Jászberény Rádióállomás

1974 - 2010

Tartalomjegyzék

Jászberény Rádióállomás 1974 – 2010 (borítólap)

Tartalomjegyzék 1

I. rész. A borostyántól – az elektromágneses hullámokon át – a rádiózás megteremtéséig (címoldal) 5
Előszó 6
A borostyántól... 6
Az „elektromosság állapotába hozható” testek 8
Az elektromos töltés 9
Coulomb elektromos erőtörvénye 9
Az áramkör és az elektromos áram 10
Coulomb mágneses erőtörvénye 10
Az elektromotoros erő és az elektromos feszültség 11
Az elektromos áram mágneses hatása 12
Az elektromos áramok közti erőhatás 13
A közelhatás gondolata 13
Az elektromágneses indukció 16
A XIX. század és korunk anyagszerkezeti képe 18
A vezetési áram 21
Az elektromos ellenállás 22
Az eltolási áram. Maxwell hipotézisei 22
Maxwell zsenialitásával az elektromágneses hullám gondolatáig 26
Hertz felfedezi az elektromágneses hullámot 28
Az antenna, mint az elektromágneses hullámkeltés eszköze 30
Marconi éleslátásával a rádiózás megteremtéséig 32
Az elektromágneses hullámok osztályozása 33
Az elektromágneses hullámok terjedése 34
A Maxwell-egyenletek 37
Zárszó 39

II. rész. A Jászberény Rádióállomás rádióadó-berendezése (címoldal) 40
A 250 kW-os rövidhullámú rádióadó-berendezés (fotó) 41
A rádióadó-berendezés 42
A rádióadó-berendezés hangfrekvenciás lánca 43
A rádióadó-berendezés blokkvázlata (rajz) 44
A rádióadó-berendezés oszcillátora 45
A mintavételi elv 46
A rádiófrekvenciás végerősítő, mint És-kapu 48
A modulált fokozat és a modulátor (rajz) 49
Az elektroncső idealizált anódáram–rácsfeszültség karakterisztikája (ábra) 51

A modulált rádiófrekvenciás feszültség elemzése 52
Az $u_V(t)$ rezgőköri feszültség idő- és frekvenciatartománya (rajz) 54
Az eredeti 3x400V/230V-os erősáramú berendezés kapcsolószekrényei (fotó) 55
A Rádióállomás tartalék villamos energiaellátó rendszere (fotó) 56

III. rész. A Jászberény Rádióállomás antennarendszere (címoldal) 57
Az antennarendszer 58
A jó vétel feltétele 58
A dipólantenna és sugárzási karakterisztikája 59
Két dipólantenna közös tengely menti elhelyezése 61
Az iránykarakterisztika csóválása 64
HRRS-4/4/1 típusú távolsugárzó antennafüggöny (rajz) 66
Két dipólantenna egymás fölé helyezése 67
Két dipólantenna egymás mögé helyezése 68
A kilövési szög 68
A körsugárzó antenna 70
Néhány kiegészítés 70
Az antennafüggönyök betű- és számjelének jelentése 72
Jászberény Rádióállomás kétszintes adóépülete (fotó) 73
Antennafüggönyök telepítési helye a három antennaágon (rajz) 74
HRR-2/2/0,25 típusú közelsugárzók antennafüggönye (rajz) 75
HRRS-4/4/1 típusú távolsugárzók antennafüggönye „A”-lap (rajz) 76
HRRS-4/4/1 típusú távolsugárzók antennafüggönye „B”-lap (rajz) 77

IV. rész. A Jászberény Rádióállomás két 250 kW-os rövidhullámú rádióadó-berendezésének energiatakarékos átalakítása (címoldal) 78
A két 250 kW-os rádióadó-berendezésének energiatakarékos átalakítása 79
A rádióadó-berendezés hangfrekvenciás láncának felépítése és kezelése 80
A **HA** egység műszaki leírása 84
A **HE** egység műszaki leírása 86
- A finom és a durva csillapításkapcsoló 86
- Az előerősítő 87
- A négyzetgyökvonó és az összegező áramkör 88
- A nagyfeszültségű tranzisztoros erősítő 91

A **HJ** egység műszaki leírása 95
Zárszó 96
Utóirat 96
A rádióadó-berendezés hangfrekvenciás lánca 97
A **HA** egység műszaki rajza (HA-1. -2.) 98
A **HE** egység műszaki rajza (HE-1. -2. -3. -4.) 100
A **HF** egység műszaki rajza (HF-1. -2. -3.) 104
A **HJ** egység műszaki rajza 107
A **HJ** egység cikklistája 109

A korszerűsített 3x20 kV-os nagyfeszültségű berendezés fogadó- és elosztó kapcsolószekrényei (fotó) 111
Az új 3x400V/230V-os erősáramú berendezés kapcsolószekrényei (fotó) 112
A 250 kW-os EMV gyártmányú rádióadó-berendezés (fotó) 113
A 250 kW-os rádióadó-berendezés fotója és műszaki adatai 114
A 250 kW-os rádióadó-berendezés hálózati teljesítmény-igénye (diagram) 115
A 250 és a 100 kW-os rádióadó-berendezések elektroncsövei (fotó) 116
A 250 kW-os rádióadó-berendezés rf. végfok anódrezgőköri tekercse (fotó) 117
A 100 kW-os BBC gyártmányú rádióadó-berendezés (fotó) 118
Jászberény Rádióállomás légi felvétele (fotó) 119
A 250kW-os rádióadó-berendezések tápvonal-kombinátor kapcsolója (fotó) 120
Az adóépületből kiágazó 6 főtápvonal, 2003. (fotó) 121
Adóépületből kiágazó 6 régi és 2 új főtápvonal, 2004. (fotó) 122
HRR-2/2/0,25 antennafüggönyök irányváltó kapcsolója (rajz) 123
HRRS-4/4/1 antennafüggönyök csóváló és irányváltó kapcsolója (rajz) 124
Északi antennaág antennatartó tornyai és antennafüggönyei (fotó) 125
É-i antennaág 2 db 250 kW-os és 1 db 100 kW-os főtápvonala (fotó) 126
100 kW-os logperiódikus antenna az északi antennaágon (fotó) 127
250 kW-os, 4 MHz-es körsugárzó antenna az északi antennaágon (fotó) 128
A nyolc főtápvonal, illetve egy-egy irányváltó és csóváló kapcsoló (fotó) 129
Keleti antennaág antennatartó tornyai és antennafüggönyei (fotó) 130
100 kW-os L körsugárzó antenna a keleti antennaágon (fotó) 131
Déli antennaág antennatartó tornyai és antennafüggönyei (fotó) 132
Besugárzott földrajzi terület (térkép). Antennák jellemzői (táblázat) 133
A 250 kW-os rádióadó-berendezések és az antennák kombinációs táblázata 134
Tápvonalkapcsoló az északi antennaágon (fotó). A tápvonalkapcsolók működése (rajz) 135
Jászberény Rádióállomás 4 rádióadó-berendezésének két adóterme (fotó) 136
A két 250 kW-os rádióadó-berendezés kezelőtere (fotó) 137
I. és II. adóterem (fotó) 138
A 250 kW-os rádióadó modulátor transzformátora és fojtótekercse (fotó) 139
A 250 kW-os rádióadó modulált fokozata (fotó) 140
A 12 kV-os tirisztoros e.i. szűrőkondenzátorai és a kisütő-áramkör (fotó) 141
A 250 kW-os rádióadó-berendezés villamos elosztótáblája és rádió-frekvenciás meghajtó fokozata (részlet, fotó) 142
A 100 kW-os rádióadó-berendezés 2x3-as kombinátorkapcsolója (fotó) 143
A 100 kW-os rádióadó-berendezés beltéri vízhűtője (fotó) 144
A 100 kW-os rádióadó-berendezés kültéri vízhűtője (fotó) 145
A 250 kW-os rádióadó-berendezés hálózati transzform. Blokkvázlat (fotó) 146
3x400 V/230 V-os segédhálózati kapcsolószekrény (fotó) 147
Hajnali felvétel a déli ágon elhelyezkedő antennatartó tornyokról (fotó) 148
A 250 kW-os rádióadó modulátora (fotó) 149
A keleti antennaágra kifutó 250 kW-os és 100 kW-os tápvonalak (fotó) 150

Tápvonal-, antennacsóváló- és irányváltó-kapcsolók vezérlőszekrénye (fotó) 151
Kezelőtérben elhelyezett vezérlőasztal (fotó) 152
A 250 kW-os adó blokkvázlata (rajz) 153
A 250 kW-os adó villamos energiaellátó hálózata (fotó) 154
A 250 kW-os adó tirisztoros egyenirányítójának transzformátora (fotó) 155
A tirisztoros egyenirányító szerényének részlete. A DCC-szekrény (fotó) 156
A 250 kW-os adó hűtőrendszere (fotó) 157
Váratlan vendég (őzike) a Rádióállomás lakóépületének parkjában 158
Hívatlan vendég (sikló) a Rádióállomás lakóépületének parkjában 159

I. rész

A borostyántól
– az elektromágneses hullámokon át –
a rádiózás megteremtéséig

Készítette:

Halász Sándor
az állami nagyberuházás helyszíni megbízottja (1968-1973)
a rádióállomás-üzemmérnöke (1974-1980)
a rádióállomás-vezetője (1981-1995)

Jászberény, 2023. április 9.

Előszó

Azt hiszem, hogy Ön – Tisztelt Olvasó – egyetért kijelentésemmel: a **rádiózás** szoros kapcsolatban áll az elektromosságtannal, azzal a fizikai tudománnyal, ami az elektromos és a mágneses jelenségekkel foglalkozik. Következésképpen: a rádiózás története az **elektromos** és a **mágneses** jelenségek megismerésével kezdődik, és az **elektromágneses hullámok** felismerésén, majd megvalósításán át napjaink alkalmazásáig tart.

Az **elektromágneses hullám** nem más, mint kulcs a rádiózáshoz. Ez az a jelenség, aminek felismerése és technikai előállítása nélkül nem rádiózhatnánk. Az elektromágneses hullám az, ami hihetetlen sebességgel viszi magával a reá bízott híranyagot, a jelet. Ez az a csoda, ami áthatol otthonunk falán, bezárt ajtónkon, ami az antennán keresztül észrevétlenül beoson lakásunkba, hogy ott számára egy varázslatos készülékben – a **rádióvevő-berendezésben** – vissza-alakuljon friss hírré, vagy kellemes muzsikává.

Talán célszerű – még ha vázlatosan is – előzetesen bepillantani a fizika, mindenekelőtt a villamosságtan kultúrtörténetébe, s miután eljutottunk az **elektromágneses hullám** felismeréséig, gyakorlati előállításáig és főbb tulajdonságainak megismeréséig, megkezdhetjük sétánkat egy csodálatos emberi alkotás, a **rádiózás** birodalmában.

A borostyántól...

A fizika kultúrtörténetét egészen vázlatosan a Kr.e. 600-tól a Kr.u. 1900-as évek elejéig tekintjük át, azt a két és fél évezredet, amelynek elején az alapvető elektromos jelenségek felismerése megtörtént, s amelynek végén az elektromosságtan a fizikán belül önálló axióma-rendszerrel rendelkező tudományággá fejlődött, majd törvényeinek tudatos használatával az ember megalkothatta az **elektromágneses hullámot**, és elindíthatta diadalútján a **rádiózást**.

A fizika kultúrtörténete során megszoktuk, hogy az egyes tudományokban a görögök eljutottak egy viszonylag magas szintre, a középkor ezt lassan újra felfedezte, majd az újkor erre építve túlhaladt rajta. Az elektromosságtan jelenségeinél ez a séma változik: Európa (a Nyugat) a görögöktől ezúttal csak a neveket örökölte. Azt a görögök általuk már észlelt egyik jelenséget, hogy a megdörzsöl **borostyán** (a megkövesedett fenyőgyanta, görögül: **elektron**) apró papírdarabkákat mozgat: **elektromosságnak**, míg azt a másik jelenséget, hogy a **mágneskő** apró vasdarabkákat mozgat: **mágnességnek** nevezték el. Egyebekben, mint például az **elektromosság** és a **mágnesség** részletesebb leírásával a görögök adósak maradtak. A mágneskőről mindössze annyit jegyeztek fel – ami ma már csak derűt ébreszt –, hogy segítségével szerelmi bájital delejezhető.

Több mint másfél évezred (!) telt el, míg Pierre de **Maricourt** (**Petrus** Peregrinus) 1269-ben ismét kezébe vette a mágneskövet, s elemezte tulajdonságait, méghozzá kísérleti úton. Egy gömb alakúra formált mágnes felületén kis vastűk segítségével vizsgálta az erőhatásokat. Minden pontban meghatározta és rövid vonalakkal rárajzolta a vastűk beállási irányát. Megállapította, hogy ezek a vonalak (mai fogalommal: a mágneses erővonalak) olyanok, mint a gömb felületén a meridiángörbék, azaz két egymással szemben álló **pólusban** (e fogalom is tőle ered) találkoznak.

Ismét elmúlik több mint három évszázad, míg William **Gilbert** (1544–1603) szintén foglalkozni kezd a mágneses jelenségekkel. Felismerte, hogy a Föld egy nagy mágnes. Leírta a pólusok közti erőhatás jellegét, tehát beszélt vonzó és taszító erőről. Tapasztalta, hogy a közepén felfüggesztett rúdmágnes egyik vége mindig a Föld Északi-sarka felé mutat. Ezt a véget északi (pozitív), a másik véget pedig déli (negatív) pólusnak nevezte el. Azt is észlelte, hogy egy mágnest kettétörve a két pólus nem választható el egymástól, mindkét félből újra kétpólusú mágnes lesz.

A XVII. század végére minden feltétel megteremtődött, hogy Isaac **Newton** (1642–1727) által egy új világkép születhessék, s általa egységes módon lehessen megmagyarázni és megérteni mind a földi, mind az égi mozgásjelenségeket. 1686-tól már a Newton által felállított **gravitációs erőtörvényből** számolható a toronyból leejtett kő, a Holdnak Föld körüli vagy bármely bolygónak Nap körüli mozgása.

Newton gravitációs erőtörvénye két, egymástól távol lévő test közt határozza meg a vonzóerőt: **két test közt a gravitációs erő egyenesen arányos a testek tömegének szorzatával, és fordítva arányos távolságuk négyzetével**. Nézete teljesen új: a testek **távolhatását** (távolba hatását) sugallja, és oltja nézetét a későbbi tudós generációkba, fizikusokba.

A **távolhatás elve** két (esetleg több) test – de csakis ezek – létezését tételezi fel. Nem merült fel az a gondolat, hogy az egyik testre azért hat erő, mert a másik test **meghatározott környezetet** biztosít számára. Nem ismerték fel, hogy az erő nem az egymástól távol elhelyezkedő két test közt, hanem az adott helyen lévő egyik test és itt (annak közvetlen **közelében**) a másik test által létrehozott **gravitációs mező** között jön létre. Ez utóbbi igen termékeny felfogást később, a XIX. század derekán – találóan – a **közelhatás** fogalommal illeti a fizika.

Mint tapasztalni fogjuk, kezdetben a távolhatás gondolata is gyümölcsözőnek bizonyult mind az **elektromos**, mind a **mágneses** jelenségek kvantitatív törvényeinek a megfogalmazásakor. Ugyanakkor Newton nézete fékezte a XIX. század

nagy gondolkodójának, Faradaynak a hipotézisét: a **közelhatás** gondolatának megértését, elfogadását és közkinccsé válását.

A XIX. század első felében jelentkezik komoly súllyal egy új fizikai valóság, az **elektromosságtan**. A század második felének hatalmas lendülete, mindenek előtt Maxwell zsenialitása révén az 1800-as évek végére beteljesedik a tudomány virágkora: a **mechanika** és az **elektromosságtan** egyenrangú félként vállalják, hogy magukba foglalják a fizika összes korábbi fejezetét, beleértve az optikát, a mechanikát és a termodinamikát is. A fizika történetében kimagasló Isaac **Newton** mellé egy új tekintély kerül James Clerk **Maxwell** személyében.

Az „elektromosság állapotába hozható" testek

Gilbert nem csak a mágneses, de az elektromos jelenségeket is vizsgálta. Rájött, hogy dörzsöléssel nemcsak a borostyán, hanem az **üveg**, a viasz, a kén, sőt néhány drágakő is az „**elektromosság állapotába hozható**". Megállapította, hogy két megdörzsölt üvegrúdnak az elektromos hatása a **taszításban** nyilvánul meg. Ő még nem tudta, hogy az elektromosság tulajdonságai között a vonzás jelensége is fellép, ezért Ő még csak egyfajta, a taszítással jellemezhető **üveg-elektromosságról** beszélt.

A XVII. században élt Otto von **Guericke** (1602–1686) magdeburgi fizikus, egy sokoldalú kísérletező, aki megszerkesztette az első dörzselektromos gépet, és ezzel megteremtette a kísérleti alapot az elektromosság jelenségeinek behatóbb vizsgálatához. A kor természettudományos érdeklődését azonban annyira lekötötte az új newtoni mechanika világképe, a távolhatás varázsa, hogy Guericke dörzselektromos gépe két generáció időtartamára feledésbe merült.

Stephan **Gray** (1666–1736) ugyancsak megdörzsölt üveghengerrel végezte kísérleteit. Rájött, hogy egyes anyagok (pl. a nedves kötözőzsinór) **vezetik**, mások (pl. a selyemfonál) nem továbbítják, **szigetelik** az elektromosságot. A **vezető** és a **szigetelő** fogalmak Gray nevéhez fűződnek.

Charles Francois de Cisternay **Dufay** (1698–1739) fedezte fel a kétféle elektromosságot. Rájött ugyanis, hogy a megdörzsölt üveg és a megdörzsölt gyanta nem taszítja, hanem **vonzza** egymást. Dufay ettől kezdve tudatosan kétféle elektromosságról beszélt: az üvegelektromosságról és a gyantaelektromosságról.

1745-től új lendületet kaptak a kísérletező fizikusok a **leideni palack** feltalálása révén. Ez a találmány Ewald Jürgen von **Kleist** (1700–1748) plébános és Pieter van **Musschenbroek** (1692–1761) leideni professzor nevéhez fűződik. Mindketten véletlenül és egymástól függetlenül fedezték fel azt, hogy egy kívül

fémbevonattal ellátott üvegpalackba zárt vizet fel lehet tölteni elektromossággal, amennyiben a vízzel érintkező és az üveg dugóján keresztülvezetett fémszálat összekötik a Guericke-féle dörzselektromos géppel. A leideni palackot – mint az elektromosság hosszabb idejű tárolására alkalmas eszközt – még sokáig több kutató is használta kísérleteihez.

Az elektromos töltés

Benjamin **Franklin** (1706–1790) volt az első amerikai tudós, aki érdemben szólt bele az európai tudomány fejlődésébe. Felfigyelt arra, hogy a leideni palack „kisütését" a villámláskor tapasztalt jelenségekkel megegyező csattanás és fény kíséri. Ezt követően kísérlettel igazolta, hogy a villám is elektromos jelenség. Egy sárkánnyal feleresztett szerkezet segítségével kimutatta, hogy a légkör elektromosságával ugyanúgy fel lehet tölteni a leideni palackot, mint a dörzselektromos géppel.

Franklin a testek elektromos állapotát egy bennük lévő sajátos tulajdonságú anyagnak, az **üvegelektromos** anyagnak tekintette, ami **kitölti** az atomok közti teret. Ezt a töltőanyagot nevezte el **elektromos töltésnek**. Nézete szerint a testek normális (dörzsölés előtti) állapotukban olyanok, mint egy nedves szivacs. A dörzsölés úgy választja ki belőlük az üvegelektromos anyagot, mint ahogyan a nyomás szivacsból a vizet. A test elektromos állapota attól függ – mondta Franklin –, hogy ebből az üvegelektromos anyagból a testben több van-e vagy kevesebb. Ha több van, akkor a test **pozitív töltésű**, ha pedig kevesebb, a test **negatív töltésű**.

Franklin – miként Gilbert – ismét **egyféle** töltés létezését tételezte fel: az üvegelektromosságnak nevezett töltésfajtát. Bár nézete visszafejlődést jelent, a töltésekkel kapcsolatos törvényei mégis igazak. Ő fogalmazta meg kvalitatív törvényként: az elektromos töltés önmagára **taszító** hatást fejt ki. A kétféle töltés tagadása miatt nem tudta értelmezni a töltések közt olykor észlelt vonzást.

A rengeteg kísérlet és kvalitatív észlelés alapján megérett az idő arra, hogy a kutatók az elektromos és a mágneses jelenségek kvantitatív törvényszerűségeit is felfedjék.

Coulomb elektromos erőtörvénye

A XVIII. század második felében többen is eljutottak az elektromos erőhatás törvényéhez. Valamennyien a Newton-féle gravitációs (az úgynevezett távol-

ható) erők törvényszerűségéhez hasonló törvényt kerestek az elektromos töltéssel rendelkező testek közt észlelt erőhatásra is.

Charles **Coulomb** (1736–1806) az elektromos töltéssel rendelkező testek közt észlelt vonzás és taszítás értelmezése céljából ismét – immár tudatosan – **kétféle** (pozitív és negatív) **elektromos töltésről** beszélt. Kimutatta és kijelentette, hogy az eltérő elektromos töltésű testek közt vonzóerő, illetve az azonos elektromos töltésű testek közt taszítóerő keletkezik. Coulomb torziós mérleget szerkesztett, amellyel nagyon pontos erőmérést végezhetett. A mérési eredmények alapján – követve a gravitációs erőtörvény alakját – kijelentette: **két különnemű elektromos töltésű test közt a vonzóerő, illetve két egynemű elektromos töltésű test közt a taszítóerő egyenesen arányos a testek elektromos töltésének szorzatával, és fordítva arányos távolságuk négyzetével**. Nem csoda, hogy az elektromos töltések közt észlelt erőt is ekkor még **távolható erőnek** tekintették. A törvényből erő- és távolságméréssel meg lehetett határozni az elektromos töltés egységét. Ettől kezdve az elektromos töltés mérhető mennyiség lett, segítségével matematikai úton tervezni lehetett. Elkezdődött az elektromosság kvantitatív korszaka!

Az áramkör és az elektromos áram

A XVIII. században már nyilvánvaló lett, hogy a leideni palacknak dörzselektromos gépre kapcsolásakor (a palack töltésekor) vagy a palack kivezetéseinek rövidre zárásakor (a palack kisütésekor) keletkező zárt körben az elektromos töltések áramlásáról van szó. A fizikusok – logikusan – az áramlást lehetővé tevő zárt körhöz az **áramkör**, illetve az elektromos töltések áramlásához az **elektromos áram** fogalmát rendelték.

Az elektromos áram törvényszerűségeit a XVIII. század végén még nem lehetett vizsgálni, mert sem a dörzselektromos gép, sem a leideni palack nem szolgáltatott az áramkörben kellő nagyságú és időben állandó értékű tartós áramot. Az e célra alkalmas kísérleti eszköz hiánya ellenére az elektromos áram különböző hatásait (hő, vas mágnesezése stb.) már korábban is észlelték.

Coulomb mágneses erőtörvénye

Gilbert óta tudjuk, hogy egynemű mágnes nincsen, hiszen a mágnes széttördelése során soha sem kapunk csak északi vagy déli pólusú mágnest. A mágnes tulajdonsága mágneses dipólusokban jelentkezik. Ennek ellenére Coulomb bevezette az önálló **mágneses töltés** fogalmát. A mágnes északi pólusát úgy tekin-

tette, mintha ott kizárólag pozitív „mágneses töltések”, illetve déli pólusát úgy, mintha ott kizárólag negatív „mágneses töltések” foglalnának helyet.

Coulomb két kisméretű mágnesrúddal kísérletezett. Torziós ingájával megmérte a mágnesek pólusai közt jelentkező erőhatást. A mérési eredményekből az elektromos töltéseknél felismert erőtörvényhez hasonló törvényt igyekezett felírni. Egyértelműen adódott: **két mágnes különnemű pólusai közt a vonzóerő, illetve két mágnes egynemű pólusai közt a taszítóerő egyenesen arányos a pólusok mágneses töltésének szorzatával, és fordítva arányos távolságuk négyzetével**. A Newton-féle gravitációs erőtörvényhez való hasonlóság itt sem vitatható. Azon sem csodálkozhatunk, hogy ezt az erőt is **távolható erőnek** tekintették még jó néhány évtizedig. A mágneses erőtörvény felfedezésével a mágnesség is nagykorú lett, megnyílt az út a mágneses jelenségek kvantitatív tárgyalhatóságához!

Az elektromotoros erő és az elektromos feszültség

Az 1800. év áttörést jelentett az elektromos áram hatásainak a tanulmányozásához. Ekkor jelentette be Alessandro **Volta** (1745–1827) találmányát, a **galvánoszlopot**, amellyel időben tartós és állandó nagyságú áramot: **egyenáramot** lehetett előállítani bármely – vezetőanyagon keresztül záródó – áramkörben.

Volta egyik laboratóriumi munkája során két különböző fémet, történetesen cink- és rézkorongot érintett össze nedves szöveten keresztül, és azt észlelte, hogy a cink-korongon negatív, míg a rézkorongon pozitív elektromos töltések választódnak ki, halmozódnak fel. Volta vitathatatlan érdeme ezzel kapcsolatban az, hogy felismerte az észleltek jelentőségét, és további céltudatos kísérletezésbe kezdett. A kísérletezés során rájött: amennyiben több cinklemezt és rézlemezt rak egymás fölé, miközben ezek közé sós vízzel átitatott kartont helyez, a töltésszétválasztó hatás, ami a fizikusoktól az **elektromotoros erő** fogalmat kapta, növelhető. Miként minden megbolygatott rendszerben – pl. a megfeszített húrban mechanikai feszültség létesül – most a cink-réz korongban a megbolygatott (szétválasztott) elektromos töltések hatására **elektromos feszültség** keletkezik. Amikor Volta a korongokra vezetéket kapcsolt (áramkört létesített), a szétválasztott töltések abban visszaáramolhattak eredeti helyükre. Útjuk során áthaladtak a vezeték akadályain (a kristályrácsokon), súrlódtak azokkal, következésképpen melegítettek, sőt felizzítottak egyes vezetékeket, vezető anyagokat.

Volta 30, 40, sőt 60 pár korongot is egymás fölé helyezett, jelentősen növelve általa az oszlop elektromos feszültségét. Volta az oszlopelrendezést **galvánoszlop**nak nevezte el Luigi **Galvani** anatómiaprofesszor tiszteletére. Ma minden olyan berendezést, amely töltéseket választ szét, s általa elektromos hatás (például zárt áramkörben elektromos áram) jön létre, **áramforrásnak** hívunk.

A leideni palackhoz képest Volta találmánya az elektromosságtan kultúrtörténetében minőségi javulást jelentett: egyrészt könnyen hordozható volt, másrészt – és ez a lényeg – kisütés után nem kellett újra tölteni, hiszen, áramforrásként, töltve maradt. A magyarázatot Humphry **Davy** (1778–1829) adta meg. Megállapította, hogy a galvánelemben a különnemű elektromos töltések szétválasztását – mint elektromotoros erő – kémiai folyamat, kémiai erő okozza mindaddig, amíg a kémiai feltételek fennállnak. Ennek időtartama pedig – szerencsénkre – nem másodpercekben, hanem napokban, sőt hosszabb időtartammal mérhető.

Az elektromos áram mágneses hatása

A galvánelemnek, mint áramforrásnak a feltalálása fellendítette a fizikusok kutatókedvét. Használatával vezetéket izzíthattak, elektrokémiai kísérleteket végezhettek. Azt kell meglepőnek tartanunk, hogy az elektromos áram **mágneses hatásának** felfedezéséhez 1820-ig kellett várni.

Hans Christian **Oersted** (1777–1851) fizikus volt az, kinek gondolatában felötlött a kapcsolat az elektromos és a mágneses jelenségek között. Talán e két jelenségcsoport közt mutatkozó azonos mozgásformák (vonzás és taszítás), valamint a hasonló erőtörvények segítették a felismerést. Oersted azonban azt hitte, hogyha egyáltalán létezik az elektromos áramnak mágneses hatása, az úgy áramolhat ki a vezetőanyagból, mint a fény vagy a hő. Ezért kísérletei kezdetén ragaszkodott elképzeléséhez, miszerint a vezetéket fel kell izzítania, amennyiben a benne folyó áram mágneses hatását észlelni akarja. A cél érdekében roppant vékony platinaszálat választott (ezáltal a rajta átvezetett áram hatására könnyebben felizzott), de a szál vékonysága miatt a benne folyó elektromos áram csekély maradt, ami nehezítette az áram hatására a vezeték körül kialakuló mágnesség észlelését.

Kitartása végül is sikerhez vezetett: egy árammal átjárt fémhuzal közelében elhelyezett érzékeny mágnestű kilendült. Azt is tapasztalta, hogy az áram irányának a megváltoztatásával a mágnestű is ellentétes irányba tér ki. Bejelentése Európa-szerte óriási feltűnést keltett. Sokan kétkedve fogadták kvalitatív jellegű észlelését, ugyanakkor a tudományos élvonal magáévá tudta tenni a gondolatot. Mind a kísérleti, mind a matematikai apparátus készen állt ahhoz, hogy az idevonatkozó kvantitatív törvények is néhány év leforgása alatt mai teljességükben lássanak napvilágot.

Jean-Baptiste **Biot** (1774–1862) és Félix **Savart** (1791–1841) fizikusok még 1820-ban megállapították az egyenes és a kör alakú vezetőben folyó elektromos áram által a környező tér pontjaiban létrehozott mágneses hatás irányát és nagyságát. Pierre Simon **Laplace** (1749–1827) fizikus és matematikus segített

Oerstednek abban, hogy általános vezetékelrendezésre is érvényes kvantitatív törvényt kapjon. Kétségtelen lett, hogy a mágneses hatás nagysága – a vezetéktől adott távolságban – kizárólag a vezetékben folyó elektromos áram erősségétől függ.

Az elektromos áramok közti erőhatás

André Marie **Ampére** (1775–1836) fizikus – ugyancsak 1820-ban – kísérletileg megállapította, hogy ha két egymás melletti vezetékben elektromos áram folyik, a vezetékekre **erő** hat. Ampére tapasztalta, hogy az **erőhatás** akkor a legnagyobb, amikor a vezetékek párhuzamosak, és erőhatás nem észlelhető, ha a vezetékek merőlegesek. Azt is tapasztalta, hogy ha a vezetékekben azonos irányú az áram, akkor a vezetékek vonzzák, míg **ellentétes áramirány esetén taszítják** egymást. Megjegyzés: ez utóbbi tapasztalat lényeges! Segítségével megmagyarázhatjuk az elektromágneses hullám eltávolodását – leszakadását – az adóantennáról (ld. 27. oldalon).

Ampérenek az elektromos áramok közti erőhatás törvényét **Weber** fejlesztette tovább. Azonban mindketten az áramok közti erőhatást a newtoni távolható erőkkel magyarázták, egy közbülső közeg létezésének a teljes mellőzésével. Ők még nem gondolták, hogy az áramok közti erőhatás visszavezethető a **mágneses mező** – mint közbülső közeg – és az elektromos áram közti kapcsolatra.

A közelhatás gondolata

Michael **Faraday (**1791–1867), aki a fizikatörténet egyik legnagyobb kísérleti fizikusa volt, **közelhatás** hipotézisével új szemléletmódot vitt be az elektromos és a mágneses jelenségek értelmezésébe. Zseniális gondolatáról csak felsőfokon beszélhetünk.

A világ nagy elméleti és kísérleti fizikus generációi annyira magukévá tették a newtoni **távolhatás** elvét, hogy még az új jelenségeket, mint az elektromos és a mágneses jelenségeket is teljesen ebben a szellemben tárgyalták. Faraday gyökeresen szakított a távolhatás gondolatával. Lelki szemeivel az egész teret átívelő **erővonalakat** látott ott, ahol az elődök és a kortársak távolható erőközpontokat képzeltek. Faraday közvetítő hatást, közbülső közeget, éspedig **elektromos erővonalakat** és **mágneses erővonalakat** tételezett fel ott, ahol mások semmi mást, mint távolságot, üres teret láttak. Faraday az elektromos és a mágneses jelenségek (a vonzás, a taszítás és a feszültség keltés) lényegét a **közbülső közegek** hatásaiban, változásaiban kereste. Faraday mind a rúd-

mágnes, mind az áramtól átjárt vezető környezetében a lelki szemeivel látott erővonalakat vasreszelékkel szemléltette, szinte kézzelfoghatóvá tette azokat.

Az elektromos áramok közti erőhatást Ampere is, de az elméletet továbbfejlesztő Wéber is a távolható erőkkel magyarázta, a közbülső közeg teljes mellőzésével. Velük ellentétben Faraday úgy képzelte el, hogy ha bármely vezeték vagy tekercs (primer áramkör) körül, ha abban áram folyik, **mágneses erővonalak** keletkeznek. A mágneses erővonal lesz az, ami a további jelenségek (erőhatás, feszültség keltés) létrehozásában közvetítőként, **közbülső közegként** játszik szerepet. Ily módon a térben – ahová egy másik vezetéket vagy tekercset (secunder áramkört) helyezünk, de teljesen független attól, hogy ténylegesen oda helyezzük-e a secunder áramkört vagy sem, és folyik-e abban áram vagy sem – a primer áramkör által keltett **mágneses erővonalak** révén egy meghatározott állapot alakul ki, s ez az állapot minőségileg különbözik attól az állapottól, mintha nem volna jelen az áramot vivő primer áramkör. A primer áramkör tehát nem a távolból hat a secunder áramkörre, hanem azokon a **mágneses erővonalakon** (közbülső közegen) keresztül, ami tőle a secunder áramkör közvetlen **közelébe megérkezik**. Ez a hipotézis Faradaytól a **közelhatás** fogalmat kapta. Faraday a „megérkezik" szó révén a közbülső közeg terjedésének az **időigényét** is sejteti.

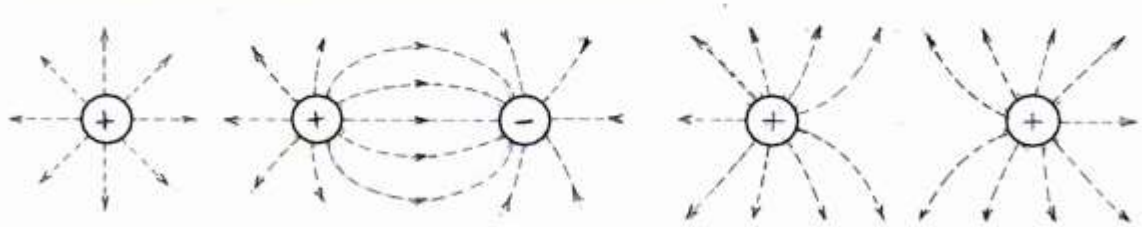
Miben áll a **közelhatás** tudománytörténeti jelentősége? Milyen eredményt jelent az, hogy a tér más-más helyén elhelyezkedő áramkörök közti bármilyen egymásra hatást közbülső lépésre bontotta Faraday? Egyáltalán: tulajdoníthatunk-e a **közbülső közegeknek** reális létet? A valóságot tükrözi-e az elektromos töltések környezetében elképzelt elektromos erővonal, más néven az **elektromos mező**? Létezik-e a mágnesrúd vagy az áramtól átjárt vezeték környezetében megálmodott mágneses erővonal, más néven a **mágneses mező**? A válasz **igen**! A két jellemző: az **elektromos mező** és a **mágneses mező** az elektromosságtanban nélkülözhetetlennek bizonyult. Segítségükkel, illetve a hozzájuk rendelt mennyiségi jellemzőkkel – az **elektromos térerősséggel** és a **mágneses térerősséggel –** a valóság számtalan jelensége magyarázható, illetve számítható! De létüknek mi a bizonyítéka?

Matematikailag igazolható, az **elektromágneses hullám** pedig – miután 1888-ban felfedezik – kísérleti bizonyíték lesz, hogy amíg az elektromos töltés és az általa létesített elektromos mező, illetve az elektromos áram és az általa keltett mágneses mező értéke <u>állandó</u>, de legalábbis értéküknek a <u>változási sebessége</u> nagyságrendekkel kisebb <u>terjedési sebességüknél</u> (ami a fénysebesség), addig a kétféle felfogás: a newtoni **távolhatás**, illetve a faradayi **közelhatás** azonos eredményekhez vezet. Ha azonban az elektromágneses hullámmal lefolytatott kísérleti eredményeknek megfelelően tudomásul vesszük, hogy a közbülső közegeknek (az elektromos mezőnek és a mágneses mezőnek) – terjedjenek bár fénysebességgel – időre van szükségük ahhoz, hogy egy távoli pontig eljussa-

nak, és ott hatásukat észlelni lehessen, akkor a közbülső közegek létezése többé nem hipotézis, hanem szükségszerűség. A **közelhatás** fizikai tény.

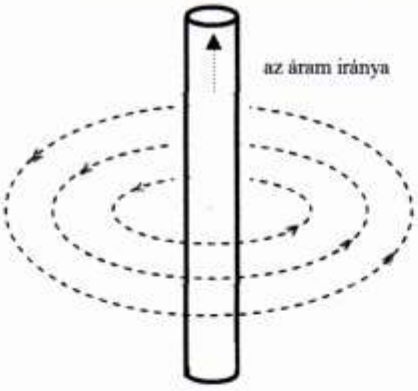
Amikor Faraday a XIX. század derekán az elektromos és a mágneses erővonalak bevezetésével megalkotta közelhatás hipotézisét, a tudós világ pedig Maxwell elméleti közreműködésével elfogadta és magáévá tette az **elektromos mező** és a **mágneses mező** fogalmakat, akkor az **elektromágneses hullám** – mint a közelhatás bizonyításának az eszköze – még sem elméletileg indokolva, sem kísérletileg alátámasztva nem volt!

Az elektromos töltések elektromos mezőjének erővonal képei:

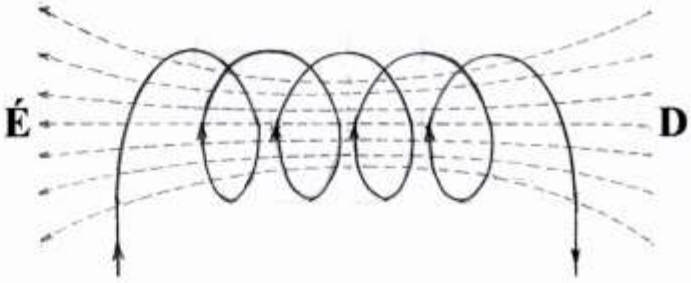


a/ Egyedül álló töltés b/ Két, ellentétes polaritású töltés c/ Két, azonos polaritású töltés

Az elektromos áram mágneses mezőjének erővonal képei:



d/ Az egyenes vezetékben folyó áram mágneses erővonalai



e/ A tekercsben folyó áram mágneses erővonalai

Kísérletei során Faraday megállapította, hogy az **elektromos erővonalak** <u>töltéseken erednek</u> – tehát <u>forrásuk</u> van –, és ellentétes polaritású elektromos töltéseken vagy a végtelenben végződnek. Ezzel szemben a **mágneses erővonalak** <u>forrásmentesek</u> – tekintve, hogy mágneses töltések a valóságban nincsenek –, ezért azok mindig zártak. Az ábrán néhány elektromos töltéselrendeződésnek az elektromos erővonalképét, illetve egy áramtól átjárt vezetéknek és egy tekercsnek a mágneses erővonalképét láthatjuk. Ahol az elektromos térerősséget, illetve a mágneses térerősséget Faraday nagyobbnak észlelte, ott az erővonalak sűrűségét növelte. Faraday erővonalképei szemléletesek, a mai napig jól szolgálják az elektromosságtan jelenségeinek a megértését. Általuk Coulomb erőtörvényei is új értelmezést nyertek: **erőhatás** nem két töltés, hanem az egyik töltés által

keltett **elektromos erővonalak** – vagyis a közbülső közeg – és a másik **töltés között lép fel**. Érzékelhető a két felfogás közti minőségi különbség. Az egymásra hatás két lépésre bontása a tudományban minőségi ugrást jelentett!

Az elektromágneses indukció

Michael Faraday 1821-től érdekes elektromos kísérletezésbe kezdett. Foglalkoztatta a gondolat: vajon az egyik áramkörben folyó elektromos áram – Faraday korában ez még csak a galvánelem időben állandó egyenárama volt – befolyásolja-e a közelében lévő másik áramkörben folyó elektromos áramot? Előtte még az sem volt elképzelhetetlen, hogy az egyik áramkör mellé helyezett másik áramkörben $\mathbf{I_2}$ elektromos áram fog folyni, egyszerűen azért, mert az egyik áramkörben $\mathbf{I_1}$ egyenáram folyik. Faraday kísérleti jegyzőkönyveiben azonban több éven keresztül ez olvasható: „semmi hatás”.

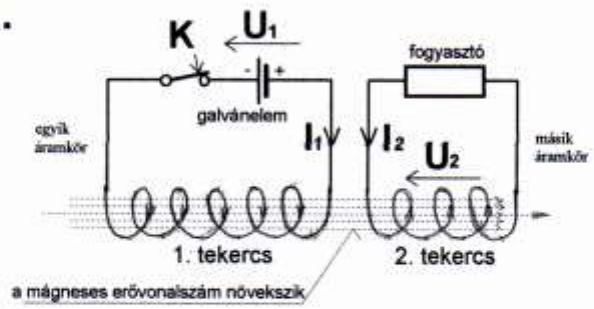
Faradayt keményfából faragták. Végre – ekkor már 1831-et írtak – észrevette, hogy az egymásra hatás létrejöttében a mágneses erővonalszám **megváltozásának** – növekedésének vagy csökkenésének – van meghatározó szerepe. Az áramkörök egymásra hatása a megváltozás módjától függően kétféleképpen is megvalósítható, állapította meg kísérletei során Faraday. Vagy úgy, hogy az egyik áramkörben bizonyos időtartam alatt az áram értékét megváltoztatjuk, s általa a mágneses erővonalszám is megváltozik, miközben a két áramkör térbeli helyzetét egymáshoz képest **nyugalomban** hagyjuk. Ez a **nyugalmi indukció**. Vagy úgy, hogy az egyik áramkörben az elektromos áramot állandó értéken tartjuk, a másik áramkör térbeli helyzetét az első áramkörhöz képest **mozgatjuk (**közelítjük, távolítjuk, vagy forgatjuk), miáltal benne a mágneses erővonalszám szintén megváltozik. Ez a **mozgási indukció**. (Megjegyzés: fő célunkat, az **elektromágneses hullám** kialakulását a nyugalmi indukcióval fogjuk megmagyarázni, ezért ezt az alábbiakban részletezem.)

Faraday imént vázolt kísérletével egy új jelenséget fedezett fel, ami az **elektromágneses indukció** fogalmat kapta. Ez Oersted 11 évvel korábbi felfedezésének – ami azt bizonyította, hogy elektromos árammal mágneses hatást lehet kelteni – éppen az ellenkezője: **mágneses hatással** (nyugalmi indukcióval) **elektromos áramot** lehet indukálni (keletkeztetni).

Faraday az elektromágneses indukció törvényét az általa megálmodott mágneses erővonalak fogalmával minőségileg a következőképpen írta le: amennyiben a **K** kapcsoló zárásával (ld. a köv. oldali **a** ábrát), illetve nyitásával (ld. a **b** ábrát) az 1. tekercsben folyó $\mathbf{I_1}$ áramot **változtatjuk** (létrehozzuk, illetve megszüntetjük), **változni** (növekedni, illetve csökkenni) fog az áram által létrehozott mágneses erővonalszám is. Hatására $\mathbf{U_2}$ feszültség indukálódik (keletkezik) a 2. tekercs-

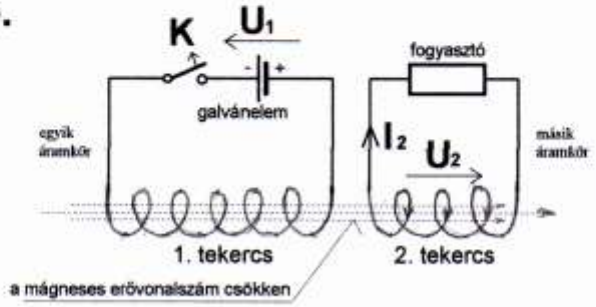
ben, és ha ez a tekercs zárt (pl. egy elektromos fogyasztón keresztül), akkor az áramkörben I_2 áram fog folyni mindaddig, amíg a **változtatást** folytatjuk.

a.



A **K** kapcsoló zárásakor az 1. tekercsben meginduló I_1 egyenáram hatására a mágneses erővonalak száma növekszik. A növekvő erővonalszám – mint változás – miatt a 2. tekercsben U_2 elektromos feszültség indukálódik, s általa a fogyasztón keresztül záródó áramkörben I_2 áram fog folyni. Az I_2 áram iránya olyan lesz, hogy az **gátolni** igyekszik a mágneses erővonalszám növekedését (**Lenz**-féle energia-megmaradási törvény).

b.



A **K** kapcsoló nyitásakor az 1. tekercsben megszűnő I_1 egyenáram hatására a mágneses erővonalak száma csökken. A csökkenő erővonalszám – mint változás – miatt a 2. tekercsben korábban indukált U_2 elektromos feszültség iránya megváltozik, következésképpen az I_2 áram is irányt vált. Az I_2 áram új iránya olyan lesz, hogy az **gátolni** igyekszik a mágneses erővonalszám csökkenését (**Lenz**-féle energia-megmaradási törvény).

Faraday a nyugalmi elektromágneses indukció törvényét <u>mennyiségileg</u> is megfogalmazta: minél kisebb időköz alatt minél nagyobb mértékben **változik** meg az 1. tekercsben folyó I_1 áramerősség, illetőleg hatására a mágneses erővonalak száma (a mágneses mező értéke), annál nagyobb lesz a 2. tekercsben indukált U_2 feszültség, illetve zárt áramkörben az I_2 áram. Az indukált feszültség iránya – észlelte Faraday – más lesz a mágneses erővonalszám növekedésekor, mint csökkenésekor.

Faraday – közelhatás gondolata alapján – úgy képzelte el az indukció jelenségét, hogy a tér azon helyén, ahová az időben változó erősségű **mágneses mező** megérkezik, ott egy „különleges elektromos készenléti állapot": **elektromos mező** (elektromos erővonal) keletkezik. Ez zseniális hipotézis, forradalmian új felismerés, hiszen korábban éppen Ő volt az, aki az elektromos erővonalak kialakulását az elektromos töltés jelenlétéhez, mint forráshoz álmodta meg! Most viszont forrás (elektromos töltés) nincsen. Most a **mágneses mező** <u>időbeli változása</u> indukálja az **elektromos mezőt**, ezt a „különleges elektromos készenléti állapotot". A forrás nélküli elektromos erővonalak pedig – mutatott rá Faraday – önmagukban éppúgy zártak lesznek, mint a forrásmentes (mágneses töltések nélküli) mágneses erővonalak.

Ha ebbe a forrás nélküli **elektromos mezőbe** vezetőanyagból készített tekercset helyezünk, akkor Coulomb elektromos erőtörvénye értelmében az elektromos

mező a tekercs atomtöltéseire erőhatást gyakorol, és ez az erő (az elektromotoros erő) a tekercs atomjainak különnemű elektromos töltéseit éppúgy szétválasztja, s a tekercs kapcsaira (végeire) mozgatja, mint teszi ezt a kémiai erő a galvánelemben. A szétválasztott töltések eredményeként a kapcsok közt elektromos feszültség keletkezik, s ily módon a tekercs **áramforrássá** válik mindaddig, amíg a tekercs helyén a mágneses mező értéke az időben változik, illetve ennek hatására ott egy időben változó **elektromos mező** (egy „**különleges elektromos készenléti állapot**”) létesül. A szétválasztott töltések mennyisége akkora lesz – és ez minden más áramforrásra is igaz –, hogy a különnemű töltések közt fellépő Coulomb-féle elektromos vonzóerő éppen egyensúlyba kerülhessen az őket szétválasztó elektromotoros erővel.

Maxwell, a kiváló elméleti fizikus – akiről már szóltunk és még szólunk – elismerően méltatta Faraday eredményét, azt, hogy kiderítette az elektromos mező „kétlakiságát”, miszerint létezéséhez vagy az elektromos töltés jelenléte, vagy a mágneses mező időbeli változása szükséges. Ez a felismerés nagy segítséget jelentett Maxwell számára elektromágneses hullámelméletének kimunkálásához és magyarázatához.

Az elektromágneses indukció felfedezése teremtette meg az elektrotechnikai nagyipart. Az elektromágneses indukció elvén szerkesztették meg 1832-ben azt az első váltakozóáram-fejlesztő generátort, amelynek a feszültsége az időben már szinuszosan változott. 1834-ben szintén az elektromágneses indukció elve alapján forogni kezdett az első egyenáramú villanymotor, amit **Jedlik** Ányos (1800–1895) az öngerjesztés elvének kidolgozásával 1861-ben továbbfejlesztett. Ugyancsak az elektromágneses indukció elvén alapul **Bláthy** Ottó Titusz (1860–1939), **Zipernowsky** Károly (1853–1942) és **Déri** Miksa (1854–1938) által 1885-ben tervezett zárt vasmagú transzformátor is.

A XIX. század és korunk anyagszerkezeti képe

Az atomfogalom kialakulásába legeredményesebben először a kémia szólt bele. A XVII. században Robert **Boyle** (1627–1691) már megalkotta a **kémiai elemek** fogalmát. Ezek – mondotta – bármely anyagnak olyan alkotórészei, amiket nem lehet egyszerűbb összetevőkre bontani. A XVIII. század végén John **Dalton** (1766–1844) kísérleti úton felismerte az egyes vegyületekben egymással egyesülő kémiai elemek súlyarányát, a **többszörös súlyviszonyok** törvényét, amit csakis úgy tudott és úgy lehetett értelmezni, hogy a kémiai elemek parányi, tovább nem osztható részecskékből, **atomokból** állnak. Nézete szerint egy adott kémiai elem valamennyi atomja egyforma, ugyanakkor ezek különböznek más kémiai elemek atomjától.

Dalton az azonos vagy a más kémiai elemek atomjainak összekapcsolódásából létrejött képződményt **molekulának** nevezte. A molekula – mondotta – még rendelkezik az anyag valamennyi tulajdonságával: többek közt azzal is, hogy beavatkozás (pl. dörzsölés) nélkül elektromos hatást nem jelez (semleges). Ebben a korban az atom, illetve a molekula volt az anyag legparányibb részecskéje.

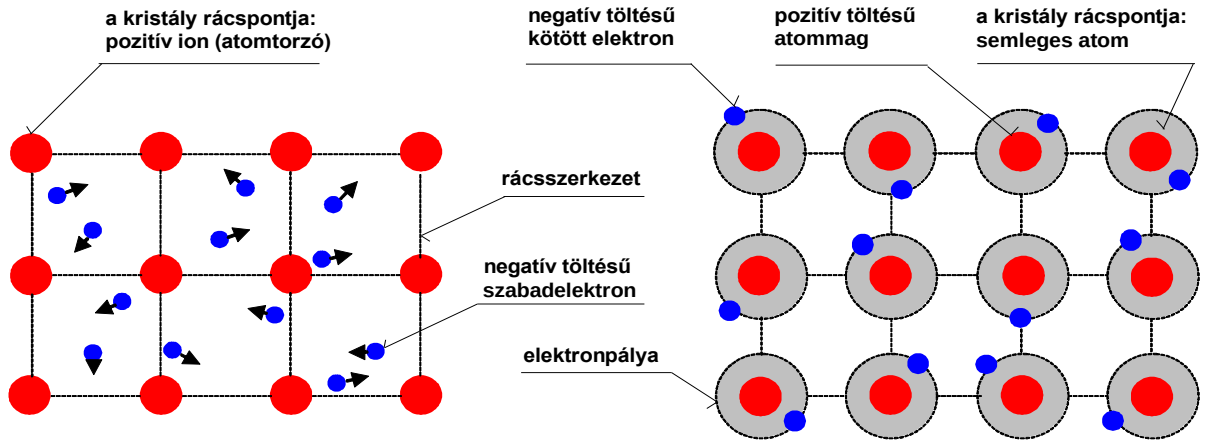
Még néhány évtized, és az anyagkutatás elérte azt a szintet, hogy eredményei által az elektromos jelenségek új magyarázatot nyerhettek. Joseph John **Thomson** (1856–1940) kísérletei során rájött, hogy minden kémiai elem rendelkezik egy közös tulajdonságú részecskével. Ez viszont csak úgy lehetséges, ha ez a részecske a kémiai elem valamennyi atomjának alkotórésze. A további kutatásokkal meg lehetett határozni e részecske tulajdonságait. Parányi tömegűnek bizonyult és miként a megdörzsölt borostyán, ámde – és ez a lényeg – beavatkozás nélkül is **önálló elektromos tulajdonságokat** jelzett. A fizikusok ennek a Thomson által felfedezett elemi részecskének – a görögök által felismert borostyánjelenség alapján a borostyán görög nevét – az **elektron** nevet adták. Ekkor 1897-et mutatott a naptár. Azt is megállapították, hogy az elektron **negatív elektromos töltésű**. Az elektron felfedezésével a tudomány megtalálta a **negatív elektromosság** anyagi megtestesítőjét.

Az atom további szerkezetének megismerésében döntő fordulatot hoztak Ernest **Rutherford** (1871–1937) mérései, amelyeknek legfontosabb eredményei:

- a kémiai elemek atomjában az atom tömegének legnagyobb része az atom teljes térfogatához képest egy kisméretű magban, az **atommagban** van koncentrálva
- az atommag körül meghatározott sugarú pályákon annyi elektron kering, amennyi a kémiai elem rendszáma (a periódusos rendszerben jelölt sorszáma)
- ahány egységnyi **negatív töltéssel** rendelkeznek együttesen az atommag körül keringő elektronok, annyi egységnyi **pozitív töltésből**, **protonból** áll az atommag. Ily módon az atomok és a belőlük felépülő molekulák elektromos szempontból semlegesek. Az atommag felismerésével és tulajdonságainak kifürkészésével a **pozitív elektromosság** anyagi hordozóját, a **protont** is megtalálta az ember.

Bármilyen anyagot vizsgálunk, azok különböző erősséggel egymáshoz kapcsolt pozitív és negatív töltésű részecskék halmazából áll. A pozitív és a negatív töltések hatása egyensúlyban van, ezért a kémiai elemek és a belőlük felépülő vegyületek – az anyagok – normális állapotukban (pl. dörzsölés, hevítés, kémiai folyamat stb. nélkül) semlegesek, kifelé elektromos hatást nem mutatnak. Ha viszont az atomból egy vagy több elektront eltávolítunk (ez viszonylag könnyen

és sokféleképpen megtehető: pl. dörzsöléssel, melegítéssel, elektromos mezővel, megvilágítással stb.), akkor a visszamaradó atomtorzó (az atommag és a környezetében még ott maradt elektronok együttese) **pozitív** töltésű lesz. Ezt az atomtorzót **pozitív ionnak** nevezzük. Ezek nagy tömegüknél fogva kevésbé mozgékonyak, helyzetük viszonylag változatlan, következésképpen a pozitív ionok alkotják az anyag kristályszerkezetének a vázát, mint azt az ábrán szemlélhetjük:



Az ábrán egy fémvezető kristályszerkezete látható. Az atom külső pályáján keringő elektronok az atommagot elhagyhatják, szabadon – bármely irányba – mozoghatnak a kristályszerkezetben. Az elektront vesztett atom lesz a pozitív töltésű ion (a torzó). Elektromos tér hatására (a tér nagyságától függően) a szabadelektronok több-kevesebb része azonos irányba, az elektromos tér irányába fog áramlani. A szabadelektronoknak ez az egyirányú áramlása jelenti a vezetési elektromos áramot.

Az ábrán egy szigetelőanyag belső szerkezete látható. Az elektronok atommagjukat nem tudják elhagyni (nevük éppen emiatt: kötött elektronok), ezért a szigetelőkben nincsenek szabadelektronok. Következésképpen: elektromos tér jelenlétében sem jöhet létre a szigetelőben vezetési elektromos áram.

Az ábra bal oldalán látható fémvezetőt úgy képzeljük el, hogy a fém fémkristályokból (pl. a réz rézkristályokból) áll. A kristály rácspontjaiban vannak a pozitív ionok (az atomtorzók), és köztük szabadon mozoghatnak azok a negatív töltésű elektronok (az úgynevezett **szabadelektronok**), amelyek már szobahőmérsékleten is kiszabadulhatnak az atommag vonzásköréből, elhagyhatják keringési pályájukat.

Az ábra jobb oldalán a szigetelőanyagok felépítését láthatjuk. Ezekben az elektronok csak rendkívüli körülmények fennállásakor (pl. dörzsöléskor, hevítéskor, nagy elektromos térerősség jelenlétekor stb.) hagyhatják el az atomot, ezért a szigetelők normális környezeti feltételek mellett nem rendelkeznek szabadelektronokkal, s emiatt nem vezetik, hanem **szigetelik** az elektromos áramot.

A vezetési áram

A fizikusok már a XVIII. században megalkották az **elektromos áram** fogalmát, bár ekkor még nem tudták, hogy mi az áramlás anyagi hordozója, mi testesíti meg az áramló elektromos töltést.

A XIX. század és korunk anyagszerkezeti képe alapján az áramvezetés folyamatát megérthetjük. Azt már tudjuk, hogy az áramforrásokban működő elektromotoros erő hatására az áramforrások kapcsain különnemű elektromos töltések választódnak ki. Az egyik kapcson a negatív töltésű elektronok, a másik kapcson a pozitív töltésű protonok vagy ionok halmozódnak fel. E különnemű töltések között elektromos mező keletkezik, megjelennek köztük a Faraday-féle elektromos erővonalak.

Amennyiben az áramforrás kapcsaira vezetőanyagot (pl. elektromos fogyasztót) csatlakoztatunk (áramkört létesítünk), az elektromos mező a vezetőanyag belsejében is megjelenik. Ez az elektromos mező a vezetőanyag szabadelektronjaira – Coulomb elektromos erőtörvényének megfelelően – erőt fejt ki. Az erő hatására a parányi tömegű szabadelektronok az erővonalak mentén **azonos irányba**, az áramforrás pozitív kapcsa felé elmozdulnak, és az áramforrás pozitív kapcsához áramlanak. Ezt az egyirányú szabadelektron áramlást nevezzük **elektromos áramnak**. Mivel az áram most a zárt áramkör vezetőanyagában folyik, ezt az áramot célszerűen **vezetési áramnak** mondjuk.

Miután a szabadelektronok eljutnak az áramforrás pozitív kapcsához, ott egyesülnek a pozitív töltésekkel, és elektromos szempontból semleges atommá, illetve molekulává alakulnak. A semlegesítődés miatt – gondolhatnánk – egyre kevesebb töltés marad az áramforrás kapcsain, amiből arra következtethetnénk, hogy a vezetési áram hatására folyamatosan csökkenni fog az áramforrás elektromos feszültsége. Szerencsére nem ez történik. Az áramforrásban működő elektromotoros erő hatására ismét töltések választódnak szét, és halmozódnak fel a kapcsokon. Ez a folyamat addig tart, amíg az áramforrásban a szétválasztó elektromotoros erő működőképes.

Most, miután az anyagszerkezeti kutatások eredményeire támaszkodva az elektromos áram mechanizmusát megismertük, szakítanunk kell Franklin korábbi nézetével, azzal, hogy csak egyféle elektromos töltés létezik: a **pozitív üvegelektromosságú** töltés. Ma, amikor az atom belső szerkezetét a fizikusok felfedték, végérvényesen kétféle elektromos töltést ismerünk: a **negatív** és a **pozitív** töltést. A töltések közül az elektromos áramvezetésben a parányi tömegű, éppen ezért a nagyon mozgékony **elektronok** mozgásiránya a vezetékben folyó elektromos áram iránya, nem pedig a nagy tömegű, rácshoz kötött, ezért szinte mozdíthatatlan pozitív töltéseké. (Megjegyzés: ennek ellenére Franklin tisztelete

miatt a mai napig a pozitív töltések – és nem a negatív elektronok – mozgásirányát tekintjük az elektromos áram gyakorlati irányának).

Érdemes megemlíteni, hogy a szabadelektronok mozgásuk közben gyakran ütköznek a rácspontokban elhelyezkedő pozitív töltésű ionokkal, növelve azok energiáját, amit mi a vezeték melegedéseként, a villamos áram hőhatásaként érzékelünk.

Az elektromos ellenállás

George Simon **Ohm** (1787–1854), miután Oersted felfedezte a villamos áram mágneses hatását, szintén mágneses kísérleteket folytatott. Azt tapasztalta, hogy a különböző vezetőanyagok környezetében eltérő nagyságú mágneses mező alakul ki, annak ellenére, hogy valamennyi kísérleti körülmény (mint például az áramkörben használt galvánelem elektromos feszültsége, a vezetőanyag hossza és keresztmetszete) változatlan maradt. Azt már Biot és Savart munkásságából tudta, hogy a mágneses mező nagysága – a vezetőtől adott távolságban – kizárólag a vezetőben folyó elektromos áram nagyságától függ. A tényekből arra következtetett, hogy csakis a különböző vezetőanyagok eltérő tulajdonsága, eltérő anyagszerkezeti felépítése lehet az ok, ami szükségszerűen maga után vonja a vezetőben folyó elektromos áram megváltozását, következésképpen a mágneses mező nagyságának észlelt eltérését.

Gondolatát kvantitatív módon is megfogalmazta, és 1826-ban bejelentette felismerését: a vezetőanyagban folyó **áramerősség** (elektromos áram**)** egyenesen arányos a rákapcsolt áramforrás **elektromos feszültségével**, és fordítva arányos a vezetőanyag egyik tulajdonságával, az **elektromos ellenállásával**. Az elektromos ellenállás fogalmat is Ohm alkotta meg. A különböző vezetőanyagok eltérő elektromos ellenállását az anyag belső szerkezetével (a szabadelektronok mennyiségével, a kristályszerkezet felépítésével, az elektron–rácsion ütközések gyakoriságával) ma már meg tudjuk magyarázni.

Ohm kortársai a felismerést hosszú ideig tagadták. Nehezen tudtak elfogadni egy olyan kapcsolatot, ami az egymástól teljesen független két kvantitatív villamos jellemző: az **áramerősség** és az **elektromos feszültség** között fennállhat. Ma e felismerést – Ohm tiszteletére – **Ohm-törvénynek** nevezzük.

Az eltolási áram. Maxwell hipotézisei

Faradaynek az erővonalakról alkotott elképzelése – éppúgy, mint közelhatás hipotézise – szokatlan volt, és idegen maradt az élvonalhoz tartozó fizikusok

számára. Minden elismerésük ellenére, amellyel Faraday kísérletező zsenialitásának adóztak, nem láttak benne elegendő alapot ahhoz, hogy az elméletet ezen az úton fejlesszék tovább. Egyetlen kivétel volt, de ez a kivétel – James Clerk **Maxwell** (1831–1879) személyében – az elektromosságtan további fejlődésére döntő hatást gyakorolt.

Maxwell egy csodálatos felismerést, az elektromágneses indukció törvényét örökölte Faradaytól. Ennek – a nyugalmi indukciónak – tömör lényege: ha a mágneses erővonalak száma (a mágneses mező értéke) adott időtartam alatt megváltozik, akkor a térben egy **különleges elektromos készenléti állapot**, elektromos erővonal **(**elektromos mező**)** keletkezik. Ha ebbe az elektromos mezőbe egy vezetőanyagból készített tekercset helyezünk, akkor a tekercsben lévő elektromos töltésekre a Coulomb-féle erő (elektromotoros erő) hat, és emiatt a tekercs töltései éppúgy elmozdulnak, s a kapcsokon (a kivezetéseken) halmozódnak fel, mint történik ez a galvánelemekben kémiai folyamat hatására. A tekercs kapcsain elektromos feszültség keletkezik, más szóval a tekercs áramforrássá válik mindaddig, amíg a mágneses erővonalak száma változik.

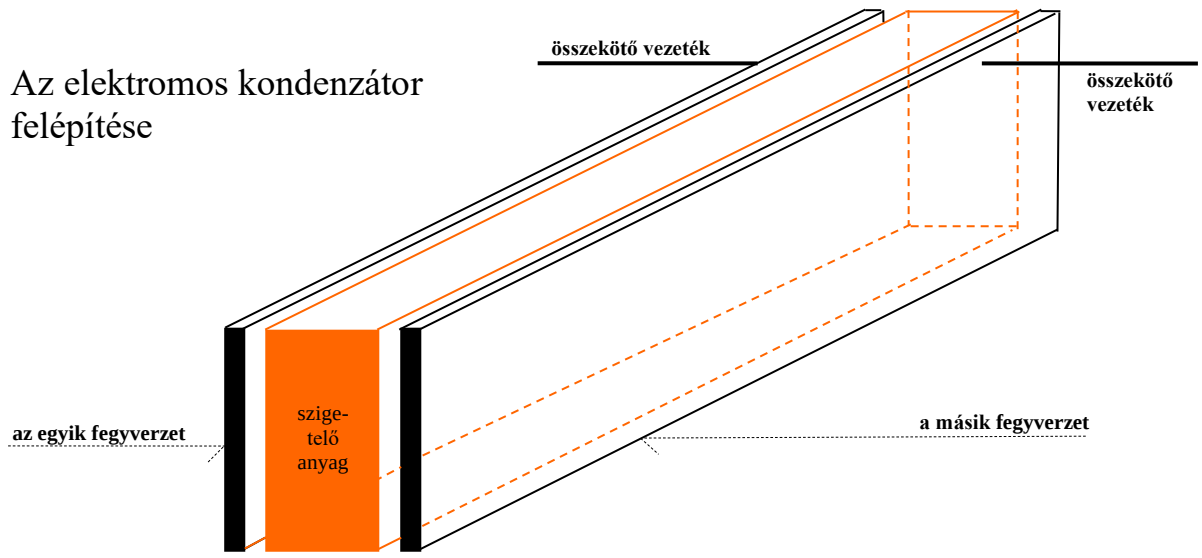
Maxwell eltűnődött: milyen nagyszerű lenne, ha Faraday felismerése fordítva is működne! Történetesen: ha az elektromos erővonalak számának (az elektromos mező értékének) időbeli változására egy **különleges elektromos áram** jönne létre, s ennek hatására egy **különleges mágneses készenléti állapot**: mágneses erővonal (mágneses mező) keletkezne. Harminc év telik el, míg tűnődése gyümölccsé érik.

A XIX. század elejétől, miután Volta feltalálta a galvánoszlopot, szinte minden kutatás, ami a villamosságtannal kapcsolatos volt, fémesen (vezetőanyag által) zárt áramkörre vonatkozott. Amikor a villamosságtan az elektromágneses indukció felfedezése után nagyiparrá lett, egyre gyakrabban alkalmaztak a villamos készülékekben egy új alkatrészt, a kondenzátort. A kondenzátor két szembenálló, de egymással nem érintkező fémlapból (fegyverzetekből) és a fémlapok közé helyezett szigetelőanyagból áll (ld. a 24. oldali ábrát). A kor fizikusai és gyakorlati szakemberei az új alkatrész villamos tulajdonságait mind egyenáramú, mind váltakozó áramú áramkörben sokoldalúan tanulmányozták. Azt észlelték, hogyha a kondenzátorra egyenáramú áramforrást (pl. galvánelemet) kapcsolnak, akkor a bekapcsolást követően rövid ideig az összekötő vezetékben áram folyik. Ezt az összekötő vezeték mellé helyezett mágnestű pillanatnyi kilendüléséből következtették.

Amikor a kondenzátorra váltófeszültségű áramforrást (pl. szinuszos generátort) kapcsoltak, akkor a mágnestű ide-oda lengése tanúsította az áramkörben folyó áramot. Az áramkörben folyó elektromos áram magyarázata sokáig késett. Nem csoda, hiszen olyan áramkörben észlelték azt, ami a kondenzátor révén fémesen

meg volt szakítva, azon villamos töltés – szabadelektron – a korábbi tapasztalatok szerint nem juthatott keresztül. A jelenséget Maxwell magyarázta meg.

Ha egy kondenzátorra áramforrást kapcsolunk, akkor az áramforrás kapcsain felhalmozódott pozitív, illetve negatív töltések eljutnak a kondenzátor egyik, illetve másik fegyverzetére. Az ellentétes polaritású töltések hatására a fegyverzetek terében létrejönnek a Faraday-féle elektromos erővonalak, ott tehát **elektromos mező** keletkezik.

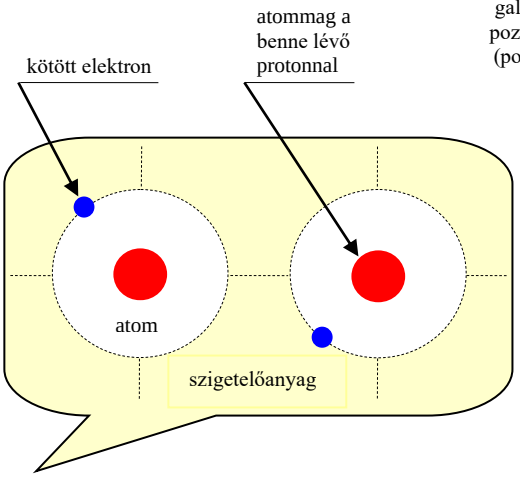


A kondenzátor fegyverzetei közé helyezett szigetelőanyag anyagszerkezetében változás történik – mondotta Maxwell –, mert a szigetelőanyag elektromos mezőbe került. Az elektromos mező, valamint a szigetelőanyag töltéssel rendelkező részecskéi (a kötött elektronok és az atommagok) közt fellépő Coulomb-erő hatására a részecskék korábbi – az elektromos mező jelenléte nélküli – egybeeső villamos súlypontja **eltolódik** (ld. a 25. oldali ábrát).

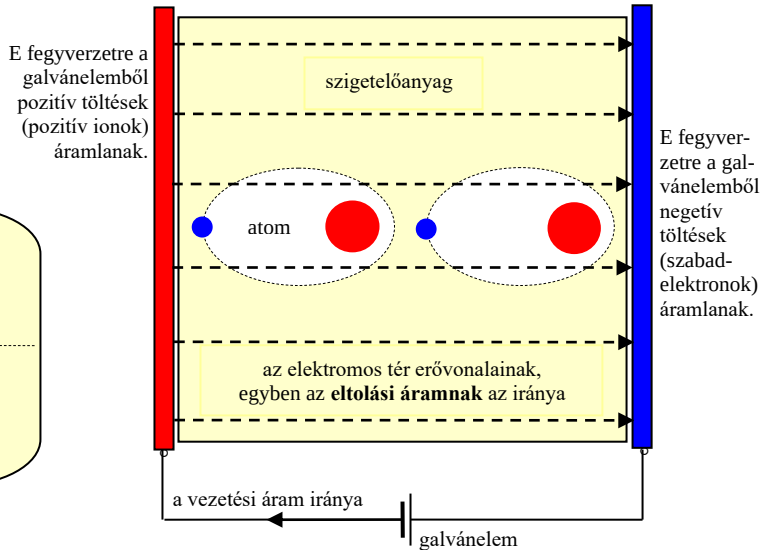
Amíg az **eltolódás** folyamata (a töltések mozgása, egymástól történő távolodása) zajlik, áramot észlelünk. Egyenáramú áramkörben ez a folyamat rövid ideig tart, váltakozó áramú áramkörben az eltolódás periódikusan ismétlődik. Tekintettel arra, hogy a szigetelőanyagban az ilyen jellegű áram a helyhez kötött részecskék (a kötött elektronok és az atommagok) súlypontjának az eltolódása, eltolása miatt jön létre, a **vezetési áramtól** való megkülönböztetés érdekében Maxwell ehhez az elektromos áramhoz az **eltolási áram** fogalmat rendelte.

A fizikusok tapasztalták továbbá, hogy az áramforrást és a kondenzátort összekötő vezetékben akkor is folyik elektromos áram, ha a fegyverzetek közti tér teljesen anyagmentes, ha ott elektromos töltések (elektronok és atommagok, illetve protonok) nincsenek, ha a tér üres. Ez újabb problémát jelentett, hiszen

ahhoz, hogy az összekötő vezetékben áram folyhasson, az áramkörnek fémesen (vezetőanyagon át) zártnak kell lennie, de legalábbis ezt a „zártságot” – mint arról az előző bekezdésben olvashattunk – a kondenzátor fegyverzetei közé helyezett szigetelőanyaggal (az abban lévő kötött elektronok elmozdulása révén és az elmozdulás időtartamáig) meg kellett, meg lehetett teremteni! Most viszont még kötött elektronok sincsenek, mégis észleltek elektromos áramot.



Az ábrán egy szigetelőanyag anyagszerkezete látható külső elektromos tér nélkül. Megfigyelhető, hogy a pozitív töltésű (+) atommagok, valamint a negatív töltésű (-) kötött elektronok elektromos súlypontja egybeesik, és a súlypont az atommag – az ábrán láthatóan – az atommag középpontjában van.



A kondenzátor elektromos terének hatására a szigetelőanyag atomjaiban a (+) és a (-) töltések elektromos súlypontja eltolódik, azok nem esnek egybe. Az eltolódás időtartama alatt, amíg tehát a kis tömegű kötött elektronok a pozitív fegyverzet vonzó hatására az ábrán balra elmozdulnak, áramot észlelünk. Ennek az áramnak a neve: **eltolási áram**.

A jelenséggel kapcsolatosan néhány kérdésre kerestek választ. Éspedig: a kondenzátor fegyverzetei közti üres térben (a vákuumban), ahol nincsenek elektronok, folyhat-e elektromos áram? Ha folyik elektromos áram, mivel indokolható létrejötte? Ez az elektromos áram létesít-e maga körül **mágneses mezőt**? Súlyos kérdések. Mindegyikre Maxwelltől kapunk megoldást és magyarázatot.

Hipotézisként jelenti ki: **a kondenzátor fegyverzetei közti térben is folyik elektromos áram**! Az itt folyó hipotetikus, elektronok jelenléte nélküli **különleges elektromos áramot** (e fogalommal a 23. oldalon már találkoztunk!) matematikailag hozzáadta a **vezetési áramhoz**, s ily módon a fémesen nem záródó áramkört az elektromos áram szempontjából zárttá, folyamatossá tette. Ez bátor lépés volt, hiszen hipotézisének ellenzőivel szemben harcolnia, érvelnie kellett. Ugyanakkor zseniális, ésszerű megoldást nyújtó elgondolás volt, hiszen ahol a vezetékben folyó **vezetési áram** létjogosultsága megszűnt, ott jutott szerephez automatikusan egy más jellegű, a fegyverzetek közti térben folyó

különleges elektromos áram. (Megjegyzés: ebből következik a vezetékben és a térben folyó elektromos áramok azonos nagysága is!) Az elektronok jelenléte nélküli **különleges elektromos áramot** (csakúgy, mint a szigetelőanyagban folyó áramot) a mai napig – Maxwell tiszteletére – **eltolási áramnak** nevezzük.

E két árammal most már egyaránt magyarázni lehetett akár fémesen zárt, akár nyitott áramköri jelenséget. De míg a vezetőanyagokban a vezetési áram létrejöttét – mint azt már tudjuk – a szabadelektronok egyirányú áramlásával magyarázzuk, és értékét az Ohm-törvényből számítjuk, addig Maxwell az **eltolási áram** keletkezését régi álmával, zseniális gondolatával – igaz, egyelőre hipotézisként – az **elektromos mező értékének időbeli változásával** indokolta, és értékét az elektromos térerősség időbeli változásával arányos összefüggésből számította (ld. Maxwell 1. axiómáját a 37. oldalon).

Maxwell ugyancsak hipotézisként jelentette ki: a vezetési áramhoz hasonlóan az **eltolási áramnak** is van **mágneses mezeje** (ld. Maxwell 1. axiómáját). Egykori tűnődése immár hirdetett hipotézis, amit cáfolni vagy igazolni most még egyenlő eséllyel lehetett. Vajon mi lesz nézeteiről az ítélet, mit hoz a jövő?

Maxwell 1873-ban az elektromosságtanra vonatkozó összes korábbi ismereteket saját két hipotézisével kiegészítve matematikai egyenletekbe foglalta. Ezeket a hálás utókor – mint **Maxwell-egyenleteket** (ld. a 37-39. oldalakon) – az elektromos és a mágneses jelenségek legáltalánosabb törvényei közé, az axiómákhoz sorolta. Maxwell munkássága és merész gondolatai révén az elektromosságtan axiómarendszere teljessé vált. Elmélete az emberi szellem egyik legmélyrehatóbb alkotása lett.

Maxwell zsenialitásával az elektromágneses hullám gondolatáig

Maxwell az 1873-ban megfogalmazott egyenleteivel nemcsak a villamosságtanra vonatkozó eddigi eredményeket foglalta össze, hanem általuk a következő húsz év kísérleti lehetőségeit, kutatási témáit és ezek **következményeit** is előre megalapozta. A Maxwell-egyenletekből – mint axiómákból – az egész elektromosságtan (a vezetékes és a vezeték nélküli egyaránt) deduktív módon tárgyalható. Maxwell is ezt tette. Az axiómákat logikai, történetesen matematikai módszerrel elemezte. A levont következtetés meglepő volt, álomnak tűnt. A matematikai vizsgálat eredménye több dolgot sugallt. Mielőtt ezek közül néhányat áttekintenénk, már most leszögezhetjük: valamennyi „sugallat” a későbbi kutatások során igaznak bizonyult, ezért azokat a valóság részének tekinthetjük. A jelentősebb sugallatok:

1./ Ha a térben valamilyen eszközzel időben változó nagyságú elektromos mezőt hozunk létre, akkor ezt követően csodálatos jelenség tanúi lehetünk: az elekt-

romos mező változása Maxwell hipotézise értelmében arányos egy változó árammal, az eltolási árammal. A sugallat értelmében minden áram mágneses mezőt létesít. A mágneses mező változása viszont Faraday elektromágneses indukció törvénye szerint időben változó nagyságú elektromos mezőt létesít s a folyamat most már – visszajutván a kiindulásunkhoz, az elektromos mezőhöz – önmagát fenntartva és megújítva, vég nélkül ismétlődik. A jelenség, mint az **elektromos** és a **mágneses** események végtelen láncolata, **hullámszerű** ismétlődése, találóan kapta Maxwelltől az **elektromágneses hullám** elnevezést.

A térben az említett folyamatot elindító változó nagyságú elektromos mezőt (elektromos erővonalakat) létre tudunk hozni oly módon, hogy egy vezetékben, amit **antennának** nevezünk, az idővel nem egyenes arányban változó elektromos töltést áramoltatunk, más szóval: benne nemlineáris (hanem pl. szinuszos) elektromos áramot létesítünk. Ez egy **rádióadó-berendezéssel** – mint speciális áramforrással – megvalósítható (ld. a 31. oldalt). Az áram nemlinearitásának a követelményét is a Maxwell-egyenletek sugallják!

2./ Az axiómákban szereplő fizikai alapállandókból, a vákuumpermeabilitás és a vákuumpermittivitás mért értékéből (ld. Maxwell 5. axiómáját) következett, hogy a már egyszer valamilyen módon létrehozott és a továbbiakban önmagát fenntartó hullámfolyamat hihetetlen sebességgel száguld a légüres térben: **másodpercenként 300.000.000 méter** utat tesz meg. Ez a sebesség a fény terjedési sebességével azonosnak bizonyult. A sebességek azonossága nem véletlen. Heinrich **Hertz** 1888-ban kísérletileg igazolta, hogy a fény szintén elektromágneses hullám. 1905-ben Albert **Einstein** speciális relativitás elméletét az elektromágneses hullám terjedési sebességének állandóságára, mint axiómára építette. A relativitáselmélet tudományos eredményei ugyanakkor visszahatottak a Maxwell-egyenletekre, s annak értékállandóságát, egzakt természettörvény jellegét erősítették, szavatolták.

3./ Az elektromágneses hullámnak mind az elektromos, mind a mágneses mezeje egymásra is és a terjedés irányára is merőleges, a terjedés iránya pedig a **forrástól** (pl. az antennától) folytonosan **távolodó** (ld. a 29. oldal ábráját). Az adóantennától történő távolodást, a „leszakadást” – erre már a 13. oldalon utaltunk – az antennában folyó **vezetési áram** és ennek folytatásaként az antenna körüli térben záródó, s ily módon a vezetési áram irányával szükségszerűen ellentétes irányú **eltolási áram** közti erőhatással megmagyarázhatjuk (ld. a 31. oldal ábráját).

A **vezetési áram** (illetve áramelem) és a vele ellentétes irányú **eltolási áram** (illetve áramelem) között taszítóerő lép fel. A taszítóerő hatására az áramelemek szükségszerűen elmozdulnak, eltávolodnak egymástól, hacsak ezt valamilyen körülmény nem akadályozza meg. A vezetési áramot (tehát a szabadelektronokat) magában foglaló antenna – egyrészt nagy tömege és rögzítettsége folytán,

másrészt a rá legtöbb esetben körkörösen ható taszítóerők kiegyensúlyozottsága miatt is – nyugalomban marad. Ellenben a „tömegtelen” **eltolási áramot**, s a hozzá kapcsolódó **elektromos** és **mágneses mezőt**, az **elektromágneses hullámot** semmi sem akadályozza meg az elmozdulásban, az adóantennától történő eltávolodásban, a hatalmas sebesség elérésében.

A magyarázat ismert fizikai jellemzőkkel (erő és tömeg) teszi elfogadhatóvá azt a tényt, hogy valamennyi elektromágneses hullám a forrástól távolodik, elhagyja azt, vagy mint a legtöbb írásmű említi: „leszakad” róla. Fantáziánk szegény annak elképzeléséhez, mi történne, ha „leszakadás” helyett az elektromágneses hullámok bennrekednének forrásukban. Nem látnánk a fényt, nem sugárzódna a hő, nem gyógyíthatnánk elektromágneses hullámokkal, és nem élvezhetnénk a **rádiózás** örömét. „Fekete lyukban” élnénk, ha egyáltalán léteznénk. A természet kegyes volt hozzánk: az ötven százalékos esélyt a „leszakadás” javára ítélte.

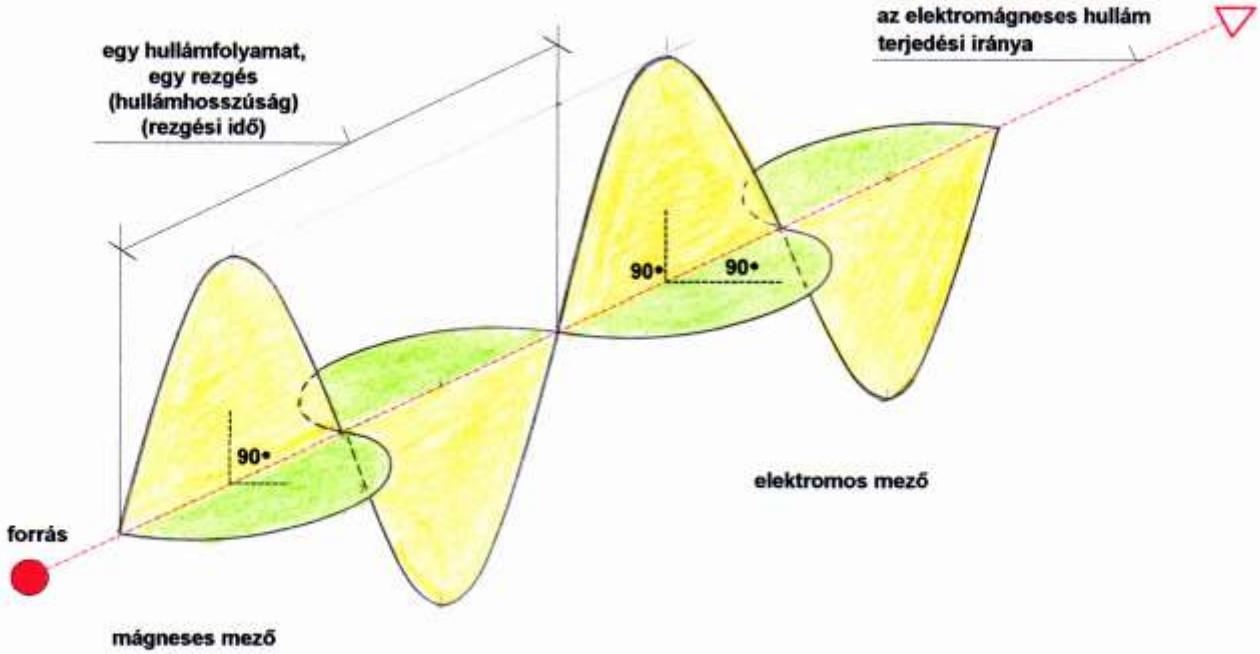
4./ Az elektromágneses hullám elektromos és mágneses mezejének fázisa az időben és a térben azonos (ld. a 29. oldali ábrát). Ez azt jelenti, hogy a hullám hasznos (és nem meddő) elektromágneses energiát szállít. Az energia felét az elektromos, felét a mágneses tér tartalmazza (ld. Maxwell 6. axiómáját). Az elektromágneses hullám energiája a rádióadó-berendezés rádiófrekvenciás villamos energiájából származik, s ha ez az energia a rádióadó-berendezés modulálásával[1] információt (elektromos jellé alakított hírt) is tartalmaz – márpedig a rádiózásban ez a cél –, ezt az információt a száguldó hullám is tartalmazni fogja. Következésképpen: a vezeték nélkül terjedő elektromágneses hullám, mint „szállítóeszköz”, a hírközlést szolgálja.

1: Modulálás: a rádióadó-berendezés rádiófrekvenciás szinuszos feszültség amplitúdójának a megváltoztatása a hangfrekvenciás feszültséggel (ld. a II. rész 46. oldalát).

5./ A forrástól távolodó elektromágneses hullámnak mind az elektromos, mind a mágneses mezeje a távolság **első** – és nem magasabb (!) – **hatványával** fordított arányban csökken. Ennek következménye, hogy hatásuk még a forráshelyüktől akár több millió kilométernyi távolságú terekben is észlelhető (űrtávközlés).

Hertz felfedezi az elektromágneses hullámot

Maxwell elektromágneses hullám elmélete két hipotézisen nyugszik. Az egyik: létezik a vákuumban is folyó **eltolási áram**. A másik: az eltolási áramnak is van **mágneses tere**. Ez a két hipotézis oly csodálatos és fantáziadús, hogy szinte vetekszik a humán kultúra kincseivel, s ily módon képes a természettudományos és a humán kultúra közti szakadék áthidalására. Képes arra, hogy igényt ébresszen a fizikai kultúrértékek iránt. Azonban a hipotézis félkarú óriás. A hipotézisben



Az elektromágneses hullámnak mind az elektromos mezője, mind a mágneses mezője egymásra is és a terjedés irányára is merőleges, ugyanakkor az elektromos és a mágneses mező időben és térben azonos fázisú.

megfogalmazott elképzeléseket előbb-utóbb fel kell ismerni a valóság számtalan jelenségének legalább egyikében, vagy a hipotézisből levont következtetések helytállóságát kell megtalálnunk azokban, s csak ezt követően tekinthetjük a hipotézist igaznak.

Várakozással és reményekkel teli évek telnek el szakadatlan kutatással, emberhez méltó kitartással. Az erőfeszítést siker koronázza. Henrich **Hertz** (1857–1894) 1888-ban kísérleti berendezésével kimutatta az **elektromágneses hullámot**. Készüléke egy **adóból** és egy **antennából** állt. Az **adó** – ami elektromos szikrát (nem-lineáris elektromos áramot) állított elő – galvánelemekből, megszakítóból, szikrainduktorból (nagyfeszültséget előállító tekercsekből) és két szikragömbből állt, az **antennát** pedig a szikragömböket a nagyfeszültségű tekercsrésszel összekötő két vezeték képezte (L. a köv. oldal írását). E készüléktől néhány méternyire elhelyezett két villaszerű csúcs között – amit Hertz két vezetékkel (antennával) egy speciális elektromos áramköri elemre, az üregrezonátorra (vevőre) szerelt fel – **kis apró szikrák** ugráltak akkor, amikor az adó szikragömbjei közt a nagyfeszültség hatására átívelés, átütés történt. Ezek a **kis apró szikrák** bizonyították, hogy a villamosság fémes vezeték-összeköttetés nélkül is terjed, és az **elektromágneses hullám** többé nem hipotézis, hanem a valóság egyik jelensége, szerves része.

Hertz fáradozásai révén Maxwell éleslátása beigazolódott: az elektromosságtan axiómáiból, a Maxwell-egyenletekből levont valamennyi következtetés, valamennyi sugallat, köztük természetesen az előzőleg említettek is, kísérleti igazo-

lást nyertek. Az **elektromágneses hullám** felfedezésével egy új „csoda” – a **rádiózás alapvető** és **elengedhetetlen feltétele** – született meg.

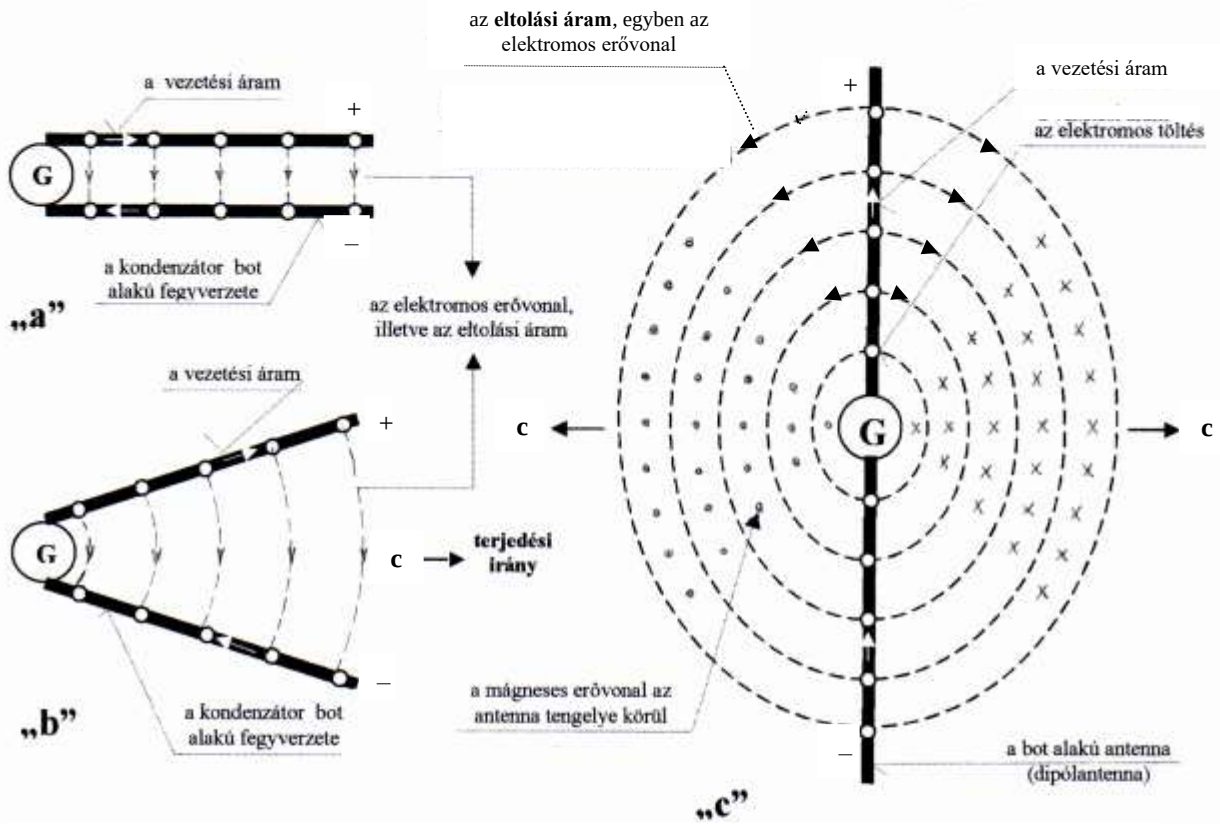
Az antenna, mint az elektromágneses hullámkeltés eszköze

Kapcsoljunk egy kondenzátorra olyan generátort, amelynek feszültsége az időben nemlineárisan (hanem pl. szinuszosan) változik. Hatására a fegyverzetekre időben változó elektromos töltés áramlik, megindul a **vezetési áram**. Az áram önmagával arányos mágneses mezőt gerjeszt, ami – Faraday indukciós felismerése értelmében – a fegyverzetek közt időben változó elektromos mezőt létesít. Az elektromos mező változása – mint azt Maxwelltől már tudjuk – a kondenzátor fegyverzetei közti térben az **eltolási áram** megjelenését jelenti. A Maxwell-egyenletekből következik, hogy az eltolási áram is mágneses mezőt gerjeszt. Ennek változása viszont – Faraday indukció törvénye szerint – változó nagyságú elektromos mezőt létesít, s ettől kezdve a folyamat, visszajutván a kiinduláshoz, vég nélkül, hullámszerűen ismétlődik. Ez a jelenség (mint azt már megismertük) nem más, mint az **elektromágneses hullámkeltés**.

A fegyverzetek közti csekély távolság nem teremt lehetőséget arra, hogy a keltett elektromágneses hullámfolyamatról a kondenzátoron belüli kis térben meggyőződhessünk. Mi a teendő? Meg kell növelni a fegyverzetek közti távolságot egyrészt oly mértékben és módon, hogy a kondenzátor belső tere növekedjen, akár végtelen **külső térré** váljon, másrészt érvényesülhessen a vezetési áram és az eltolási áram közti taszítóerő, hogy általa az elektromágneses hullám „leszakadhasson”. A megoldás lépéseit a következő oldal ábrája szemlélteti.

Az **„a”** rajzrészlet szerinti kondenzátor még nem igényel villamos energiát a rajzon G-vel jelölt váltóáramú (pl. szinuszos) generátorból. Ez érthető, hiszen az elrendezésből – mivel a fegyverzetekben folyó vezetési áram és a kondenzátor fegyverzetei közt folyó eltolási áram egymásra merőleges, s köztük taszítóerő nem léphet fel – még nem juthat ki elektromágneses hullám, s vele elektromágneses energia a külső térbe. (Megjegyzés: e tulajdonsága miatt kiválóan alkalmas arra, hogy egy rádióadó-berendezés nagyfrekvenciájú feszültségét, mint tápvezeték, veszteségmentesen eljuttassa az antennához). A **„b”** rajzrészlet elrendezése – ahol a fegyverzetek végeit nyitni kezdtük – az áramok többé nem merőlegesek egymásra, így köztük a taszítás érvényesülhet, ezért már **elektromágneses hullámot sugározhat**. A sugárzási veszteség pótlására a generátorból szükségszerűen villamos energia áramlik az elrendezésbe.

Még inkább fennállnak az imént említettek a **„c”** rajzrészlet szerinti kinyitott fegyverzetű kondenzátorra. Ezzel az elrendezéssel eljutunk egy olyan kondenzátorhoz, amelynek térfogata végtelen külső térré válik. Ezt a „torz” kondenzá-



Az ábrán a G szinuszos generátor bekapcsolását követően a pillanatnyi elektromos töltések polaritását, a vezetési áram és az eltolási áram, valamint az elektromos erővonalak és a mágneses erővonalak és ezek **c**-sebességű terjedési irányát láthatjuk.

tort – ami csupán az összekötő vezetékekből áll – a rádiózásban **antennának** nevezzük. Az **antenna** már csaknem az egész külső térbe **sugároz**, hiszen itt az antennában folyó vezetési áram és az antenna környezetében képződő eltolási áram közti taszító erő a legnagyobb mértékben érvényesül. Következésképpen: a váltóáramú generátornak is ekkor kell az antennába a legnagyobb villamos energiát betáplálnia.

Az antenna az imént leírtak értelmében nem más, mint energia-átalakító, ami a rákapcsolt váltóáramú generátor villamos energiáját (jó hatásfokkal) elektromágneses energiává, **elektromágneses hullámmá** alakítja át. Az antennára kapcsolt generátort **rádióadó-berendezésnek** nevezzük. Hertz nagyfeszültséget előállító és a szikragömbök közt átütést, szikrázást okozó készüléke már rádióadóberendezés volt. A rádióadó-berendezést és a szikragömböket összekötő vezeték, mint antenna, elektromágneses hullámot sugárzott a térbe. Az elektromágneses hullám pedig (ez a csodálatos „szállítóeszköz”) Marconi találmánya óta a ráültetett hírekkel együtt a fény sebességével száguld.

Az antenna nemcsak az elektromágneses hullámok keltésére és kisugárzására, hanem azok vételére is alkalmas eszköz. Miután a kisugárzott elektromágneses hullám eljut a vevőantennához (L. a köv. oldal ábráját), ott a hullám elektromos mezeje a Coulomb-féle elektromos erőtörvény értelmében a fémből készült vevőantenna villamos töltéseit (a szabadelektronokat) mozgásra kényszeríti,

azaz a vevő-antennában vezetési villamos áramot kelt, amit további jelfeldolgozás érdekében a **rádióvevő-berendezésbe** vezetünk. Hertz berendezése, amely a hozzá érkező elektromágneses hullám hatására **kis apró szikrákkal** örvendeztette meg a tudományt, már rádióvevő-berendezés volt.

Az antennának, a rádiózás egyik szükséges eszközének a feltalálása Alekszandr Sztyepanovics **Popov** (1859–1905) és **Marconi** nevéhez fűződik. Az antennákról – amelyekkel a III. részben foglalkozunk – itt csupán annyit érdemes megemlíteni, hogy a jó hatásfokú sugárzáshoz az antenna hosszának összemérhetőnek kell lennie a kisugárzott elektromágneses hullám hullámhosszával. (Megjegyzés: a latin **antenna** szó magyar jelentése **vitorlarúd**. Találó, szemléletes fogalomválasztás.)

Marconi éleslátásával a rádiózás megteremtéséig

Guglielmo **Marconi** (1874–1937) érdeklődését már gyermekként lekötötték a fizika és a kémia csodálatos eredményei. Diákkorában nemcsak tanáraitól és a könyvekből tanult, hanem azokból a kísérletekből is, amelyeket maga végzett. Mindent kipróbált, mindenről saját szemével kívánt meggyőződni.

Marconi 1894-ben az olasz szaklapokból értesült Hertz haláláról. A lapok részletesen beszámoltak Hertz munkásságáról, többek közt az elektromágneses hullámok felfedezéséről. Marconiban megfogant a gondolat: ha létezik **kisugárzódó** elektromágneses hullám, ami ráadásul iszonyatos sebességgel száguld, miért ne lehetne azt dróttalan táviratozásra, **sugárzással** történő hírközlésre – **rádiózásra** – szállítóeszközként felhasználni? Marconi szemléletében

erősen jelentkezik a gyakorlatiasság, a hasznosítás iránti kényszer. Zsenialitásának, éleslátásának és cselekedeteinek ez a forrása.

Talán **csak** az adóberendezés teljesítményét kell megnövelni, talán **csak** az antenna méretét, elhelyezését és formáját kell célszerűen megválasztani ahhoz – vélte Marconi –, hogy az eddig áthidalt néhány méternyi távolság megtöbbszöröződjön! **Csak** egy érzékeny vevőkészüléket kell készíteni – ötlött fel Marconiban –, hogy távoli kis jeleket is venni lehessen! **Csak** pontokat és vonásokat kellene formálni az elektromágneses hullámból – a Morse-jelekhez hasonlóan –, hogy ezáltal híreket lehessen továbbítani! **Csak**, **csak**, megannyi **csak**!

Marconi nekilát gondolatainak megvalósításához. Kezdetben zavarja, hogy sem Hertz, sem a kor kiváló fizikus egyéniségei nem ismerték fel az elektromágneses hullám hasznosításának a lehetőségét. Ez hihetetlen számára, mivel saját gondolatát az első perctől olyan magától értetődőnek tartotta. Rendszeres, kitartó, s bár fáradságos, de részére sok örömet jelentő munkához lát, és ezt követően egész életét a „**csak**”-ok, az újabb és újabb problémák legyőzésének, az egyre nagyobb távolságok meghódításának szenteli. Teljes sikerrel. Míg 1895-ben néhány 10 méternyire, addig a század végén, 1899-ben már Anglia és Franciaország között létesített rádiókapcsolatot. És ez még – mint azt ma már tudjuk – csupán a kezdet volt!

Marconi számára a rádiózás szépsége mindenkor új erőt kölcsönzött. Személyében a rádiózás hasznossága és esztétikája egységbe forrt. Marconit mi, utódok, méltán a **rádió** feltalálójaként tiszteljük.

Az elektromágneses hullámok osztályozása

A fizikusok – a valóság jelenségeit tanulmányozva – az elektromágneses hullámoknak egyre több tulajdonságát, megjelenési formáját, kiterjedt tartományát (spektrumát) ismerték fel. Rájöttek, hogy a hő és a fény is elektromágneses hullám, de ugyanez mondható el az ultraibolya sugarakról, a röntgensugarakról, a gamma sugarakról vagy a világűrből érkező kozmikus sugarakról is (ld. a köv. oldal táblázatát).

Villámláskor vagy más elektromos szikraképződéskor (amikor a villamos töltések mozgása az időben nemlineáris!) az elektromágneses hullámoknak széles spektruma keletkezik. E tényt Maxwell zsenialitása révén és Hertz nevezetes kísérlete óta már ismerjük. A szikrázásból eredő hullámok zöme éppen a rádiózás céljára előállított és használt elektromágneses hullámok tartományával egyezik. Nem csoda hát, hogy az általuk keltett zajokat, zavarokat olykor rádióvevő-berendezésünkben is észleljük (recsegést, sercegést hallunk).

Táblázat

Az elektromágneses hullám megnevezése	Az elektromágneses hullám jellege	Az e.m. hullám frekvenciája (f)	Az e.m. hullám hullámhosszúsága (λ)
alacsony frekvencia	egyenáram	nulla	végtelen
" "	hálózati váltakozó áram	50 Hz	6.000.000 m
" "	hangfrekvenciás áram	16 – 20.000 Hz	$(19.000 – 15)x10^3$ m
rádiófrekvencia	**h**osszú**h**ullám (HH)	$(150 – 500)x10^3$ Hz	$(2 – 0,6)x10^3$ m
"	**k**özép**h**ullám (KH)	$(500 – 1.770)x10^3$ Hz	600 – 170 m
"	**r**övid**h**ullám (RH)	$(1,77 – 50)x10^6$ Hz	170 – 6 m
"	**u**ltra**r**övid**h**ullám (URH)	$(50 – 1.000)x10^6$ Hz	6 – 0,3 m
"	mikrohullám	$(1– 300)x10^9$ Hz	$(300 – 1)x10^{-3}$ m
hőhullámok		$(3 – 3.800)x10^{11}$ Hz	$(1.000 – 0,8)x10^{-6}$ m
látható fény		$(3,8 – 7,5)x10^{14}$ Hz	$(0,8 – 0,4)x10^{-6}$ m
ultraibolya sugárzás		$(7,5 – 500)x10^{14}$ Hz	$(0,4 – 0,006)x10^{-6}$ m
röntgen sugárzás		$10^{17} – 10^{19}$ Hz	$(300 – 3)x10^{-11}$ m
gamma sugárzás		$10^{19} – 10^{22}$ Hz	$3x10^{-11} – 3x10^{-14}$ m
kozmikus sugárzás		$10^{22} – 10^{28}$ Hz	$3x10^{-14} – 3x10^{-20}$ m

Az elektromágneses hullámok jellemzésére a fizikusok több kvantitatív jellemzőt felismertek. Közülük az egyik a **rezgési idő** (egysége: másodperc). Egy rezgési idő alatt egy teljes hullámerősség változás (növekedés, maximális érték, csökkenés, minimális érték), egy teljes rezgés játszódik le. Egy másik a **frekvencia** (f, egysége: hertz, jele: Hz). Ez a hullám másodpercenkénti rezgésszáma. Egy további jellemző a **hullámhossz** (λ, egysége: méter, jele: m), amely megadja azt a távolságot, amit a hullám egy rezgési idő alatt megtesz a térben (ld. a 29. oldal ábráját). A rádiózásban mindhármat gyakran használják. Ismerve a hullám terjedési sebességét (c=300.000.000 m/s), az utóbbi két mennyiség – a frekvencia és a hullámhossz – egymásból számítható (λ=c/f). A fenti táblázatban az elektromágneses hullámok csoportosítását e két mennyiség alapján végeztük el. (A táblázatban az **e**.**m**. rövidítés jelentése: **e**lektro**m**ágneses.)

Az elektromágneses hullámok terjedése

A rádiózás számára előállított elektromágneses hullámok az adóantennától – főleg az antenna geometriai méretétől, alakjától, térbeli helyzetétől és telepítési helyétől függően – három sajátos módon (vagy ezek kombinációjaként) terjednek a térben (ld. a 36. oldal ábráját), éspedig:

- felületi hullámként
- térhullámként
- közvetlen hullámként (kvázioptikai módon).

A **felületi hullám** a Föld felszíne mentén halad, és követi annak görbületét, egyenetlenségeit. Hatótávolsága (a vételkörzet) az antenna körül kb. 10-400 km

sugarú körön belül van. Lényegében az adóberendezés teljesítménye, a hullám frekvenciája és az határozza meg, hogy mekkora értékű a Föld felszíni rétegének (a talajnak) elektromos ellenállása az antenna közelében, és a tereptárgyak csillapító hatása ott, ahol a hullám terjed.

A hosszúhullámok (a **HH**-k) és a középhullámok (a **KH**-k) főleg felületi hullámként terjednek. Rövidhullámokon (**RH**-kon) a felületi hullám csak az antenna közelében (attól mintegy 5-20 km távolságig) hatásos, ezért e hullámoknál a felületi hullám alárendelt jelentőségű. A rövidhullámoknál nagyobb frekvenciájú elektromágneses hullámok gyakorlatilag nem terjednek a Föld felszíne mentén.

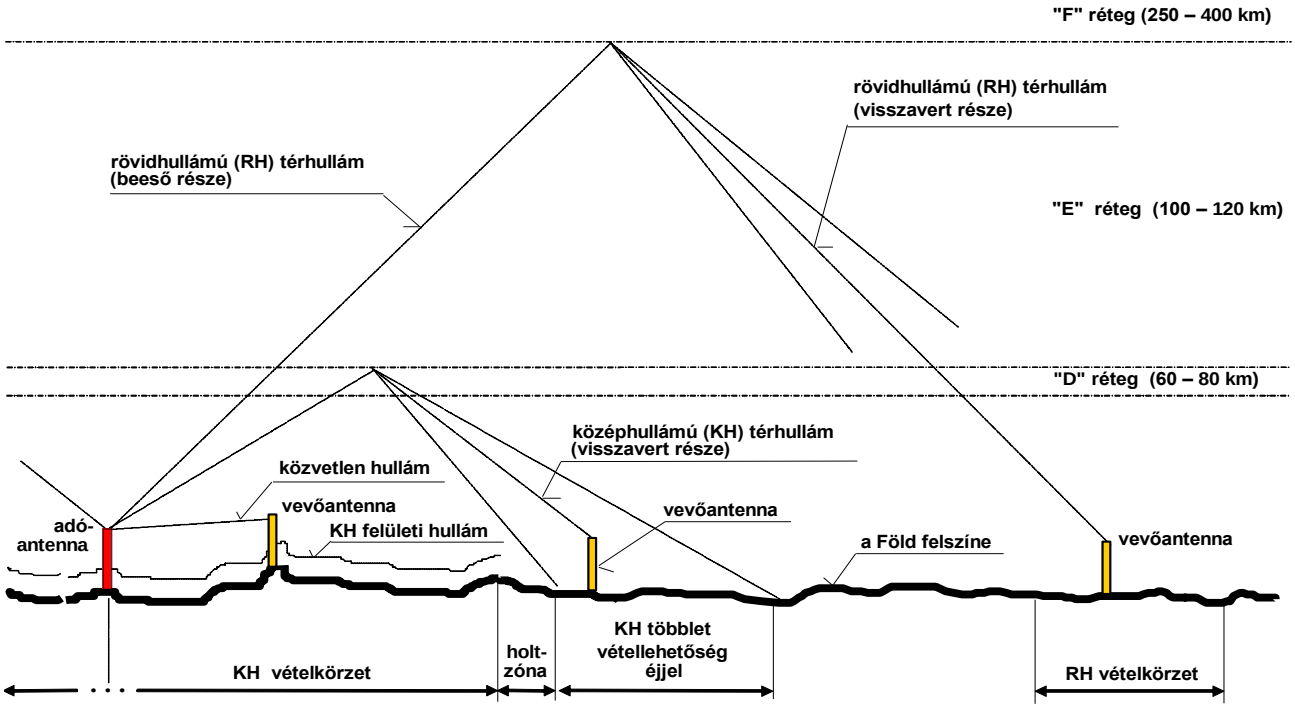
A **térhullámokat** az antennából a világűr felé kisugárzódó elektromágneses hullámok képviselik. A térhullámok teszik lehetővé középhullámoknál az éjjel elérhető nagyobb (400-600 km-es) hatósugarú, illetve rövidhullámoknál az egészen rendkívüli távolságú (500-20.000 km-es) vételhelyek létrejöttét, megvalósíthatóságát. **E cél érdekében a rövidhullámú rádióállomásokon olyan antennákat üzemeltetnek, amelyek zömmel térhullámokat bocsátanak ki.**

A térhullámokkal elérhető nagyobb távolságnak a magyarázatát Olivér **Heaviside** (1850–1925) és Arthur Edwin **Kennelly** (1861–1939) fizikusok hipotézise szolgáltatta, akik feltételezték, hogy azt a magas légkör elektromos állapota okozza. A hipotézis igaznak bizonyult. A későbbi kutatások – amelyekhez **Tófalvi** Gyula villamosmérnöknek és fejlesztő csapatának alkotása: az ionoszféra-kutató berendezés is hozzájárult – igazolták, hogy a magas légkörben található gázok atomjait főleg a Nap ibolyántúli és korpuszkuláris sugárzása ionizálja (a gázatomokból elektronokat távolít el), és az ionizált gáz – mint tükör a fényt – a hozzájuk érkező elektromágneses hullámokat megtöri, és visszairányítja, visszaveri a Földre.

Tekintettel arra, hogy a különféle gázok a Föld felszínétől eltérő magasságban helyezkednek el, a hullámok visszaverése szempontjából több kedvező ionizált gázréteg is keletkezik az atmoszférában. Az egyes ionizált gázrétegek fizikai jellemzőit (az ionizáltság mértékét, a réteg vastagságát stb.) a Nap „járása” és a naptevékenység befolyásolja, módosítja, ezért e rétegeknek egy adott elektromágneses hullámra gyakorolt visszaverő képessége is változik a napszakokkal, az évszakokkal, illetve a napfoltszámokkal.

A rádiózásban az egyes ionizált rétegek betűjelet kaptak. A Föld felszínéhez legközelebbi ionizált réteg a **D** réteg, ami 60-80 km-es magasságban helyezkedik el. A **D** réteg a hozzáérkező hosszúhullámokat visszairányítja a Földre, ugyanakkor a középhullámokat erősen csillapítja (elnyeli), következésképpen ezek nem térhetnek vissza, de (mivel elnyeli) át sem juthatnak rajta. Minthogy a **D** réteg követi a Nap „járását”, s ily módon az éjszakai órákban (sötétedéstől

hajnalig) eltűnik, az éjszaka folyamán a középhullámú térhullámok zavartalanul eljutnak a felette (a Földtől 100-120 km-es sávban) képződő **E** réteghez, amelynek ionizáltsága (visszaverő képessége) a Nap „járásától” szinte független, közel állandó. A középhullámú térhullámok erről a rétegről visszaverődnek a Földre, és az adóantennát övező csaknem 400-600 km sugarú körgyűrűn belül – a felületi hullámok határán túl is – további vétellehetőséget biztosítanak.



(Az ábra nem léptékhelyes!)

Egy kisebb teljesítményű középhullámú adóberendezésnél – amelynél a felületi hullám terjedési határa az adóantennától pl. csak 200 km – a visszavert térhullám kezdete és a felületi hullám terjedési határa között a vétellehetőség megszűnik, közöttük **holtzóna** alakul ki (ld. az. ábrát). Azokon a helyeken, ahol egy nagyobb teljesítményű adóberendezés felületi hulláma és visszavert térhulláma átfedi egymást, a vétel minősége romlik, lebegésszerű hangot hallunk a rádióvevő-berendezésből (**fading**-jelenség).

A rövidhullámú térhullámokat a Föld felett mintegy 250-400 km-es sávban képződő **F** réteg (illetve két alrétege: az $\mathbf{F_1}$ és az $\mathbf{F_2}$) veri vissza a Földre. Az **F** réteg ionizáltsági foka a napszaktól, az évszaktól és a napfoltok számától függően változik, következésképpen a különböző frekvenciájú rövidhullámok terjedése is a napszakok, az évszakok, illetve a napfoltszámok periodikus változásának a függvénye lesz. A rövidhullámokat a **D** és az **E** réteg csak kis mértékben csillapítja, azokon a rövidhullámok szinte zavartalanul keresztülhatolnak. Mindezekre tekintettel (és az ábra segítségével) megérthetjük a rövidhullámokkal áthidalható

több száz, sőt több ezer kilométeres (500-4.000 km-nyi) távolságot. Ha figyelembe vesszük, hogy a rövidhullámok terjedésük során az ionoszféráról és a Földről nem csak egyszer, de többször is visszaverődhetnek (pl. adóantenna–ionoszféra–Föld, majd Föld–ionoszféra–vevőantenna), megérthetjük az adóantennától rendkívüli távolságban létrejövő (4.000-20.000 km-nyi) vételkörzeteket. (Megjegyzés: a hosszú-, a közép- és a rövidhullámokat főleg hangjelek „szállítására" használjuk.)

Az ultrarövidhullámok és az ennél nagyobb frekvenciájú mikrohullámok – hasonlóan a fényhez – **közvetlen hullámként** egyenes vonalban, az optikai átláthatóság határáig (kb. 60-80 km-ig) terjednek. Segítségükkel az ultrarövidhullámú adók (az URH-k) hangjelét, valamint a televízióállomások kép- és hangjelét továbbítják. E hullámok használatánál jól érzékelhetjük az adó- és a vevőantennák közti közvetlen „rálátás" előnyét, szükségét.

A háromféle terjedési módot a gyakorlati rádiózásban figyelembe kell venni. A hiradástechnika szakemberei a besugározni kívánt vételhelyek ismeretében tervezik meg – a terjedési módoknál felismert törvények alapján – a rádióállomások telephelyét, a rádióadó-berendezések teljesítményét, az elektromágneses hullám frekvenciáját (a rádióadás hullámhosszát), valamint az antenna sajátosságait, jellemzőit.

A Maxwell-egyenletek

Az egyes tudományágak megalkotják a maguk axiómáit, amelyekből nem csekély szellemi többlettel hatalmas kincseket nyerhetünk. Az elektromosságtan is felismerte alaptörvényeit, a **Maxwell-egyenleteket**, amelyeket Faraday közelhatás gondolata (az elektromos mező illetve az elektromos erővonalak, valamint a mágneses mező illetve a mágneses erővonalak) felismerése, továbbá Maxwell két hipotézise (az eltolási áram és az általa keltett mágneses mező létezése) alapozott meg. A belőlük nyert következtetéseknek köszönhetjük az elektro- és a rádiótechnika mára elért hatalmas eredményeit. Már csak ezért is tarthat érdeklődésre számot a villamosságtan axiómáinak, a Maxwell-egyenleteknek a megismerése. Tömörségük ellenére is rácsodálkozhatunk a matematika formanyelvén megfogalmazott összefüggések harmóniájára. A vákuumra (a levegőre) vonatkozó axiómák a következők:

1. **axióma:**

$\mathrm{rot}\,\mathbf{H} = \mathbf{J} + \varepsilon_o \cdot (\delta\mathbf{E}/\delta t)$

Azt jelenti, hogy a **H** **mágneses mező** **rot**ációját (térbeli változását) egyrészt a **J** **vezetési áram**sűrűség – ez Oersted felfede-

zése volt –, másrészt az **E elektromos mező** időbeli változásával arányos „különleges elektromos áram”, az $\varepsilon_o \cdot (\delta \mathbf{E}/\delta t)$ **eltolási áram**sűrűség hozza létre. Utóbbi tag – amely Maxwell zseniális hipotézise volt – vezetett el az **elektromágneses hullámok** felismeréséhez. A mágneses mező (a mágneses erővonal) felismerése és elnevezése Faraday érdeme.

2. axióma:

$\text{rot}\, \mathbf{E} = - \mu_o \cdot (\delta \mathbf{H}/\delta t)$

Azt jelenti, hogy az **E elektromos mező rot**ációját (térbeli változását) a **H mágneses mező** időbeli változása, a $\mu_o \cdot (\delta \mathbf{H}/\delta t)$ hozza létre. Ez az axióma az elektromágneses indukció törvénye, amit Faraday fedezett fel. Az elektromos mező (az elektromos erővonal) felismerése és elnevezése ugyancsak Faraday érdeme.

3. axióma:

$\text{div}\, (\mu_o \cdot \mathbf{H}) = 0$

Azt jelenti, hogy a **H mágneses mező** – a mágneses erővonal – forrásmentes, azaz nincsen önálló mágneses töltés, amelyből az erővonal kiáramolhatna (**div**ergálhatna), ezért a mágneses erővonalak mindig zártak. Azt, hogy önálló mágneses töltés nincsen, Ampére ismerte fel.

4. axióma

$\text{div}\, (\varepsilon_o \cdot \mathbf{E}) = \rho$

Azt jelenti, hogy az **E elektromos mező** – az elektromos erővonal – forrással rendelkezik, amelyből az erővonal kiáramlik (**div**ergál). A forrás a ρ **elektromos töltés**sűrűség. Az elektromos erővonalak tehát töltéseken erednek, és töltéseken (vagy a végtelenben) végződnek. Ez is Faraday felismerése volt.

<u>Megjegyzés</u>: a 2. és a 4. axióma az elektromos mező „kétlakiságára”, kétféle eredetére utal! A 2. axióma értelmében az elektromos mezőt a mágneses mező idő-

beli változása kelti, míg a 4. axióma szerint azt az elektromos töltés hozza létre.

5. axióma:

$\varepsilon_o = 8{,}854 \cdot 10^{-12}$ As/Vm — Ez a vákuumpermittivitás. Mért érték.
$\mu_o = 1{,}256 \cdot 10^{-6}$ Vs/Am — Ez a vákuumpermeabilitás. Mért érték.
Mindkettő fizikai állandó.

6. axióma:

$w = \varepsilon_o \cdot \mathbf{E}^2/2 + \mu_o \cdot \mathbf{H}^2/2$ — Ez az axióma teremt kapcsolatot a fizika más területein is ismert kvantitatív jellemző, a **w** energiasűrűség, valamint az **E** elektromos mező és a **H** mágneses mező kvantitatív jellemzői, más néven a térerősségek között.

Dr. Simonyi Károly professzor **Elméleti villamosságtan** könyvében ezt írja: „Ezek az egyenletek, amelyek az összes elektromágneses jelenséget leírják, és amellett mégis annyira tiszták és áttekinthetők, az emberben nagy esztétikai szépségüknél fogva olyan elragadtatást keltenek, amelyet legpregnánsabban a Boltzmann által alkalmazott Faust-idézet fejez ki: **War es ein Gott, der diese Zeichen schrieb**”.

A gondolattal alighanem egyetérthetünk. A Maxwell-egyenletekben – mint említettem – a megismerés mélysége a tökéletes matematikai harmóniával párosul. De ami a lényeg: a Maxwell-egyenletekből eddig levont valamennyi következtetést a valóság, a gyakorlat teljes egészében visszaigazolt!

Zárszó

Most, miután a Tisztelt Olvasó betekintést nyert az elektromosságtan kultúrtörténetébe, és eljutott a rádiózás alapvető eszközének, az elektromágneses hullámnak a megismeréséhez, kérem, hogy a II., a III.. és a IV. rész átolvasásával ismerkedjen meg a Jászberény Rádióállomás feladatával, a rádióadó-berendezések és antennák vázlatos felépítésével és működésével, nem utolsó sorban műszaki munkatársainak napi üzemeltetési kötelezettségét meghaladó alkotó tevékenységével is.

II. rész

A Jászberény Rádióállomás rádióadó-berendezése

Készítette:

Halász Sándor
az állami nagyberuházás helyszíni megbízottja (1968-1973)
a rádióállomás-üzemmérnöke (1974-1980)
a rádióállomás-vezetője (1981-1995)

Jászberény, 2023. április 9.

Jászberény Rádióállomás
250 kW-os EMV gyártmányú rövidhullámú rádióadó-berendezése

A rádióadó-berendezés

Tisztelt Olvasó! Az első rész áttekintése után hozzákezdhetünk a Jászberény Rádióállomás **rádióadó-berendezésének** a megismeréséhez. Előtte néhány gondolat a Rádióállomásról.

Kormányhatározat alapján a Jászberény Rádióállomás feladata volt, hogy a Magyar Rádió budapesti stúdiójában a Külföldi Adások Főszerkesztősége által hazánk társadalmi, gazdasági, tudományos és kulturális életéről készített műsort jó minőséggel vezeték nélkül – **elektromágneses hullámmal** – továbbítsa Észak-Amerikába, Dél-Amerikába, Észak-Afrikába, Ausztráliába, Közel-Kelet és Európa államaiba. A magas színvonalon szerkesztett és az általunk kisugárzott műsorok 1974 óta folyamatosan felkeltették a távoli hallgatók érdeklődését hazánk iránt. Ezt nemcsak a Magyar Rádióhoz szerte a világból havonta beérkezett ezres nagyságrendű elismerő és értékelő levél igazolja, hanem a rádióadónkénti és a napi 18-20 órás műsor hatására fellendült turistaforgalom és erősödő gazdasági kapcsolatok is alátámasztják. A négy évtizedre tervezett adás – sajnálatos módon előbb – 2010-ben félbeszakadt. A technikai fejlődés a korábbi színvonalas rádióadó-berendezéseket és antennákat korszerűbb, gazdaságosabb eszközökkel és más telephelyekkel váltotta fel.

A Rádióállomás – feladatának teljesítéséhez – rendelkezésére állt:

2 db 250 kW-os amplitúdóban modulált rádióadó-berendezés
14 db HRRS-4/4/1 típusú távolsugárzó antenna, hatótávolsága 3.500–18.000 km
14 db HRR-2/2/0,25 típusú közelsugárzó antenna, hatótávolsága 500–3.500 km
2 db TRO-2/2/0,25 típusú körsugárzó antenna, hatótávolsága 0–980 km
1 db LPD-18-k típusú logperiódikus antenna, hatótávolsága 1.000–10.000 km, (2004-től)
1 db HQ-1/0,35 típusú körsug. antenna, hatótávolsága 50–500 km, (2004-től)
2 db 100 kW-os amplitúdóban modulált rádióadó-berendezés, (2004-től)

A rádióadó-berendezés nem más, mint váltóáramú áramforrás. De míg a hálózati 50 Hz-es frekvenciájú, időben szinuszos lefolyású hálózati váltóáramot forgógépes generátorok termelik, addig rádióadó-berendezéseinkben a 4 milliónál is nagyobb frekvenciájú, időben ugyancsak szinuszos áramot egy parányi kvarckristály gerjeszti, melynek feszültségét és teljesítményét tranzisztoros és elektroncsöves erősítők növelik. A fogyasztó-berendezések sem azonosak a generátoroknál ismertekkel. Az adástechnikában egyetlen fogyasztó az **antenna**, amely nem hőt, fényt vagy forgást kelt, hanem elektromágneses hullámot állít elő, és sugároz ki a térbe. Generátoroknál – melyekre rengeteg fogyasztó kapcsolódik –

a megengedett hálózati feszültségingadozás korlátozott, 1-2% lehet. Emiatt a generátorok teljesítmény-kihasználtsága csekély. A rádióadó-berendezésnél más a helyzet. Itt az antennára történő legnagyobb teljesítmény-leadás a cél! Ez lehetséges, ha a generátor (jelen esetben a rádióadó-berendezés) belső ellenállását és a terhelés (az antenna) ellenállását azonossá tesszük, vállalva az ezzel járó 50%-os feszültség csökkenést.

Először a **rádióadó-berendezést** tekintjük át blokkvázlatszerűen (ld.: 44. és 153. oldalt). Csak néhány eleméről, a hangfrekvenciás lánc **modulátoráról**, valamint a rádiófrekvenciás lánc első és utolsó blokkjáról – az **oszcillátorról** és a **modulált fokozatról –** fogok részletesebb tájékoztatást adni.

A rádióadó-berendezés hangfrekvenciás lánca

A hangjeleket – a mikrofonnal időben változó, $u_h(t)$ elektromos feszültséggé átalakított híreket – a budapesti stúdióban állítják elő, amelyek vezetékes és űrtávközlési hálózaton keresztül jutnak el a Rádióállomásra. A hangjelekről mindössze annyit érdemes megjegyezni, hogy csúcsértékük U_h=1,1 Volt, és 1 milliwatt teljesítményszinten érkeznek a rádióadó-berendezés hangfrekvenciás láncának első blokkjához, a tranzisztoros erősítőhöz. A hangfrekvenciás lánc további tagjai elektroncsöves erősítők. A lánc utolsó blokkját hangfrekvenciás végerősítőnek, szakszóval **modulátornak** nevezik (ld. a 149. oldal fotóját).

A szemléletesség érdekében a továbbiakban feltételezzük, hogy a stúdióból egyetlen f_m frekvenciájú és időben szinuszos változású

$$u_h(t) = U_h \cdot \cos(2\pi \cdot f_m) \cdot t$$

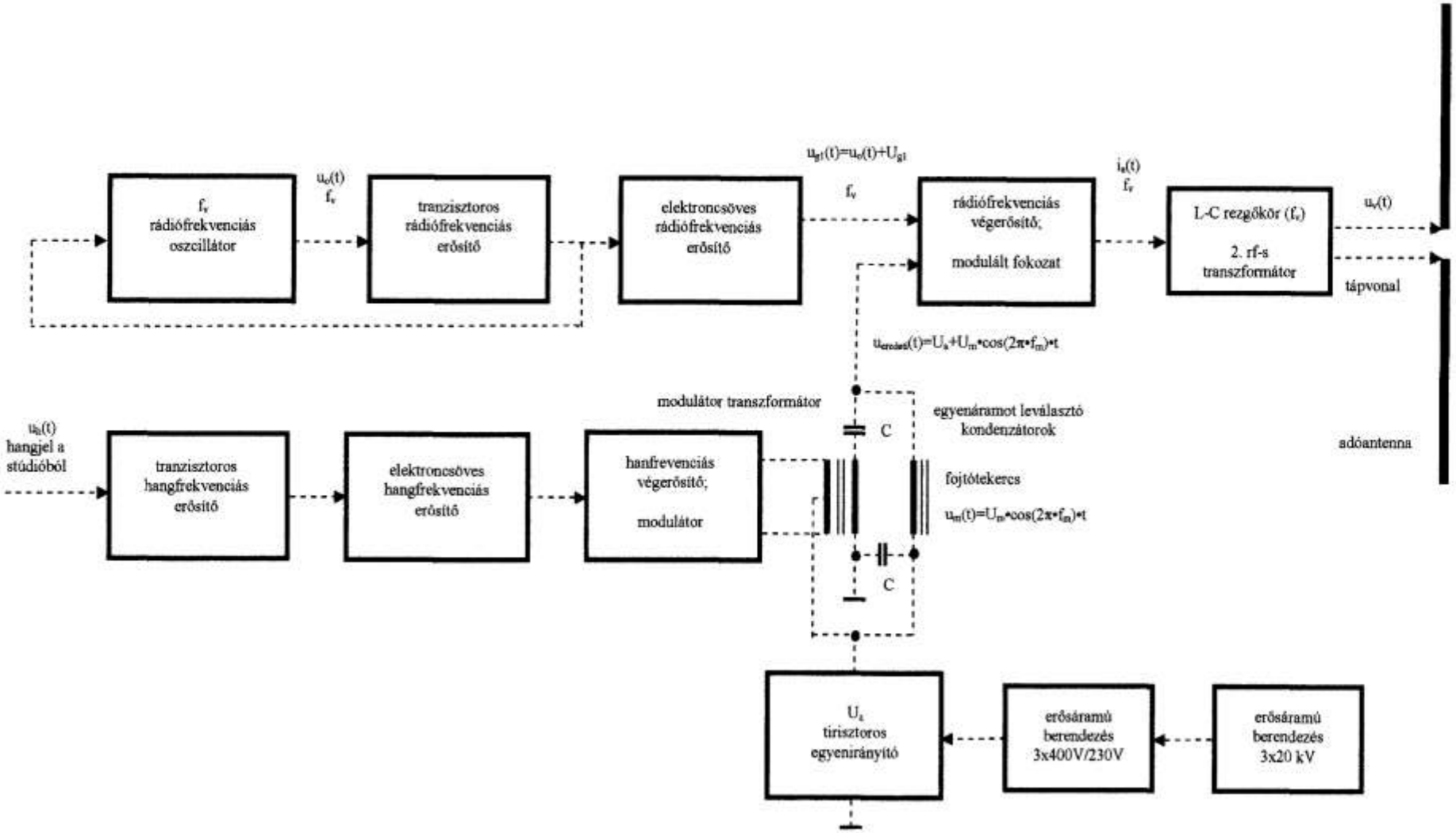
hangjel (mérőjel) érkezik a hangfrekvenciás lánc tranzisztoros erősítőjének a bemenetére. Az $u_h(t)$ hangjel, a további erősítő fokozatok révén, a modulátor transzformátor szekunder kimenetén (a fojtótekercs kapcsain) k_h=10.910-szeresére felerősítve

$$u_m(t) = k_h \cdot u_h(t) = U_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_m) \cdot t \qquad /1/$$

moduláló feszültségként jelenik meg. A felerősített $u_m(t)$ moduláló feszültség U_m amplitúdójának csúcsértéke – maximális mérőhang esetén – eléri a plusz-mínusz 12.000 V-ot, teljesítménye pedig a 125 kW-ot.

Felmerül a kérdés: a felerősített hangjel – antennára kapcsolva – kisugárzódna-e a térbe? A válasz: igen. Hogy a gyakorlat mégsem ez, oka van. A Maxwell-egyenletekből adódik: a jó hatásfokú kisugárzáshoz az antenna méretének a hullámhosszal összemérhetőnek kell lennie. Márpedig pl. egy 1.000 Hz-es hangnak megfelelő elektromos jel hullámhossza 300.000 méter, ilyen méretű antenna

A rádióadó-berendezés blokkvázlata



megépítése lehetetlen. Ezzel szemben pl. egy f_v=10 MHz-es vivőfrekvenciájú, azaz 30 m hullámhosszú jelet eredményesen lehet kisugároztatni egy 30 m-es, technikailag megépíthető antennával. A hangfrekvenciás sáv transzponálása (ráültetése) egy több millió hertzes f_v vivőfrekvenciára – már csak az említett technikai ok miatt is – elengedhetetlen! A felerősített $u_m(t)$ hangjel transzponálását a rádiófrekvenciás lánc utolsó tagja, a **modulált fokozat** végzi.

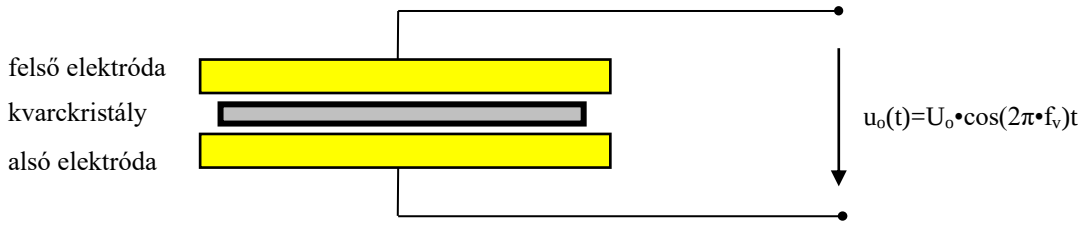
A rádióadó-berendezés oszcillátora

Földünkön több millió rádióadó-berendezés üzemel egy időben. Ha valamennyi ugyanazon az f_v vivőfrekvencián (λ_v hullámhosszon) sugározna műsort, egyidejűleg hallanánk valamennyit, de éppen e miatt nem értenénk egyiket sem. Ahhoz, hogy a rengeteg adó közül ki tudjunk választani egyet, minden adónak más-más transzponáló f_v vivőfrekvencián kell sugároznia. Ez a frekvenciatranszponálás másik oka. Hogy éppen melyik vivőfrekvencián, azt nemzetközi egyezmények időről-időre szabályozzák. A vételi helyen most már nincs akadálya, hogy a rádióvevő-berendezést a venni kívánt rádióállomás vivőfrekvenciájára hangolják a rádiózók, s zavartalanul élvezhessék a hallani kívánt műsort.

Rádióállomásunk – nemzetközi rádióengedély alapján – a 4, 6, 7, 9, 11, 15, 17 és 21 MHz-es frekvenciasávokban előírt vivőfrekvenciákon sugározhatott műsort. A rádiófrekvenciás lánc első blokkjában, az **oszcillátorban** állítjuk elő a sugárzási rendben előírt, a már többször említett – MHz nagyságrendű – f_v vivőfrekvenciás feszültséget. A nagyságrendigény Maxwell I. és II. axiómájából kiolvasható: kellő intenzitású elektromágneses hullám létrejöttéhez időben nagyon gyorsan változó elektromos és mágneses térerősség szükséges. A vivőfrekvencia említett nagyságrendje – ami a transzponálás harmadik oka – ezt garantálja.

Az oszcillátorban a szinuszos feszültséget kvarckristály állítja elő. A kvarckristály nyomás-érzékeny, piezoelektromos tulajdonságú ásvány. A kvarckristályból metszetet, lapot készítenek, majd ezt az adott vivőfrekvenciának megfelelő méretre csiszolják. Ha e lapot megütjük – hasonlóan egy hangvillához –, geometriai méretétől függően több MHz-es frekvenciával időben csillapodó mechanikai rezegést végez. Nyugalomban a kvarc atomjainak elektromos súlypontja egybeesik, ezért ekkor kiváló szigetelő. Nyugalmi állapotban elektromos hatást nem jelez. A lapocska megütésekor a villamos súlypont eltolódik, miáltal felső-alsó felületén ellentétes elektromos töltések jelennek meg. A nyomó- és a húzóerő ellentétes polaritású töltések megjelenését eredményezi a kvarckristály felületein, ami a kondenzátorszerű foglalatában időben csillapodó szinuszos feszültséget gerjeszt.

A kvarckristály és kondenzátorszerű foglalata:



A piezohatás megfordítható. Foglalatára feszültség-impulzust adva, a kvarckristály csillapodó mechanikai önrezgésbe kezd, miközben rezgésével szinuszos feszültséget termel. Ezt a feszültséget tranzisztoros erősítővel megnöveljük, melynek egy részét visszavezetjük a kvarckristály foglalatára, fenntartva ezáltal a benne elhelyezett kvarckristály folyamatos, nem csillapodó mechanikai rezgését. A generált feszültség stabil lesz, amplitúdója kb. tized Volt nagyságrendű.

Az oszcillátorból nyert $u_o(t) = U_o \cdot \cos(2\pi \cdot f_v) \cdot t$ szinuszos oszcillátor-feszültséget tranzisztoros, majd elektroncsöves erősítőkkel k_v-szeresére, az

$$u_v(t) = k_v \cdot u_o(t) = \mathbf{U_v} \cdot \cos(2\pi \cdot \mathbf{f_v}) \cdot t \qquad /2/$$

vivőfeszültségre növeljük. A felerősített feszültség $\mathbf{U_v}$ amplitúdója 12.000 V. A felerősített $u_v(t)$ vivőfeszültség még nem tartalmazza a stúdióból érkező, és felerősített /1/ hangjelet. Ehhez az kell, hogy az $u_v(t)$ egyik paraméterét – akár az $\mathbf{U_v}$ amplitúdóját, akár az $\mathbf{f_v}$ vivőfrekvenciáját – módosítsuk, szakszóval **moduláljuk** a felerősített /1/ jelű $u_m(t)$ hangjellel. Rádióadó-berendezéseinkben az $\mathbf{U_v}$ <u>amplitúdót</u> moduláljuk. A legegyszerűbb módosítás az, ha az állandó $\mathbf{U_v}$ amplitúdóhoz hozzáadjuk a felerősített $u_m(t)$ hangjelet:

$$u_v(t)=[U_v + u_m(t)] \bullet \cos(2\pi \cdot f_v) \cdot t. \qquad \text{Részletezve:}$$

$$u_v(t)=[\mathbf{U_v + U_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_m) \cdot t}] \bullet [\mathbf{\cos(2\pi \cdot f_v) \cdot t}] \qquad /3/$$

A /3/ kifejezés két tényező szorzata. Az első tényező egy összeg: a vivőfeszültség állandó U_v amplitúdójának és az időben változó $U_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_m) \cdot t$ felerősített hangfrekvenciás (moduláló) feszültségnek az összege. Elektronikusan e két feszültség összegzése áramforrásuk sorba kapcsolását jelenti. A második tényező az U_v vivőfeszültségnek az időben $\cos(2\pi \cdot f_v) \cdot t$ szerint változó része.

Hogyan történik elektronikusan az említett két tényező összeszorzása, a /3/ kifejezés szerinti $u_v(t)$ feszültség létrehozása? A folyamat megértéséhez a **mintavételi elv** ismerete szükséges, tekintve, hogy az alábbi mintavételi elv /4/ képlete (ld. a köv. oldalon) alakilag megegyezik a fenti /3/ képlettel. Ha a mintavétel elvét megismerjük, a moduláció folyamatát is megértjük, és megoldási módját is megkapjuk.

A mintavételi elv

A mintavétel egy jelformálási (modulálási) eljárás. Ha egy $f_á$ állandó és egy $f_v(t)$ időben változó jel összegét, valamint egy $f_k(t)$ kapuzó jelet (impulzussorozatot)

És-kapura (szorzó áramkörre) vezetünk, az És-kapu kimenetén egy szaggatott $f_{mv}(t)$ mintavett jelet kapunk:

$$f_{mv}(t) = [f_á + f_v(t)] \bullet [f_k(t)], \qquad /4/$$

amelyet vételi helyre továbbítva, ott az $f_v(t)$ változó jel visszanyerhető (ld. 53. oldal utolsó megjegyzését). Az És-kapu blokkvázlatát, valamint szemléltetésként egy $f_á$ állandó és egy $f_v(t)$ változó jel összegét, egy $f_k(t)$ kapuzó jelet és a nyert $f_{mv}(t)$ mintavett jel alakját az idő függvényében a 48. oldalon láthatjuk.

Ha fennáll az $f_v(t) < f_á$ kapcsolat, akkor egyrészt a mintavett jel mindig pozitív értékű marad – ami egyes És-kapu működésének a feltétele –, másrészt mindig lesz miből mintát venni, ami – mint később belátjuk – előnyt jelent.

Az $f_k(t)$ kapuzó jel általában négyszögimpulzus-sorozat, de többféle alakú periodikus jel, akár – mint a rádióadó-berendezéseinkben – időben szinuszosan változó jel is lehet.

A legfontosabb kérdés mintavétel esetén az, hogy egyáltalán lehet-e elég sűrűn venni a mintákat az eredeti jelből ahhoz, hogy a mintákból a jelet egyértelműen rekonstruálni (a töredékekből helyreállítani) lehessen? Első pillanatban ez lehetetlennek tűnik, hiszen két mintavétel közti időben is változik a változó jel alakja, és ezt a változást a mintavett jelek „nem veszik észre”. Ez azonban csak látszólag igaz. Ha ugyanis a változó $f_v(t)$ jel eleget tesz annak, hogy frekvenciatartománya véges (legnagyobb frekvenciája $f_{v\ max.}$), akkor a mintavétel elve alapján a rekonstrukció lehetséges. Ehhez mindössze azt kell tenni, hogy az eredeti jel legnagyobb frekvenciájának kétszeresével, vagyis ($2 \cdot f_{v\ max.}$) frekvenciával vagy ennél sűrűbben kell a mintákat venni.

Már csak azt kell tisztáznunk, hogy milyen áramköri elemet használunk rádióadó-berendezésünkben **És-kapuként**, továbbá melyek az **állandó** meg a **változó** és a **kapuzó** bemenőjelek, valamint mi lesz a **mintavett** kimenőjel? Utóbbi kérdés eldöntéséhez írjuk egymás alá a /4/ képletet és a /3/ összefüggést, majd hasonlítsuk össze azokat egymással, és vonjunk le következtetéseket:

$$f_{mv}(t) = [f_á + f_v(t)] \bullet [f_k(t)] \qquad /4/$$

$$\mathbf{u_{mv}(t) = [U_a + U_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_m) \cdot t] \bullet [\cos(2\pi \cdot f_v) \cdot t]} \qquad /3/$$

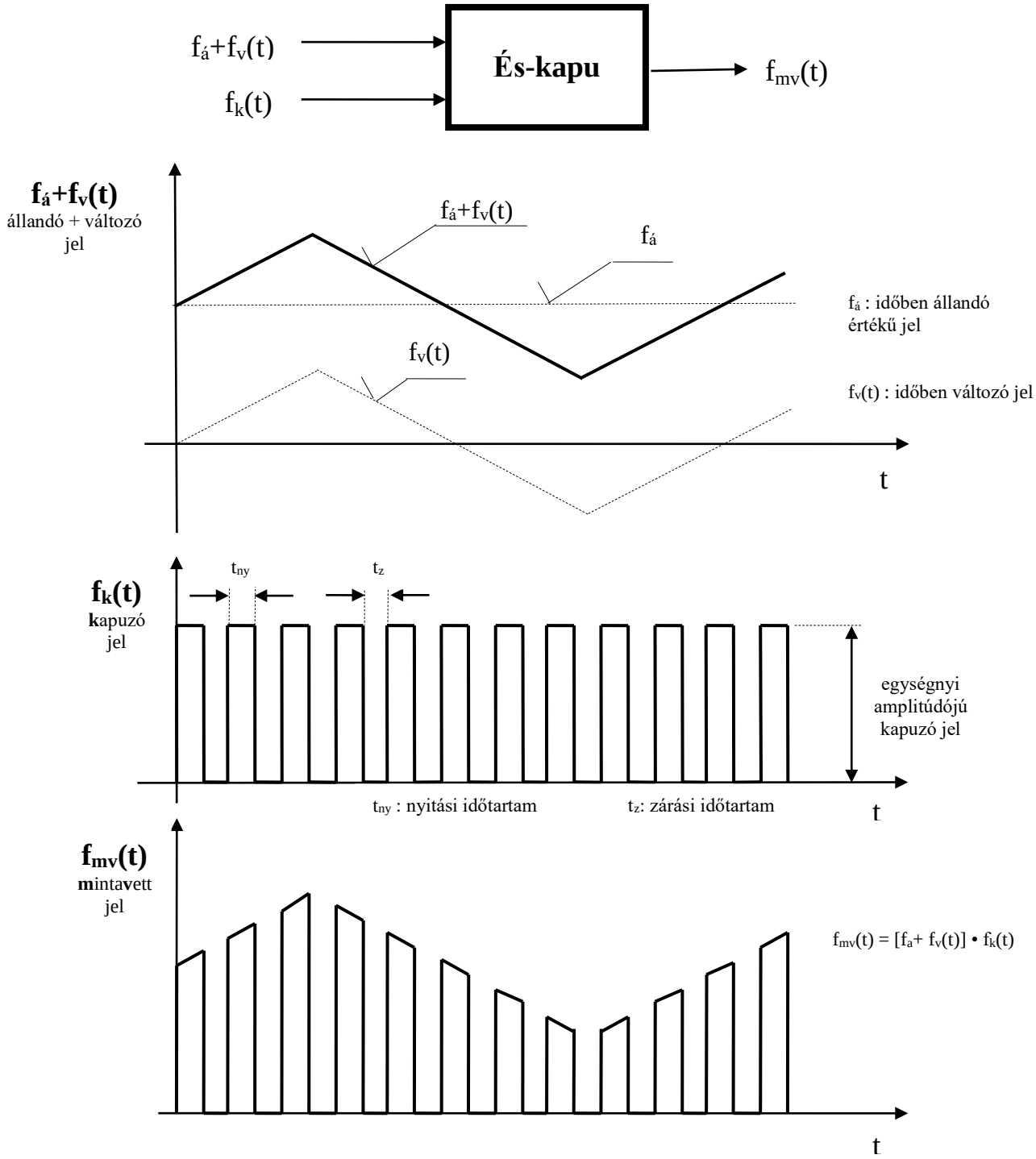
Megállapíthatjuk, hogy az:

$\mathbf{f_{mv}(t)}$ mintavett jelnek → az $\mathbf{u_{mv}(t)}$ mintavett moduláló feszültség,

$\mathbf{f_á}$ állandó jelnek → egy $\mathbf{U_a}$ állandó feszültségű áramforrás,

$\mathbf{f_v(t)}$ változó jelnek → az $\mathbf{U_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_m) \cdot t}$ moduláló feszültség,

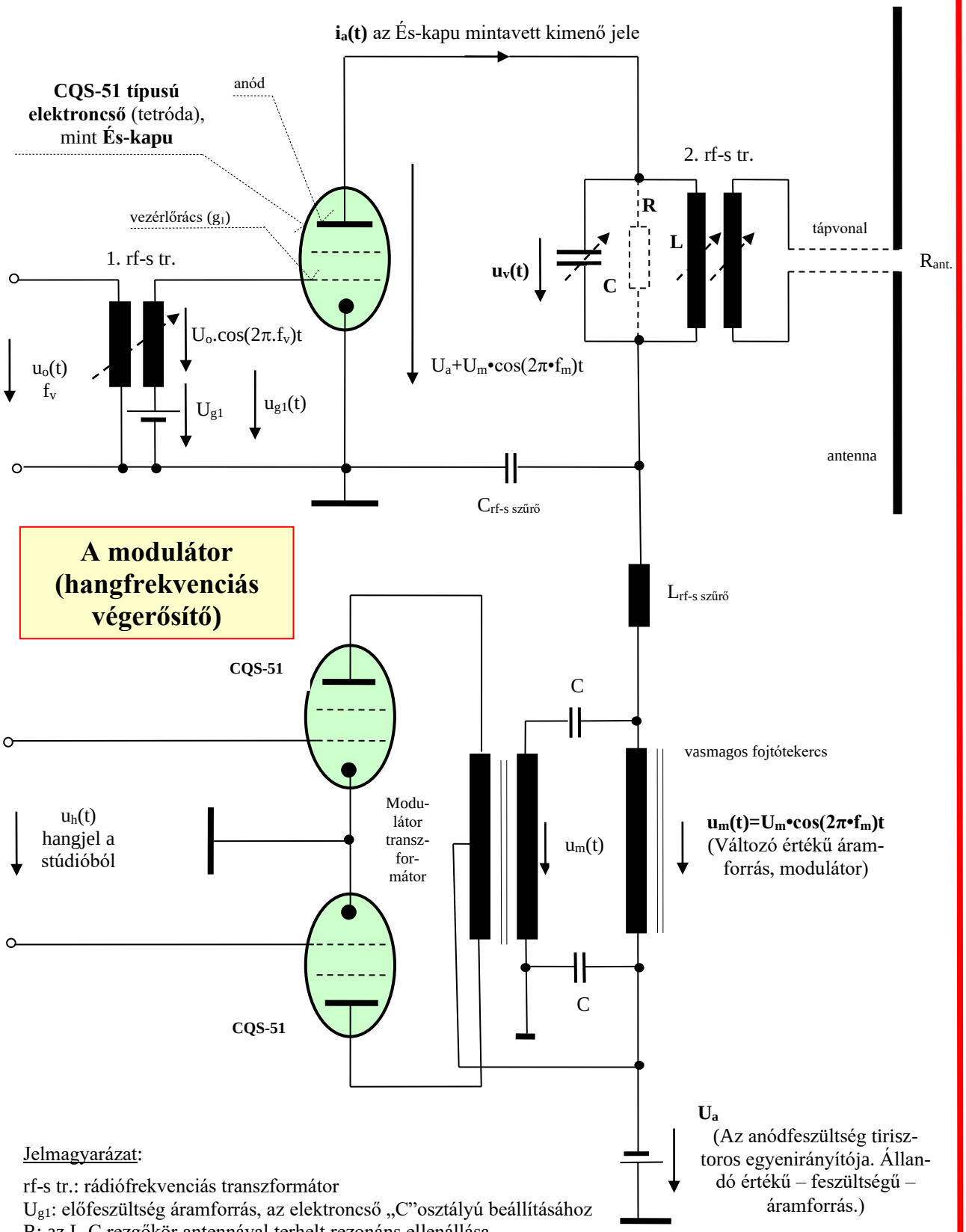
$\mathbf{f_k(t)}$ kapuzó jelnek → a $\mathbf{\cos(2\pi \cdot f_v) \cdot t}$ f_v vivőfrekvenciájú kapuzó jel felel meg.



A rádiófrekvenciás végerősítő, mint És-kapu

A rádióadó-berendezésben az **És-kapu** szerepét a rádiófrekvenciás végerősítő elektroncsöve látja el (ld. 49. oldalt). Egyik kapujára, az anódra kerül az eredeti jel $\mathbf{U_a}$ állandó és az $\mathbf{U_m \cdot cos(2\pi \cdot f_m) \cdot t}$ változó rész összege (sorba-kapcsolt áramforrások). Utóbbi értéke – a szinuszos jelleg miatt – plusz-mínusz 12.000 V között ingadozik (L.: az /1/ képletnél említetteket). Tekintve, hogy az elektroncső anódfeszültsége nem lehet nullánál kisebb, az állandó $\mathbf{U_a}$ feszültségnek legalább plusz 12.000 V-nak kell lennie. Ezt a 12.000 V-os egyenáramú feszültséget a tirisztoros egyenirányító állítja elő (ld. 44. vagy 49. oldalt).

A modulált fokozat (rádiófrekvenciás végerősítő)



A modulátor (hangfrekvenciás végerősítő)

Jelmagyarázat:

rf-s tr.: rádiófrekvenciás transzformátor
U_{g1}: előfeszültség áramforrás, az elektroncső „C”osztályú beállításához
R: az L-C rezgőkör antennával terhelt rezonáns ellenállása
$R_{ant.}$: az antenna táplálásponti ellenállása

A C-osztályú beállításban üzemelő elektroncső másik kapujára, a vezérlőrácsra a már felerősített f_v frekvenciájú szinuszos oszcillátor-feszültséget vezetjük kapuzó jelként. A C-osztályú beállítás lényege, hogy az elektroncső vezérlőrácsa oly nagyságú negatív előfeszültséget kap egy U_{g1} áramforrásból, hogy az elektroncső anódárama – kapuzó jel nélkül – nulla marad. A felerősített oszcillátor feszültség (ld. 51. oldalt) az f_v vivőfrekvencia ütemében, mint egy kapcsoló, periódikusan megindítja (a t_{ny} nyitási időtartam alatt), majd megszünteti (a t_z zárási időtartam alatt) az elektroncső $i_a(t)$ anódáramát, kapuzva (szaggatva) ezáltal az anódjára vezetett egy állandó és egy változó tagból álló összegzett $[\mathbf{U_a+U_m \cdot cos(2\pi \cdot f_m) \cdot t}]$ feszültséget.

Az És-kapu kimenőjele az $i_a(t)$ anódáram. Az anódáram az anódáramkörben lévő, de rezonanciára még nem hangolt L-C rezgőkör R ellenállásán (az R_{ant} antenna-ellenállás áttranszformált értékén) létrehozza a mintavett kimenő feszültséget, ami a /4/ mintavételi elv alapján a /3/ összefüggésnek megfelelően

az összegzett $[\mathbf{U_a+U_m \cdot cos(2\pi \cdot f_m) \cdot t}]$ jel

és a kapuzó $[\mathbf{cos(2\pi \cdot f_v) \cdot t}]$ jel szorzata, azaz

$$\mathbf{u_{mv}(t)} = i_a(t) \cdot R = [\mathbf{U_a+U_m \cdot cos(2\pi \cdot f_m) \cdot t}] \bullet [\mathbf{cos(2\pi \cdot f_v) \cdot t}] \quad \text{lesz.} \qquad /5/$$

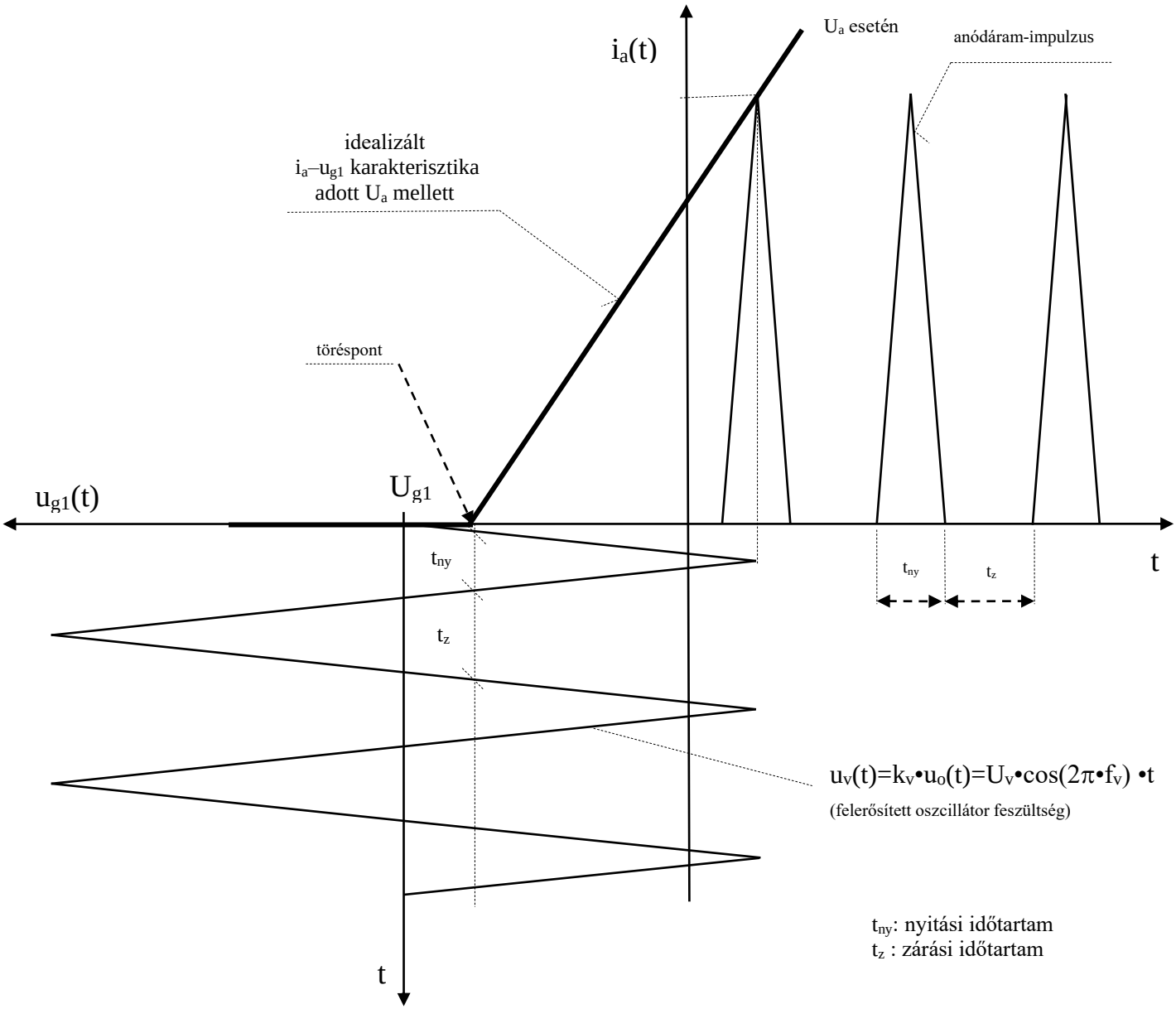
Az $i_a(t)$ áramerősség értéke az 1. rádiófrekvenciás transzformátor áttételének megváltoztatásával szabályozható. Általa a rádiófrekvenciás végerősítő modulálatlan kimenő teljesítménye pontosan beállítható az előírt 250 kW értékre.

Az időben állandó értékű U_a feszültségű áramforrás beiktatásával elérhető, hogy hangjel szünetekben, amikor a moduláló $u_m(t)=U_m \cdot cos(2\pi \cdot f_m) \cdot t$ feszültség nulla-értékű, nem szűnik meg az elektromágneses hullám továbbítása (lesz miből mintát venni), s ily módon, a vétel helyén, mindenkor lehetséges lesz a rádióvevőberendezés L-C rezgőkörének a pontos lehangolása az f_v vivőfrekvenciára.

A mintavételezés kapcsán két kérdésre kell még választ adni. Az egyik kérdés: sávhatárolt-e a moduláló feszültség? A válasz: igen. A stúdióból érkező $u_h(t)$ hangjelből a rádióadó-berendezés – a hangfrekvenciás láncba épített aluláteresztő szűrő hatására – csupán az f_m=(60–4.500) Hz közti frekvenciájú hangjeleket fogja felerősíteni, következésképpen a maximális frekvencia $f_{m\ max.}$= 4.500 Hz.

A másik kérdés: milyen gyakorisággal (milyen frekvenciával) kell mintákat venni? Mivel a legnagyobb rezgésszám $f_{m\ max.}$= 4.500 Hz, a kapuzó (mintavevő) jel frekvenciájának legalább $2 \bullet f_{m\ max}$= 9.000 Hz-nek kell lennie. A rádióadóberendezésben a kapuzó jel az oszcillátor felerősített, MHz-es frekvenciájú szinuszos feszültsége, bőven teljesítve a mintavételezés követelményét.

Az elektroncső idealizált i_a–u_{g1} anódáram–vezérlőrács-feszültség karakterisztikája



Megjegyzések:

1. Az ábrán a könnyebb rajzszerkesztés miatt a szinuszos jellegű feszültségek és áramok ábrázolása háromszög alakú.
2. Az U_{g1} egy állandó értékű negatív vezérlőrács-előfeszültség áramforrás, ami az adócső C-osztályú beállítására szolgál. Biztosítja az anódáram szüneteltetését mindaddig, míg az $u_v(t)$ kapuzó feszültség meg nem haladja a karakterisztika töréspontját.

Az $i_a(t)$ anódáram – a mintavett jel – az 51. oldalon láthatóan impulzusszerű, f_v frekvenciával lüktet. Egy ilyen jel az f_v alapfrekvencián kívül sok felhamonikust tartalmaz. Amennyiben egyrészt az L-C rezgőkört az f_v vivőfrekvenciára hangoljuk, másrészt a 2. rádiófrekvenciás transzformátor (ld. 49. oldalt) áttételét úgy választjuk meg, hogy az antenna R_{ant} ellenállását oly R értékre transzformálja át a rezgőkör kapcsaira, hogy a rajta átfolyó $i_a(t)$ anódáram első harmonikusa U_a-val azonos nagyságú U_v amplitúdót hozzon létre, akkor a rezgőkör kapcsain az

$$u_v(t) = [U_v + U_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_m \cdot t] \cdot [\cos 2\pi \cdot f_v \cdot t] \qquad /6/$$

vivőfeszültség egyrészt alakilag is azonos lesz a /3/ összefüggéssel, másrészt maximális értéket vesz fel, következésképpen a rádióadó-berendezésből a legnagyobb teljesítmény jut az antennára. A <u>végcél</u>: a moduláció és a maximális teljesítmény-leadás teljesül! (Megjegyzés: az $u_v(t)$ vivőfeszültség az L-C rezgőkörnek f_v vivőfrekvenciára történő lehangolása után már nem mintavett jel, hanem folyamatos feszültség).

Az $u_v(t)$ rezgőköri feszültség a 2. rádiófrekvenciás transzformátoron át a tápvonalra, onnan az adóantennára jut. Az adóantenna pedig elektromágneses hullámként kisugározza a térbe, oda, ahol a vevőantennák helyezkednek el. A vevőantennákban az egyes rádióállomások elektromágneses hullámai feszültséget, illetve áramot keltenek, amelyek közül a rádióvevő-berendezés L-C rezgőköre szelektíven kiválaszt egyet, a hallani kívánt f_v vivőfrekvencián sugárzó rádióállomás jelét, amit erősítés, majd egyenirányítás (detektálás) után a hangszóróba vezetve, figyelemmel kísérhetjük a rádióállomás műsorát.

A modulált rádiófrekvenciás feszültség elemzése

A /6/ összefüggésből – ismert trigonometriai átalakításokkal – nyerjük:

$$u_v(t) = \underset{\substack{\uparrow \\ a)}}{U_v \cdot \cos 2\pi \cdot f_v \cdot t} + \underset{\substack{\uparrow \\ b)}}{(U_m/2) \cdot \cos 2\pi \cdot (f_v + f_m) \cdot t} + \underset{\substack{\uparrow \\ c)}}{(U_m/2) \cdot \cos 2\pi \cdot (f_v - f_m) \cdot t} \qquad /7/$$

Látható, hogy az $u_v(t)$ rezgőköri feszültség három koszinuszos (ha úgy tetszik szinuszos) feszültségből tevődik össze:

a)	az	U_v	amplitúdójú	és	f_v	frekvenciájú	vivőfeszültségből
b)	az	$(U_m/2)$	„	és	$(f_v + f_m)$	„	felső oldali feszültségből
c)	az	$(U_m/2)$	„	és	$(f_v - f_m)$	„	alsó oldali „

Ezek eredőjét a t idő függvényében és a frekvencia tartományban az 54. oldal ábráján láthatjuk. Észrevehetjük, hogy a modulált jel olyan időfüggvény, amelynek felső és alsó <u>burkológörbéje</u> pontosan megegyezik a moduláló jellel (az

ábrán a mérőjel szinuszos jelével). Ennek feltétele, hogy $U_m < U_v$, illetve határesetben $U_m = U_v$ legyen. Az a tény, hogy a burkológörbe alakja pontosan megegyezik a moduláló jellel, a vételoldalon egyszerűvé teszi a moduláció (a stúdióban készített hangjel) leválasztását a vivőről. Csúcs-egyenirányítás által a detektor kimenetén egészen egyszerűen a mindenkori vivőcsúcsértékkel arányos feszültség áll elő. Ez pedig megegyezik a burkológörbével, feltéve, hogy $f_v >> f_m$. Márpedig ez a feltétel a már említett frekvencia-transzponálás miatt fennáll.

A /7/ képletből kiolvashatjuk, az 54. oldalon pedig láthatjuk, hogy egyrészt a hanginformációt hordozó alsó és felső oldali feszültségek feleződnek, másrészt a vivőfrekvencia két oldalán helyezkednek el. Ha figyelembe vesszük, hogy a stúdióból érkező jelek 60 Hz-től 4.500 Hz-ig terjedő frekvenciasávot tartalmaznak, helyesebb alsó és felső oldalsávi feszültséget említeni. Utóbbiból származik ennek a modulációs formának az elnevezése: **kétoldalsávos amplitúdó moduláció**, szokásos nemzetközi rövidítéssel AM-DSB. Rádióállomásunk mind a négy rádióadó-berendezése AM-DSB rendszerű.

Korábban említettük, hogy Földünkön több millió rádióadó-berendezés üzemel egyidejűleg, ezért, – hogy egymás adását ne zavarhassák – a transzponált f_v vivőfrekvenciájuknak különbözőknek kell lenniük. Belátható, amennyiben az adók egymástól való frekvenciatávolsága 9 kHz, akkor az egyik adó felső oldalsávja már nem okoz zavart (áthallást) a másik „szomszédos” adó alsó oldalsávjában, és viszont. A 9 kHz-es frekvenciatávolság betartását nemzetközi rádióegyezmény írja elő.

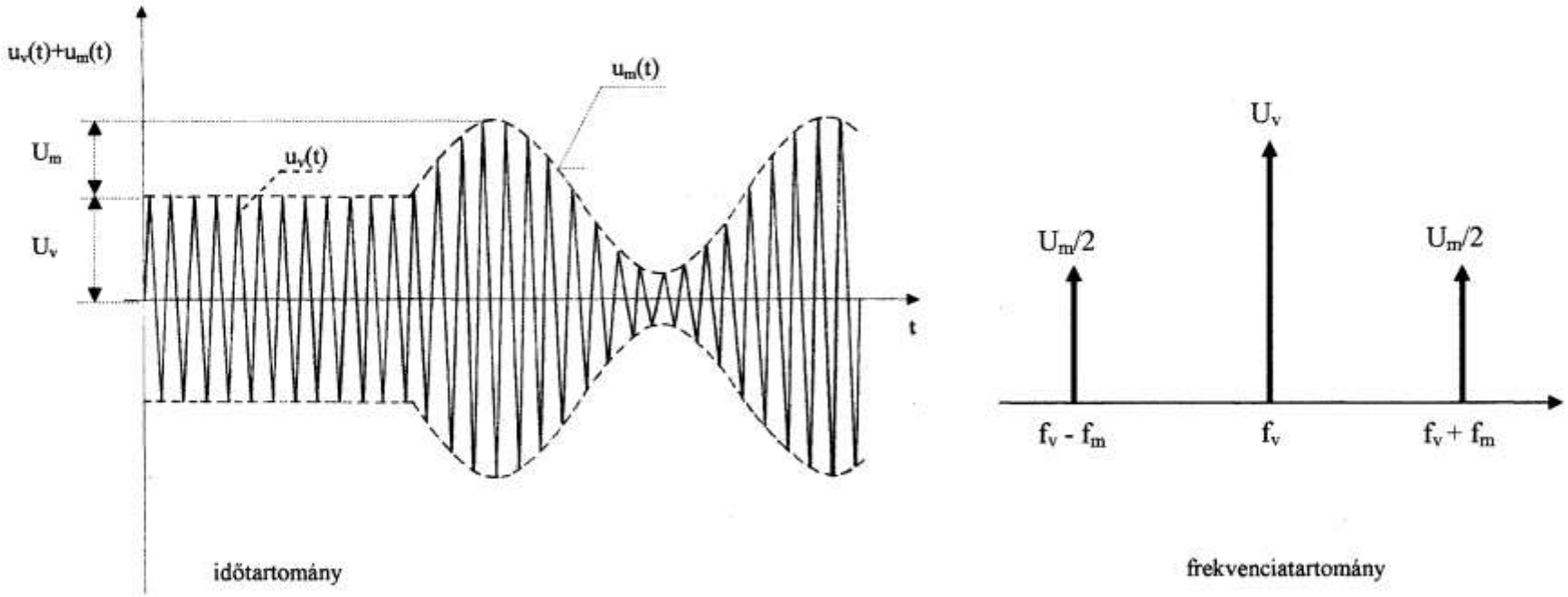
Megjegyzések:

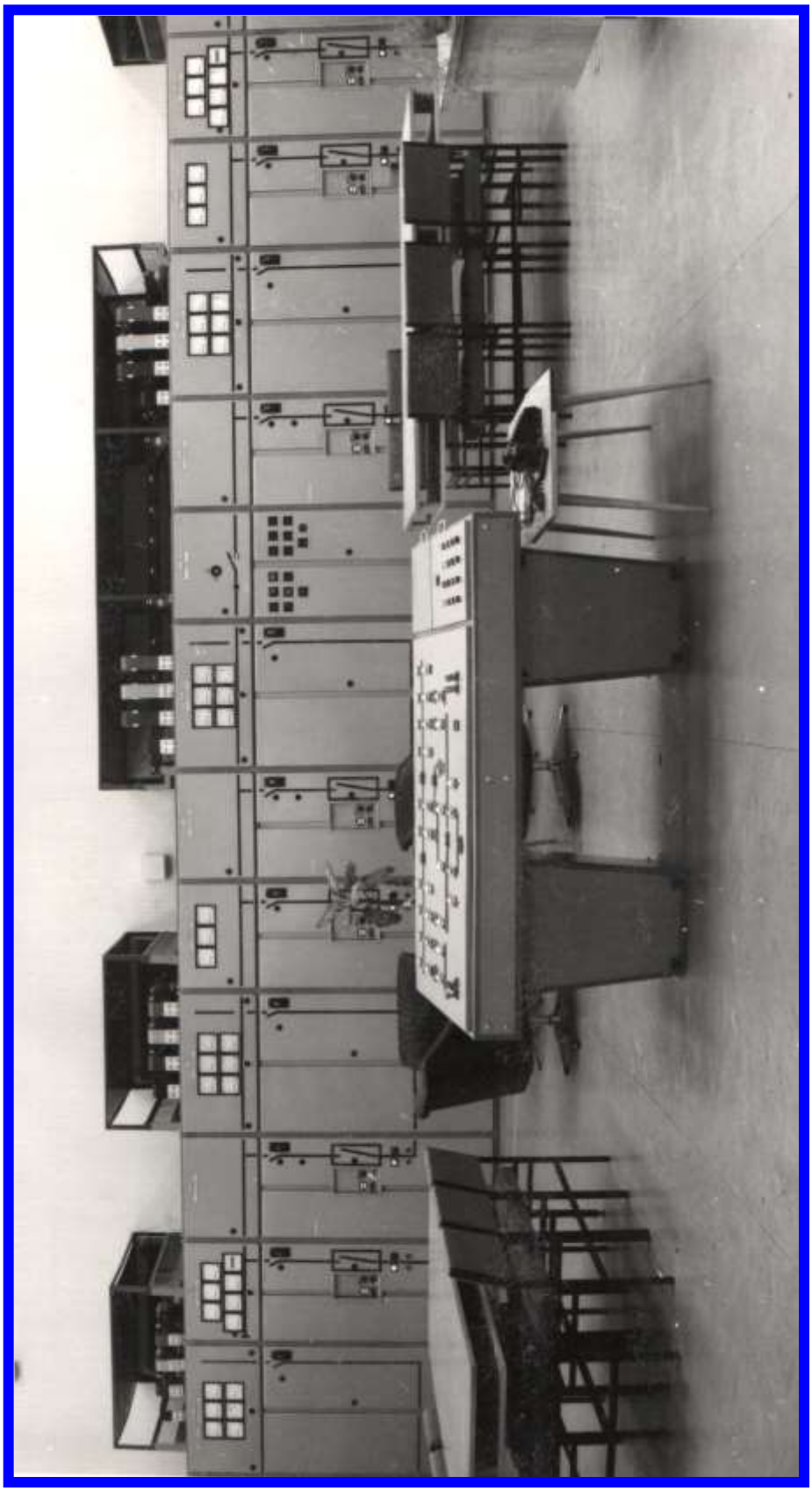
– Tudnunk kell, hogy a vételi oldalon, a rádióvevő-berendezésbe épített csúcs-egyenirányító által azért nyerjük vissza a stúdióban készített hangjelet, mert a /7/ alatti $u_v(t)$ időfüggvény burkológörbéje megegyezik a stúdió hangjelével. Ez a kedvező eset azonban csakis az AM-DSB jelátvitel esetén áll fenn.

Más jelátvitelkor a továbbított jelet a vevőberendezés olyan És-kapujára kell vezetni, melynél a mintavevő jel frekvenciája azonos az adóberendezés vivőfrekvenciájával. A mintavevő jelet a vevőberendezés hangolható oszcillátora állítja elő. Az És-kapu kimenetén nyert jelet aluláteresztőn átvezetve – amit ugyancsak a mintavételi elv igazol – visszanyerhető az eredeti jel.

– Moduláció olyan elektroncsővel is megoldható, melynek anódáram–vezérlőrács-feszültség karakterisztikája nem lineáris, hanem négyzetes. A jobb hatásfokú megoldást viszont a mintavételi elven megvalósított moduláció szolgáltatja, ezért a gyakorlatban ezt használják. A t_{ny} nyitási időtartam csökkentésével, ami az U_{g1} feszültség növelésével megoldható, a modult fokozat hatásfoka növelhető (ld. 51. oldalt).

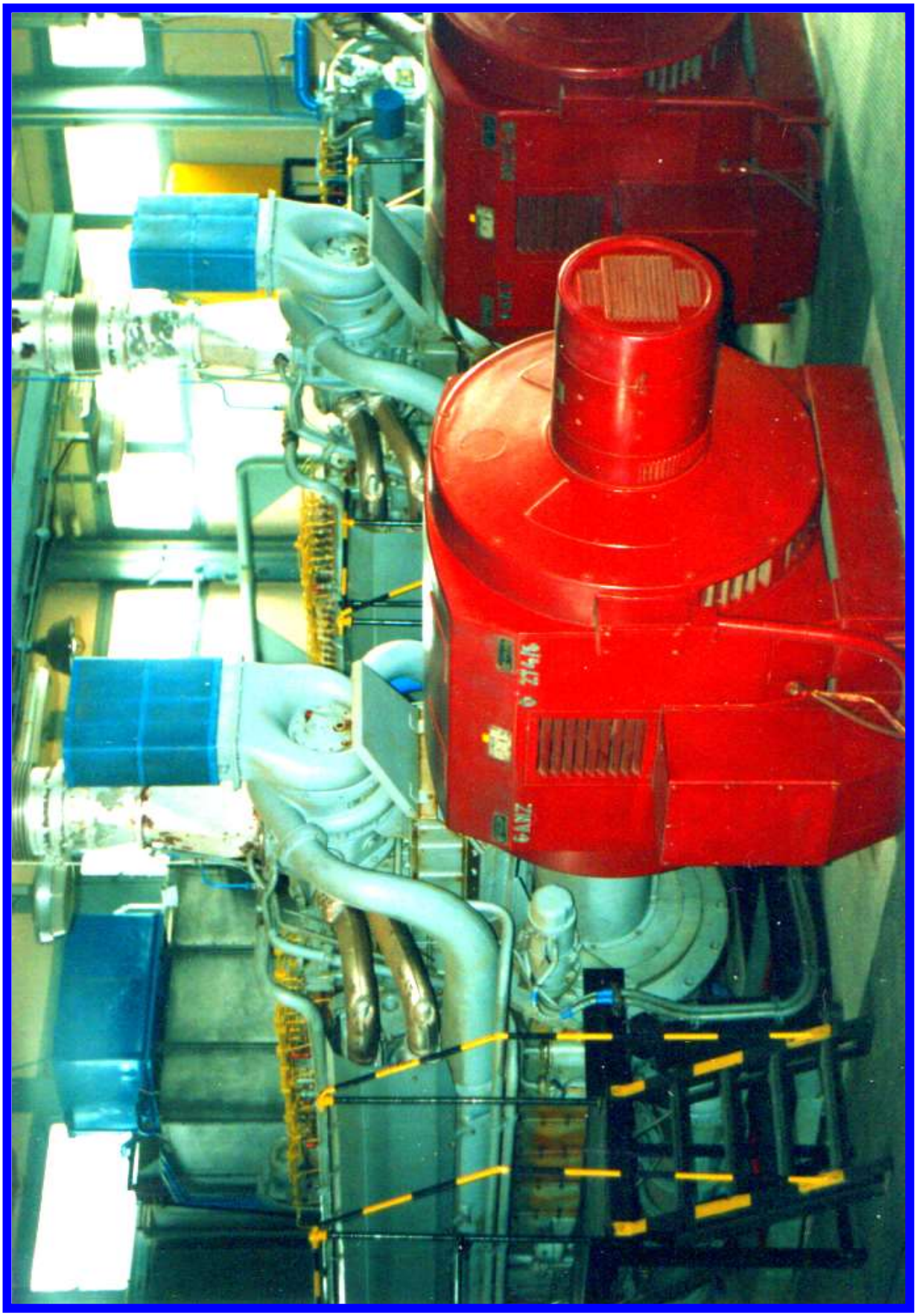
Az $u_v(t)$ rezgőköri feszültség képe az f_v vivőfrekvenciára hangolt és az antennával terhelt L-C rezgőkör kapcsain az idő- valamint a frekvenciatartományban





A Jászberény Rádióállomás 3x400V/230V-os erősáramú berendezésének a kapcsolószekrényei és vezérlőasztaluk

(1997-ben korszerűsített változatát ld. 112. oldalon)



**A Jászberény Rádióállomás tartalék villamos energiaellátó rendszere.
Tartalmaz 2 db 540 kW-os, 3x400 V/230 V-os
és 1 db 270 kW-os, 3x400 V/230 V-os dízelgenerátor gépcsoportot**

III. rész

A Jászberény Rádióállomás antennarendszere

Készítette:

Halász Sándor
az állami nagyberuházás helyszíni megbízottja (1968-1973)
a rádióállomás-üzemmérnöke (1974-1980)
a rádióállomás-vezetője (1981-1995)

Jászberény, 2023. április 9.

Az antennarendszer

Tisztelt Olvasó! A Jászberény Rádióállomás rádióadó-berendezésének áttekintése után hozzákezdhetünk a másik fő létesítményének, az antennarendszerének megismeréséhez. Az antennarendszer 32 db antennát tartalmaz. Valamennyi antenna több, egymás mellé, fölé és mögé helyezett **dipólantennából** épül fel, ily módon azok egy függönyt, **antennafüggönyt** képeznek. Egy dipólantenna – mint arról rövidesen olvashatunk – kedvező tulajdonságú, mert miközben a rádióadó-berendezés nagyfrekvenciájú villamos energiáját elektromágneses energiává alakítja át, azt koncentráltan, jól meghatározott irányokba sugározza ki. A belőle felépített antennafüggönyök öröklik ezt a tulajdonságot, sőt a koncentráltságot nagyságrendekkel tovább növelik. Amennyiben az antenna-függönyöket megfelelő földrajzi irányokba telepítjük (ld. 74 oldalt), a megcélzott vételkörzetekben a jó vétel garantált.

Az antennafüggönyök három antennaágon helyezkednek el. Az <u>északi-ágon</u> 7 db HRRS-4/4/1 típusú távolsugárzó, 1 db körsugárzó és 1 db logperiódikus közelsugárzó antenna, a <u>keleti-ágon</u> 7 db HRR-2/2/0,25 típusú közelsugárzó antenna és 1 db L-típusú körsugárzó antenna, a <u>déli-ágon</u> 7 db HRRS-4/4/1 típusú távolsugárzó, 7 db HRR-2/2/0,25 típusú közelsugárzó és 1 db körsugárzó antenna épült. A távolsugárzó antennák hatótávolsága <u>két-három</u> föld-ionoszféra-föld „ugrás” (visszaverődés) után 3.500-18.000 km, a közelsugárzó antennák hatótávolsága <u>egy</u> föld-ionoszféra-föld „ugrás” után 500-3.500 km, míg a körsugárzó antennák hatótávolsága <u>egy</u> föld-ionoszféra-föld „ugrás” után 0-980 km lesz.

A jó vétel feltétele

Mielőtt a dipólantenna, majd az ezekből kialakított HRRS4/4/1 típusú antennafüggöny tulajdonságait részletesebben megismernénk, vizsgáljuk meg, hogy milyen feltétel szükséges a jó vételhez.

A jó minőségű vétel feltétele, hogy a vételhelyen kellő nagyságú legyen az elektromágneses hullám **E** elektromos és **H** mágneses mezőjének az értéke. Tekintettel arra, hogy az **E** és a **H** közt a terjedési közegben (vákuumban, illetve levegőben) fennáll az arányos kapcsolat:

$$E = H \bullet \sqrt{\frac{\mu_o}{\varepsilon_o}} = 377 \bullet H \ ,$$

a továbbiakban elegendő lesz csak az egyik jellemző figyelembe vétele. Mi, kettejük közül az E elektromos mezőt, az úgynevezett **térerősséget** választjuk.

Egy dipólantennától r távolságban és a dipólantenna tengelyétől mért φ sugárzási irányban (ld. 60. oldalt) az E térerősség értéke:

$$E = k \bullet \frac{I_{ant}}{r} \bullet \sin\varphi = Eo \bullet \sin\varphi, \qquad /1/$$

A képletben k egy arányossági tényező, E_o a térerősség amplitúdója, I_{ant} az antennaáram, melynek értéke:

$$I_{ant} = \sqrt{\frac{N_{adó}}{R_{ant}}}, \qquad /2/$$

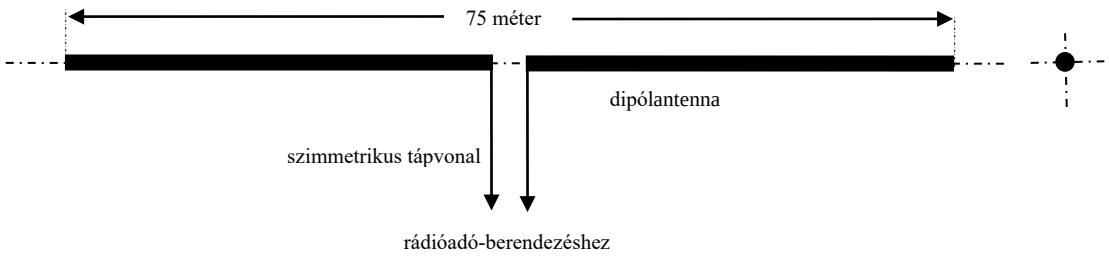
ahol $N_{adó}$ a rádióadó-berendezés vivőfrekvenciás teljesítménye és R_{ant} a dipólantennának a betáplálási pontjában mért ellenállása. A vételhelyen elvárt E térerősség értéke tehát az adóberendezés teljesítményének megválasztásával biztosítható. A jó vételhez szükséges, hogy a vételhelyen a térerősség ne csökkenjen az E_o maximális érték 70 %-a alá, vagyis kell, hogy $E > 0{,}7 \bullet E_o$ legyen. Ez a kritérium, mint látni fogjuk, lehetőséget teremt a **2α**-val jelölt sugárzási kúpszög kiszámításához, mely kúpszögbe eső fölrajzi helyeken a jó vétel garantált.

Ha az Amerikai Egyesült Államokba (az USÁ-ba) kell sugározni, s ott elegendő nagyságú térerősséget létrehozni, az antennafüggöny fő sugárzási irányának USA irányába kell esnie. Bár az USA hatalmas kiterjedésű állam, ennek ellenére területe tőlünk a főirányhoz képest kb. 2α=24°-os kúpszög közé esik (ld. 133. oldalt). Teljesen felesleges és káros 24°-nál nagyobb kúpszögű földrajzi irányokba kisugározni az elektromágneses hullámot, s ott más rádióállomás vételét a mi sugárzásunkkal megzavarni. Ha létezik műszaki megoldás, amely a fősugárzás irányába koncentrálja az elektromágneses hullámot, azt alkalmazni kell.

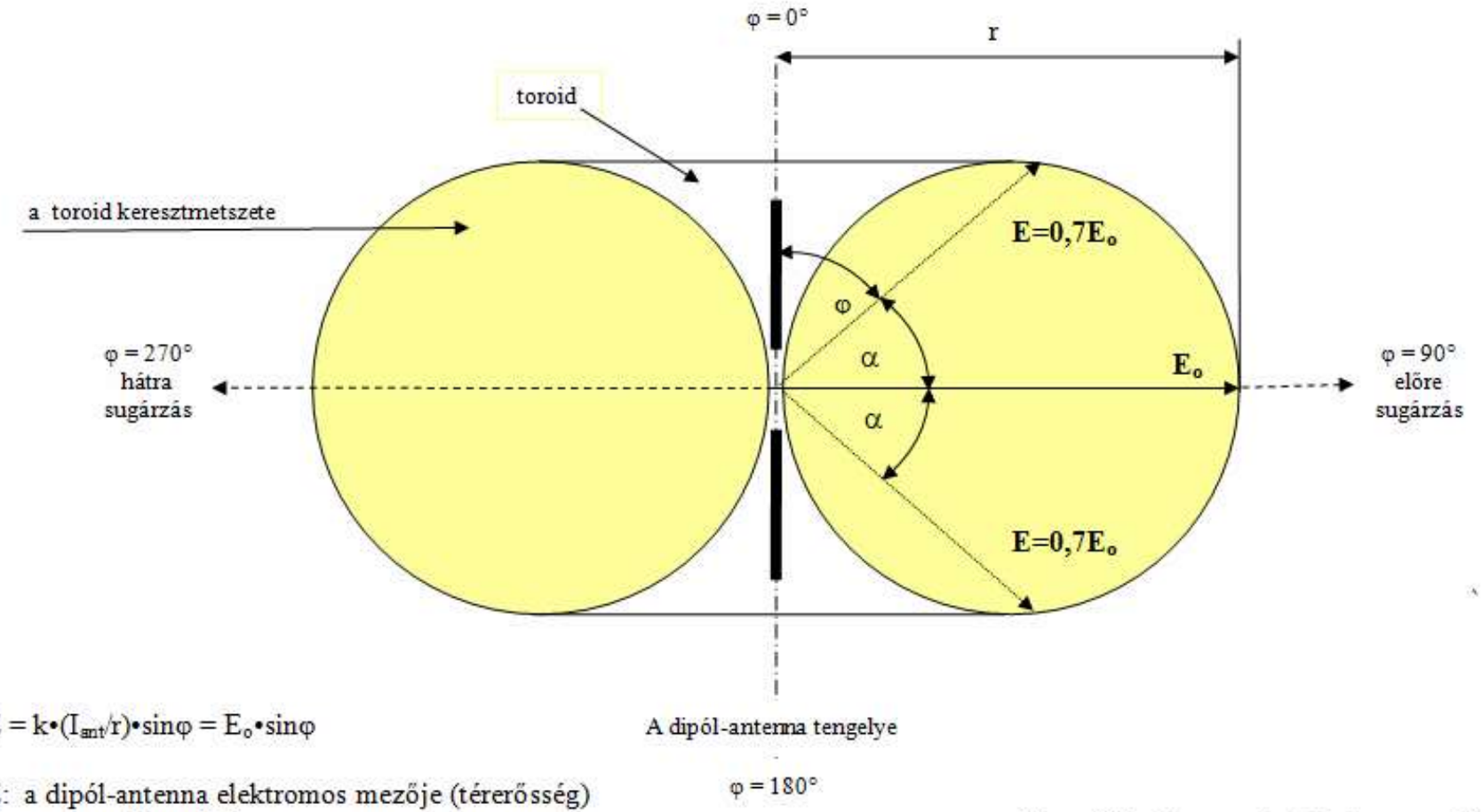
A dipólantenna és sugárzási karakterisztikája

A Maxwell-axiómákból már ismert, hogy a jó hatásfokú elektromágneses hullám továbbításához az antenna geometriai méretének összemérhetőnek kell lennie a kisugárzott hullám **λ** hosszúságával. Ebből következik, hogy amennyiben a rádióadó-berendezés üzemi frekvenciája pl. 4 MHz, melyhez λ=75 méter hullámhosszúság tartozik, az antennafüggönyt felépítő dipól méretét is ilyen nagyságúra kell megválasztani.

A dipólantenna két, tengelyirányba eső egymás melletti bronzhuzalból áll:



A dipólantenna sugárzási (az E elektromos mező) karakterisztikája



$E = k \cdot (I_{ant}/r) \cdot \sin\varphi = E_o \cdot \sin\varphi$

E: a dipól-antenna elektromos mezője (térerősség)
I_{ant}: antennaáram (A)
r: távolság az antennától (m)
φ: sugárzási irány (°)

$2\alpha = 90°$. Ez a sugárzás kúpszöge. Határán az elektromos mező értéke a sugárzási főirány E_o értékének a 70 %-a.

Az /1/ összefüggésből kiolvashatjuk, hogy az E térerősség értéke a dipól tengelyére merőleges irányokban, vagyis φ=90°-os φ=270°-os szögeknél a legnagyobb, E_o értékű. A 90°-os irányban előresugárzás, a 270°-os irányban hátrasugárzás történik. Az E térerősség értéke a dipóltengely mentén, vagyis a φ=0°-os és a φ=180°-os irányokban nulla. A 60. oldali ábrán a különböző irányokba kisugárzott E térerősség értékét – a toroid keresztmetszetét határoló kör adott pontját a dipól tengelyének középpontjával összekötő egyenes szakasz hossza – szemlélteti. A jó vételi hely ott van, ahol az E térerősség értéke nem csökken az E_o értékének 70 %-a alá. Határozzuk meg azt a 2α-val jelölt sugárzási kúpszöget, amelyen belül a jó vétel feltétele teljesül. Először az /1/ összefüggésből meghatározzuk azt a φ sugárzási szöget, ahol $E = 0{,}7 \bullet E_o$, vagyis:

$$0{,}7 \bullet E_o = E_o \bullet \sin\varphi. \quad \text{Ebből:}$$
$$\sin\varphi = 0{,}7 \quad \text{vagyis:} \quad \varphi = 45°. \quad \text{Ezzel:}$$
$$\alpha = 90° - \varphi = 90° - 45° = 45°$$
Végül a sugárzási kúpszög:
$$2\alpha = 90°$$

Említettük, hogy az antennafüggöny egymás mellé, fölé és mögé elhelyezett dipólantennákból épül fel. A következőkben egy-egy feladaton keresztül tekintjük át, hogy a különböző felépítési módok hogyan befolyásolják a dipólantenna eredő térerősségét, sugárzási irányát és sugárzási kúpszögét.

Két dipólantenna közös tengely menti elhelyezése

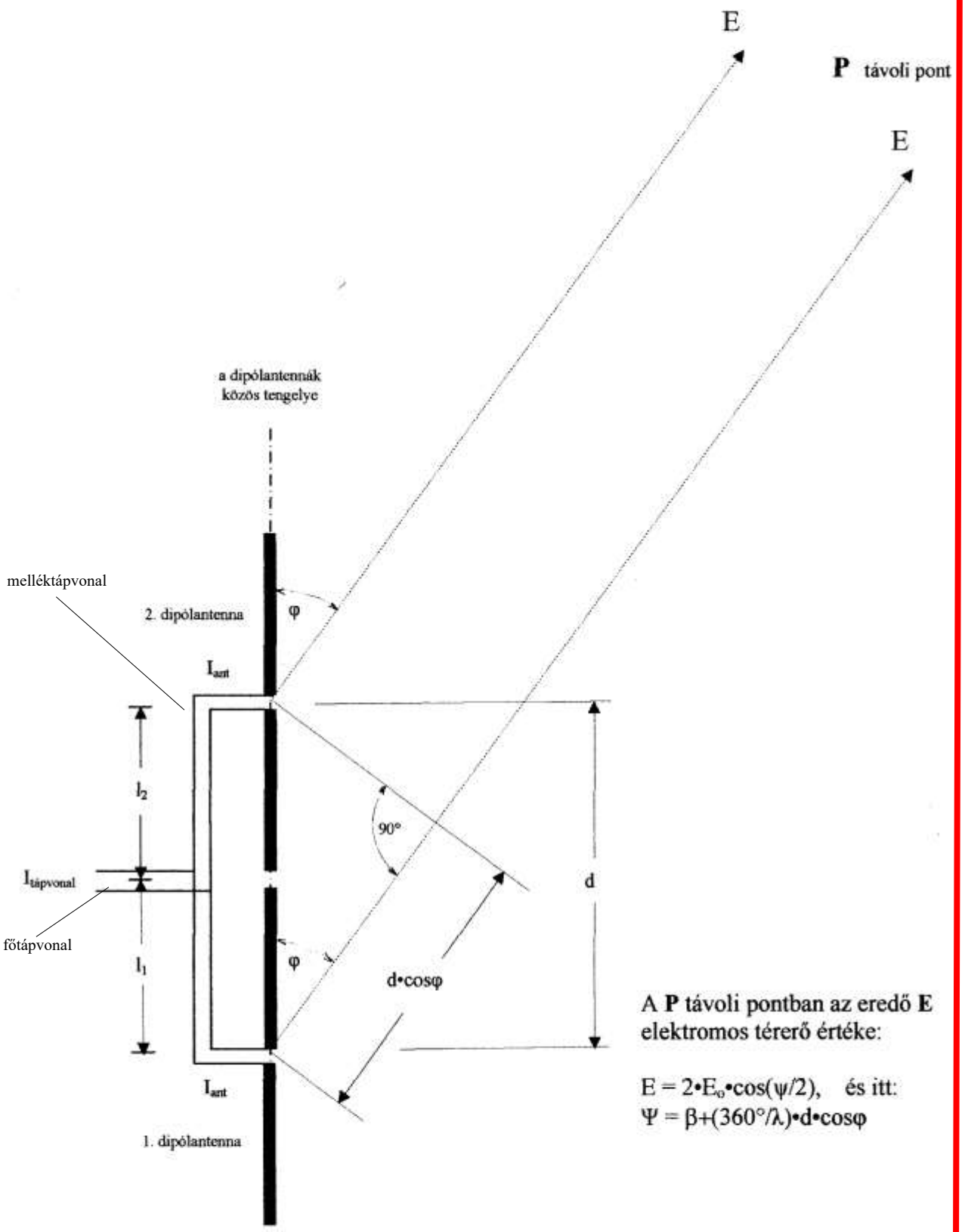
1. Feladat. Helyezzünk el az 1. dipólantenna tengelye mentén – attól **d** távolságra – a 2. dipólantennát (ld. 62. oldalt). Állítson elő az 1. dipólantenna a távoli P pontban az /1/ összefüggésnek megfelelő **E** nagyságú térerősséget. Ha mindkét dipólantennában azonos nagyságú és fázisú I_{ant} antennaáram folyik, akkor a 2. dipólantenna is **E** nagyságú térerősséget eredményez a P távoli pontban. De mivel az 1. dipólantenna az ábrán láthatóan ($d \bullet \cos\varphi$) távolsággal távolabb van P-től, **E** fázisa ezzel a távolsággal arányosan ψ <u>úteltérési</u> szöggel késik P-ben. A ψ szög értéke az alábbi aránypárból meghatározható:

$$\psi : d \bullet \cos\varphi = 360° : \lambda \qquad \text{Ebből:}$$
$$\boldsymbol{\psi = (360°/\lambda) \bullet d \bullet \cos\varphi} \qquad /3/$$

ahol: $\lambda = c/f_v$. Itt **c** az elektromágneses hullám terjedési sebessége (fénysebesség) és f_v az antenna vivőfrekvenciája.

Gondoljuk át, hogyan változik meg a ψ <u>úteltérési</u> szög értéke, ha az 1. dipólantenna I_{ant} áramát β elektromos szöggel késleltetjük a 2. dipólantenna I_{ant} áramához képest? A következmény: az 1. dipólantenna E_o térerősségének a fázisa

Két dipólantenna E eredő elektromos térerejének meghatározása



A **P** távoli pontban az eredő **E** elektromos térerő értéke:

$E = 2 \cdot E_0 \cdot \cos(\psi/2)$, és itt:

$\Psi = \beta + (360°/\lambda) \cdot d \cdot \cos\varphi$

a 2. dipólantennáéhoz képest további β szöggel fog késni, és így az eredő ψ úteltérési szög:

$$\boldsymbol{\psi = \beta + (360°/\lambda) \bullet d \bullet \cos\varphi} \qquad /4/$$

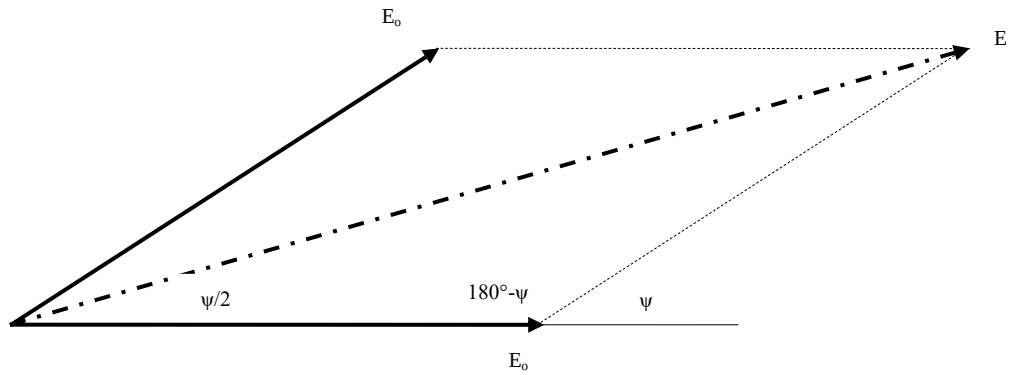
lesz. Kérdés, hogyan állíthatunk elő az egyik dipólantenna áramában β értékű fáziskésést? Amennyiben az 1. és a 2. dipólantennákat a főtápvonallal összekötő melléktápvonalak l_1 és l_2 hosszúsága azonos, a két dipól antennaárama azonos fázisú lesz. Ha az l_1 hosszát **h** méterrel megnöveljük, az 1. dipól árama β szöggel késni fog. A β értéke könnyen számítható az alábbi aránypárból:

$$\beta : h = 360° : \lambda \qquad \text{Ebből:}$$

$$\boldsymbol{\beta = 360° \bullet h / \lambda} \qquad /5/$$

Végül határozzuk meg a távoli P pontban az eredő E térerősség értékét a cosinus-tétel alapján:

$$E^2 = E_o^2 + E_o^2 - 2 \bullet E_o \bullet E_o \bullet \cos(180° - \psi) =$$
$$= 2 \bullet E_o^2 - 2 \bullet E_o^2 \bullet (\cos 180° \bullet \cos\psi + \sin 180° \bullet \sin\psi) =$$
$$= 2 \bullet E_o^2 + 2 \bullet E_o^2 \bullet \cos\psi =$$
$$= 2 \bullet E_o^2 \bullet (1 + \cos\psi)$$



- -

Trigonometriai átalakításokkal:

$$(1+\cos\psi) = \sin^2(\psi/2) + \cos^2(\psi/2) + \cos(\psi/2 + \psi/2) =$$
$$= \sin^2(\psi/2) + \cos^2(\psi/2) + \cos(\psi/2) \bullet \cos(\psi/2) - \sin(\psi/2) \bullet \sin(\psi/2) =$$
$$= 2 \bullet \cos^2(\psi/2)$$

- -

$$E^2 = 2 \bullet E_o^2 \bullet 2 \bullet \cos^2(\psi/2) =$$
$$= 4 \bullet E_o^2 \bullet \cos^2(\psi/2) \qquad \text{Ebből a végeredmény:}$$

$$\boldsymbol{E = 2 \bullet E_o \bullet \cos(\psi/2)} \qquad /6/$$

A /6/ képletben szereplő 2-es szorzótényezőre már most célszerű felfigyelnünk!

2. Feladat. Határozzuk meg a 62. oldalon látható két dipólantenna **φ** fősugárzási irányát, a sugárzás **2α** kúpszögét, ha a dipólantennák súlypontjának egymástól való távolsága d=λ, valamint az antennaáramok és fázisaik azonosak (β=0°).

Megoldás:

A /4/ képlet alapján először a ψ úteltérési szög felét határozzuk meg:
$\psi = \beta + (360°/\lambda) \cdot d \cdot \cos\varphi = (360°/\lambda) \cdot \lambda \cdot \cos\varphi = 360° \cdot \cos\varphi$ vagyis:
$\psi/2 = 180° \cdot \cos\varphi$
Ezt behelyettesítve a /6/ képletbe:
$E = 2 \cdot E_o \cdot \cos(\psi/2) = 2 \cdot E_o \cdot \cos(180° \cdot \cos\varphi)$ /7/

A sugárzási főirány azoknál a szögeknél lesz, ahol a koszinusz argumentuma, a $(180° \cdot \cos\varphi) = 0$ értékű. Ebből:

$$\varphi = \pm 90°,$$

vagyis a sugárzási főirányok a dipólantennák tengelyére merőlegesek, ahol az E térerősség értéke $\mathbf{E=2 \cdot E_o}$ lesz.

Alábbiakban először a sugárzás kúpszögének a felét, az α-t számítjuk ki a /7/ képlet alapján:

$E = 2 \cdot E_o \cdot \cos(\psi/2) = 2 \cdot E_o \cdot \cos(180° \cdot \cos\varphi)$.

Ebből határozzuk meg azt a φ sugárzási szöget, ahol az E térerősség 70 %-a lesz az E_o értékének:

$0{,}7 \cdot E_o = 2 \cdot E_o \cdot \cos(\psi/2)$
$0{,}7 \cdot E_o = 2 \cdot E_o \cdot \cos(180° \cdot \cos\varphi)$ Innen a cos-argumentum értéke:
$\cos(180° \cdot \cos\varphi) = 0{,}35$ az ehhez tartozó szög:
$180° \cdot \cos\varphi = 69{,}5°$
$\cos\varphi = 180°/69{,}5° = 0{,}3862$ az ehhez tartozó φ szög:
$\varphi = 67{,}3°$

Az 1. ábra alapján a sugárzási kúpszög fele:

$\alpha = 90° - \varphi = 90° - 67{,}3° = 22{,}7°$ a sugárzási kúpszög pedig:
$\mathbf{2\alpha} = 2 \cdot 22{,}7 = \mathbf{45{,}4°}$

<u>Kimondhatjuk a tanulságot:</u>

két dipólantenna közös tengely menti elhelyezése (β=0° esetén) leszűkíti a sugárzás 2α kúpszögét, azaz koncentrálja az elektromágneses hullámot, miáltal a fő sugárzási irányokban <u>megkétszerezi</u> az E_o térerősséget!

Az iránykarakterisztika csóválása

Észak-Amerika térképére pillantva (ld. 133. oldalt) megállapíthatjuk, hogy észak-déli irányú kiterjedése hazánktól kb. 60°-os kúpszögben látszik. A távol-

sugárzó függöny-antennák sugárzási kúpszöge azonban ennél kisebb. Ezért, ha a függönyantennák fő sugárzási irányát Észak-Amerika közepére (316°-ra) irányítjuk, a tőle távolabb eső északi és déli helyeken a vétellehetőség rossz lesz. Egy forgatható antenna a problémát megoldaná, azonban függönyantennáink rögzítettek. Szerencsére a fő sugárzási irány megváltoztatása elektromos úton is lehetséges. Amennyiben a 66. oldal szerinti HRRS-4/4/1 típusú távolsugárzó antennafüggöny baloldali dipólantennáinak áramát a jobboldalihoz képest késleltetjük, az antennafüggöny fő sugárzási iránya balra tolódik, és Észak-Amerika északi államaiban lesz jó a vétellehetőség. Értelemszerűen, amennyiben az antennafüggöny jobboldali dipólantennáinak áramát késleltetjük a baloldalihoz képest, az Észak-Amerika déli területein lesz a vétellehetőség kiváló. A fő sugárzási irány megváltoztatását a szakirodalom **csóválásnak** nevezi.

Az előzők alapján már tudjuk, hogy a dipólantennáknál – így a belőlük felépített függönyantennáknál is – a fő sugárzási irány a síkjukra merőleges. Ennek szükséges feltétele, hogy az őket tápláló mellék tápvonalak hossza (l_1 és l_2) szigorúan azonos legyen (l.: 66. oldalt). Ha pl. a baloldali függöny mellék tápvonalának hosszát megnöveljük a jobboldalihoz képest, akkor a baloldali függönyökben az antennaáram késni fog a jobboldali függöny antennaáramához képest. Erről az alábbi feladat meggyőz.

3. Feladat. Hány β fokkal késik a 66. oldalon látható baloldali függöny antennaárama a jobboldali függöny antennaáramához képest, ha a hozzátartozó l_1 mellék tápvonalba h=10,56 m hosszúságú többlet tápvonalszakaszt (úgynevezett fázistolót) iktatunk be? (A beiktatás rádiófrekvenciás csóválókapcsolóval történik. Ld. 124. és 129. oldalt). Az antennafüggöny f_v= 6 MHz-es frekvencián üzemel.

A λ hullámhossz:

$\lambda=c/f_v=300\bullet10^6/6\bullet10^6=50$ méter. Ezzel és az /5/ képlettel a fáziskésés:

$\beta=360°\bullet h/\lambda=360\bullet10{,}56/50=76°$ villamos fok lesz.

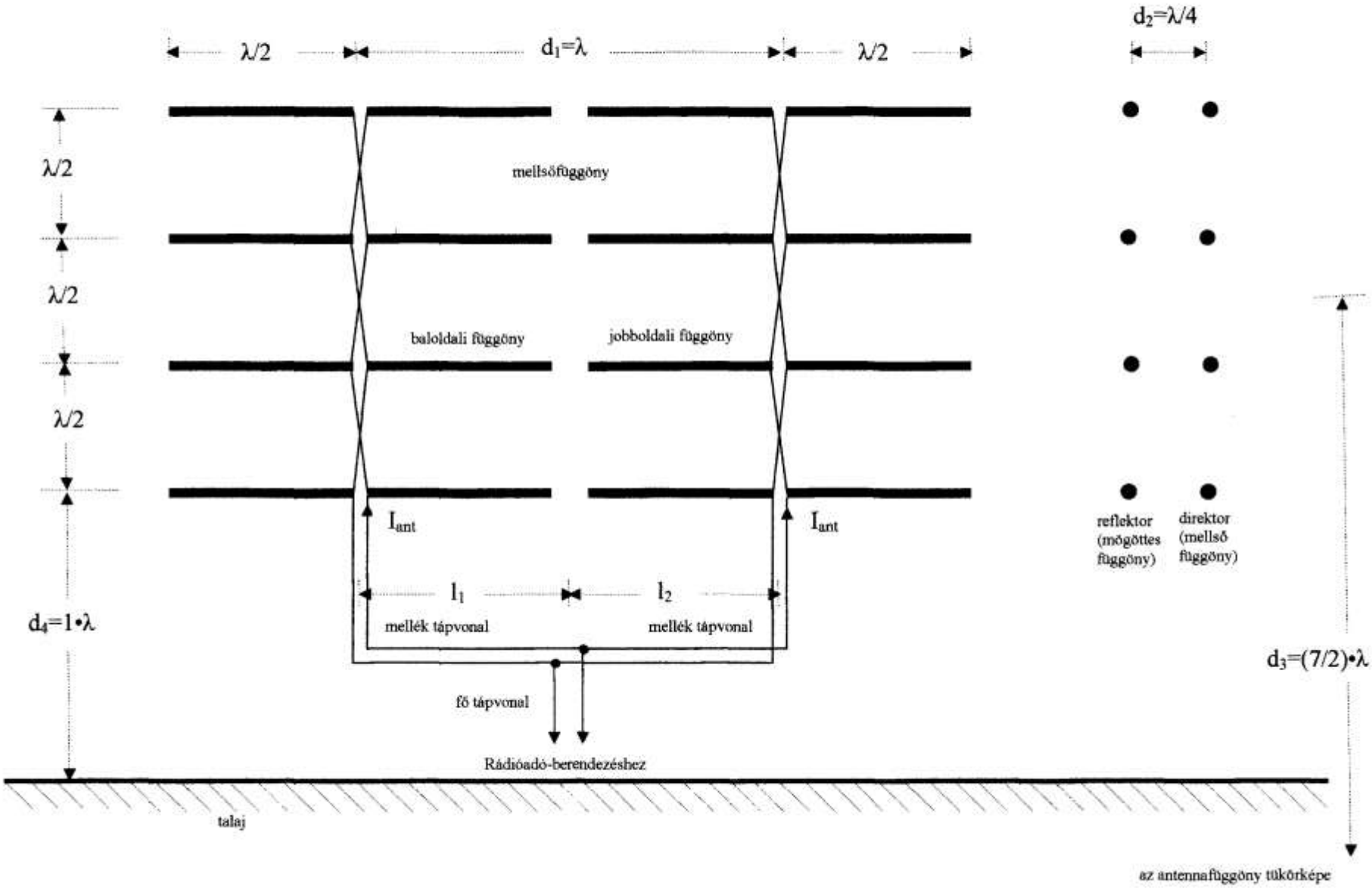
4. Feladat. Számítsuk ki a 66. oldal szerinti antennafüggöny **φ** sugárzási főirányát és az eredő **E** térerősség értékét, ha a baloldali függöny áramát β=76°-kal késleltetjük a jobboldali függöny áramához képest, és a függönyök súlypontjai $d_1= \lambda$ távolságban vannak egymástól.

A /6/ képlet szerint az E térerősség:

$E = 2 \bullet E_o \bullet \cos(\psi/2)$

Először a ψ értékét határozzuk meg a /4/ képlet alapján

HRRS-4/4/1 típusú távolsugárzó antennafüggöny



$\psi = \beta + (360°/\lambda) \cdot d_1 \cdot \cos\varphi$ Behelyettesítve:
$\psi = 76° + (360°/\lambda) \cdot \lambda \cdot \cos\varphi =$
$\psi = 76° + 360° \cdot \cos\varphi$ Felezve:
$\psi/2 = 38° + 180° \cdot \cos\varphi$ Ezzel:

$E = 2 \cdot E_o \cdot \cos(38° + 180° \cdot \cos\varphi)$

A nyert összefüggésből kiolvashatjuk, hogy E térerősség értéke a sugárzási főirányban ismét kétszerese lesz az E_o értékének. A φ sugárzási főirány pedig ott lesz, ahol a koszinusz argumentuma nulla:

$(38°+180°\cdot\cos\varphi) = 0,$ azaz:
$\cos\varphi = -(38°/180°) = -0{,}2111$ amelyhez tartozó szögérték: $\boldsymbol{\varphi = 102°}$

A sugárzás főiránya tehát ahhoz képest, amikor a dipólokban azonos fázisú antennaáramok folynak, s ekkor a sugárzási főirány 90° volt, most 102°-90°=12°-kal eltolódik annak a függönynek az irányába, amelyiknek áramát késleltettük.

Két dipólantenna egymás fölé helyezése

5. Feladat. Helyezzünk el két dipólantennát egymás fölé (ld. 66. oldalt) $d = \lambda/2$ távolságra. Legyenek az antennaáramok azonos nagyságúak és fázisúak. Határozzuk meg a φ sugárzási főirányt, az E térerősséget és a 2α sugárzási kúpszöget.

A /6/ képlet szerint az E térerősség:

$E = 2 \cdot E_o \cdot \cos(\psi/2)$

Ebből ismét kiolvasható, hogy ahol a $\psi/2$ szög értéke nulla, abban az irányban lesz az E térerősség maximális, vagyis kétszerese az E_o-nak.

Számítsuk ki $\psi/2$ érték:

$\psi = \beta + (360°/\lambda) \cdot d \cdot \cos\varphi$ írjuk be az ismert adatokat, kapjuk:
$\psi = (360°/\lambda) \cdot \lambda/2 \cdot \cos\varphi$
$\psi = 180° \cdot \cos\varphi$ vagyis:
$\psi/2 = 90° \cdot \cos\varphi$

Kiolvasható: $\psi/2$ akkor lesz nulla, ha $\cos\varphi$ értéke nulla, vagyis $\varphi = 90°$ esetén. A sugárzási főirány tehát az antennafüggöny felületére merőleges lesz.

A sugárzási kúpszög kiszámításához keressük azt a φ szöget, ahol a térerősség az E_o -nak 70 %-a lesz:

$0,7 \cdot E_o = 2 \cdot E_o \cdot \cos(\psi/2)$
$0,7 \cdot E_o = 2 \cdot E_o \cdot \cos(90° \cdot \cos\varphi)$
$\cos(90° \cdot \cos\varphi) = 0,35$ vagyis:
$90° \cdot \cos\varphi = 69,5°$
$\cos\varphi = 69,5/90 = 0,7722$
$\varphi = 39,5°$

A keresett sugárzási kúpszög: $2\alpha = 2 \cdot \varphi = 2 \cdot 39,5° = 79°$.

Két dipólantenna egymás mögé helyezése

6. Feladat. Helyezzünk el két dipólantennát egymás mögé $d_2 = \lambda/4$ távolságra, legyenek a dipólantennák áramai azonosak, de a mögé helyezett dipólantenna árama $\beta = -90°$ villamos szöggel siessen a mellső dipólantenna áramához képest. Határozzuk meg φ sugárzás főirányát és az eredő E térerősség értékét

Az eredő E elektromos mező értékének meghatározása:

$\psi = \beta + (360°/\lambda) \cdot d \cdot \cos\varphi = -90° + (360°/\lambda) \cdot (\lambda/4) \cdot \cos\varphi = -90° + 90° \cdot \cos\varphi$
Ezzel a ψ értékkel: $E = 2 \cdot E_o \cdot \cos(\psi/2) = 2 \cdot E_o \cdot \cos(-45° + 45° \cdot \cos\varphi)$

Az E térerősség abban a φ irányban lesz maximális, ahol a $\cos(-45+45 \cdot \cos\varphi) = 1$, vagyis az argumentum értéke: $(-45+45 \cdot \cos\varphi) = 0$ lesz. Ebből:

$$\cos\varphi = 1, \qquad \text{azaz:} \qquad \varphi = 0°.$$

Következésképpen a sugárzás főiránya a mellsőfüggöny irányába mutat. Hátrafelé, ahol $\varphi = 180°$, az E térerősség:

$E = 2 \cdot E_o \cdot \cos(-45° + 45° \cdot \cos 180°) = 2 \cdot E_o \cdot \cos(-45° - 45°) = 2 \cdot E_o \cdot \cos(-90°) = 0$

értékű, nem lesz elektromágneses hullám továbbítás. A sugárzás főirányában most is megkétszereződik az E térerősség értéke. Megoldást találtunk arra, hogy az antennafüggönyök is kizárólag egy irányba, a célterület felé sugározzanak (ld. a 66. oldal ábráján a mögöttes függöny elhelyezését és a 114-115. oldalakon a rádiófrekvenciás irányváltó-kapcsoló bekötési rajzát).

A kilövési szög

Adósak vagyunk még egy kérdés megválaszolásával. Tudjuk, hogy a rövidhullámú Rádióállomások feladata a nagytávolságú hírközlésszolgálat. A rövidhullámú elektromágneses hullámok – amiről már szót ejtettünk az 1. részben – az ionoszféra segítségével jutnak el távoli helyekre, olykör több föld-ionoszféra-föld „ugrással”. Az antennafüggönyöknek olyan tulajdonsággal kell rendelkez-

niük, amely lehetővé teszi, hogy az elektromágneses hullámok fő sugárzási iránya ne az antennafüggöny síkjára merőleges, azaz ne vízszintes irányú legyen, hanem felfelé, az ionoszféra felé irányuljon. A megoldást ismét a Maxwell-egyenletek adják a villamos tükröződés, a talaj-tükörképhatás elméleti megalapozása által.

A Rádióállomás telephelyének kijelölésekor több szempontot kellett figyelembe venni. Ne legyen árvíz- és földrengésveszély, lakott települések és kiemelkedő tereptárgyak távol legyenek, legyen megbízható villamos energia ellátás, és ami lényeg: az antennák alatti talaj elektromos vezetőképessége nagy legyen. Ez a szempont a tükörképhatás létrejöttéhez elengedhetetlen.

Jó vezetőképességű talaj esetén a felszín alatt kialakul a felszín feletti antennafüggöny tükörképe, azzal a különbséggel, hogy a tükörképben az I_{ant} antennaáram 180° villamos fokkal siet a föld feletti I_{ant} antennaáramhoz képest, vagyis β értéke -180°. Ha ez nem így lenne, akkor az antenna elektromos mezőjének lenne a talajjal párhuzamos komponense, hatására a talajban elektromos áram folyna, ami melegítené a talajt. Melegedés pedig nem észlelhető.

Vizsgáljuk meg a tükörkép hatását az alábbi feladat által!

7. Feladat. Számítsuk ki a 66. oldal ábrája szerinti antennafüggöny φ sugárzási főirányát és az eredő E térerősségnek az értékét, ha a talaj feletti antennafüggöny és tükörképének súlyponti távolsága $d_3=(7/2)\cdot\lambda$, valamint $\beta = -180°$.

$\psi = \beta + (360°/\lambda) \cdot d \cdot \cos\varphi = -180° + (360°/\lambda) \cdot (7/2)\lambda \cdot \cos\varphi =$
$= -180° + 1260° \cdot \cos\varphi$

$E = 2 \cdot E_o \cdot \cos(\psi/2) = 2 \cdot E_o \cdot \cos(-90° + 630° \cdot \cos\varphi)$

Az eredő E térerősségnek az értéke abban az irányban lesz maximális, ahol a $\cos(-90° + 630° \cdot \cos\varphi) = 1$. Ehhez szükséges, hogy az argumentum értéke nulla legyen:

$(-90° + 630° \cdot \cos\varphi) = 0$ Ebből:
$\cos\varphi = 90°/630° = 0{,}1428$ azaz: $\varphi = 82°$

Ez azt jelenti, a sugárzási főirány a talajtól (a vízszintestől) felfelé $\delta = (90°-\varphi) = (90°-82°) = 8°$-os irányban lesz. Ebben az irányban ugyancsak megkétszereződik az E térerősség értéke, és a sugárzás kúpszöge is csökken. A távolsugárzó HRRS-4/4/1 típusú antennafüggöny, az elérendő célnak megfelelően 8°-os szögben felfelé, az ionoszféra felé sugároz, mégpedig – mint azt az előző **Feladatok** megoldásai is igazolták – koncentráltan, megfelelő kúpszöggel. Ehhez mindössze az antennafüggönyt kellett a talajtól $d_4=1\cdot\lambda$ távolságba elhelyezni (ld. 66. oldali ábrát). A δ szöget **kilövési szögnek** nevezzük.

Minél közelebb helyezkedik el az antennafüggöny a talajhoz, annál meredekebb lesz a δ kilövési szög. Amennyiben ez a távolság $d_4 = 0{,}25 \cdot \lambda$, a kilövési szög értéke δ=30° lesz. A HRR-2/2/0,25) típusú közelsugárzó antennafüggönyök kilövési szöge ezért δ=30°.

Végezetül határozzuk meg a **HRRS-4/4/1** típusú távolsugárzó antennafüggönyök koncentráló képességét, és értékeljük a kapott eredményt. A fő sugárzási irányban a koncentráló képesség – az eredő E elektromos térerő érték – az ötszörös térerő-kétszerezés eredményeként:

$$E = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot E_o = 32 \cdot E_o \qquad \text{értékre növekszik.}$$

Amennyiben HRRS-4/4/1 típusú antennafüggöny helyett egy dipólantennát használnánk az elektromágneses tér előállításához, az antennaáramot 32-szeresére kellene megnövelni, hogy a célterületen ugyanakkora térerősség legyen, mint antennafüggöny esetén. Ez, a /2/ összefüggés alapján 32^2=1024-szoros rádióadó-berendezés teljesítménynövelést jelent, vagy ami ugyanaz: 1024 db 250 kW-os rádióadó-berendezést kellene üzemeltetni, és azokat rákapcsolni egy dipólantennára – ami műszakilag és gazdaságilag is megoldhatatlan!

A **HRR-2/2/0,25** típusú közelsugárzó antennafüggönyök koncentráló képessége:

$$E = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot E_o = 8 \cdot E_o$$

A körsugárzó antenna

A Rádióállomás körsugárzó antennája a földtől λ/4 magasságban, egymástól λ/2 távolságra egymás mellé elhelyezett egy-egy dipólantennából áll. Alattuk – a fölbe fektetve – a jó tükörképhatás érdekében fémhálót helyeztek. Az antenna az elektromágneses sugarakat 90°-kal felfelé, 2α=60°-os kúpszöggel az ionoszférára továbbítja. Onnan visszaverődve jó vétellehetőséget biztosít nemcsak hazánk, de valamennyi más európai ország és Közel-Kelet számára is.

Néhány kiegészítés

Az adóépület (ld. 73. oldal fényképét) földszinti helyiségében elhelyezett mindét 250 kW-os rádióadó-berendezés kimenőkapcsai egy ötfokozatú felharmonikus szűrőn keresztül csatlakoznak a 75 ohm hullámellenállású aszimmetrikus tápvonalhoz. A tápvonal a rádióadó-berendezés által előállított rádiófrekvenciás villamos energiát az adóépület emeleti helységébe telepített, automatikus hangolású Balun szimmetrizálóba juttatja. Kimenetén a jel – az antennákhoz történő

kedvező illeszkedés érdekében – már földszimmetrikus. A földszimmetrikus jel a két adónak megfelelően a 2x7 állású kombinátorkapcsoló-berendezésbe kerül (ld. 120. oldal ábráját), ahonnan a villamos energia vagy egy mérőtápvonalra, vagy a sugárzási programnak megfelelően a hat főtápvonal egyikére kapcsolható (ld. 129. oldal felső ábráját). A főtápvonalak 300 ohm hullámellenállásúak.

A mérőtápvonalhoz egy műantenna csatlakozik, ami a rádióadó-berendezések minőségi mérésekor jut szerephez.

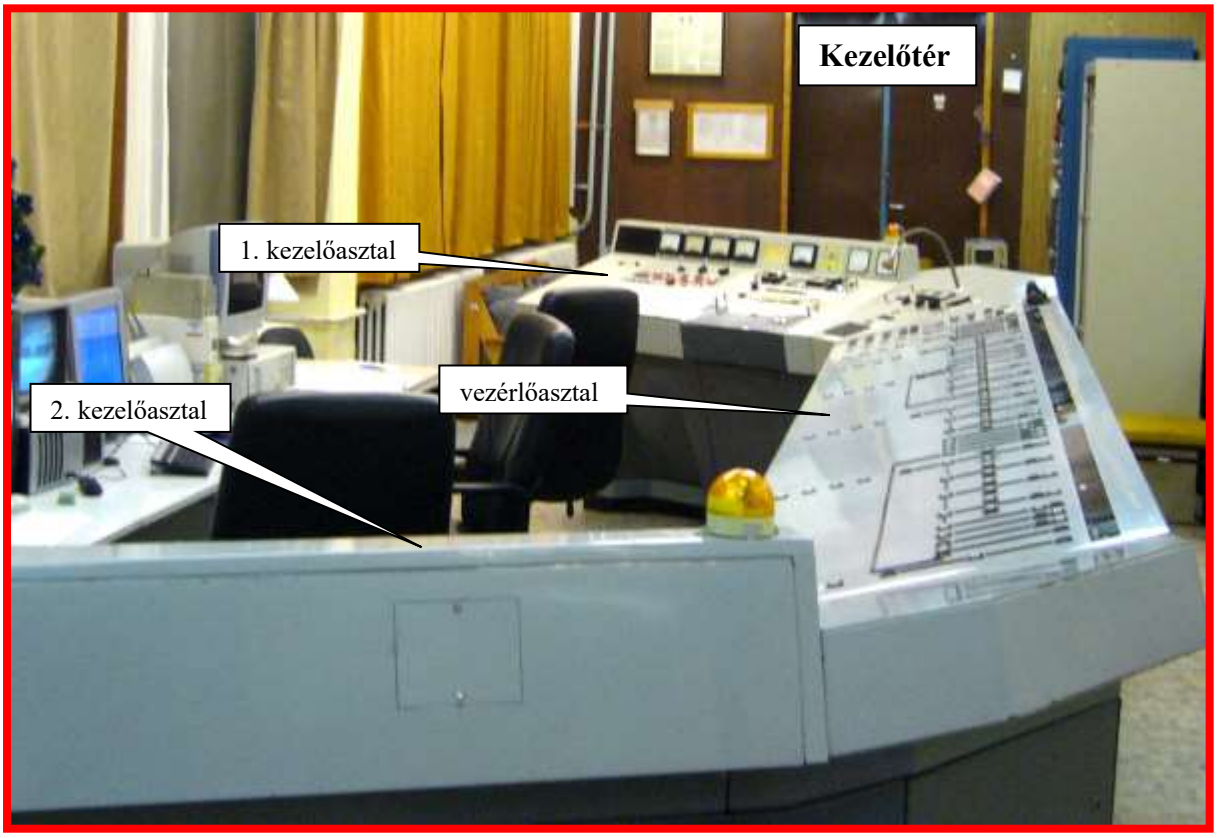
A hat főtápvonal – párosával – három antennaágra fut ki, amelyekre rádiófrekvenciás tápvonalkapcsolókon és bekötőtápvonalakon keresztül (ld. 74. oldalt) csatlakoznak az adott antennaágon telepített antennafüggönyök. A megfelelő földrajzi irányokban elhelyezett antennafüggönyök összesen 8 tervezett sugárzási főirányba, meghatározott kúpszöggel és kilövési szöggel továbbítják az elektromágneses hullámot a célterületek felé. A kombinátorkapcsoló és a tápvonalkapcsolók lehetővé teszik, hogy az egyidejűleg üzemelő két rádióadóberendezés a 134. oldalon látható kombinációs táblázat szerinti antennafüggönyökre rákapcsolható legyen. A melléktápvonalakba iktatott rádiófrekvenciás csóválókapcsolók (ld. 124. oldalt és a 129. oldal alsó ábráját) a jobb-bal irányú csóválás megválasztását szolgálják. Valamennyi rádiófrekvenciás kapcsoló, illesztő transzformátor (tápvonalcsonk) és tápvonalszakasz átgondolt tervezése és precíz felépítése eredményezi a kilométernél hosszabb főtápvonalak igen kedvező (1,2-nél kisebb) állóhullámarányát (ld. a 150. oldal ábráját).

Speciális rádiófrekvenciás irányváltó-kapcsolókkal a direktor- és a reflektorfüggöny egymással felcserélhető, ezáltal a sugárzási főirány 180°-kal megfordítható. A reflektorfüggöny antennaáramát nem közvetlenül a rádióadó-berendezés szolgáltatja, hanem azt a direktortól hozzásugárzódó elektromágneses hullám kelti. A direktorfüggönytől $\lambda/4$ távolságban elhelyezett reflektorfüggönyben az antennaáram fáziseltolódása $\beta=-90°$.

Egy-egy antenna direktor- és reflektorfüggönyét két függőleges, acélkötelekkel lehorgonyozott tartótorony között feszítették ki (l. a 75-76-77. oldalakat). A függönyöket láncgörbe alakú „kötelek” (műgyantával átitatott üvegszál rudak) tartják. A függönyök egyes dipólantennáinak vízszintes helyzetét megfelelő hosszúságú függesztő üvegszál rudak biztosítják. A dipólantennákat vízszintes irányban az oldalsó „feszítőkötelek” (üvegszál rudak) fogják. A direktor- és a reflektorfüggöny távolságtartását fém traverzek oldják meg. A dipólantennák egymástól és a fém traverzektől való elektromos elszigetelését – a már említett – jó nagyfrekvenciás tulajdonságokkal rendelkező üvegszál rudak szolgálják.

A két 100 kW-os rádióadó-berendezés egy 2x3 állású kombinátorkapcsolóberendezéssel és külön e célra kiépített tápvonalakkal csatlakoztatható a logperiódikus antennára, vagy az L típusú körsugárzó antennára, vagy a műantennára.

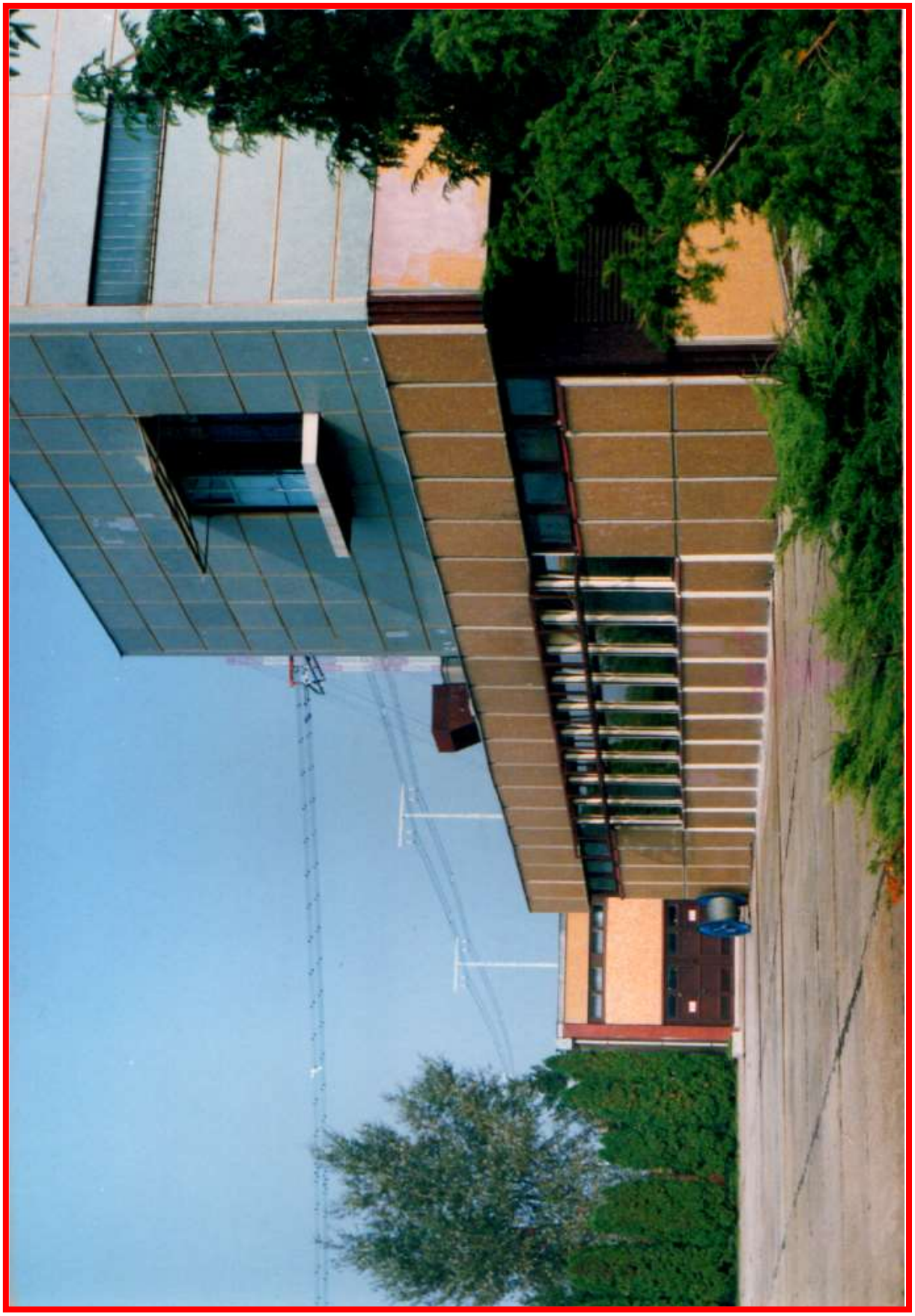
A 2 db 250 kW-os rádióadó-berendezéshez tartozó 6 db főtápvonalba épített 28 db tápvonalkapcsoló, valamint a 30 db antennához telepített 28 db csóválókapcsoló és 42 db irányváltó-kapcsoló, továbbá 1 db műantenna kezelése távvezérléssel történik. A távvezérléshez a kezelőtérben elhelyezett vezérlőasztali



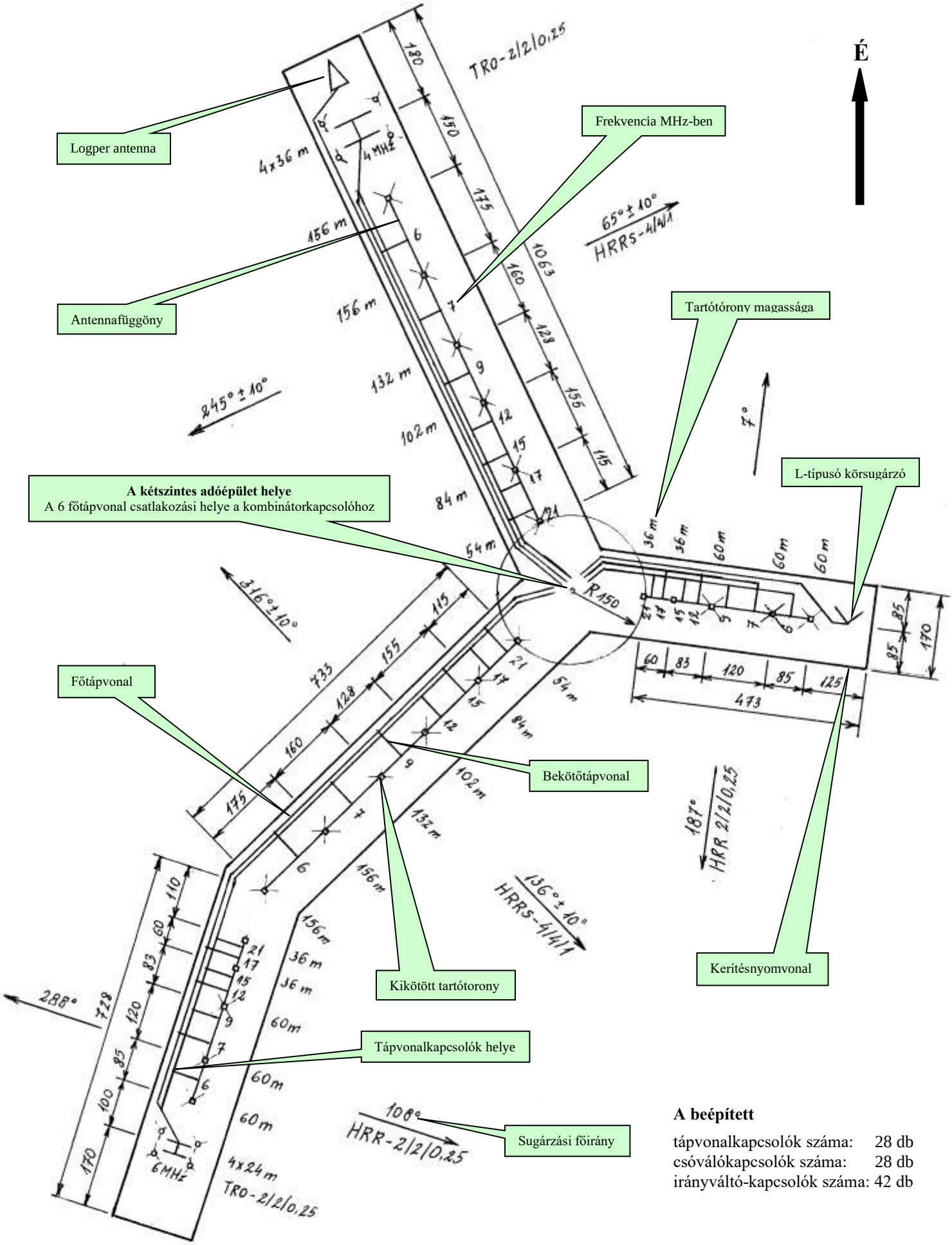
nyomógombok szolgálnak (ld. a fenti, a 137. és a 152. oldali fotókat). A vezérlés utasításait az adóépület emeletén elhelyezett 2 db vezérlőszekrény 17 db LIX-dobozában elhelyezett 510 db jelfogó áramkörei hajtják végre (ld. 151. oldalt). A távvezérlés lehetővé teszi az említett rádiófrekvenciás kapcsolók villamos energiaellátását és programozott helyzetbe forgatását, valamint engedélyezi a rádióadó-berendezések kombinációs táblázata (ld. 134. oldalt) szerinti üzemeltetését.

Az antennafüggönyök betű- és számjelének jelentése

H a dipól-antennák tengelye vízszintes (**H**orizontális) irányú
R az antenna **R**eflektorral rendelkezik
R a reflektor- és a direktorfüggöny felcserélhető (**R**everzibilis)
S a sugárzási főirány csóválható (**S**chütteln)
x/ az antennafüggöny **x** db függőleges félhullámú elemet tartalmaz
y/ az antennafüggöny **y** db vízszintes félhullámú elemet tartalmaz
z az antennafüggöny alsó eleme **z** hullámhosszúságra van a talajtól.



Jászberény Rádióállomás kétszintes adóépülete



A beépített

tápvonalkapcsolók száma: 28 db
csóválókapcsolók száma: 28 db
irányváltó-kapcsolók száma: 42 db

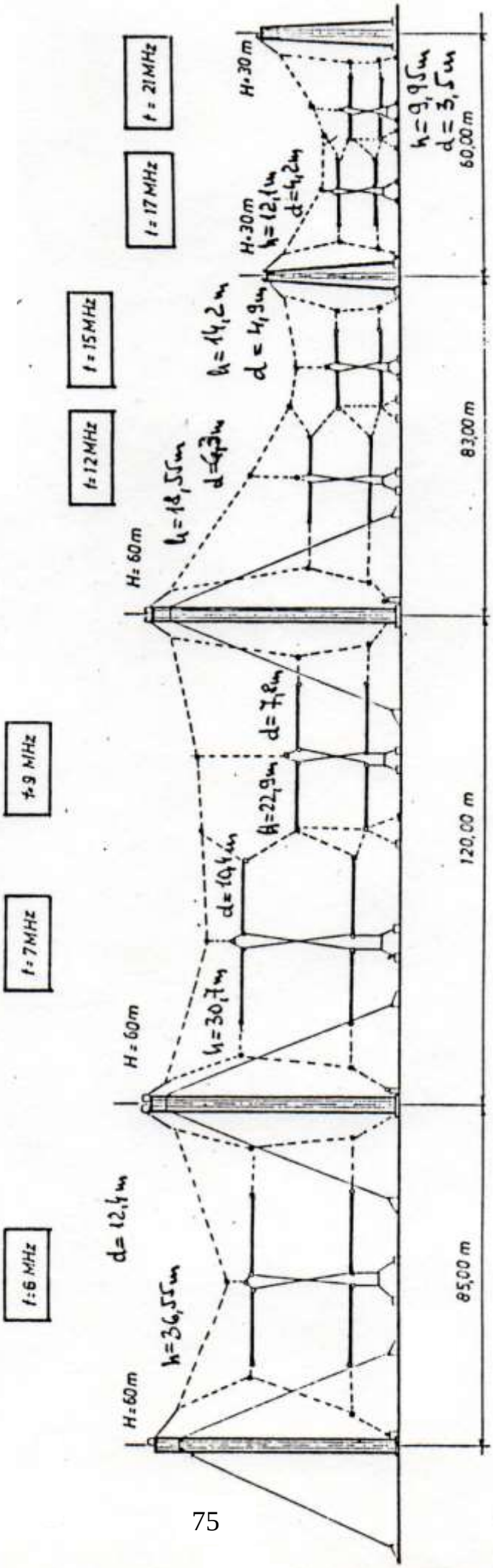
A Jászberény Rádióállomás antennarendszerének telepítési helye a három antennaágon és a főbb jellemző adatok

Jászberény Rádióállomás

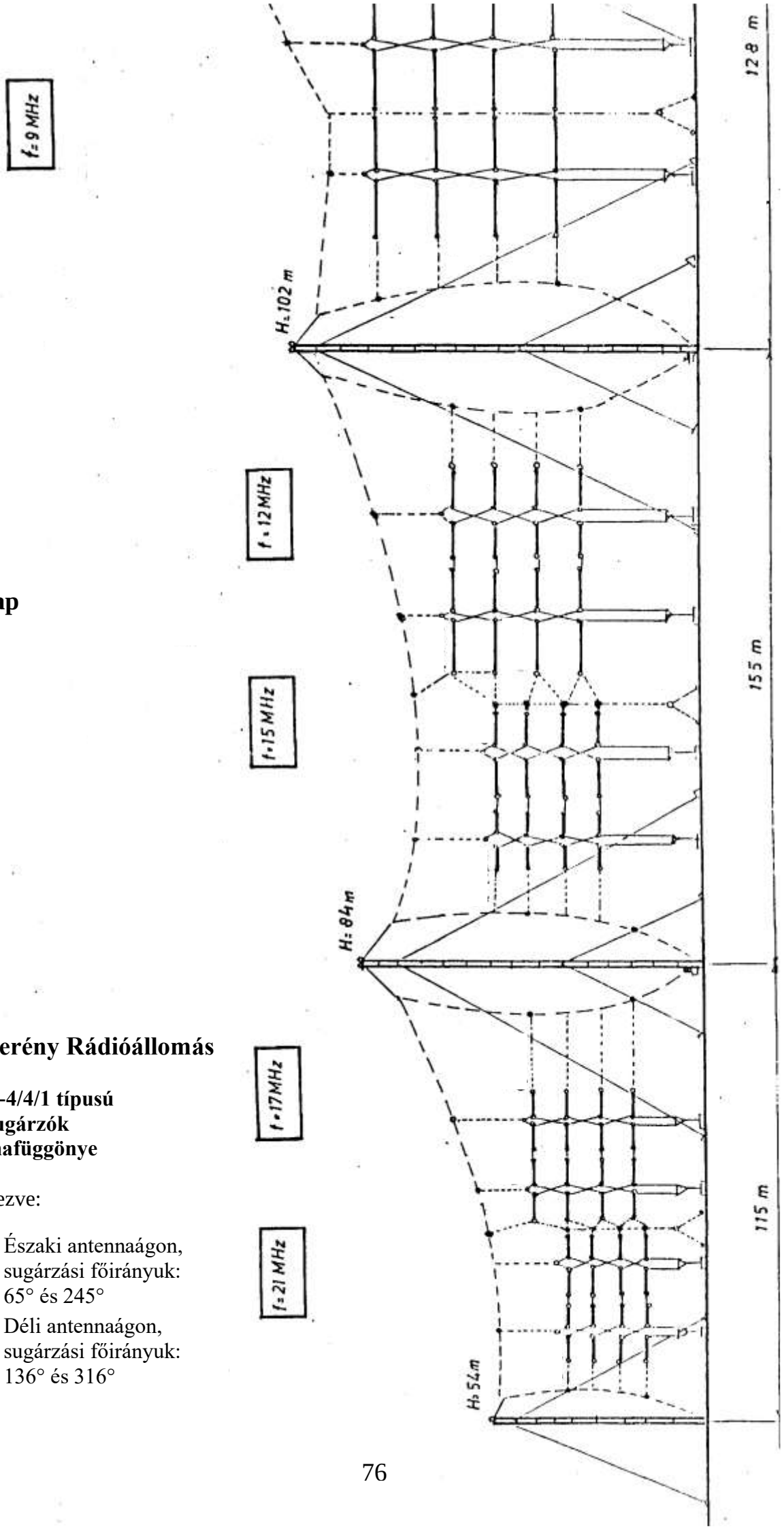
HRR-2/2/0,25 típusú közelsugárzók antennafüggönye

Elhelyezve:

- Keleti antennaágon, sugárzási főirányuk: 7° és 187°
- Déli antennaágon, sugárzási főirányuk: 108° és 288°



A-lap

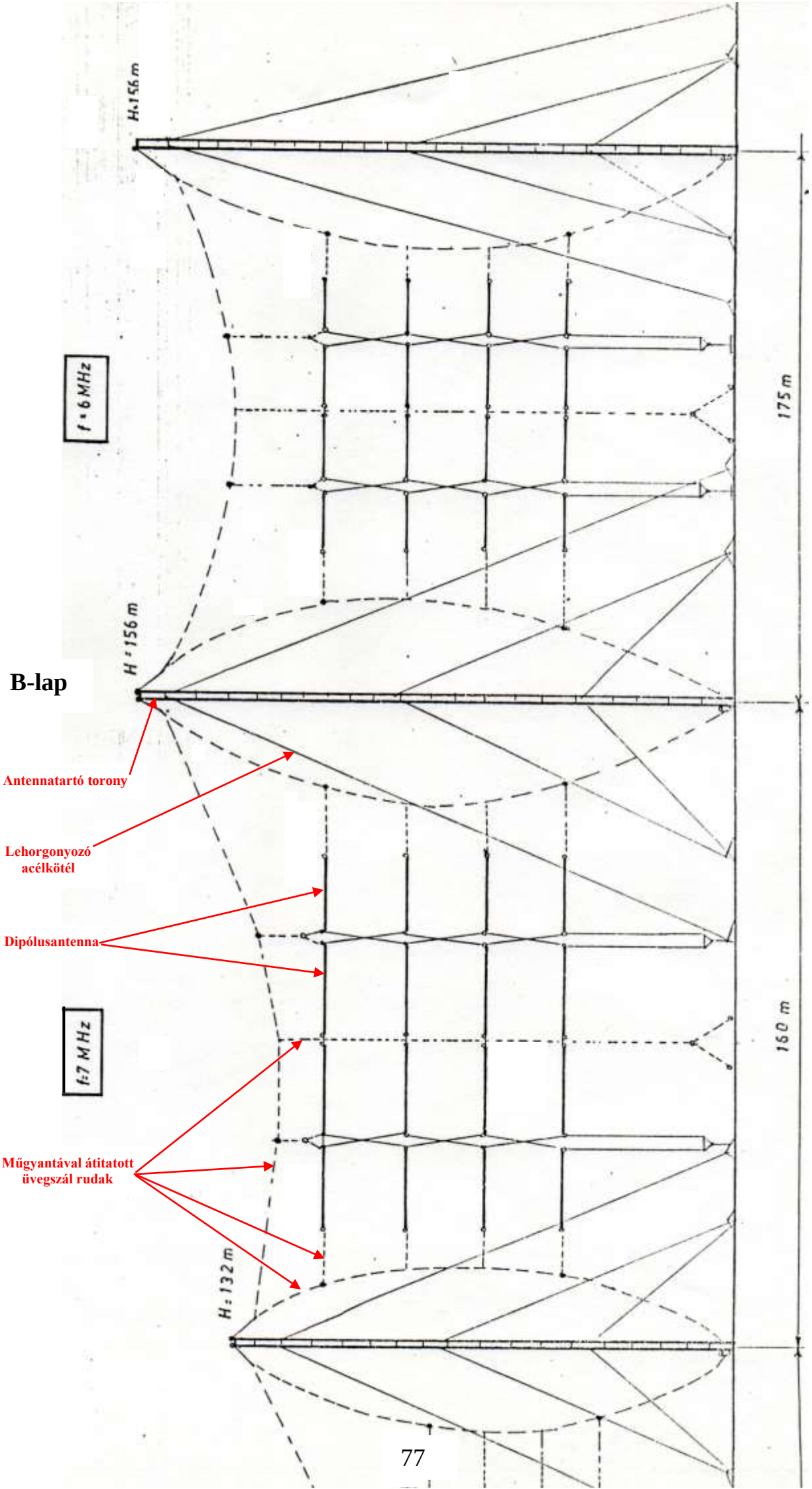


Jászberény Rádióállomás

HRRS-4/4/1 típusú távolsugárzók antennafüggönye

Elhelyezve:

- Északi antennaágon, sugárzási főirányuk: 65° és 245°
- Déli antennaágon, sugárzási főirányuk: 136° és 316°


H=156 m
f = 6 MHz
175 m
H = 156 m
B-lap
Antennatartó torony
Lehorgonyozó acélkötél
Dipólusantenna
f=7 MHz
160 m
Műgyantával átitatott üvegszál rudak
H = 132 m

IV. rész

A Jászberény Rádióállomás
két 250 kW-os rövidhullámú rádióadó-berendezésének
energiatakarékos átalakítása

Készítette:

Halász Sándor
az állami nagyberuházás helyszíni megbízottja (1968-1973)
a rádióállomás-üzemmérnöke (1974-1980)
a rádióállomás-vezetője (1981-1995)

Jászberény, 2023. április 9.

A két 250 kW-os rádióadó-berendezés energiatakarékos átalakítása

Az Antenna Hungária Rt. 1987-ben határozatot hozott a Jászberény Rádióállomás mindkét 250 kW-os rövidhullámú rádióadó-berendezésének energiatakarékos átalakítására. Ehhez a svájci Brown-Boveri cégtől rendelte meg a szükséges technikai egységet, a DCC (dinamikus jelfigyelő és feszültségszabályozó) berendezést, amely maximum 43%-os villamos energia-megtakarítást garantált. A DCC berendezés két főegységből állt: egy DCC fiókból és egy nagyfeszültségű, vezérelhető tirisztoros egyenirányítóból. A DCC fiók a stúdióból érkező hangfrekvenciás jelszintet figyelte, s ehhez szabályozta időről-időre a tirisztoros nagyfeszültségű egyenirányító által előállított U_a anódfeszültség értékét. Az 50%-nál kisebb jelszintek esetén U_a=6.000 V, az ennél nagyobb jelszinteknél U_a=6.000–12.000 V közt arányosan változó anódfeszültséget állított elő a **modulátor** (a hangfrekvenciás végerősítő) és a **modulált erősítő** (a rádiófrekvenciás végerősítő) elektroncsövei részére.

DCC-sítés előtt az U_a anódfeszültség értéke – mint az eredeti jel állandó része (ld. 46-48. oldalakat) – stabilan 12.000 V volt. DCC-sítéssel az U_a értéke a változó hangfrekvenciás jel erősségétől függően 6.000 V és 12.000 V között „ugrált”. A műsoridő átlagában az „ugráló” U_a anódfeszültség számottevően 12.000 V alatt maradt, ami villamos energia-megtakarítást eredményezett.

A DCC fióknak néhány elektromos paramétere nem illeszkedett a rádióadóberendezés korábbi (eredeti) hangfrekvenciás jellemzőihez, egyrészt ezért, másrészt finanszírozási gond miatt – ld. alább – a hangfrekvenciás lánc áramköreit alapvetően módosítani kellett. A továbbiakban kizárólag az átalakított áramköröket ismertetem, amelyek tervezési, kivitelezési és üzembe helyezési feladatait a Rádióállomás munkatársai végezték el.

Az energiatakarékos átalakítás szervezése közben finanszírozási gond merült fel, ami kérdésessé tette a rádióadó-berendezéseink DCC-sítését. A kedvező hitelfelvételhez a garantált 43 %-os energia-megtakarítás csekélynek bizonyult. Ehhez minimum 50%-ot kellett elérni. Felettes szervünk felkérte Rádióállomásunkat a hiányzó megtakarítás megteremtésére. Gyors, de megalapozott döntést hoztunk: amennyiben a modulátor ellenütemű és AB-osztályú beállításban üzemeltetett két elektroncsövének 3 A-es nyugalmi anódáramát B-osztályú beállítással nullává tesszük, még a minimális 6.000 V-os anódfeszültség mellett is a két adónál összesen 72 kW teljesítménycsökkenést érünk el. Ez a csökkenés – az adók átlagos 75%-os kimoduláltságát feltétezve – a hiányzó 7%-ot meghaladó villamos energia-megtakarítást garantált, illetve eredményezett (ld. 115. oldalt).

A szakmában közismert, hogy egy B-osztályú beállításban üzemelő elektroncső torzítása az anódáram–vezérlőrács-feszültség karakterisztika alsó szakaszának

erős „görbültsége” miatt megengedhetetlenül nagy (ezért nem alkalmazzák). Méréssel felvettük a modulátor elektroncsövének említett karakterisztikáját, és grafikus analízissel megállapítottuk, hogy a karakterisztika kezdeti szakaszának görbültsége négyzetes jellegű. Adódott a megoldás: amennyiben a stúdióból érkező moduláló jelből négyzetgyököt vonunk, s ezzel vezéreljük az elektroncsövet, az eredmény lineáris lesz, a torzítás megszűnik. Adódott a feladat is: négyzetgyökvonó áramkört kell tervezni, kivitelezni, s azt elhelyezni a hangfrekvenciás láncban. Ez hazai viszonylatban élénk és heves vitát kiváltó, ismeretlen elgondolás volt, ami a gyakorlatban eredményesnek bizonyult, és értékes lett!

A rádióadó-berendezés hangfrekvenciás láncának módosított felépítése és kezelési leírása

A moduláció (a stúdióból érkező hangjel) a Z_o=600 ohm hullámellenállású műsorvonalról földszimmetrikusan (az „A” és „B” csatornán), ellenütemben érkezik a K egységhez (ld. a 97. oldalt), rendszerint 0–20 dB közti jelszinten. A rádióadó-berendezés 100%-os kimodulálásához a finom és a durva csillapítás-kapcsolókkal a szintmérőn 0 dB szintet kell beállítani.

A K egységet a HB limiter követi. Ennek 600 ohmos bemenete (a 2x300 ohm) illesztetten zárja le a K egységet. A hangfrekvenciás limiter kimenetén a jelszint – amennyiben bemenetére 0 dB-nél nagyobb jel érkezik – mindig 0 dB marad. A limiter ezzel a tulajdonságával egyrészt megakadályozza a 100%-nál nagyobb moduláció létrejöttét, másrészt DCC üzemmódban biztosítja az anódfeszültségnek maximum 12.000 V-ig történő felszabályozódását. A HB egység kimenetén a jel kétfelé ágazik: részben a HA egységbe, részben a HC egységbe jut.

A HA egység – a korábbihoz képest – új áramköreivel új funkciót tölt be. A bemenetén lévő 2x300 ohmos ellenállás földszimmetrikusan lezárja a HB egységet. Ezt követően a jel egy 4.500 Hz-es felső határfrekvenciájú **aluláteresztő szűrőbe** érkezik. Az aluláteresztő szűrő aszimmetrikus, csak az „A” csatorna jelét szűri. A „B” hangcsatorna jele nem jut keresztül az HA egységen. Ennek ellenére a HA egység szimmetrikus jelet biztosít kimenetén. Erről az aluláteresztő szűrőt követő szimmetrizáló erősítő gondoskodik oly módon, hogy a bemenetére érkező aszimmetrikusan szűrt jelből kimenetén földszimmetrikus jelet állít elő 0 dB-es szinten, miközben a szimmetrizáló erősítő az illesztett lezárásokkal üzemelő aluláteresztő szűrő 6 dB-es csillapítását is megszünteti.

A HA egységhez tervezett és beépített aluláteresztő egyrészt szavatolja a műsorszóró, így a rövidhullámú rádióadó-berendezésekre nemzetközileg előírt 4.500 Hz-es sávkorlátozást, másrészt meggátolja, hogy a DCC fiók 11 kHz-es

mintavételező jele a 4.500 Hz-nél magasabb hangfrekvenciákon is kifejtse hatását, és a DCC fiók kimenetén – mint aluláteresztő szűrő hiányában az történne – torz jelek jelenjenek meg, amik rontanák a rádióadó-berendezés műszaki jellemzőit. A HA egység tervezését és kivitelezését a Rádióállomás műszaki munkatársai végezték.

A HC egység eredeti áramköreivel a trapézmoduláció lehetőségét teremti meg. Bemenetére a HB egységből a jel aszimmetrikusan érkezik (csak a „B" csatorna jelét kapja), következésképpen a trapézvágó bemenetén az aszimmetrikus jel szintje -6 dB. A trapézvágó bemenetén a jel még „szinuszos", kimenetén már „trapéz" jellegű, és aszimmetrikus. A szimmetrikus erősítő a jelet kimenetén földszimmetrikussá teszi, ugyanakkor -0,45 dB-es szintre felerősíti, ami biztosítja, hogy a rádióadó-berendezés DCC nélküli üzemmódjában a trapézjeles moduláció maximum 95%-os lehet, illetőleg DCC üzemmódban a tirisztoros nagyfeszültségű egyenirányító kimenőfeszültsége (a moduláló és a modulált fokozat elektroncsöveinek anódfeszültsége) a 11.500 V-ot nem lépheti túl. (Ezt a szigorítást a modulált fokozat feszültségszilárdsága indokolja).

A HD egység korábbi feladata változatlan, továbbra is a szinusz-trapéz moduláció megválasztását szolgálja.

A DCC fiók egy dinamikus anódfeszültség-szabályozó, ezáltal egyben vivőtejesítmény-szabályozó (energia-megtakarítást eredményező) egység is. Egyrészt összhangot teremt a moduláló jel mindenkori szintje és a rádióadóberendezés (a HN modulátor és az RF II. modulált rádiófrekvenciás végerősítő) 6.000 V és 12.000 V között változó U_a anódfeszültsége között, másrészt hangfrekvenciás kimenetén (az N12-es csatlakozón) megjelenő hangjelet időben késlelteti a bemenetéhez (az N11-es csatlakozóhoz) érkező hangjelhez képest. Az időkésleltetés azért szükséges, hogy az U_a anódfeszültség megváltozhasson arra az értékre, amire az aktuális hangjel-szinthez tartoznia kell. DCC fiók késleltető áramköre 0 dB-es bemenőszintnél (a 20x0,5 dB-es csillapításkapcsoló 0 dB-es állásában) a kimenőjelnek kedvezőtlenül nagy (5%-ot is meghaladó) torzítását okozza. Amennyiben a kapcsolón 3 dB-es csillapítást állítunk be, akkor – bár a kimenőjel -3 dB-re csökken – a torzítás 2%-on belül marad. Ezért, a torzítás elkerülése érdekében, üzemszerűleg a kapcsolót 3 dB-es helyzetbe kell állítani.

DCC üzemmódban a DCC fióknak az anódfeszültség szabályozó körébe épített R_{524} jelű belsőleg állítható helipotjával lehet beszabályozni az N26 csatlakozó kimenő áramát arra a szintre, hogy a 20x0,5 dB-es csillapításkapcsoló 3 dB-es helyzetében és 0 dB-es moduláló jelnél a tirisztoros nagyfeszültségű egyenirányító kimenő feszültsége (az U_a anódfeszültség) 12.000 V lehessen. Amennyiben az anódfeszültség 12.000 V-nál kisebb lenne, a csillapítás-kapcsolót 3

dB-nél kisebb értékre kell állítani. Ez azonban – a torzítás növekedése miatt – ideiglenes megoldásnak tekintendő, a végleges megoldást csakis a csillapítás-kapcsoló 3 dB-es állásában az R_{524} jelű helipot megfelelő helyzetbe forgatása jelentheti.

A DCC fiók 20x0,5 dB-es csillapításkapcsolójának -3 dB-re állításával nemcsak a 12.000 V-os anódfeszültség értéke változik (természetesen DCC üzemmód-ban), hanem az N12-es jelű csatlakozón megjelenő hangfrekvenciás kimenőjel szintje is, azaz a rádióadó-berendezés kimoduláltsága. A moduláció szinten tartható a HE egység finom és durva csillapításkapcsolójának új helyzetbe állításával. E kapcsolókat olyan helyzetbe kell állítani, hogy a DCC fiók 0 dB-es bemenőjelénél a rádióadó-berendezés koronaműszerén a szinuszos moduláló mérőfeszültség csúcsértéke 12.000 V legyen.

A DCC fiók előlapján lévő „DCC ki-be” kapcsolóval (ezen kívül a kezelőasztali vagy a rádióadó-berendezés frontlapján lévő „DCC ki-be” nyomógombokkal) választható meg a „DCC nélküli” vagy a”DCC” üzemmód.

A DCC fiókot a HE egység követi. A HE egység a korábbihoz képest teljesen új, a Rádióállomás munkatársai által tervezett és kivitelezett áramkörökből épül fel. Bemenetére a jel (mint már arról szó esett) célszerűen -3 dB-es szinten érkezik, és a „lezáró” feliratú érintkezők állásától függően (a lezáró érintkezőket egy jelfogó nyitja, illetve zárja) a jel továbbjut, és a rádióadó-berendezés modulálható lesz, vagy rákapcsolódik a 2x300 ohmos földszimmetrikus lezáró ellenállásokra, és a műsorátvitel szünetel. A DCC fiók 600 ohmos (2x300 ohmos) illesztését vagy ez a lezáró ellenállás, vagy a finom- és durva csillapító tagokon keresztül az előerősítő 2x300 ohmos bemenő ellenállása jelenti. A lezáró jelfogó a HE egység frontlapján elhelyezett vagy a kezelőasztalon található lezáró gombbal vezérelhető. A lezáró gomb megnyomás után reteszelődik, lezáró helyzetét a gombba épített lámpa kigyulladása jelzi. Feloldása a gomb ismételt megnyomásával történik.

A finom és a durva csillapításkapcsolókkal a rádióadó-berendezés kimoduláltsága szabályozható. Olyan helyzetbe kell állítani, hogy a K egységből jövő 0 dB-es szinuszos jel 100%-os modulációt eredményezzen. Az előerősítő fogadja egyrészt a durva csillapításkapcsolóból érkező moduláló jelet, másrészt a 8 dB értékű külső negatív visszacsatolás jelét.

Az előerősítő kimenőjele a négyzetgyökvonó áramkört vezérli. Ennek az áramkörnek az a feladata, hogy a HN modulátorban a többlet villamos energia megtakarítása érdekében „B” osztályba átállított CQS 50-1 típusú elektroncsövek négyzetes jellegű I_a-U_{g1} (anódáram–vezérlőrács-feszültség) karakterisztikájából származó torzítást megszüntesse.

A négyzetgyökvonó áramkört az összegző áramkör követi. Ez egy összetett jelet továbbít a nagyfeszültségű erősítő részére. Az összetett jel tartalmazza a moduláló jel négyzetgyökét, a HF fokozatból visszavezetett belső negatív visszacsatolás jelét és a nagyfeszültségű erősítőből visszacsatolt, annak hőmérséklet-független beállítását biztosító negatív visszacsatolás jelét. Amíg a külső negatív visszacsatolás célja a rádióadó-berendezés torzításának a minimalizálása, addig a belső negatív visszacsatolásé a HF egység kimenő ellenállásának a csökkentése, abból a célból, hogy a HN modulátor elektroncsöveiben meginduló vezérlőrácsáram ne csillapítsa számottevően a HF egység kimenőjelét. Külső kezelőszervvel sem a külső, sem a belső negatív visszacsatolás mértéke nem változtatható.

Az összegző áramkör kimenőjelét a tranzisztorizált nagyfeszültségű erősítő erősíti fel az első csöves HF egység számára 54 dB-es (szinuszos jelnél 390 V-os effektív értékű, azaz 580 V-os csúcsfeszültségű) szintre.

A HF egység (kapcsolási rajzait a 104-105-106. oldalakon láthatjuk) a két hangcsatornának megfelelően két elektroncsöves, ellenütemben működő katódkövető fokozatot tartalmaz. Munkaellenállását eredetileg egy vasmagos fojtótekercs képezte, melyet az egység súlycsökkentése érdekéven egy 3.000 ohmos, 100W-os ellenállással váltottunk ki. Bár a HF egység kimenőellenállása a katódkövető kapcsolás miatt csekély, értékét negatív visszacsatolással (a fojtótekercs kiváltása miatt) célszerű volt lecsökkenteni, azért, hogy modulációs csúcsokban a HN modulátor elektroncsöveinél meginduló kismértékű vezérlőrácsáram se okozzon a modulációban csökkenést. A kialakított belső negatív visszacsatolás mértéke 2 dB. A HF egység impedancia illesztést biztosít a HE egység és a HN modulátor között. A HF egység a bemenetére érkező 54 dB-es jelszintet kimenetén 52 dB-re csökkenti.

A HN egység a rádióadó-berendezés modulátora. Két, ellenütembe kapcsolt, B osztályú munkapontban üzemeltetett elektroncsövet tartalmaz. Anódáramkörében a modulátor transzformátor ad illesztést a rádiófrekvenciás végerősítő (az RF II. jelű modulált fokozat) és a modulátorban lévő elektroncsövek között. A modulátor elektroncsövei – az áttervezést követően – csaknem vezérlőrácsáram nélkül üzemelnek, ezért gyakorlatilag elhanyagolható terhelést jelentenek a meghajtó HF egység számára. Az elektroncsövek „B” osztályú beállítása azt jelenti, hogy az elektroncsövek a rácskarakterisztika erősen görbült szakaszában üzemelnek, ott, ahol a rácskarakterisztika alapvetően négyzetes jellegű. Annak érdekében, hogy a modulátor torzítása a négyzetes jelleg ellenére a megengedett értékhatáron belül maradjon, a vezérlő (a meghajtó) HE egységet négyzetgyökvonó áramkörré kellett átalakítani. A maradó torzítás csökkentését a 8 dB-es külső negatív visszacsatolás szavatolja, amely áthidalja a hangfrekvenciás láncnak a torzítás szempontjából kritikus részét. A külső negatív visszacsatoló

áramkör legfeljebb a modulátorban történt elektroncsőcsere esetén kíván korrigálást a HE egység előerősítőjében elhelyezett (külsőleg hozzáférhetetlen) P_2 jelű helipottal.

A HN egység erősítése 28,8 dB, a bemenetére érkező 52 dB-es jelszintet kimenetén (a modulátor transzformátor szekunder tekercsén) 80,8 dB-re (szinuszos jel esetén 8.500 V effektív értékre, azaz 12.000 V csúcsértékre) növeli. Ez a jelszint biztosítja az RF II. jelű rádiófrekvenciás végerősítő fokozatnak (a modulált fokozatnak) a 100%-os kimoduláltságát (ld. 49. oldalt).

Az eredeti HF és HN egységek áttervezését és a módosítások kivitelezését is a Rádióállomás műszaki személyzete végezte.

A HA egység műszaki leírása

A HA egység főbb részei (ld. a 98-99. oldalakat)):

- a 4.500 Hz-es felső határfrekvenciájú aluláteresztő szűrő
- az 1. elválasztó fokozat
- a szimmetrizáló erősítő
- a 2. elválasztó fokozat.

Az egység alkatrészei NYÁK-lapon helyezkednek el. A moduláló jel szimmetrikusan, 0 dB szinten érkezik a NYÁK-lap 1. és 3. pontjaira. A bejövő („A” és „B” csatornán érkező) modulációs vonalat az R_1 és R_2 ellenállások zárják le illesztetten (2x300 ohmmal). Az egység további részegységei (a szűrő és az 1. elválasztó fokozat) aszimmetrikusan üzemelnek, csakis az „A” csatorna jelét dolgozzák fel. Az „A” csatorna jele az R_{3a-b} párhuzamosan kapcsolt ellenállásokon át a 7-fokszámú Cauer-típusú 4.500 Hz felső határfrekvenciájú aluláteresztő szűrőbe jut. A szűrő iduktívitásait az L_1, L_2 és L_3 fazékvasmagos fojtók, kondenzátorait a C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6 és C_7 elemek alkotják. A szűrő illesztett lezárás mellett fejti ki hatását. Az illesztőellenállás a bemeneti oldalon az R_{3a-b} (2.050 ohm), a kimeneti oldalon az R_4-R_5 ellenállások párhuzamos eredője adja (ezek eredője is 2.050 ohm). A C_8 kondenzátor megakadályozza, hogy a T_1 tranzisztor bázis-árama átfolyhasson a fojtókon. A T_1 bázis-feszültség osztóját is a szűrőt lezáró R_4-R_5 ellenállások alkotják. A bázis feszültsége +10 V.

Az 1. leválasztó fokozat (a T_1 tranzisztor) emitterkövető kapcsolásban üzemel. Tulajdonsága az igen nagy bemenőellenállás, ami itt azért szükséges, hogy a szűrő lezárását a bemenő-ellenállás ne befolyásolhassa.

Az illesztett lezárások között dolgozó szűrőnek a csillapítása (az áteresztő sávban) 6 dB. A T_2 és T_3 tranzisztorokból álló szimmetrizáló erősítőnek a feladata a jel szimmetrizálásán kívül a 6 dB-es erősítés, hogy általa a HA egységből kimenő jel ismét szimmetrikusan és 0 dB-es szinten álljon rendelkezésre. A T_1 emitterében elhelyezett R_6 helipottal állítható be a HA egység 6. és 8. kimenőpontjain a 0 dB-es szint. A T_1 tranzisztor disszipációja 20 mW, ezért külön hűtést nem igényel.

A C_9 kondenzátor az egyenfeszültség leválasztását végzi. A C_{10} kondenzátor a T_3 bázisának a váltóáramú földpotenciálját teremti meg. A T_2 és T_3 tranzisztorpár differenciál erősítőt képez, az aszimmetrikus bemenőjelből szimmetrikusat állít elő kimenetén, az R_{12} és az R_{15}+R_{16} kollektorköri ellenállásokon. A tranzisztorpár bázisfeszültségét az R_7–R_8 ellenállások állítják elő. Az R_9 és R_{10} meggátolja, hogy a modulációs jel a közös bázisosztón rövidrezáródjon.

Az R_{11} és R_{14} emitterköri ellenállások megnövelik a differenciálerősítő bemenőellenállását, és biztosítják a fokozat kedvezően kis torzítását. Az R_{13}-nak munkapont stabilizálás a feladata. A differenciál fokozat erősítését az áramgenerátornak kapcsolt T_6 tranzisztor I_0 kollektor-áramával lehet a kívánt értékre beállítani. Az I_0 változtatását az R_{17}, R_{18} és R_{19} ellenállások bármelyikének a megváltoztatásával elérhetjük. A D_1 dióda az I_0 áram hőmérséklet-stabilitását fokozza. Az R_{16} helipot állításával elérhető a pontos R_{12}=R_{15}+R_{16} ellenállás azonosság, azaz a fokozat szimmetriájának a beszabályozása, az „A” és a „B” csatornán kimenő jel azonos nagysága. A T_2 és T_3 tranzisztorok disszipációja néhány mW, külön hűtést nem igényelnek.

A T_4 és T_5 tranzisztorok alkotják a 2. elválasztó fokozatot, amelyek emitterkövető kapcsolásúak a kis váltóáramú kimenőellenállás megvalósítása érdekében. A C_{11} és C_{12} kondenzátorok itt is az egyenfeszültség leválasztását szolgálják. A HA egység 6. és 8. kimenőkapcsainak terhelését a DCC fiók 2x300 ohmos földszimmetrikus bemenőellenállása jelenti.

A T_4 és T_5 tranzisztorokon 45 mW hő disszipálódik, kollektorukra hűtőcsillagot kell felszorítani. Az R_{22} a C_{11}, míg az R_{25} a C_{12} kondenzátor negatív pólusának a földpotenciálra helyezését teremti meg, még a HA egységen belül. Az R_{20} a T_4, illetve az R_{23} a T_5 tranzisztor emitter-feszültségét mérő műszer előtét-ellenállása. A mérőműszer egy központi egységen, a HG egység frontlapján kapott helyet. A C_{13} és C_{14} a váltófeszültség kiszűrését végzik a mérőkörből. A HA egység a HG egységnek a +20 V-os stabilizált tápfeszültségéről üzemel. Az egység áramfelvétele 18 mA.

A HA egységet – meghibásodásakor – az a1.-a0. és b1.-b0. pontokat összekötő, erre a célra kialakított rövidrezáró dugóval ki lehet váltani. A rövidrezáró dugó kialakítását a HA egység áramköri rajzán láthatjuk. Kiváltáskor természetesen a

rádióadó-berendezésből kiiktatódik a 4.500 Hz-es aluláteresztő szűrő, de az adás nem szakad meg! Kiváltás esetén a K egység illesztett lezárását közvetlenül a DCC fiók bemenete szolgáltatja.

A HA egység ellenőrzése és beállítása. A HA egység áramköri rajza feltünteti az egyes pontokon a földhöz képest mérhető egyenfeszültségeket, amelyek le-ellenőrzése után az egység váltófeszültségű beállítása a következőképpen történik: hanggenerátorból aszimmetrikus jelet adunk a CS1. csatlakozó a1.-ab4. kapcsaira. A jel 1 kHz-es frekvenciájú és 0,387 V effektív értékű legyen. A CS1.-nek az a0.-ab4. és b0.-ab4. kapcsait 2 db 300 ohmos ellenállással lezárjuk. Az R_6 helipottal az a0.-ab4. kapcsok között 0,387 V-ot állítunk be. Ezután a b0.-ab4. kapcsok közötti feszültséget állítjuk be az R_{16} helipottal, ugyancsak 0,387 V effektív értékre. Az egységből kijövő jel torzításának – a 60-4.500 Hz frekvenciatartományban – kisebbnek kell lennie 0,1%-nál, a frekvenciamenetnek pedig plusz-mínusz 0,2 dB-en belüli kell maradnia. Esetleges eltérések okát fel kell tárni, s meg kell szüntetni!

A HE egység műszaki leírása

A HE egység főbb részei (ld. a 97. oldalt):

1) A finom és a durva csillapításkapcsoló
2) Az előerősítő
3) A négyzetgyökvonó és összegző áramkör
4) A nagyfeszültségű tranzisztoros erősítő

A finom és a durva csillapításkapcsoló

A moduláló jel (a továbbiakat a 100-101-102-103. oldalak egymás mellé, sorba rendezve követhetjük) a DCC fióktól a CS1. csatlakozó a0.-b0. kapcsain érkezik a HE egység 12 V-os jelfogójának váltóérintkezőihez. Ha a jelfogót a HE egység frontlapján található Ny.G. jelű nyomógombbal meghúzatjuk, a moduláló jel egy-egy 300 ohmos ellenállásra kapcsolódik, ami a rádióadó-berendezés „lezárását”, azaz modulációjának megszüntetését jelenti. A lezárást a nyomógombba épített 24 V-os lámpa villogó fénnyel jelzi. A lezárás a K egységen elhelyezett nyomógombbal is elvégezhető. A lezárás akár a HE egység, akár a K egység nyomógombjának ismételt megnyomásával megszüntethető. A lámpa villogtatását a BC182 és BC212 tranzisztorpárból kialakított multivibrátor végzi. A villogás megszüntethető, ha a BC182 tranzisztornak az emitter-kollektor elektródáira rövidzárt helyezünk. A jelfogó és a villogtató a HG egységből kap -20 V-os tápfeszültséget.

A jelfogó elengedett állapotában a moduláló jel a finom csillapításkapcsoló 1. és 2. bemenetére jut. A finom csillapításkapcsoló 0,1 dB-es lépésenként a moduláló jelet maximum 1 dB-lel csillapítja. A csillapítótagok hullámellenállása 600 ohm.

A finom csillapításkapcsoló 3. és 4. kimenetéről a jel a durva csillapításkapcsoló 1. és 2. bemenetére kerül. Ez 1 dB-es lépésenként maximum 10 dB-lel csillapítja a modulációt. Ezek a csillapítótagok is 600 ohm hullámellenállásúak.

A durva csillapításkapcsoló 3. és 4. kimenetét az előerősítő bemenete zárja le 2x300 ohm ellenállással. A lezáró ellenállás két tagból áll: egy 100 ohmos helipotból (P_1 és P_{11}) és a vele sorbakapcsolt 200 ohmos ellenállásból. Tekintettel arra, hogy a HE egységben a jelformálás, illetve a jelerősítés két csatornában (az ellenütemű és földszimmetrikus „A”, illetve a „B” csatornában) történik, a HE egységben valamennyi jelformáló és jelerősítő részegységből két azonos felépítésű részegység (előerősítő, négyzetgyökvonó, összegező, nagyfeszültségű tranzisztoros erősítő) található. A továbbiakban csak az „A” hangcsatorna részegységeit ismertetem, a „B” csatorna elve és felépítése az „A” csatornáéval azonos.

Az előerősítő

Az előerősítőt az IC_1 és IC_2 műveleti erősítők alkotják. A moduláló jel a DCC fiókból 3 dB-es csillapítással érkezik a HE egységhez (U_A=0,274 V). Ezt a finom és a durva csillapítás-kapcsolók további, általában 5 dB-lel csökkentik, ezért az előerősítő bemenetén (a NYÁK-lap 2. pontján) a jel nagysága U_2=0,154 V lesz. Az IC_1 ezt erősíti fel kimenetén (a 6. lábon) 8 V-ra. Lényeges, hogy az IC_1 6. lábán a felerősített hangjel még 100%-os moduláció esetén se haladja meg a 8 V-ot! A P1 helipot jelszimmetrizálást végez az „A” és a „B” hangcsatorna között. Az IC_1 2.-6. lába közti RC komplexum az előerősítő frekvenciamenetét befolyásolja (magasfrekvenciás vágást végez) annak érdekében, hogy 8 dB külső negatív visszacsatolást lehessen gerjedésmentesen elérni.

Az előerősítő IC_2 műveleti erősítője dolgozza fel a HN modulátorból visszavezetett külső, 8 dB-es negatív visszacsatolás jelét. Ez a jel a Cs1. csatlakozó a6. (illetve a „B” csatornában a b6.) érintkezőjén át kerül az előerősítő 3. pontjára. A jel nemcsak váltóáramú, de egyenáramú összetevőt is magában foglal, tekintettel arra, hogy a HN modulátorban a külső negatív visszacsatoló lánc tisztán ohmikus (egyenfeszültséget leválasztó kondenzátor nélküli) tagokból álló osztót tartalmaz az alacsonyfrekvenciájú zajokra is hatásos külső negatív visszacsatolás érdekében. Abból a célból, hogy az egyenfeszültségű komponens ne korlátozza az IC_2 váltófeszültségű jelfeldolgozó szintjét, az egyenfeszültségű komponenst az IC_2 kimenetén (a 6. lábon) eltüntetjük (eliminájuk). Az

elimináló jel az előerősítő 4. pontjától kerül az IC_2 invertáló bemenetére. Az elimináló jelet a modulációs fülkében elhelyezett P1 jelű nagyfeszültségű osztóról (furulyáról) kapjuk. Az innen nyert elimináló jel még DCC üzemmódban is hűen követi a külső negatív visszacsatoló jel egyenfeszültségű összetevőjének változásait, ezért azt mindenkor kioltja.

A külső negatív visszacsatoló jel fázismenetét az IC_2 2.-6. lábaira kapcsolt RC tagokkal, nagyságát a 2,2 kohmos P_2 jelű helipottal, alacsonyfrekvenciás átvitelét a 10 kohmos és 0,47 μF-os párhuzamos komplexummal formáljuk. A P_2 helipottal szabályozzuk be a 8 dB-es külső negatív visszacsatolás mértékét. A NYÁK-lap 4. pontjára kötött 47 kohmos P_3 helipot (ami az elimináló jel nagyságát szabályozza) beállítása akkor helyes, ha az IC_1 6. lábán +0,2 V-ot mérünk. A 4. ponthoz forrasztott 10 μF-os kondenzátornak zavarszűrés a feladata. (Beforrasztása akkor indokolt, ha az a rádióadó-berendezés zajszintje a kondenzátor hiánya miatt megnőne).

A négyzetgyökvonó és az összegző áramkör

A négyzetgyökvonó áramkört az IC_6 szorzóáramkör és az IC_3, IC_4, IC_5 műveleti erősítők alkotják. Bizonyítható, hogy ha egy invertáló műveleti erősítőt (IC_3-at és IC_4-et) a négyzetreemelő áramkörnek kapcsolt szorzón (IC_6-on) keresztül visszacsatolunk, akkor négyzetgyökvonó áramkörhöz jutunk. Az IC_6 1.-6. és 2.-7. lábainak összekötése révén a szorzóáramkörből négyzetreemelő áramkör keletkezik. A négyzetgyökvonó áramkör kimenete (a 12. láb) fizikailag tükrözi a négyzetgyökvonás matematikai megkötöttségét, nevezetesen azt a tényt, hogy ha bemenetére nem megfelelő polaritású jel érkezik, leblokkolódik, és ebben az állapotban marad mindaddig, amíg beavatkozással (pl. a tápfeszültség kikapcsolásával) ezt az állapotot meg nem szüntetjük.

A moduláló jel váltófeszültség, – amely az előerősítő kimenetéről (az IC_1 6. lábáról) egy 10 μF-os leválasztó kondenzátoron át kerül a négyzetgyökvonó áramkör bemenetére – pozitív és negatív értékeket egyaránt tartalmaz. Gondoskodni kell tehát a leblokkolódás megakadályozásáról. Ez könnyen megoldható az IC_3 műveleti erősítő kimenete (a 6. lába) és az IC_6 műveleti erősítő bemenete (az 1.-6. lába) közé beiktatott D_4 diódával, amely negatív polaritású kimenőfeszültségnél (invertáló kapcsolású IC_3-ról lévén szó, mondhatjuk, hogy pozitív polaritású bemenőfeszültség esetén) megszakítja a visszacsatolást. A D_4 dióda beiktatásával az IC_3 csak a negatív bemenőjelek átvitelére alkalmas, ezért az IC_3-t negatív jelcsatornának tekinthetjük. A pozitív bemenőjelekre ez a csatorna nem szolgáltat kimenőjelet.

A négyzetgyökvonó áramkör leblokkolódását úgy is megfogalmazhatjuk, hogy az akkor következik be, ha a moduláló jel és a négyzetreemelő áramkörből visszacsatolt jel fázisa megegyezik. Ezt figyelembe véve juthatunk el a pozitív jelcsatorna kialakításához, amit az IC_4 műveleti erősítő old meg. Mivel az invertáló bemenetre most pozitív polaritású moduláló jel érkezik, (a negatív polaritású jel nem jut át az IC_4 kimenetére megfelelő polaritással kapcsolt D_6 diódán), a visszacsatoló ágba a négyzetreemelő áramkör kimenete (itt a jel mindig pozitív) és az IC_4 invertáló bemenete közé egy 1-szeres erősítésű invertert kell beiktatni. Ezt valósítja meg az IC_5 műveleti erősítő.

A negatív és a pozitív jelcsatorna kimenőjelét a P_7 jelű 47 kohmos helipot egyesíti. A helipoton a feszültség már a moduláló jel négyzetgyökével arányos. A negatív és a pozitív jelcsatorna feszültségerősítését az IC_3, illetve az IC_4 műveleti erősítők 2.-6. lábaira csatlakozó ellenállás–dióda komplexum állítja be. A jelcsatornák vezetőirányú feszültségerősítése 18-szoros, a záró irányúé 1-szeres.

A jelcsatornákba épített D_4 és D_6 szilícium-diódák nyitófeszültsége kb. 0,6 V. Ez azt jelenti, hogy a jelcsatornák eddig a feszültséghatárig zárnak, ami a kimenőjel „törésében” (lépcsőzöttségben) mutatkozik meg. A lépcsőzöttség megszüntetése céljából a diódákat közel a nyitófeszültségig elő kell feszíteni. Erre a célra szolgál a P4 helipot, amelynek állításával az IC_6 12. lábán (a kimeneten) -28 mV feszültséget állítunk be. Ez a feszültség az IC_3 és az IC_4 invertáló bemenetére jut (utóbbinál az IC_5-ön keresztül), ahol az a kimeneten kb. 0,5 V-ig előfeszíti a diódákat.

Az <u>összegző áramkört</u> az IC_7 és IC_8 műveleti erősítők alkotják. Az IC_7 összegző áramkörnek a szerepe kettős: egyrészt nem invertáló bemenetén fogadja a négyzetgyökvont moduláló jelet, másrészt invertáló bemenetére egy összegjel kerül. Összegjelnek tekintjük egyrészt a NYÁK-lap 1. pontjára a HF egységből érkező belső negatív visszacsatolás jelének, másrészt és a NYÁK-lap 5. pontjára a nagyfeszültségű erősítő 390-330-330-68 kohmos osztóláncáról érkező hőstabilizáló negatív visszacsatoló feszültségnek az összegét. Az IC_7 kimenetéről a három jel összege az IC_8 1-szeres feszültségerősítésű inverter bemenetére kerül. Az IC_8 feladata csupán az összegező IC_7 és a nagyfeszültségű erősítő közötti fázishelyesség biztosítása. Az IC_8 kimenetéről a három összegzett jel fázishelyesen érkezik a NYÁK-lap 6. pontjára, ahonnan a nagyfeszültségű erősítő „A” csatornája kap összetett vezérlő (moduláló, hőstabilizáló és torzítás csökkentő) jelet.

A nagyfeszültségű erősítő abban az esetben üzemel az elvárt műszaki paraméterek mellett, és abban az esetben garantált a sorbakapcsolt T_{1A}-T_{2A} (illetve a „B” csatornában T_{1B}-T_{2B}) tranzisztorpárok hő-megfutás elleni védelme, amenynyiben a T_{2A} (illetve a T_{2B}) tranzisztorpárok moduláció nélküli kollektor-

feszültsége a földponthoz képest a környezeti hőmérséklettől és a belső hődisszipációtól függetlenül állandó, kb. +575 V értékű. A feltételnek egy erre a célra kialakított áramkörrel, az úgynevezett hőstabilizáló negatív visszacsatolással lehet eleget tenni. A lejátszódó folyamat (pl. az „A” csatornában) a következő: a hőmérséklet növekedése automatikusan megnöveli a tranzisztorpárok bázis-áramát, ennek hatására nőni fog a kollektor-áram is, következésképpen csökken a T_{2A} kollektor-feszültsége (a 30 kohmos ellenálláson eső nagyobb feszültség miatt). Ez a csökkenés a 390-330-330-68 kohmos osztóláncon visszakerül a NYÁK lap 5. pontjára, végül is az IC_7 2. lábát a korábbi állapothoz képest negatívabbá teszi. Hatására az IC_8 kimenetén (a 6. lábon) is negatívabb lesz a feszültség – ami egyben a T_{1A} N-P-N típusú tranzisztorpárnak a bázis-feszültsége –, ezért kisebb lesz a bázis-áram, hatására a kollektor-áram lecsökken, vagyis a T_{2A} kollektor-feszültsége visszaáll a közel korábbi (a hőmérséklet növekedése előtti) értékre.

A folyamat hasonlóan követhető a hőmérséklet csökkenésekor is. A hőstabilizáló negatív visszacsatolással szemben egyedüli követelmény, hogy széles hőmérsékleti tartományban stabilizálja a T_{2A} kollektor-feszültséget, ezt lengésmentesen (és gerjedés nélkül) végezze, ugyanakkor a modulációs kimenőjelre (ami szintén a T_{2A} kollektorán jelenik meg) ne jelentsen negatív visszacsatolást. Utóbbi feltételt az osztólánc alsó (68 kohmos) tagjának egy 22 μF-os kondenzátorral történő áthidalása biztosítja.

A hőstabilizáló negatív visszacsatolás beállítása helyes, amennyiben 25 fok Celsius környezeti hőmérsékletnél (moduláció nélkül) a T_{1A} tranzisztorpár bázisfeszültsége a földponthoz képest 0 V. Ezt a P_6 jelű 1 kohmos helipot állításával lehet megvalósítani.

Az IC_7 nem invertáló bemenetére a moduláló jel négyzetgyökével arányos feszültség, míg invertáló bemenetére a P_5 helipotról a belső negatív visszacsatolás feszültsége kerül. A kimeneten a két bemenőjel előjelhelyes összege jelenik meg. A belső negatív visszacsatoló feszültség a HF egységből érkezik a Cs1. csatlakozó a1. (illetve a „B” csatornához a b1.) érintkezőjére, onnan a NYÁK-lap 1. pontjára kerül. A 2,2 kohmos P_5 helipot a 18 ohmos soros ellenállással osztót képez. A helipotnak ütközésig balra forgatott alaphelyzetében a 18 ohmos ellenálláson eső visszacsatolt feszültség elegendő a tervezett 2 dB-es belső negatív visszacsatolás megvalósításához. Ennél nagyobb belső negatív visszacsatolást (ha erre szükség lenne) a helipot csavarjának jobbra forgatásával érhetünk el. A belső negatív visszacsatolás növelése csökkenti a rádióadó-berendezés kimoduláltságát. A modulációs szint helyreállítása a P_7 helipotnak a jobbra forgatásával történik. Itt jegyzem meg, hogy a külső negatív visszacsatolás növelése is csökkenti a rádióadó-berendezés kimoduláltságát. A modulációs helyreállítását most a HE egység finom, illetve durva

csillapításkapcsolójával, esetleg az előerősítő P_1 jelű 100 ohmos helipotjával kell elvégezni.

Az IC_7 2.-6. lába közé iktatott 10 kohmos ellenállással az IC_7 erősítését lehet a kívánt értéken tartani. Ez jelen esetben közel 4 dB-es érték, az IC_7 nem invertáló bemenetére vonatkoztatva. Az IC_8 inverter kimenete (a 6. láb) 100 ohmos ellenálláson csatlakozik a NYÁK-lap 6. pontjára, ami közvetlenül a nagyfeszültségű erősítő T_{1A} tranzisztorának bázisára ad moduláló és hőmérsékletet stabilizáló szabályozó feszültséget. A 6. lábra kötött 910 ohmos ellenállás lehetővé teszi a NYÁK-lap vizsgálatát a nagyfeszültségű erősítő leválasztása esetén is.

Az előerősítő, a négyzetgyökvonó és az összegző áramkör plusz-mínusz 15 V-os stabilizált tápfeszültségről üzemel. A tápfeszültség földszimmetrikus, a HJ egységből érkezik a Cs1. csatlakozó a5.-ab4., illetve b5.-ab4. érintkezőire, innen pedig a NYÁK-lap „+15 V”, „föld” és „-15 V” jelű kapcsaira kerül. Az IC_1, IC_2, IC_3, IC_4, IC_5, IC_7, és IC_8 jelű integrált áramkörök alkotják az „A” hangcsatorna műveleti erősítőit. Az IC-k típusa: NE5534, az IC_6 típusa: AD534KD. A „B” hangcsatorna integrált áramköreinek sorszámozása 10-zel több az „A” csatornáéhoz képest.

Megjegyzés: a „B” hangcsatorna NYÁK-lap csatlakozópontjainak és egyéb alkatrészeinek sorszámozása is 10-zel nagyobb az „A” csatorna hasonló funkciójú alkatrészének sorszámához képest. A NYÁK-lap csatlakozópontjaihoz – amit az áramköri rajz nem tünteti fel – hidegítő kondenzátorok kapcsolódnak.

A nagyfeszültségű tranzisztoros erősítő

A nagyfeszültségű erősítő is két, teljesen azonos kivitelű „A” és „B” hangcsatornát tartalmaz, melyeket szintén ellenütemű moduláló jellel vezérlünk. A továbbiakban csak az „A” csatorna felépítését és működését ismertetem.

Az erősítő +1.250 V-os tápfeszültségről üzemel. Ez a feszültség a HN modulátor fokozat elektroncsöveinek 1.400 V-os segédrács-feszültségéből van leosztva. A +1.250 V-os tápfeszültség a Csf. jelű felső csatlakozón keresztül érkezik az egységhez.

A nagyfeszültségű erősítő két sorbakapcsolt, Dalander-kapcsolású T_{1A} és T_{2A} jelű tranzisztorpárból áll. Egy-egy tranzisztorpár Darlington-kapcsolású, annak érdekében, hogy az erősítő kis bázis-áram igényű (1 mA körüli) lehessen. A Darlington kapcsolású tranzisztorpár egy közös hűtőbordára van felszerelve, ily módon a szerelvény akár egy E-B-C kivezetéssel ellátott tranzisztornak is

tekinthető. (Megjegyzés: a tranzisztorpárok meghibásodása esetén a kiváltó tartalékok is ily módon lettek párbaválogatva, közös hűtőbordára felszerelten előkészítve).

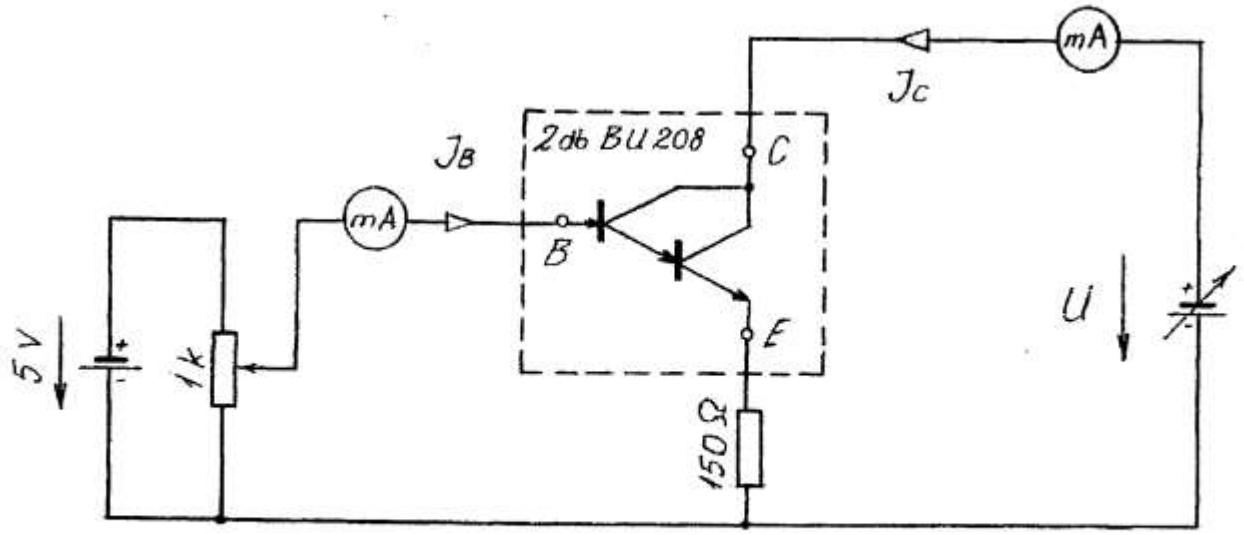
Lényeges, hogy a két sorbakapcsolt T_{1A} és T_{2A} tranzisztorpáron a mindenkori (moduláció nélküli és moduláció alatti) kollektor–emitter feszültség egyenlő arányban osztódjon meg. Ezt a megfelelően méretezett R_{3A} bázis-ellenállás, R_1-R_2 osztólánc és az **1NTT15** típusú termisztor komplexum együttesen biztosítja széles hőmérsékleti tartományban. A kollektor–emitter feszültség egyenlő arányú megoszlása szükséges feltétel mind az erősítő torzításának a minimalizálásához, mind a tranzisztorpárok élettartamának növeléséhez.

A **BU208** típusú nagyfeszültségű tranzisztorok – amelyekből a nagyfeszültségű erősítő felépült – egyes paramétereiben, például az IB_{max} és I_{Bmin} bázis-áramaikban (kisebb-nagyobb mértékben) eltérnek egymástól. Márpedig a kapcsolásban szereplő R_{3A}, illetve R_{3B} bázis-ellenállások és az R_1-R_2 feszültségosztó ellenállások értéke e paraméterektől függenek. Következésképpen: tranzisztorcsere esetén gondoskodni kell az említett ellenállások esetleges cseréjéről is!

Az ellenállások értékét az alábbi összefüggésekből lehet kiszámítani:

$R_3 = 575 / (I_{Bmax} - I_{Bmin})$
$R_1 = (I_{Bmax} * R_3) / \{I - (I_{Bmax} + I_{Bmin})\}$
$R_2 = (1.250 - I_{Bmax} * R_3) / I$

Ahol I értékét az $(I_{Bmax} + I_{Bmin})$ értékének 5-szörösére kell megválasztani. Az összefüggésekbe az áramokat mA-ben kell behelyettesíteni, az ellenállások értékét ekkor kOhmban kapjuk. A tranzisztorpárok I_{Bmax} és I_{Bmin} értékét méréssel határozzuk meg. A mérést 25° Celsius környezeti hőmérsékleten az alábbi ábra szerinti elrendezéssel kell elvégezni:



Az I_{Bmin} mérése: az U feszültséget 575 V-ra kell megválasztani (feszültségforrás lehet pl. az AJ egység). Az 1 kohmos potenciométerrel akkora I_B bázi-áramot kell beállítani, hogy az I_C kollektor-áram 2,5 mA legyen. Az ekkor mért I_B bázi-áram adja az I_{Bmin} értéket.

Az I_{Bmax} mérése: az U feszültséget 25 V-ra kell megválasztani. Az 1 kohmos potenciométerrel akkora I_B bázi-áramot kell beállítani, hogy az I_C kollektor-áram 42,5 mA legyen. Az ekkor mért I_B bázi-áram adja az I_{Bmax} értéket.

Az R_1, R_2, R_{3A} és R_{3B} ellenállások a kapcsolási rajzon látható darabszámú sorbakapcsolt, 2 W-os ellenállásokból kerültek kialakításra az esetleges cserék megkönnyítése érdekében.

A hangcsatornák „A” osztályú beállításban üzemelnek 22,5 mA nyugalmi kollektor-árammal. A kimenő moduláló jelet a kollektorköri 30 kohmos (100 W-os) munkaellenállásról nyerjük az 1 μF-os leválasztó kondenzátor után, az „A” csatornánál a Csk. jelű középső, míg a „B” hangcsatornánál a Csa. jelű alsó nagyfeszültségű csatlakozón. Csatornánként a kimenő moduláló jel maximális effektívértéke (a földhöz képest, és szinuszos jel esetén) 390 V.

A 22,5 mA-es nyugalmi kollektor-áramot az emitterköri P_8 (illetve P_9) 220 ohmos potenciométerrel lehet beállítani. Az emitterköri -15 V-os stabilizált tápfeszültség biztosítja, hogy a T_{1A} tranzisztorpár bázisa az emitterhez képest pozitívabb lehessen (a tranzisztorok N-P-N típusúak). A P_8 potenciométert és a vele sorbakapcsolt 270 ohmos ellenállást 2.200 μF-os kondenzátorral hidaljuk át az erősítő tervezett erősítésének a biztosítása érdekében. (Kondenzátor nélkül ezek az ellenállások negatív visszacsatolást okoznának). Az emitterköri 150 ohmos ellenállás negatív visszacsatolást jelent a moduláló jel számára, ami fokozza az erősítő stabilitását, és csökkenti torzítását. A P_8 potenciométer és az összegző áramköri P_6 helipot összehangolt beállításával elérhető, hogy moduláció nélkül a T_{1A} tranzisztorpár bázis-feszültsége a földhöz képest 0 V legyen. Ez a beállítás lényeges!

Egy-egy tranzisztorpár disszipációja csekély (7 W), ezért a hűtőbordák forszírozott hűtése szükségtelen. A 30 kohmos munkaellenállások is kisugározzák a bennük disszipálódó hőt.

A HE egység előlapján két mérőműszer (az M_1 és az M_2) található. Mindkét műszer 4-4 helyen méri a feszültséget. A mérési hely a K_3 kapcsolóval választható meg.

Az M_1 műszer váltófeszültségeket mér, éspedig:

1-es állásban: az előerősítő „A” csatorna kimenőfeszültségét
2-es állásban: az előerősítő „B” csatorna kimenőfeszültségét
3-as állásban: az összegző „A” csatorna kimenőfeszültségét
4-es állásban: az összegző „B” csatorna kimenőfeszültségét.

Az M_2 műszer egyenfeszültségeket mér, éspedig:

1-es állásban: a HF egység J_3 jelfogójának meghúzó feszültségét
2-es állásban: a nagyfeszültségű erősítő +1.250 V-os tápfeszültségét
3-as állásban: a nagyfesz. erősítő „A” csatornájának kollektor-feszültségét
4-es állásban: a nagyfesz. erősítő „B” csatornájának kollektor-feszültségét.

Az M_1 egyenáramú műszer részére az egyes váltófeszültségeket a Graetz-kapcsolású D_{8-11} diódák egyenirányítják. A műszer effektív értékre van kalibrálva. A műszer hitelesítése a P_{10} potenciométerrel történik. A műszer áramkörei egy NYÁK-lapon helyezkednek el.

Az M_2 egyenáramú műszer hitelesítését a P_{18} potenciométer végzi. A műszerhez tartozó feszültségosztók egy másik NYÁK-lapon találhatók azokkal a feszültségosztókkal együtt, amelyek – 0,2 μF-os leválasztó-kondenzátorokon keresztül – a kezelőasztali lehallgató egységhez szolgáltatnak jelet.

Az M_2 műszer 1. állásához tartozó feszültségosztó a +1.250 V-os tápfeszültséget +15 V-ra osztja le, ami a Cs1. csatlakozó a 7. érintkezőjén keresztül eljut a HF egységhez. Ezzel a +15 V-tal vezéreljük a HF egységben elhelyezett késleltetett meghúzású J_3 jelfogót, amelynek feladata: a HE egységben a +1.250 V-os tápfeszültség bekapcsolásakor keletkező feszültségugrás a két 1 μF-os leválasztó-kondenzátoron keresztül a HF egység V_1 és V_2 elektroncsöveinek vezérlőrácsára kerül, hatására az elektroncsövekben túláram keletkezik, amit az elektroncsövek katódkörében elhelyezett túláram védelmi jelfogók érzékelnek, és megbénítják a rádióadó-berendezés üzembe helyezését. A túláram elkerülése érdekében az elektroncsöveket a feszültségugrás lecsengéséig (kb. 3 másodpercig) működésmentessé kell tenni. A J_3 jelfogó közvetve ezt végzi el az elektroncsövek segédrács-feszültségének leválasztásával és a segédrács-katód rövidre zárásával.

A Cs1. csatlakozó egyes érintkezőihez L-C zavarszűrő kapcsolódik. A HE egységben elhelyezett 4 db NYÁK-lap és az 1 db nagyfeszültségű erősítőszerelvény néhány vezeték leforrasztása és csavar oldása után szükség esetén könnyen és rövid időn belül kiszerelhető, illetve lecserélhető tartalék szerelvényre.

A HJ egység műszaki leírása

A HJ egység egy stabilizált áramforrást tartalmaz. Az áramforrás a földhöz képest plusz-mínusz 15 V-os tápfeszültséget biztosít a HE egység részére. Az áramforrás 220 V-os váltófeszültségről üzemel, ami a rádióadó-berendezés elektroncsöveinek katódfűtés bekapcsolásával egyidejűleg jelenik meg. Az áramforrás zárt, alkatrészei hozzáférhetetlenek. Ha az áramforrás meghibásodik, a HJ egységet ki kell húzni a vázcsatlakozóból, és helyére az úgynevezett HJ-dugaszt kell csatlakoztatni. Ebben az esetben a HE egység a HG egységből kap plusz-mínusz 15 V-os tápfeszültséget.

DCC üzemmódban a stúdióból érkező moduláló jel nagyságától függően – mint már többször említettem: az energia-megtakarítás érdekében – változik a tirisztoros egyenirányító által előállított egyenáramú feszültség a 6.000 –12.000 V közötti tartományban. Ez az „ugráló" egyenfeszültség lesz a modulátor (és a modulált fokozat) anódfeszültsége. A modulátor fokozatnak azonban a változó anódfeszültség ellenére mindig „B" munkaponti beállításban kell maradnia. Ez a feltétel az ugráló anódfeszültség miatt az eredetileg kialakított fix vezérlőrács-előfeszültséggel nem biztosítható, következésképpen a rádióadó-berendezésben erős torzítás keletkezik. A torzítás megakadályozása érdekében a fix vezérlőrács-előfeszültséget is a moduláló jel dinamikája szerint változtatni kell, oly módon, hogy a modulátor elektroncsöveinek munkaponti beállítása az anód-feszültség „ugrálása" ellenére mindig „B" osztályú maradhasson! Ez megoldható, amennyiben a meglévő fix vezérlőrács-előfeszültséget előállító áramforrás-sal sorba kapcsolunk egy dinamikusan, a moduláló jellel arányosan változó feszültségű Ei2 jelű vezérelt egyenirányítót, mint <u>kiegészítő áramforrást</u>. Ezt a kiegészítő áramforrást is a HJ egység tartalmazza.

A modulátor elektroncsövei **CQS 50-1** típusúak. Gyári karakterisztikáiból kiszerkeszthető az elektroncső „anód-vezérlőrács" közti **áthatás** értéke, ami a kiegészítő áramforrás tervezéséhez a kiinduló adat volt. Ennek alapján a kiegészítő áramforrást a Rádióállomás munkatársai megtervezték, és elkészítették. Áramköreit a HJ egység rajza tünteti fel.

A kiegészítő áramforrás üzembe helyezésének a sorrendje:

- Az 5.-6. pontok közti U_{stab} stabilizált feszültséget a P_1 helipottal 75 V-ra kell beállítani.
- A P_2 helipotot az órajárással ellentétesen véghelyzetbe kell forgatni.
- A rádióadó-berendezést DCC üzemmódban 20%-ra ki kell modulálni, majd a P_3 helipottal a rádióadó-berendezés torzítását minimalizálni kell. Ekkor a 9.-10. kimenő-kapcsokon kb. -10 V-ot lehet mérni. Ezt követően:

- A rádióadó-berendezést DCC üzemmódban 90%-ra kell kimodulálni, majd a P_2 helipottal a rádióadó-berendezés torzítását ismét minimalizálni kell. A 9.-10. kimenő-kapcsokon ekkor kb. -35 V-ot lehet mérni.

Az előbbi két modulációs szint közti tartományban a torzítás értékének jobbnak kell lennie 4%-nál. Ha rosszabb, a fenti beállítást meg kell ismételni. A kiegészítő áramforrás áramköreit egy **föld-független** plusz-mínusz 15 V-os stabilizált feszültségforrás működteti. Az U_{stab} feszültséget az 1.-2. kapcsokhoz csatlakozó transzformátor szekunder oldali $U'be_2$ =70 V-os váltófeszültsége biztosítja, ami a rádióadó-berendezés elektroncsöveinek katódfűtés bekapcsolásával egyidejűleg jelenik meg. Megjegyzés: a kiegészítő áramforrás meghibásodásakor az **$Á_h$** jelű dugót át kell helyezni az **R_z** jelű helyre, és az adás zavartalanul folytatódhat.

Zárszó

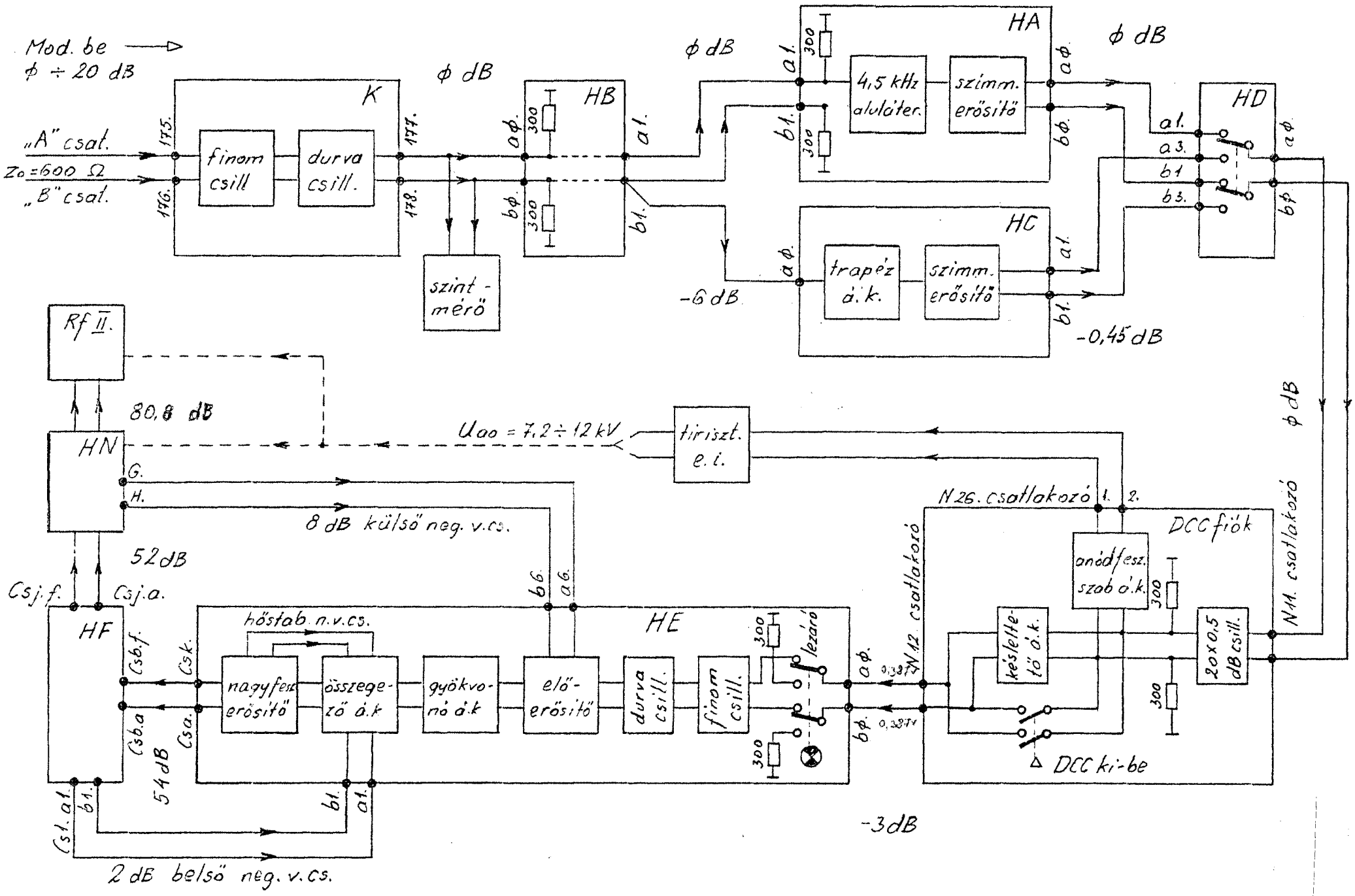
A rádiózás mai művelői – legyenek bár szakmabeliek vagy csupán a téma iránt érdeklődők – szerencsésnek vallhatják magukat. Szerencsésnek, hiszen az elődök, a korábbi évszázadok gondolkodói és kutatói rendre megalkották az elektromosságtannak azokat a fogalmait és mennyiségeit, s feltárták a köztük fennálló törvényeket, amelyek segítségével már a XIX. század végén el lehetett jutni az **elektromágneses hullám** létezésének gondolatáig, annak kísérleti előállításáig, a rádiózás alapvető feltételének megteremtéséig. Mindezekhez természetesen zsenialitás kellett.

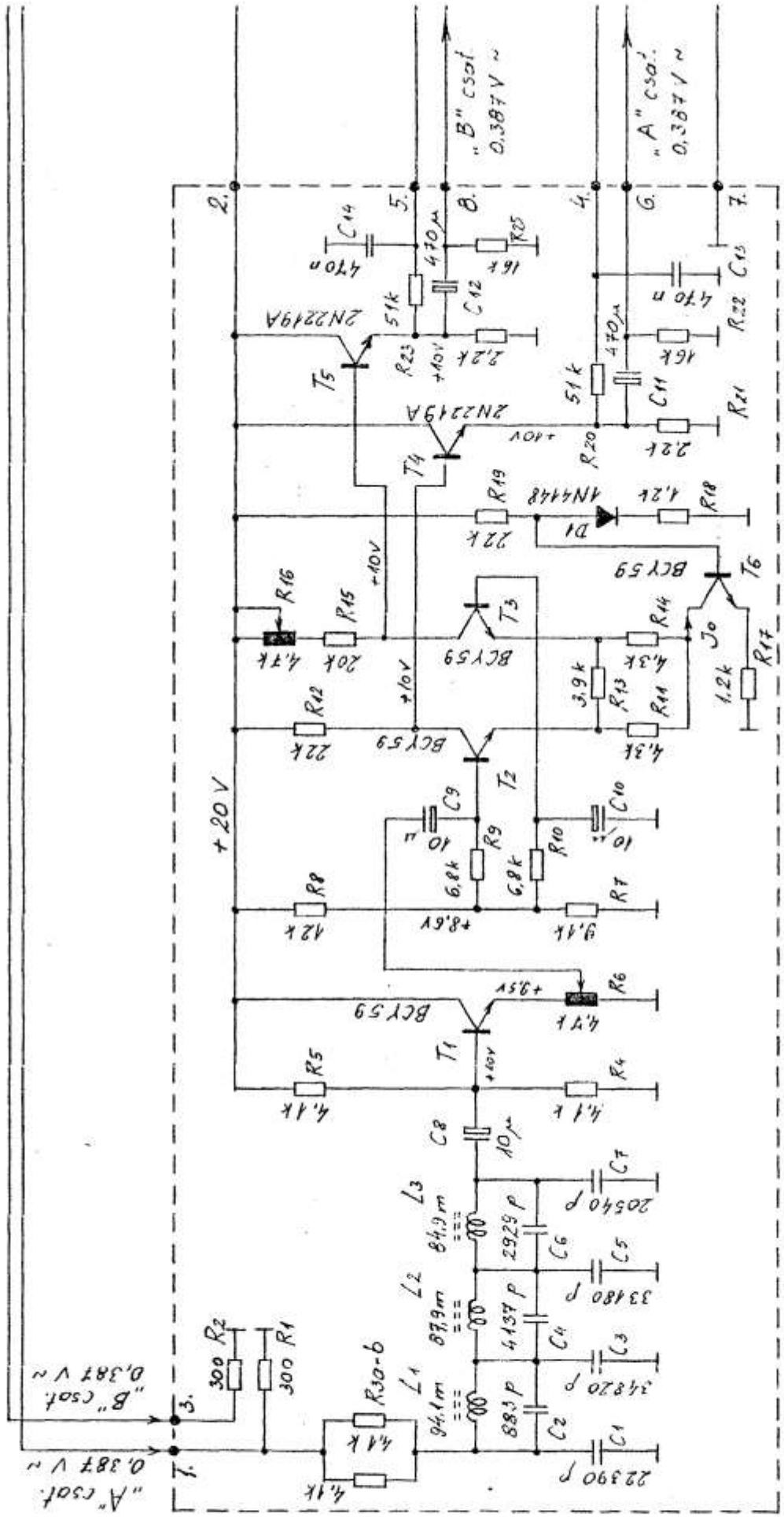
Az ezt követő időszak lángelméinek már „csak” az elektromágneses hullámok alkalmazásán, az emberiség részére történő gyakorlati felhasználásán kellett elgondolkodniuk, s leleményességükkel újabb és újabb elmés technikai eszközöket – köztük a **rádiót** – feltalálniuk, fejleszteniük és korszerűsíteniük. Az utókor rádiósait azonban lelkesítse a tudat: ez sem nélkülözheti az emberi akaratot, a gondolkodást, az alkotóképességet. Ez is zseniket kíván.

Írásommal a Jászberény Rádióállomás munkatársainak, kiemelten a rádióadóberendezések üzemeltetőinek és az antennák karbantartóinak lelkiismeretességét, a rádiózás iránti elkötelezettségét – mint két további nélkülözhetetlen jellemet – kívántam az utókor részére örökül hagyni.

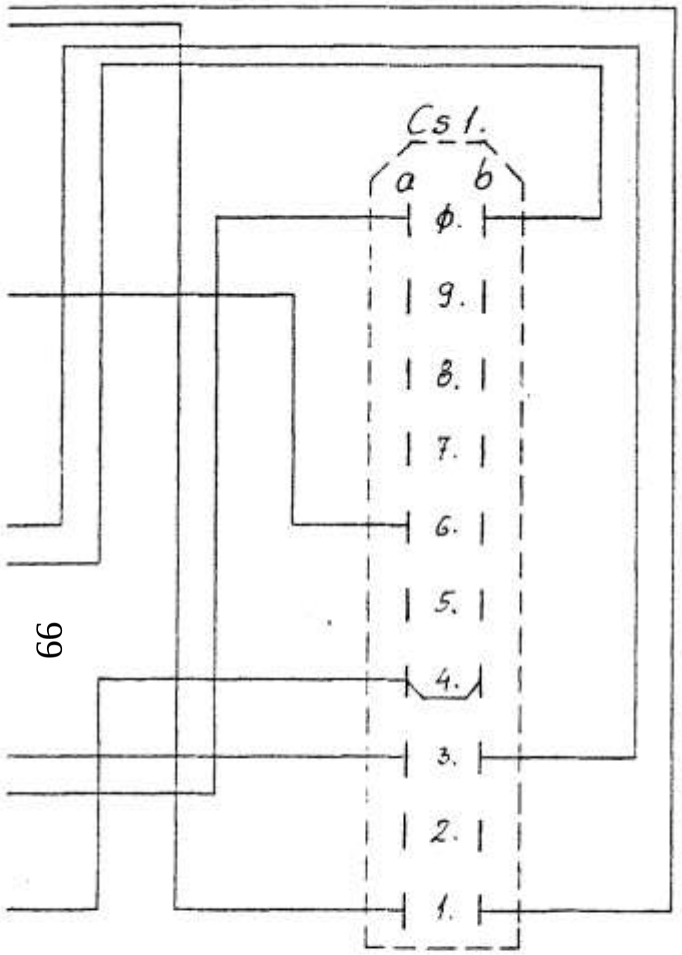
Utóirat

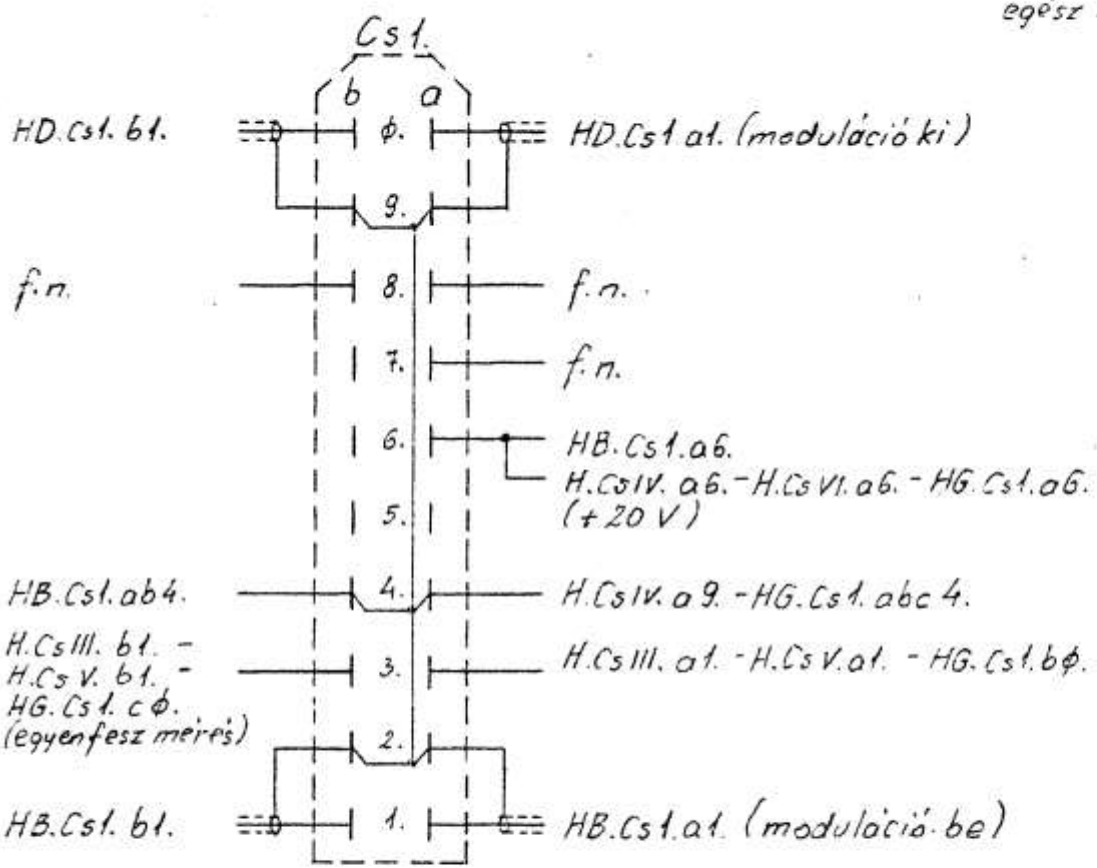
Az ismertetett áramkörök terveit és műszaki leírását Halász Sándor rádióállomás-vezető készítette, a kivitelezést a Jászerény Rádióállomás műszaki szakemberei végezték Hegyi László üzemmérnök irányításával 1987–88-ban.


Mod. be
ϕ ÷ 20 dB
„A" csat.
Z₀=600 Ω
„B" csat.
K
finom csill
durva csill.
szint-mérő
HB
HA
4,5 kHz aluláter.
szimm. erősítő
HC
trapéz á.k.
HD
ϕ dB
-6 dB
-0,45 dB
Rf II.
80,8 dB
HN
Uao = 7,2 ÷ 12 kV
tiriszt. e.i.
8 dB külső neg. v.cs.
52 dB
Csj.f.
Csj.a.
HF
hőstab. n.v.cs.
nagyfesz erősítő
összegező á.k
gyökvonó á.k
elő-erősítő
durva csill.
finom csill.
HE
lezáró
N.12. csatlakozó
N.26. csatlakozó
DCC fiók
anódfesz. szab á.k.
késleltető á.k.
2ox0,5 dB csill.
N.14. csatlakozó
DCC ki-be
54 dB
-3 dB
2 dB belső neg. v.cs.


„B" csat.
0,387 V ~
„A" csat.
0,387 V ~
+20 V
BCY59
2N2219A
1N4148
+10V
+8,6V
+9,5V
R30-b
L1
L2
L3
94,1m
87,9m
84,9m
883 P
4137 P
2929 P
22390 P
33480 P
34820 P
20540 P
300 R1
300 R2
4,4k
4,1k
6,8k
9,4k
42k
22k
20k
4,7k
3,9k
4,3k
1,2k
51k
16k
2,2k
1,2k
470 n
470 μ
10 μ
10 n

HA - 1.



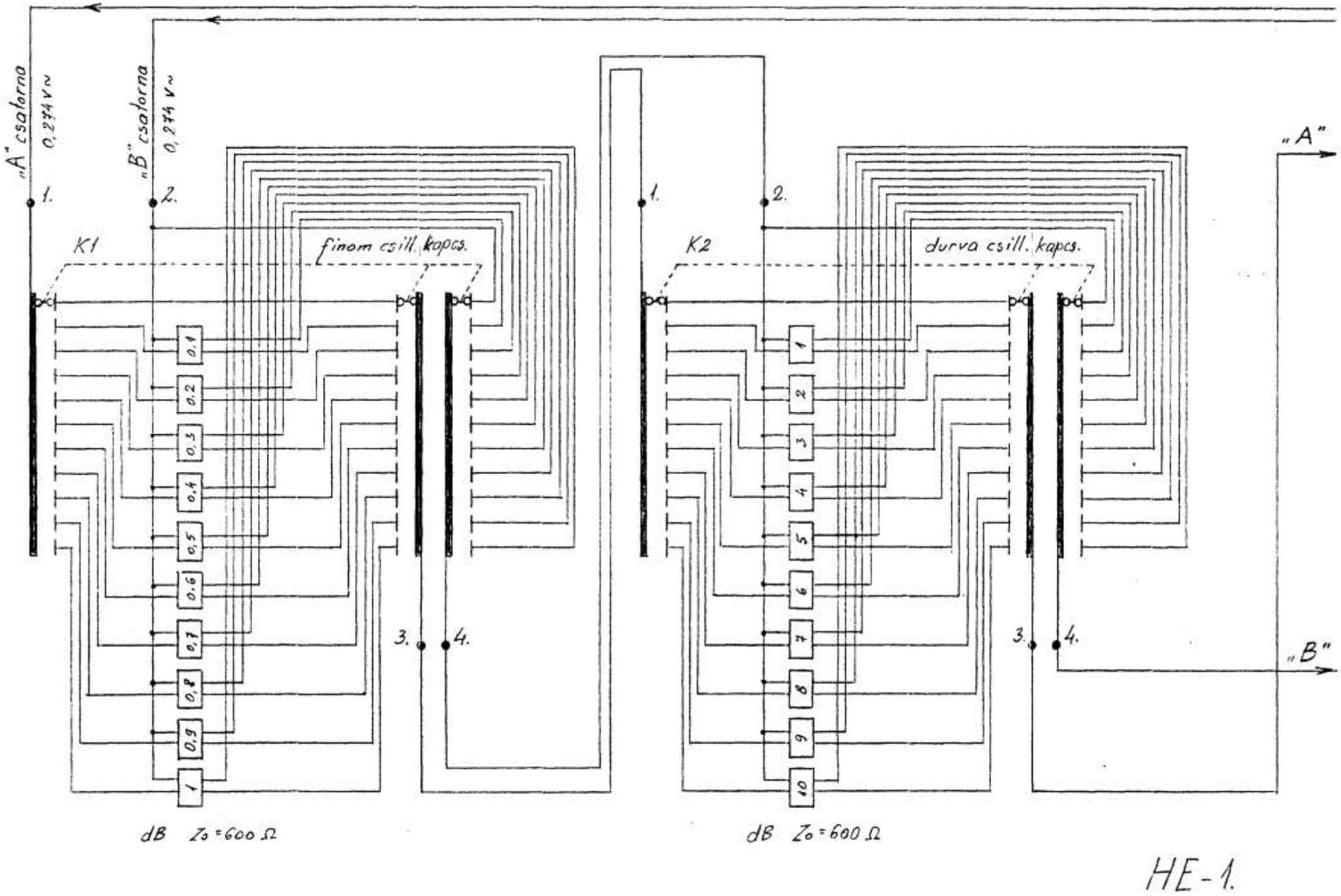


Rövidrezáró dugó a HA, HB, HD fiókok, vagy az egész keret kiváltásához.

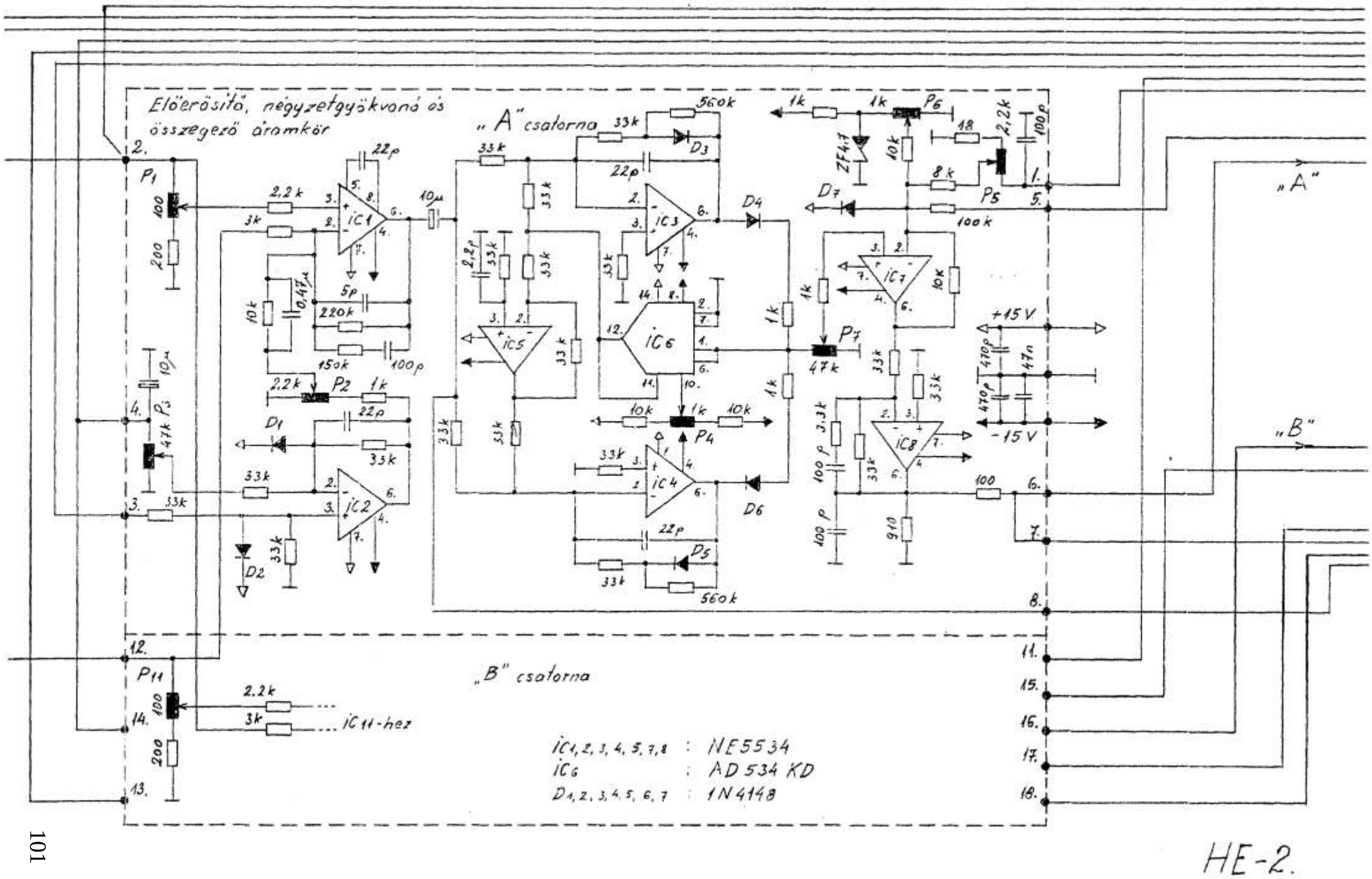
Jelmagyarázat: f.n. = funkció nélküli vezeték (megszüntethető)

HA-2.

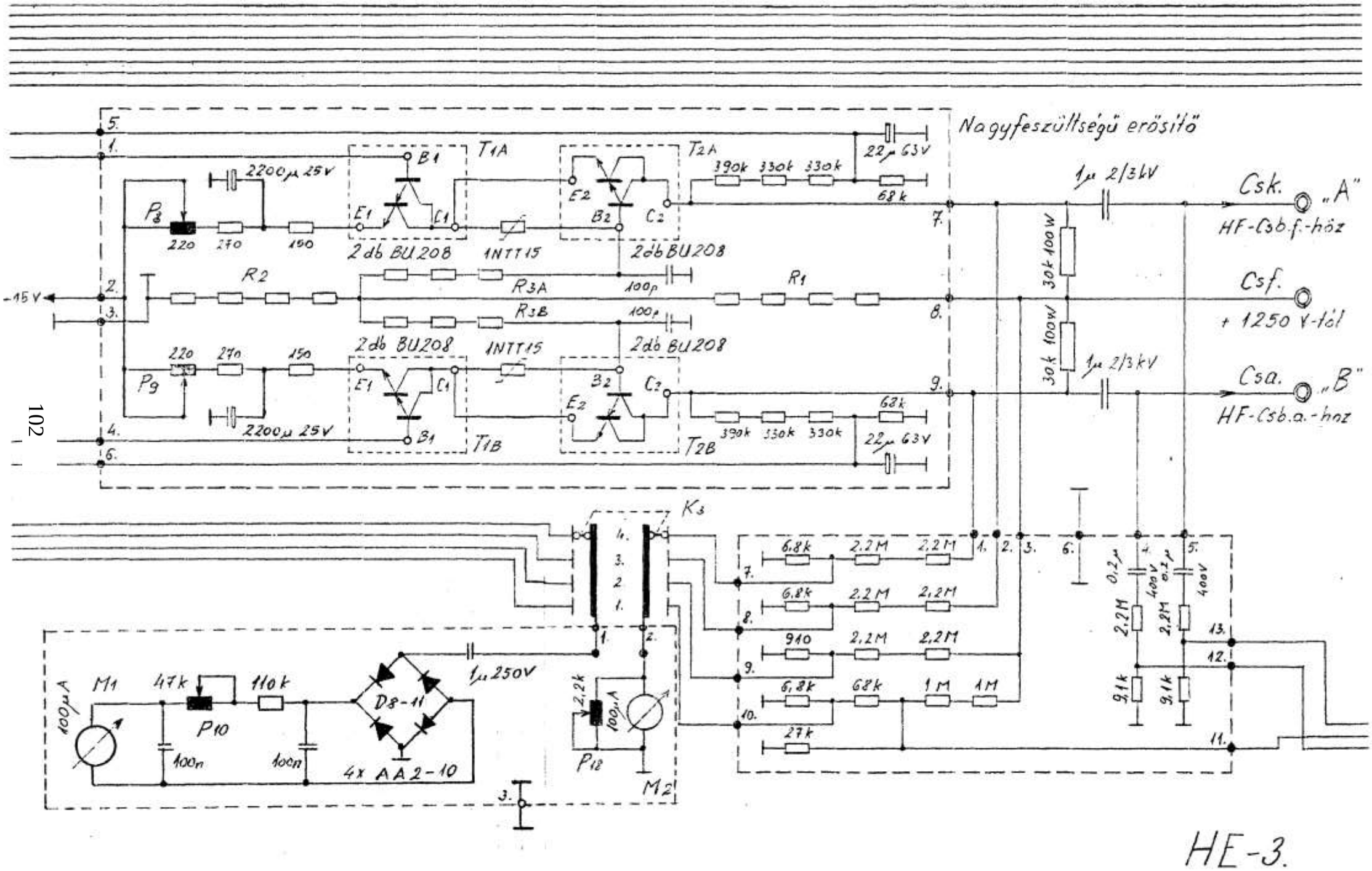
4,5 kHz-es aluláteresztő szűrő és szimmetrizáló egység T. és r.: Halász Sándor	HA-2.

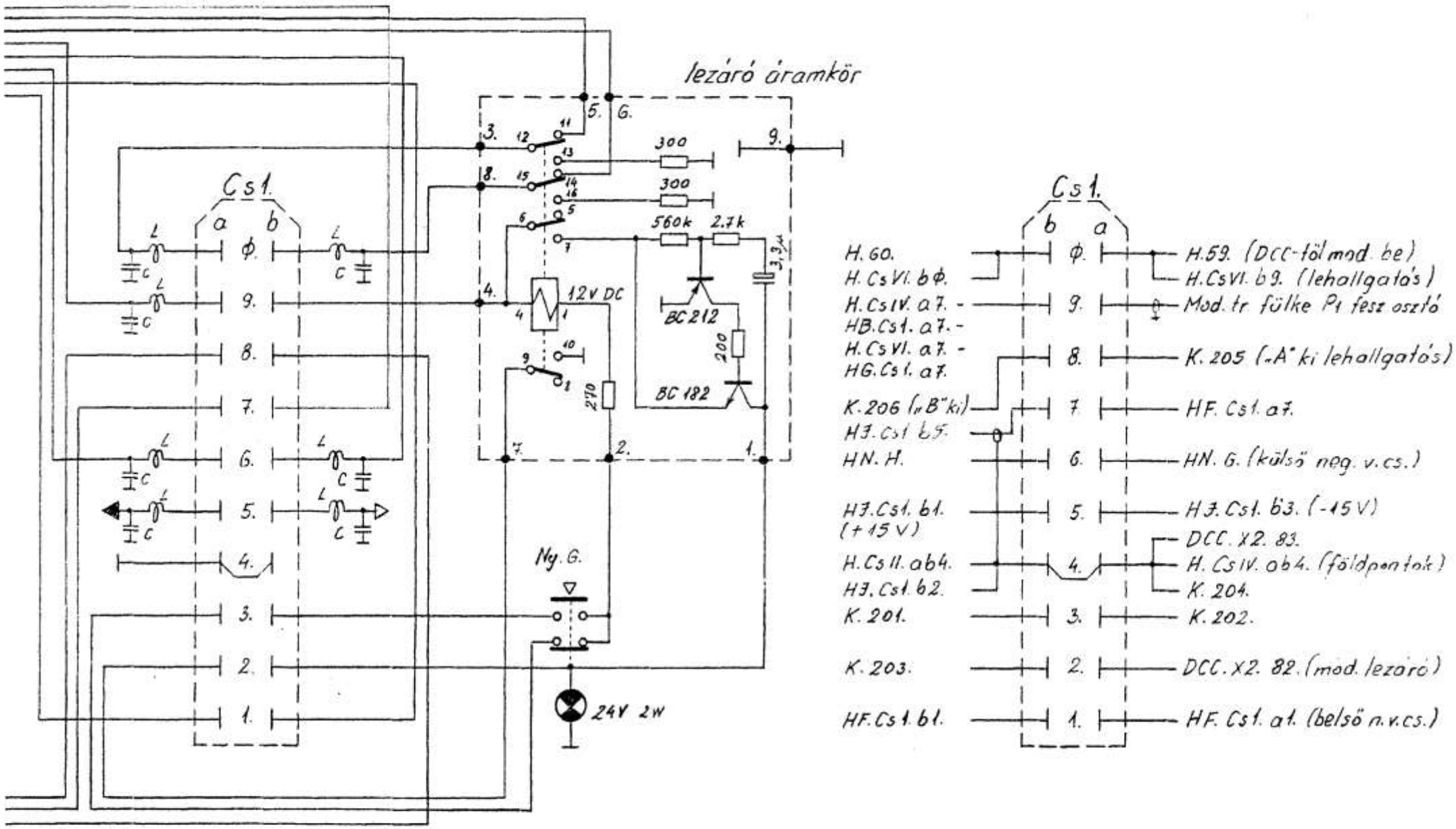

„A" csatorna
0,274 V~
„B" csatorna
0,274 V~
1.
2.
K1
finom csill. kapcs.
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
3.
4.
dB Z₀ = 600 Ω
1.
2.
K2
durva csill. kapcs.
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
3.
4.
dB Z₀ = 600 Ω
„A"
„B"

HE-1.


Előerősítő, négyzetgyökvonó és összegező áramkör
„A" csatorna
„B" csatorna
IC1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 : NE5534
IC6 : AD 534 KD
D1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 : 1N4148
+15 V
-15 V
„A"
„B"
IC11-hez

HE-2.

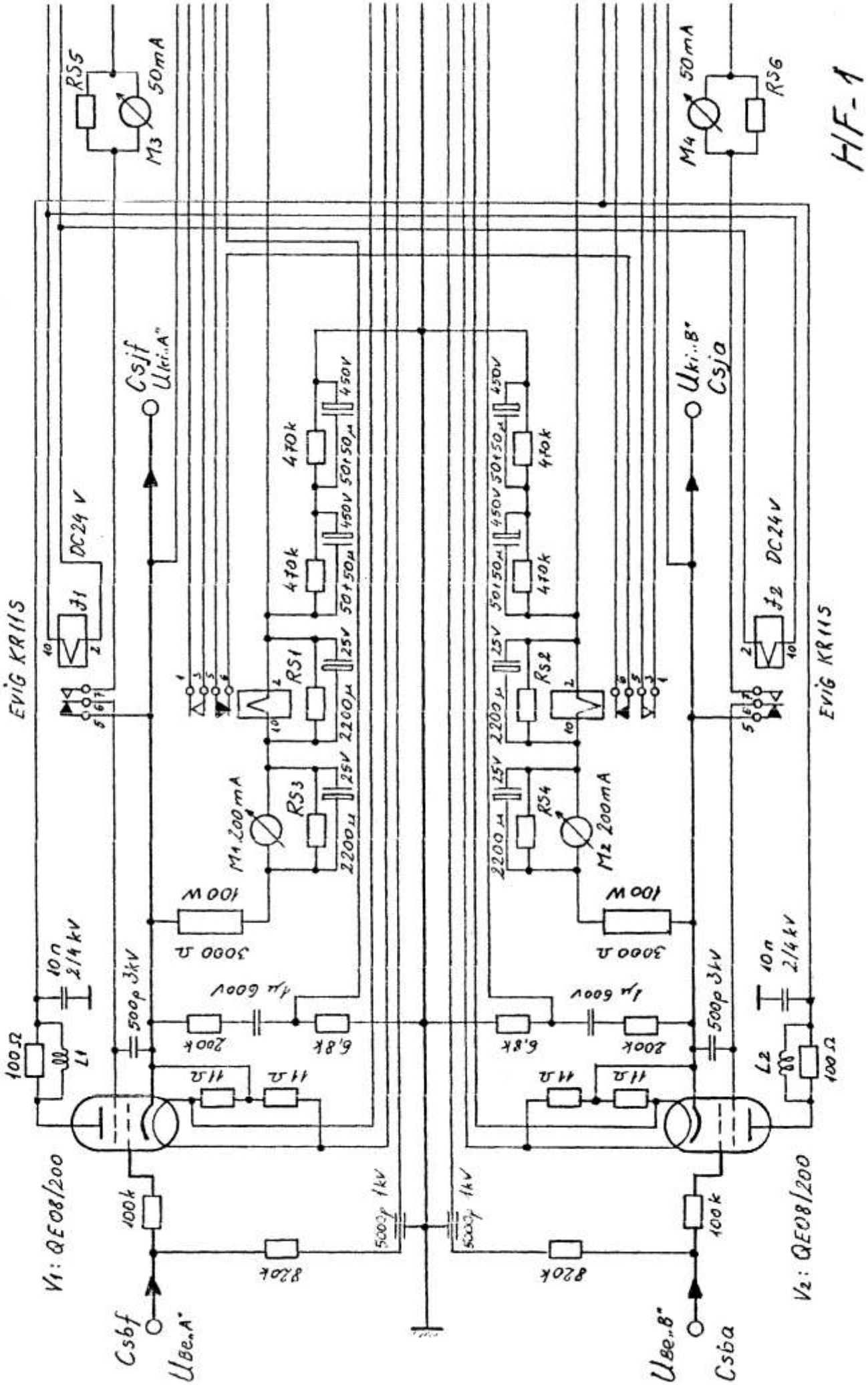

Nagyfeszültségű erösítő
T1A
T2A
T1B
T2B
2db BU208
INTT15
2200μ 25V
22μ 63V
1μ 2/3kV
Csk.
„A"
HF-Csb.f.-höz
Csf.
+1250 V-tól
Csa.
„B"
HF-Csb.a.-hoz
-15 V
R1
R2
R3A
R3B
P8
P9
P10
P12
K3
M1
M2
D8-11
4x AA2-10
1μ 250V
100μA
HE-3.

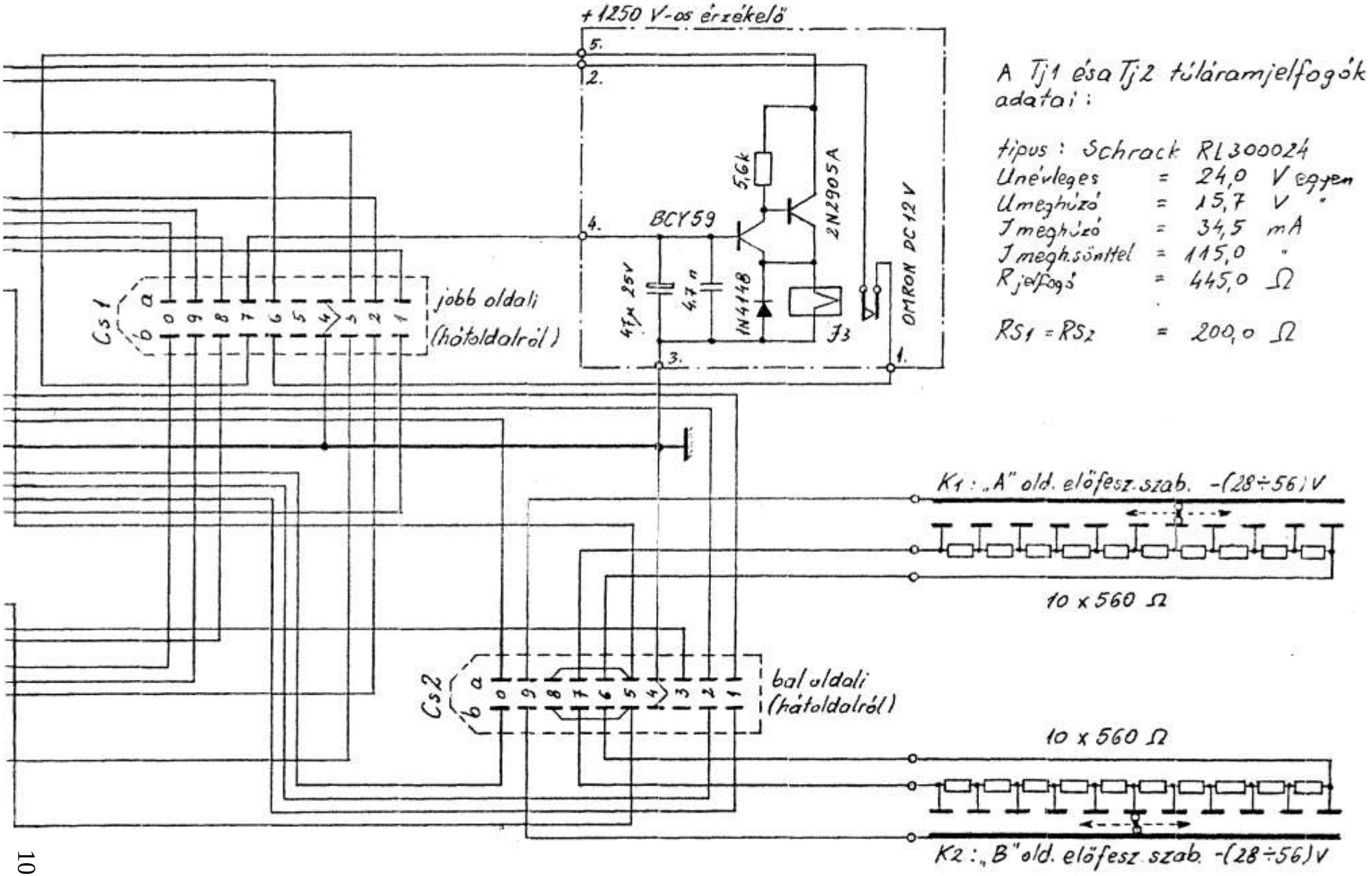


HE-4.

Hangfrekvenciás előerősítő, négyzetgyökvonó áramkör, összegező áramkör és nagyfeszültségű erősítő
T. és r.: Holász Sándor

HE -4.


HF-1
RS5
50mA
M3
M4
50mA
RS6
Csjf
Uki„A"
Uki„B"
Csja
DC24 V
DC24 V
J1
J2
EVIG KR115
EVIG KR115
470k
470k
470k
470k
450V
50+50µ
25V
2200µ
RS1
RS2
RS3
RS4
M1 200mA
M2 200mA
100W
100W
3000 Ω
3000 Ω
10n 2/4kV
10n 2/4kV
500p 3kV
500p 3kV
1µ 600V
1µ 600V
200k
6,8k
6,8k
200k
11Ω
11Ω
11Ω
11Ω
100Ω
L1
L2
100Ω
V1: QE08/200
V2: QE08/200
100k
100k
500p 1kV
500p 1kV
820k
820k
Csbf
Ube„A"
Ube„B"
Csba



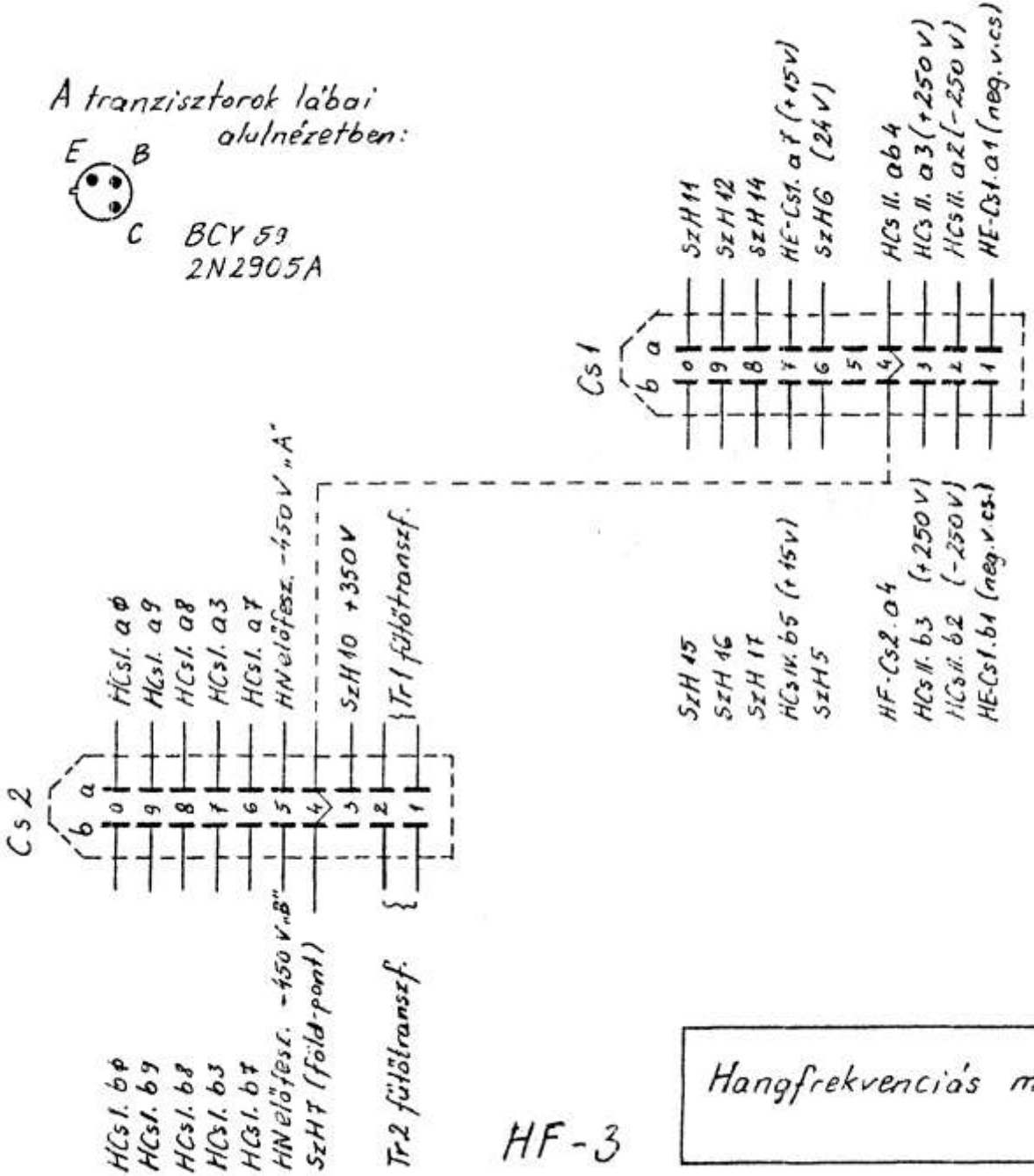
A Tj1 és a Tj2 túláramjelfogók adatai:

típus: Schrack RL300024			
Unévleges	=	24,0	V egyen
Umeghúzó	=	15,7	V "
Jmeghúzó	=	34,5	mA
Jmegh.sönttel	=	115,0	"
Rjelfogó	=	445,0	Ω
RS1 = RS2	=	200,0	Ω

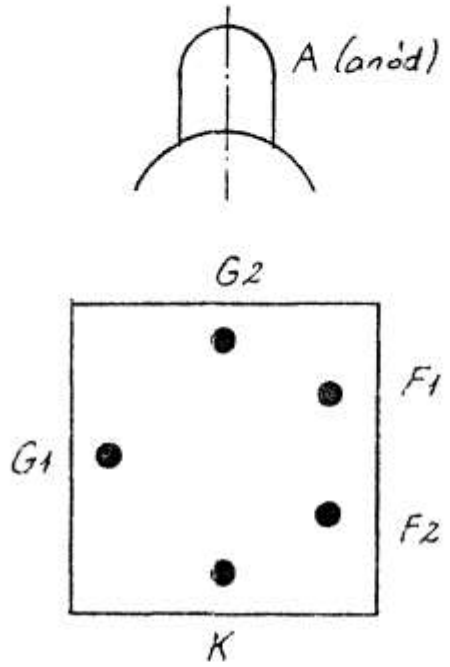
HF-2

A tranzisztorok lábai alulnézetben:

BCY 59
2N2905A



A QE08/200 tip. adócső foglalata alulnézetben, és az adócső jellemző adatai:

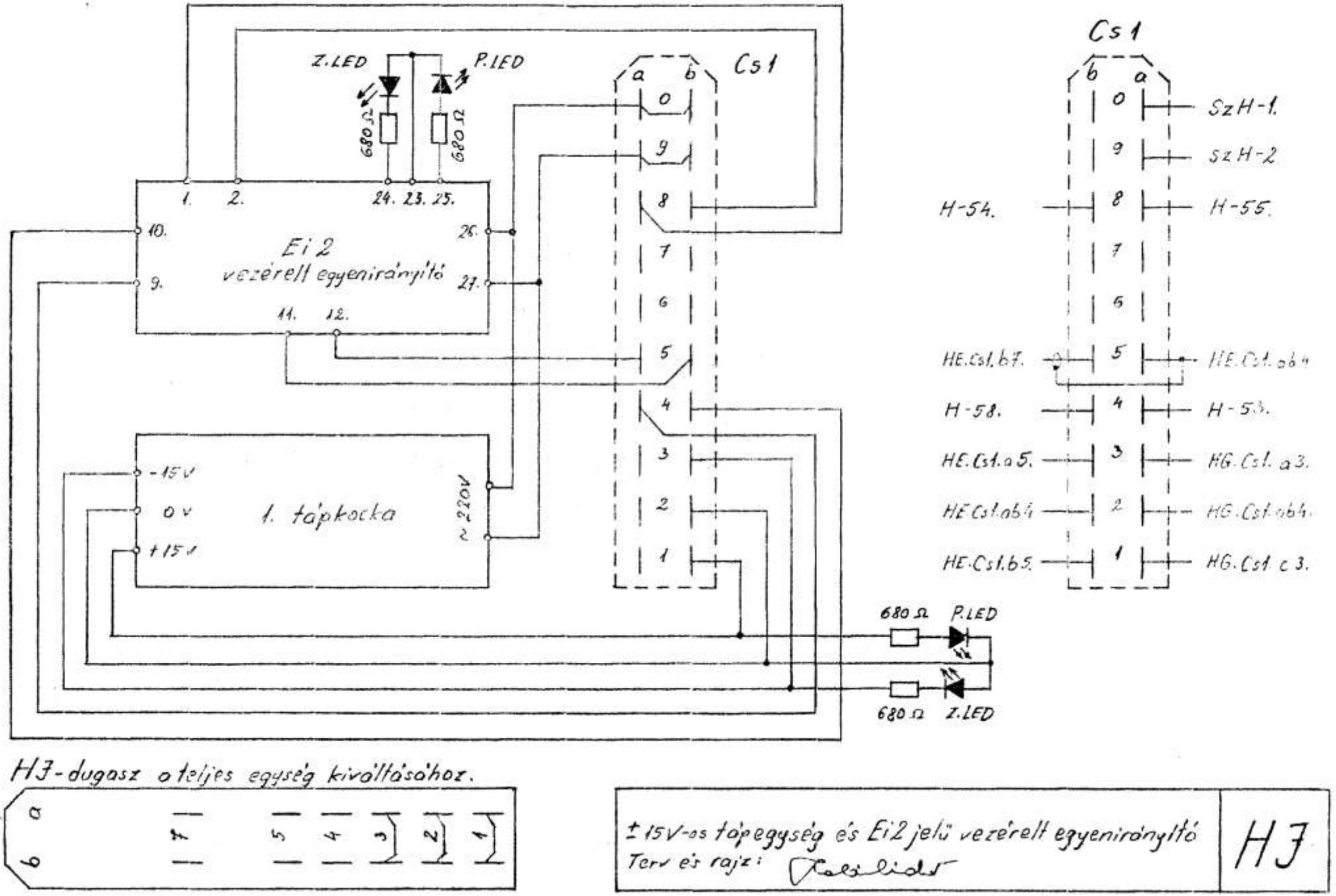


U_F = 6,3 V
J_F = 3,9 A
U_{g2} = 300 V

U_{amax} = 800 V
J_{amax} = 300 mA
P_{amax} = 67 W

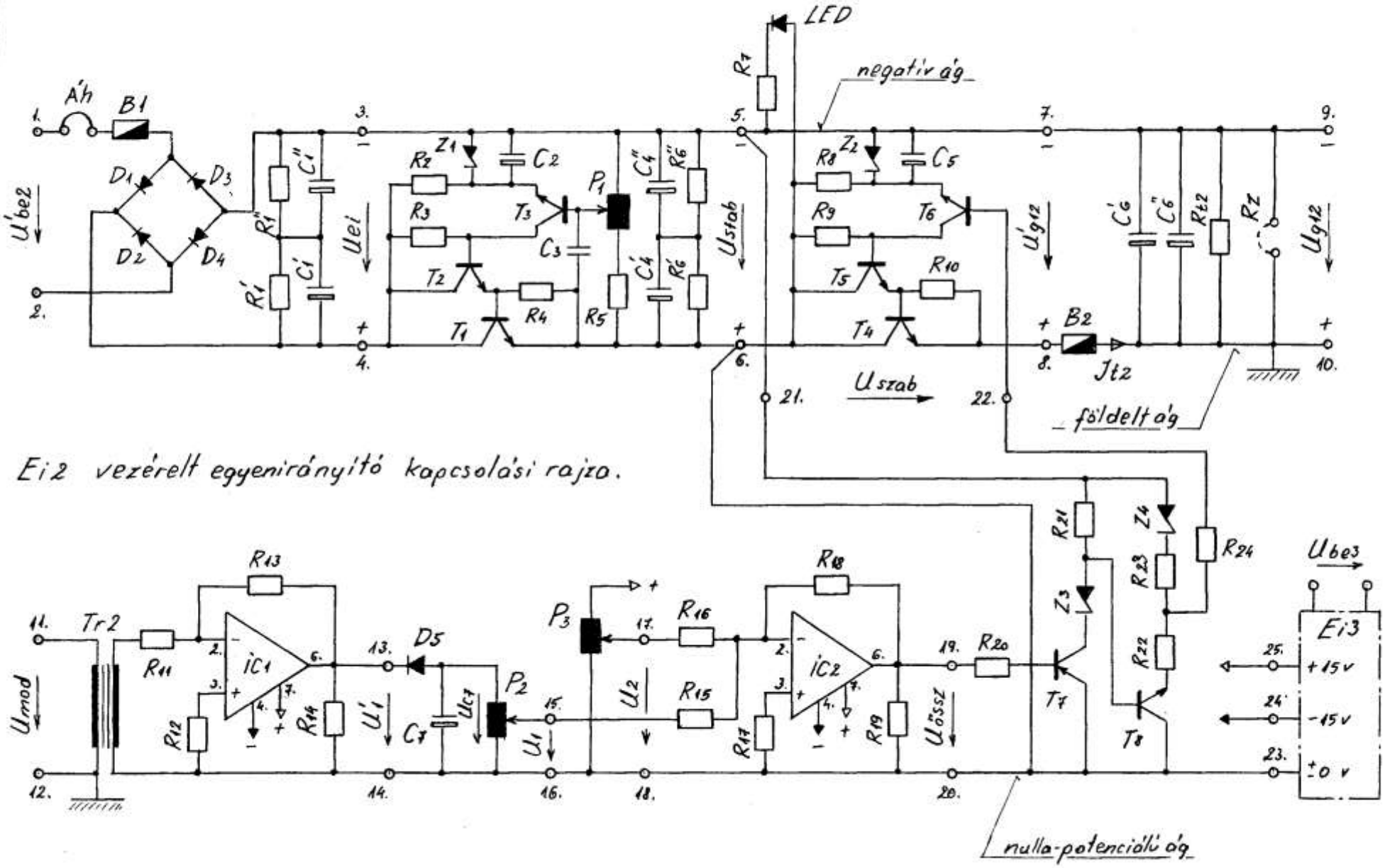
HF-3

Hangfrekvenciás meghajtó fokozat Halász Sándor	HF -3.



H3-dugasz a teljes egység kiváltásához.

±15V-os tápegység és Ei2 jelű vezérelt egyenirányító Terv és rajz: [illegible]	H3


LED
negatív ág
Áh
B1
B2
Jt2
Ei2 vezérelt egyenirányító kapcsolási rajza.
Uszab
Ustab
Uei
U'be2
U'g12
Ug12
Ubes
Ubes
Umod
Tr2
IC1
IC2
D5
P1
P2
P3
Ei3
+15 V
-15 V
±0 V
földelt ág
nulla-potenciálú ág

HJ egység cikklistája

Ellenállások:

R'_1	2o	kOhm	1	W
R''_1	2o	"	1	W
R_2	33	"	2	W
R_3	91	"	o,25	W
R_4	18o	Ohm	1	W
R_5	51	kOhm	o,5	W
R'_6 R'_{25}	68	"	o,5	W
R''_6 R''_{25}	68	"	o,5	W
R_7	27	"	2	W
R_8	27	"	2	W
R_9	91	"	o,25	W
R_{1o}	18o	Ohm	1	W
R_{t2}	69	"	1oo	W
R_{11}	15	kOhm	o,25	W
R_{12}	33	"	o,25	W
R_{13}	51o	"	o,25	W
R_{14}	5,1	"	o,25	W
R_{15}	33	"	o,25	W
R_{16}	33	"	o,25	W
R_{17}	33	"	o,25	W
R_{18}	33	"	o,25	W
R_{19}	5,1	"	o,25	W
R_{2o}	22o	"	o,25	W
R_{21}	1o	"	o,5	W
R_{22}	36	"	o,5	W
R_{23}	24	"	o,5	W
R_{24}	51o	"	o,5	W

Helipotok:

P_1	1o	kOhm	o,5	W
P_2	1o	"	o,5	W
P_3	1o	"	o,5	W

Integrál áramkörök:

IC_1	NE 5534
IC_2	NE 5534

Kondenzátorok:

C_1'	2200 mikroF	100 V	elkó
C_1''	2200 "	100 V	"
C_2	470 "	25 V	"
C_3	1 "	250 V	csillám
C_4'	220 "	100 V	elkó
C_4''	220 "	100 V	"
C_5	470 "	25 V	"
C_6'	220 "	100 V	"
C_6''	220 "	100 V	"
C_7	47 "	25 V	"

Diódák:

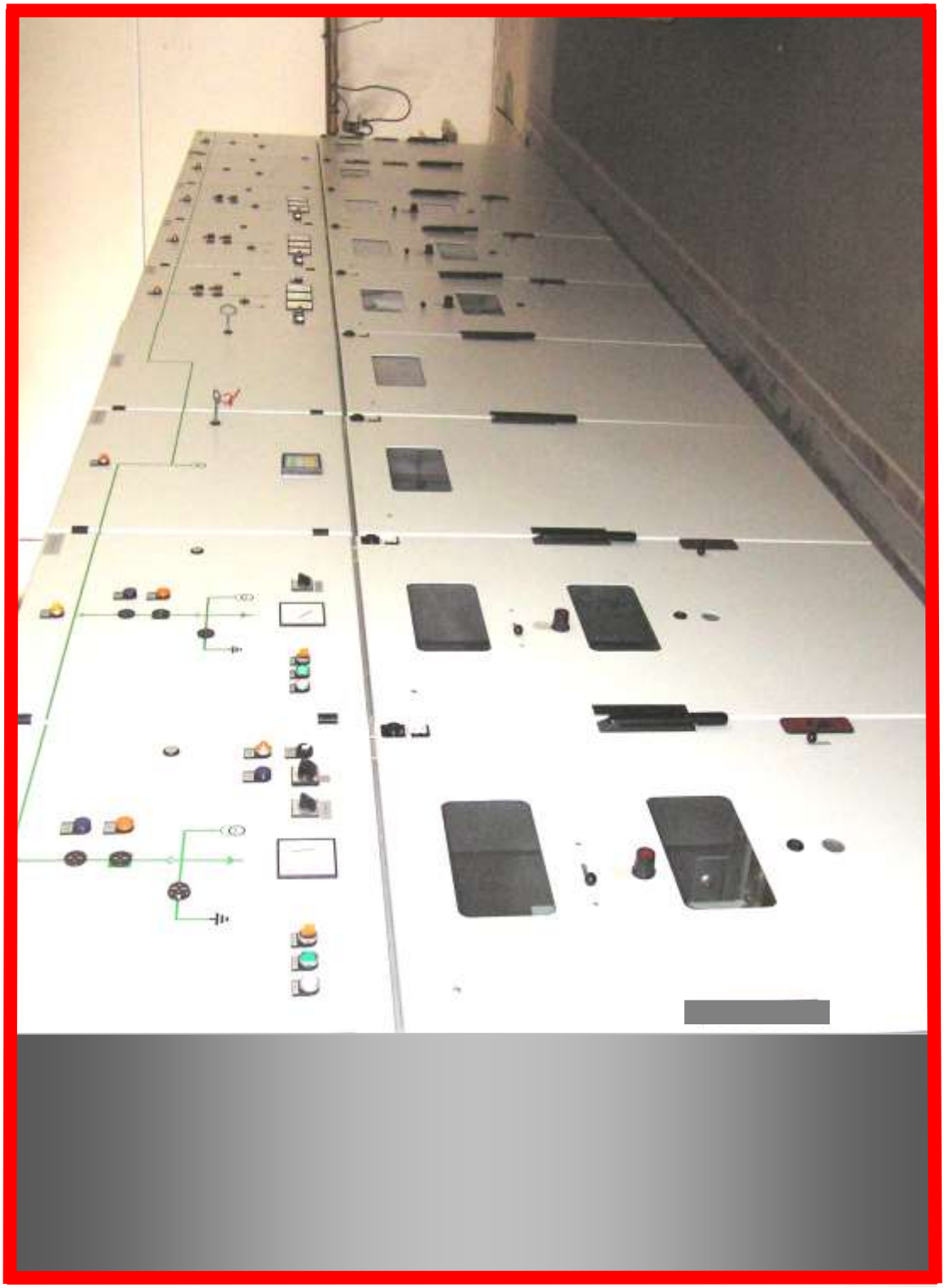
D_1	DS 0,9-0,4
D_2	DS 0,9-0,4
D_3	DS 0,9-0,4
D_4	DS 0,9-0,4
D_5	AA 119
Z_1	ZY 6,2
Z_2	ZY 5,6
Z_3' Z_3''	ZY 33
Z_4	ZY 5,6

Tranzisztorok:

T_1	2N4240	hűtőbordán
T_2	2N4240	
T_3	BF259	
T_4	2N4240	hűtőbordán
T_5	2N4240	
T_6	BF259	
T_7	2N2905A	
T_8	BF259	

Egyéb alkatrészek:

B_1	2,5 A 20x5 Wickmann biztosíték
B_2	2,5 A 20x5 " "
Áh	áthidaló hüvely dugóval
Rz	rövidrezáró hüvely
Tr_2	1:1 áttételű 1 W-os hangfr.-s transzformátor 2 cm^2



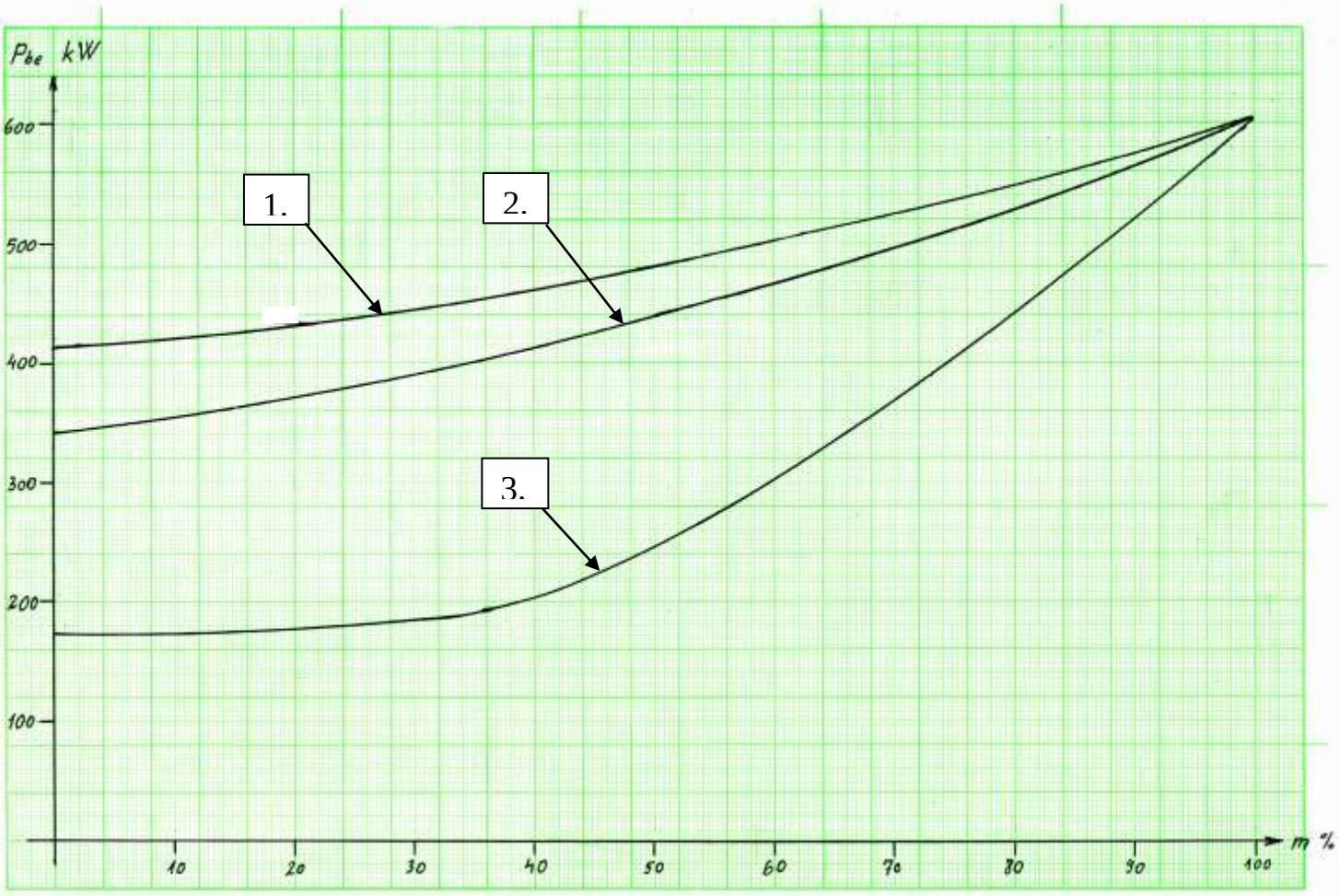
Az 1997-ben korszerűsített 3x20 kV-os erősáramú berendezés fogadó- és elosztó-szekrényei a rádióadó-berendezések és az egyéb fogyasztók 3x30 kV/3x400 V/230 V-os transzformátorainak villamos energiaellátásához

A 3x400 V/230 V-os erősáramú berendezés fogadó- és elosztó-berendezése

Jászberény Rádióállomás
250 kW-os EMV gyártmányú, rövidhullámú rádióadó-berendezése
Telepítve 2 db

A 250 kW-os EMV gyártmányú rádióadó-berendezés műszaki adatai

Kimenő teljesítmény	250 kW
Vivőfrekvencia	3,9 – 21,6 MHz
Kimenő impedancia	Balun transzformátorral: 300 Ohm, szimmetrikus
Moduláció	AM-DSB
Hangfrekvencia átvitel	B-oszt. ellenütemű modulátor, 60 – 4.500 Hz
Hangfrekvenciás torzítás	m=30%-nál <4%, m=90%-nál <5%
Jel-zaj viszony	>50 dB
Teljesítmény felvétel m=100%-nál	605 kVA
Hatásfok m=0% és **AB**-oszt. esetén	60,7% (eredeti hangfrekvenciás áramkörökkel)
Hatásfok m=100% és „ „	62,0%
Hatásfok m=0% és **B**-oszt. esetén	73,1% (a négyzetgyökvonó áramkör beépítésével)
Hatásfok m=100% és „ „	62,0%
Hatásfok m=0% és **DCC** esetén	73,5% (négyzetgyökvonó áramkörrel)
Hatásfok m=100% és „ „	62,0%
Hálózati feszültség	3 x 400 V/230 V
Hálózati frekvencia	50 Hz
Teljesítménytényező	>0,9



A 250 kW-os rádióadó-berendezés hálózati teljesítmény-igénye az „m” modulációs szint függvényében különböző üzemmódok esetén

1. Az ellenütemű modulátor elektroncsöveinek munkapont-beállítása **AB-osztályú**, és a rádióadó-berendezés **DCC nélküli** módban üzemel. Ekkor a modulátor és a modulált fokozat elektroncsöveinek U_a anódfeszültsége állandó értékű, 12 kV. A modulátor bemenőjele a stúdióból érkező hangfrekvenciás feszültség.
2. Az ellenütemű modulátor elektroncsöveinek munkapont-beállítása **B-osztályú**, és a rádióadó-berendezés **DCC nélküli** módban üzemel. Ekkor a modulátor és a modulált fokozat elektroncsöveinek U_a anódfeszültsége állandó értékű, 12 kV. A modulátor bemenőjele a stúdióból érkező hangfrekvenciás feszültség négyzetgyöke.
   Jól érzékelhető az 1. és a 2. görbe között megjelenő hálózati teljesítmény-csökkenés (villamos energia-megtakarítás).
3. Az ellenütemű modulátor elektroncsöveinek munkapont-beállítása **B-osztályú**, és a rádióadó-berendezés **DCC-s** módban üzemel. Ekkor a modulátor és a modulált fokozat elektroncsöveinek U_a anódfeszültsége a stúdióból érkező hangfrekvenciás feszültség értékétől függően 6 és 12 kV között változik (ugrál). A modulátor bemenőjele a stúdióból érkező hangfrekvenciás feszültség négyzetgyöke.
   A jelentős hálózati teljesítmény-csökkenést (a villamos energia-megtakarítást) nagyobb mértékben a DCC-s üzemmód és kisebb mértékben a négyzetgyökvonó áramkör beiktatása eredményezi.

Megjegyzés: $m_{\%} = 100(U_h/U_a)$, ahol U_h a modulátor-transzformátor szekunder oldali kimenőfeszültségének a csúcsértéke, U_a pedig a modulált fokozat elektroncsöveinek az egyenáramú anódfeszültsége.

A 250 kW-os rádióadó-berendezés elektroncsövei

RS1003

RS1012 V

QE 08/200

CQS 50-1

A 100 kW-os rádióadó-berendezés elektroncsövei

CQK 50-2

YL 1056

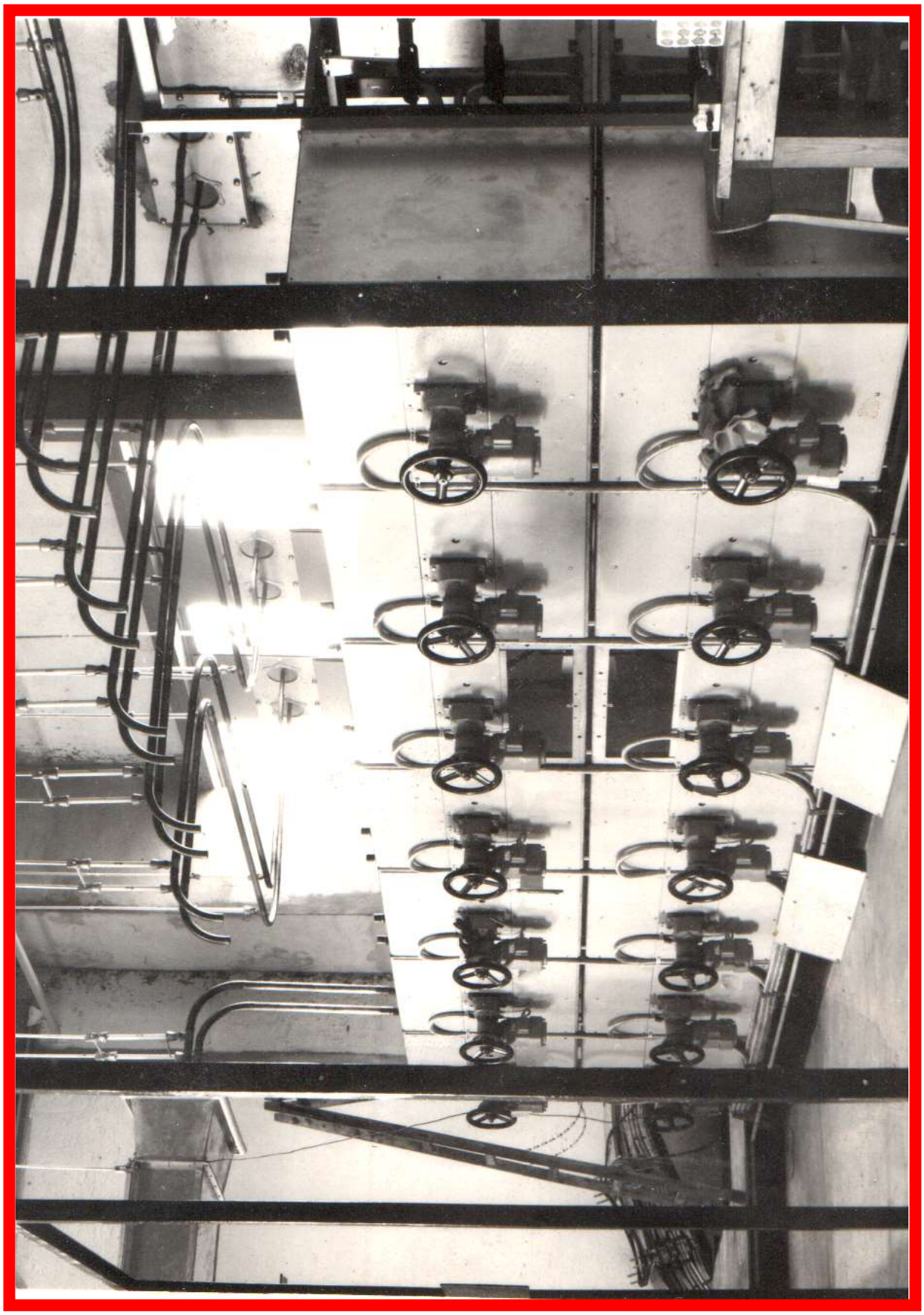
A 250 kW-os rádióadó-berendezés rádiófrekvenciás végfokozatának hangolható, vízhűtéses csatolótekercse. A végfokozat – mint áramforrás – maximális teljesítmény-leadása céljából transzformálja át optimális értékre az antennával terhelt tápvonal hullámellenállását a végfokozat számára.

A 100 kW-os BBC gyártmányú rádióadó-berendezés műszaki adatai

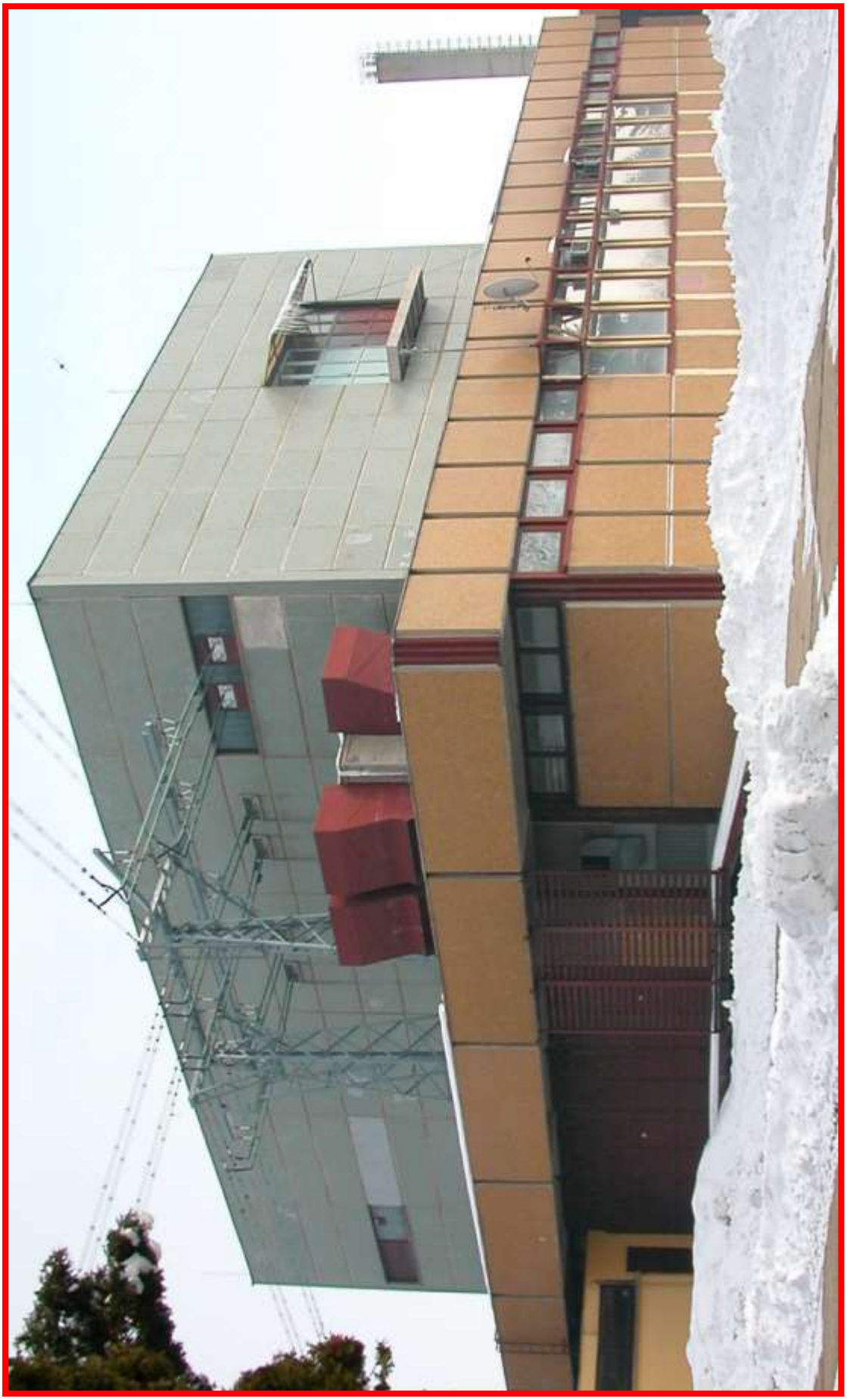
Kimenő vivőteljesítmény	100 kW
Vivőfrekvencia	3,9 – 26,1 MHz
Kimenő impedancia	Balun transzformátorral: 300 Ohm, szimmetrikus
Moduláció	AM-DSB
Hangfrekvencia átvitel	PSM modulátor, 60 – 4.500 Hz
Hangfrekvenciás torzítás	<4%
Jel-zaj viszony	>55 dB
Teljesítmény felvétel m=100%-nál	230 kVA
Hatásfok m=100%-nál	65%
Hálózati feszültség	3 x 400 V/230 V
Hálózati frakvencia	50 Hz
Teljesítménytényező	>0,9

Jászberény Rádióállomás légi fényképe

Szépen kirajzolódik a három antennaág és a rajtuk elhelyezett antennatartó tornyok

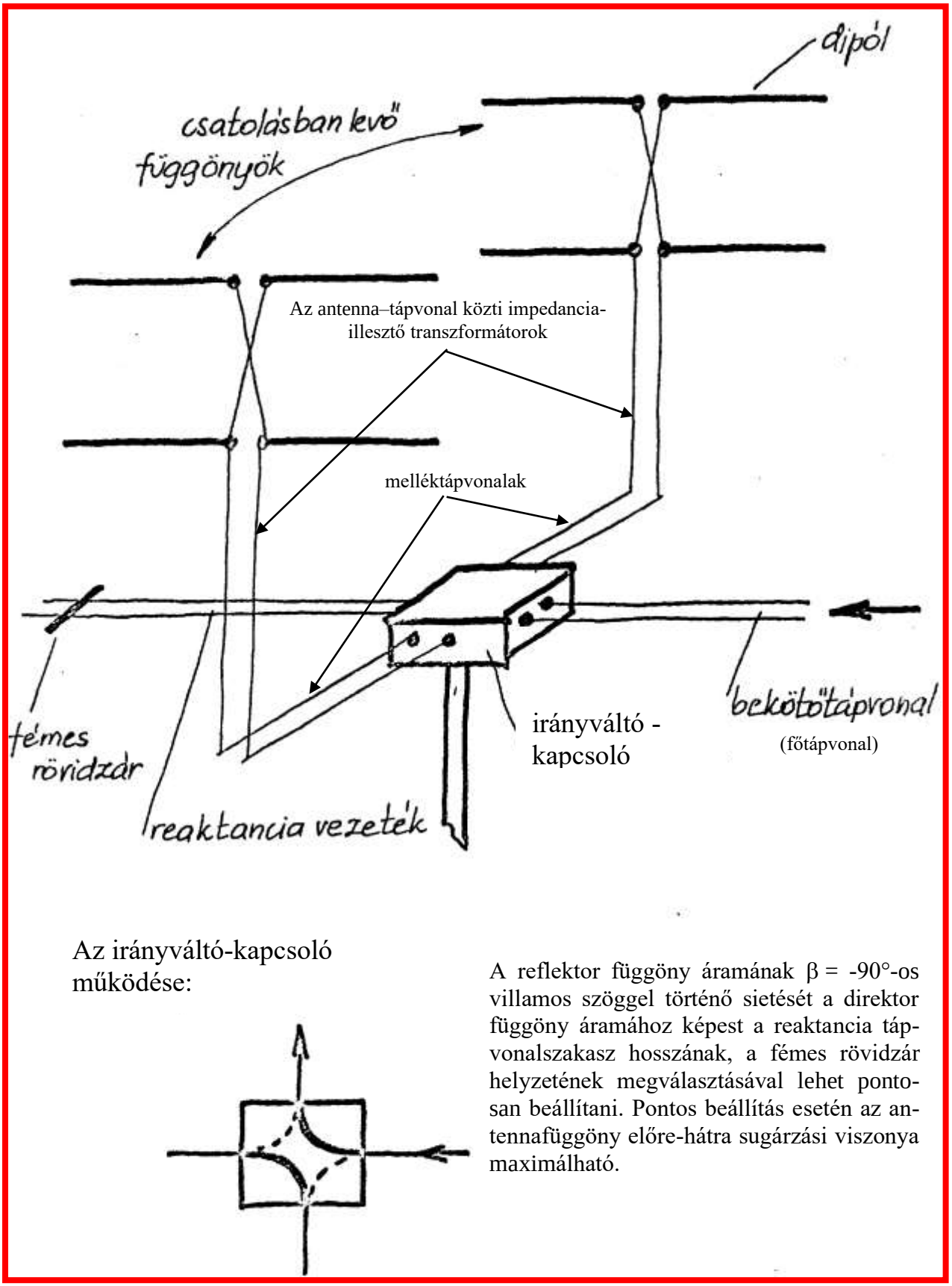


Jászberény Rádióállomás kombinátorkapcsolója. Alkalmas két 250 kW-os AM-DSB rádióadó-berendezés energiájának hét irányba történő továbbítására

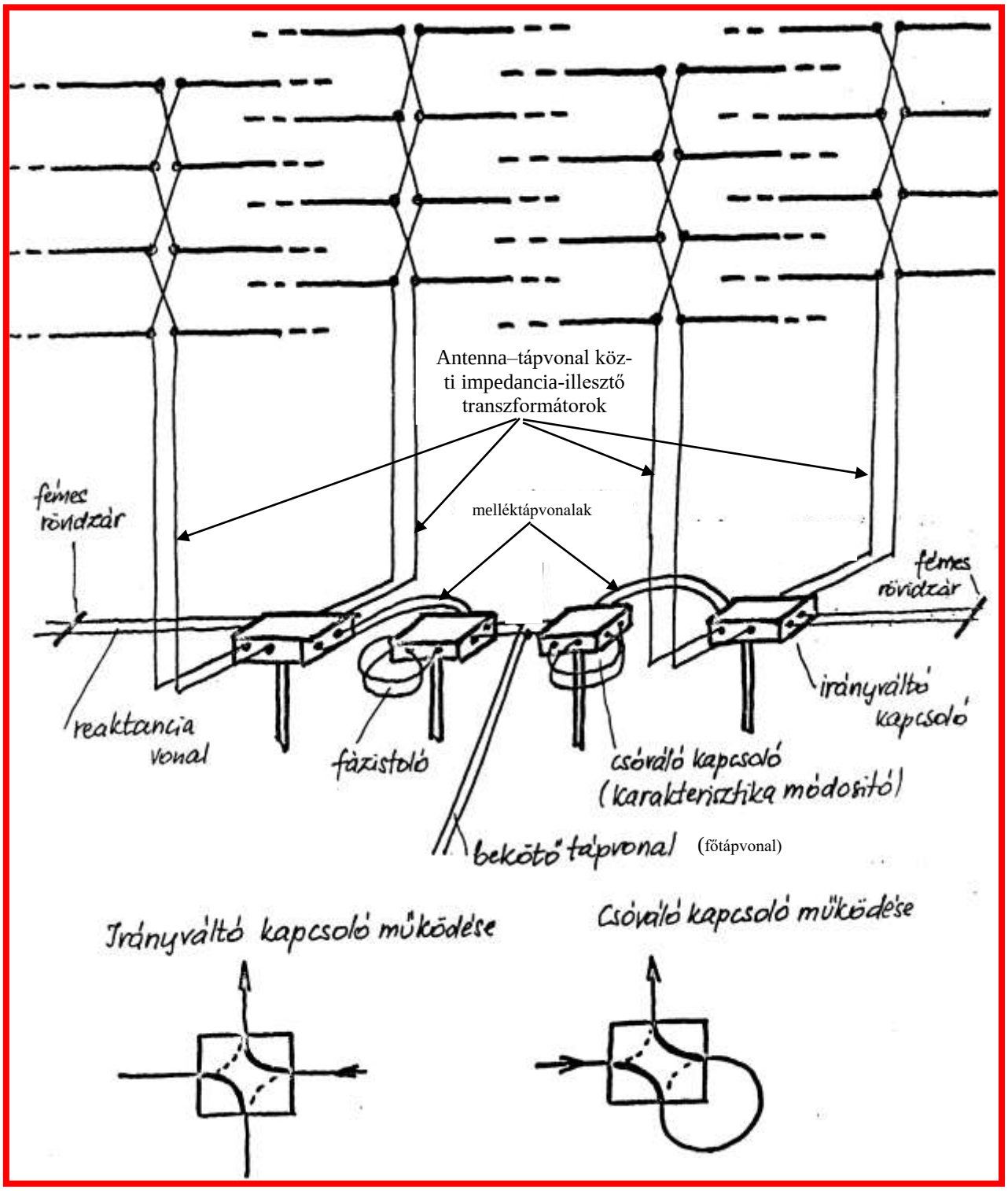


Jászberény Rádióállomás adóépülete a 6 főtápvonal-kimenettel (2003 tele)

Jászberény Rádióállomás adóépülete a 6 régi és a 2 új főtápvonal-kimenettel (2004 nyara)



A Jászberény Rádióállomás HRR-2/2/0,25 típusú antennafüggönyeihez telepített fősugárzási irányváltó-kapcsoló bekötési rajza



A Jászberény Rádióállomás HRRS-4/4/1 típusú antennafüggönyeihez telepített 2 db csóváló-kapcsoló és 2 db fősugárzási irányváltó-kapcsoló bekötési rajza

Az északi antennaág hat tartótornya között hét HRRS-4/4/1 típusú antennafüggöny helyezkedik el. Távolban a logperiódikus antenna látható

Az északi antennaágon 2 főtápvonal a hét HRRS-4/4/1 és az egy körsugárzó antennához a 250 kW-os, míg 1 főtápvonal a logperiódikus antennához a 100 kW-os rádióadó-berendezés rádiófrekvenciás villamos energiáját juttatja el

Logperiódikus antenna

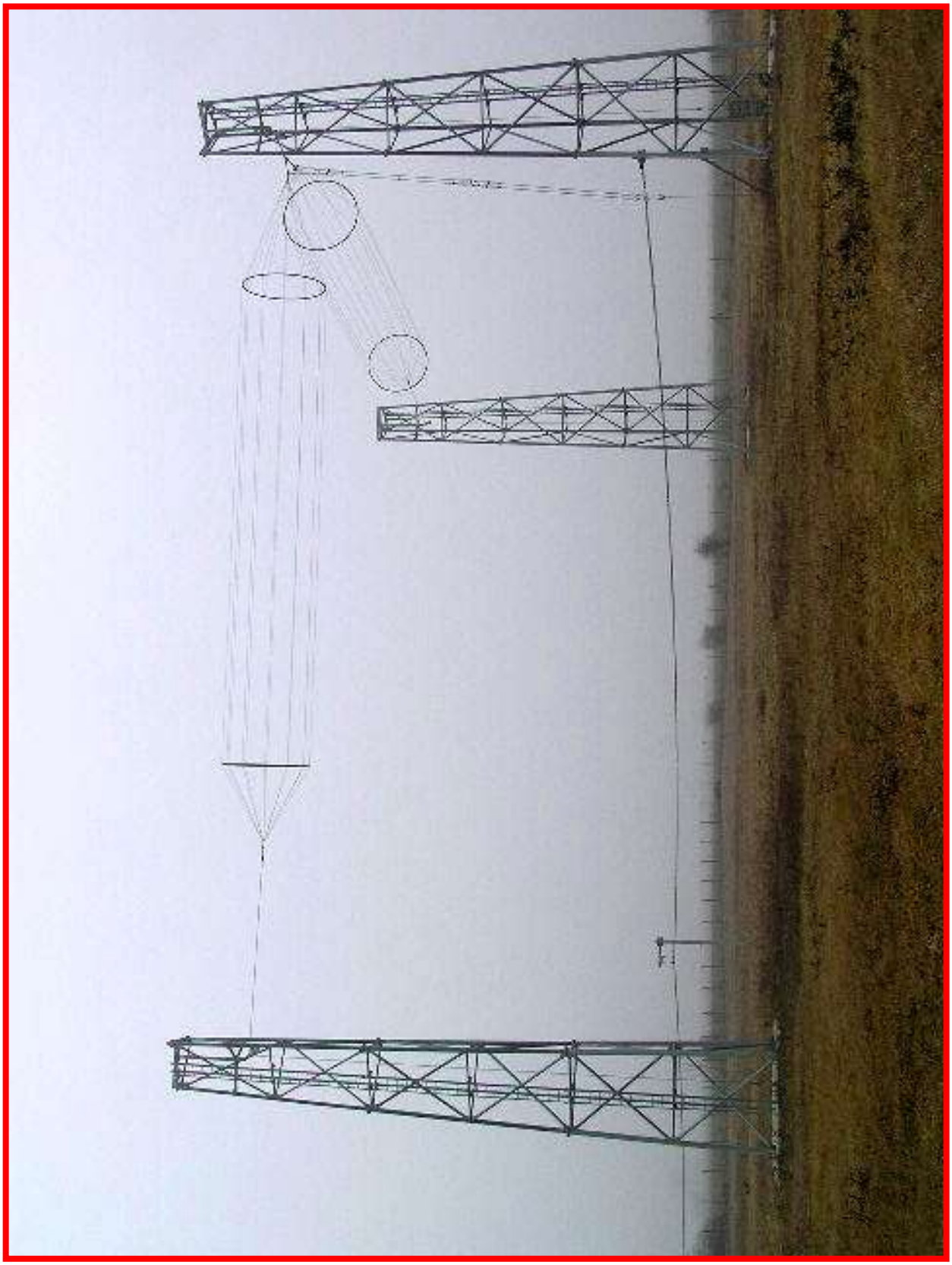
A két 100 kW-os rádióadó-berendezés egy 2x3-as kombinátorkapcsolón és külön kiépített főtápvonalakon keresztül csatlakozik az északi antennaágon elhelyezett – a fényképen látható – logperiódikus antennához, vagy a keleti antennaágon elhelyezett körsugárzó antennához, vagy az adóépületben elhelyezett műantennához

A 4 MHz-es körsugárzó antenna az északi antennaág végén

A fotón a 250-os, illetve a 100 kW-os kombinátorkapcsolóktól az antennaágakra kifutó 6 db, illetve 2 db főtápvonal látható, amelyek a 250, illetve a 100 kW-os rádióadó-berendezések villamos energiáját szállítják a megválasztott antennákhoz

A HRRS-4/4/1típusú antenna baloldali függönyének irányváltó és csóváló rádiófrekvenciás kapcsolói

A keleti antennaág hét HRR-2/2/0,25 típusú antennafüggönye. Az antennaág végén kirajzolódik az L típusú körsugárzó antenna körvonala.



HQ-1/0,35 típusú L körsugárzó antenna a keleti antennaág végén, a két 100 kW-os rádióadó-berendezés részére

A képen a déli antennaág HRRS-4/4/1 típusú antennafüggönyeinek hat, HRR-2/2/0,25 típusú antennafüggönyeinek öt, valamint az ág végén elmosódva a 6 MHz-es körsugárzó antennának négy antennatartó tornya látható

A HRRS-4/4/1 típusú antennafüggönyökkel besugározható földrajzi helyek

Jászberény Rádióállomás antennáinak főbb műszaki jellemzői

Típus	Frekvencia-sávok	Földrajzi (vízszintes) szög			Kilövési (függ.) szög		Nyereség
		főirány	fél-kúpszög	csóválás	főirány	fél-kúpszög	
	MHz	fok	fok	fok	fok	fok	dB
HRRS-4/4/1	6, 7, 9, 12, 15, 17 és 21	136 és 316	±12	±10	8	±5	17,15
HRRS-4/4/1	6, 7, 9, 12, 15, 17 és 21	65 és 245	±12	±10	8	±5	17,15
HRR-2/2/0,25	6, 7, 9, 12, 15, 17 és 21	108 és 288	±24	nincs	30	±13	11,15
HRR-2/2/0,25	6, 7, 9, 12, 15, 17 és 21	7 és 187	±24	nincs	30	±13	11,15
T-2/2/0,25	4	0 - 360			90	±60	8,15
T-2/2/0,25	4	0 - 360			90	±60	8,15
HQ-1/0,35	6 és 7	0 - 360			90	±36	5
LPD-18 K	5-től 30-ig	megválasztható a105-205 fok kivételével	±35		-39-től +28-ig		12 - 14

A 250 kW-os rádióadó-berendezések egyidejű üzemeltetésekor megválasztható antennakombinációk táblázata

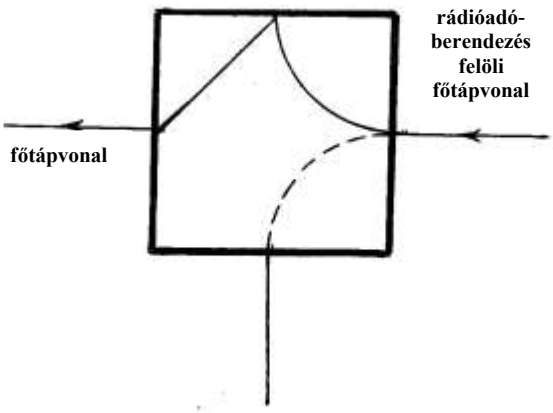
Adó II \ Adó I	MHz	Körsugárzó		Közelsugárzó 7°/187°							Közelsugárzó 108°/288°							Távolsugárzó 65°/245° ±10°							Távolsugárzó 136°/316° ±10°						
		4	6	6	7	9	12	15	17	21	6	7	9	12	15	17	21	6	7	9	12	15	17	21	6	7	9	12	15	17	21
Kör-sugárzó	4	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	6	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Közel-sugárzó 7°/187°	6	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	7	X	X	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	9	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	12	X	X	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	15	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	17	X	X	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	21	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Közel-sugárzó 108°/288°	6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	X	-	X
	7	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	-	X	-
	9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	X	-	X
	12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	-	X	-
	15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	X	-	X
	17	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	-	X	-
	21	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	X	-	X
Távol-sugárzó 65°/245° ±10°	6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X
	7	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X
	9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X
	12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X
	15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X
	17	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X
	21	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X
Távol-sugárzó 136°/316° ±10°	6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	X	-	X
	7	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	-	X	-
	9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	-	X	-
	12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	X	-	X
	15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	-	X	-
	17	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	X	-	X
	21	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	-	X	-

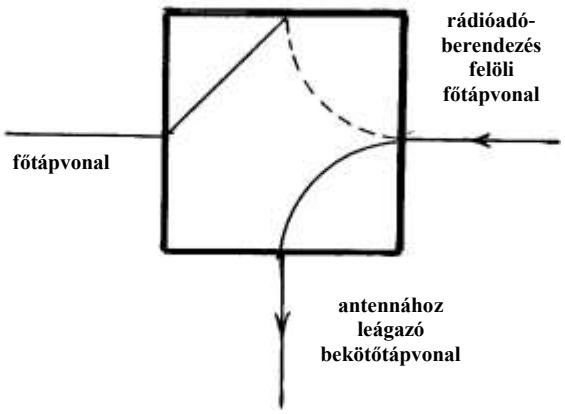
Jelmagyarázat:

- : Az egyidejű üzemeltetéskor lehetetlen antennakombináció

X : Az egyidejű üzemeltetéskor lehetséges antennakombináció

Tápvonalkapcsoló az északi antennaágon





Tápvonalkapcsoló működése

Jászberény Rádióállomás
négy rádióadó-berendezésének
két adóterme

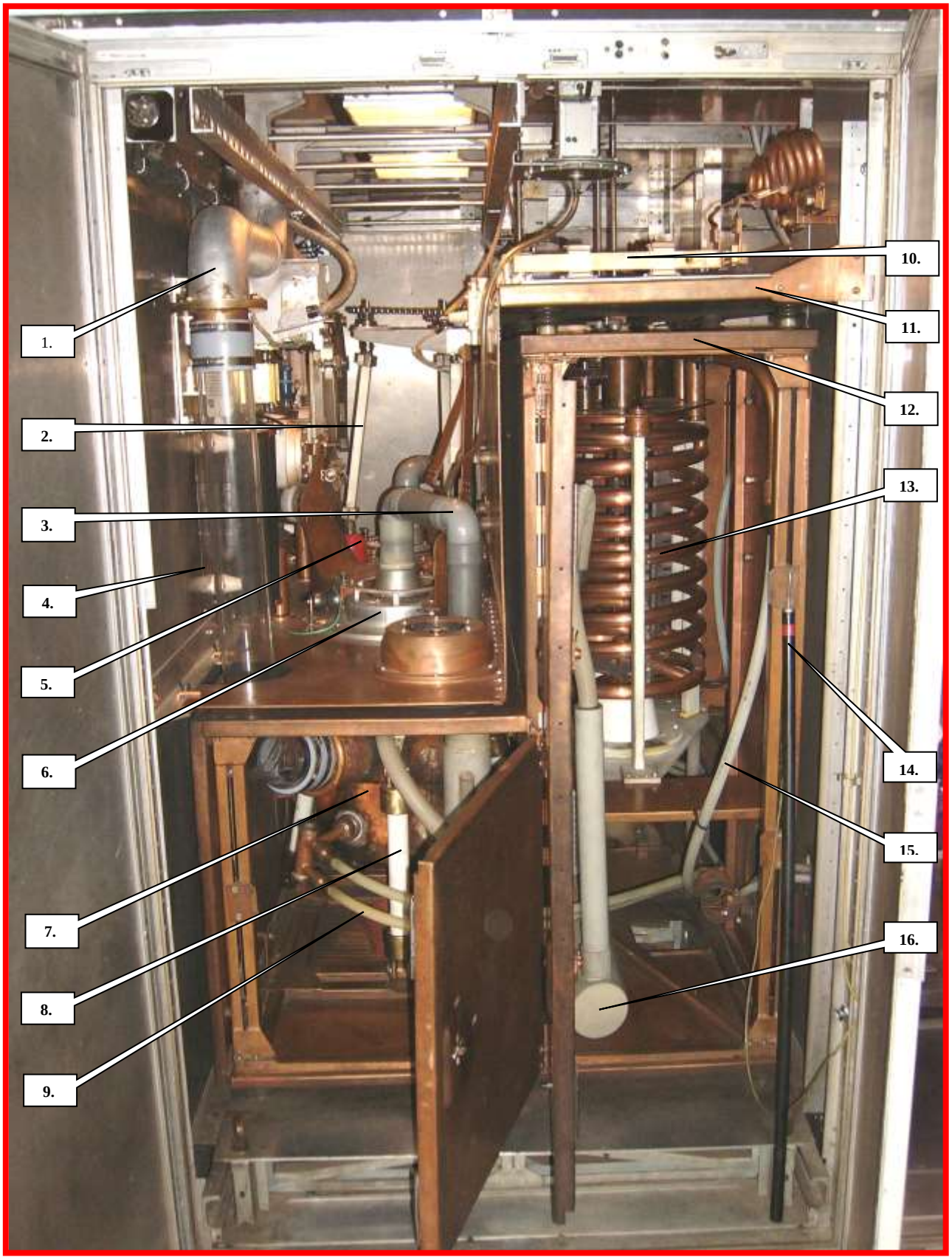
A 2 db 250 kW-os rádióadó-berendezés kezelőtere a 2 db kezelőasztallal, továbbá a 6 db főtápvonal és 1db műantenna-tápvonal, továbbá a 30 db antenna és az 1 db műantenna közös vezérlőasztalával. A nyomógombos vezérlés végrehajtását a 151. oldalon látható vezérlőszekrényben elhelyezett LIX-dobozok jelfogói végzik.

Az I. adóterem jobb oldalán az egyik 250 kW os rádióadó-berendezés, míg szemben, a II. adóteremben a két 100 kW-os rádióadó-berendezés látható

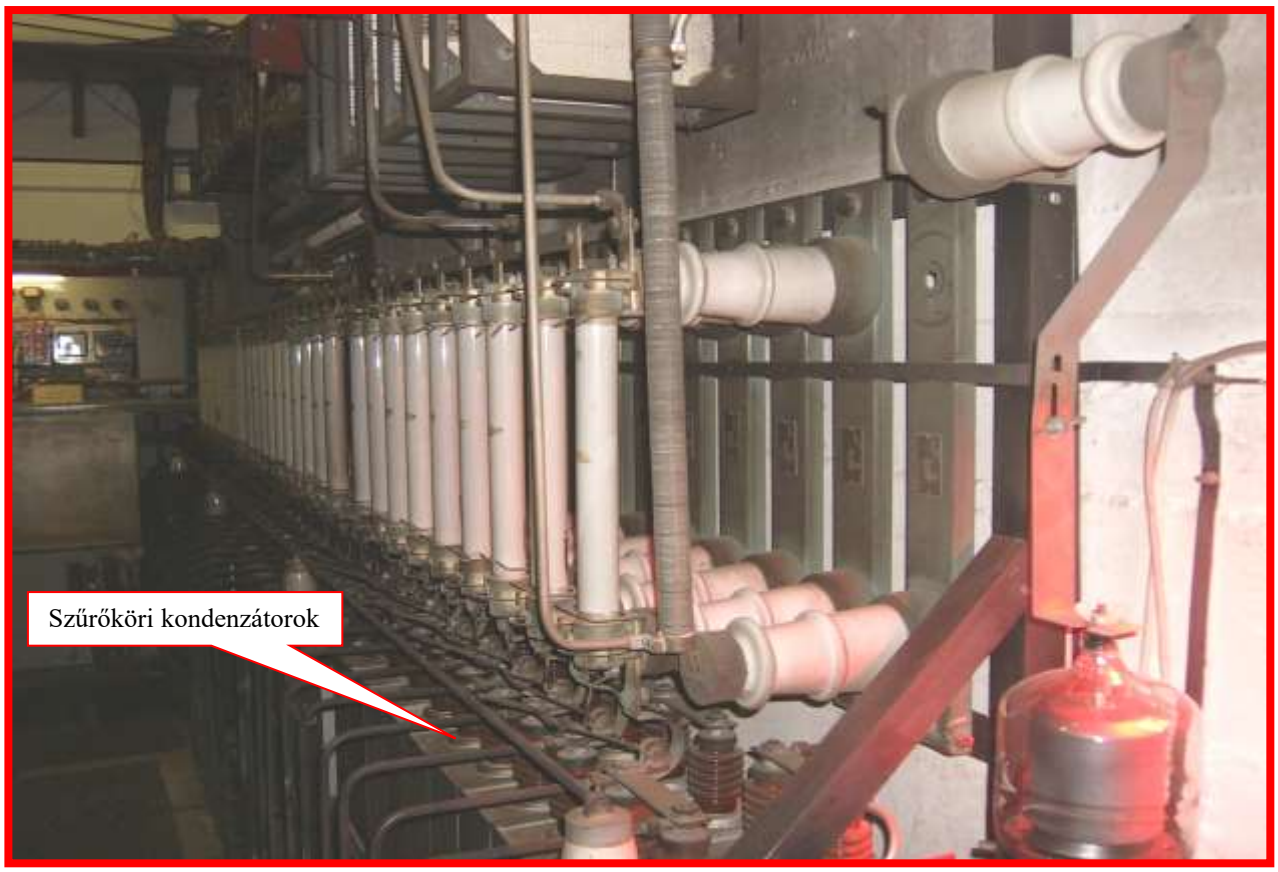
A 250 kW-os rádióadó-berendezés olajhűtéses modulátor transzformátora és modulátor fojtótekercse

(ld. a 44. és 49. oldalt)

A modulált fokozat (a rádiófrekvenciás végfokozat)



1. Gőzelvezető fémcső **2**. Hangoló rúd **3**. Elektroncső kivezetéseit hűtő légcső **4**. Gőzelvezető üvegcső **5**. Hangolható anódrezgőköri vákuum-kondenzátor **6**. Elektroncső-sapka **7**. Csőfazék, benne ül az elektroncső **8**. Csőfazekat tartó kerámia **9**. Csőfazékba hűtővizet visszavezető műanyagcső **10**. Az elektroncső katódját felizzító 330 A-es áramot szállító réz-sín **11**. Nulla-potenciálú (földelt) fémszekrény **12**. 12 kV-os potenciálon (az elektroncső U_a anódfeszültségén) lévő fémszekrény **13**. Hangolható, vízhűtéses anódköri rezgőköri tekercs **14**. Földelőbot **15**. Rezgőkör-tekercs hűtővizének a műanyagcsöve **16**. Rezgőköri tekercs leszedő-érintkezőjét hűtő levegőszállító műanyagcsöve



Az ábrán a 12 kV-os tirisztoros egyenirányító 20 db 2 μF-os szűrőköri kondenzátora látható a hozzájuk tartozó nagyfeszültségű biztosítékokkal. A jobboldal alsó részén egy hősugárzó vöröses fényével előmelegített 8QR45 típusjelű tirátron (higanytöltetű, vezérelhető egyenirányító-elektroncső) foglal helyet, mint a kisütőáramkör egyik fő alkatrésze.

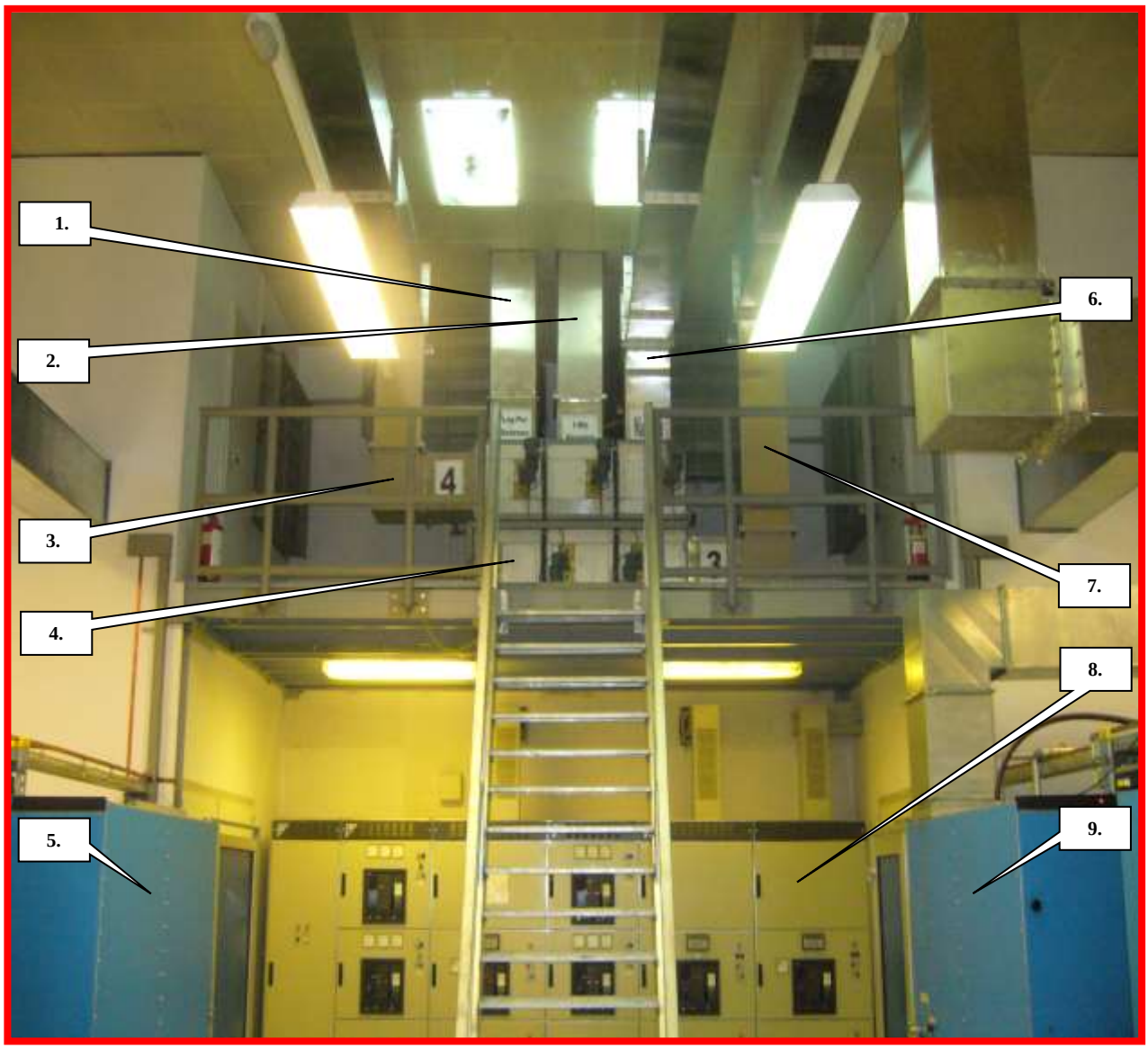
A DCC-sítés tirisztoros egyenirányítójának üzembe helyezését és a rá vonatkozó garanciális követelmények teljesítését a szállító Brown Boveri cég feltételhez kötötte: mindkét 250 kW-os rádióadó-berendezésnek a bennük üzemelő 8 db nagy értékű CQS 50-1 típusú elektroncső biztonsága érdekében kisütőáramkörrel kell rendelkeznie. Ez hiányzott. A cég felkínálta megvételre Crowbar védelmi berendezését. Igazgatóságunk nem rendelkezett elegendő fedezettel, ezért 1987 nyarán megbízta állomásunkat egy védelmi berendezés (kisütőáramkör) megtervezésével, kivitelezésével és üzembe helyezésével. Halász Sándor állomásvezető a terveket elkészítette, és irányításával az állomás szakemberei közreműködésével a kivitelezés is megtörtént.

A védelmi berendezésnek szigorú előírást kellett teljesítenie. Az elektroncsövek belső elektródái között az üzemeltetés során olykor váratlan, spontán átívelés (rövidzárlat) történik. Az elektroncső károsodása elkerülhető, ha a szűrőköri kondenzátorok 2.880 J-nyi villamos energiáját a védelmi berendezés az átívelést követően 1,7 ms alatt megsemmisíti.

Az üzembe helyezés november 6-án a svájci cég jelenlétében történt. Feltétel volt, hogy az üzemszerűleg 12 kV-ra feltöltött szűrőköri kondenzátorokat egy 200 mm hosszú és 0,5 mm átmérőjű ezüstszállal (az elektroncső belső elektródját imitáló eszközzel) rövidre zárva, és ezt 3-szor egymás után megismételve, az ezüstszál ép maradjon. A tesztpróba sikeres volt. A jelenlévők gratulációjukat fejezték ki.

A 250 kW-os rádióadó-berendezés részegységeinek villamos elosztótáblája

A 250 kW-os rádióadó-berendezés rádiófrekvenciás meghajtó fokozata (részlet)



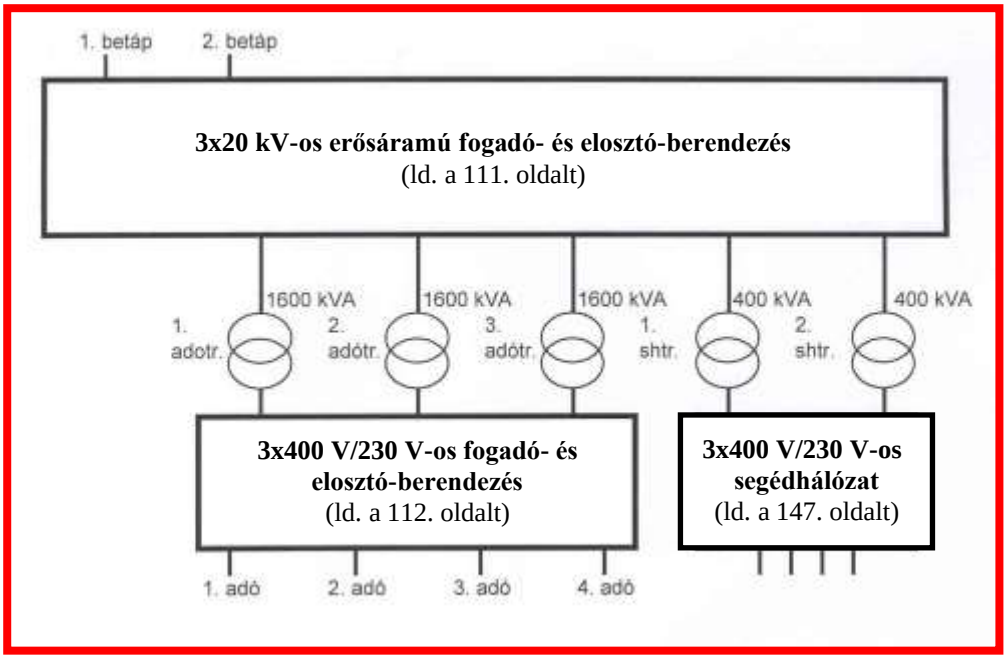
A 100 kW-os rádióadó-berendezés 2x3-as kombinátorkapcsolója

1. A logperiódikus antenna tápvonala
2. A 6 MHz-es L körsugárzó antenna tápvonala
3. A 4-es számú 100 kW-os rádióadó-berendezés tápvonala
4. A 2x3-as kombinátorkapcsoló
5. A 4-es számú 100 kW-os rádióadó-berendezés
6. A műantenna tápvonala
7. A 3-as számú 100 kW-os rádióadó-berendezés tápvonala
8. A 3x400 V/230 V-os erősáramú kapcsoló-berendezés
9. A 3-as számú 100 kW-os rádióadó-berendezés

A 100 kW-os rádióadó-berendezés beltéri vízhűtője

A 100 kW-os rádióadó-berendezés kültéri vízhűtője

Az egyik 1600 kVA-es és 3x20 kV/3x400 V/230 V-os adótranszformátor



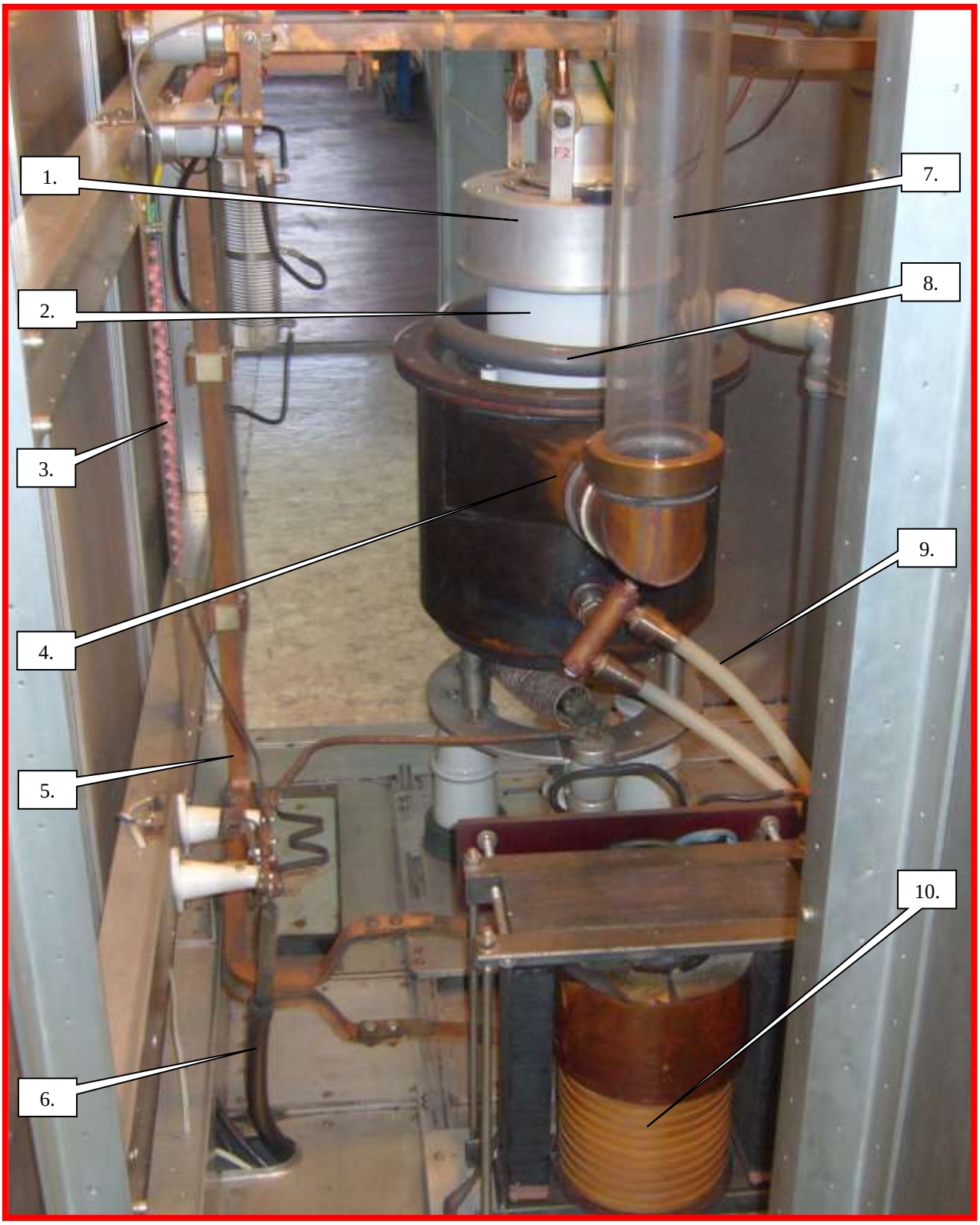
A Rádióállomás fogyasztóinak villamos energiaellátó rendszere (Blokkvázlat)

3x400 V/230 V-os segédhálózati kapcsolószekrény

Kiszolgálja az antenna-tartótornyok, az épületek és a terület világítóhálózatának, az ivó-és szennyvízhálózatának, az épületek fűtő- és szellőztető-berendezéseinek, valamint sok egyéb technikai eszköz működtetésének villamos energia igényét.

Hajnali felvétel a Jászberény Rádióállomás déli antennaágán elhelyezkedő antennatartó tornyokról, a 32-es főút felől 3,5 km távolságból

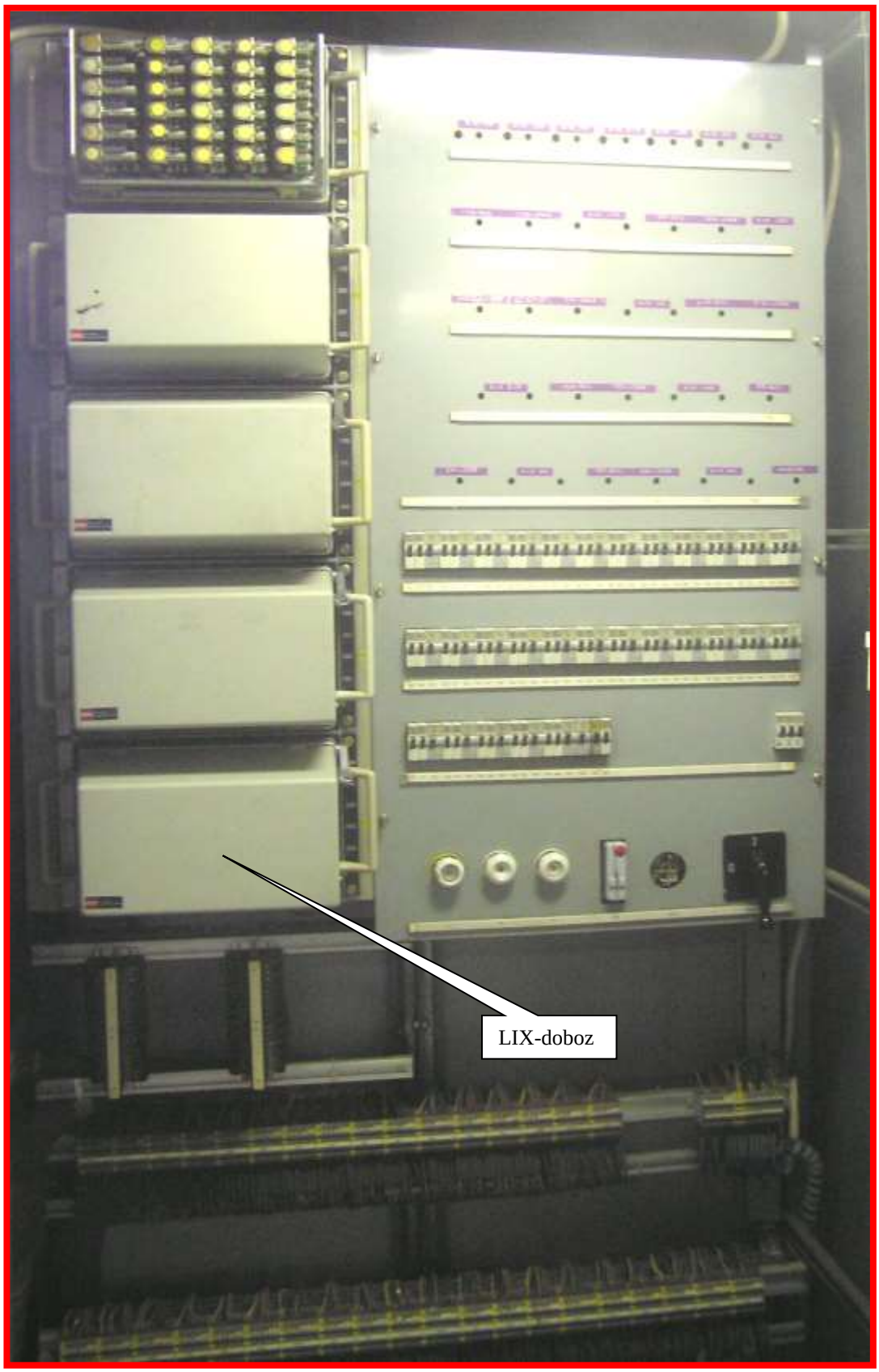
A 250 kW-os rádióadó-berendezés modulátorának egyik fele



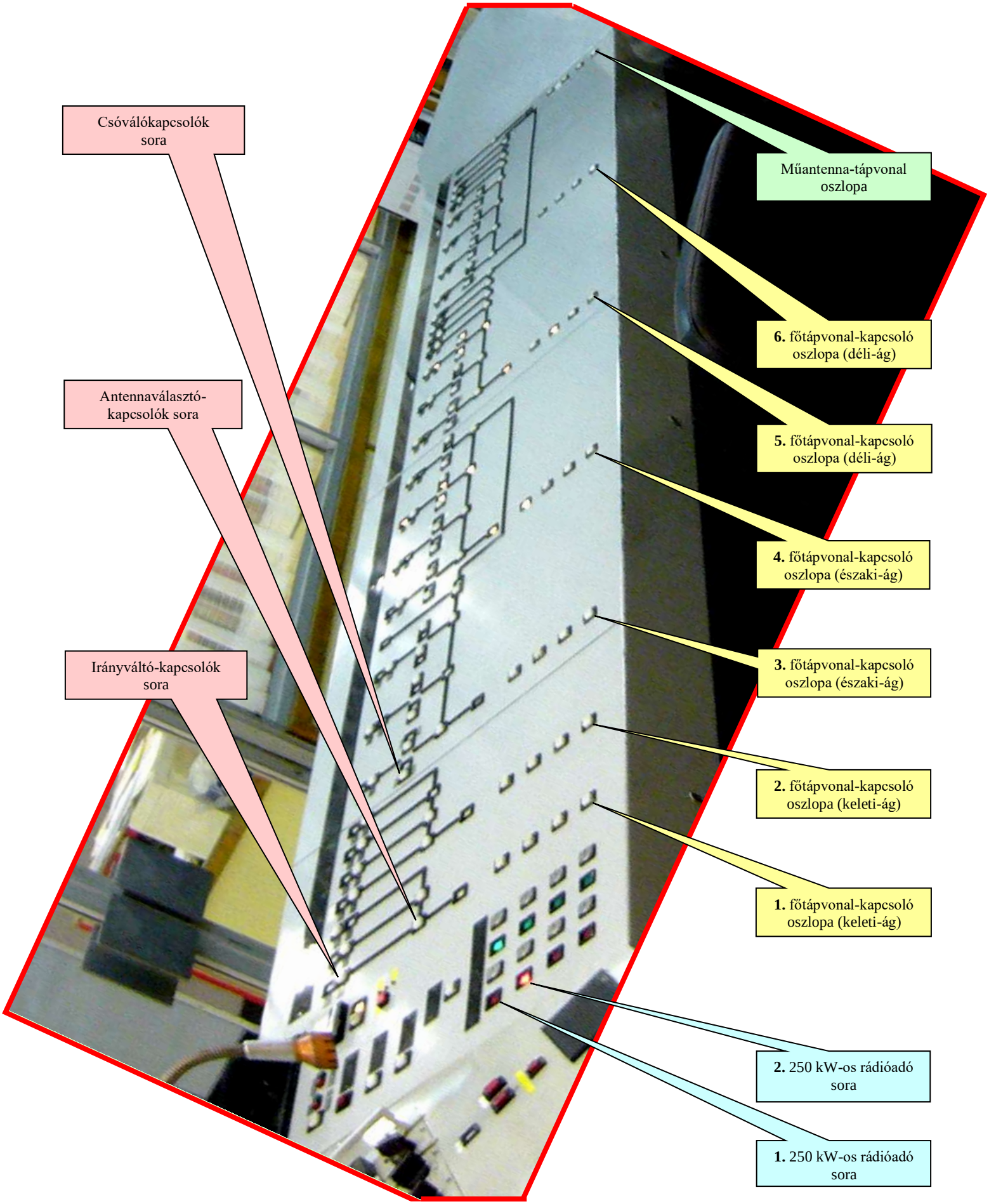
1. Elektroncsősapka **2**. CQS 50-1 típusú elektroncső **3**. Nagyfeszültségű feszültségosztó a 8 dB-es negatív visszacsatoló jel egyenáramú komponensének eliminálásához (ld. 87-88 oldalakat) **4**. Elektroncsőfazék **5**. Izzító áramkör réz-sínje **6**. Az anódfeszültség nagyfeszültségű kábele **7**. Gőzelvezető üvegcső **8**. Az elektroncső anód–kerámiahenger csatlakozását hűtő levegőjének a szállítócsöve **9**. Hűtővíz-bevezető műanyag-csövek **10**. Az elektroncső katódját izzító transzformátor (400 V/12,6 V ;330 A)

A 100 kW-os tápvonal jelzett szakaszán a tápvonalerek egymástól való állandó távolságát – ami a kedvező állóhullámarány eléréséhez szükséges – porcelánszigetelők biztosítják. A porcelán nagy dielektromos állandója megnöveli e szakasz C kapacitását. Ezért, hogy itt a tápvonal Z_o=300 Ohmos hullámellenállása ne változzon, a szakasz L indukcióját is célszerű megnövelni $\{Z_o=(L/C)^{1/2}\}$, ami a beiktatott érszűkítőkkel megoldható. A gondos kompenzálás eredményezi a kilométer hosszúságú tápvonalak igen kedvező: 1,2-nél kisebb állóhullámarányát.

A keleti antennaágra kifutó két 250 kW-os főtápvonal és egy 100 kW-os főtápvonal

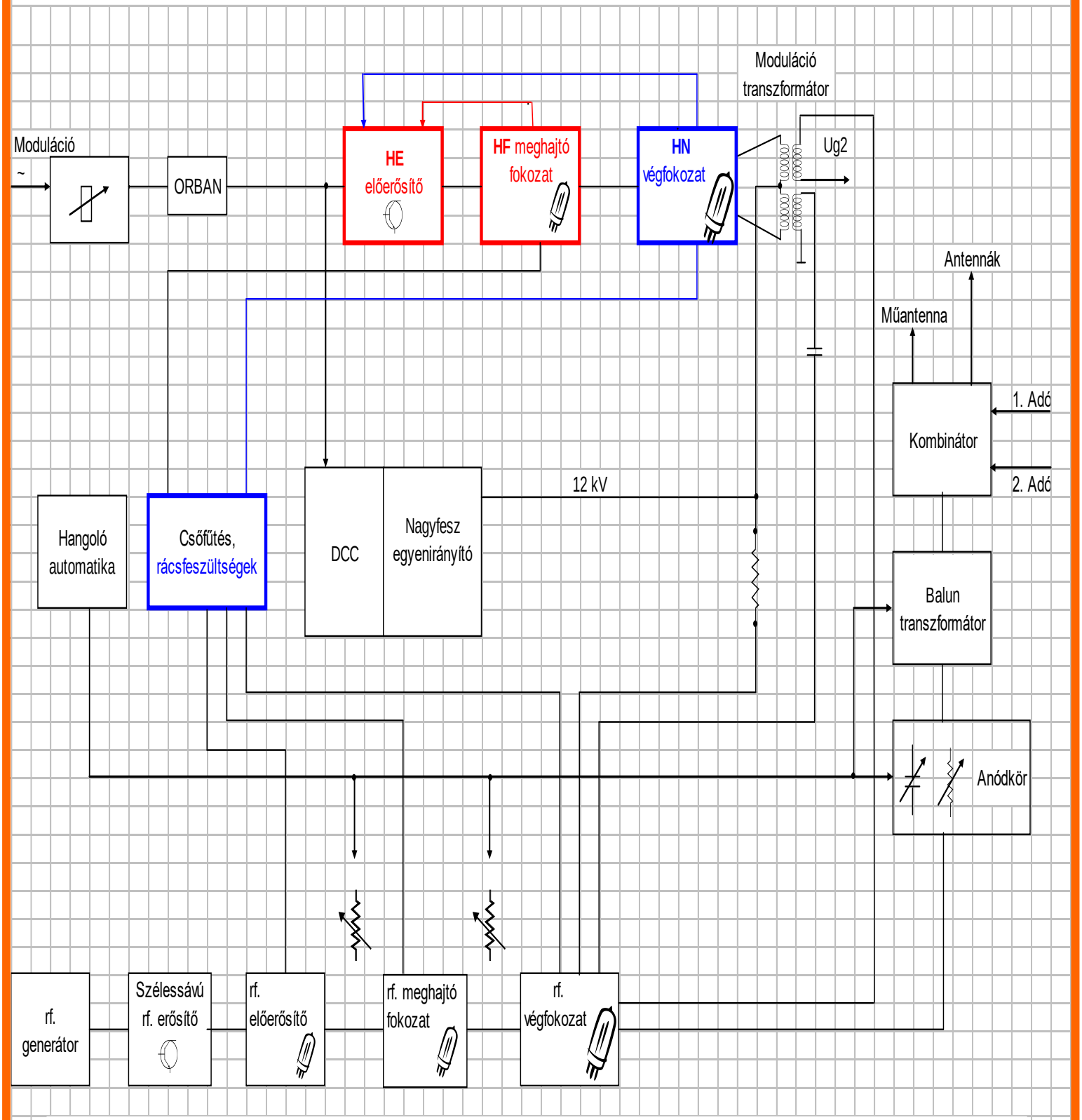


Az antennaágakon elhelyezett 28 db tápvonalkapcsoló, 28 db csóválókapcsoló és 42 db irányváltó-kapcsoló kezelőasztali vezérlését LIX-dobozokba épített jelfogók biztosítják. A két vezérlőszekrényben elhelyezett 17 db LIX-doboz mindegyike 6 sorba és 5 oszlopba rendezett 30 db jelfogót tartalmaz. Egy rádiófrekvenciás kapcsoló vezérléséhez egy sornyi relé szükséges. Az általuk kialakított áramkörök szavatolják a kapcsolók biztonságos energia ellátását, a műsorprogram szerinti üzemeltetését és a rádióadók–antennák közti megkötöttség érvénysülését.



A kezelőtérben elhelyezett vezérlőasztal

250 kW-os adó blokkvázlata



Jelmagyarázat:

Az ÉMV által tervezett és kivitelezett áramkörök

A Rádióállomás által tervezett és kivitelezett áramkörök

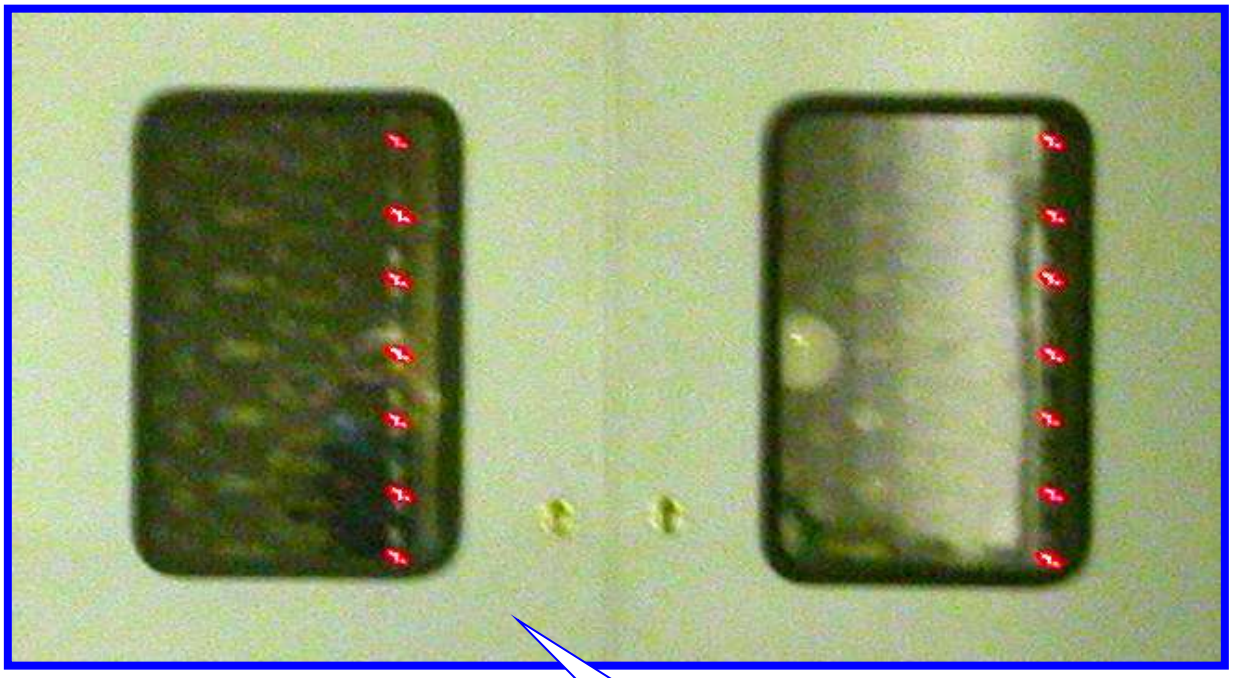
A Rádióállomás által módosított áramkörök

(ld. a II. rész 44. oldalát is)

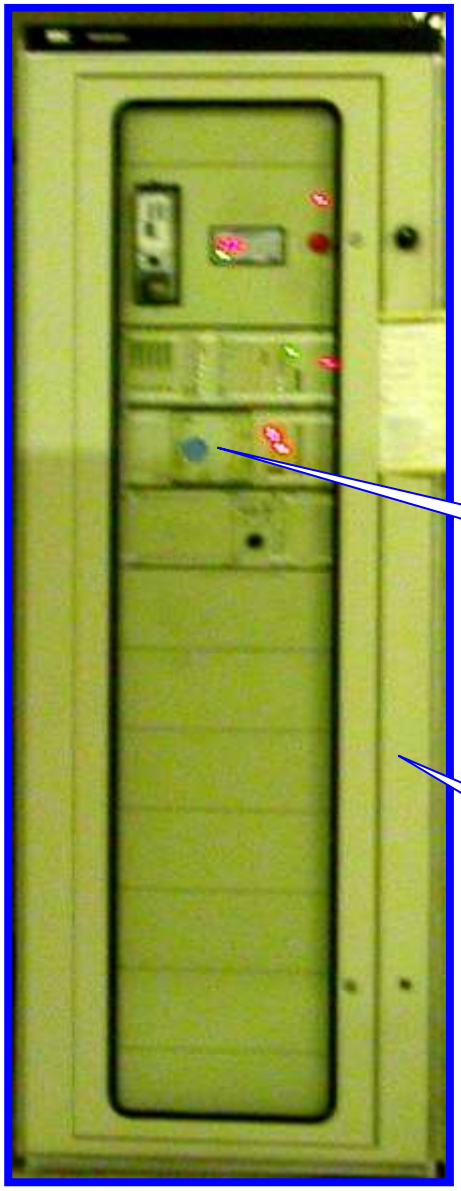
Az egyik 250 kW-os rádióadó-berendezés 3x400 V/230 V-os villamos energiaellátó hálózata

A 12.000 V-os anódfeszültségű tirisztoros egyenirányító transzformátorának háromfázisú megszakítója

Az egyik 250 kW-os rádióadó-berendezés 12.000 V-os anódfeszültségű tirisztoros egyenirányítójának háromfázisú transzformátora



A 12.000 V-os anódfeszültség tiriszroros egyenirányító-szekrényének kémlelő ablaka. A piros LED-ek a tirisztorok zavarmentességét jelzik.



A DCC-fiók

A DCC-szekrény

A rádiófrekvenciás meghajtó fokozat és a modulált fokozat rezgőköri tekercsének, valamint az antenna-csatolótekercs hűtővizének a szállítócsöve

A rádiófrekvenciás meghajtó fokozat, a modulátor és a modulált fokozat elektroncsöveinek csősapkájához, valamint a „leszedő-érintkezőkhöz” vezetett hűtőlevegő szállítócsöve

A mennyezet alatti zárt térben kialakított kondenzációs hűtőberendezés

Az adószekrény hűtő-levegőjének elszívó csöve

Az adószekrény hűtő-levegőjének nyomó csöve

A csőfazékba merülő négy CQS 50-1 és két RS-1012V elektroncső üzem alatti disszipációja miatt a csőfazék desztillált hűtővize felforr, gőz halmazállapotba kerül. Kondenzálását, majd gravitációs visszavezetését a csőfazékba – a hűtőterem mennyezete alá szerelt és ventillátorokkal áramoltatott levegővel hűtött – lemezradiátorok végzik. Hűvös időszakokban a kondenzáció az adóépület fűtését is ellátja.

A 250 kW-os rádióadó-berendezés hűtőrendszere

Váratlan vendég (őzike) a Rádióállomás lakóépületének parkjában

Hívatlan vendég (sikló) a Rádióállomás lakóépületének parkjában