szabályozó stabilitását visszavezetéssel is biztosíthatjuk, visszavezetéssel azonban arányos szabályozás válik belőle. Ez a látszólag visszafelé lépés azonban sokszor hasznos, mert jó arányos szabályozót kapunk.

### Visszavezetés.

A visszavezetés lényege az, hogy a vezérlőszerv mozgásával kapcsolatban a szabályozó bemenetére kapcsolt jelet ellenkező értelemben befolyásoljuk, tehát hatását csökkentjük. Így a szabályozó új nyugalmi helyzetet fog elérni, mielőtt az üzemi változó változása révén megállt volna, mert hiszen az üzemi változó hatását maga rontotta le. Más szóval ki-



19. ábra. Motorhajtású potencióméter.

fejezve, a szabályozó negatív visszacsatolást kapott. Már pedig ismeretes, hogy a negatív visszacsatolás stabilitás emelkedést jelent.

Az integrál szabályozó visszavezetéssel való el-látását egy gyakori szabályozószerv, a motorhajtású potencióméter példájával illusztrálhatjuk (19. ábra).

A rajzon a már ismert hőmérséklet-szabályozónkat látjuk, ezúttal állandó sebességű integrál szabályozóval felszerelve, ha az  $x$  tengelyszakaszba szerelt tengelykapcsolót egyelőre oldott állapotban hagyjuk. A működés a következő:



A vízmelegítő hőmérsékletét ellenálláshőmérővel mérjük, melyet egy Wheatstone-híd egyik ágába kapcsolunk. Ezen ágba még egy ellenállás van, míg a híd másik ágát potencióméterünk alkotja, melynek karját egyelőre rögzítjük.

A hídgalvanométer helyett *kontaktgalvanométert* kapcsolunk, mely árammentes állapotában horgonya középen van, tehát a motor nem forog.

A motor a vezérlőszelepet mozgatja, mely a vízmelegítő fűtését vezérli, pl. a fűtésre szolgáló gázmennyiség változtatása útján.

Ha a víz hőmérséklete megnövekszik, pl. a vízfogyasztás csökkenése folytán, a híd egyensúlya felborul és a kontaktgalvanométer egyik irányba kitér és zárja a motor áramkörét. A motor megindul és a szelepet záró irányban mozgatja. A működés addig tart, míg a vízhőmérséklet csökkenése révén a híd egyensúlya helyre nem áll.

A vízfogyasztás emelkedése esetén a hőmérséklet csökken és a működés fordított irányban zajlik le.

Mint látjuk, integrál szabályozással van dolgunk, mert a vezérlőszerv mozgása addig tart, míg az eltérés fennáll.

A felhozott példa kapcsán látható, hogy stabilitásra alig számíthatunk, a vízmelegítő hőtehetetlensége miatt. Szükséges tehát valamiféle stabilizáláshoz gondoskodni, amit a már említett visszavezetéssel érhetünk el. A mi esetünkben ez úgy történik, hogy az ábrán jelzett tengelykapcsolót bekapcsoljuk, mire a motor forgása közben a potencióméter karját magával viszi, mégpedig mindig a híd egyensúlyi állapota felé.

A működés most tehát úgy történik, hogy a motor a potencióméter elállításával a híd egyensúlyát maga állítja helyre, nem várja meg, míg az az üzemi változó révén következik be. A rendszer tehát stabilis, mert mindig egyensúlyi helyzet felé mozog. Mindenesetre vigyázni kell, hogy az egyensúlyi helyzet elérése után az üzemi változó kései változásával a szabályozó ne működjön újra. Ezt azonban a motor és a szelep, ill. a motor és a potencióméter közötti áttétel, valamint a holtzóna megfelelő megválasztásával könnyű elkerülni.

### Differenciál szabályozás.

Mint már többször említettem, a szabályozott folyamat természetében rejlő késleltetések a szabályozó lengését okozhatják, ha ezek energiahalmozódással kapcsolatosak. Ezek kellemetlen hatása ellen pedig csak a szabályozó stabilitásának biztosításával vagy javításával védekezhetünk.

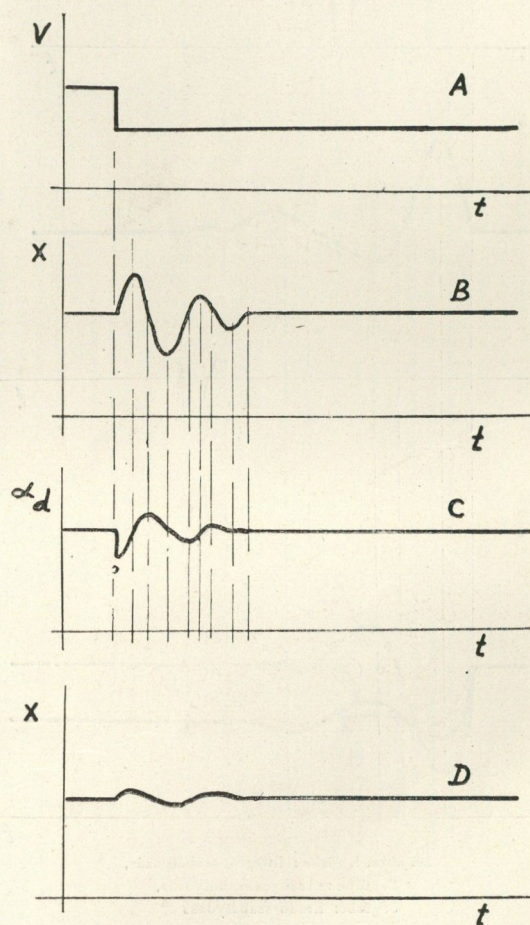
Ha az e tekintetben rendelkezésre álló lehetőségek nem elegendők, folyamodhatunk még a túl szabályozás lehetőségéhez, melynek eszköze a differenciál-szabályozó. Ennek segítségével a szabályozó lengésekkel kísért működése alatt a vezérlőszervet külön még elállítjuk, úgy, hogy az elállítás az üzemi változó változása ellen dolgozzon. Az elállítás irány és nagyság szerint arányos az üzemi változó változásának sebességével, vagyis annak időszerinti első differenciálhányadosával. Innen a szabályozó neve: differenciál-szabályozás.

Matematikailag:

$$\alpha_d = \Gamma \frac{dx}{dt} \quad (12)$$

ahol  $\alpha_d$  a differenciál-szabályozás *járuléka* a vezérelt változó értékéhez,  $x$  az üzemi változó és  $\Gamma$  a differenciál-szabályozó állandója. Mivel a differenciálhányados a változás irányának megváltozásakor előjelet vált, a járulék előjele is megváltozik. Ha tehát egy hőmérséklet-szabályozót differenciál-szabályozóval egészítünk ki, akkor a szabályozó a hőmérséklet gyors csökkenésekor erőteljes túlfűtést adagol, mikor azonban a hőmérséklet már emelkedik, csökkentett fűtéssel elejét veszi a hőmérsékletnek az előírt érték fölé való emelkedésének. A differenciál-szabályozó hatását a 20. ábra szemlélteti.

Az adott szabályozóval működő berendezés  $x$  üzemi változójának időbeli lefolyását a b) ábrán látjuk. A differenciál-szabályozó ennek alapján a c) ábra szerinti  $\alpha_d$  elállítást végzi, mire az üzemi változó a d) ábra szerinti csillapodást szenved.



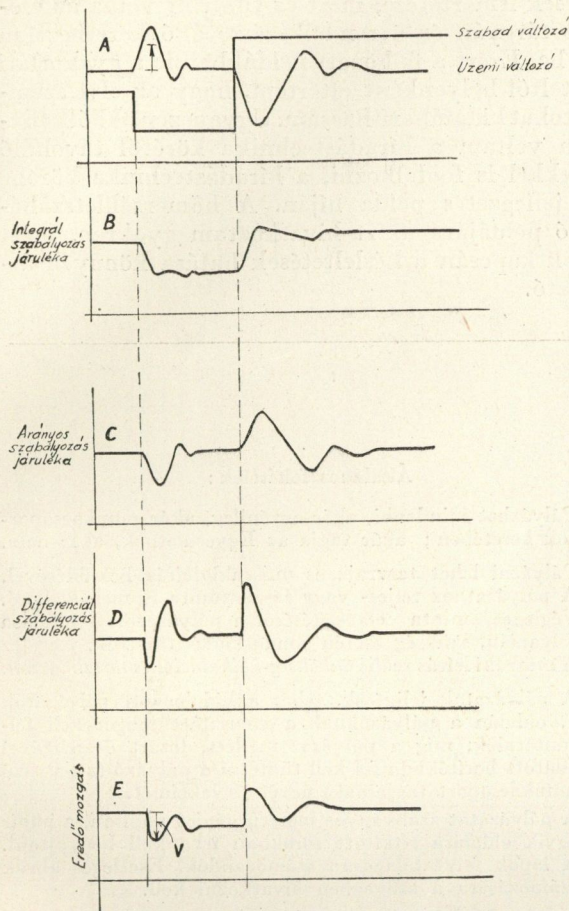
20. ábra. Differenciál szabályozás.

Az elmondottakból már sejthető, hogy a differenciál-szabályozás csak más szabályozók kiegészítéseképpen használható. Valóban, önállóan szabályozás végzésére nem is képes, mert az üzemi változó eltérését nem veszi figyelembe, a vezérlőszerv tartósan nem állítja el. Matematikai megfontolással is meggyőződhetünk róla, hogy a vezérlőszerv megtett útja egy szabályozási művelet után



zérus. Mivel ugyanis a vezérlőszerv állása minden pillanatban  $dx/dt$ -vel arányos, utóbbi mennyiség pedig a működés után, az új stabil helyzetben zérus, a vezérlőszerv végső elállítása is zérus.

A differenciálszabályozást könnyű kivitelezhetőse miatt főleg pneumatikus szabályozóknál szokták alkalmazni a működés gyorsítása és nagyobb stabilitás céljából.



21. ábra.

Ha a háromféle ismertetett szabályozó típust kombináljuk, a vezérlőszerv mozgásegyenlete az ismert képletek alapján a következő alakot veszi fel:

$$a = \Theta + \Phi x + \Psi \int_0^T x dt + \Gamma \frac{dx}{dt} \quad (13)$$

Bevezetve a vezérlőszerv mozgási sebességét, az egyenletnek tetszetősebb alakot adhatunk:

$$\frac{da}{dt} = \Phi \frac{dx}{dt} + \Psi x + \Gamma \frac{d^2x}{dt^2} \quad (14)$$

A háromféle szabályozó együttes hatására felépő jelenségeket a 21. ábra szemlélteti.

### Késleltetések

Mielőtt az ismertetett szabályozási rendszerek alkalmazására rátérnénk, tekintsük át röviden azokat az okokat, melyek a szabályozó lengéseit előidézhetik. Ezeket gyűjtőnéven késleltetéseknek nevezhetjük, mert a szabályozó működését, illetve az üzemi változó stabil helyzetét beállítását késleltetik.

A késleltetések abból adódnak, hogy a szabályozott folyamat természetéből kifolyólag valamely változó változását nem követi azonnal az üzemi változó változása.

**Kimenő oldali késleltetés** van akkor, ha az üzemi változó nem követi azonnal a szabad változókat ( $a, b, c \dots$ ) változását. Így pl. egy motornál, melynek fordulását szabályozzuk, a terhelés hirtelen változásakor a forgó tömegek tehetetlensége miatt a motor szögsebessége, mint üzemi változó nem követi azonnal a terhelés változását. Hasonló szerepe lehet a vízmelegítőben levő víztömeg hőkapacitásának, mely a vízelvétel növelésével a hőmérséklet leesését fékezi.

A kimenő oldali késleltetés általában kedvező hatású, mert lengések beállítását megnehezíti.

**Bemenő oldali késleltetés** lép fel akkor, ha a vezérlőszerv működését nem követi azonnal az üzemi változó megváltozása. Ilyen eset lép fel pl. motorok vagy generátorok gerjesztésénél, ahol a gerjesztő feszültség megváltozását nem követi azonnal a mágneses mező megváltozása, mert a gerjesztőkör önindukciója a változásnak ellenszegül. Vagy ilyen eset lehet egy vízcsep lezártánál, ahol a lezárás után a csapot követő csőszakaszban a víz még kifolyik.

**Távolsági késleltetés** keletkezik a vízmelegítőnkben akkor, ha a hőmérő nem az edényben, hanem az elmenő csővezeték egy távolabbi pontján van elhelyezve. Az edényben fellépő hőmérsékletváltozást a hőmérő csak akkor jelzi, ha a megváltozott hőmérsékletű víz a hőmérőig már eljutott. Így a szabályozó mindig késéssel indul, időbeli holtzónája van.

**Kémiai késleltetés** lép fel, ha a szabályozandó folyamatban kémiai reakció is van, melynek eredményétől függ az üzemi változó értéke. Itt a szabályozó csak a reakció lejátszódása után tud működni. Ilyenkor más mennyiséget szoktak üzemi változónak választani, mely késleltetve nincs és befolyással van a szabályozni kívánt mennyiségre.

**Szabályozó késleltetése** is előfordulhat, ha a szabályozó valamelyik eleme késleltetést hoz be. Pl. ha a hőmérőt rossz hővezető tokba tesszük, a hőmérséklet változását csak lassan követi.

A leírt késleltetések kisebb-nagyobb mértékben elősegítik a berendezés lengésre hajlamosságát. Ez a körülmény döntő szerepet játszik az alkalmazandó szabályozó típus megválasztásában.

### Befejezés.

**Kisebbségi igények esetén**, mikor nem nagy pontosság szükséges, a kétállású szabályozó ki-be kapcsolt helyzetekkel megfelelő. Ilyen pl. a házi vízvezeték vízszint v. nyomás szabályozója, mely a minimális nyomás v. vízállás beálltakor a szivattyút megindítja és működteti a maximális nyomás v. vízállás eléréséig. Ugyanígy működik a háztartási melegvíztároló vagy a hűtőszekrény. Nagyobb teljesítmények esetén a kétállású szabályozó a teljesítménynek csak egy részét kapcsolja. Ezzel a működések száma csökkenthető.

**Számottevő késleltetéssel** dolgozó rendszerek hőmérsékletszabályozása, mint a leggyakrabban előforduló szabályozási feladat, kombinált arányos-



integrál differenciálszabályozással szokott megvalósítani lenni. Itt a differenciálszabályozó jó szolgálatokat tesz a késleltetések kompenzálása terén.

Pontosabb vízszintszabályozás arányos szabályozással működhet, ahol az úszótök közvetlenül a vizet beeresztő tolózárt működteti. Lengésektől tartani nem kell.

*Híradástechnikai elemeket* felhasználó szabályozók még aránylag kevésbé elterjedtek. Ilyen pl. az elektronikus generátorfeszültség és motorfordulat szabályozás, mely utóbbi hazánkban a megvalósulás útján van. A híradástechnikai elemekkel készülő szabályozók perspektívája abban van, hogy a változatos időfüggvények szerinti késleltetéseket könnyen lehet a szabályozóba épített elemekkel kompenzálni.

Az elmondottakban igyekeztem áttekintést nyújtani azon elvi jellegű kérdésekről, melyek az automatikus szabályozókkal kapcsolatban felmerülhet-

nek. Ezzel bizonyos elméleti tájékozódást kívántam adni azoknak, akik a témakörrel kevésbé ismeretekesek, vagy azt csak gyakorlati oldalról ismerik. Az ismertetett elvi szempontok elősegítik a tájékozódást a különféle szabályozók tömegében és támpontot nyújtanak a szabályozók üzemi viszonyaira és alkalmazhatóságukra.

Nem volt céлом kivitelezett szabályozó berendezések ismertetése, mert ez túlment volna az előadás tárgyán és a rendelkezésre álló keretbe sem fért be. Ezért a felhozott példákban is a gyakorlati kivitelről helyenként eltértem, hogy az elvi szempontokat kidomboríthassam. Ugyanezen okból kénytelen voltam a híradástechnika körétől távolálló esetekkel is foglalkozni, a híradástechnika körébe eső jellegzetes példa híján. A hőmérsékletszabályozó példájára azért hivatkoztam gyakran, mert ennek kapcsán a késleltetések hatása könnyen átlátható.

## PÁLYÁZATI FELHÍVÁS hangszóró tervezésére

*A Híradástechnikai Tudományos Egyesület*

**10.000 forintos pályázatot hirdet**

*hangszóró tervezésére*

Jó hatásfokú, olcsó tömeggyártású (gyártva százezres nagyságrendben) permanens dinamikus hangszórót kell tervezni. A hangszóró dobozba épített legyen; hangerőszabályozóval és szükség szerint illesztő szervvel legyen ellátva.

### Részletes műszaki feltételek:

1. Általában az egész berendezésnek olyannak kell lennie, hogy azt hozzá nem értő minden nehézség nélkül kezelhesse
2. A komplett hangszóró gyártási önköltsége — beleértve a doboz, az illesztő szerv és a szabályozó önköltségét is — adók nélkül, tömeggyártásban minél jobban közelítse meg a 60 forintot.
3. A hangszóró légrése pormentesen zárt legyen.
4. A kónusz átmérője 160 mm körüli legyen.
5. A kisugárzott teljesítmény 130 Hz-nél mérve, a 400 Hz-nél mérthet képest legfeljebb 3 db-lel lehet kisebb.
6. A kónusz anyaga légnedvesség ellen impregnálendő.
7. Az illesztő szerv (pl. kimenő transzformátor) — amennyiben alkalmazásra kerül — jó hatásfokú legyen.
8. 50 V eff. hangfrekvenciás feszültség esetén a felvett teljesítmény 400 Hz-nél 0,5 W legyen, és a hangszóró emellett jó szobahangerőt szolgáltatson.
9. A hangszóró dobozába hangerőszabályozót és kikapcsolót kell beépíteni. Az eddig e célra alkalmazott hangszóróknál ez úgy készült, hogy a kimenő transzformátor szekunder meiteiből 5 lépésben, egyenletes db elosztásban leágazásokat alkalmaztunk. A hangerőszabályozó ezeket a leágazásokat kapcsolta és ezenkívül egy hatodik állásban a hangszórót kikapcsolta. Ha ugyanez a megoldás kerül alkalmazásra, a hangerőszabályozó-kapcsoló üzembiztos, határozott kapcsolást tegyen lehetővé és csúszkája két fokozatot ne zárhasson rövidre, nehogy a kimenő transzformátoron menetzárlatot okozzon.
10. A hangszóró dobozában előlapja ferde hajlásszögű legyen, hogy falra felakasztva kissé lefelé, megfordítva asztalra téve, kissé felfelé sugározza a hangot. Tájékoztatásul szolgáljon, hogy a jelenlegi, e célra használt hangszóró lengőtekercsének az átmérője 18 mm, a légrése magassága 3 mm, a rés 0,8 mm, indukciója a légréseben 7500 Gauss.

### Általános feltételek:

1. Pályázhat mindenki, akár egyénileg, akár munkacsoporthoz tartozó keretében; akár tagja az Egyesületnek, akár nem.
2. Pályázni lehet tervrajz és műszaki leírás beküldésével. A pályázathoz teljes- vagy részletminta is mellékelhető. Végleges minta elkészítéséről a pályázatok elbírálása folyamán, szükség esetén gondoskodás történik. A műszaki leírás reális önköltség-kalkulációt is tartalmazzon.
3. A pályázatok jelígesek, tehát a kidolgozott pályázatok 1. oldalán a pályázóknak a választott jelíget kell feltüntetniük, míg a pályázat mellett, lezárt és jelíggel ellátott borítékban fel kell tüntetni a pályázó (a pályázó munkacsoport tagjainak) nevét és lakcímét.
4. A pályázatot szabványos méretű gépiró papíron, a papír egyik oldalára ritkított sorokban írva kell benyújtani. A lapok folytatólagosan számozandók. Esetleges ábrák számozására a szövegben hivatkozni kell.
5. A pályázatok beküldésének határideje: 1951. április 21.
6. A pályázatokat a Híradástechnikai Tudományos Egyesülethez (Budapest, V., Szalay-utca 4.) kell fenti időpontig beküldeni. A külső borítékon feltűnő módon alkalmazandó a »Hangszóró pályázat« jelzés.
7. A pályázatok elbírálására bíráló bizottságot küldünk ki, amelynek jogában áll a pályadíjakat — annak szükségességére esetén — megosztva kiadni, vagy meg nem felelő pályázatok esetén, új pályázatkírást javasolni. A bíráló bizottság döntése végleges és megfellebbezhetetlen.
8. A pályázat papírforma szerinti előrelátható, valószínű eredményeit előzetesen 1951. május 15-én, véglegesen pedig a szükséges minták elkészülte és elbírálása után hirdetjük ki.
9. A díjnyertes pályázatokat a magyar iparnak jogában áll felhasználni. Ha a pályázatra beküldött anyag újítás, vagy találmány tárgyát képezi, a szerző ezirányú jogai csorbíthatlanok maradnak.
10. A pályadíjban nem részesített pályázatok használható részletmegoldásait külön díjazni fogjuk.
11. A pályázatok kidolgozásánál esetleg felmerülő kérdésekre választ és tanácsadást az Egyesület Hangszóró Pályázat Bizottsága ad minden pénteken d. u. 5 és 6 óra között az Egyesület helyiségében.
12. A jelenleg használatban lévő hangszóró-típus az Egyesület helyiségében naponta 9 és 19 óra között megtekinthető.

**Pályadíjak: 1. díj 5000 Ft, 2. díj 3000 Ft, 3. díj 2000 Ft.**



# Elektromos gépek és készülékek trópusi védelme

BOHNER ENDRE

Az elektromos gépeknek és készülékeknek a környezeti behatásokkal szemben minden körülmények között ellent kell állniok, erre a trópusi vevő is éppen úgy reflektál, mint a mérsékelt égövi — és joggal!

A trópusi szó mindenkinek először is a nagy meleget juttatja eszébe — és valóban, ha csak erre az egy trópusi jelenségre gondolunk, máris érzékeljük, hogy a mérsékelt égövi klímához képest a forró és páradús trópusi környezet milyen megnövekedett követelményeket állít az ott üzembe kerülő elektromos gépek és készülékek elé.

Pedig a hőfok emelkedésén kívül gépeinkkel szemben még egy egész sereg fizikai és biológiai követelmény lép fel a trópuson, — olyanok, amelyeket a mérsékelt égöv alatt vagy nem, — vagy pedig csak egészen jelentéktelen és alárendelt szerepben ismerünk.

Nem a véletlen, hanem az éghajlat jellemformáló hatásának eredménye az, hogy az iparosodás az egész földgolyón a mérsékelt égöv hűvösebb régióiban alakult ki. Ha megnézzük a térképet, az ipari fejlődést előbbrevívó népeket mind ebben a zónában találjuk. Ennek az éghajlatövnök tervező mérnökei ennek az éghajlatnak viszonyai és szükségletei szerint dolgoztak. Az idők folyamán kialakultak a jól bevált tapasztalati szokványok, a méretezés, hőelvezetés, élettartam stb. kérdései tisztázódtak.

A kultúra fokozatos elterjedése a forró égövön magával hozta azt, hogy ott is szükség lett elektromos gépekre és készülékekre, a trópus tehát mint vevő jelentkezett a mérsékelt égövi iparcentrumokban.

A mérsékelt égövi gyárak jól bevált gépei és készülékei azonban nagy részben nem váltak be a trópusokon. A legkülönbözőbb meglepetések vártak a szállítókra, mert szállítmányaik olyan okokból és körülmények között mentek tönkre, amelyek eddig előttük ismeretlenek voltak.

Megkezdődött egy saját káron való tanulás időszaka. A nagy cégek trópusi képviselőik és kiküldött kutató mérnökeik útján gyűjtötték a megfigyeléseket, hogy megkeressék az okokat, amelyekből a meghibásodások erednek, — és megtalálják azokat az utakat, amelyeket a tervezésben és gyártásban követni kell, hogy a gyártmányaik trópusbiztosak legyenek.

Századunk első 15 évében lépésről-lépésre gyűltek össze azok a tapasztalatok, amelyek meghatározzák azt, hogy mit kell másképpen csinálni egy gépen vagy készüléken, hogy az a trópus alatt is üzembiztos legyen. Ezeknek a kialakult kikészítéseknek a gyűjtőnéve a »trópusi védelem«.

A trópus maga nem egységes fogalom, ezen belül is jelentős eltérések vannak. A kontinentális trópus a vízhiány, az éjjeli és nappali hőmérsékletek nagy különbsége, száraz, lisztfinom homok a levegőben jellemzi. Az óceáni trópusnak

a levegő igen nagy páratartalma, a burjánzó gombák és baktériumok, vidékenként változóan ezen kívül a rovarok és rágcsálók káros jelenléte a helyi jellemzői.

A készülékek szállításánál különösen a melegedést, illetve melegelvezetést, a tervezésnél a hődilatációt, a felületi ellenállást, a homokos levegő, páradús atmoszféra hatásait, a szerelésnél a kábel- és csőhálózatok védett elhelyezését és a rovar- és rágcsálóveszélyt kell figyelembe venni. Tehát a gyártónak a megfelelő anyagok és védő impregnálások alkalmazásával a termelés egész vonalán észszerően szem előtt kell tartania a trópus különleges követelményeit.

Az első, amivel számolni kell az, hogy maga a mérsékelt égöv alatti átlagember sem trópusálló. A szerelés, javítás, bemutató, üzletkötés, vagy állandó service szolgálat végett a trópusokra küldendő egyént orvosilag meg kell vizsgáltatni. Csak hibátlan szívű, normális vérnyomású, lehetőleg 50. életéven innen lévő szakembert küldhetünk a trópusi nyárba. A trópusi tél — amely inkább csak esős évszakban nyilvánul, — tűrhetőbb. A forró klíma bénító, lehangoló hatása a gondolkodásban és cselekvésben annyira korlátozza még az intakt embert is, hogy egy kevésbé ellentállónál ez a munkaképtelenségig fokozódik.

A trópusnak az elektromos gépekre és készülékekre való káros hatásait három főcsoportba oszthatjuk. Ezek:

*A fokozottabb légköri behatások.*

*Allati és növényi mikroorganizmusok.*

*Rovarok és rágcsálók.*

Nézzük meg ebben a sorrendben a támadó veszélyeket és azok ellen alkalmazandó rendszabályokat.

A fokozottabb légköri behatások egyik tényezője a nap erősebb sugárzása. A fénysugarakat mint tudjuk, hősugarak kísérik. Az árnyékban mért meleg 50—60°C is lehet, ha pedig a gépet közvetlenül éri a sugárzás, a vas vagy egyéb jó hővezető képességű részek akkumuláció folytán közel 100°-ra is melegedhetnek.

Ez azt jelenti, hogy érintésükkor az emberi kéz I. vagy II. fokú égési sebet szenved (edzettsége szerint). A víz normális atmoszféra nyomásnál gyorsan elpárolog, megolvad a viasz, cerezin, ozokerit és a bitumenek nagy része, hetek alatt megöregszik és összeropadozik a gummi és többé-kevésbé a legtöbb lakk is.

Megszüntetni nem tudjuk a hőbehatást, de jelentősen csökkenthetjük.

A gép vagy készülékek felülete mennél simább, világos és fémesen fényes, de legalább is fényvisszaverő festékkel bevont legyen! Az ilyen felület, amint az elemi fizikából tudjuk, a sugarak nagy részét visszaveri, — míg az érdes és sötétszínű felületek azokat elnyelik, az elnyelt sugár pedig teljes melegtartalmával a tárgy hőfokának emeléséhez járul hozzá.





Ha a gépnél vagy készüléknél nem biztosítható az árnyékos felállítás, — alkalmazhatunk úgynevezett műárnyékot. A védendő gép napvédőköpenyt kap, amely az előbb említett fényvisszaverő tulajdonságokkal rendelkezik.

E köpeny és a gép között legalább 40—100 mm légrést hagyunk. A gép felülete maga fényes alumínium fóliával burkolandó be, amely recés hengerlésű és így erősen fényszóró felületű. Így egy 3 fokozatú lépcsőt állítunk elő, amelynek első foka a napvédő köpeny, — ez visszaveri a sugarak egy részét. Utána jön a légköz, amelyben a levegő, ha a külső temperatura fölé emelkedett, az alsó és felső szellőző nyílásokon át kürtőhatás következtében cirkulálni fog. Végül a mégis áthatolt hősugarakat, különösen az infravörösöket a gép felületét borító alumíniumfólia veri vissza.

Ha olyan gépről van szó, amelyből az üzemkötésben fejlesztett meleget is el kell vezetni, ez az előbb leírt sugárzási védelem mellett természetesen nem történhetik a felületen.

Gondoljunk arra is, hogy a gépnek olyan alkatrészei, amelyeket kezelés céljából meg kell fogni, rossz hővezetési anyagból legyenek, tehát az olyan kézikerek és fogantyúk is, amelyeket a mérsékelt égövön egyáltalán nem volna szükséges ilyen anyagból készíteni.

A külső festés 150—200°-ig hőálló és színtartó legyen. Igen jók az elporlasztott fémek szuszpenziói fényvisszaverés, hőállóság és öregedés szempontjából egyaránt.

A fokozott légköri behatások másik kellemetlen tényezője a napi viszonylatban vett nagy hőingadozás. Ez elsősorban a szárazföld belsejében levő (kontinentális) trópuson kirívó, ahol a nappali és éjjeli hőfok közt 50—60° különbség is lehet.

Ennek kettős következménye van. Az egyik, a kevésbé veszélyes, a naponta ismétlődő jelentős hődilatációk anyagfárasztó hatása, amely a különböző anyagokból összetett elemeknél időelőtti törésekre vezethet; kifeszített huzalok, csövek hegesztései eltörnek, stb. E ténnyel a tervezőnek számolnia kell. Jó megoldás a hosszú egyenes huzalok, csövek, sinek vagy lemezkeretek tört, spiralizált vagy hullámos kiképzése, ha ezek lényegesen eltérő hőkitérjedési tényezőjű anyagokkal (bakelit, kerámia stb.) vannak szerkezetiileg összekötve.

A másik kondenzvíz-képződés a gépek és készülékek belsejében. E jelenség ismételten a mérsékelt égövben is és ellene védekezünk is. A trópuson azonban ez a hatás sokszorosa a mérsékelt égövnek.

Ez számszerűleg is kimutatható, hiszen nagyobb a relatív légnedvesség, nagyobb a napi hőfokesés és gyakoribb a jelenség évi előfordulása. A kondenzvízképződés éppen az elektromos gépek és készülékek védelme szempontjából a legszámottevőbb trópusi ellenfél, mert az elektromos gépek szigeteléseire a víz káros és veszélyes — míg másfajta gépeknél kevésbé okoz különösebb kellemetlenséget.

A kondenzvíz keletkezésének oka más a nyitott és más a zárt gépeknél. Az úgynevezett nyitott gépeknél — ahol tehát a gép belső tereinek közlekedése van az atmoszférával — a vízképződés úgy jön létre, hogy a gép üzemkötésben felmelegedvén,

a belső terekben lévő levegő is felmelegszik és kiterjed, egy része ezért kiszorul a gépből. Ha most a gép leáll és fokozatosan kihűl, a belsejében lévő levegő is lehűl, összehúzódik és a külső légtérből szív be kiegészítést. Így a folytonos levegőcsere újabb és újabb nedvességet is visz be a gép belsejébe. Amikor a lehűlés a levegő páratelítettségének megfelelő harmatpontot elérte, kondenzálódás áll elő.

Zárt gépeknél más a helyzet. Ott a gép szerkezeti részeitől felszabadult, valamint a szereléskor bezárt levegőben bennmaradt nedvesség az, ami a felmelegedéskor elpárolog és a belső tér levegőjét telíti. Ez a pára azután a gép leállása után a kívülről befelé terjedő lehűlés alatt kondenzálódik.

A keletkező vizet a gépből le kell vezetni, ezért víztelenítő lefolyó nyílásokat kell adni. Kerülni kell az olyan szerkezeti megoldásokat, ahol a víz teknőszerűen megállhat, különösen ahol az akkumulált víz a szigetelések átázását okozhatja.

Zárt gépeknél nem elég, hogyha a szigetelések és tekercsek szárazak, de például a fa áthidalások vagy alátétek nem, mert a fából kipárolgó víz lehűléskor a szigetelésekre csapódhatik le. A teljesen zárt gépben tehát minden résznek egyformán száraznak kell lennie. Végül igen fontos, hogy még ezeken a gépeken is adjunk a víznek lefolyási lehetőséget.

Ha betartjuk is azt az óvóintézkedést, hogy a kondenzvíz elvezetéséről gondoskodunk, nem változtathatunk azon, hogy a tekercsek és szigetelések vizesek lesznek a felületükön. Ez ellen tökéletes impregnálással védekezni.

Már a tervezőnek számolnia kell azzal, hogy az összes kúszóutak és szigetelő felületek 85% légnedvességű térben is helytálljanak. Ez a követelmény különösen a gyengeáramú készülékeknek lényeges konstruktív változást jelent a megszokott mérsékelt égőviekkel szemben.

Nagyobb telepességek (gépcsoportok, kapcsolóközpontok, erősítő állomások stb.) trópusi védelme gyakran a leggazdaságosabban egy klimatizált helyiségben való felállítással oldható meg, amikor is a telephez tartozó egységek mind normál-kivitelűek lehetnek.

Léglényegesebb védőszerünk azonban a tökéletes impregnálás olyan impregnáló lakkal és olyan eljárással, amely a trópusi védelem igényeit kielégíti.

Mielőtt ezzel részletesebben foglalkoznánk, nézzük előbb a mikroorganizmusok hatását, mert ez a szempont igen erősen beleszól abba a kérdésbe, hogy milyennek kell lennie a trópusi védelmet szolgáló impregnálásnak.

A trópuson a gombáknak és bacillusoknak, növényi és állati mikroorganizmusoknak egész tömege él. Ezeknek rothasztó és roncsoló hatása nem fémek részekén súlyos károkat okoz.

Amíg a mérsékelt égövön csupán néhány penészgombafajta támadja meg a nedves helyen álló gép vagy készülék szigeteléseit, addig a trópusi meleg és páras levegőben sok százra tehető azoknak a gombafajtáknak a száma, amelyek hihetetlen virulenciával lepik el az olyan helyeket, ahol táplálékot találnak. Baktériumtenyészetek is alkulnak a gépek és készülékek belsejében.



A gombák hatása főleg abban nyilvánul, hogy ellepik a kontaktusokat, akadályozzák a mozgó részeket és vízgyűjtőtartány szerepét töltik be a szigeteléseken. A baktériumok különösen a szerves részek elrothasztását és roncsolódását okozzák.

Mindkettő alkalmas a kapcsolatok megszakítására, áramvezető részek áthidalásával levezetések és zárlatok létesítésére és fontos szerkezeti elemek elroncsolására.

A védekezés módja az, hogy nem adunk lehetőséget arra, hogy e mikroorganizmusok tenyész-kultúrát létesítsenek. Ne alkalmazzunk olyan anyagokat, amelyeken ez lehetséges.

Csévéknek, kondenzátoroknak, állandó ellenállásoknak védelme szerkezeti megoldással is biztosítható. Ennek fő típusa a zárt tokba való helyezés. Leggyakoribb formái a fémből készült teljesen zárt burkolatok, légmentesen hegesztett, forrasztott vagy szegecselt kivitelben, — az üvegbúrák vagy csövek gittelt fémsapkával lezárt megoldásai, végül az acetonnal összeragasztott cellonlemez-burkolatok. A kivezetések minden esetben csak álló kivezetések legyenek. E burkolatokból a forgó vagy alternáló mozgást végző kapcsolókarok kivezetései a leg gondosabb tömítés esetén is lerontják az egész tokozás értékét. Elengedhetetlenül fontos, hogy a tokba kerülő alkatrész előzetesen tökéletesen ki legyen szárítva és a tokot magát a lezárás előtt száraz levegővel töltsük meg.

A növényi gyanták és olajok még akkor is alkalmasak a trópusi mikroorganizmusok tenyész-bázisául, ha egyébként túlnyomórésztben anorganikus anyagokkal, pigmentekkel vannak keverve.

A trópusokra kerülő gépek és készülékek impregnálását ezért kizárólag szintetikus anyagokkal kell megoldani. Semmi körülmények között sem tartalmazhatnak tehát növényi olajokat vagy gyantákat.

Azt a védelmet, hogy mikróbaölő fertőtlenítőszer alkalmazunk az impregnálóakkokban, óvatosan kell kezelni. Egyrészt nem mindig használnak a lakk szigetelőképességének, másrészt ezek nagy részének penetráns szaga is van, amely emberi környezetben, lakásban nem kívánatos.

Fontos, hogy az impregnált felületek kemények legyenek. Lágy, ragadós részek ne maradjanak bennük. Ezért a kondenzációs bázisú szigetelőakkokkal szemben mindig előnyben részesítendő a polimerizációs bázisúak, mert ezek vízleválasztás nélküli vegyi folyamattal száradnak.

Térjünk most vissza az impregnálás előbb megskatított kérdésére.

Az elektromos gépek és készülékek technológiájában általában ötféle módon használunk folyékony, de utólag megszilárduló szigetelőanyagokat a szerkezeti részek elektromos szigetelésének feljavítására illetve stabilizálására. Így beszélhetünk: *ítatásról — telítésről — bevonásról — kiöntésről és rögzítésről.*

*Itatásnak* nevezzük a rostos szigetelőanyagok pórusainak szigetelőakkal való megtöltését. Jellemzője ennek az, hogy az anyagok a hajszálcsövesség törvényénél fogva maguk felszívják a szigetelőfolyékony lakkot. Célja pedig az itatásnak az, hogy a rostos anyagok (pamut, selyem, juta, üvegfonal stb.) nedvszívású hajlandóságukat jó

szigetelőakkal elégítsék ki, ne pedig később vízzel, ami a szigetelésre káros.

*Telítésnek* nevezzük a kis szerkezeti hézagok légtereinek, (pl. tekercsekben a huzalok közeinek) szigetelőakkal való kitöltését. Célja ennek egyrészt, hogy kitöltsük a szigetelőanyaggal azt a légteret, amely a már tárgyalt kondenzvíznek lehetne lerakódó helye, másrészt — a jármű, vasút- és rázkódtatásnak kitett üzemi egyéb gépeknél — hogy a szerkezeti hézagok, huzalközpök telítése után a keményre beszárított lakk megakadályozza a gép vagy készülék üzemben való rázkódása alatt a tekercsek huzalainak mozgását, egymáson dörzsölődését és szigetelésük lekopását.

*Bevonások* alatt értjük a már itatott és telített tekercsek külső felületeinek a nedvesség ellen jól záró és úgy elektromos, mint mechanikai szempontból nagy felületi ellenállással bíró védőanyaggal való ellátását. Célja: amíg az itató és telítőakkoktól azt kívánjuk meg, hogy jól ellenálljon az elektromos átütésnek, könnyen hatoljon be a porózus anyagokba és huzalhézagokba, addig a bevonóanyagtól megkívánjuk, hogy repedésmentes és folytonos zárórétet képezzen, amely a nedvességfelvétel lehetőleg megakadályozza, száradás után kemény és jó felületi ellenállású legyen. A bevonóakkok rendszeren pigmentes lakkok és kihagyásmentes felrakásuk ellenőrzése céljából feltűnőbb színűek (kék, világos-krém, rózsaszín).

*Kiöntés* alatt értjük szigetelőmasszával való kitöltését a gépen vagy készüléken lévő olyan kapcsolótérnek, amelyben mozgó vagy üzemszerűen kezelendő alkatrész nincs, de különböző feszültségű áramvezető részek vannak. Célja ennek, hogy a környezetből belekerülő nedvesség ne okozhasson zárlatokat vagy meg nem engedhető levezetések. Magas feszültségeknél a résmentes kiöntés az ionizációs jelenségeket is megakadályozza.

*Rögzítés* alatt azoknak a ragasztópasztaszerű gyorsan száradó és keményedő anyagoknak alkalmazását értjük, amelyeket tekercselés közben használnak nagyobb tömörség elérése céljából. A rögzítők tehát ragasztószerek, de mivel benne maradnak a tekercsekben, minden szempontból egyenrangúakknak kell lenniök az itató és telítőakkal.

*Valamennyi lakk — szolgáljon akár itatás — telítés — bevonás — kiöntés vagy rögzítés céljára, a trópusi védelemnek csak akkor felel meg, ha tisztán műgyanta és szintetikus anyagokból áll, növényi gyantát vagy olajokat nem tartalmaz.*

Nem elegendő a lakk helyes megválasztása, annak megfelelő és tökéletes felhasználása is elengedhetetlen feltétele annak, hogy a trópusi hatásoknak ellentálljon.

Megemlítem először a primitív és a technikai fejlődés miatt több évtizede túlhaladott módszereket is, mint olyanokat, amelyekről komoly eredményt nem várhatunk, — azért, mert igen sok helyen ma is azt hiszik, hogy ezek kimerítik a trópusi kikészítés fogalmát.

Ilyenek: 1. Előszárítás nélkül a tekercseket befűjják, lelocsolják szigetelőakkal és a környezet hőmérsékletén szárítják.

2. Előszárítás nélkül bemártják a gépet szigetelőakkba és szobahőmérsékleten hagyva szárítják.



Ezek az egészen kezdetleges eljárások nemesak trópusi, de mérsékelt égövi szempontból sem komolyak.

3. Helyesen a tekercseket vagy tekercselt gépet előszárítják, lakkba mártják és meleg levegő-cirkuláció mellett megszáritják, utána esetleg bevonólakkot alkalmaznak ismételt szárítással. Ez már a normális kereskedelembe kerülő mérsékelt égövi gépeknél elfogadható kezelés.

Trópusi védelmet csak teljesen korszerű vakuumítástól várhatunk, amelynek technológiai ütemezése a következő:

1. A gépet a tartányba betenni és a fedőt vagy ajtót légmentesen lezárni.

2. A fűtést bekapcsolni és a gépet 105–110°-ig felmelegíteni.

3. Vakuumszivattyút bekapcsolni, a párákat elszívni. (Vakuum max. 5 Hg 2 mm).

4. A fűtést leállítani, a gépet a tartányban kihűlni hagyni, majd a hideg gépre hideg szigetelőlakkot a tárolótartányból vákuummal átszívni és a vákuumot még egy ideig rajta hagyni. A hideg itatás két okból fontos: a) nem párologtatunk el fölöslegesen sok oldószert, b) hideg lakk agressziója a zománchuzalokból készült tekercsekre kisebb. Itatás után egy ideig még hagyjuk rajta a vákuumot, hogy magából a lakkból is evakuáljuk az abszorbeált levegőt. Azután lezárjuk a vákuumot, a tartányba fokozatosan levegőt eresztünk be. Ezután huzamosan hagyjuk a gépet a lakkban, hogy az minden pórusába behatolhasson.

5. Meg kell említeni, hogy ezt a műveletfokozatot sok helyen úgy végzik, hogy nem levegőt eresztenek a tartányba, hanem nitrogént, és annak nyomását 2–5 atmoszféráig fokozzák. Ez az úgynevezett nyomás alatt való impregnálás. Szükségességét alig lehet kimutatni, dróttöréseket, szigetelőanyag szakadásokat ellenben gyakran okoz. Ha mégis csinálja valaki, három dologra vigyázzon: a) nyomást csak nitrogénnel, semmi szín alatt ne levegővel adjon rá, b) lassan fokozva (1–2 atm.-val) adja rá a nyomást, c) zománchuzaloknál lehetőleg ne is használja ezt.

6. Ezután a lakkot visszaszívjuk a tároló tartányába vákuummal.

7. A vákuumot ismét bekapcsoljuk, hogy az itatott gépben lévő lakk oldószereinek párologtatását elősegítsük.

8. A fűtést bekapcsolni, a vákuumot megszüntetni és meleg levegő állandó és erőteljes áramoltatása mellett a lakkot teljesen kiszáritani. A hőfok a lakkgyár által megadott szárítási hőfok legyen.

Mindezekhez még a következő megjegyzéseket kell fűzni:

A vakuumítás alatt a vákuumot megszakítani nem szabad, munkaszünet e folyamat alatt nem tartható. De nemesak a vákuum teljes megszűnése, hanem annak 10–15 Hg. mm nyomás fölé való emelkedése is veszélyezteti az eredményességet. A szárításhoz viszont hő és a levegő oxigénje kell! Csak hő egyedül nem elég, ha csak nem polimerizációs lakkal itatunk. A szárításnak addig kell tartania, amíg a műgyanta a lakkban termoplaszticitását el nem veszíti és meg nem keményedik, amíg tehát a »B« állapotból »C« állapotba nem kerül, azaz

bakelizálódik. Az állapotváltozás a kondenzációs lakkoknál vízlehasadással is jár és a szárításnál még ezt is el kell párologtatni.

Megkönnyíti az eredmény elérését az, ha oly polimerizációs lakkal dolgozunk, amely teljes egészében szintétikus anyagból áll, — ezek igen jól száradnak és keményednek, még a legelrejtettebb résekben is, az impregnálás és szárítás tehát eredményesebben hajtható végre. Ezeknek a lakkoknak száradásukhoz nincs is levegőre szükségük, mint az olajlakkoknak.

A leírt lakkanyagokkal vakuumítással kezelt és jól kiszáritott, megkeményített impregnálás trópusellenállóvá teszi mindazokat az anyagokat, melyek mint lakkhordozók szerepelnek, így a preszpánt, pamut és papírszigetelést, vezetékek beszövött részét és a velük impregnált varnish csöveket.

Ha azután még egy jó szintétikus bevonólakkal kezeljük a felületeket, úgy a tudomány mai állása szerint a legjobb trópusi védelmet nyújtottuk.

A bevonólakk alkalmazása történhet különböző technológiával, befúvással, beecseteléssel vagy mártással egyaránt. Azért kell elütő színűnek lennie, hogy esetleges hiányossága látható és ellenőrizhető legyen.

Nagy tömegben impregnálandó apró alkatrészek kikészítésére megfelelő eljárás az, hogy az alkatrészeket valamilyen tartányban, ládában helyezik az impregnáló fürdőbe és ugyanebben a tartányban teszik azután a szárítószekrénybe.

A bevonólakk legtökéletesebb felrakása szintén a vákuum itatás. Ez az ú. n. kettős vakuumítás, ahol az első itató jó szigetelőképességű, nagy átütési szilárdságú, jó behatoló képességű itató és telítőlakk, a második pedig — az előbbi tökéletes kiszáritása után jó felületi ellenállású, keményre száradó, nedvességet nem szívó bevonólakk.

A trópusi veszélyek harmadik csoportjába tartoznak a rovarok és rágcsálók.

Első helyen állnak itt a trópusi hangyák, amelyeknek kb. 500 különböző fajtája ismeretes. Igen erős rágószervekkel bírnak, azonkívül valószínűleg is ronszólag hat a legtöbb anyagra, köztük még egyes fémekre is, mint pl. az ólomra. A trópusi hangyák talán a legkellemetlenebb ellenfelei a trópusi védelemmel foglalkozó technológusnak. Nagyságuk 0,5–15 mm-ig változik; védőszűrők alkalmazása tehát csak akkor hatásos, ha szitasűrűségűre készítjük.

A trópusi hangya igen jól érzi magát az elektromos készülékekben, megtalálja a legelrejtettebb részt, behatol a tekercsek huzalai közé, ahová előszerezettél rakja petéit. Megrágja a fát, papírt, ólmot, textiliákat. Az olajtartalmú lapokat nagyon szereti és részben táplálkozásra használja, részben rágási szenvedélyét elégíti ki velük.

Nincsen még pontosan kiderítve, hogy az ízét nem szeretik-e vagy a keménysége miatt kerülik, de tény, hogy a jól bakelizált szintétikus műgyanta lakkot nem szeretik és az általa védett lakkhordozókat is respektálják.

Földbe kerülő ólomkábeleket, amelyekre az ólomköpeny korrózióvédelmére bitumennel itatott



jutaréteg van tekercselve — vörösréz szalaggal kell betekercselni, ha a kábelt a trópusra szállítjuk, különben a hangyák ólomköpennyel együtt elpusztítják. Vörösrézszel szemben a hangyák tehetetlenek. Gumikábelek védelmét sűrű vörösrézdrót beszívással biztosíthatjuk.

A rácsálók közül a patkány és a vele rokonfajták azok, amelyekből a trópuson egész sereg van és amelyek a legtöbb kárt okozzák. Ezek ellen azonban a gép vagy készülék nyílásait elzáró rácozattal eléggé jól lehet védekezni, ha maga a gép burkolata fém vagy bakelit. A faburkolatok természetesen nem biztosak rácsálók ellen.

A gépekhez vagy készülékekhez vezető kábelek és vezetékek még akkor is páncélozandók, ha egyébként belsőteri alkalmazásuk miatt csak aszfaltoznók őket.

Nem tartozik szorosan a trópusi feltételekhez, de meglehetősen hasonló körülmények között szokott előfordulni a sós atmoszféra behatása által okozott károsodás. A kontaktusok elektrolitikusan korrodálnak és gondoskodni kell ennek megakadályozásáról. Az alumínium korrózióját elkerülendő,

az alumínium alkatrészeket hidronáliummal kell helyettesíteni.

Trópusi csomagolás gyanánt legtöbb helyen vagy leforrasztott bádogdobozt vagy leukoplaszt-szerű ragadós szalaggal lezárt, réteges dobozokat használnak.

A trópusállóság vizsgálata a gépeken és készülékeken igen hosszú ideig tartó, több hétre terjedő próbákat kíván. Elektromos alkatrészek vizsgálatánál, különösen a nedvességspróbáknál fontos, hogy az alkatrészekre az üzemi feszültségek rá legyenek kapcsolva és így módon az esetleges elektrolitikus korróziót is ellenőrizzük.

Megemlíthetjük még, hogy telepek és gépcsoportok szabadtéri védelmét nagyobb csordában tanyázó állatok ellen legújabbban elektromos kitérítéssel oldják meg, amely egy, az állatokat elriasztó feszültséggel töltött egyszerű sodronyszálból áll.

E rövid szemle célja, hogy termékeny kutatást indítson meg oly irányba, hogy a magyar elektrotechnikai ipar kitűnő gyártmányainak hírnevét ne veszélyeztessék esetleg olyan tényezők, mint a trópusi hangya vagy a kikötői patkány.

## Könyvszemle

Istvánffy Edvin: Mágneses anyagok és alkalmazásuk.

Nehézipari Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat,  
1950. 143. oldal, 138. ábra.

Tervszerű fejlesztés alatt álló híradástechnikai könyvkiadásunknak első lényeges eredménye e könyv megjelenése. A tartalmas és hézagpótló munka avatott szerző tollából látott napvilágot.

A híradástechnikai ipar több mint félévszázad óta egyre jobb mágneses tulajdonságokkal rendelkező és egyre kisebb súlyú lágy és kemény mágneses anyagok alkalmazását igényli. Mindkét fajta anyagból sok változat jelent meg és került felhasználásra. A fejlődés napjainkban is újabb, egymástól eltérő tulajdonságokkal rendelkező anyagokat eredményez. Az egyes céloknak megfelelő anyag kiválasztása és feldolgozása nagy körülményt és a feladatok és a rendelkezésre álló lehetőségek gondos mérlegelését teszi szükségessé.

Olyan könyv, mely főleg a híradástechnikai alkalmazás szempontjai szerint tárgyalná a mágneses anyagokat, mindezideig sem a hazai, sem a külföldi irodalomban nem állt rendelkezésünkre. A tájékozódás csak többirányú és nehezen hozzáférhető irodalom, főképp folyóiratok révén volt lehetséges. Ezt a gátló körülményt küszöböli ki a könyv megjelenése.

A könyv kimondottan a híradástechnikusokhoz szól. A szerző az anyagot 7 főrészben és 1 függelékben csoportosította. Az első »Mágneses tulajdonságok« című fejezetben közli a definíciókat, mágneses alapjelenségeket és a szükséges magyarázatokat. A tárgyalások súlypontját a Rayleigh törvény és kis átmágnesezéskor a vasmagos tekercsekben előálló vasveszteségek és azok szétválasztása képezi. A jelenségeket számpéldákkal is illusztrálja. A második rész a lágy mágneses ötvözetek fejlődésével és tulajdonságaik ismertetésével és kiértékelésével foglalkozik. A svédvasról kezdve a permalloy anyagokon túlmenően sor kerül a legújabb kifejlesztett anyagok pl. szupermalloy és ferroxcube ismertetésére is. Ez utóbbi ismertetése bővebb lehetne. A harmadik rész tárgyalja a permanens mágnesek jellemző tulajdonságait és a rájuk érvényes méretezési elveket. A negyedik részben a kemény mágneses ötvözetek fejlődését, azok tulajdonságait, alkalmazásuk módját ismerteti.

Az ötödik, a »Mágneses anyagok alkalmazása« című fejezet képezi a könyv lényegét. A jelfogóktól és távbeszélő hallgatóktól az impulzus transzformátorokig és mágneses erősítőig a mágneses anyagok minden lényeges alkalmazását (vasmagos transzformátorok, porvasmagos csévék, pupin-

csévék, mágneses árnyékolás, mágneses hangrögzítés) letárgyalja a szerző, mindenütt helyesen értékelve az egyes tárgyak fontosságát a modern híradástechnikai ipar és annak fejlődése szempontjából. Itt mutatkozik meg különösen annak előnye, hogy szerző a legtöbb lényeges témával saját elméleti vizsgálatai alapján foglalkozott.

A könyv egyik legsikerültebb részében, a hatodikban, tárgyal mágneses méréseknek nagy a jelentőségük minden olyan üzemből, vagy laboratóriumban, ahol a mágneses anyagokat szélesebb körben alkalmazzák. Úgy a tömeggyártáshoz, mint a legkényesebb típusvizsgálatokhoz, alkalmas statikus és váltóáramú módszereket részletesen ismerteti a szerző. Az utolsó, hetedik fejezetben foglalkozik a ferromágneses tulajdonságok fizikai értelmezésére irányuló újabb atomfizikai és kristálytani kutatásokkal s ezek kapcsán a magnetostríkcio jelenségével. A látszólag elméleti fejezet a vasak alkalmazására, gyártására és kezelésére vonatkozóan sok értékes gyakorlati tudnivalót tartalmaz.

A »Függelék«-ben elhelyezett anyag teljes értékű része a könyvnek. Figyelemre méltók a 128. ábra széles értékhatárai és a XI. és XII. táblázatok, melyek a használatos vasfajtákról teljes áttekintést nyújtanak. A szerző itt közli önállóan elvégzett hosszabb számításait is.

A feltüntetett irodalom nagyon hasznos és értékes szöveget utalásokat tartalmaz.

Mint a felsorolásból látható, a könyv igen nagy anyagot gyűjt össze rendkívül tömören, kis helyen. Ez, mint az előszóból kiderül, határozott törekvése volt a szerzőnek, egyrészt a könyv árának csökkentése, másrészt a könyv könnyebb kezelhetősége végett. Ez a tömörség bizonyos hátránnyal is jár. Nevezetesen a szerző a teljes tájékozottság birtokában többször olyan értékeléseket és következtetéseket kíván meg az olvasótól, ami a könyv első áttanulmányozásakor megnehezíti az olvasó munkáját. A könyvvel való beható foglalkozás után azonban a sokszor bonyolult vasmag problémákban mindenkor határozott útbaigazítást és felvilágosítást fogunk kapni.

A rövid előállítási idő és a rendkívül olcsó ár ellenére, néhány sajtóhibát nem tekintve, a könyv elsőrendű nyomdai munkáról tanúskodik. A finom papíron a bőségesen alkalmazott grafikonok és fényképek nagyon jól érvényesülnek. Tárgymutató készítése a szerzőtől nyert értékelés szerint a sürgősen beosztott nyomdai munkák miatt, kivihetetlen lett volna.

Véleményünk szerint a könyv egyetlen képzett híradástechnikus kézikönyvtárából sem hiányozhat.

Peres Tibor



# A radar népszerű ismertetése

A. I. BERG akadémikus

Folytatás.

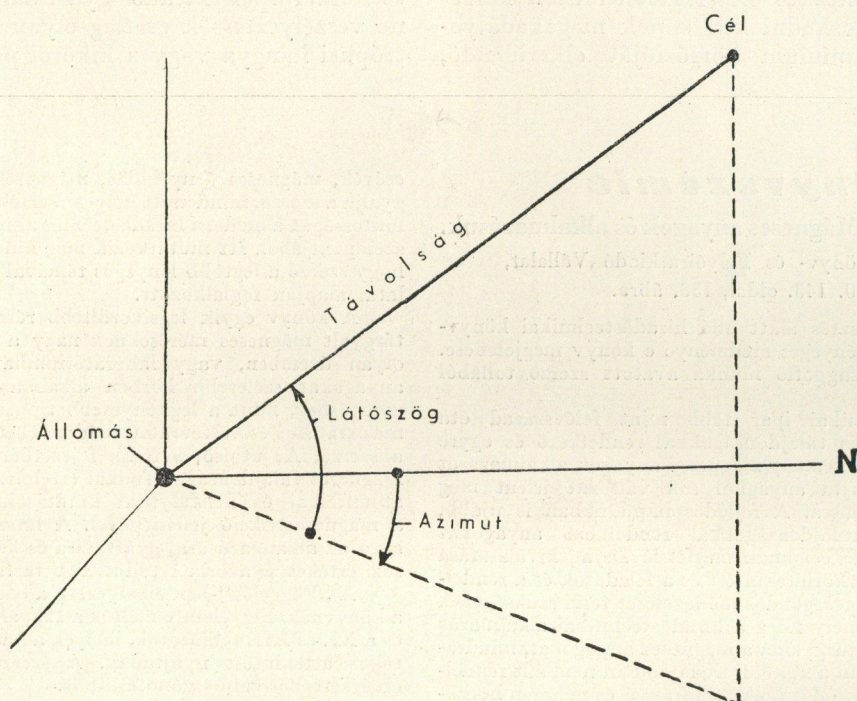
A távolságon kívül, a repülőgép helyzetének meghatározása céljából, még két szöget szükséges meghatározni: egyet a függőleges síkban — a gép látószögét (a repülőgéphez vezető egyenes és a horizont síkja által bezárt szöget); a másikat vízszintes síkban — az úgynevezett azimutot (4. ábra.)

A radarállomás felvevő-antennája, éppúgy mint a leadója, meghatározott irányú működést fejt ki, azaz a jelzéseket főleg egy irányból fogja fel. A legjobb vétel iránya rendszeren egybeesik a leadó antenna maximális kibocsátásának irányával. Gyakran mindkét antennát, amennyiben a kisugárzó működésnél felváltva dolgoznak, egyetlen leadó-felvevő antennában egyesítik.

a szögek 0,1 fok sőt még ennél nagyobb pontossággal történő meghatározását.

Más mód is van a cél koordinátáinak meghatározására. Ezt kerek látómezőjű forgóantennás radarállomásokon alkalmazzák.

Ezen állomásokon az antenna, amely állandóan és gyorsan forog, a keskeny rádióhullámsugárral átkutatja az állomás helye feletti egész félgömböt. A katódsugárcső ernyőjén a jelzést most másképpen kapjuk meg mint az előbb. A távolsági skála, amely közönséges ernyőn vízszintes egyenes képében mozdulatlanul áll, a kerek látómezőjű állomásokon kerek ernyőn mozog, mint az órán a mutató. A mutató forgási sebessége ugyanaz, mint a radar-



4. ábra.

A cél helyzetét a levegőben három koordináta határozza meg: a távolság, a látószög és az azimut.

Azalatt az idő alatt, míg a rádióhullámok a repülőgépig és vissza érkeznek, még a leggyorsabb repülőgép sem változtatja meg helyét lényegesen. Ezért a repülőgép helyzetét — nagyobb hiba nélkül — a repülőgép által visszavert sugárnak a vízszintes síkkal, illetve a visszavert sugárnak a meridián síkjával alkotott szöge határozza meg.

E szögek meghatározására néha két katódsugárcsövet használnak: egyiket a függőleges szög — a másikat a vízszintes szög meghatározására. Az antennának a függőleges és vízszintes síkban való forgatásával megkaphatják mindkét csövön a jelzések maximális értékét. Amikor ezt elérték, az antenna pontosan a repülőgépre irányul. Most csak le kell olvasni a két szöget az antennára szerelt szögmérőkről. Különleges eljárások lehetővé teszik

állomás antennájáé. Más szavakkal kifejezve, az antenna és a távolságskála szinkron forgást végeznek.

Az ilyen skála beosztásának kezdőpontja az ernyő közepén van. A leolvasáshoz a köralakú ernyőt koncentrikus körökkel látják el.

Mivel a távolságskála »mutatója« állandóan forog, a tárgy jelzései kis ívekben jelentkeznek. Az íveknek a kör középpontjától mért távolsága megfelel a cél távolságának, az ívdarabok felezési pontját a skála középpontjával összekötő egyenes pedig megadja a cél irányát.

Ilyen állomások lehetővé teszik, hogy a megfigyelő a védelmi körzet egész légitérét »lássá«. A kerek ernyőn ívjelzések alakjában a levegőben tartózkodó összes repülőgépek »láthatók«; a jel-



zések kölcsönös helyzete meghatározott lépték arányában pontosan megfelel a repülőgépek tényleges helyzetének és távolságának.

Még a saját repülőgépeket is meg lehet különböztetni az idegen gépektől. E célból a saját repülőgépekre különleges műszert szerelnek fel. Ez egy kis rádióállomás, amely a repülőgép felfedezésekor meghatározott jeleket ad le, amelyeket a radar felvevője felfog. E jelzés következtében a saját repülőgépek jelzése más alakot mutat az ernyőn, mint az ellenséges repülőgépekről kapott jelzés.

Az általunk leírt radarállomások működésének alapelvei igen elmések és egyszerűek. Ezeknek az elveknek gyakorlati megvalósítása azonban, olyan készülékek kivitelezése, melyek kielégítik a megbízható működés, valamint a kényelmes, kisméretű

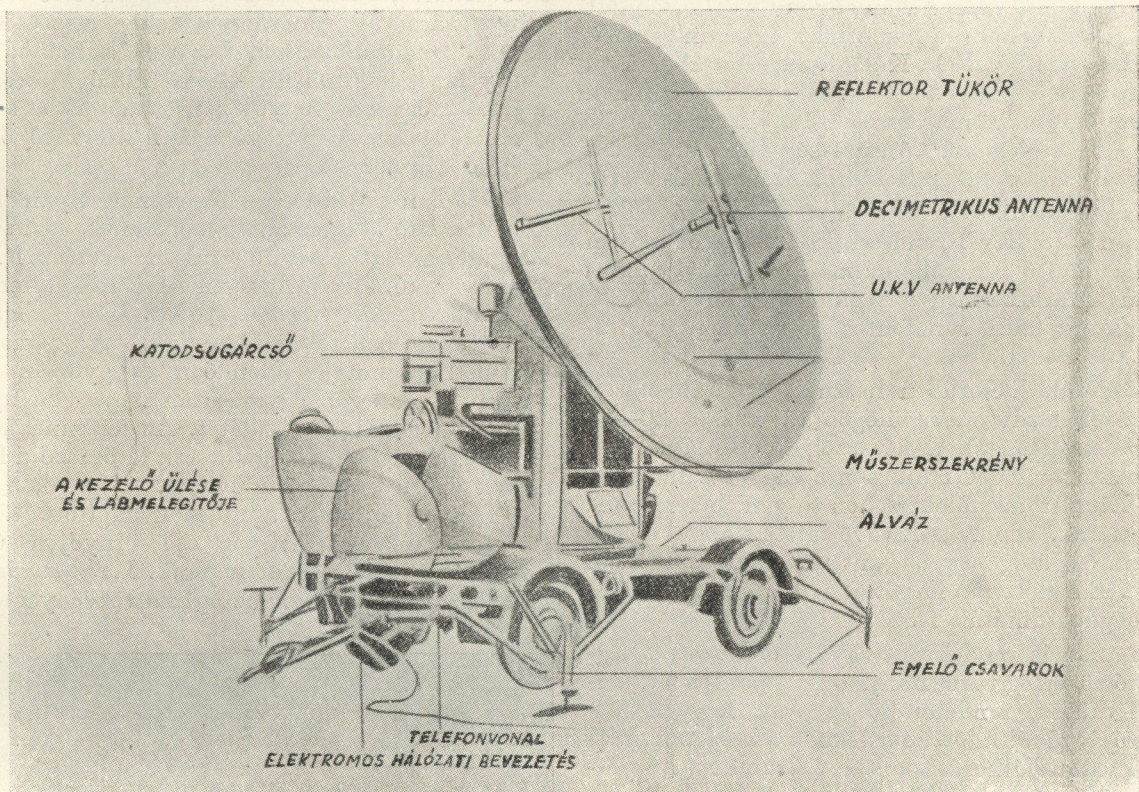
transzformátoroknak stb.) igen jó minőségűeknek kell lenni.

Mindez jellemző képet ad a radartechnika bonyolultságáról, amely csak a legélenjáróbb tudomány és a legjobban megszervezett ipar segítségével fejlődhet ki.

#### A radartechnika által megoldott feladatok

Az első radarállomások csak egy feladatot oldottak meg — a repülőgépek távfelderítését. Előre jelezték a megvédendő területek felé repülő gépek megjelenését, még akkor is ha ezeket a repülőgépeket a földi megfigyelők nem láthatták (például ha a repülőgépek felhők felett, éjjel stb. repültek.)

Később a radarállomások széleskörű alkalmazást nyertek a légierő és a haditengerészet légvédelménél.



5. ábra. Légvédelmi ágyúkat irányító német állomás, »Würzburg«. Hasonló típusú radarállomásokat a többi országok hadseregei is alkalmaztak láthatatlan célpontokra történő tüzelés irányítására.

és súlyú berendezések alkalmazásának szigorú követelményeit, nehéz feladat.

A radarállomás felszereléséhez több tucat, vagy több száz igen komplikált, különféle típusú elektroncső szükséges, amelyeket a leadó, felvevő, az erősítő, mérő és ellenőrző műszerek, azonkívül különféle segédberendezések munkájához alkalmaznak. Tökéletes elektromos és mechanikai energiaforrásokra, belső égésű motorokra van szükség. A komplikált antennarendszernek könnyen kell forognia függőleges és vízszintes síkban, amelyhez tartós és rendkívül pontosan működő elektromos hajtószerkezet szükséges. Az ultrarövid rádióhullámokkal történő munka a berendezésben igen sok speciális anyagot igényel. A radarállomásoknál használt összes alkatrészeknek (ellenállásoknak, kondenzátoroknak,

A légi baderő és a légelhárítás közötti küzdelem már régóta — a két fegyvernem születése óta — tart. A második világháború kezdetén a hadi repülőgépek olyan nagy sebességeket értek el és oly magasan tudtak repülni, hogy felderítésükhöz a hangtani és optikai eszközök elégtelennek bizonyultak. A fejünk felett 5—6 km-nél magasabban szálló repülőgépet még napfényben sem könnyű felfedezni, 10—15 km távolságban pedig kézitávcsővel is igen nehéz megtalálni. Éjjel, ködben, ha a gép felhők felett repül, az optikai felderítő eszközök tehetetlenek. Rossz látási viszonyok közt fel lehet deríteni a repülőgépeket a hangjuk — motorjaik zúgása alapján. Ezen a módon azonban nem sikerül elég pontosan meghatározni a repülőgép irányát. A repülőgépek sebességének növekedésével a hang-



tani felderítő eszközök elvesztették jelentőségüket. Ha a repülőgép sebessége megközelíti a hang sebességét, a motor zaja túl későn érkezik a megfigyelő füléhez.

Gyökeresen megváltozott a helyzet a légvédelemben, amikor megjelentek a felderítő radarállomások. Zuhanóbombázók támadásának meglepetésszerűsége és ennek komoly előnye megszűnt. A védelem vadászgépeinek sikerült idejében kellő magasságra felszállni, és a védelmi körzeten kívül szembeszállni az ellenféllel. Az idejében figyelmeztetett léghárító tüzéség, ismerve a szabadszemmel nem látható ellenfél koordinátáit, sokkal sikeresebben tudott tüzelni.

A radartechnika fejlődésének kezdetén mindazokat a feladatokat ugyanazok a radarállomások oldották meg. De már néhány év múlva elkezdődött a radarkészülékek specializálása aszerint, hogy milyen célra szolgáltak. Különleges radarállomások létesültek a távfelderítésre, mások a vadászgépeknek az ellenségre történő rávezetésére, harmadik féle készülékek a léghárító tüzéség tüzéinek, ismét mások a szárazföldi reflektorok irányítására stb.

A léghárító tüzéség irányítását célzó radarállomásnak (5. ábra) rendszeren kisebb hatóköre van mint a felderítő radarállomásnak, de sokkal pontosabban határozza meg a repülőgépek helyzetének koordinátáit (ami igen fontos a repülőgépre irányuló tüzelésnél).

Az elmúlt háborúban használt radarállomások 30 km-ről kezdve a repülőgép távolságát 20—25 méter pontossággal, a két szög koordináta meghatározását pedig 0,1 fok pontossággal határozták meg. Ezeken az állomásokon olyan berendezést alkalmaztak, amely lehetővé tette, hogy a felfedezett repülőgépet az antenna automatikusan kísérje. Emellett automatikusan határozták meg a gép szögkoordinátáit is.

Az állomás rendszerint együtt dolgozott a léghárító tüzéség tüzet irányító igen pontos műszerrel. E műszer rendeltetése az volt, hogy a léghárító ágyúból kilőtt lövedéknek a mozgó repülőgéppel való találkozási pontját kiszámítsa. A gyorsan repülő gép eltalálása céljából az ágyúk nem egyenesen a célpontba lőnek, hanem a repülőgép haladási irányában valamely az előtt fekvő pontba. A léghárító tüzet irányító műszerek ezt a feladatot nagyon pontosan oldják meg és a léghárító ágyúkat automatikusan irányítják az elméletileg kiszámított pontra. A radarállomások lehetővé téve a pontos tüzelést még nem látható célpontokra is, jelentékenyen növelték a léghárító tüzéség hatosságát.

Sikeresebb lett a vadászgépek harca is a bombázó légierővel. A földi radarállomásokon tartózkodó megfigyelők, látva az ernyőn saját vadászgépeik és az ellenséges bombázók helyzetét, az adatokat közölték rádióon saját vadászgépeikkel, mindaddig, amíg a vadászgépek nem közelítették meg a bombázókat néhány kilométerre. Ettől a pillanattól kezdve a vadászgépek saját radarkészülékeiket kapcsolták be, amelyeknek kis hatáskörük volt és ezek segítségével kutatták fel és támadták meg az ellenséget.

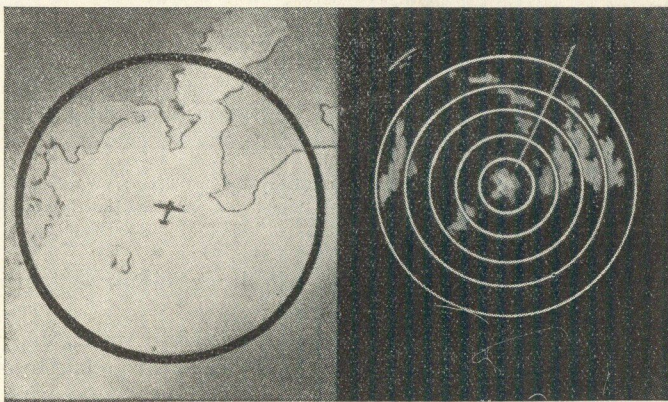
A radarkészülékek ilyen sikeres alkalmazást találván a légvédelemben, később a bombázó légierő támadásában is alkalmazást nyertek.

A sikeres bombázórepülés elérése céljából mindenekelőtt a repülőgépeket a kijelölt körzetbe kell vezetni. Aztán meg kell találni e körzetben a bomba ledobásának célpontját és végül pontosan ledobni a bombát. Nem oly egyszerű a bomba ledobása a különálló célpontokra, amelyek az ellenséges területen mélyen bent vannak, ha a szokásos repülési műszerekkel dolgozunk. Például szolgálhat erre az angol légihaderő nyolcszoros sikertelen kísérlete az elmúlt háború folyamán, hogy megtalálja és bombázza Wilhelmshafen német hadikikötőt.

A bombázórepülések nagyobb sikerrel jártak attól kezdve, amikor a repülőgép távolról történő irányítására új radarkészülékeket vezettek be. A földi radarállomások, követve a bombázókat, amelyek a levegőben voltak, rádióval közölték velük tartózkodási helyük pontos adatait és segítettek nekik az elsötített körzetben a levegőből nem látható cél elérésében.

1943-ban kezdtek a légierőnél olyan radarkészülékeket alkalmazni, amelyeknek segítségével a repülőgép alatt elterülő terület képét látni lehetett az ernyőn. (6. ábra). Az ilyen állomásokat, amelyek a repülőgép alatti terület áttekintésére szolgálnak, panorámakészülékeknek hívják. A panorámakészülék antennája állandóan és gyorsan forog, vékony sugarával egymásután »megvilágítja« a repülőgép alatti földfelületet. Az antennával egyidejűleg (szinkron) forog a kerek látómezőjű katód-sugárcső ernyőjén az idővonal.

A rádióhullámok által megvilágított tárgyak természetétől függően, a cső ernyőjén több-kevesebb éles jelzéseket kapunk. Ha a sugár síma vízfelületre esik, akkor az optika törvényei szerint



6. ábra.

\* Balról a vidék, amely felett a repülőgép repül. Jobbra a vidék képe a panoráma-radarállomás ernyőjén.

— a beesési szög egyenlő a visszaverődési szöggel — verődik vissza. Ebben az esetben a visszavert sugár egyáltalán nem jut vissza a repülőgépre és a katód-sugárcső ernyőjén a megfelelő helyen fekete folt jelentkezik. A tengerek felszíne, a folyók és tavak ilyen fekete foltokat mutatnak.



Ha a sugár várost vagy mondjuk a tengeren hajót ér, akkor aránylag nagyobb energia verődik vissza a repülőgéphez: a katódsugárcső ernyőjén világos fényfolt jelenik meg. Éppen ilyen éles foltokat adnak a hegyek csúcsai és oldalai. Végül, ha a sugár erdőbe, mezőbe, vagyis közbeeső visszaverő sajátságokkal rendelkező közegbe ütközik, ekkor az ernyő megfelelő része gyengébben fog világítani.

Mivel a radarsugár közben átvizsgálja a repülőgép alatti egész területet, katódsugárcső ernyőjén megjelennek a repülőgép alatt elterülő vízmedencék, városok körvonalai és a terület egyéb sajátosságai. Különösen élesen kirajzolódnak a tengerek, tavak vagy folyók partvonalai, a szigetek és a vízen úszó hajók.

Természetes, hogy a katódsugár ernyőjén a kép bizonyos torzítással jelenik meg, mivel a földi felületek az elektromágneses energiát különbözően verik vissza — az elektromos sajátságaiktól, alakjuktól, valamint a rájuk eső sugárhoz viszonyított helyzetüktől függően. Ez a kép azonban elég ahhoz, hogy a legnehezebb látásviszonyok közt is pontosan tájékozódjunk azon körzetben, amely felett a repülőgép elszáll.

Ily módon a radartechnika megváltoztatta a két ellenfél — a légvédelem és a bombázó légierő — harcmodorát.

Nem kevésbé fontos szerepe volt a radarnak a tengeri flottánál.

A tengeren a hajóknak, miként a levegőben a repülőgépeknek, mindenekelőtt pontosan ismerniük kell a saját tartózkodási helyüket. Hosszú, a partoktól távoli hajózáskor rossz időben, erős hullámozásnál, ez egyáltalán nem könnyű feladat, még megbízható hajózási műszerekkel sem. A hajó tartózkodási helyének pontos meghatározása céljából a kormányosok rendszeren csillagászati megfigyelésekre támaszkodnak. Ez azonban csak tiszta időben lehetséges. A radartechnika ellátta a flottát új hajózási eszközökkel, amelyek bármilyen körülmények között lehetőséget adnak a tartózkodási hely pontos meghatározására.

Átkelésnél vagy egész hajóraj hadmozdulatainál, a radartechnika lehetővé teszi, hogy a hajók ne ütközzenek össze és pontosan megtartsák helyüket az alakzatban akkor is, ha teljes sötétségben és eloltott lámpák mellett nem is látják egymást.

A hajókra szerelt felderítő radarállomások »jelentik« az ellenfél repülőgépeinek és hajóinak megjelenését. Sőt: a radarkészülékek segítenek a tűzvezetésben, mégha a célpont nem is látható. A tengeri harcban lehetővé vált a lövést a vízoszlopokról visszavert impulzusok nyomán korrigálni, amelyek a nagy lövedékek vízbeesésekor emelkednek fel. A radar pontosan megmutatja, hogy hol tartózkodik az ellenséges hajó és hová esnek a lövedékek.

A füstfüggönyök megszűntek biztos takaróul szolgálni a hajóknak, mivel a rádióhullám áthatol a füstön. Éppúgy nem menti meg a hajót a felfedezéstől az álcázás sem.

Könnyebb lett egyúttal a partvédelmi flotta harca is. A parton levő hajók észrevétlen megközelítése kizárt dolog, ha ott radarállomás van

felszerelve. A légierő könnyebben megtalálja a tengeri célpontokat és még a felhőkön át is pontosan ledobhatja bombáit a hajókra.

A háború elején a radar alkalmazása sokak részére új és szokatlan volt. Az, aki az új technika lehetőségeit nem értékelte kellő módon, keservesen megsiratta tévedését.

Az első leckét az olaszok kapták a Matapan-foki vereségnél 1941 márciusában.

Az angol hajóraj, az angol flottánál éppen akkor bevezetett készülékek segítségével, éjjel észrevétlenül megközelítette az olasz hajórajt és rövid távolságról tüzet nyitott. Egy angol sorhajó első fedélzeti sortüze alkalmával hat lövedék irányult az olasz hajóra és a hat lövés közül öt talált. Ez a jellemző példa azt mutatja, hogy radar segítségével milyen pontosan meg lehet határozni a tengeri célpontok távolságát és azimutját.

Az angolok támadása csak azért sikerült, mivel az olaszok, nem lévén radarkészülékük, nem gyanították a készülő támadást. Amikor az olasz hajórajt néhány másodperccel a tűzmegnyitás után a támadó hajók reflektorai közelről hirtelen megvilágították, kiderült, hogy az olasz hajók ágyúinak csöve nem az angolok oldalába, hanem a hajók orra és fara felé irányul. A technikában való elmaradásukért az olaszok több cirkáló és aknalerakó hajó elvesztésével fizettek.

A japánok pearlharbori (az amerikai flottafőbázisa a Csendes-óceánban a Hawai-szigeteken) támadása idején 1941 decemberében, az USA hadereje már rendelkezett radarállomásokkal. Az amerikai tisztek azonban bizalmatlanok voltak az új technikával szemben. Bár a radarkészülékek felfedezték, hogy ismeretlen repülőgépek tartanak Pearl-Harbor felé, s erről még idejében jelentést küldtek az ügyeletes tisztnak, ezt az értesítést nem vették figyelembe és a japán légierő meglepetésszerűen rajtaütött az amerikaiakon. A következményeket ismerjük: a japánoknak sikerült sok amerikai hajót elsüllyeszteni és megrongálni.

Rendkívül jelentősége van a radartechnikának a tengeralattjárók elleni harcban. A német tengeralattjárók annyi angol hajót süllyesztettek el, hogy 1943-ban Anglia komoly blokádvesztély előtt állt. Az angolok a radar segítségével próbáltak harcolni a német tengeralattjárók ellen.

A háború elején az angolok a tengeralattjárók felfedezése céljából félméteres hullámon dolgozó radarállomásokat alkalmaztak. 1942 tavaszán egy lelőtt repülőgépről egy ilyen típusú radarkészülék a németek kezébe került. Tudva, hogy az angol repülőgépek a tengeralattjárókat ilyen radarkészülékek segítségével fedezik fel, a németek elhatározták, hogy tengeralattjáróikat olyan speciális rádióvevőkkel szerelik fel, amelyek jelzik a félméteresrádióhullámokat a tengeralattjárókon. Ezen vevők segítségével a tengeralattjáróknak sikerült idejében alámerülni és a repülőgépek támadása elől elmenekülni. A lemerült tengeralattjárót a radarkészülék nem tudja felfedezni, mivel a víz visszaveri a rádióhullámokat.

Ez addig tartott, amíg az angolok és amerikaiak a tengeralattjárók kutatására új radarkészülékeket kezdtek felszerelni a repülőgépeikre, amelyek 10



cm-es hullámmal dolgoztak. A félméteres vevőkészülékek nem reagáltak a 10 cm-es felderítő készülékek hullámaira. A németek ezáltal elvesztették a veszélyjelzés fontos eszközét.

Mi csak néhány példáját említettük a radar-technika alkalmazásának az elmúlt világháború idejéből. Ezek megvilágítják a radartechnika szerepét a légvédelmi, légi és tengeri műveleteknél.

### Harc a radar ellen

Várható volt, hogy olyan hatalmas eszköz mint a radar, nem alkalmazható sokáig energikus ellenhatás nélkül. Hamarosan kidolgozták a radar elleni harc különféle módszereit.

Így jött létre a »radarháború«. Ez a küzdelem arra irányult, hogy a saját radarállomások minél sikeresebben működjenek, az ellenséges radar-készülékek pedig megbénuljanak.

Ebben a küzdelemben rendkívül fontos volt a gyors előrehaladás, az ellenfél megelőzése és állandó tájékoztatatlanságban tartása. A tudósok, a tudomány harca volt ez. Az ipar háborúja, amelynek a leg-rövidebb idő alatt minden új készüléket meg kellett teremtenie és sorozatban gyártania. A szervezők háborúja volt ez, akik állandóan változtatták a berendezésekkel összefüggő munkamódszereket. Végül az emberek háborúja volt, több tízezer emberé, akik közvetlenül vettek részt a berendezések harcában.

A radarműszerek működési elvei sok sebezhető pontot rejtenek magukban.

A hullámoknak aránylag messze levő és nem nagy tárgytól való visszaverődésére igen nagy teljesítményű hullámimpulzusok szükségesek. A radarállomások, amelyek igen erős impulzusokat bocsátanak ki, nagyobb távolságból felfedezhetők, mint a maximális távolság, ahonnan az állomás felfedezi a visszaverő tárgyat.

Itt ismét visszatérünk a fényreflektorok analógiájához. Hasonló módon, mint ahogy a reflektor-kezelő, aki a célt a sötétben megvilágítja és láthatóvá teszi, a radarállomás kezelője is kiküldi a rádió-hullámokat a cél felé és a katódsugáreső ernyőjén megfigyeli visszaverődésüket. A megvilágított tárgyra mindkét esetben sokkal több energia jut mint amennyi visszatér a megfigyelőhöz visszaverődés után. Ezért az a távolság, ahonnan a tárgy észreveszi megvilágítását, jelentősen nagyobb, mint a maximális távolság, amelyről megbízható visszaverődési jelzés fogható fel.

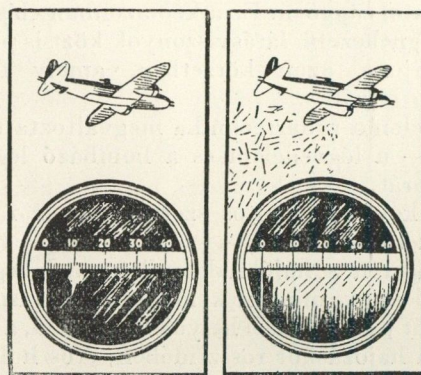
A reflektor a fény bekapcsolásakor rögtön elárulja magát; a helye a fény irányából könnyen meghatározható. Éppenígy a radarállomás is állandó működésnél felfedi magát. Tartózkodási helye könnyen megállapítható, ha két különböző, egymástól bizonyos távolságban levő pontban felfedjük jelzéseit, és a jelzések érkezésének irányában a két pontból a térképen egyeneseket húzunk.

A radar gyöngye pontja, hogy a legtöbb célpontról gyöngén verődnek vissza a hullámok. Az energiának csak elenyésző része tér vissza az állomásra, a vevőkészülékhez. Éppenígy, mint a szikláról visszaverődő hang is sokszor gyöngébb az eredeti kiáltásnál. Ezért már gyöngye zaj is elég ahhoz, hogy a visszhangot elnyomja.

A radarállomásra visszatérő visszavert hullámokat is le lehet tompítani. Ehhez az kell, hogy a radar által keresett célpont (repülőgép, hajó) rádióleadóval legyen felszerelve, amely túl tudja harsogni a visszavert jelzéseket. A zavaró állomásnak természetesen az ellenfél radarállomásának működési hullámhosszán kell dolgoznia.

Végül a radarállomások hiányossága az is, hogy radar segítségével nem lehet a célpontok jellegét megkülönböztetni. Teljesen különböző tárgyak, miután a rádióhullámokat egyformán verik vissza, igen hasonló jelzéseket adnak a radarkészülékek ernyőjén. Például vékony fémmelel bevont szalagok (alumíniumfóliával borított papír), amelynek hossza a radarállomás hullámhosszának a fele, igen erős képet adnak az állomás ernyőjén. A repülőgépről ledobott néhány ezer ilyen fémmelel borított szalag olyan képet ad, mint két bombázógép, sőt egészen »bevilágítja« az ernyőt (7. ábra).

Ily módon látjuk, hogy a radarállomás működése



7. ábra.

A radarkészülék elleni védekezés. Balra — a radarállomás ernyője. Látható a kibocsátott impulzus visszaverődése a 20–30 km távolságban repülő gépről. Jobbra — ugyanez az ernyő akkor, amikor a felfedezett repülőgépről fémmelel bevont szalagokat dobnak le. A szalagról visszavert hullámok elfedik az egész ernyőt és megakadályozzák a repülőgépről visszavert hullám megkülönböztetését.

felfedezhető, a kibocsátott hullámait le mérhetők, az állomás helye megállapítható, működése elnyomható vagy megnehezíthető. Végül készíthetők különleges, álcázott célpontok, amelyek a rádióhullámokat jól visszaverik és ezáltal az állomás kezelőjét tévedésbe ejtik.

Az első komoly leckét ilyen viszonylatban az angolok kapták 1942 februárjában, amikor két nagy német hadihajó a »Scharnhorst« és a »Gneisenau« Brestből kitört és hosszú órákon keresztül észrevétlenül haladt, annak ellenére, hogy az angol partvédelmi és légi radarállomások minden igyekezetükkel fel akarták fedezni őket. Erre a műveletekre a németek sokáig készültek és kiismerve az angol radarállomások működését, váratlanul olyan rádiózavarokat okoztak a hadihajók kitörése idején, hogy a valóságban az angol radarmegfigyelő állomások egész rendszerét megbénították.

De a németek is nagy hibákat követtek el. Így például abban a hitben, hogy a háborút gyorsan befejezik, igen korán szabványosították az általuk használt néhány radarkészülék típusát és két év alatt (a francia vereség után) lényegében semmit sem változtattak rajtuk. Ez a német stratégiának ismét egyik végzetes hibája volt, mivel a Német-



ország ellen harcoló országoknak időt adott arra, hogy a változatlan német radarrendszerrel szemben hatásos harcmodort dolgozzanak ki és alkalmazzanak.

Ezek az eljárások lényegükben két módszerre vezethetők vissza: a német radarállomások aktív zavarásának kidolgozása és a repülőgépekről nagy mennyiségű fémfelborított szalagok ledobása (passzív zavarás). A nagy hadműveletek idején mindkét módszert egyidejűleg és gyakran alkalmazták. Ezzel igen sok német radarállomás működése megbénult.

Végül a németek, mikor rájöttek, hogy radar-technikájuk alacsonyabb műszaki színvonalon van, mint a Németország ellen harcoló országoké, lázasan erőltetni kezdték a kutatási munkálatokat. Így sem sikerült azonban a háború végéig behozni az elvesztett időt. A Szovjet Hadsereg támadása arra kényszerítette a németeket, hogy tudományos kutató laboratóriumokat és intézeteiket sietve kiürítsék és radariparukat áttelepítsék, ami nem adott lehetőséget új mintájú készülékek kidolgozására és azok gyártásának bevezetésére.

Amint láttuk, a németek nagy sikerrel harcoltak az angoloknak és amerikaiaknak a német tengeralattjárók felderítésére irányuló kísérletei ellen. Itt megint azt a radarélcázási eljárást alkalmazták, hogy álcélpontokat létesítettek, amelyeket a tengeralattjárókkal szórattak el. Az álcélpontot úgy szerkesztették, hogy a róla visszavert jelzés sokkal erősebb volt mint magának a tengeralattjárónak jelzése. Az angol-amerikai felderítő repülőgépek radarkészülékek segítségével fedezték fel ezeket az álcélpontokat, mialatt az igazi célpont — a tengeralattjáró — észrevétlenül tovament. Ismeretes az az eset, amikor egy torpedórombolót akkor torpedózott meg a tengeralattjáró, amikor egy ilyen álcélpontot üldözött.

Így az újfajta fegyver — a radar — fejlődése új harcmodor megjelenését vonta maga után — a radarháborút.

## Befejezés

A radartechnikát, amely a háború idején nagy fejlődést ért el, nagymértékben alkalmazzák békés viszonyok között is.

A repülőgépek nagy távolságra történő repülésénél, a »vak« leszállásnál, éjjel és ködben, jelenkényen könnyebb az irányítás radarkészülékek felhasználásával.

A tengeri hajók útja, rossz látási körülmények között, sokkal veszélytelenebb, ha a hajón radarkészülék van, amely előre figyelmeztet más hajókkal való összeütközés lehetőségére, vagy jelzi a part közelségét.

A sarki tengereken radar segítségével el lehet kerülni, hogy a hajók összeütközzenek úszó jéghegyekkel.

A radar, mint pontos távolságmeghatározó eszköz, alkalmazást talál a földrajzi és csillagászati kutatásoknál is. A radar segítségével határozzák meg pl. a felhők magasságát a föld légkörének különböző rétegeiben.

Mandelstein és Papalekszi szovjet tudósok még 1942-ben elméleti számításokat végeztek, amelyek igazolták, hogy a rádiótechnika mai állása mellett olyan erős rádiójelzést lehet küldeni a Holdra, hogy a róla visszaverődő rádióvisszhang a Földet elérje és a rádióvevők felfogják.

Nem is régen, 1946-ban, végezték a Hold távolságának gyakorlatilag történő megmérését.

Erre a célra különleges radarkészüléket készítettek és sugarát a Holdra irányították. Mintegy 2,5 másodperc múlva a műszerek regisztrálják a rádióhullámok megérkezését, melyeket a Hold visszavert. A Föld és a Hold közötti távolság eszerint 385 000 km, amit a csillagászati meghatározásból ismerünk.

A Szovjetunió — a rádió szü őfeje — igen sokat tett a rádiótechnika legérdekesebb részének — a radartechnikának fejlődése érdekében is. A szovjet kutatók sikerrel folytatják a nagy orosz tudós, Popov, és távoli elődje, Lomonoszov munkásságát, akik lerakták az elektromosságtan alapjait.

## Könyvszemle

### J. Sz. Ichoki : Impulzus-technika.

»Szovjetszkoje Radio« kiadása, Moszkva, 1949.

A kb. 300 oldalas kézikönyv a szerzőnek a Szövetségi Energetikai Tanintézet mérnöki továbbképző fakultásán 1947—48. években tartott tanfolyama alapján készült. A könyv az impulzustechnika legjellemzőbb folyamatainak elemzését és elméleti megvilágítását tartalmazza és kevesebb súlyt fektet az impulzustechnikai elemek és berendezések enciklopedikus ismertetésére.

Ilyen értelemben különös figyelmet szentel azoknak a kérdéseknek, amelyek az impulzusok keltésével, alakításával és transzformációjával, valamint a nagyfrekvenciás generátorok impulzusmodulációjával foglalkoznak.

A könyv 8 részből (42 fejezetből) áll, melyek címei:

I. Impulzusszerű elektromotoros erők hatása lineáris rendszerekre.

II. Impulzusok átalakítása lineáris hálózatok segítségével.

III. Impulzusok alakítása (keltése).

IV. Nagyfrekvenciás rezgések impulzus-modulációja.

V. Nagyteljesítményű moduláló impulzusok keltése.

VI. Kapcsoló elemek típusai.

VII. Impulzusmodulátorok típusai.

VIII. Néhány rádió-lokátorállomás modulátorának ismertetése.

A tárgyalási mód mindenütt elméletileg megalapozott kvantitatív jellegű és szorosan a gyakorlati alkalmazásra utal.

A tömör tárgyalási mód igen értékes tulajdonsága a könyvnek. Ez teszi lehetővé, hogy az aránylag kis terjedelem mellett az impulzustechnikát lényegében kimerít. A tárgy mindinkább növekvő fontosságára való tekintettel idősebbeknek látszik ilyen természetű könyv magyar nyelven való kiadása. Az ismertetett könyv e célra mindenképpen alkalmasnak mutatkozik.

Korodi Albert



## 1. Elektromos vezetőképesség, Termisztor

Az egyes anyagok fajlagos elektromos vezetőképessége szobahőmérsékleten  $10^{-22}$  és  $10^6$  ohm $^{-1}$  cm $^{-1}$  között van. Régebben félvezetőknek nevezték ezen anyagok közül mindazokat, melyeknek fajlagos vezetőképessége  $10^{-12}$  és  $10^3$  ohm $^{-1}$  cm $^{-1}$  közé esett és így mintegy átmenetet képeztek a jól vezető fémek és a jó szigetelők között. Így ide sorolták be az egyes rosszul vezető, kémiaiilag rosszul definiált anyagokat (fát, spárgát stb.) is és azokat az anyagokat is, amelyekben a vezetést ionok okozzák. Ma már a félvezető szónak a jelentése korlátozódott. A fenti fajlagos vezetőképesség határok közé eső anyagok közül csak azokat nevezzük félvezetőknek, melyekben az áramot elektronok vezetik.

Hogyan vezetik az elektronok az áramot a klasszikus fizika elképzelése szerint? Az  $e$ -töltésű és  $m$  tömegű elektronnra hasson  $E$  elektromos térerősség. Így a rá ható erő  $e \cdot E$ , ami  $e \cdot E/m$  állandó gyorsulást okoz. Az elektron sebessége ekkora gyorsulással növekszik mindaddig, míg az elektron ütközést nem szenved. Mondjuk, következzen be az ütközés átlagosan  $t$  időnként.  $t$  idő elteltével az elektron sebessége  $e \cdot E/m \cdot t$  értékkel növekedett meg. Mekkora közepes sebességet fog ez jelenteni? Az egyenletesen gyorsuló mozgás törvényei ( $v = a \cdot t$ ,  $s = a \cdot t^2/2 = v \cdot t/2 = v_{\text{közepes}} \cdot t$ ) szerint ez közepesen  $e \cdot E \cdot t/2m = v \cdot E$  sebességnek felel meg. Ezen természetesen azt kell érteni, hogy eredetileg az elektronok sebességei a legkülönbözőbb nagyságúak és irányúak voltak és egymást úgy kompenzálták ki, hogy nem volt áram. Most azonban az egy köbcentiméterben levő  $n$  darab elektron mindegyike az eredeti mozgásához képest  $E \cdot v$  sebességgel mozog az elektromos erő tér irányában. Mindegyik elektron tehát  $e$  töltést szállít  $E \cdot v$  sebességgel és így az 1 cm $^2$ -en keresztül folyó áram

$$i = n \cdot e \cdot v \cdot E = \sigma \cdot E$$

Innen a  $\sigma$  fajlagos vezetőképesség:

$$\sigma = n \cdot e \cdot v$$

Ebben a kifejezésben  $e$  az elektron töltése,  $v$  egy elektronnak egységnyi térerősségre a tér irányában jelentkező sebességnövekedése, az úgynevezett mozgékonyosság,  $n$  pedig az 1 cm $^3$ -ben levő olyan elektronoknak a száma, melyek a tér hatására az anyagban szabadon tudnak mozogni, az úgynevezett szabad elektronok száma.

A definíció szerint a félvezető vezetőképessége mindig több nagyságrenddel kisebb, mint a fémeké. Ennek az előbbiek szerint két oka lehetséges. Vagy a félvezetőben ugyanannyi szabad elektron van, mint a fémekben, de a mozgékonyosságuk igen kicsi. Vagy az elektronok mozgékonyasága a félvezetőben ugyanolyan nagyságrendű, mint a fémekben, de a szabad elektronok száma sokkal kisebb. Hogy a két lehetőség közül melyik áll fenn, arra igye-

kezzünk a vezetőképesség mérésekből következtetni. Az első ábra J. Stukenak 1943-ban spektroszkopikusan tiszta germániumon végzett méréseit mutatta. Azt találta, hogy 300° C-on alul a vezetőképesség nem anyagi állandó, hanem példányonként különböző és a mintadarabok előéletétől (különösen a hőkezeléstől) függ. Ez a félvezetőknek általános tulajdonsága. Ez arra a feltevésre készíti, hogy a félvezetők vezetőképességét alacsony hőmérsékleten a minimális mennyiségben jelenlevő szennyezések és a kristály nem tökéletes rendezettségű helyei (a hőkezelés ezeket befolyásolja) okozzák. Ezeket a helyeket közös szóval hibahelyeknek hívjuk. A tökéleteskristályú alapanyag elektronjai alacsony hőmérsékleten nem tudnak vándorolni, nem szabadok. Csak a hibahelyekről kiszabaduló elektronok tudnak a kristályban szabadon elmozdulni. A kis vezetőképességet a szabad elektronok kis száma okozza.

Miként azonban az első ábrán látható, magasabb hőmérsékleteken az anyag vezetőképessége rohamosan ( $1/T$ -ben exponenciálisan) növekedni kezd. Ez azzal magyarázható, hogy a hőmérséklet emelésével az alapanyag egyes elektronjai akkora energiára tesznek szert, hogy képesek az atomtól elszabadulni: az atom elektronná és pozitív ionná disszociál. Az így előálló vezetést saját ( $\gg$ intrinsek) vezetésnek hívjuk. Miként látható, ezen a szakaszon az összes példányokon felvett adatok egybeesnek, ez tehát már az anyagnak jellemző tulajdonsága. Az atomoknak ez a termikus disszociációja megmagyarázza a vezetőképességnek a félvezetőknél tapasztalt exponenciális hőmérsékletfüggését.

( $1/T$ -ben  $\ln f$  egyenes). Ha ugyanis alkalmazzuk a  $Ge \rightleftharpoons Ge^+ + e^-$  reakcióra a tömeghatás elvét, statisztikus termodinamikai megfontolásokból (az egyes komponensek koncentrációját  $C$ -vel jelölve):

$$\frac{C_{Ge^+} \cdot C_{Ge^-}}{C_{Ge}} = K(T) = A \cdot e^{-\frac{\epsilon}{kT}}$$

és mivel  $C_{Ge^+} = C_{Ge^-}$  a szabad elektronok száma:

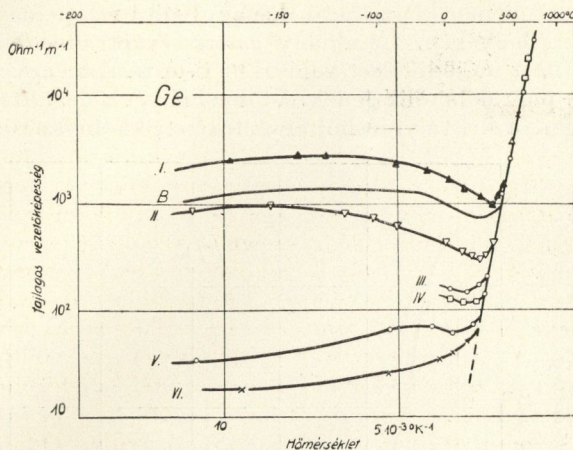
$$n = C_{Ge^-} = A^{1/2} C_{Ge}^{1/2} e^{-\frac{\epsilon}{2kT}}$$

Mivel  $C_{Ge}$  igen közel állandó (a disszociált  $Ge$  atomok száma a disszociálatlanokéhoz képest igen kicsi) a szabad elektronok száma  $1/T$ -vel exponenciálisan változik.  $\epsilon$  az első ábrán az egyenes hajlásszögéből meghatározható és jelenti azt az energiát, ami a disszociáció létrejöttéhez szükséges. Ha az elektronok mozgékonyasága a hőmérséklettel csak lassan változik (később látni fogjuk, hogy fémeknél  $T^{-1}$ -nel, félvezetőknél  $T^{-3/2}$ -nel arányos) érthető, hogy a vezetőképesség ugyanazt az exponenciális változást mutatja, mint a szabad elektronok száma.

Figyelemreméltók a hibahelyek okozta vezetés görbéi. Itt az előzők szerint egyensereget váránk, melyeknek emelkedése a hibahelyeknek disszociációs energiáját adná. Egyes félvezetőknél ez



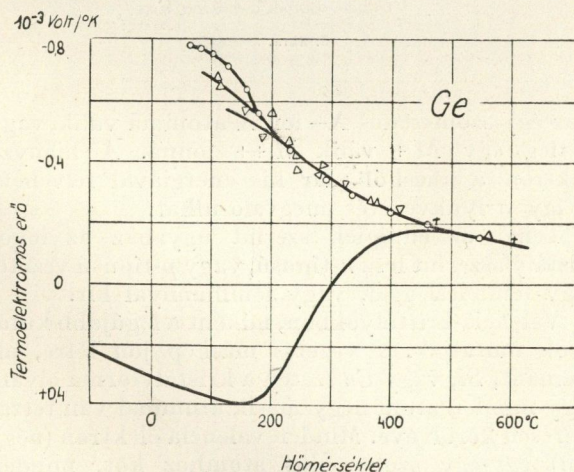
valóban így is van, az 1. ábrán azonban maximummal bíró görbéket látunk. Ennek magyarázata az, hogy a maximum helyén gyakorlatilag az összes hibahelyek disszociáltak (az előbbi levezetésnél a nem disszociált atomok száma igen nagy volt!), a hőmérséklet további emelésével  $n$  már nem vál-



1. ábra.

tozik és így  $v$  előbb említett lassú csökkenése érvényesül. Ez a helyzet fémeknél is. Ezért csökken fémeknél a vezetőképesség a hőmérséklet emelésével.

Ezek szerint a vezetőképességi mérések azt mutatják, hogy a félvezetők kis vezetésének oka  $n$  kicsiségében van. A vezetőképességből azonban csak  $v$  és  $n$  szorzata számítható ki. Ha külön-külön akarjuk ezeket meghatározni, valamilyen más mennyiséget kell találnunk, mely ezekről másféleképpen függ és annak mérésével határozhatjuk meg  $n$ -et és  $v$ -t. Kísérletileg igen egyszerű a termoelektromos erő mérése. Egy félvezetőből és egy fémből álló áramkörben hőmérsékletkülönbséget hozunk létre a két kontaktus között és meg-



2. ábra.

mérjük a fellépő elektromotoros erőt. A második ábra ilyen méréseket mutat, melyek Stuke első ábrájában közölt vezetőképességi méréseihez tartoznak. A saját vezetés területén a görbék megint egyformák, de a hibahelyek okozta vezetés területén egy új, teljesen váratlan eredményt is látunk.

A  $B$ -görbe C. C. Bidwellnek egy régebbi mérése. Míg az első ábrában a  $B$ -görbe jól beilleszkedik a többi közé, itt a hibahely okozta vezetés területén nemcsak más a görbe, de előjelbeli különbség is jelentkezik.

Vagy nézzük H. Hintenbergnek  $PbS$ -en végzett méréseit a harmadik ábrában. Kezdetben ólomfelesleggel bíró anyagban a felesleges ólom, mint hibahely jelentkezik és vezetést okoz. Oxigén atmoszférában való temperálással fokozatosan megszüntetve az ólomfelesleget, a vezetőképesség csökken. Majd további oxigén beépüléssel, most már az van felesleges mennyiségben, az jelentkezik mint hibahely és ezért a vezetőképesség megint emelkedik. Eközben azonban a termoelektromos erő előjelet vált. A  $Pb$ -atomok, melyekről aránylag kis energiával lehet elektront levenni, olyan hibahelyeket okoznak, melyek normális előjelű termoelektromos erőt hoznak létre. A nagy elektronaffinitású oxigén azonban ellenkező előjelűt.

Ez a jelenség általános érvényű. Olyan hibahelyek, amelyek könnyen tudnak egy elektront leadni, olyan vezetést okoznak, melyek teljesen meg egyeznek a szabad elektronok által okozott vezetés minden jelenségével. A termoelektromos erő és a később tárgyalt Hall-effektus előjele normális. Az ilyen vezetést »excess« elektrontöbbletes vagy a »negatív« szó kezdőbetűjével  $n$ -típusú vezetésnek nevezzük. Viszont, ha olyan hibahelyek vannak, melyeknek nagy az elektronaffinitása, vagyis melyek könnyen tudnak elektront lekötni, olyan vezetést okoznak, melyeknél a termoelektromos erő és a Hall-konstans előjele ellenkező. Úgy látszik, mintha pozitív töltésű részecskék vezetnék az áramot. Az ilyen típusú vezetést »defekt« (elektronhíjjas) vezetésnek, vagy a pozitív szó kezdőbetűjével  $p$ -típusú vezetésnek nevezzük. Ennek a megjelenő jelenségnek a szilárd testek modern elektronelméletre tudja magyarázatát adni. A jelenség oka szerint abban van, hogy az egész kristályt, egyetlen nagy molekulának kell tekinteni, melyben az egyes atomok elektronjai egyéniségüket teljesen elvesztik. A hibahelyre lekötött elektron nem egyetlen atomról hiányzik, hanem a kristály elektronkészletéből, mint egészéből. Az elméleti megfontolások szerint a jelentkező jelenségek nem olyanok, mintha a hibahelyre egy elektron rakódott volna rá, hanem mintha a hibahely a kristálynak egy pozitív töltésű szabad elektront adott volna le. Az igen bonyolult elméleti levezetések talán leegyszerűsítve a következőképpen szemléltethetők. A kristályban valahol hiányzik egy elektron. Ha erre a helyre tennénk egy elektront, az összes elektronok kölcsönhatásai olyanok lennének, hogy vezetés nem jelentkezne. Tegyük képzeletben erre a helyre most egy elektront és egy pozitív töltésű elektront is, ezáltal nem változtatunk az elektromos erőben semmit. A betett elektron az összes többi elektronnal az előzőek szerint olyan kölcsönhatást hoz létre, hogy vezetést nem okoznak, de megmarad a pozitív töltésű részecske mint vezető. Mintegy a hiányzó elektronnak a helye, a lyuk vezet. Ezért szokták ezt a vezetést lyukvezetésnek is nevezni.

A hiányzó (defekt) elektronok létrejöttét a fölös (excess) elektronokéhoz hasonló módon lehet disz-



szociációs egyensúllyal leírni és hasonló exponenciális görbét kapunk.

Végül a félvezető saját vezetését is meg kell ezen szempontból nézni. Az előbb láttuk, hogy ha a kristály alapanyagából egy elektront elszabadítunk, a visszamaradó lyuk vezetni képes. A germániumra előbb leírt disszociációs egyenlet nem volt helyes, mert nemcsak az elszakadó elektron, hanem a visszamaradó lyuk is vezetni képes. A helyes disszociációs egyenlet ez:

Semleges Ge-kristály  $\rightleftharpoons$  szabad  $e^-$  fölös elektron + szabad  $e^+$  hiányelektron.

A tömeghatás elvének alkalmazása szerint a

$$C_{e^-} \cdot C_{e^+} = k'(T) = A'e^{-\frac{E}{kT}}$$

egyenletet szolgáltatja.

Mivel  $C_{e^-} = C_{e^+}$  a szabad fölös elektronok száma ugyanannyi, mint előbb volt, a különbség csak az, hogy ugyanannyi defekt elektronunk is van és úgy a vezető elektronok száma kétszer ennyi. A saját vezetés tehát mindig összetett  $n$  és  $p$ -típusú vezetés egyszerre, melyben ugyanannyi  $n$  és  $p$ -típusú elektron vesz részt. Annak magyarázata, hogy a termoelektromos erő és a Hall-effektus mégsem 0, hanem normális előjelet mutat, az hogy az  $n$ -típusú elektronok az elméleti megfontolások szerint kb. 2–5-ször nagyobb mozgékonyasággal bírnak.

A hibahelyek okozta vezetésnél a hibahelyen a disszociálás folytán jelentkező pozitív, vagy negatív töltés nem mozog. A hibahely egy lokalizált idegen test a kristályban. Ebben az esetben jogos ezt a töltést a hibahelyre képzelni. Ezek vándorlása csak a hibahelyek vándorlásával együtt történhet, tehát ionos jellegű. Ez azonban a félvezetőkben csak másodrendű szerepet játszik.

A  $p$ -típusú vezetéssel a második ábra eredményei most már könnyen magyarázhatók. Stuke anyagainál a hibahelyek elektronadók, »donorok« voltak, Bidwellnél viszont elektronfelvevők, »acceptorok«.

Ha részletesebben megnézzük, hogy az egyes kristályokban hogyan jönnek létre olyan hibahelyek, amelyek az anyagot félvezetőkké teszik, a következőket látjuk:

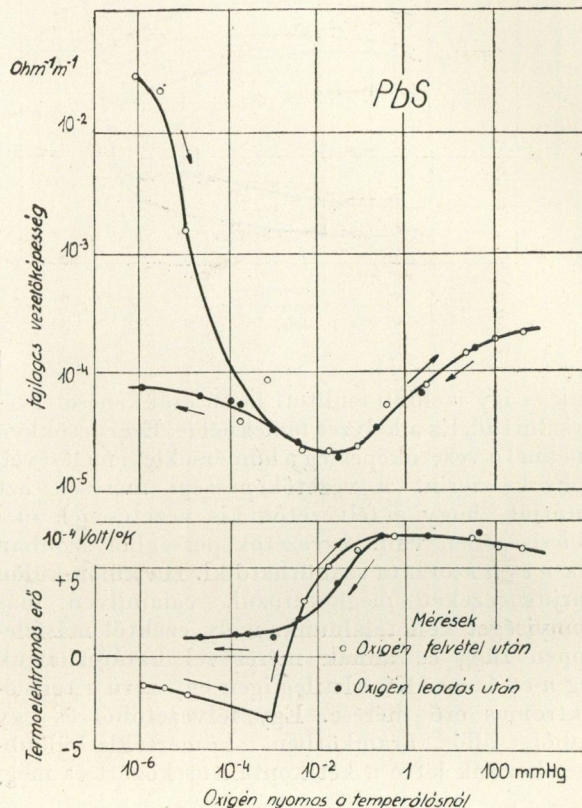
Az ionos kristály pozitív  $M^+$  fémionokból és negatív  $X^-$  ionokból áll. Ebben a következő hibatípusok vezetnek  $n$  vezetésre.

A) *Semleges fématom a rácsban.* Mivel a rácspontok között nincs egy fématom számára elegendő hely, ez az eset mindig úgy fogható fel, hogy egy  $M^+$ -ion erőterében egy elektron van fogva, és onnan könnyen ki is szabadulhat.

B) *Hiányzó  $X^-$  ion.* A hiányzó ion negatív töltésének pótlására a szomszédos  $M^+$  ionok egyikére kénytelen egy felesleges elektron ráakodni és így azt semlegessé tenni. Mivel ez a felesleges elektron egyforma valószínűséggel tartózkodhatik a szomszédos  $M^+$  ionok bármelyikén, a hiányzó negatív ion esetét célszerű olyan pozitív töltésnek felfogni, melynek erőterében egy elektron van fogva. Ez az elektron is könnyen elszabadulhat. Mind a két említett eset fémelesleget jelent. Mott szerint ezek a hibahelyek úgy tárgyalhatók, mint hidrogén-

atomok, melyek elektronja azonban dielektrikumban (a kristály dielektrumában) van. Mivel a dielektromos tényező a Coulomb erőt lecsökkenti, ezért az ionizációs, vagyis disszociációs energia igen kicsi lesz és így az elektron már alacsony hőmérsékleten is elszabadulhat a hibahelyről.

A lyukvezetést okozó defektusok közül a többség  $X^-$  atom nem képzelhető el, nagy volta miatt rácsközi helyeken. Fémhiány esetén ezért az előbb említett második eset valósul meg. A rácsban egyes  $M^+$  pontok betöltetlenek. A töltéshiány semlegesítés végett a kristályrácsból egy elektron kikényszerül,



3. ábra.

azaz egy szomszédos  $X^-$  ion  $X$  atommá válik, vagy esetleg egy  $M^+$  válik  $M^{++}$  ionná. A hiányzó elektron a rácsból már kis energiával felvehető és így a lyukvezetés megvalósulhat.

Tehát az eddigiek szerint ugyanaz az ionos kristály aszerint lesz  $n$ -típusú, vagy  $p$ -típusú vezető, hogy fémelesleggel, vagy fémhiánnyal bír.

Valencia-kristályokban, miként a legújabb kutatások mutatják, a vezetés másképp jön létre, pl. gyémánt, Si, vagy Ge esetén a kristályforma olyan, hogy minden atom négy másik atommal van tetraéderesen körülvéve. Minden valencia elektron (négy van) egy-egy szomszédos atomhoz köt, minden kötés tehát két elektront (egyik a saját, másik a megfelelő szomszédos atomé) foglalkoztat. Ha idegen anyag, mondjuk öt valenciaelektronú foszfor kerül a kristályba, a  $P$  atomok az eredeti atomok helyébe épülnek be, de a kötéshez csak négy elektron szükséges, az ötödik felesleges elektron csak lazán kötődik a  $P$  megfelelő pozitív töltéséhez és így könnyen elszabadulhat. Ellenben, ha három



valencia-elektronú elemet, pl. bört építünk be a rácsba, a  $B$  hiányol a kötésnél egy elektront s azt kis energiával képes a többi négy valencia-elektronú atomtól elragadni és így a kristályt lyukvezetővé tenni.

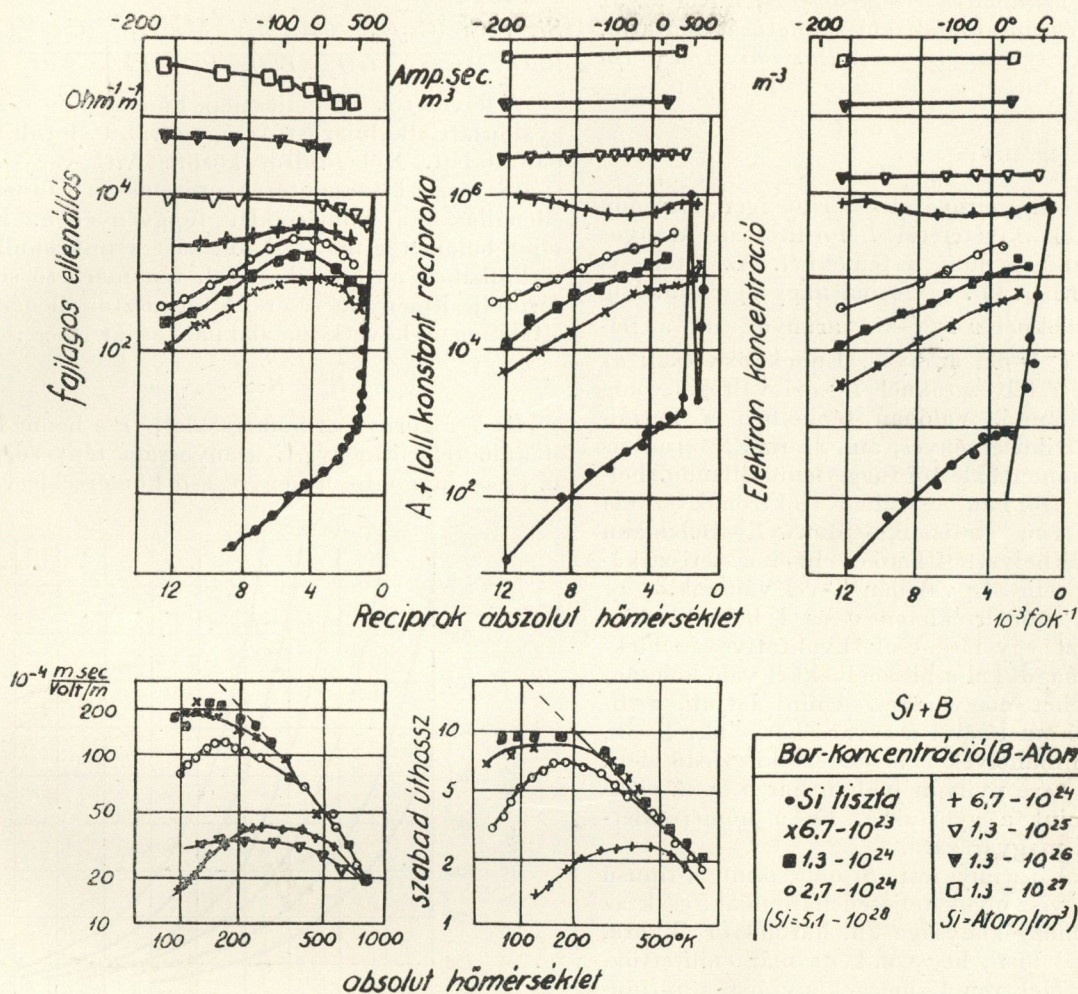
Valencia-kristályokban tehát a szennyezés minősége fogja eldönteni, hogy elektron-, vagy lyukvezetés lép-e fel. Szennyezés nélkül csak belső félvezetés, vagy szigetelés lehetséges.

Láttuk, hogy a termoelektromos erők mérése

Hall-konstans. A klasszikus elektronelmélet szerint:

$$R = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{ne}$$

A modern kvantumelmélet szerint csak az a lényegtelen különbség van, hogy  $\frac{3\pi}{8}$  helyett 1-es faktor szerepel, különben változatlan a formula. Ezek szerint a Hall-konstansból meghatározható  $n$  és így az előzőek szerint  $v$  is kiszámítható.



4. ábra.

eldönti, hogy  $n$  vagy  $p$ -típusú-e a vezetés. Sajnos, a termoelektromos effektus elmélete nem annyira ismert, hogy kvantitatív eredményeket nyújthatna. Azonban a Hall-effektus elmélete már kidolgozott.

Az áramhordozókra a vezetőkben, ha keresztirányú mágneses erőt alkalmazunk, Lorenz erők hatnak, a töltések a harmadik dimenzió irányában kitérülnek. Ezért az áramirányra és a mágneses erőter irányára merőlegesen feszültség, a Hall-feszültség lép fel. Ennek nagysága a kísérletek szerint:

$$U = R \cdot B \cdot I/d,$$

ahol  $U$  a feszültség,  $B$  a mágneses térerősség,  $I$  az áramerősség,  $d$  a vezető vastagsága a mágneses tér irányában mérve,  $R$  arányossági tényező a

Erre nézve bemutatjuk Pearson és Barden  $p$ -típusú  $Si + B$  vezetőre vonatkozó kutatásait a negyedik ábrában. Az első rész, a vezetőképességi mérések a  $Ge$ -hoz teljesen hasonló eredményeket mutatnak. A második rész a Hall-konstans reciprokát ábrázolja. Az átmeneti helyen  $R = 0$ ; a görbéknek ez a szakasza csak az egyik görbénél van feltüntetve, hogy a többi ne zavarja. A harmadik rész  $n$ -t ábrázolja. Látható, hogy a maximumos görbék valóban egyenessé alakultak. A negyedik rész  $v$ -t ábrázolja. Ezekből az ábrákból teljes képet kapunk a félvezető vezetéséről. A szabad elektronok száma valóban sokkal kisebb, mint fémekben. Ott kb. minden atomra egy elektron jut, tehát kb.  $10^{22}/cm^3$ , itt nagyságrendekkel kevesebb. A hibahely vezetési tartományban  $n$  a



szennyező bór koncentrációjától függ. Elég alacsony hőmérsékleten  $n$  kicsi, de exponenciálisan változik a hőmérséklettel, a disszociációs energiának megfelelő meredekséggel és állandó lesz, mikor ugyanakkora, mint a  $B$  koncentráció. Ekkor minden  $B$ -atomból disszociált az elektron. További hőmérsékletemelésre  $n$  egy darabig állandó, a vezetés tehát csökkenni kezd, és csak akkor kezd újra emelkedni, mikor már a  $Si$  is kezdi leadni saját elektronjait és saját vezetés lép fel.

Érdekes azonban  $v$  viselkedése is, mivel az az elektronok és az atomok kölcsönhatását mutatja. Az előzőek szerint  $v = e \cdot t/2m$ . Mivel  $t = l/u$  ( $l$  a szabad úthossz,  $u$  a termikus sebesség):

$$v = \frac{1}{2} \frac{e}{m} \frac{l}{u}$$

Az elméleti megfontolások szerint igen alacsony hőmérsékletek kivételétől  $l$  fordítottan arányos  $T$ -vel, ugyanúgy mint a fémeknél. Az értéke is mindkét esetben kb. egyforma nagyságrendű. Míg azonban fémeknél  $v$  is  $\frac{1}{T}$ -vel arányos, itt a félvezetőknel  $T^{-3/2}$ -nel arányos. Ennek oka csak az lehet, hogy  $u$  félvezetőknel  $T^{3/2}$ -nel változik, míg fémeknél állandó. Valóban fémekben a Fermi-Dirac statisztika érvényes, ami szerint a termikus sebesség a hőmérséklettől függetlenül állandó. Félvezetőkben azonban a szabad elektronok száma kicsi. A Fermi statisztika Maxwell-Boltzmann statisztikával helyettesíthető és ebben a statisztikában a középsebesség valóban  $T$ -vel változik.

Alacsony hőmérsékleten  $v$  és  $l$  komplikáltan változik. Ezt egyelőre csak kvalitatíve az elektronoknak magukkal a hibahelyekkel való kölcsönhatásával lehet magyarázni. Amint látjuk, a  $B$ -koncentráció emelésével a zavaró hatás növekszik, másrészt a hibahelyek nem messze kiterjedő elektrosztatikus tere nyilván jobban hat a lassú elektronokra, mint a gyorsakra. Ez a hőmérsékletfüggésnek a magyarázata.

Foszforral szennyezett  $Si$ -nál, mint  $n$ -típusú vezetónél, a viszonyok teljesen hasonlóak, csak az elektronok mozgékonyasága kb. háromszor akkora, annak megfelelően, hogy miként már említettük, az  $n$ -típusú elektronok mozgékonyasága a  $p$ -típusúaknál nagyobb.

A félvezetőknek vezetéséről így kb. tiszta képet kapunk. Természetesen még nagyon sok nyílt kérdés van ezen a területen. A félvezetők száma nagyon nagy. A legismertebbek a következők: (zárójelben vannak azok, ahol a vezetés mikéntje nem biztos).

$n$ -típusú félvezetők:

$Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $V_2O_5$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $(CuO)$ ,  $Cu_2O_3$ ,  $(ZnO)$ ,  $MoO_3$ ,  $(ScN)$ ,  $(Nb_2O_5)$ ,  $CdO$ ,  $CdS$ ,  $CdSe$ ,  $SnO_2$ ,  $SnSe$ ,  $Cs_2S$ ,

$Cs_2Se$ ,  $BaO$ ,  $BaTiO_3$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $WO_3$ ,  $(Au_2O_3)$ ,  $Hg_2S$ ,  $Tl_2O_3$ ,  $PbCrO_2$ ,  $Bi_2Se_3$ ,  $U_3O_5$ ,  $(UO_3)$ .

$p$ -típusú félvezetők:

$Cr_2O_3$ ,  $(MnO)$ ,  $CoO$ ,  $(Co_3O_4)$ ,  $NiO$ ,  $CuI$ ,  $Cu_2O$ ,  $Cu_2S$ ,  $(Cu_2Se)$ ,  $Cu_2Te$ ,  $(GeO)$ ,  $MoO_2$ ,  $Ag_2O$ ,  $(SnO)$ ,  $SnS$ ,  $(Sb_2S_3)$ ,  $(Tl_2O)$ ,  $(Tl_2S)$ ,  $(Bi_2O_3)$ ,  $(Bi_2S_3)$ ,  $(Bi_2Se_3)$ ,  $(Bi_2Te_3)$ .

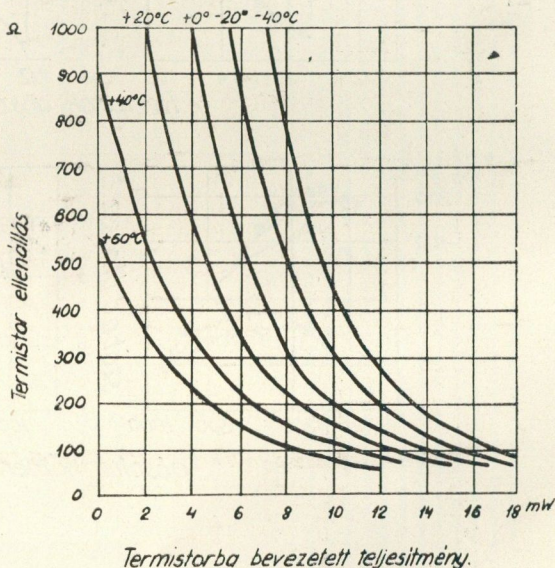
A körülményektől függően  $n$ - vagy  $p$ -típusú félvezetők:

$Si$ ,  $SiC$ ,  $(Cr_5O_9)$ ,  $(Mn_3O_3)$ ,  $Mn_3O_4$ ,  $(Co_3O_4)$ ,  $Ge$ ,  $RuO_2$ ,  $(Os_2S_2)$ ,  $IrO_2$ ,  $(PbO)$ ,  $PbS$ ,  $PbSe$ ,  $UO_2$

A félvezetők ellenállásának hőmérséklet-függése gyakorlati alkalmazást az úgynevezett termisztorban talált. Két  $Pt$ -drót között  $NiO$  vagy  $MgO$  tiszta rézzel összeszinterelve tetemesen változtatja ellenállását a hőmérséklet függvényében. Ezért mint bolométer nyer alkalmazást a mikrohullámú technikában az általában nehezen mérhető sugárzási teljesítmény mérésére. A termisztor ellenállását általában a következő alakban adják meg:

$$R = R_{\infty} e^{\frac{B}{T+CP}}$$

Itt  $T$  a környezet hőmérséklet,  $P$  a benne hővé alakuló teljesítmény,  $C$  arányossági tényező, ami az egységnyi teljesítményre eső hőmérsékletválto-



5. ábra.

zást jelenti. Az 5. ábra egy termisztornak ilyen karakterisztikáját mutatja. Látható, hogy milyen meredeken változik az ellenállás. A leggyakrabban használt típus a V-519 adatai:

$$R_{\infty} = 0,550 \Omega, B = 2420^\circ K, C = 11440^\circ K/W.$$



## **Felhívjuk**

**a vállalatok, könyvfelelősök és a műszaki értelmiség figyelmét, hogy az alábbi könyveket alacsony példányszámban, kizárólag a nehézipar számára adtuk ki. Ezek a könyvek kereskedelmi forgalomba nem kerülnek, csak a kiadóhivatalnál rendelhetők meg. Ajánlatos mielőbbi beszerzésük, mert utánnyomás ezekből nem lesz. A megrendeléseket a beérkezés sorrendjében szállítjuk.**

**Izjumov : Rádiótechnika**

336 oldal. Ára 22-50 Ft

A rádiótechnika tankönyve, mely igen egyszerűen, érthetően ismerteti a rádiótechnika alapfogalmait. A rezgéstkeltő berendezéseket egész korszerűen tárgyalja. Ismerteti az adó- és vevőkészülékeket, miáltal a könyv úgy szerkesztők, mint kevésbé hozzáértők számára alkalmas.

**Zsevahov : Kohóüzemek hőgazdálkodása**

367 oldal. Ára 40 Ft

Zsevahov magántanár könyve hazai szakirodalmunkban az első olyan munka, amely a kohászati üzemek hőgazdálkodási kérdéseit nemcsak az egyes metallurgiai folyamatokkal kapcsolatban érinti, hanem mint összefüggő, különálló kérdéskomplexumot kezeli. A korszerű hőgazdálkodási szempontokat elméletileg és gyakorlatilag egyaránt a legnagyobb részletességgel tárgyalja.

**Grubin : Csigamaró-számítások**

Kb. 100 oldal. Ára kb. 12 Ft

Szakirodalmunkban hézagpótló mű, mely elsőízben foglalkozik lefejtő szerszámokkal. Előtte csak Buckingham, Olah »Stirrade« könyvét ismertük, de ez távolról sem olyan alapos, kimerítő mű, mint Grubin könyve.

**Moroz-Szibarov : Könyvviteli számvitel a széniparban.**

I. kötet, 239 oldal. Ára 28-50 Ft

Gyakorlati alapon foglalkozik a szénbányászat könyvvitelével. Ismerteti az álló anyagok, munkabér könyvviteli elszámolás lényegét. A szénbányászat önelszámolásának, költségelszámolásának rendszerét, valamint a pénzügyi és hitelműveletek elszámolását. Ismerteti a könyvelési elszámolással kapcsolatos okmányforgalmi (bizonylat) rendeletmintákat, azok kitöltésének módját és a hozzájuk kapcsolódó ellenőrzési feladatokat. A számviteli dolgozókon kívül nagy hasznát fogják venni a szénbányászat műszaki dolgozói is.

**Tolcsanov : A szerszámgépi és lakatosmunkák műszaki normáinak megállapítása**

Kb. 280 oldal. Ára kb. 27 Ft

A forgácsolás technikájának és törvényszerűségeinek ismertetésével eszközt ad technikusoknak, időelemzőknek, művelettervezőknek arra, hogy a helyes és gazdaságos technológia kiválasztásával a technológiai (műszaki) normákat is megállapíthassák. Magyar nyelven az első olyan könyv, mely a forgácsolás technológiai tényezőjének törvényszerű összefüggését ismerteti.

**Immermann : Öntvények gyártásának ellenőrzése**

202 oldal. Ára 25 Ft

Öntödei selejt elleni harcunkban nagy segítséget nyújt Immermann könyve a műszaki vezetésben, minőségellenőrzésben dolgozóknak. A könyv egyszerű és érthető előadásmódja lehetővé teszi, hogy technikusok, művezetők, csoportvezetők is használhassák.



**N. A. Smarov : A vágár fúró munkája**

98 oldal. Ára 480 Ft

Nélkülözhetetlen kézikönyv a szakember (vágár, aknász, mérnök) számára, mely áttekintést nyújt egy modern gépesített bányauzem termelőmunkájáról, az előkészítéstől kezdve egészen a szállításig. Itt vannak leszűrve mindazok a tapasztalatok, melyeket a Szovjetunió legjobb szak munkásai sokéves gyakorlatuk alapján szereztek. Egyenként megszólalnak a legjobb sztahanovisták és előadják munkamódszereiket, mellyel olyan kimagasló teljesítményeket tudtak elérni, hogy világviszonylatban messze túlszárnyalták összes szaktársaikat.

**Pervomajszkij : Tervszerű megelőző karbantartás megszervezése**

182 oldal. Ára 22 Ft

Iparunkban a tervszerű megelőző karbantartás bevezetés alatt áll. A vállalatok TMK rendszerének felépítéséhez és megszervezéséhez a szükséges műhelyterületek, gépberendezések, létszámok stb. megállapításához fontos segédeszköz ez a könyv, mely ismerteti a Szovjetunió gépgyárainak TMK rendszerét és amely által átvehetjük és alkalmazhatjuk azt saját iparunkban.

**Nehézipari Könyv- és Folyóíratkiadó Vállalat**

Budapest, V., Alkotmány-utca 16. I. 2.

**Az alábbi könyvek a »Könyvesbolt kiskereskedelmi vállalat« fiókjában szerezhetők be:**

#### Kohászat :

Ára kb. Ft

**Sesztópál : A gépgyártás öntvényei** Kb. 286 oldal ..... 30.—

**Öntődék és gyári laboratóriumok tervezése** (Masinosztroenie 14. kötetének I. és XII. fejezete.) 125 oldal ..... 26.—

**Bjeljajev : Könnyűfémek kohászata** 400 oldal ..... 50.—

**Gillemot : Fémek technológiája I. (fémek öntése),** második bővített kiadás Kb. 270 oldal 35.50

#### Gépipar :

**Aisenberg : Gépjavító-műhelyek tervezése** Kb. 24 oldal ..... 4.—

#### Vegyipar :

**Amiantov : Közbeeső termékek és festékek** kémiaja és technológiája Kb. 300 oldal 38.—

#### Olajipar :

Ára kb. Ft

**Muravjev-Krilov : Kőolajtermelés** 700 oldal ..... 80.—

#### Híradástechnika :

**Istvánffy : Mágneses anyagok és alkalmazásai** Kb. 144 oldal ..... 30.—

#### Optika :

**Bárány Nándor : Optikai műszerek. II. kötet** Kb. 480 oldal ..... 80.—

#### Mész-, cement-, üvegipar :

**Bereczky—Grofcsik—Korányi : Ipari szilikát-kémia** Kb. 160. oldal ..... 20.—

#### Villamosenergia :

**Karsa Béla : Villamosmérések** Kb. 328 oldal 36.—

**Dr. Vajta Miklós : A váltakozó áramú villamos energiaátvitel feszültségese és vesztesége** 48 oldal ..... 7.—

**Nehézipari Könyv- és Folyóíratkiadó Vállalat**

Budapest, V., Alkotmány-utca 16. I. 2.