
TRANSFORMADOREA: ZERBITZARI ISILA

Martxel Ensunza

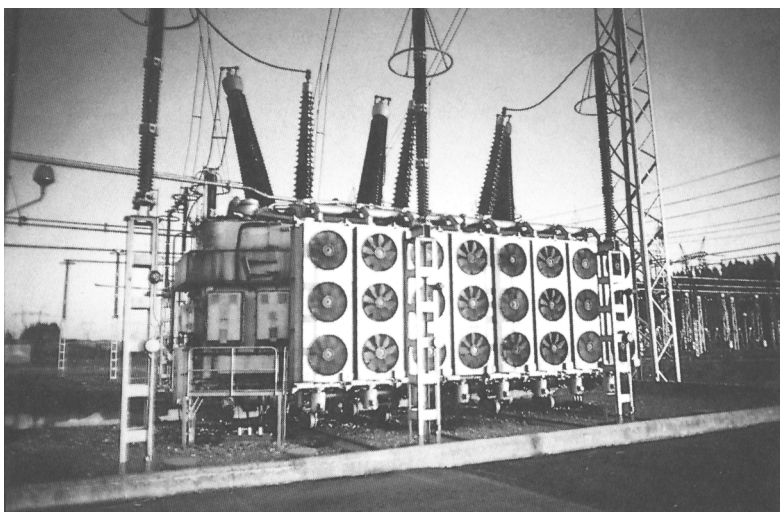
Orain dela mende bat, makina isil honek energia elektrikoaren banaketarako aukera eman zuen. Gaur eguneko bizitzaren iharduera asko beraren menpekoak diren arren, teknologiaren heroi anonimoetarikoa izateari darraio.

AZKEN ehun urteotako zibilizazioa eratu duen iraultza teknologikoa, komunikabide, garraio eta energia elektrikoaren arloan lorturiko funtsezko aurrerapenetatik sortu zen. Komunikabide eta garraioetan erdie-tsitako asmakizunak, hala nola, telefonoa, telebis-ta, automobila eta hegazkina, ohizko gauzak ditugu eguneroko bizitzan. Aitzitik, energia elektrikoaren behin-betiko erabilpena bermatu digun aparatu honi ez diogu jaramonik egin, gure bizimoduan sekulako eragina duen arren. Higitzen ez den tresna da, isila, sotoetan ezkatututa edo zutoinetan kokatuta dagoena.

Transformadoreaz ari gara; XIX. mendearen amaieran zorrozkiro garaturiko makinaz. Transformadorea funtsezko osagaia dugu hornikuntza elektrikorako sareetan. Era errazean azaldurik, intentsitate txikiko eta tentsio handiko korrontea, intentsitate handiko eta tentsio txikiko korronte bihur dezake (eta alderantziz), ia energiari galdu gabe. Bihurketa hau garrantzitsua da, zeren, ten-



Elektronika-praktiketan erabilitako elikadura-transformadorea. 220-127/12 volt. Dimentsioak: luzera: 45 mm; zabalera: 32 mm; altuera: 40 mm. Pisua: 190 g.



tzioak zenbat eta handiagoak izan, energia elektrikoaren transmisioaren etekina hainbat eta hobea bait dugu; baina sorkuntza eta erabilpenari dago-kienez, egokiagoak dira tentsio txikiak. Transformadorerik ez balego, sorgailuen eta erabiltzaileen arteko distantziak laburtu egin beharko lirateke; etxe eta industria askok beren zentrala beharko lukete eta elektrizitatea ez litzateke energi mota eroso izango.

Hornikuntza elektrikorako sarean betetzen duen funtzioaz gainera, transformadorea, elektrizitatea darabilten objektu askotarako osagai integra-la dugu. Mahai-lanpara, pila-kargagailu, jostailu eta telebista-aparatuek, kasurako, transformado-reak dauzkate tentsioa emendatu edo beheratu ahal izateko. Dituen aplikazioetan, transformado-

Gatikako azpiestazioko transformadore eraistaille trifasi-koa. 380.000/220.000 volt, 400.000 kVA. Pisua: 268.000 kg.

rearen magnitudea aldakorra da, beraren tamaina ilar batena zein 500 tonako tramankuluarena izan daitekeelarik. Artikulu honetan, energi sareetako transformadoreak aztertuko ditugu, baina transformadore elektrikoaren eginkizunaren funtsa berbera da, dituen tamainak edo aplikazioak dituela.

Michael Faraday fisikari ingelesak aurkitu zuen transformadorearen oinarritzko funtzionamendua 1831. urtean, elektrizitateari buruzko ikerlanak garatu zituen bitartean. 50 urte geroago, gaur eguneko aparatuen funtsezko elementuak zeuzkan transformadore praktikoaren agerpenak, jaiotzen ari zen argiztapen elektrikorako industria irauli zuen. Mende berria heldutakoan, korrante alternozko hornikuntza elektrikoa erabat onartua izan zen, transformadore energia elektrikoaren transmisio eta banaketarako gakoa izan zelarik.

Hala ere, transformadorearen historia ez zen 1900. urtean amaitu. Gaur egunekoek, mende-hasierakoekin alderaturik, 500 aldiz handiagoak diren potentziak eta 15 aldiz handiagoak diren tentsioak onar ditzakete; potentzi unitateko pisua 10 aldiz txikiagoa dugu, etekinak %99 gainditu ohi duelarik. Aurrerapen hauek, ikerkuntza teorikoaren eta injinerutzaren arteko lotura adierazten digute, zeren, transformadorearen funtzionamendua zuzentzen duten fenomenoak argitu eta ustiatu bait zituzten.

Faradayren ikerlanak, Hans Christian Oersted fisikari daniarraren lanetan oinarritu ziren. Beronek, 1820. urtean frogatu zuenez, material eroalean zeharreko korrantearen zirkulazioak eremu magnetikoa sortertzatzen du. Oersted-en aurkikuntzak itzelezko garrantzia ukan zuen, elektrizitatea eta magnetismoa elkarren arteko harremanik gabeko indar desberdinak zirela uste zen eta.

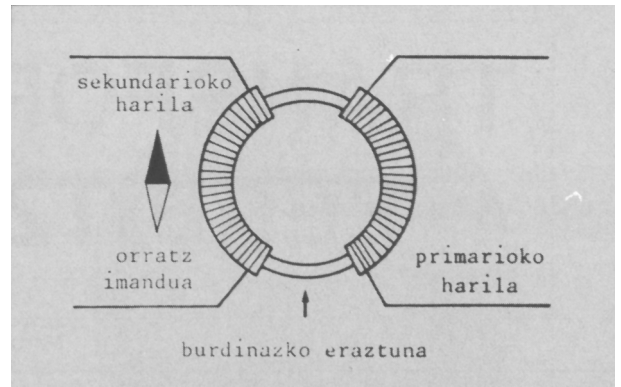
Oersted-en esperimendua honetan zetzan: orratz imandua higikor baten gainean eta meridiano magnetikoaren norabidean horizontalki paraturiko kobrezko haritiko korranterik ez dagoenean, orratzak hariarekiko paralelo dirau. Aitzitik, haritiko korranterik dagoenean, orratza higitu egiten da, korrantea zenbat eta handiagoa izan, hariarekiko orratzaren posizioa hainbat eta perpendikularragoa delarik. Beraz, korrante elektrikoari eremu magnetikoa dagokiola frogatu zuen, elektrizitatearen eta magnetismoaren arteko mendetako banapena gainditurik.

Aurkikuntza hau txiripazkoa izan zela baieztatu da inoiz, ikasleekiko praktikak burutzeko zegoen mahai gainean ahazturiko iparrorratzari esker. Egia izan daiteke, baina, hau bezain egiazkoa da, ezen, Oersted urte askotan ibili zela elektrizitatearen eta magnetismoaren arteko harremanak aurkitu nahian; erabat konbentziturik bait zegoen. Filosofia germaniarrak garaturiko naturari buruzko teoriak, Kant eta Schelling-enek batez ere, sekulako eragina ukan zuten Oersted-engan. Garai hartako *Dialektik der Natur* deritzonak baieztatu zuenez, materia, indar desberdinen arteko jokoaren menpekoa zen; indar hauek elkartrukagarriak ziren, eta zenbait baldintza beterik, batzuk beren aurkako bihur zitezkeen.

Gauzak horrela, korrante elektrikoak eremu magnetikoa sortertzatzen bazezakeen, berau ere, korrante elektrikoaren sortertzalea izan zitekeelako ustea arrazoizkoa zen.

Hamaika urte geroago, 1831. ean, Michael Faradayk, indukzioaren legeak formulatu zituen. Oerstedek korrante elektrikoaren efektu magnetikoa aurkitu zuelarik, Faradayk, alderantzizko norantzan eriden zuen harreman berbera, hots, eremu magnetikoaren efektu elektrikoa, elektrizitatearen eta magnetismoaren arteko elkarrekintza liluragarri honi indukzio elektromagnetikoa deritzolarik.

Eroaletiko korrantea induzitu ahal izateko, eremu magnetikoak aldakorra izan behar zuela frogatu zuen. Faradayk, eremua sortertzatzen duen zirkuitu elektrikoa itxiz eta irekiz aldarazten zuen eremuaren magnitudea; efektu berbera, denborarekiko norantza aldakorreko korranteaz lor zitezkeen.



M. Faraday-k erabilgarriko indukziozko lehen harila.

Ezaugarriak: Burdinazko eraztun beta: Diametroa: 15,25 cm.

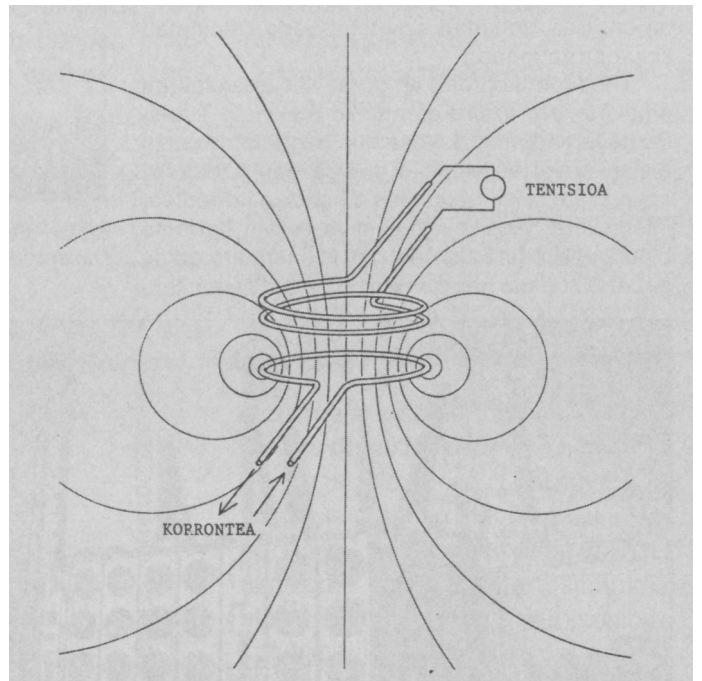
Lodiera: 2,25 cm.

Primarioko hariaren luzera: 22 m.

Sekundarioko hariaren luzera: 18,25 m.

Esperimentu honetatik abiatutik, altzairuzko imaneko poloen aurretik higi erazten zuen harilean induzituriko korranteen sorkuntzan aritu zen. Nolanahi ere, Faraday ez zen fenomenoaren deskribapen eta azalpenean gelditu; fenomenoaren zuzenki interpretatu eta formulatu zuen: printzipioa berbera zen kasu guztietan, hau da, itxirik dagoen zirkuituan, indar elektroeragilea induzituko da, fluxu magnetikoa, zirkuituari elkarturikoa, aldakorra baldin bada, eta induzituriko i.e.e.aren balioa, aldakuntza gertatzen deneko abiadurarekiko proportzionala dugu.

Indukzioa, indar-lerroen bidez ulertuko dugu hobeto, eremu magnetikoaren norabidea eta magnitudea deskribatu ahal izateko erabiltzen dugun konbentzio hau Faradayk berak asmatua delarik.



INDAR-LERROAK:

korrantea zirkulatzen ari deneko espirari (primarioari) darion eremu magnetikoa deskribatzen dute. Eremuan sarturiko hariak (sekundarioak) lerroak ebakiko ditu. Eremu magnetikoa aldakorra bada, primarioa korrante alternoaz elikatuz, lortuko dena, sekundarioan tentsioa induzituko da. Indukzio elektromagnetikoa transformadorearen funtzionamenduaren funtsa dugu.

Eremu magnetiko aldakorrera beste espira independente bat sartzean, beronetan potentzial-diferentzia edo tentsioa induzituko da, zeina, espirak besarkaturiko indar-lerroen kopuruaren denbora-unitateko aldaketarekiko proportzionala den. Espirak bi bira baditu, indukzioa, berauetako bakoitzean sortuko da, tentsioa bikoitza delarik; hiru bira izatekotan, tentsio hirukoitza etab. (Tentsioa, kargak bultzatzen dituen presioaren bidez adieraz daiteke; korrontea, karga-fluxuaren erritmoa da. Magnitude bi hauen arteko biderkadura —tentsioa, voltetan, bider korrontea, amperetan,— potentzia elektrikoa dugu, wattetan).

Transformadorean, eremu magnetikoak sorterazitako korrontek elikaturiko espirari primarioa deritzo eta eremua ebakitzen duenari sekundarioa. Primarioaren eta sekundarioaren indukzioa elkarrekikoa dugu, hau da, sekundariotiko korrontearen zirkulazioak, tentsioa induzituko du primarioan, beronek ere, era berean, sekundarioan, tentsioa induzituko duelarik. Gainera, primarioko espirek beren indar-lerroak besarkatzen dituztenez, bertan ere induzi dezakete tentsioa. Autoindukzio-prozesu hau, sekundarioan ere azaltzen da.

Harilen arteko elkarrekiko indukzioa eta haril bakoitzean azalduko autoindukzioa transformadorearen funtzionamendurako funtsak ditugu. Hornikuntza elektrikorako transformadoreak bere eginkizuna ondo bete dezan, harilek ia ezin hobeki akoplatu egon beharko dute, bakoitzak autoindukzio handikoa izan behar duelarik. Hots, primarioak besarkaturiko ia indar-lerro guztiak sekundarioak ere besarkatu behar ditu, eta gainera, korrontearen magnitudearekiko aldaketaren batek ekoiztiko indar-lerroen kopuruak handia izan behar du. Baldintza biak, primarioko eta sekundarioko harilak burdinazko nukleo baten inguruan harilkatuz bete daitezke, Faradayk berak honela egin zuen. Burdinak, gutxi gorabehera, 10.000z biderkatzen du sorturiko indar-lerroen kopurua, propietate honi iragazkortasuna deritzolarik. Halaber, lerroak mugatzen ditu, primarioko eta sekundarioko harilak fisikoki bereizirik egon arren, akoplamendu magnetiko egokia ukan dezaten.

Transformadore idealean, indar-lerro guztiek zeharkatzen dituzte haril bietako espirak. Dena dela, aldatzen ari den eremu magnetikoak tentsio berbera sorterazten du harileko espira bakoitzean. Hortaz, harilean induzituriko tentsio osoa, espirakopuru osoarekiko proportzionala dugu. Galerarik ez badago, sekundarioko potentzia erabilgarria primarioa elikatzen duen potentziaren berdina da; beste modu batez esatearren, tentsioaren eta intentsitatearen arteko biderkadurak balio berdina du primarioan eta sekundarioan. Honelatan, bada, intentsitate biek, tentsioekiko alderantziz proportzionalak izan behar dute, eta, beraz, haril bien espira-kopuruaren arteko erlazioarekiko alderantziz proportzionalak. (Potentziaren adierazpenak zuzenak dira, intentsitateak eta tentsioak fasean baldin badaude; autoindukzioa handia bada, desfaturiko korrontek arbuigarriak ditugu).

Zer esanik ez, transformadore ideala ez da oraindik asmatua izan, baina, praktikan oso hurbilketa onak burutuak izan dira. Burdinazko nukleoak, hornikuntza elektrikorako transformadoreen funtsezko osagaiak dira, eta kobrea, duen erresistentzia elektriko txikiari esker, harilketarako aukeraturiko materiala dugu.

Transformadore ideala zuzentzen duten erlazioak ez zeuden batere argi hasierako ikertzaileei dagokienez. Erabilitako muntaiak ez ziren idealak, eta akoplamendu txarreko harilez eta burdina desegokiz azalduko elkarrekiko indukzio eta autoindukzioarekiko fenomenoek transformadorearen jokabide konplexu eta misteriosua sorterazten zuten.

Faradayk, beste ikertzaile batzuek berrartuko zituztelakoan, bertan behera utzi zituen eginiko ikerlanak. Hala ere, zenbait hamarkada iragan ziren mota honetako aurkikuntzarekiko aplikaziorik eriden gabe. Burdinazko nukleo baten ingu-

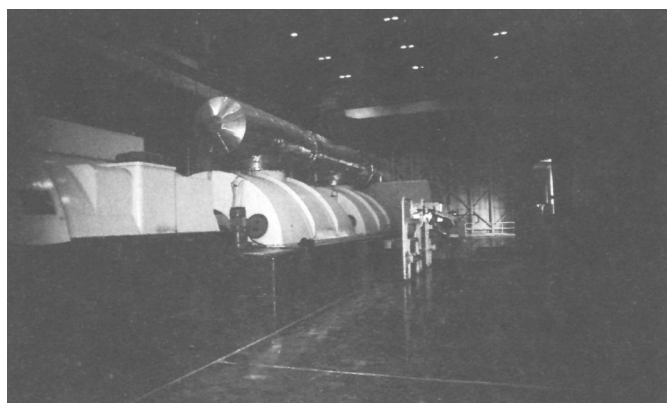
ruan harilkaturiko hari bakarreko induktoreez buruturiko saiakuntzek, ikertzaileak liluratu egin zituzten, harila elikatzen zuen korrontea etetean txinpartak sortzeko zeukaten ahalmena zela eta. Fenomeno hau ikertu zuten jakintsuen artean, aipagarria dugu Joseph Henry, indukzio-unitateari bere izena esleitu zitzaiolarik.

Esperimentazio-denboraldi honetan, solido metalikoetan zeharreko korrontearen zirkulazioa zela eta, energia alferrikaltzen zela ohartu ziren. Foucault izeneko korronte parasito hauek gutxitzeko, transformadorearen indar-lerro magnetikoen norabide elkartzuterekiko eroale ez ziren nukleoak eraiki zituzten, berauek, burdin kablezko bilgu bakarrak baliatuz lortu zituztela.

Denboraldi honetako lana, korronte-iturri modura pilak erabiliz burutu zen, beharrezkoa zen korronte-aldaketa erdiesteko zirkuitu primarioa irekiz eta itxiz. 1860-1870 tartean, dinamoa-aren agerpenak —Faradayren aurrean ere oinarrituriko sorgailu elektrikoa— era orokorrean erabiltzeko modukoa zen korronte alternoa baliatu ahal izateko aukera eman zuen.

Luzeegia litzateke artikulu hau, sorgailu elektrikoen historia azalduko bagenu; dena dela, datu batzuk ezagutzeak ez digu kalterik egingo:

- * 1831
Sorgailu homopolarren prototipoak (M. Faraday) eta korronte alternoko lehen biraketa-sorgailu (H. Pixii).
- * 1832-1845
Lehen sorgailuen ondoz-ondoko hobekuntzak (Dal Negro, Pixii, Ritchie, Watking, Saxton, Clarke, Von Ettingshausen, Poggendorf eta Nollet).
- * 1845
Elektroimanen erabilpena kitzikapenean (C. Wheatstone eta Cookes).
- * 1865
Iman iraunkordun sorgailu laguntzailea kitzikapen-zirkuituan (H. Wilde).
- * 1867
Autokitzikapena (W. Siemens eta C. Wheatstone).
- * 1871
Eratzun-induzitua (Z.T. Gramme)
- * 1872
Danbor-induzitua (F. Von Hefner-Altener)



Santurtziko zentral termikoan dauden alternadore/turbina talde bieta-riko bat. 20.000 volt, 677.000 kVA. Ur eta hidrogenoz hoztua.

Transformadorearen eta korrante alternoko iturriaren arteko konexioa gauzatu zuen lehena Sir William Grove izan zen; bere laborategiko eginkizunetarako goi-tentsioko hornikuntza behar bait zuen. Dena den, merkatal aplikazio praktikorik ezean, aurrerapen honi ez zitzaion behar bezalako garrantzirik eman, harik eta 1880aren hamarkadan Thomas Edison argiztapen elektrikorako ideia garatzen hasi zen arte.

Edisonen proiektua zabaldu zenean, platinozko harizpidun bonbilak egon bazeuden; arkuzko argiztapena ere erabilia zen, zeinean, korrantea harizpian zehar pasatu barik, elektrodo biren arteko arkuak eratzen zuten. Lanpara-mota bi hauen funtzionamendua ona bazen ere, zeuzkaten ezaugarri elektrikoak zirela eta, konexio-moduarekiko mugapenak zeuden. Seriez konektatu beharrekoak ziren, eta ondorioz, sistemako argi guztiak batera piztu eta itzali beharra zegoen.

Hiriko argiztapenei zegokionean sistema hau onargarria izan zitekeen arren, lanpara desberdinak noiznahi pizteko eta itzaltzeko ezintasuna eta lanpara-kopuru handiak seriez konektaturik zeudenean beharrezkoak ziren tentsio eskergak, etxe eta instalazio txikietarako seriez buruturiko argiztapen elektrikoak arbuiatzeko aldeko arazoak ziren. Bestalde, paraleloz gauzaturiko sistemek, non lanpara bakoitza bere "azpi-zirkuituan" dagoen, kobrezko kable handiak behar zituzten, batera erabilterrazak ez zirenak, garai hartako korrante handiko eta erresistentzia txikiko bonbilak elikatu ahal izateko.

Edisonen lorpenik handiena, karbonozko harizpidun bonbila izan zen, zeinak, zeukan erresistentzia handiari esker, konexioak paraleloz burutu ahal izateko aukera eman zuen.

Garai hartan, Ingalaterran, transformadoreak erabiliak izan ziren argiztapen-sistema batean. L. H. Gaulard eta J. D. Gibbsek —asmatzaile frantsesa eta promotore ingelesa— transformadorezat har zitekeen zerbait erabili zuten, korrante alternoko arkuzko argiztapen-sistema bati goritasunezko lanparak gaineratzeko. Arkuzko lanparak seriez konektaturik zeudela eta, saretiko korrantearen balioa finkoa zelarik, erabili zituzten transformadoreen primarioak arkuzko lanparekiko seriez konektaturik zeuden ezinbestean. 1882. urtean, Gaulard eta Gibbsek patentatu egin zuten dispositibo hau, sorgailu sekundarioa eritzi zitelarik. Oso praktikoa ez zen sorgailu sekundario hau ez zen ia erabilia izan. Hala ere, beste teknikari batzuen asmamena bultzatzeko balio izan zuen.

Gaulard eta Gibbsten lanetan interesatu zirenen artean, Budapest-eko Ganz enpresako hiru injineru hungariar zeuden; M. Déri, O.T. Bláthy eta K. Ziperowski hain zuzen, sorgailu batekiko paraleloz gauzaturiko konexiorako transformadore batzuk eraiki zituztelarik. Aipaturiko injineruek, burdinazko nukleo itxiduneko bi transformadore-mota diseinatu zituzten, eta berauek askoz egokiagoak ziren paraleloz eginiko konexiorako mutur irekidun harilkatuak baino. Diseinu hauetariko batean, eroaleak, nukleo toroidal (donut formakoa) baten inguruan harilkaturik zeuden, eta bestean, burdinazko nukleoaren

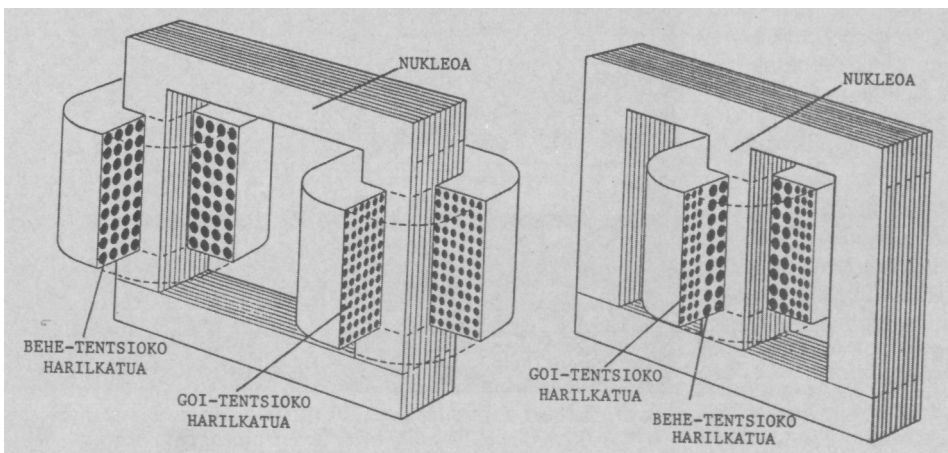
hariak, eroale-bilgu toroidal baten inguruan harilkatuak ziren.

1885.eko maiatzean, Budapest-eko Erakusketa Nazional Hungariarrean azaldu zuten gaur eguneko argiztapen-sistemaren prototipotzat har daitekeena. Erabili zuten muntaia ondokoan zetzan: paraleloz konektaturiko 75 transformadore, Edisonsok asmatutako 1067 bonbila eta 1350 volteko korrante alternoko sorgailu bat. Transformadoreek, burdinazko nukleo toroidaletan harilkaturiko eroaleak zeuzkaten, eta garestiak ziren arren, bete beharreko eginkizunerako etekina nahikoa eman zuten, goi-tentsioko banaketa-sistematik abaiturik, behe-tentsioko bonbilak erabiliz.

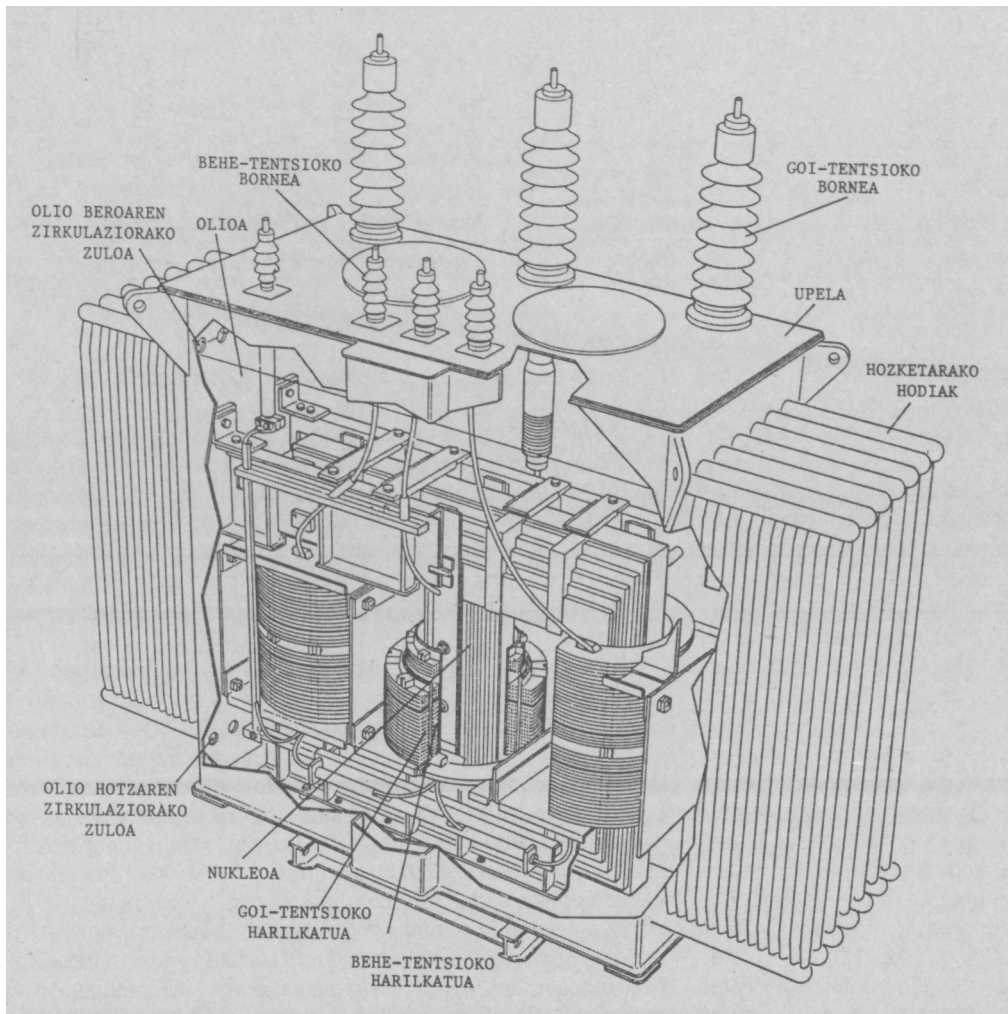
G. Westinghouse izeneko amerikarra harritu egin zen Gaulard eta Gibbsek erakutsitakoa ikustean. 1880aren hamarkadan ospe handiko asmatzailea eta fabrikatzailea zen Westinghouse, argiztapenerako gas naturalaren banaketan lan egin zuelarik. Edisonen urte arrakastatsuetan, energia elektrikoarekiko interesa agertu bazuen ere, beraren aplikazioa zela eta ez zela, zalantza handiak zituen. Jarrera zuhurra zuen, zeren paraleloz konektaturiko sisteman, kargaren emendioak korrantearen emendia bait dakar, eta hiri baten tamainako kargak korrante-kantitate itzelak beharko lituzke. Dena dela, korrante handiko energiaren transmisioa ez da etekin onekoa. Beraz, bi posibilitate zueden: energia elektrikoak kobrezko kable eskergen bidez bidaltzea ala kargetatik hurbil egongo ziren zentral sortzaileak eraikitzea, kasu honetan, hiria estazio txikiz josirik egonik. 1884.ean, Westinghousek, W. Stanley injineru gaztea kontratatu zuen. Beronen ustez, energia elektrikoaren etekin oneko transmisioa goi-tentsiotan egin zitekeen, erabiltzekoak ziren tentsioak transformadoreen bidez lortuko zirelarik. Gaulard eta Gibbsten lanaren berria jaso zuenean, transformadoreen patenteekiko opzio bat harpidetzea iradoki zion Westinghousei. Stanleyren eritziz, paralelo-konexioa askoz hobea zen eta 1885.eko udarako, nukleo itxidun transformadore batzuk diseinatuak zituen.

Nolanahi ere, paralelo-konexioa zela eta, Westinghouse zalantzatan zegoen eta injinerutza elektrikoaren aitzindarietakoa izan zen O. B. Shallenberger-ekin, Gaulard eta Gibbsten sorgailu sekundarioen arteko zenbait konbinaketa aztertu zituen.

1885.eko abendurako, Stanleyk Westinghouse zuritzeko moduko nahikoa aurrerapena egina zuen. Shallenberger eta A. Scmid injineruen laguntzaz, Westinghousek, Stanleyren transformadorearen hobekuntzari ekin zion, hungariarrek diseinaturikoa ez bezala, modu merkean eta errazean eraiki ahal izateko. Nukleoa, H eran ebakitako burdinazko xafra meheez osaturik zegoen; isolaturiko kobrezko hariak eginiko harilak, H-aren erdiko barraren inguruan harilkaturik zeuden, beronen muturrak, burdinazko zerrenda bananduez itxi zirelarik. Stanleyk, burdinazko xafalak E eran ebakitzea iradoki zuen, honela, erdiko puntak, alde zurretik harilkaturiko harilean sar zitezkeelarik. E eran trokelaturiko xafalak norabide alternatiboetan



TRANSFORMADORERAKO DISEINU bi hauek, nukleo eta harilkatuen egitura-mota desberdinekiko adibideak dira. Nukleo biak, altzaruzko plantzak trokelatuz lorturiko xaflez eginik daude. Ezkerreko irudian, primarioa nukleoaren beso baten inguruan harilkaturik dago eta sekundarioa bestean. Eskuineko irudian, nukleoa, E forman trokelaturiko xaflez eraturik dago, primarioa eta sekundarioa erdiko zutabearen inguruan harilkatuak direlarik. Transformadore trifasikoetan, primarioa eta sekundarioa hiru zutabeen inguruan harilkaturik daude.



GAUR EGUNEKO TRANSFORMADOREA: isolamendua eta hozketa direla eta, nukleoak eta harilkatuek osaturiko atal eraginkorra oliotan murgildurik dago upelaren barruan. Goi- eta behe-tentsioko lineak eta harilkatuak, zeramikazko borneen bidez loturik daude. Olioaren zirkulazioa, kanpo-irradiagailuetatikoa, konbekzioz lorturikoa dugu. Transformadore handietan, hozketa, haizagailuen bidez bizkortzen da, olioaren zirkulazioa ponpaketaz erdietsia delarik.

sartu zituzten, zirkuitu magnetikoa osatzeko, besoen muturretan burdinazko pieza zuzenak ipini zituztela. Eraikuntz mota hau gaur egun ere erabiltzen da.

Westinghouse Electric Company-a 1886.eko urtarrilean eratu zen. Hurrengo hilabeteetan, Westinghousek, arestian azalduzko prozedura, olio bidezko hozketa eta isolamendua eta hermetikoki itxitako upelaren barruko multzoaren paketa-mendua patentatu zituen. Stanleyk zenbait transformadore eraiki eta instalatu zituen Great Barrington-en, bere laborategitik 1,5 km-ko distantziara zegoen hirirako 500 voltetako banaketa burutu zuelarik.

Energia elektrikoa 3.000 voltetan garraiatzeko, transformadore jasotzaileak erabili zituen. Halaber, transformadore erasitailleez baliatu zen kontsumorakoa zen energia 500 voltetan eman ahal izateko. Stanleyk diseinaturiko sistema, 1886.eko martxoaren 16an hasi zen lanean; arrakasta itzela ukan zuen eta Westinghouse enpresak aurrera egin zuen, korrante alternoko ekipoa eraikitzeko eta saltzeko instalazioak sortu zituelarik.

Edisonen korrante alternoko sistemen aurkako burrukari ekin zion, bai prentsan zein auzitegietan, nahiz eta gudu hau aldeaz aurretik galdurik egon.

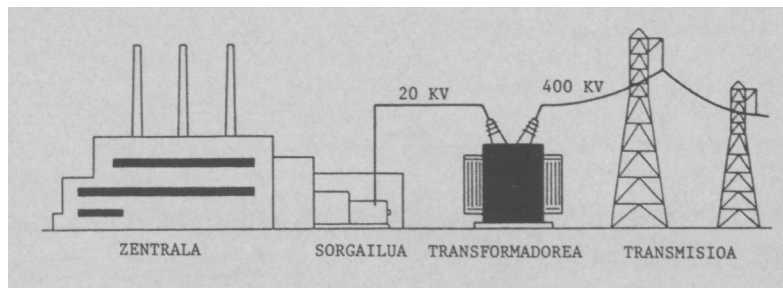
Korrante alternoko motorearen agerpenak bultzatu egin zuen korrante alternoaren erabilpena. Motore asinkronoen historia ez dugu artikulu honetan azalduko, baina sorgailuen kasuan egin dugun legez, interesgarriak izan daitezkeen zenbait datu emango ditugu:

- * 1885
Lehen motore bifasikoa (G. Ferraris)
- * 1886
Sistema polifasikoen bidez sorturiko eremu magnetiko birakariak, kolektorerik eta eskuilarik gabeko motoreen eraikuntzan erabilitakoak. (N. Tesla).
- * 1889
Indukziozko motore trifasikoa (M. Dolivo-Dobrowolski)
- * 1893
Urtxintxa-kaiola bikoitzeko motorea (Dolivo-Dobrowolski eta Boucherot)

Korrante alternoko motoreen garapenez gain, Shallenberger-ek, energia elektrikorako kontadorea asmatu zuen, bezeroek erabilitako energiaren fakturazio zehatza lortu zelarik. Bi faktore hauek eta korrante alternoaren transmisioaren kostu merkeak, erosotasuna eta malgutasuna eman zizkieten korrante alternoko sistemari, korrante zuzeneko sistemak, aplikazio berezi batzuk salbu, bazterturik geratu zirela.

Hurrengo hamarkadan, korrante alternozko hornikuntzarako sarearen hazkunde azkarra gertatu zen, Chicagoko Munduko Erakustazokaren argiztapena 1893.ean eta Niagara-ko ur-jauzietako 5.000 Z.P.ko sorgailu handien instalazioa 1895.ean lorpenik garrantzitsuenak izan zirelarik. Energia elektrikoaren sorkuntzaren hazkunde itzelarekin batera, transformadoreen tamainaren emendioa iritsi zen. 1895.ean, Niagara Falls-eko

ENERGIA ELEKTRIKOAREN IBILBIDEA
 zentrolean hasten da, non, gutxi gorabehera, 20.000 voltetako tentsioa ematen den. Tentsioa, transformadore jaso-tzaileen bidez emendatzen da, transmisioa goi-tentsiotan burutu ahal izateko. Banaketa eta kontsumorako egokiak diren tentsioak erdi-esteko, transformadore eraistaileak erabiltzen dira, banaketa-sarea gauzatu ahal izateko, hormikuntza elektrikorako lineak tentsio-jauzi bakoitzean adarkatzen direlarik. Zer esanik ez, praktikan gertatzen diren tentsio-jauzi guztiak ez daude irudi honetan adierazirik.



Carborundum enpresako labe baterako, 750 kVAko (kilovolt-ampere) transformadore bat erabili zuten, bost urte geroagoko transformadore batzuk 2.000 kVA eta 50.000 voltetako espezifikazioak zituztelarik.

Joan den mendearen amaieran eraikitako transformadorea produktu amaitua zela pentsa genezake; aparatu honen funtsezko ezaugarriek gaur egunerarte aldatu barik iraun bait dute. Egia esan, transformadorea etengabe garatuz joan da, eta oraindik ere burdinazko xaflez eta kobrezko harilkatuez eraturiko multzo isolatu eta hozterazia den arren, transformadorearen prestazioak biziki hobetu dira 1900.etik. Gaur egunekoak 700 kilovolt eta 1.000.000 kVAkoak izan daitezke, beraien bizitza 25-40 urtekoa delarik.

Transformadorearen ezaugarriak, neurri handi batean, nukleoaren propietateen menpekoak ditugu, aurrerapenik garrantzitsuenak arlo honetan gertatu direla. Nukleoaren materialaren propietate nagusiak honako hauek dira: iragazkortasuna, asetasuna, erresistibitatea eta histeresiagatikoko galerak. Iragazkortasuna, magnetizazio-eraginari erantzuteko materialak ekoiztutako indar-lerroen kopuruari dagokio; asetasunak, kanpo-indar magnetizatzailea anplifikatzeko materialak duen ahalmena balio konstante batera iristen deneko puntua adierazten du. Bi propietate hauek, nukleoak potentzia onartzeko duen ahalmena definitzen dute. Erresistibitate elektrikoa komenigarria da nukleorako; korrante parasitoek sortarazitako energi galerak txikiagoak bait dira.

Aitzitik, histeresiak, hau da, material magnetikoen "oroimen-efektuak" beheratu egiten du transformadorearen etekina. Magnetizaturiko atomoetako taldeen arteko elkarrekintzak direla eta, magnetizazioaren efektuek materialean irauteko joera dute; hortaz, indar magnetizatzailea txikiagotzean, materialaren erantzuna ez da berehalakoa, transformadorean, atzerapen honek, korrante altxatzen duen ziklo bakoitzeko energi galera eragiten duelarik. Nukleoaren garapenaren historian zehar, injineruak, iragazkortasun, asetasun eta erresistibitatearen emendia bilatzen aritu dira, histeresiagatikoko galerak murrizten saiatu direlarik.

Arazo honetarako erremintarik egokienetakoa B-H deritzon kurba dugu; magnetizaturiko materialaren iragazkortasun, asetasun eta histeresiaren arteko erlazioak grafikoki azaltzen dituena. Materialean induzituriko indar-lerroen kopurua (B) adierazten du, indar magnetizatzaile aldakorren funtzioan. Kurba honek, mutur zorrotzun S zabal baten itxura daukanak, kitzikapen-korrante altxatzearen ziklo bakoitza adierazten du. Malda, iragazkortasunari dagokio; sestran jartzen deneko puntua (S-aren goiko aldea) asetasunaren balioa da eta kurbak besarkaturiko azalera (S-aren azalera) histeresiari dagokio.

Zientzilarien helburua, aipaturiko propietateen eta burdinaren konstituzio fisikoaren arteko erlazioak aurkitzea izan da. Propietate bakoitza, oinarritzeko imantetako atomoen elkarrekintza kooperatiboen menpekoa dugu, berauetan, burdinaren kristal-egiturak eta bestelako elementuen eta akatsen presentzia eragina dutelarik. Elkarrekintza korapilatsu hauen azterketari barruti-teoria deritzo, beronetatik lorturiko informazioa,

transformadoreetarako material egokiagoak erdiesteko baliagarria delarik.

Stanley-Westinghousek eraikitako transformadoreetan erabilitako burdina gozoko xafra meheek, histeresiagatikoko galerak handiak zituzten; berauek, apurka-apurka joan ziren murriztuz, fabrikazio bereziko burdinak hautatuz, 1900. urtean, gutxi gorabehera, galerak erdiraino beheratzea lortu zelarik. Materialaren zahartzapena ere istilu-iturria zen: histeresiagatikoko galerak arinagotu egiten zuten transformadorearen zahartzapena.

XX. mendearen hasierako urteetan, R.A. Hadfield metalurgilari ingelesak, esperimentu asko burutu ondoren, burdina/silizio-aleazioa, hots, ferrosilizioa erazagutu zuen. Burdinari silizioa gaineratuz, histeresiagatikoko galerak txikiagotu egiten ziren; iragazkortasuna eta erresistibitate elektrikoa emendatu egiten ziren, materialaren zahartzapenarekiko arazoak ia gainditurik zeudelarik. Dena den, ferrosilizioaren fabrikazioa ez zen batere erraza eta zazpi urte iragan ziren Halfiel konpainiak kalitate oneko xafak fabrikatu zituen arte.

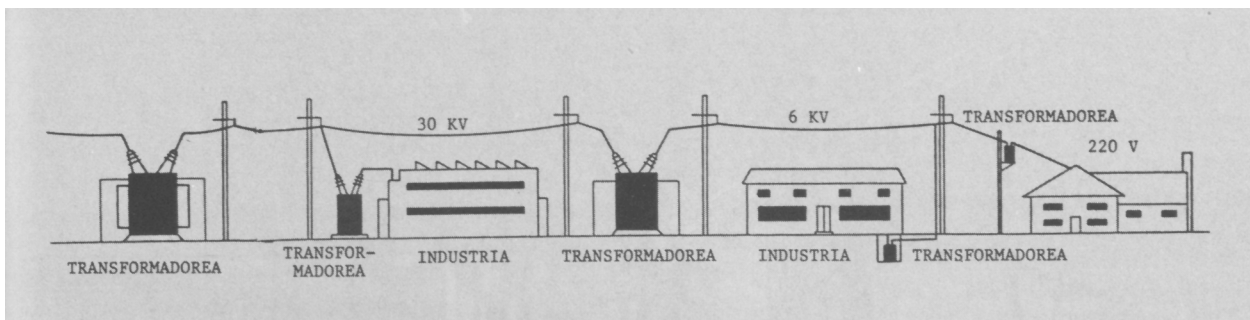
Nukleoaren teknologiarekiko hurrengo aurrerapena 1930. urtearen inguruan gertatu zen, Cold Metal Process enpresako N.P. Goss metalurgilari amerikarrak ondokoa aurkitu zuelarik: ferrosilizioaren ijezketa eta tratamendu termikoa konbinatuz, lorturiko xaflek propietate magnetiko bikainak zeuzkaten ijezketaren norabidean. Goss konturatu ez bazen ere, prozesuaren efektua, burdin kristalen ardatz nagusiak norabide berean lerrokatzea zen, elkarrekintza magnetiko kooperatiboa lorturik. Material honetaz baliaturik eraikitako nukleoetan, asetasuna %50 hobetzen zen, histeresiagatikoko galerak lau bider txikiagoak ziren, iragazkortasuna bost aldiz handiagoa zela. Berriz ere, aipaturiko aurkikuntzatik burdinazko xafra ekoizti ahal izateko metodorako bidea luzea eta neketsua izan zen, Goss-en ekarpena 1941. ean merkaturatua izan zelarik.

Hozketa-sistemak eta isolamendu elektrikoak ere sekulako eragina dute transformadorearen prestazioetan. Biak estuki erlazionaturik daude, zeren nukleoak eta eroaleek sorturiko bero-kantitateak isolamenduen bizitza mugatzen bait du, transformadorearen barruko tenperatura, gutxi gorabehera, 100°Ckoa izan daitekeela.

Stanleyk eraikitako transformadoreetan, airea zen isolamendu eta hozketarako bide bakarra. Geroago, Westinghousek olio zati beteriko upelan murgildu zuen transformadorea; halaber, nukleoko xafak banandu zituen, berauen arteko olioaren zirkulazioa konbekzioz gerta zedin.

Olioak, merkeak eta efikazak izan arren, onartezinak dira edifizioen barnean kokaturiko aparatuertarako; suharberak bait ditugu. 1932. ean erabiltzen hasi ziren hidrokarbuo kloratuden likidoak ez dira suharberak, erabilpen zabala ukan dutelarik. Dena den, konposatu hauek epe luzean toxikoak direlako aurkikuntza dela eta, debekaturik daude.

Beste kasu batzuetan, airea, nitrogenoa eta beirazko isolatzaileak erabiltzen dira; errezinak ditugu, edifizioen barneko transformadoreetarako egokiak direlarik. Gasaren zurruntasun dielektrikoa, fluorokarbono-kantitate txikiak gaineratuz emenda daiteke. Transformadore lehorrak deiturikoetan, likido polime-



rizatzaileetatik lorturiko erretxina urtzeko isolatzaileak erabiltzen dira; egonkortasun handiko solidoetan gogortzen direnak.

Oloioz isolaturiko hasierako transformadoreak konbekzio naturalaz baliatzen ziren hozkarriaren zirkulaziorako. Gaur egun, olioaren beroa ezabatu ahal izateko, aparatu askok kanpo-irradiagailuak dauzkate, haizagailuz hozturikoak, olioaren zirkulazioa konbekzioz edo ponpaketaz lortzen direlarik. Lurrinezko hozketa ere ikertua izan da, eta prozedura egokia den arren, duen kostua handiegia da ohizko sistemekin alderaturik.

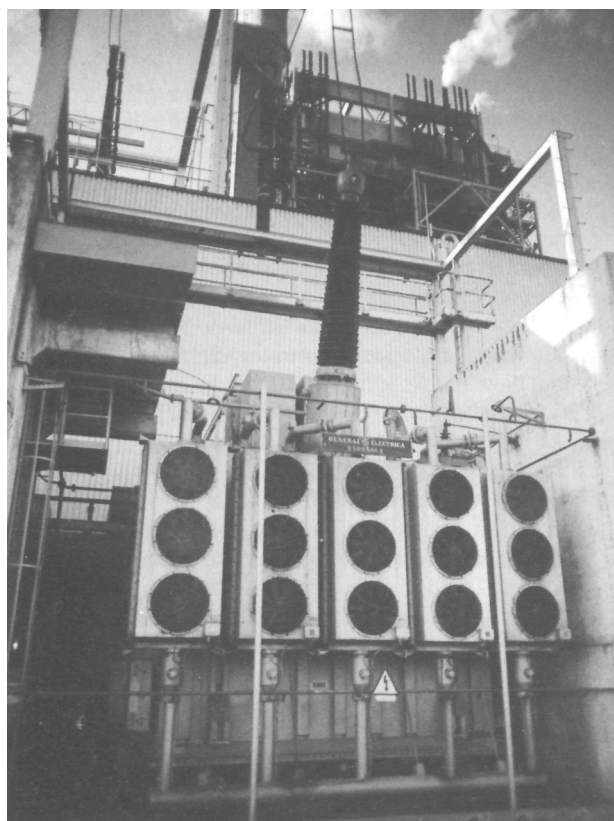
Zer esanik ez, transformadorearen historia eta korrante alternozko energia elektrikoaren garraioa erabat loturik daude. Beraz, sorgailu eta motoreen kasuan egin dugun legez, zenbait datu emango ditugu.

* 1884
Torino-ko Erakusketa zela eta, Gaulardek, korrante monofasikozko energia elektrikoaren garraioa burutu zuen 40 km-ko distantzian.

* 1886
Stanleyk eta Westinghousek, korrante monofasikozko energia elektrikoaren garraio eta banaketarako lehen sistema erabilgarria gauzatu zuten Great Barrington-en (Massachussets).

* 1887
Luzern-eko garraio eta banaketarako sarearen instalazioa.

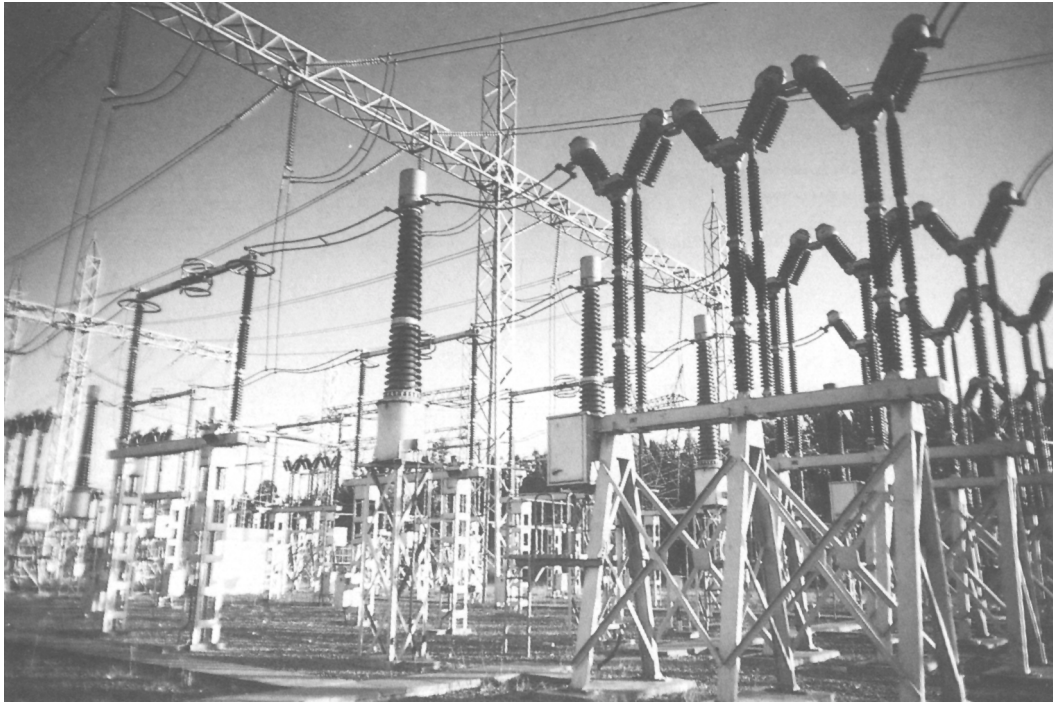
* 1891
O. von Miller-ek, distantzia luzetarako garraiorako lehen sistema trifasikoa erabili zuen Frankfurt-eko Erakusketan, Neckar ibaiaren ondoan dagoen Lauffen hiriko zentralen instalaturiko 240 kWeko Oerlikon sorgailu trifasikoak ekotzitako energiaren garraioa burutuz. Lauffen eta Frankfurten arteko distantzia, gutxi gorabehera, 175 km-koa dugu. Garraio-tentsioa 15.000 voltetara izan zen, aipaturiko tentsioa lortzeko, C. Brown-ek (Brown Boveri enpresaren fundatzaileetarikoa batek) hornituriko transformadoreaz baliatu zirela. Frankfurten tentsioa eraitsia izan zen lanpara eta motore trifasikoak elikatu ahal izateko. Motoreen artean,



Santurtziko zentral termikoan dauden sei transformadore jasotzaile monofasikoetarikoa bat. 20.000/380.000 volt, 150.000 kVA. Pisua: 223.000 kg.



Haitz Txiki eta Alluitz mendien artean dagoen Artola lepoko goi-tentsioko linea.



Gatikako azpiestazioko fase bakoitzean, ebakigailuaz, intentsitate-transformadoreaz eta etengailuez osaturiko multzoak tartekaturik daude. Ebakigailuaren eta etengailuen eginbearra babesa dugu. Intentsitate-transformadorearena, aldiz, neurgarriak diren intentsitateak lortzea; lineako benetako intentsitateak handiegia bait dira beraien neurketa zuzena burutu ahal izateko.

AEG enpresak eraikitako batek, 90 kWeko potentzia zuenak, erakusketan instalaturiko urjauziko uhagari eragin zion. Instalazioaren etekina, H.F. Weber profesore ospetsuak eta bestek osaturiko epaimahaiak azterturikoa, txantxetako ez den %75era iritsi zen.

- * Chicagoko Erakusketan, 12 sorgailu trifasikoz eraturiko sistemaz baliatu ziren, potentzia elektrikoa 12.000 Z.P.koa izan zelarik.
- * 1895
Niagara-ko urjauzietako zentrala, 5.000 Z.P.ko hiru sorgailuz horniturikoa.
- * 1900
Zentral elektrikoak eta korrante trifasikozko energia elektrikoaren banaketa ugari ziren, ia herri industrializatu guztietan erabiltzen zirelarik.

Denbora iraganez joan zen neurrian, normalizaziorako beharrak maiztasunak finaktu zituen. Hasieran erabilitako 40, 50, 60, 67, 70, 75, 77, 80, 83, 87, 90, 93 eta 100 Hz-eko maiztasunetatik, bik baino ez zuten iraun: 50 eta 60 Hz-ekoek, hain zuzen ere.

Ez da gauza erraza, transformadorearen eboluzioa nolakoa izango den auresatea. Kristal-egiturarik ez daukaten metal amorfoei buruzko ikerkuntzak, oso egokiak izan daitezkeen zenbait propietate magnetiko aurkitu ditu. Dena den, aipaturiko propietateak dauzkaten materialak ekoizteko oztopo ekonomikoak daude. Hala ere, laborategiko ikerkuntza dela eta, transformadore supereroaleak eraikiak izan dira, erresistentzia elektrikorik gabeko harilkatudunak, beraien tenperaturak zero absolututik hurbil egon behar duelarik. Hau dela eta, oraindik ez dute aplikazio praktikorik. Esperimentu hauek aurrerapen teknikoetarako atea ireki badute ere, ase eta geldidagoen industria elektrikoaren merkatu-egoerak, transformadoreen eraikuntza erroten aldatzeko ekintzak atzeratuko bide ditu, nahiz eta isola-

mentu eta hozketarako sistemak hobetu egingo diren.

Nolanahi ere, iraun egingo al du transformadoreak? Egoera solidoko zirkuituek transformadoreen beharra ezabatu ez badute ere, murriztu egin dute beraien erabilpena aparatu elektroniko txikietan, hala nola, irrati, soinu-ekipo eta telebistatan. Halaber, askoz handiagoak diren egoera solidoko dispositiboen bideragarritasunak, korrante zuzeneko energia elektrikoaren transmisiorako aukera eman du, nahiz eta bihurteta-prozesuan transformadoreak beharrezkoak diren. Inoiz, hornikuntza elektrikorako sareen zenbait eginbearretan, egoera solidoko dispositiboek transformadoreak ordezkatzeko dituztelako seinalak ditugu.

Goi-tenperaturako supereroankortasunari buruzko aurrerapen berriek, giro-tenperaturatan supereroaleak izan daitezkeen materialak aurkitzeko itxaropena biztu dute. Material hauek aurkitzerik balego eta korrante handiak garraiatzeko gai balira, behe-tentsioko korrante zuzeneko elektrizitatearen banaketa errealitate bihurtuko litzateke. Aipaturiko materialak aurkituak izango direnentz eta jadanik finkaturik dauden sare elektrikoetan gertatuko litzatekeen erabateko aldaketak beharturiko eragin ekonomikoa zer nolakoa izan daitekeenentz ez dakigu.

Aurrerapen hauek eta garapen teknologikoaren historia auresanezina kontutan harturik, arriskugarria da transformadoreak betiko iraungo duela esatea. Hala ere, mende bateko adina duelarik, dirudienegiz bigarren mendearen ere iraungo du isil, baliagarri eta apal, gaur eguneko bizitzaren oinarri den energia elektrikorako banaketa-sistemei eutsiz. |||

OHARRAK:

- * *Diapositibak M. Ensunzak eginak dira, IBERDUERO enpresak Gatican duen azpiestazioan eta Santurtziko zentral termikoan. Eskerririk asko diapositibak egin ahal izateko eman zizkidaten erraztasunengatik.*