



KISS CSABA

Okleveles gépészmérnök, okleveles mérnök tanár

MÁV Zrt PMKI GSZ fejlesztőmérnök

BME Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszék mestertanár

Szemelvények és mérföldkövek az ipari periódusú nagyvasúti villamos vontatás kifejlesztése történetéből III.

A nyert tapasztalatok alapján a legérdekesebbnek az a tény bizonyult, hogy új lehetőségek és megoldások felé nyitott utat ez villamos vontatási rendszer, melyekre később még visszatérünk és amelyek egy részét ezt követően viszonylag hamar meg is valósítottak.

- a harmadik szakaszt lényegében az jellemezte, hogy számos más európai és Európán kívüli országban kezdtek egyfázisú, ipari periódusú villamos vontatási rendszerrel villamosítani, számos esetben még úgy is, hogy előzőleg volt már más rendszerrel villamosított hálózatok (pl. Portugália, Szovjetunió, India). Az egyenirányítós mozdonyok érdemes hangsúlyozni azt a fontos előnyét, hogy a különböző vontatási feladatokra épített járművek fő- és segédüzemi áramkörei jelentős egységesülést mutattak. A rendszer igen jelentős gazdaságossági előnyei miatt a vasutak nemcsak az új villamosításoknál vették figyelembe fokozottabban az új rendszer előnyeit, hanem számos országban a vasútvillamosítási terveket felülvizsgálták és számos fontosabb, nagyobb forgalmú vasútvonal villamosítását vették tervbe.

Az egyfázisú, ipari periódusú vontatójárművek, különösen az egyenirányítós járművek elterjedésének alapvető okai.

A II. világháborút követő időszakban a vasúti vontatójármű fejlesztésben nagy hangsúlyt fektettek a vontatójárművek tapadás kihasználásának javítására. Már korán kitudt, hogy éppen az egyenirányítós mozdony rendelkezik e tekintetben rendkívül kedvező jellemzőkkel, mégpedig az alábbi okok miatt:

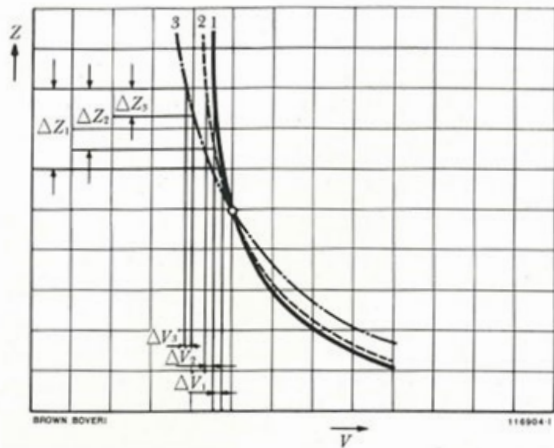
- a *vontatómotorok párhuzamos kapcsolása*: az egyenirányítós mozdonyoknál a vontatómotorok állandó párhuzamos kapcsolása semmilyen problémát nem jelentett. Ez azért volt fontos, mert az egyik kerékpártengely esetleges megperdülése alig befolyásolta a többi kerékpártengely tapadási viszonyait. Az egyenáramú felsővezetékéről táplált járművek esetén bizonyos számú gazdaságos menetfokozat vagy a kedvező motorfeszültség megválasztása miatt kettő, vagy több vontatómotor soros kapcsolása vált szükségessé. Így, ha egy kerékpár megperdült, a megperdülő kerékpárt hajtó motor még nagyobb feszültséget „vett magára”, ezért a meg nem perdülő kerékpár nyomatéka is csökkent, ez tovább erősítette a kerékpárperdülést. Ez azt jelentette, hogy ezeknél a járműveknél nagyon nagy gondot

kellett fordítani a jármű perdülésvédelmi rendszerének kialakítására.

- *állandó kapcsolófeszültség*: az egyenáramú felsővezetékéről táplált mozdonyoknál induláskor előtétellenállást kellett a vontatómotorral sorba kapcsolni, mely a vontatómotorra jutó feszültséget csökkentette (indító áram korlátozás). Ha megperdült egy kerék, akkor a megnövekedett fordulatszám miatt csökkent a felvett motoráram és az előtétellenálláson eső feszültség, ezzel szemben a motor kapcsolófeszültsége megnövekedett, mivel a motor az előtétellenálláson keresztül a gyakorlatilag állandó felsővezeték feszültségre volt kapcsolva. A megperdült kerékpárt hajtó motor fordulatszáma tovább nő a nagyobb kapcsolófeszültsége miatt, így a kerékperdülés tovább fokozódik. A váltakozó feszültségről táplált vontatójárművek esetén, ahol a vontatómotorok feszültségét a transzformátorra szerelt fokozatkapcsolóval szabályozzuk (1. (higanygőz egyenirányítós) és 2. (diódás, „száraz” egyenirányítós) generációs egyenirányítós vontatójármű!), a vontatómotorok kapcsolófeszültsége minden fokozatra adott és gyakorlatilag állandó, a transzformátorban fellépő feszültségeséstől eltekintve. Azaz a vontatómotorok kapcsolófeszültsége gyakorlatilag nem növekszik a kerekek esetleges megperdülésénél.

- a *vonóerő-sebesség görbe meredeksége*: ha egy kerékpártengely megperdül, akkor bizonyos vontatómotor fordulatszám emelkedéskor a szóban forgó vontatómotor nyomatéka erősen csökken, akkor fennáll a lehetősége annak, hogy a kerékperdülés önmagától megszűnik. Ha tehát a vontatómotor nyomaték csökkenés kerékpárperdülésnél kicsi, akkor a kerékpártengely megperdülése folytatódhat. Más szavakkal, a 35. ábrán a nagy $\Delta Z/\Delta V$ érték kisebb kerékpárperdülési hajlamot jelez. Mivel az egyenirányítós hullámos áramú, soros vontatómotoros vontatójármű nagyon meredek vonóerő-sebesség jelleggörbével rendelkezik, ezért nagyon jó a tapadás kihasználása.

A 35. ábra alapján szemléletesen mutatkozik meg ez a tulajdonsága e járműtípusnak. A korabeli (1950.-es évek eleje), széles körben elfogadott Nyugat-európai vélekedés szerint az egyenirányítós mozdony sajátos módon egyesítette magában a klasszikus egyenáramú és az egyfázisú csökkentett frekvenciájú vontatójárművek előnyeit. Ugyanakkor meg kell említeni, hogy a korábbi jármű-



35. ábra: A különböző típusú vontatómotoros járművek természetes kerékkerületi vonóerő görbéje (Z =vonóerő, V =járműsebesség)

- 1=hullámos áramú soros motor
 2=egyfázisú, soros, kommutátoros motor 16 2/3 Hz-re
 3=egyfázisú, soros, kommutátoros motor 50 Hz-re
 $\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V_3$, továbbá $\Delta Z_1 > \Delta Z_2 > \Delta Z_3$

vekhez viszonyítva az egyenirányítós jármű bonyolultabb rendszerré vált. Az egyenirányítóval egy teljesen új berendezés jelent meg a járműn, amivel kapcsolatban sokan azt feltételezték, hogy nem vasútszerű. Ugyanakkor alapos, szívós és gyakran meglehetősen költséges fejlesztések révén a vasúti járműüzemre alkalmas berendezést sikerült megalkotni, mely a helyenként összetett felépítésű segédüzem ellátására, valamint a gyorsan változó külső hőmérséklet és terhelési viszonyok ellenére is megbízható és kis karbantartásigényű üzemet tudott biztosítani.

Kezdetben három különböző fajta egyenirányító berendezést alkalmaztak úgy, mint

1. ignitronok,
2. excitronok,
3. félvezető egyenirányítók, különösen a szilícium-alapú eszközök. E ponton megjegyezzük, hogy az egyenirányítós vontatójárművek megjelenése a főtranszformátor primer oldalán, azaz a tápláló hálózat oldalán felharmónikus áramok megjelenését eredményezte, melyek által okozott feszültségesés feszültség felharmónikusok kialakulását is okozták. A primer áram felharmónikus tartalma annál nagyobb, minél nagyobb az egyenirányító által előállított hullámosáram simításának mértéke. Gyakorlatilag az egyenirányított áram hullámossága csökkentésének mértékét a vontatómotorokra való tekintettel, valamint a simító fojtó tekercsel kapcsolatos ráfordítás (tömeg, térfogat és ár) közötti optimum határozza meg, mely a nagyfeszültségű és egyidejűleg kis áramú vontatást leszámítva legfeljebb 20...30% mértékű hullámosságot okoz.

Az egyenirányítós mozdony által okozott primer áram és feszültség felharmónikusok elfogadható határon belül tarthatók, ha a háromfázisú országos tápláló hálózat aszimmetrikus terhelése nem haladja meg az 5%-ot.

Mivel az egyfázisú, ipari periódusú villamos vontatási rendszer fejlesztésében az áttörést az egyenirányítós moz-

dony jelentette, az alábbiakban néhány mondatban elemezzük az egyenirányítók kifejlődésének főbb mozzanatait.

A forgó áramátalakítós mozdonyoknál jeleztük, hogy a nagy teljesítménytömegük gyakorlatilag nem tette lehetővé már a II. világháború után sem a nagyobb teljesítményű vontatójárművek építését. A motorvonati közlekedés igényeinek megfelelő főüzemi energiaátalakító berendezést forgó áramátalakító gépekből nem is sikerült kialakítani. Ezért csak mozgó szerkezeti elemeket nem tartalmazó átalakító berendezések jöhettek szóba, amelyekhez viszont csak új működési elvek segítségével lehetett eljutni. Ezek közül az elsők az ún. vákuumcsöves berendezések voltak. Itt a fizikai alapgondolat az ún. termikus elektronemisszió volt. Ezek alapelve az volt, hogy légmentes térben két elektródát helyeztek el egymással szemben. Az egyik elektróda anyagának ún. kilépési munkája nagy, azaz nagy energia szükséges ahhoz, hogy az anyagából az elektronok ki tudjanak lépni. Ez az anódelektróda, melyet nagy felületűre készítettek, hogy könnyen „össze tudja gyűjteni” az elektronokat és az áramvezetés közben a hőt jól leadhassa. A másik elektróda kis kilépési munkájú fém, melyet az elektronkibocsátás növelése érdekében közvetlenül vagy közvetlenül melegítettek. Ez a katód elektróda. Az elektronok normál üzemi állapotban csak a katódból léphetnek ki, így áram csak az anódtól a katód felé folyhat. Az ilyen módon felépített vákuumdióda egyenirányító eszköznek használható, azaz a vele sorba kapcsolt terhelésen csak egyenáram folyhat. Áram csak akkor folyhat az eszközön keresztül, ha az anódot a katódhoz képest pozitívabb feszültségre kapcsoljuk. Az eszközön átfolyó áram nagyságát a külső, terhelő áramkör ellenállása és az anód-katód közötti feszültségesés szabja meg. Ugyanakkor az átfolyó áram erősségének növekedésekor az anód és a katód közötti térben jelentősen megnövekszik az elektronok sűrűsége (ún. negatív tértöltés), ami gátolja az elektronok kilépését a katódból. Így a diódaán átfolyó áram és a rá jutó feszültség szorzata egyre növekvő veszteséget jelent, amit el kell vezetni. Emiatt a vákuumdiódákat erősáramú alkalmazásokban nem használták, mert az ún. belső ellenállásuk nagy volt és erősen függött az eszközön átfolyó áramtól.

Fentiek miatt a negatív tértöltés hatásának kiküszöbölésére gáztöltésű csöveket kezdtek el alkalmazni. A gáztöltésű diódákban az anód és a katód közötti teret kisnyomású ($10^{-1} \dots 10^{-2}$ N/m², azaz 10^{-6} - 10^{-7} bar nyomás) nemesgáz vagy higanygőz tölti ki.

Érdekességképpen megjegyezzük, hogy az első gáztöltésű csöves, higanygőz egyenirányító berendezésű vontatójárművet 1928.-ban helyezték üzembe, mely lényegében egy felsővezeték vizsgálo jármű volt.

A gáztöltésű diódákban a pozitív anódfeszültség hatására megindul az elektronok áramlása, a katódból kilépő elektronok a gázmolekulákat ionizálják. A gázok pozitív ionjai az anód és a katód közötti térben egyenletesen eloszolva az elektronok negatív tértöltését kiegyenlítik. Az anód és a katód közötti feszültségesés, azonban így sem csökkenthe-

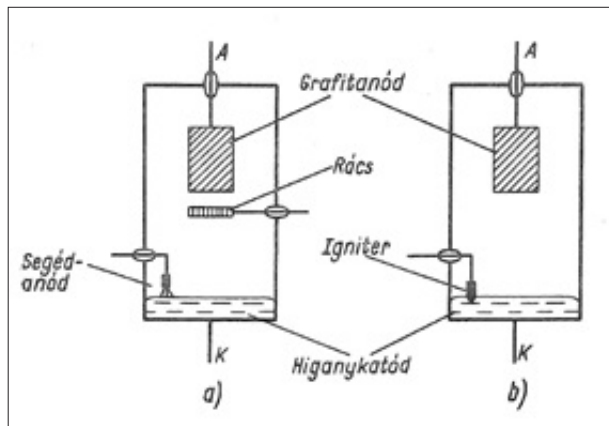
tő megközelítőleg 20...40 V alá, ezért a gáztöltésű elemek kielégítő hatásfoka csak akkor biztosítható, ha az áramkör üzemi feszültsége ennek többszöröse.

A vezérelhető (rácsvezérelt) gáztöltésű elemekben a katód előtt volt egy harmadik elektróda is. Ha erre a katódhoz képest pozitívabb feszültséget kapcsolnak, akkor befolyásolni lehetett az anódaáram megindulását, ekkor ugyanis a diódában lévő gáz ionizálódott. Ekkor mondták, hogy létrejött a begyűjtés. Ide vezethető vissza a későbbiekben a tirisztoroknál is alkalmazott ún. begyűjtés szakkifejezése. Az ilyen módon megindított áramvezetés csak akkor indult meg, ha az anódaáram nullára csökkent és az ionizált gáz semlegesítéséhez (a félvezetők elméletében használt terminológiával élve a gáz ionjai és elektronjai rekombinálnak) elegendő idő telt el. Ha ugyanis a rácsra a katódhoz negatívabb feszültséget kapcsolnak, akkor a rácsot körülvevő ionok a negatív feszültség hatását semlegesítették.

A gáztöltésű csövekben, diódákban az áramerősség növelését lényegében csak a katód elektronbocsátó képessége korlátozta. Azonban az izzókátódos gáztöltésű csövek árama az ún. katódrombolás jelensége miatt meglehetősen korlátozott volt. Ezért az erősáramú, gáztöltésű diódák katódját olyan anyagból kellett készíteni, amelyet a becsapódó ionok nem tudtak szétrombolni. Erre a célra a higany volt a legalkalmasabb, mert a gőze jól ionizálható volt, ezért a cső gáztöltésére tökéletesen megfelelt. A katódot tehát lényegében egy higanytócsa képezte, amelyet a saját becsapódó ionjai nem rongáltak szét. A szobahőmérsékleten folyékony higany jól emittált, ugyanakkor lötyögött, fröcskölt és cseppek alakjában lecsapódhatott akár az anódra is és könnyen zárlatot okozhatott (ez volt az ún. visszagyűjtés jelensége, amely lényegében a rövidzárlattal egyenértékű volt a tápláló hálózatra nézve).

A higanykatódos cső gázterében az áramvezetés ugyan úgy ment végbe, mint a gáztöltésű, izzó katódos csövekben. Az elektronokat az ún. katódfolt szolgáltatta, amely az eszközön átfolyó áram hőjének hatására keletkezett. A katódfoltban nagyon nagy, mintegy 40 A/mm² áramsűrűség alakult ki és a katódfolt hőmérséklete ekkor elérte a 300...400 C°-t. Még nagyobb áram esetén több katódfolt is kialakult, amelyek vándoroltak a higanytócsa felületén. Egy edényben lehetett több anód is, ilyen esetekben az ív vándorolt az anódok között. Az egyanódos egyenirányítók egyes típusaiban alkalmaztak segédanódokat is, ezekben az áramvezetés megindításához szükséges segédív állandóan égett, ezek voltak az excitronok. A legtöbb egyanódos egyenirányítóban az ívet periódusonként újragyűjtették, ezeket nevezték ignitronoknak.

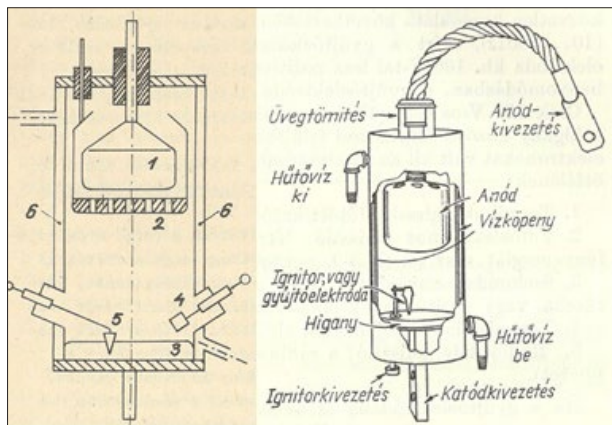
Az igniteres gyűjtés alapelve az volt, hogy a higanytócsa egy szigetetlen félvezetőrúd (A fejlődés érdekessége, hogy a félvezetők lényegében itt jelentek meg először az egyenirányító villamos vontatójárművek főüzemi egyenirányító berendezésében.), az igniter merült. Ha a higany és az igniter közé feszültséget kapcsolnak, akkor az érintkezési felület mentén villamos ív alakul ki. A szobahőmér-



36. ábra: Higanykatódú egyenirányító felépítése: a) rácsvezérelt excitron és b) ignitron szerkezete

sékleten folyékony halmazállapotú higany ugyanis nem nedvesítő folyadékként viselkedik, ezért szabad felülete az igniterrel történő érintkezésnél domború. Mivel az igniter anyagának fajlagos ellenállása jóval nagyobb, mint a higanyé, ezért az áram a legrövidebb úton igyekszik az igniterből a higanyba átlépni. Az átlépés helyén nagyon megnő az áramsűrűség, más szóval az effektív áramvezető keresztmetszet nagyon lecsökken. Ennek következtében nagy feszültségés jön létre az igniter és a higany közötti átlépési helyen, mely elegendő arra, hogy a felületeket elválasztó keskeny rést átüsse. Az átütés hatására kialakuló áram hozza létre a katódfoltot és így begyűjt az egyenirányító. Innen eredt az ignitron elnevezés. Az igniteres gyűjtés üzembiztos volt, az egyetlen problémája az volt, hogy az igniter a hő hatására lassan elpárolog és e fogyó alkatrész cseréje is meglehetősen nehézkes volt.

A higanykatódos egyenirányítók feszültségese az átfolyó árammal kissé növekvő, de jó közelítéssel állandó értékűnek vehető. Más szavakkal az eszköz belső ellenállása a terhelőáramtól nagymértékben függetlennek tekinthető. Kiegészítésképpen megjegyezzük, hogy az ún. nyugvó higanygőz átalakítók vasúti járműveken történő megjelenését jelentősen segítette, hogy ezeknek az eszközöknek a tulajdonságait az egyenáramú vontatási rendszereket üzemeltető vasúttársaságok már a saját egyenirányító alállomásaik üzeméből jól ismerték. Itt jegyezzük meg, hogy a két világháború között a Höllentalbahn vasútvonalra szállított ignitronos főüzemi egyenirányító berendezéseket alkalmazó vontatójárműveken többanódos egyenirányítókat alkalmaztak. A fentiekben megfogalmazottakat is figyelembe véve, ezek a vasúttüzemben végül is akkor nem váltak be, mert a jármű mozgása során a freccsenő és lengésbe jövő higanytócsa viszonylag gyakran okozott visszagyűjtést, mely végeredményben a főüzemi egyenirányító és a főtranszformátor szekunder tekercsének rövidzárlatát okozta. A visszagyűjtés szempontjából tovább rontotta a helyzetet az, hogy az egyenirányítók edényében több párhuzamosan kapcsolt anódot is alkalmaztak. Döntően ennek volt köszönhető, hogy a két világháború között



37. ábra: Egy ignitron edény elvi felépítése és az egyszerűsített térbeli ábrázolása

Németországban a Höllentalbahn vasútvonalon az egyenirányító mozdonyok nem bizonyultak kellően kielélt és megbízható műszaki megoldásnak.

Emiatt a Westinghouse Társaság a több anódos higanygőz egyenirányítókkal szerzett gyakorlati tapasztalatok alapján kezdett egyanódos berendezéseket építeni. A korábbi tapasztalatok alapján a váltakozófeszültség mindegyik félhullámának egyenirányítása egy másik edényben történt.

A 37. ábra szemlélteti egy ignitron edény elvi felépítését a főbb elemek feltüntetésével. A teljesen zárt légritkított edényben helyezték el az 1 jelű anódot, a 2 jelű rácsot, a 3 higanykatódot, a 4 segédanódot és az 5 ignitert. Az edény fala acéllemezről készült és a kettős fala közötti térben 6 hűtővíz keringett. A rács az esetleges visszagyújtás esetén az áram első félhulláma esetén akadályozta meg az ív újra gyulladását. A 4 anód pedig fenntartotta az egyenirányító terhelését kis árammal, amikor a mozdony nem fejtett ki vonóerőt és a fő anódon nem folyt terhelő áram. Az ábra jobb oldala egy axonometrikus nézet, ami az ignitron belső felépítését szemlélteti. Az igniterek néhány év üzemidő után használódtak el, ekkor az új igniterek behelyezése mellett a vákuum helyreállítását és az edény belső részeit felújítását is elvégezték.

Megjegyezzük, hogy az ignitronok üzeme egy bizonyos hőfokon alul nem indult meg. Ha az ignitron hőmérséklete ennél kevesebb volt, akkor néhány perces villamos előmelegítés vált szükségessé. A berendezés üzemi hőmérsékletének felső határát korlátozni kellett, erre szolgált a 37. ábrán 6-os számmal jelölt tér, melyben hűtővíz áramlott. A mozdony valamennyi ignitronjához a mérsékelt hűtési teljesítmény igény miatt elegendő volt egy hűtőberendezés.

A már említett excitron lényegében a többanódos egyenirányító berendezésekből alakult ki úgy, hogy az anódokat különálló edényekben helyezték el. Az ív gyújtása a fentebb már vázolt módon történt. A begyújtott ív a segédanód és a katód között állandóan égett. Ha a fő anód a megfelelő félhullámban a katódhoz képest pozitívabbá vált, az ív a fő

anód és a katód között is kialakult. Az excitronok léghűtősűek, de bonyolultabb szerkezetűek voltak, mert minden edényhez külön szellőzőre volt szükség. Emiatt tömegük és helyigényük is jóval nagyobb volt, ezért kevésbé tudtak elterjedni.

A higanygőz egyenirányítók feszültségese a gyakorlatban mintegy 15...20 V, veszteségük a mozdony terhelésétől függően 2-6% között volt.

Az eddigi kiegészítéseként az alábbi, 40. ábrán látjuk egy ignitron és egy excitron részletes szerkezeti felépítését.

A félvezető alapú egyenirányító berendezések az 1950-es évek második felére alakultak ki. A félvezető alapú áramirányító berendezések kifejlesztésének fizikai alapját a szilárd testek ún. sávmélete képezi. Ennek részletes tárgyalása túlmutat e cikk keretein, e helyen ebben a tekintetben a bőségesen rendelkezésre álló magyar és idegen nyelvű szakirodalomra utalunk. Mivel a félvezetők esetében a félvezetők kristályszerkezetének módosításával és befolyásolásával alakítják ki a csak a félvezetőkre jellemző áramvezetési mechanizmust, az ilyen egyenirányítókat a korabeli szakirodalom ún. száraz egyenirányítóknak nevezte. Kiegészítő megjegyzésként megemlíthetjük, hogy a higanygőz töltésű egyenirányítókat alkalmazó vontatójárműveket az 1. generációs, az erősáramú félvezető diódákat alkalmazó vontatójárműveket pedig 2. generációs egyenirányító vontatójárműveknek nevezhetjük. Egy későbbi, további fejlődési lépés volt a tirisztorokat is tartalmazó egyenirányító berendezéseket tartalmazó vontatójárművek, melyeket ilyen módon 3. generációs egyenirányító vontatójárműveknek is nevezhetünk.

A II. világháború utáni villamos vontatójármű fejlesztésnek nagyon fontos elemei voltak a villamos vontatójármű különböző erősáramú készülékeinek jelentős továbbfejlesztése is. E készülékek közül a legfontosabbak voltak

- az áramszedő,
- a főmegszakító,
- a villamos vontatómotorokra jutó feszültség változtatását lehetővé tevő összetett kapcsolókészülékek (kisfeszültségű oldali szabályozás, nagy feszültségű oldali szabályozás).

Az áramszedőnek a helyhez kötött energiaellátó berendezés és a mozgó vontatójármű között kell biztosítani az ívképződés, elpattanás nélküli csúszó áram átvezető kapcsolatot. Ebből következik, hogy már kezdettől fogva nagyon szigorú követelményeket fogalmaztak meg az áramszedőkkel szemben. Ezt tovább erősítette a II. világháború után az a tény, hogy a járművek sebességének és teljesítményének növelése még erősebben jelentkezett, ami a csúszási sebesség és a csúszó kapcsolaton átfolyó áram növekedését eredményezte. Nagyon fontos volt, hogy az áramszedő erőjátéka a felsővezeték ún. kemény pontjai alatt történő áthaladáskor kielégítő stabilitást biztosítson. A zúzmarra és a hó kezdettől fogva a csúszó áramszedés legnagyobb ellenségei voltak. Ezen túlmenően a vontatójármű, mint lengésképes járműdinamikai rendszer saját

erőjátéka pl. pályahibákon történő áthaladáskor szintén jelentősen befolyásolta az áramszedés minőségét. Az ún. ollós áramszedő szerkezet kellő hossz- és keresztirányú stabilitással rendelkezett és sarunyomóerő értéke nagymértékben független volt a felsővezeték függőleges helyzetétől.

Az áramszedők aerodinamikai tulajdonságainak vizsgálata szélcsatornában nagyon jelentősen járult hozzá ahhoz, hogy az ún. eredő sarunyomóerő sebességfüggése csökkenjen és ezzel egyidejűleg az áramszedő sarura ható erő fel lehessen használni a kis átmeneti ellenállású áramátvezetés további javítására.

Összességében elmondhatjuk, hogy a V43 sorozatú mozdonyral nagy darabszámban a MÁV villamos vontatási hálózatára érkező áramszedő szerkezet az alkalmazható sebesség tekintetében is nagyon jó és hosszú távon is alkalmazható típusnak bizonyult.

A V43 sorozatú mozdonyon alkalmazott áramszedő volt hosszú ideig a MÁV alapvető áramszedő típusa, mely megbízható és tartós konstrukciónak bizonyult az évtizedek során. A korábban 15 kV feszültségre méretezett áramszedőt illeszteni kellett a 25 kV névleges felsővezeték feszültségéhez (szigetelők, az áramszedő által elfoglalható tér).

A főmegszakító szintén a villamos vontatójármű fejlesztés kezdetétől fogva a legfontosabb készülékek közé tartozott, hiszen rajta keresztül lehet rákapcsolni a villamos vontatójárművet a felsővezetékre és onnan lekapcsolni, továbbá a vontatójármű berendezéseinek legnagyobb teljesítőképességű védelmi berendezése is a főmegszakító, mely számos más a jármű berendezései védelmi berendezéseinek ún. fedővédelméül is szolgált.

A mozdonyra felszerelt dbTF 30i 250 típusú sűrített levegős főmegszakító az áramszedőhöz hasonlóan nagyon jól bevált és az évtizedek során megbízható szerkezetnek bizonyult. Érdekességképpen megjegyezzük, hogy a főmegszakító szerkezet üzemállapotát az ún. „Be”, „Ki” és a „Tartó” segítségével lehetett vezérelni. A három tekercs közül egyedül a „Tartó” tekercs volt nyugvó áramú tekercs, amelyet tartós áramra méreteztek. Ez azért volt lényeges, mert a főmegszakító védelmi funkciói tekintetében három különböző lekapcsolási időt lehetett megvalósítani a főmegszakítóval. A leggyorsabb kikapcsolás akkor valósult meg, amikor a védelem közvetlenül a „Ki” tekercsre hatott, ennél egy kicsivel lassúbb, amikor a védelem a jármű vezérlési áramkörein keresztül hat a „Ki” tekercsre. A leghosszabb időben a leghosszabb pedig az volt, amikor a főmegszakító kikapcsolása a „Tartó” tekercs elejtésével vagy „söntölésével” történt.

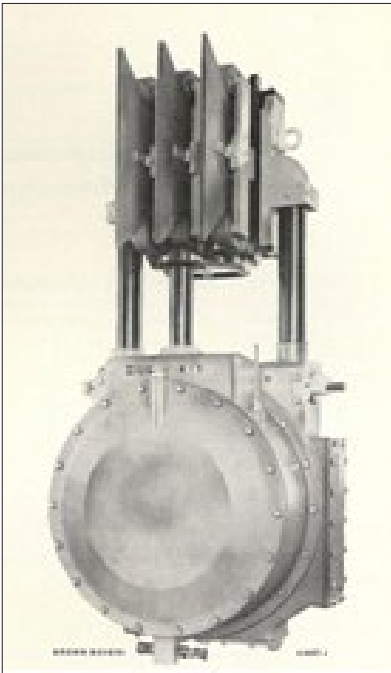
Összegzésképpen megjegyezzük, hogy a vákuumos főmegszakítók megjelenéséig ez a főmegszakító volt Európában az egyfázisú, váltakozófeszültségű villamos vontatójárművek egyik leggyakoribb, alapvető főmegszakító típusa.

Az egyfázisú, csökkentett frekvenciájú villamos vontatási rendszer járműveinek a vonóerő- és sebességsza-

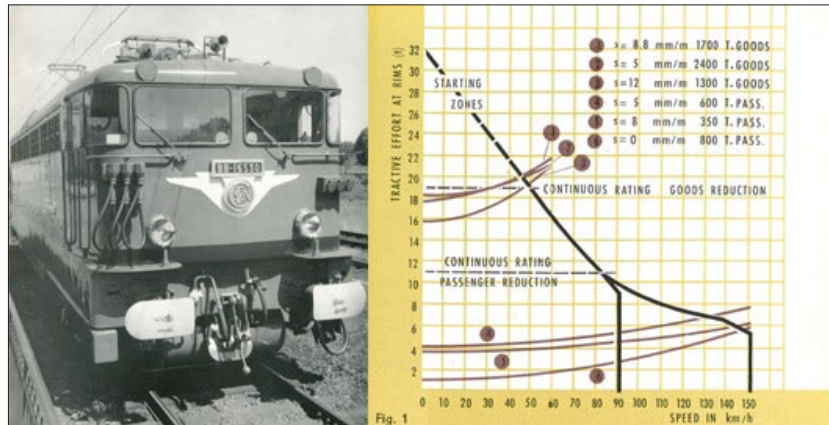
bályozása a vontatómotorokra jutó feszültség szabályozásával történt már a kezdetektől fogva. Mivel az 1. és 2. generációs egyenirányítós villamos vontatójárműveknél még szintén fokozatkapcsolóval történt a vontatómotorok feszültség szabályozása, ezért néhány szóban áttekintjük az alábbiakban a fokozatkapcsolók kifejlesztésének főbb mozzanatait. Az ignitronos egyenirányítós járműben az ignitron még alkalmas lett volna gyújtásszög vezérlésű egyenirányító kialakítására, de a félvezetőtechnika gyors fejlődésével erre végül is a villamos vontatásban nem került sor, mert 1958.-ban már feltalálták a GE-nél a tirisztort, mellyel az ASEA már az 1960.-as évek második felében (1967) megépítette az első tirisztoros főüzemi egyenirányítós villamos mozdonyt.

Kezdetben a főtranszformátor szekunder oldalán történt a vontatómotorok feszültség szabályozása. Az egyfázisú soros kommutátoros motorok maximális feszültsége 400...500 (600) V volt, ami a vontatómotorok teljesítményének további növelésével sem volt növelhető, ezért a szekunder oldalon történő szabályozás esetén egyre nagyobb áramokat kellett kapcsolni. Még 1931.-ben egy nehéz gyors- és személyvonati mozdony tervezése során beható vizsgálatokat végeztek a Brown-Boveri svájci vállalatnál a vontatómotorok feszültség szabályozási lehetőségeivel kapcsolatban és arra jutottak, hogy a technika akkori állása szerint a szekunder oldali szabályozás esetén ez több tonna tömegű kapcsolóberendezést eredményezett volna. Ennek következtében ekkor használtak először a nagy feszültségű oldali szabályozó tekercsű főtranszformátort és az ehhez tartozó fokozatkapcsolót, melynek névleges feszültsége 15 kV, névleges árama 250 A volt. A teljes tömege, figyelembe véve a megnövelt transzformátoredényt is mintegy 1200 kg volt. Ugyanakkor ez a szerkezeti megoldás a teljes transzformátor tömegének mintegy 4 tonnával történő csökkentését tette lehetővé a kis feszültségű oldali szabályozáshoz képest.

E nagyfeszültségű oldali fokozatkapcsoló továbbfejlesztett és korszerűsített változatát már 15 kV névleges feszültségre és 250 A névleges áramra méretezték. Összesen 28 fokozat kapcsolására volt alkalmas és a tömege megközelítőleg 670 kg volt. Az átkapcsoló kontaktorok sűrített levegős működtetésűek voltak, a fokozatkapcsoló hajtását pedig egy egyenáramú motor biztosította. A kisebb méretű fokozatkapcsoló, az átkapcsoló fojtótekercs elmaradása révén a jelentős tömegcsökkentés mellett a fokozatok számának 21-ről 28-ra történő növelését tette lehetővé. Ez a feszültség fokozatok finomabb kiosztása következtében a vonatindítás tekintetében számottevő javulást jelentett. Ennél a fokozatkapcsolónál a fokozatválasztó már kikerült a transzformátor edényből és egy könnyűféműből készült, jelentősen kisebb olajtöltetű fémházba került át. Ennél a konstrukciónál a fokozatválasztó, a terhelés átkapcsoló (a hazai szóhasználatban: teljesítménykontaktor) és a hajtás egy önálló szerelési egységet jelentett. Az előbbi kedvező tapasztalatok alapján került sor az egyfázisú, váltakozó fe-



38. ábra



39. ábra: A BB16500 vontatójármű és kerületi vonóerő görbéje

szükségű, ipari periódusú vontatási rendszer egyenirányító járművei számára a nagyfeszültségű oldali fokozatkapcsoló szerkezet kifejlesztésére.

A 38. ábrán látható fokozatkapcsoló névleges feszültsége már 25 kV, vizsgálati feszültsége 75 kV volt és ezt a szerkezetet már 50 Hz frekvenciájú egyfázisú váltakozóáramra méretezték. A fokozatkapcsoló névleges árama 400 A, teljes tömege 400 kg volt. A 25 kV névleges feszültségre történő méretezés értelemszerűen jelentősen növelte az üzemi feszültséget, emiatt növelni kellett a fokozati feszültséget annak érdekében, hogy a vontatómotorok jelleggörbéje számára a legkedvezőbb feszültségfokozat kiosztást lehessen megvalósítani. Ennek következtében a terhelés átkapcsolóknak akár 2000 V feszültséget is el kellett viselni.

A 38. ábrán látható fokozatkapcsolóval nyert igen kedvező tapasztalatok alapján a fokozatszámot tovább növelték 28-ról 32-re. Ez a fokozatkapcsoló már kezdettől fogva a nagyon nehéz üzemi kapcsolóberendezések közé tartozott, melyekkel naponta akár 20000 kapcsolási műveletet is végre kellett hajtani. A fokozatkapcsoló megtervezésénél alapvető szempont volt a nagy élettartam és a kis karbantartásigény mellett az alkatrészekhez történő könnyű hozzáférhetőség továbbá a nagyfokú üzemi igénytelenség az egyéb környezeti feltételekre, mint például a környezeti hőmérséklet, a levegő nedvességtartalma és esetleges szennyezettsége.

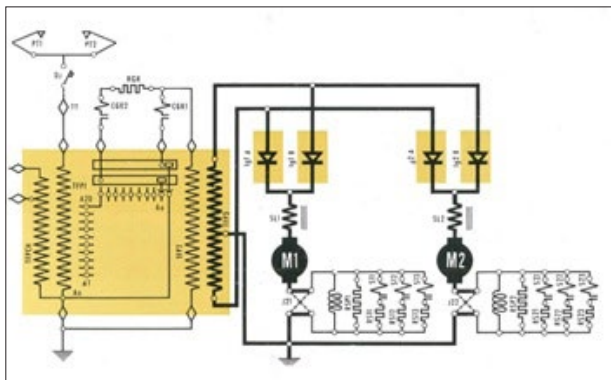
A 38. ábrán látható fokozatkapcsoló az üzemben alapvetően megbízható, strapabíró és strapabíró szerkezetnek bizonyult.

9. Az első nagy sorozatban gyártott, egyenirányító villamos mozdony

A II. világháború után a fentebb már részletezett fejlesztések nyomán az első egyenirányító mozdonyt a Portugál Államvasutak számára építették (CP2500-as sorozat), tehát érdekes módon nem is normál nyomtávra, 1956-57.-ben, összesen 15 darabot.

Nem sokkal ezután gyártotta a francia MTE vállalat az SNCF számára a BB16000 sorozatú villamos mozdonyt, melyből 1958 és 1963. között 62 db készült. Ezt követően, illetve ezzel részben párhuzamosan a Valenciennes-Thionville vonalon végzett kísérletek tapasztalatai alapján az SNCF megrendelést adott az Alstom vállalatnak ignitronos egyenirányító, egyfázisú, váltakozó feszültségű, ipari periódusú árammal táplált villamos mozdonyok szállítására. Lényegében ez volt az első igazán nagy sorozatban gyártott, egyenirányító mozdony, mely új utat nyitott a villamos vontatójármű fejlesztésben.

A 39. ábra mutatja a mozdony nézeti képét és a kerületi vonóerő görbéjét különböző menetellenállású vonatok esetére. A mozdony érdekessége a monomotoros hajtású, fokozatváltós forgóváz, mely a jármű univerzális jellegű felhasználását tette lehetővé. A mozdonyból 1958. és 1964. között 294 darab készült. A jármű végsebessége a fokozatváltó tehervonati pozíciójában 90 km/h, személyvonati pozíciójában 150 km/h volt. A mozdonyosorozattal számos próbát hajtottak végre. Ezek egyike során 1958. július 30-án a Briey-Audun-le-Roman vasútvonalon, melyen számos helyen 10 ‰-es emelkedő és 500 m sugarú pályáívek vannak, az egyik mozdony 1805 t tömegű vonatot továbbított. A vonal nehéz szakaszán 2 alkalommal is végeztek vo-



40. ábra: BB16500 sorozatú villamos mozdony főáramköri elvi kapcsolási vázlat

PT 1-2 áramszedők DJ főmegszakító
 TT tető átvezető szigetelés TFP 1 autotranszformátor
 TFPCH segédüzemi és fűtési szekunder tekercs CCR 1-2 fokozatkapcsoló kontaktorok
 RGR fokozatkapcsoló átkapcsoló ellenállás TPF 2-3 transzformátor szekunder szabályzó és vontatási szekunder tekercs
 IG főüzemi egyenirányítók SL 1-2 simító-fojtó tekercsek
 M 1-2 vontatómotorok (monomotoros hajtás, fokozatváltós forgóváz)
 RS mezőgyengítő ellenállások
 S mezőgyengítő kontaktorok

natindítási próbát a mozdonyal. 1958. december 30-án a BB16510 pályaszámú mozdony egy 2410 t tömegű vonatot továbbított a Paris-Lille vonalon 45 km/h sebességgel. Ezen a vonalon 9,7, 7,4 és 6 %-os mértékadó emelkedőjű szakaszok is voltak.

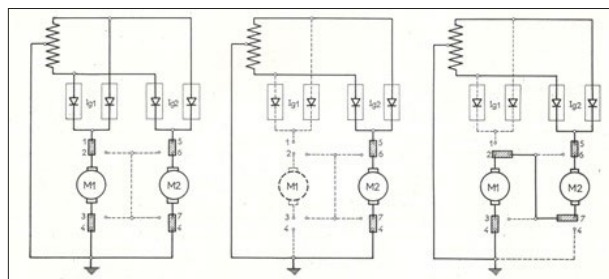
Néhány nappal később ugyanez a mozdony egy 620 t tömegű gyorsvonattal a Paris és Lille közötti 252 km távolságot 1 óra 57 perc alatt tette meg, ami megfelelt 129 km/h átlagsebességnek.

A jármű valamennyi próba során gyakorlatilag kifogástalanul viselkedett. A mozdony névleges teljesítménye 3500 LE (2576 kW) volt. Feltűnő, hogy a mozdony szolgálati tömege mindössze 67 t volt, ennek ellenére a fokozatváltó tehervonati pozíciójában maximálisan mintegy 320 kN indító vonóerőt volt képes kifejteni a mozdony. Ez 0,48 indítási erőkapcsolati tényezőnek felelt meg, ami mai szemmel nézve is tiszteletet parancsoló érték.

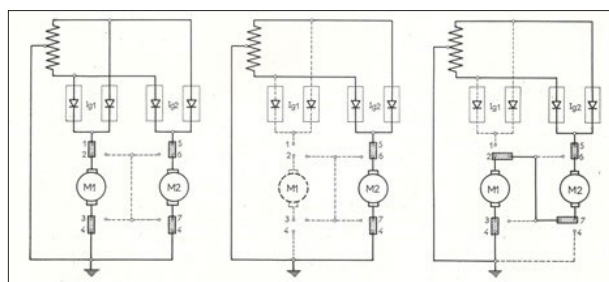
A 40. ábra szemlélteti a jármű főáramkörét. A jármű áramszedője Faiveley A.M. típusú volt, a főmegszakítóját és fokozatkapcsolóját B.B.C. licenz alapján a belga C.E.M. vállalat gyártotta. A fokozatkapcsolót, mint ahogy ez az ábrából is kitűnik, nagyfeszültségű oldali szabályozásra alakították ki és 20 fokozattal rendelkezett. A jármű vonóerő- és sebességszabályozására ezen túlmenően még 3 söntfokozatot alkalmaztak.

A jármű többfajta főüzemi egyenirányító berendezéssel készült, még pedig

- a mozdonyok egy részét 4 darab S.W. gyártmányú SFT 10 típusú ignitronos,
- számos mozdonyt 4 darab S.W. gyártmányú SFT 12 típusú ignitronos és



41. ábra: Az ignitronos főüzemi egyenirányító és a vontatómotorok különböző lehetséges kapcsolási módjai



42. ábra: A BB16500 sorozatú villamos mozdony segédüzemi elvi kapcsolási vázlat

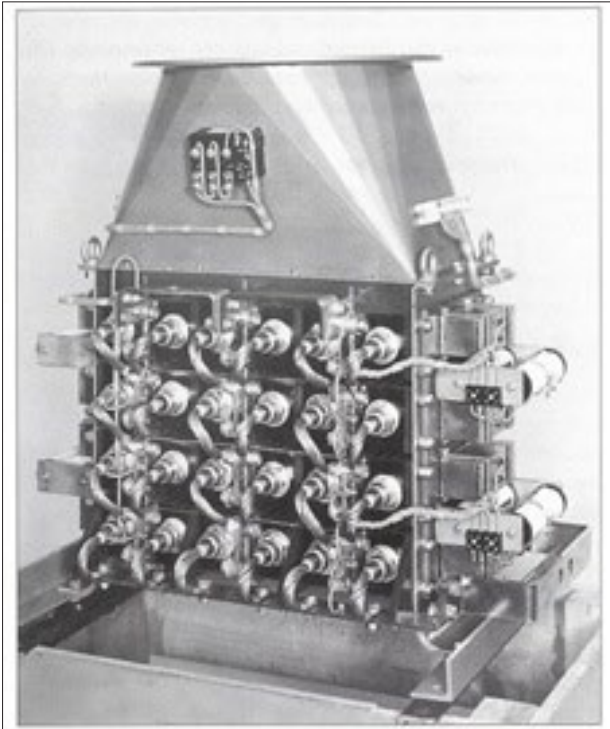
TFA segédüzemi transzformátor QLA túláram relé
 SFV 1-2, SFCP 1-2 segédüzemi simító-fojító tekercsek HVT 1-2, HPC szakaszoló
 VSV 1-2, VSCP segédüzemi hídkapcsolású egyenirányítók
 VTM 1-2 Vontatómotor szellőztetők CP légsűrítő
 VTF transzformátor hűtőventilátor PE vízszivattyú
 PH olajszivattyú CAPH olajszivattyú motor segédfázis kondenzátor
 CCPH, CCCP segédüzemi biztosítékok C 101-192, 105-CPE 1-2 segédüzemi kontaktorok
 HC 105 csökkentett szellőzés kapcsoló

• végül több mozdonyt 4 darab Jeumont gyártmányú ex-citronos egyenirányítóval szereltek fel.

A 41. ábrán látható, hogy a különböző, lehetséges főüzemi energiaátalakító berendezések meghibásodásakor, hogyan lehetett korlátozott teljesítménnyel az üzemet fenntartani és a hibás részt kiiktatni. Az ábrán balról-jobbra haladva látjuk a bal oldali ábrán a normál üzemet, a középső ábrán egy forgóváz vontatómotorjának és a forgóvázhoz tartozó egyenirányítónak a kiiktatását. A jobb oldali ábra mutatja azt az esetet, amikor az egyik forgóvázhoz tartozó főüzemi egyenirányítót kiiktatták és a két forgóváz vontatómotorjait sorba kötve a működőképes főüzemi egyenirányítóra kapcsolták.

A jármű vontatómotorjai lemezelt állórészű, hullámosáramú soros motorok voltak.

A 42. ábrán látjuk a jármű segédüzemi berendezésének kapcsolási vázlatát. A segédüzemi rendszer kialakításánál úgy igyekeztek a segédüzemi gépeket csoportosítani, hogy minél kevesebb, különböző típusú hajtómotorral megvalósítható legyen a gépek hajtása. Ennek alapján egy szellőztető egység szolgált a főtranszformátor, a simító-fojító tekercsek, segédüzemi transzformátor, fokozatkapcsoló át-



43. ábra: A világon az első szilíciumdiódákkal felszerelt főüzemi egyenirányító

kapcsoló ellenállás hűtési teljesítmény igényének biztosítására. Kettő szellőztető egység szolgált a vontatómotorok és az ignitronok vízhűtői hűtőteljesítményének biztosítására, továbbá egy segédüzemi motor a légsűrítő hajtására.

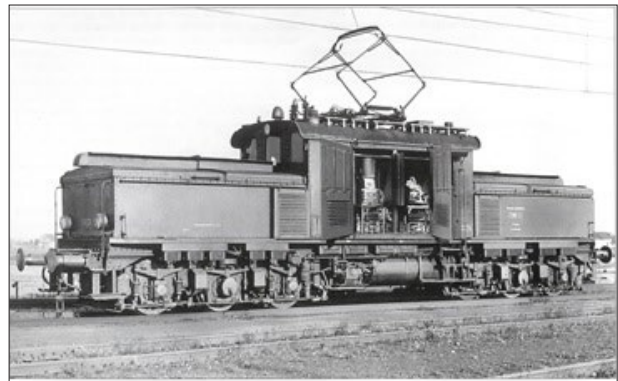
A segédüzemi egyenirányítót szelén alapú félvezetőkkel kialakított egyfázisú, hídkapcsolással alakították ki.

10. Az első szilícium-diódás főüzemi egyenirányítós villamos vontatójármű

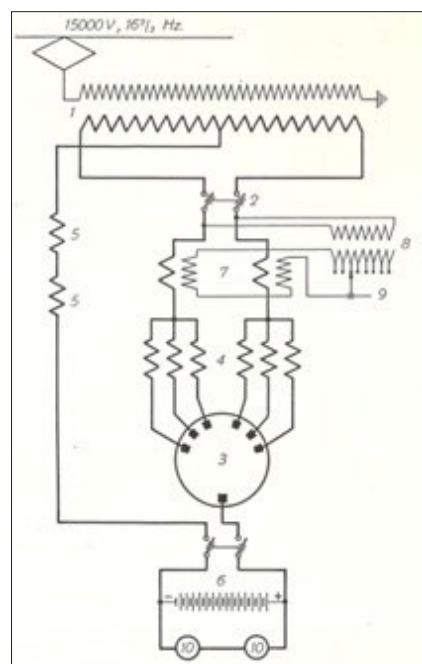
Az első „száraz” főüzemi, félvezető elemeket egy német E80 001 pályaszámú villamos mozdonyba építettek be, először germánium- később szilícium alapú egyenirányítókat a túlhaladottá vált higanygőz egyenirányító helyett.

A Német Birodalmi Vasút 1929.-ben 5 villamos hajtású tolatómozdonyt rendelt, melyeknek energiaellátását a felsővezetékéről és a járműbe épített akkumulátorokból biztosították. Így ez a jármű volt az egyik legkorábbi hibrid, villamos hajtású vontatójármű Európában. A mozdonyokat a csak részlegesen villamosított müncheni rendező pályaudvaron a nem villamosított vágányokon, vágányrészekben történő tolatási feladatok ellátására helyezték üzembe.

Az akkumulátorról táplált üzem lehetővé tételére a mozdonyokba egyenáramú vontatómotorokat építettek. Felsővezetékéről táplált üzemből két higanygőz egyenirányítón keresztül táplálták a vontatómotorokat, az egyenirányítók a vontatás mellett párhuzamosan az akkumulátor töltés feladatát is ellátták.

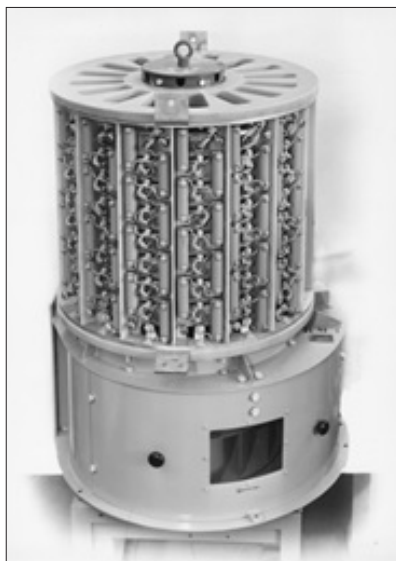


44. ábra: Az E80 sorozatú szilícium egyenirányítós villamos mozdony



45. ábra: Az 1929.-ben rendelt villamos hajtású tolatómozdony főáramköri elvi kapcsolási vázlatja
 1 Főtranszformátor 6 Akkumulátor
 2 Túláramvédelem 7 Kiegészítő transzformátor
 3 Egyenirányító 8 Fokozatkapcsolós transzformátor
 4 Párhuzamosan kapcsolt fojtótekercsek 9 Fokozatkapcsoló
 5 Simitó fojtó tekercsek 10 Vontatómotorok

A mozdonyok tömege 91 t volt, ezért hattengelyes mozdonyként lehetett csak a járművet megépíteni. A jármű tengelyeit 4 marokcsapágyas felfüggesztésű vontatómotor hajtotta, így a jármű (A1A)(A1A) tengelyrendezésű lett. A nehéz mozdonyok indító vonóereje 130 kN volt, a legnagyobb sebességük pedig a felhasználási célnak megfelelően 40 km/h volt. A mozdonyokat a Siemens-Schuckert és a Krauss-Maffei vállalatok szállították, az akkumulátorokat pedig az Akkumulatorenfabrik AG Berlin vállalat gyártotta. Már 1938.-ban az E80 001 pályaszámú vontatójárműbe egy, akkor még alig ismert és kipróbált szelén alapú félvezetőből épített főüzemi egyenirányítót építettek, hogy ezzel az új rendszerrel kellő tapasztalatokat lehessen sze-



46. ábra: BB12000 sorozatú mozdony szilícium egyenirányítója



47. ábra: BB30004 pályaszámú, kétáramnemű villamos mozdony

rezni. A II. világháború eseményei miatt a kísérletek félbe maradtak és így nem vezettek eredményre.

A II. világháború után, 1957.-ben a mozdonyba a Siemens-Schuckert vállalat egy 800 kW teljesítményű, lég-hűtéses szilícium egyenirányítót épített be. A járművet München-Pasing vontatási telepre állomásították és ott próbálták ki. Itt a mozdony 1961.-ig volt üzemben, így ezt a mozdonyt tekinthetjük a világon az első korszerű, szilícium alapú félvezetőkből álló, egyenirányító berendezéssel felszerelt, egyfázisú váltakozó áramú mozdonyoknak.

A szilícium egyenirányító a termikus szilárdságra továbbá a kis helyigényre vonatkozó előzetes követelményeket minden tekintetben felülmúlta. Közvetlenül a fenti gyakorlati próbák után három E 320 sorozatú több áramnemű mozdonyt építettek szilícium egyenirányítóval és hullámos áramú vontatómotorokkal. A járműveket Saarbrücken vontatási telephez állomásították és a Franciaország felé történő határátmenetben üzemeltették.

A fentiekkel közel egyidejűleg a svájci 4-áramnemű RAe TEE-motorvonatokba építésükkor 1959.-ben Siemens gyártmányú szilícium egyenirányítókat építettek be, noha előzőleg higanygőz egyenirányítót terveztek beépíteni.

Érdekességképpen megjegyezzük, hogy a BB12000 sorozatú villamos mozdonyból összesen 148 darabot gyártottak, amiből 20 darabot építettek Luxemburg (CFL) számára. Ebből az utolsó 15 mozdonyt már szilícium egyenirányítóval szállítottak le, melynek felépítését az 46. ábra mutatja.

Összefoglalásképpen rögzíthetjük, hogy a higanygőz egyenirányítókat a félvezetős áramirányító berendezések kifejlesztése előtt széles körben lehetett alkalmazni. Ugyanakkor valamennyi ilyen higanygőz egyenirányítós rendszernek hátránya volt a viszonylag jelentős veszteség, amely jelentős hűtési teljesítményigényt jelentett, továbbá

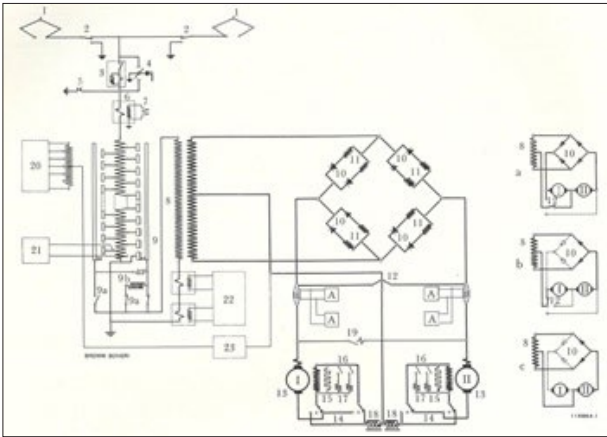
viszonylag nagy beépítési térfogatot. A félvezetős áramirányító berendezések, ahogy a korban említették, a száraz egyenirányítók rövid időn belül kiszorították a higanygőz egyenirányítós berendezéseket a villamos vontatójárművekről.

A higanygőz egyenirányítók ezzel együtt jelentősen hozzájárultak elsősorban az egyfázisú, ipari periódusú villamos vontatási rendszer II. világháború utáni tovább- és az egyenirányítós mozdony kifejlesztéséhez. Döntően járultak hozzá ahhoz is, hogy az egyenirányítós mozdony kiváló vonóerő kifejtési jellemzőit a gyakorlatban is sikerült igazolni. Ezzel az egyfázisú, ipari periódusú, nagyvasúti villamos vontatási rendszerben az ún. „forgó áramátalakító korszak” lezárása után lényegében új utakra vezette a rendszer járműveinek fejlesztését. Ugyanakkor a rohamosan fejlődő félvezető technika megjelenésével a higanygőz egyenirányítók is túlhaladottá váltak és a járműtechnika fejlődése szempontjából átmeneti megoldásnak voltak tekinthetők.

Összességében a félvezető technika segítségével véglegessé vált az egyenirányítós mozdony diadala.

II. Az első, egységes felépítésű, többáramnemű villamos mozdonyok

A Basel-Réding vasútvonal villamosítása során az SNCF 4 darab kétáramnemű mozdonyt rendelt a 25 kV, 50 Hz és 15 kV 16 2/3 Hz egyfázisú, váltakozóáramú vontatási rendszerekre. Ebből kettő mozdony a BB-20103 és BB-20104 (korábban BB-30003 és BB-30004) számos újdonságot hozott a villamos és járműszerkezeti berendezésben is. Ezek közül a BB-20104 pályaszámú mozdonyt mutatja az 47. ábra. Ezt a mozdonyt 105 km/h végsebességgel tehervonati szolgálatra építették.



48. ábra: Kétáramnemű villamos mozdony (SNCF BB20104)
Főáramkör: 10=főüzemi egyenirányító (egy anódos higanygőz egyenirányító)

- a=alapkapsolás normál üzemre 11=anód fojtótekercesk
- b=alapkapsolás egy egyenirányító egységgel történő üzemre, a 12=átkapsoló szakaszoló a főüzemi egyenirányítók és két motor sorba van kapcsolva vontatómotorok üzemen kívül helyezésére
- c=alapkapsolás egy vontatómotorral történő üzemre 13=I és II vontatómotorok
- 1=áramszedők 14=irányváltó kapcsolók
- 2=áramszedő földelő szakaszolóval 15=tartósan bekapcsolt mezőgyengítő ellenállások
- 3=sűrített levegős főmegszakító 16=mezőgyengítő kontaktorok
- 4=földelő kapcsolók 17=mezőgyengítő ellenállások
- 5=túlfeszültség levezető 18=simító fojtótekerces
- 6=primer áramváltó 19=kontaktor egyenirányító előmelegítéshez
- 7=primer túláramvédelmi relé 20=segédüzemek
- 8=transzformátor 21=vonatfűtés
- 9=nagyfeszültségű fokozatkapsoló 22=főüzemi egyenirányító védelem
- 9a=fokozatkapsoló fokozatválasztó kapcsoló 23=földzárlat védelem
- 9b=átkapsoló ellenállás

A járműszerkezeti rész érdekessége az egymotoros forgóváz volt, melytől a tapadás jobb kihasználását várták a tengelyenkénti egyedi hajtáshoz viszonyítva. A vonóerő kifejtés során fellépő kerékterhelés változások minimálisra csökkentésére a vonóerőt a forgóvázakról a járműszerkevény alvázára mélyen bekötött rudak továbbították. Olyan szöveget alkalmaztak a vonórudak beépítésénél, hogy a forgóvázra ható vonóerő támadáspontja a sín járósíkjába esett.

A vontatójármű villamos berendezése is számos újdonságot és elgondolást tartalmazott. A vontatómotorok feszültségét a nagyfeszültségű oldalon egy először alkalmazott 32 fokozatú fokozatkapsolóval oldották meg, melyet egy légmotor hajtott és egy

takarékkapcsolású szabályozó transzformátor megcsapolásait kapcsolta. Az ilyen módon szabályozott feszültséget alakította át a főtranszformátor a vontatómotoroknak megfelelő értékre. A főtranszformátor radiális lemezelésű volt és egy közös edényben helyezték el a fokozatkapsolóval.

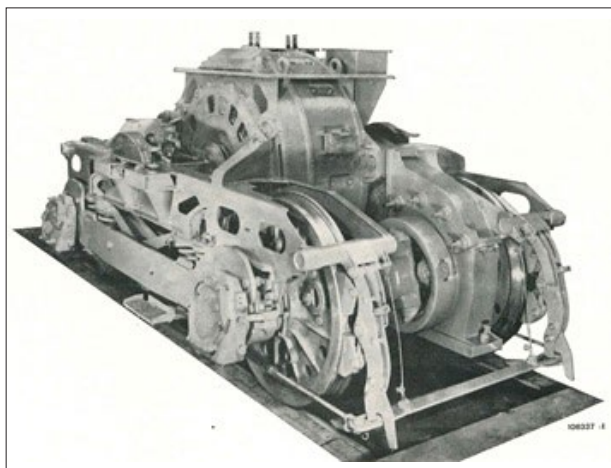
A 15 kV, 16 2/3 Hz-es üzemben mintegy 20%-kal kisebb teljesítmény ellenére a transzformátor egy azonos teljesítményű 50 Hz-es táplálású transzformátorhoz viszonyítva valamelyest nehezebb volt. A transzformátor olajhűtő,

valamint a simító fojtó szellőzőjét egy közös ventilátor a hozzá tartozó közös motorral látta el megfelelő hűtőteljesítménnyel.

A főtranszformátor kisfeszültségű tekercséhez 8 darab, léghűtéses, egyanódos Grätz-kapcsolású excitront kapcsoltak, melyek kettesével egy párhuzamosan kapcsolt edényt képeztek. Ezenkívül még egy ekvipotenciális kapcsolatot is kialakítottak a transzformátor szekunder tekeres középpontja és a vontatómotorok közös pontja között. A 8 darab egyenirányítót kettős blokkonként egymás alatt helyezték el, melyeket egy alul elhelyezett axiális ventilátor látott el hűtőlevegővel.

Mindkét 16 pólusú vontatómotor tekintélyes méretű volt és a végrehajtott vonóerő kifejtési próbák tapasztalatai alapján jelentősen túlterhelhetőnek bizonyult. E próbák során időnként az indítóáram elérte az állandó áram 2,6-szeresét is. Ezeket az áramokat mind a villamos berendezés, mind az egyenirányítók károsodás nélkül elviselték. Kettő léghűtéses, azonos vastesten elhelyezett simító fojtó tekeres csökkentette az egyenirányított áram hullámosságát a vontatómotorok számára elfogadható értékre. A segédüzemeket szelén egyenirányítón keresztül táplált egyenáramú motorok hajtották, amelyeket a szabályozó transzformátor külön kivezetéseire kapcsolták az 50, illetve a 16 2/3 Hz-es üzemnek megfelelően. Ezzel a mozdonnyal végrehajtott kísérleteket nagy érdeklődés kísérte. A járművel homokolás nélkül 1 km/h sebességnél 0,5, 20 km/h-nál 0,46 és 30 km/h-nál 0,44 erőkapcsolati tényező értéket lehetett mérni. Ilyen nagy adhéziós vonóerő értékeknél sajátos rezgési jelenségi lépett fel, a forgóváz egyik tengelye megperdülése kezdetekor a másik tengellyel való mechanikai kapcsolat miatt gyakorlatilag azonnal megszűnt a kerékperdülés, majd kicsit később újra fellépett. Így egy hosszan tartó rezgési jelenség lépett fel, amíg a külső hatások csökkentették a vonóerőt. Megjegyezzük, hogy ez a jelenség ma is ismert a korszerű, kúszás szabályozott hajtású, nehéz tehervonati üzemet lebonyolító vasúttársaságok mozdonyainak nagy vonóerőt igénylő, jellemzően nagyon-nagy tehervonatok indítása üzemállapotaiban. Ez a jelenség csak rendkívül nagy vonóerőknél lépett fel és további intézkedésekkel, mint rugalmas kisfogaskerék és a lehető legmerekvebb kerékpártengely alkalmazásával eredményesen lehetett kezelni. Ezzel a mozdonnyal üzemszerűen nagyobb erőkapcsolati tényezők elérése vált lehetővé, mint tengelyenkénti egyedi hajtás esetén.

Így a BB-20104 pályaszámú mozdony 10 % emelkedőn 1850 t tömegű vonat továbbítására alkalmas volt, míg a 12000 sorozatú mozdony 1650 tonnát volt „csak” képes továbbítani. Érdekes módon az 1850 t tömegű vonat továbbítása ekkora emelkedőn éppen a 120 t tömegű Co'Co' tengelyrendezésű 14100 sorozatú átalakító mozdony vontatási teljesítőképességével egyezett meg. Próbaképpen a BB-20104 mozdonnyal 10 %-es emelkedőn 1950 t tömegű vonatot indítottak és a mozdony a vonatot 60 km/h-ra gyorsította fel. A próbák legfontosabb tapasztalata az



49. ábra: A BB-20104 pályaszámú mozdony forgóváza
(Hullámos áramú soros motor, órás teljesítmény 1900 kW, 850 V
feszültség és 585 1/min fordulatszámon)

volt, hogy ez a 84,7 t tömegű négytengelyes mozdony lényegében ugyanazt a vontatási programot teljesítette, mint a 120 t tömegű átalakított, hattengelyes mozdony. Mindezek azt mutatták, hogy az egyenirányítós mozdonyok valamennyi tulajdonságainak kihasználásával és a járműszerkezeti részek továbbfejlesztésével figyelemreméltó eredmények érhetők el.

A BB-20103 pályaszámú azonos felépítésű mozdonyt 160 km/h végsebességnek megfelelő tengelyhajtás áttétellel alakították ki. Ez a mozdony sík pályán 1000 t tömegű gyorsvonatot volt képes 140 km/h sebességgel, 10 %-os emelkedőn 90 km/h sebességgel továbbítani és ezt később kísérletképpen már szilícium egyenirányítós kialakításúra építették át.

A villamos vontatású vasútvonalak fokozott térnyerése azt is eredményezte, hogy a különböző villamos vontatási rendszerű vasútvonalak számos helyen és egyre több ponton érintkeztek egymással. Ráadásul ezek nemcsak az országhatárokon, hanem azokon belül is kialakultak, hiszen voltak olyan vasúttársaságok, amelyek többnyire történelmi okokból többfajta villamos vontatási rendszert is kénytelenek voltak üzemeltetni. Mindezen folyamatok hatására egyre fokozódó igény merült a többáramnemű villamos vontatójárművek iránt. Azonos áramnem esetén (például egyfázisú váltakozó-áram esetén, 15 kV, 16 2/3 Hz, 25 kV, 50 Hz egyfázisú váltakozó feszültség vagy egyenáram esetén 1,5 illetve 3 kV egyenfeszültség) a többáramnemű vontatójármű megvalósítása viszonylag egyszerűen megoldható volt, mivel alapvetően ugyanazt a villamos berendezést lehetett használni.

Amikor azonban eltérő áramnemre kellett a jármű villamos berendezését kialakítani, mégpedig mindegyik vontatási nem esetén azonos vontatási teljesítőképességgel, akkor kiegészítő villamos berendezések beépítése volt elkerülhetetlenül szükséges. Ami a főáramköröket érinti alapvetően két megoldás adódott: a) hagyományos

egyenáramú berendezés indító ellenállásokkal és egy „mozgó alállomás”, azaz transzformátor megcsapolások és egyenirányító berendezés nélkül.

Váltakozó-áramú üzemben a feszültség szabályozás az egyenáram vezérlése segítségével és az indító ellenállásokkal történt, ahol az állandó egyenfeszültséget bizonyos üzemállapotokban az egyenirányító berendezésről vették. Ez a megoldás eredményezte a legkisebb többlet berendezést, de az volt a hátránya, hogy a váltakozó áram esetén szokásos veszteségmentes fordulatszám-szabályozást a transzformátor megcsapolásain keresztül nem alkalmazta.

b) hagyományos egyenáramú berendezés és váltakozó áramú vezérléssel, azaz fokozatkapcsolós transzformátor vagy kontaktoros feszültség szabályozás utána kapcsolt egyenirányító, melyre a már szabályozott feszültséget kapcsolják. Ezt a többlet ráfordítással járó megoldást, akkor kezdték el alkalmazni, amikor a többáramnemű vontatójárműveknél a váltakozó feszültségen történő üzem került túlsúlyba.

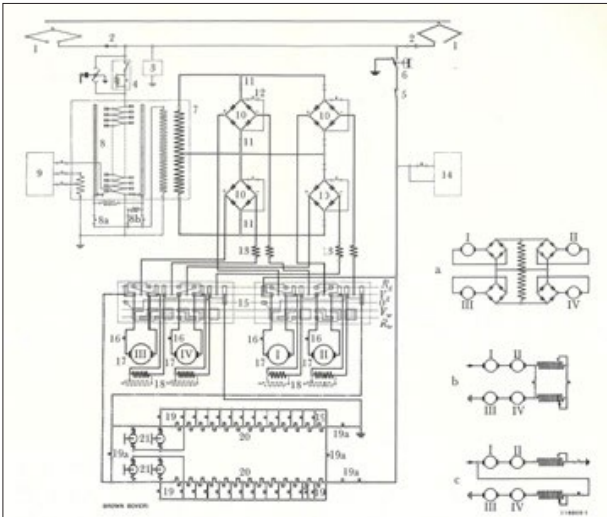
Mindkét változat esetén természetesen a vontatómotorok hullámosáramú soros motorok voltak, melyeknél a simító fojtó tekercs a vontatómotor kialakításától függő mértékben, de szükséges volt.

Elvileg egy harmadik lehetőség volt az egyfázisú soros kommutátoros motor alkalmazása, mely elé a vontatási nemtől függő vezérlés szükséges volt. Mivel 50 Hz tápláló frekvencia esetén legfeljebb néhány száz volt feszültséget lehetett kapcsolni a motorra, ezért 3000 V egyenfeszültség esetén viszonylag nagy számú vontatómotort kellett volna állandóan sorba kapcsolni. Ez számos hátránnyal járt, így ez egyáltalán nem tudott elterjedni.

A segédüzemi berendezések energia ellátására az egyik legcélszerűbb megoldás a háromfázisú aszinkron motoros hajtás volt, bár ennek nehézségeit az SNCF számára gyártott Oerlikon villamos mozdony esetén egy kissé már elemeztük (ld. a 26. ábra alatti bekezdés). Ebben az esetben a háromfázisú váltakozó áramot egy egyenáram-háromfázisú váltakozóáram átalakító szolgáltatva, melynek hajtómotorját egyenfeszültségű üzemben közvetlenül a felsővezetékéről, váltakozó feszültségű üzemben egy egyenirányítón keresztül táplálták. Erre a célra a főüzemi egyenirányító is alkalmazható volt, ha a feszültsége állandó volt (fenti a) eset), azaz nem szabályozott, és az egyenáramú vezérlést váltakozó feszültségű üzemben is alkalmazták. Az ilyen átalakítók tömege és térfogata azonban meglehetősen tekintélyes volt.

A többáramnemű járműveknél rendszerválasztó kapcsolókat is alkalmaztak, melyek arra szolgáltak, hogy adott tápláló áramnem esetén mindig a helyes kapcsolások jöjjenek létre és a mozdonyvezető esetlegesen téves utasításai gyakorlatilag kizártak legyenek, illetve ne juthassanak érvényre.

Egy további probléma volt az áramszedés kérdése, ugyanis a különböző vasúttársaságok eltérő úrszelvény, illetve szerkesztési szelvény továbbá a felsővezetékre vo-



50. ábra: Három áramnemű villamos mozdony (SBB Ae 4/6 III 10851)
Főáramkörök:

- a=alapkapsolás váltakozó áramú üzemre 11=selejtező szakaszoló a főüzemi egyenirányítóhoz
- b=alapkapsolás egyenáramú üzemre (soros kapsolás) 12=rövidrezáró a főüzemi egyenirányítóhoz (a főüzemi egyenirányító kiiktatásához)
- c=alapkapsolás egyenáramú üzemre (párhuzamos kapsolás)
- 13=simító fojtó tekercsek
- 1=áramszedő 14=vonatfűtés és segédüzemek (egyenáram)
- 2=áramszedő leválasztó szakaszoló 15=irányváltó- és rendszer átkapcsoló kapcsoló, állásai:
R g = hátra irány, egyenáram
V g =előre irány, egyenáram
0=semleges állás
V W =előre irány, váltakozó-áram
R W =hátra irány, váltakozó-áram
- 3=rendszer vizsgáló berendezés 16=motor kontaktorok
- 4=főmegszakító 16 2/3 és 50 Hz-re 17=vontatómotorok I...IV
- 5=egyenáramú főmegszakító, 1500 V feszültség 18=tartósan bekapcsolt mezőgyengítő ellenállás
- 6=rendszer leválasztó kapcsoló 19=egyenáramú bütykös kapcsolómű
- 7=transzformátor 19a=csoport kapcsoló elemek
- 8=nagyfeszültségű fokozatkapcsoló 20=indító ellenállások
8a=terhelés alatti fokozatválasztó a nagyfeszültségű fokozatkapcsolóhoz
- 21=szellőztető ventilátorok az indító ellenállásokhoz
8b=átkapcsoló ellenállás
- 9=vonatfűtés és segédüzemek (váltakozó-áramú üzem)
- 10=főüzemi egyenirányító

natkozó előírásokkal rendelkeztek, ezért figyelembe kellett venni, hogy egy több áramnemű járművet akár négy áramszedővel is el kellett látni, amelyeknél mindegyik egy másik vontatási rendszerhez illetőleg más vasúttársasághoz tartozott.

A több áramnemű járművek a különböző áramnemekre minden esetben többlet tömeget és árat is jelentettek, amelyek a megfogalmazott követelményektől függően nem voltak figyelmen kívül hagyhatók.

A fentiekkel közel egyidőben 1957.-ben helyezték üzembe az SBB Ee 3/3 II sorozatú, 16501/2. pályaszámú kétáramnemű tolató mozdonyát a 15 kV, 16 2/3 Hz és 25 kV, 50 Hz tápláló áramnemű vonalakra. A jármű fő ada-

itai a következők voltak:

- órás teljesítmény a motortengelyen 710 LE (520 kW)
- az órás teljesítményhez tartozó sebesség 26,5 km/h
- kerékkerületi órás vonóerő 7100 kg (H70 kN)
- maximális kerékkerületi indító vonóerő 13800 kg (H138 kN)
- legnagyobb sebesség 45 km/h
- össztömeg 45 t.

A járműveket a Svájc és Franciaország közötti határátmenetben használták döntően Basel térségében. Három különböző változatban építették (BBC, MFO (Oerlikon), SAAS (Sécheron)). Végül a legutóbbi változathoz 9 darabot építettek az SNCF számára.

Ebből az időszakból az SBB három áramnemű Ae 4/6 III 10851 pályaszámú villamos mozdonya említendő még meg, melyet eredetileg 1941.-ben, a világon elsőként épített gázturbinás mozdonyként helyeztek üzembe. Az eredeti gázturbinás jármű az időközben lényegében teljesen villamosított svájci vasúthálózaton már nem volt gazdaságosan üzemben tartható, ezért a mozdonyt átalakították. A mozdonyt így három áramnemű 15 kV, 16 2/3 Hz, 25 kV, 50 Hz és 1,5 kV egyenáramú üzemre alakították át. Az átalakítás során megtartották a teljes járműszerkezetet, a hordművet, a futóművet és a vontatómotorokat. A korábban a gázturbinás gépcsoport fogadására kialakított alappereket megtartották, de arra az új villamos berendezést helyezték, melyek

- váltakozóáramú üzemben: 32 fokozatú, nagyfeszültségű oldali fokozatkapcsoló, szilícium egyenirányító, mely négy darab kettő szekrényben elhelyezett, Grätz- kapcsolású egységből állt, melyek mindegyike egy-egy vontatómotort táplált. Természetesen itt kaptak helyet még a simító fojtó tekercsek is.

- egyenáramú üzemben: indító ellenállások, melyeket a helytakarékos, lapát alakú ellenállásokból alakítottak ki és a hozzátartozó ventilátorok és a bütykös kapcsolómű.

A rendszerválasztó kapcsolóval lehetett a megfelelő vontatási áramköröket kiválasztani.

Tekintettel arra, hogy a mozdonyok többnyire váltakozóáramú üzemben közlekedtek, egy saját váltakozóáramú vezérlést alakítottak ki. 25 kV, 50 Hz rendszerű üzem esetén a fokozatkapcsolót csak a 22. fokozatig lehetett felkapcsolni, hogy a vontatómotorok feszültsége ne haladjon meg a névleges értéküket. Az önszellőzésű vontatómotorokat a korábbi gázturbinás mozdonyból változatlanul megtartották.

A két áramszedő közül az egyik az egyenáramú, a másik a váltakozóáramú (15, illetve 25 kV) üzemre szolgált. Egy rendszer leválasztó kapcsoló szolgált arra, hogy váltakozóáramú üzemben az egyenáramú bemenetet leföldelje.

A 180 V feszültségű egyenárammal ellátott segédüzemeket váltakozóáramú üzemben egy külön szilícium egyenirányító táplálta, míg egyenáramú üzemben az energia ellátásukat egy 1500 V/180 V feszültségű átalakító gépcsoport biztosította. A rendelkezésre álló források alapján



51. ábra: A kétáramnemű villamos motorvonat Bolzano állomáson 1997.-ben

valószínűleg ez a jármű volt a világ első három áramnemű vontatójárműve, továbbá Svájcban ekkor alkalmaztak először szilícium főüzemi egyenirányítót vontatási feladatokra.

A jármű főbb adatai a következők voltak:

Tápláló áramnemek 15 kV 16 2/3 Hz, 25 kV, 50 Hz és

1,5 kV egyenáram

Órás teljesítmény a motortengelyen 2400 LE (1766 kW)

Az ehhez tartozó sebesség 79 km/h

Órás kerületi vonóerő 7850 kg ($\approx 78,5$ kN)

Maximális indító vonóerő 14700 kg (≈ 147 kN)

Legnagyobb sebesség 110 km/h

A villamos berendezés tömege kb. 40 t

Az össztömeg kb. 85 t.

Két áramnemű olasz villamos motorvonat ALe840+-

Le840 sorozat

A motorvonatok egy normál 3000 V egyenfeszültségű üzemre kialakított Bo'Bo' motorkocsiból és egy vezérlő kocsiból álltak, melybe egy egyenirányító berendezést is beépítettek. E berendezés lehetővé tette a 3300 V, 16 2/3 Hz háromfázisú váltakozóáramú üzemet is.

A motorkocsi egy 1030 LE (760 kW) órás teljesítményű egyenáramú üzemre készült villamos berendezéssel rendelkezett. A vezérlőkocsi padlója alá építettek be egy energiaátalakító berendezést, mely a főkapcsolóból, a száraz 545 kVA látszólagos teljesítményű transzformátorból, háromfázisú Grätz kapcsolású egyenirányítóból és a tetőn elhelyezett áramszedőből állt. A levett egyenirányított feszültség 3000 V volt, melyet a fűtési csatláson keresztül vezettek a motorkocsiba. A berendezést úgy méretezték,

hogy még egy harmadik kocsit is tudott továbbítani. Ilyen három részes egységek közlekedtek távvezérléses üzemben.

Szakmai életút

Kiss Csaba 1977. szeptember 7-én született Celldömölkön. Itt járt a Gáyer Gyula Általános Iskolába 1984. és 1992. között. Középiskolai tanulmányait Szombathelyen a Savaria Közlekedésgépészeti Szakközépiskolában végezte 1992. és 1996. között, ahol vasúti vontató és vontatott-járműszerelő szakképesítést szerzett.

1996.-ban az Országos Szakmai Tanulmányi Versenyen első helyezést ért el a szakmacsoportjában.

1996. és 2001. között a BME Közlekedésmérnöki Karán vasútgépész mérnök diplomát szerzett. 2001. és 2004. között posztgraduális képzésben vett részt a Kandó Kálmán multidiszciplináris Iskola keretében. Eközben 2004. október-október között oklevelet szerzett.

Középfokú német és angol nyelvvizsgával rendelkezik.

2004. szeptember 1.-től a MÁV Zrt.-nél dolgozik. Először Budapest-Ferencvárosban mérnök-gyakornokként, majd a szakvizsgák letétele után járműfenntartási reszortként.

2005. október 1.-től a Vasúti Mérnöki és Mérésügyi Szolgáltató Központ Vasútfejlesztési Osztályán dolgozott, majd 2007. március 1.-től ugyanezen szervezeti egység Mérnöki Szolgáltatások osztályán 2014. év végéig.

A különböző szervezeti átalakítások után 2015. január 1.-től a MÁV Zrt.-n belül a pályafenntartási szakterület gépészeti, gépesítési kérdésekkel foglalkozó osztályán dolgozik.

2005. óta a BME Vasúti Járművek Tanszék később a Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszéken végez kutatásokat a szilárdsági méretezés (elsősorban a forgattyústengely vonatkozásában) továbbá a vontatójárművek energiaátalakító berendezései területén és az ezzel összefüggő tárgyakban gyakorlatot vezet és előadásokat tart.

Időről-időre jelennek meg publikációi a Vasútgépészet szakfolyóiratban, a BME Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszék által szervezett nemzetközi konferenciák kiadványaiban.

Gyakran tart előadásokat a Közlekedéstudományi Egyesület által szervezett járműtechnikai témájú konferenciáin is.