

ISTINE I ZABLUDE O POČECIMA RAZVOJA ELEKTRIFIKACIJE U EUROPI I SJEVERNOJ AMERICI

Prof. dr. sc. Slavko Vujević
Sveučilište u Splitu, FESB
vujevic@fesb.hr



O izumima i izumiteljima

Opću elektrifikaciju svijeta omogućili su mnogi znani i neznani izumitelji, tehničari, inženjeri i znanstvenici. Rijetko postoji samo jedan izumitelj bilo kojeg tehničkog izuma.

To vrijedi i za izume generatora, transformatora, DC motora, AC motora, ali i za izum telefona koji je pripisan Aleksandru Grahamu Bellu, pa čak i za izum aviona koji je pripisan braći Wright. Zanimljiva je i priča o izumitelju radija.

Patentiranje izuma je poput svjetskog nogometnog prvenstva – samo je jedan pobjednik i samo se on pamti. To se često svodilo na to tko će prvi utrčati u patentni ured.

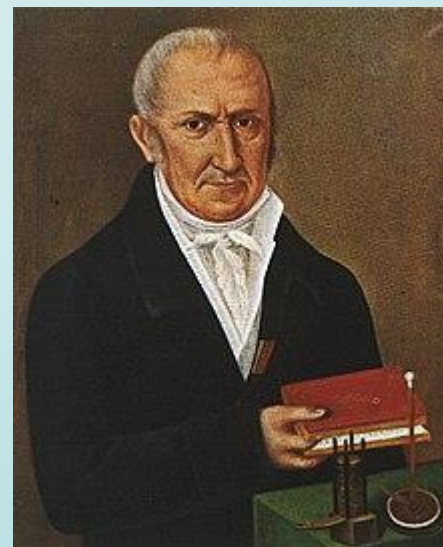
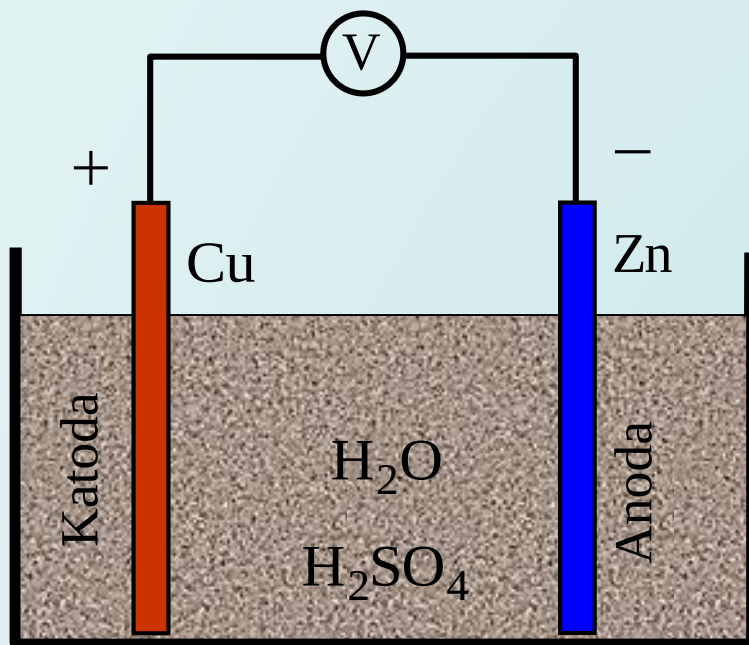
U veličanju izumitelja veliku ulogu imaju nacionalizmi. Svi se žele “dičiti” veličinom svog sunarodnjaka –zbog nepoznavanja činjenica i/ili zbog potrebe pripadanja grupi.

Nikolu Teslu, američkog izumitelja rođenog u Austro-Ugarskoj Monarhiji, danas svojataju Hrvati, Srbi pa čak i Rumunji. Međutim, oni se uglavnom dive planetarno popularnom mitskom liku Nikole Tesle, a ne stvarnom Nikoli Tesli.



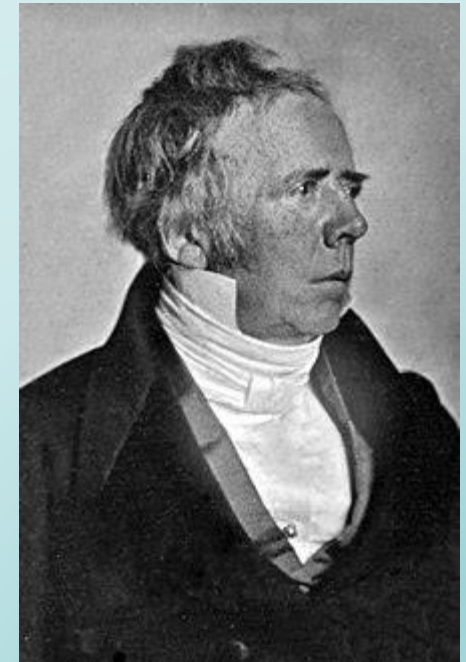
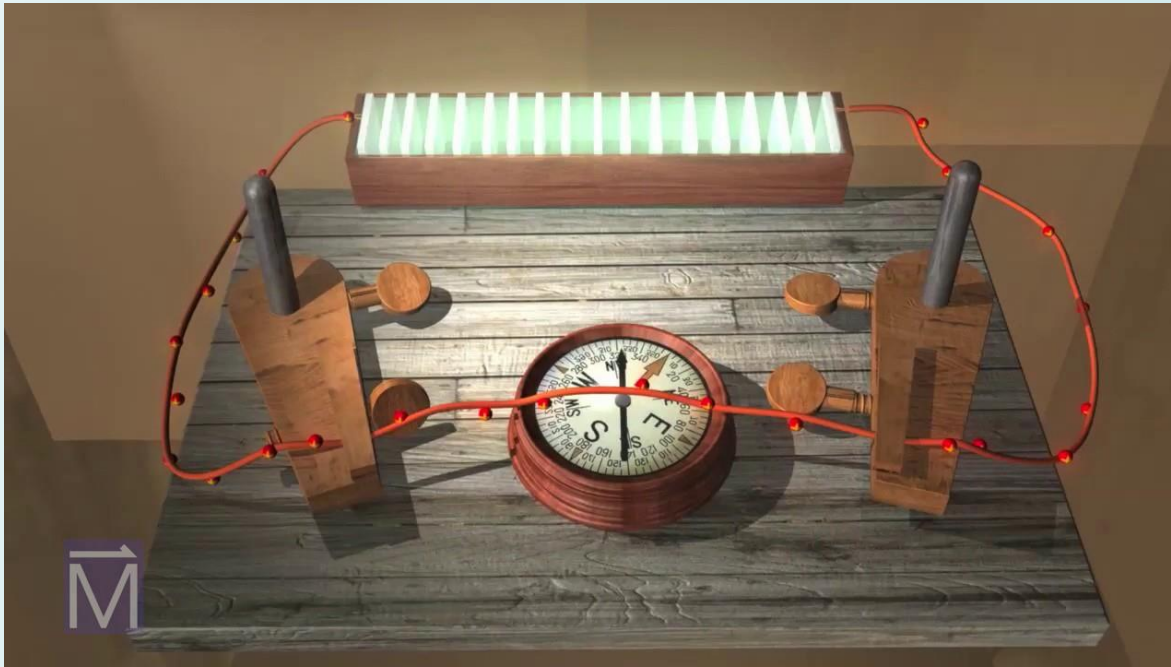
Neki važni izumi koji su prethodili elektrifikaciji svijeta (1)

Alesandro Volta je 1800. godine napravio prvi elektrokemijski članak (tzv. Voltin članak), odnosno prvi umjetni izvor električne energije. Prvotno je kao elektrode koristio Ag i Zn, a nakon toga Cu i Zn.



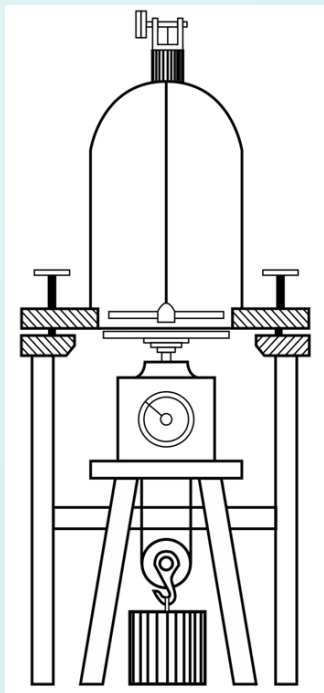
Neki važni izumi koji su prethodili elektrifikaciji svijeta (2)

Danski fizičar **Hans Cristian Oersted** (Ørsted) je 1820. godine slučajno otkrio da električna struja koja teče vodičem oko sebe stvara magnetsko polje.



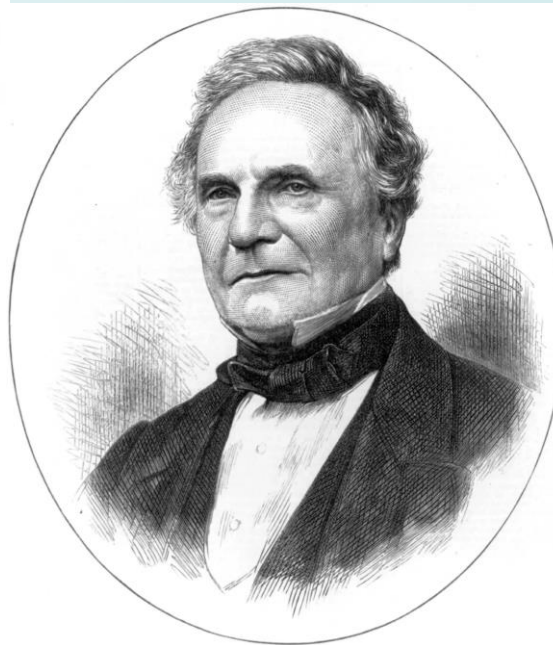
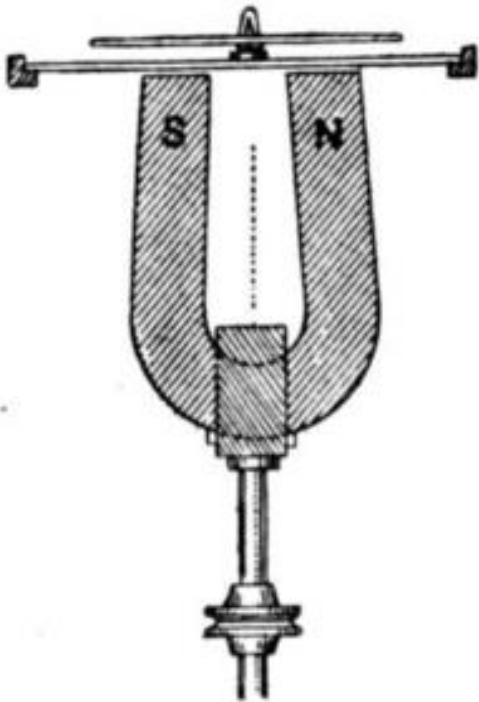
Neki važni izumi koji su prethodili elektrifikaciji svijeta (3)

Francuski izumitelj **Francois Arago** je 1824. godine otkrio je da bakreni disk koji rotira ispod kompasa zakreće kompas i kod brže vrtnje diska izaziva vrtnju kompasa. Nešto tada potpuno neobjašnjivo.

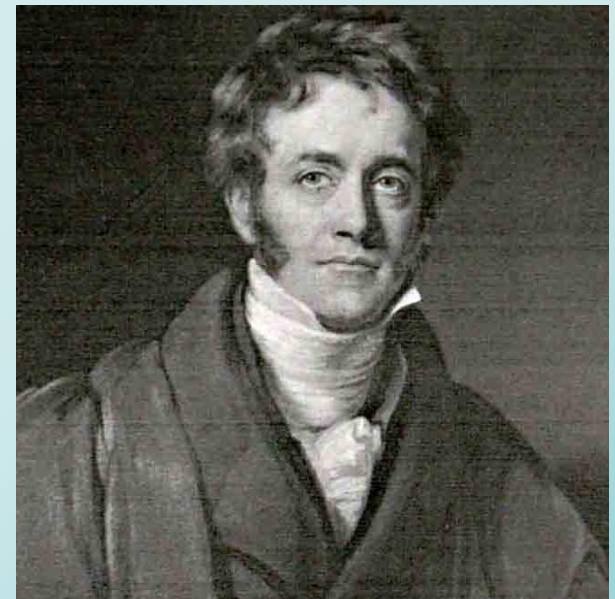


Neki važni izumi koji su prethodili elektrifikaciji svijeta (4)

Britanski izumitelji **Charles Babbage** i **John F. W. Herschel** modificirali su Aragoov pokus. Oni su ispod bakrenog diska vrtjeli permanentni potkovasti magnet, koji je za sobom vukao bakreni disk.



Charles Babbage



Sir John F. W. Herschel

11.

SIMPOZIJ

POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE

ZAGREB, 14.-15. LIPNJA 2023.



Neki važni izumi koji su prethodili elektrifikaciji svijeta (5)

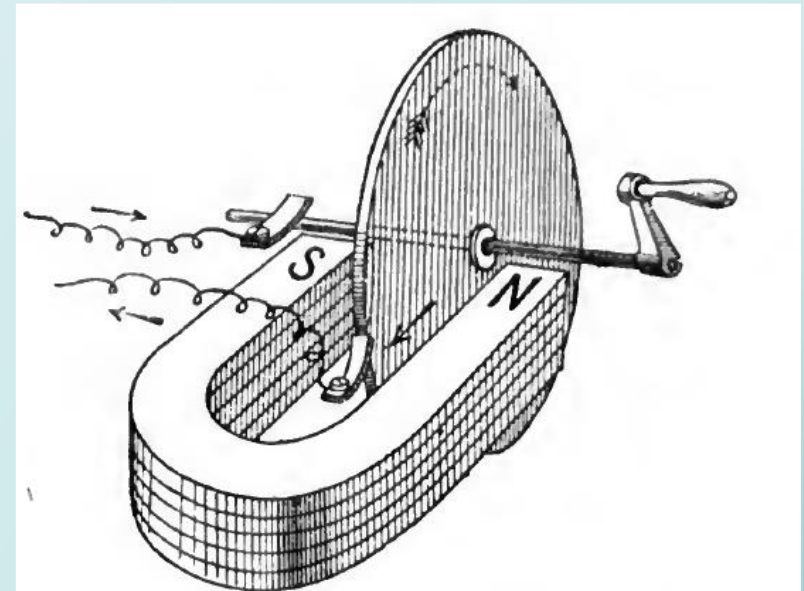
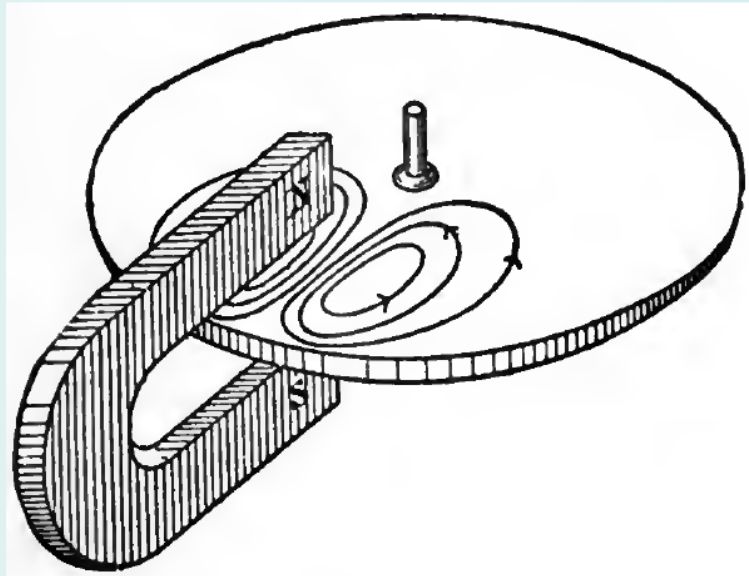
Tek je britanski eksperimentalni fizičar i izumitelj Michael Faraday 1831. godine razjasnio Aragoovu rotaciju

Na taj je način objasnio princip rada: asinkronog AC motora, električnog brojila i elektromagnetske kočnice.



Neki važni izumi koji su prethodili elektrifikaciji svijeta (6)

Britanski izumitelj Michael Faraday je 1831. godine razjasnio Aragoovu rotaciju i ujedno konstruirao prvi DC generator (tzv. Faradayev disk).



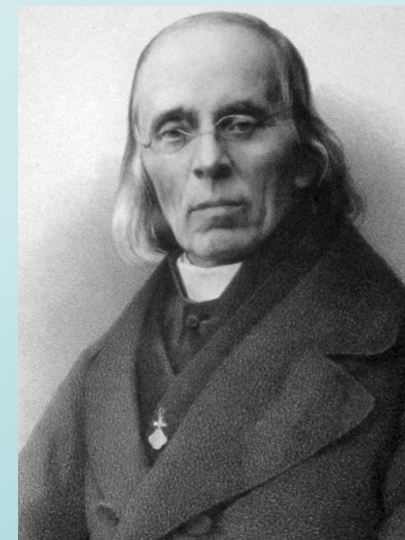
Neki važni izumi koji su prethodili elektrifikaciji svijeta (7)

Michael Faraday je 1830. godine otkrio zakon elektromagnetske (EM) indukcije. Nazavisno je do istog otkrića 1831. godine došao američki izumitelj Joseph Henry. Ovaj zakon je temelj AC sustava i elektrifikacije.



Joseph Henry

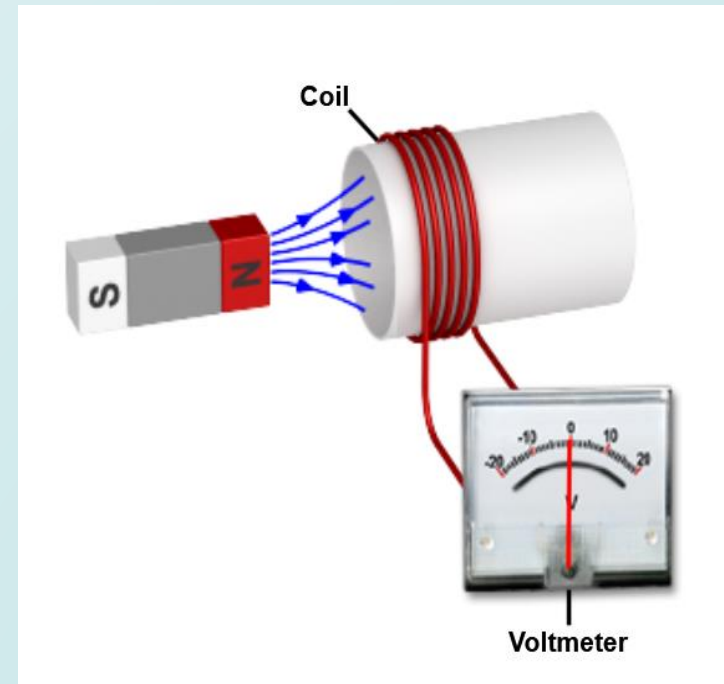
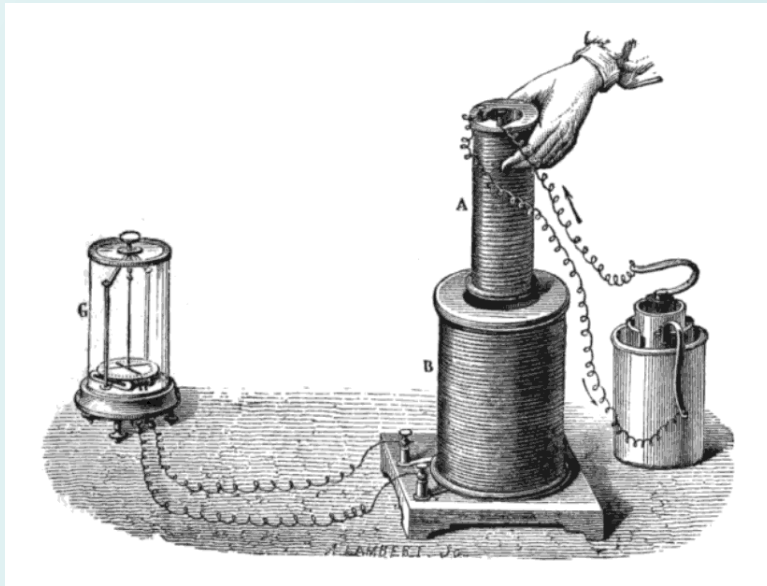
Pojavili su se i članci u kojima se tvrdi da je talijanski fizičar Francesco Zantedeschi u svom članku objavljenom 1829. godine prvi opisao EM indukciju.



Francesco Zantedeschi

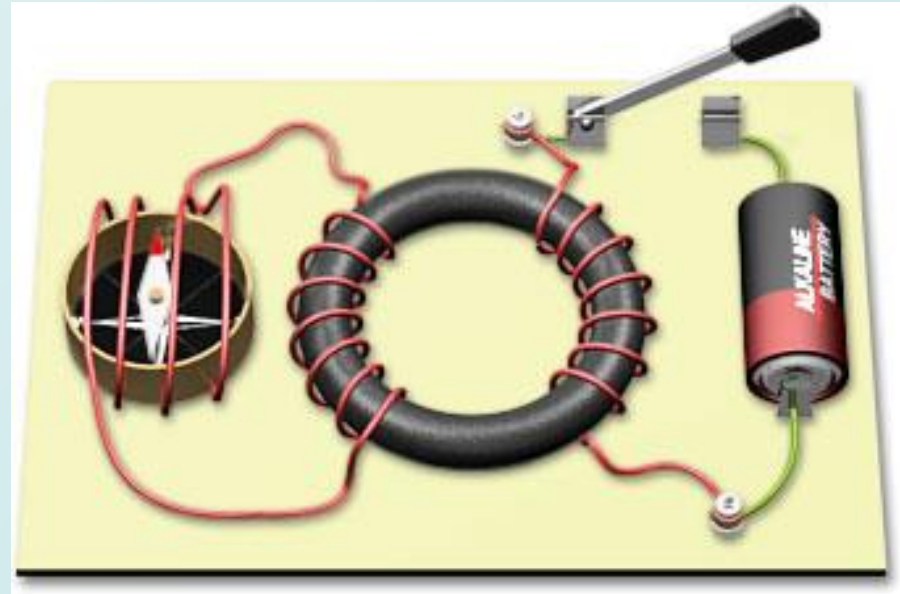
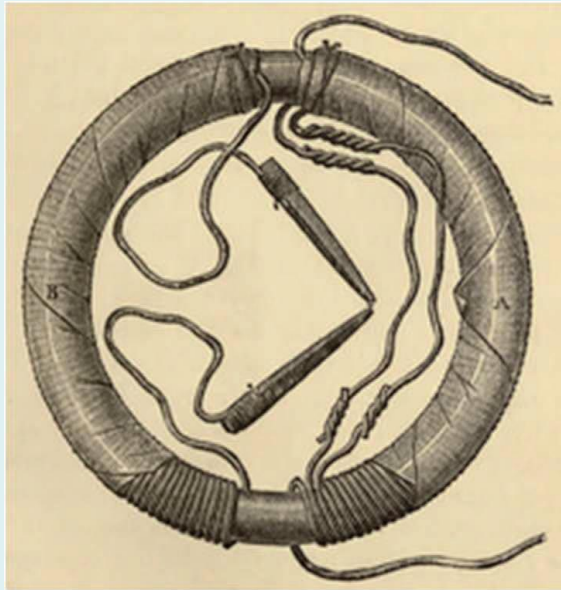
Neki važni izumi koji su prethodili elektrifikaciji svijeta (8)

Michael Faraday je, dakle, otkrio da vremenski promjenjivo magnetsko polje stvara električnu struju i to izmjeničnu. Dakle, on je, ujedno, otkrio i izmjeničnu struju.



Neki važni izumi koji su prethodili elektrifikaciji svijeta (9)

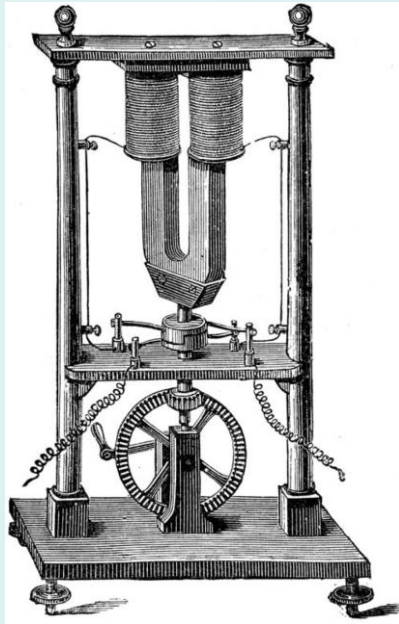
Faraday je 1831. godine u dokazivanju zakona elektromagnetske indukcije koristio i transformator s torusnom željeznom jezgrom i dva namota.



Međutim, Michael Faraday nije shvatio stvarni značaj ovog svog pratransformatora.

Neki važni izumi koji su prethodili elektrifikaciji svijeta (10)

Potaknut otkrićem EM indukcije, prvi jednofazni AC generator konstruirao je francuski izumitelj **Hippolyte Pixii** 1832. godine. On mu je dodao kolektor (komutator) i pretvorio ga u DC generator, a to mu je predložio André-Marie Ampère.



Mnogo je onih koji vjeruju da je baš Tesla izumitelj izmjenične struje.

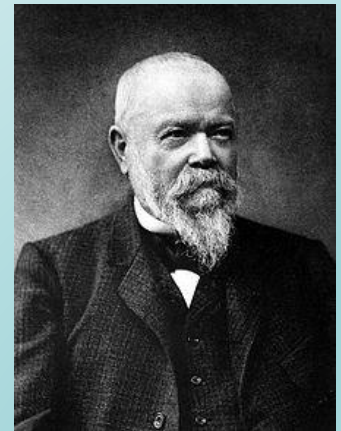
Neki važni izumi koji su prethodili elektrifikaciji svijeta (11)

Reverzibilnosti električnog generatora i motora sadržano je u Lenzovom zakonu otkrivenom 1833. godine.

Heinrich Friedrich Emil Lenz je 1838. godine detaljno opisao svoje pokuse u kojima je Pixiijev jednofazni AC generator opremio komutatorom i koristio ga kao DC motor.



Francuski elektroinženjer **Hippolyte Fontaine** je 1873. godine između dva Grammeova DC generatora povezana električnim kabelom prenio električnu energiju, što je bilo prikazano na Svjetskoj izložbi u Beču 1873. godine.



Sastavnice elektroenergetskog sustava

Opća elektrifikacija utemeljena na DC sustavu nije bila moguća zbog nemogućnosti prijenosa DC energije na veliku udaljenost i nemogućnosti jednostavne prilagodbe DC napona nazivnom naponu trošila.

Za uspješnu opću elektrifikaciju svijeta bilo je potrebno izumiti i konstruirati:

- Sinkrone AC generatore,
- Sinkrone i asinkrone AC motore,
- Transformatore,
- Električne vodove,
- Električna brojila.



Prvi poticaj za opću elektrifikaciju bila je potreba za kvalitetnom rasvjetom kao što je električna rasvjeta.

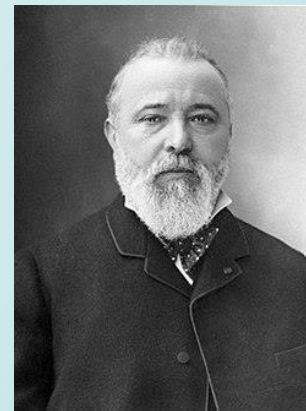
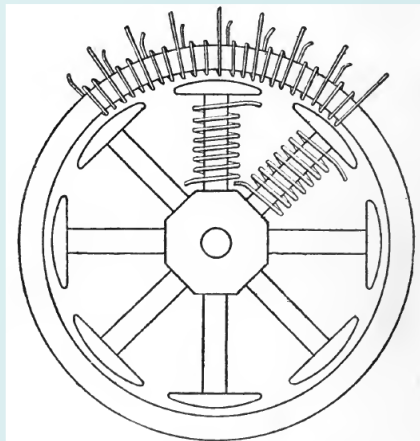
Električne su žarulje, koje su važna sastavnica električne rasvjete, bile izumljene i proizvedene za potrebe DC električne rasvjete.

Sinkroni AC generatori (1)

Sinkroni se AC generatori mogu koristiti i kao sinkroni AC motori, odnosno oni su reverzibilni, pa je povijest razvoja sinkronih AC generatora ujedno i povijest razvoja sinkronih AC motora.

Pixiijev jednofazni sinkroni AC generator nije poslužio u praksi.

Belgijski je izumitelj Zénobe Théophile Gramme oko 1877. godine konstruirao jednofazne sinkrone AC generatore (alternatore) koji su imali važnu praktičnu primjenu, a služili su za napajanje Jabločkovljevih lučnih svjetiljki (ulična rasvjeta Pariza).



11.

SIMPOZIJ

POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE

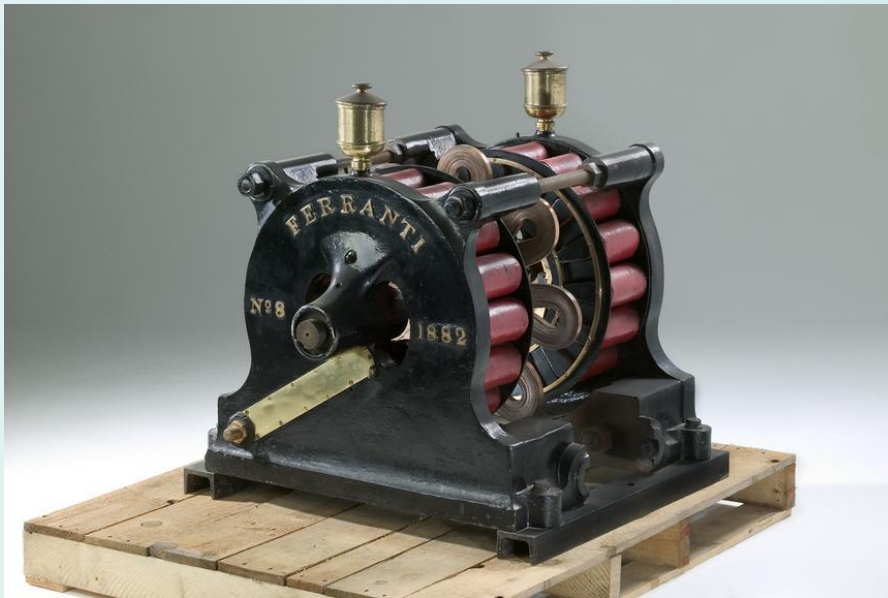
ZAGREB, 14.-15. LIPNJA 2023.



Sinkroni AC generatori (2)

Godine 1881. jednofazni AC generator tvrtke Siemens & Halske, pogonjen vodenicom, napajao je uličnu rasvjetu u gradu Godalmingu, u Velikoj Britaniji.

Britanski elektroinženjer James Edward Henry Gordon je 1882. konstruirao tada najveći jednofazni AC generator nazivne radne snage 350 kW.

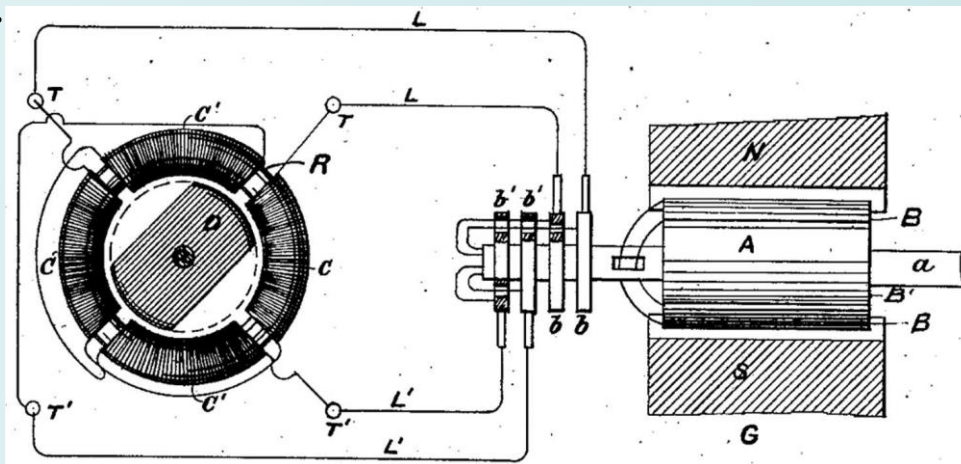


Britanski elektroinženjer Sebastian Ziani de Ferranti je 1882. godine dizajnirao i patentirao još snažniji jednofazni AC generator.

Višefazni sinkroni AC generatori (1)

Početak svibnja 1887. godine, Amerikanac Charles Shank Bradley podnio patentnu prijavu za dva preinačena DC stroja na koje je dodao po 4 klizna prstena i na taj način dobio dvofazni sinkroni AC generator i dvofazni sinkroni AC motor. Patentna je prijava bila prihvaćena početkom listopada 1888. godine.

Bradley je, ustvari, u svibnju 1887. godine prvi prijavio patent za dvofazni AC prijenos električne energije s četiri vodiča, pola godine prije prijave Teslinih američkih patenata br. 382.279, 382.280 i 382.281, koji su prijavljeni krajem 1887. godine, prihvaćeni 1. svibnja 1888. godine i zajedno s drugim patentima prodani tvrtki Westinghouse u srpnju 1888. godine.



Dvofazni AC prijenosni sustav - dvofazni sinkroni AC generator i dvofazni sinkroni AC motor iz Teslinog američkog patenta br. 382.280

Višefazni sinkroni AC generatori (2)

Charles Shank Bradley je u patentu (prijavljenom u listopadu 1888. godine, prihvaćenom u kolovozu 1889. godine) bio blizu otkrića trofaznog AC sustava jer je predložio da se prstenasti armaturni namot DC stroja, kako bi se postigao najmanji mogući broj kliznih prstenova i vodiča, treba podijeliti na tri jednaka dijela, odnosno načiniti tri simetrično raspoređena priključka.

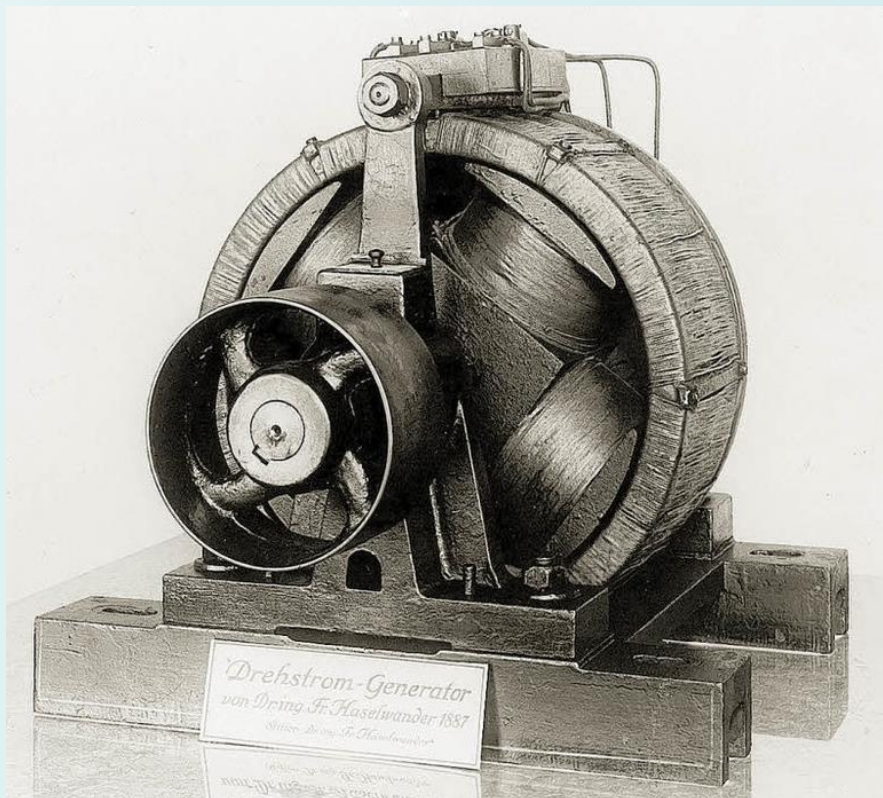
Nijemac Friedrich August Haselwander prošao je gotovo isti istraživački put kao i Bradley. Inspirirao se u svojoj radionici 1887. godine tijekom popravka malog istosmjernog stroja američke tvrtke Thomson-Houston. U ovom su tipu stroja krajevi triju armaturnih namota na rotoru bili spojeni na unutarnju neutralnu točku, a drugi krajevi namota na trosegmentni komutator.

Praktičar Haselwander došao je na ideju da umjesto komutatora na generatoru i motoru ugradi po tri klizna prstena te ih poveže preko klizača i tri fazna vodiča. Namoti trofaznog motora i generatora su bili spojeni u zvijezdu. Za potrebe pokusa izradio je dva stroja.



Višefazni sinkroni AC generatori (3)

Nijemac August Haselwander je 1887. godine konstruirao prvi trofazni sinkroni AC generator. Smatra se prototipom trofaznog sinkronog AC generatora s izraženim polovima. Izložen je u Deutsches Museum u Münchenu.



Nažalost, dobre ideje i rad Haselwandera na području trofaznog prijenosa električne energije ostali su praktički bez ikakve patentne zaštite.

Nemar njegovog patentnog zastupnika i nesretni odabir partnerstva za prijenos patenata zasigurno su bili presudni.

11.

SIMPOZIJ

POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE

ZAGREB, 14.-15. LIPNJA 2023.



Višefazni sinkroni AC generatori (4)

U listopadu 1887. godine Haselwander je svojim trofaznim generatorom napajao električnu rasvjetu. Proizvodno poduzeće W. Lahmeyer & Co. iz Frankfurta na Majni kupilo je licencu za Haselwanderov patent, ali je kasnije patent proglašen nevažećim kada ga je osporila njemačka elektrotvrtka AEG iz Berlina.

Sudovi su naknadno presudili da Nikola Tesla ima prednost u odnosu na Bradleyja i Haselwandera, zbog cjelovitosti Teslinih patenata.



Sinkroni AC generatori tvrtke Ganz (1)

Početnom razvoju sinkronih AC generatora mađarske tvrtke Ganz posvetio sam posebno potpoglavlje jer je to od velike važnosti za razotkrivanje zagubljene istine o počecima elektrifikacije Hrvatske, s posebnim naglaskom na elektrifikaciju Dalmacije, krajem 19. stoljeća i početkom 20. stoljeća, odnosno u doba Austro-Ugarske Monarhije.

Prvi jednofazni sinkroni AC generatori tvrtke Ganz proizvedeni su početkom 1880-ih godina. Imali su oznaku W (njem. Wechselstrom) i imali su armaturni namot na statoru.

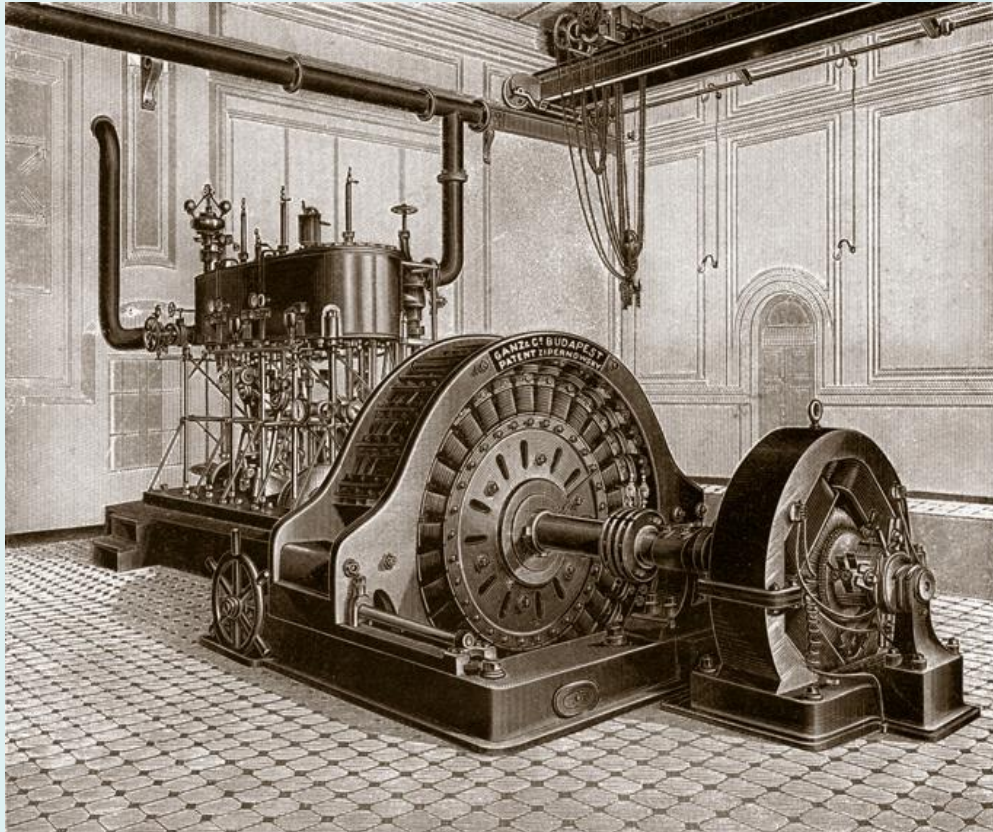
Jednofazni sinkroni AC generatori tipa W i SW proizvodili su se do 1890. godine.

U veliki broj jednofaznih elektrana, koje je izgradila tvrtka Ganz od 1889. do prijelaza stoljeća, ugrađeni su jednofazni sinkroni AC generatori tipa A.



Sinkroni AC generatori tvrtke Ganz (2)

Godine 1894. jednofazni sinkroni AC generator tipa A7 isporučen je za HE Krku (Jarugu 1).



Tvrtka Ganz je tek 1896. godine započela s proizvodnjom dvofaznih i trofaznih AC generatora, koji su bili tipa AF.

11.

SIMPOZIJ

POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE

ZAGREB, 14.-15. LIPNJA 2023.



Asinkroni AC motori (1)

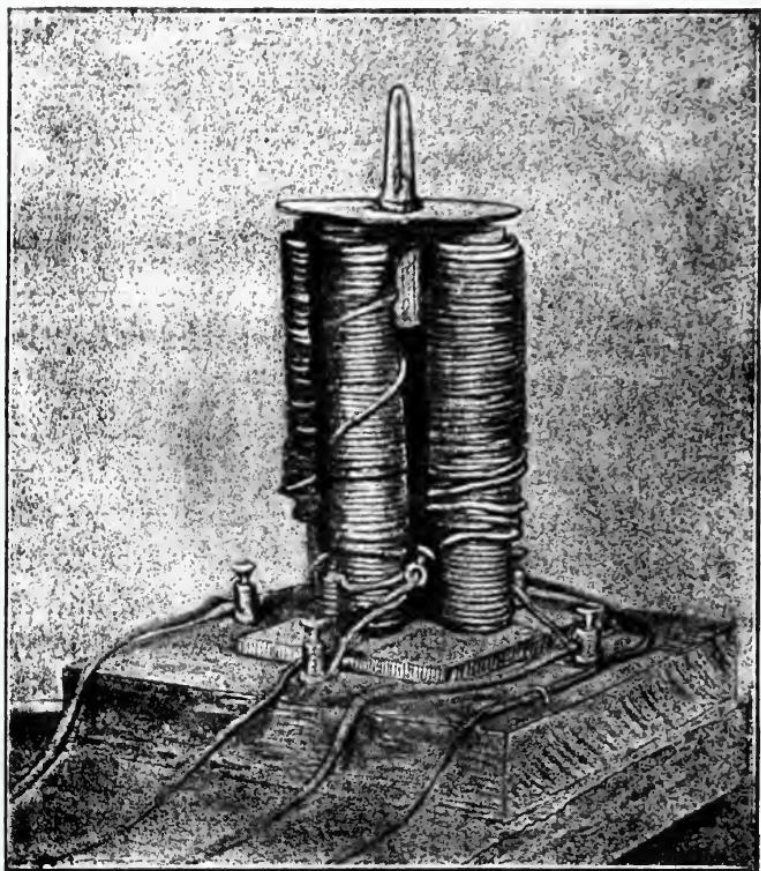
Britanski elektroinženjer Walter Baily je 1879. godine pomoću simulirane dvofazne izmjenične struje okretao bakreni disk. O tome je objavio članak:

Walter Baily, A Mode of Producing Arago's Rotation, June 28, 1879.
(Philosophical Magazine: A Journal of Theoretical, Experimental and Applied Physics, Taylor & Francis, 1879.)

Walter Baily je izmjeničnu struju simulirao pomoću rotacijske preklopke jer tada nije imao na raspolaganju dvofaznu izmjeničnu struju. Nažalost, pomoću ovog uređaja nije mogao postići dovoljno veliku snagu da bi takav motor mogao poslužiti u praksi.



Asinkroni AC motori (2)



Prestavljajući svoj rad u Londonskom fizikalnom društvu 28. lipnja 1879. godine, Baily je skromno izjavio da svoj AC motor zasad može smatrati samo znanstvenom igračkom.

Baily nije iskoristio to što je shvatio kako se pomoću izmjeničnih struja koje su pomaknute fazno i geometrijski može stvoriti okretno polje.

11.

SIMPOZIJ

POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE

ZAGREB, 14.-15. LIPNJA 2023.

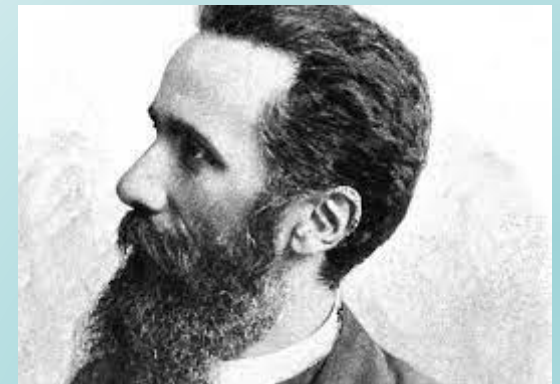


Asinkroni AC motori (3)

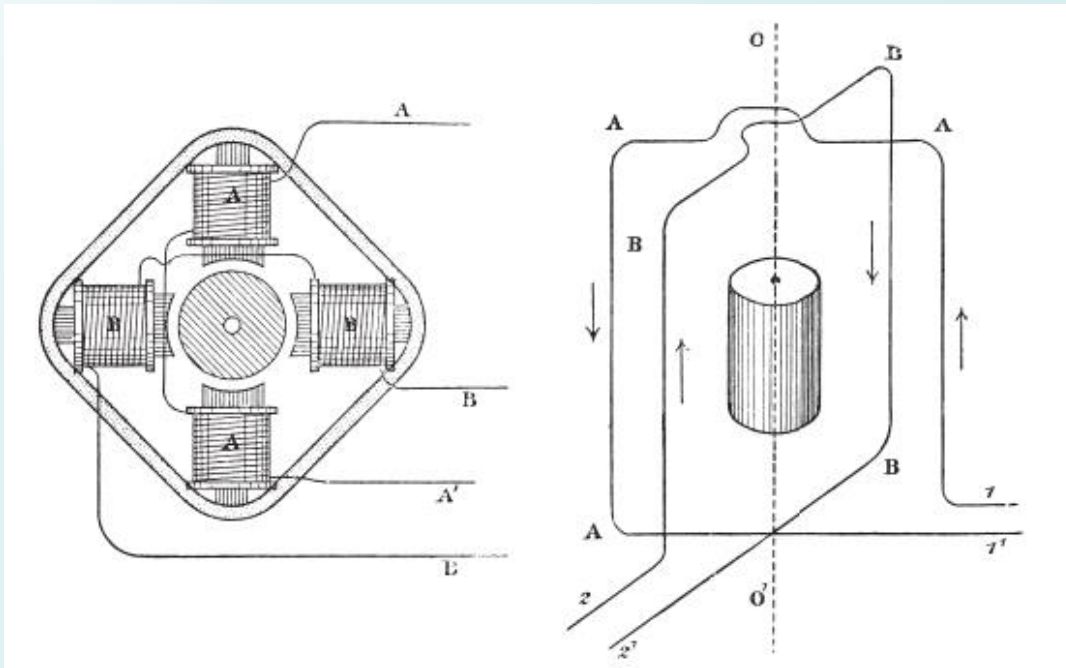
U studenome 1883. godine, Francuz Marcel Deprez održao je predavanje u kojem je opisao svoju ideju o dva para namota, geometrijski pomaknuta za 90 stupnjeva, koji se napajaju izmjeničnim strujama pomaknutim za 90 električnih stupnjeva. Magnetska se igla vrtjela pod djelovanjem okretnog magnetskog polja.

Iako je Deprez otkrio kako stvoriti okretno magnetsko polje, iskoristio je to znanje za izum geomagnetskog kompasa, a ne asinkronog AC motora.

Dvije godine kasnije, 1885. godine, talijanski profesor fizike Galileo Ferraris, sretno je spojio ideje Bailya i Depreza, vjerojatno ne znajući za njihov rad.



Asinkroni AC motori (4)



Profesor Galileo Ferraris je upotrijebio analogiju s optikom, tj. znanstvenu metodu.

Prema toj ideji, Ferraris je 1885. godine izradio mali model motora.

Nažalost, Ferraris je objavio svoj rad tek nakon predavanja održanog 18. ožujka 1888. godine na Kraljevskoj akademiji znanosti u Torinu. Dakle, prije prihvaćanja Teslinog patenta 1. svibnja 1888. godine.

Asinkroni AC motori (5)

Nažalost, Ferraris je objavio svoj rad tek nakon predavanja održanog 18. ožujka 1888. godine na Kraljevskoj akademiji znanosti u Torinu.

Galileo Ferraris je objavio rezultate svojih eksperimenata iz 1885. tek kad je shvatio da i drugi izumitelji rade slične eksperimente.

Galileo Ferraris, Rotazione elettrodinamiche prodotte per mezzo di correnti alternate, *Il Nuovo Cimento*, Dicembre 1888., Vol. 23, pp. 246-263.

Ferraris je odugovlačio s objavom rezultata svojih eksperimenata jer je pogrešno zaključio da će asinkroni AC motor imati maksimalnu korisnost 50 %.

Ugledni američki istraživač William Stanley je 1903. godine u pismu uredniku časopisu *Electrical Review* izjavio da je u Torinu osobno vidio prototipove motora i crteže koje je napravio Ferraris 1885. godine te da je razgovarao s ljudima kojima je Ferraris demonstrirao rad tih motora i objasnio im princip njihovog rada.

Ferraris je, između ostalog u svom članku, u teoriju izmjenične struje uveo pojam faze.



Asinkroni AC motori (6)

Ferrarisovom predavanju, održanom 18. ožujka 1888. godine, pridana je velika važnost. To se može zaključiti iz njegove brze distribucije. U Americi je bio izvanredan odjek.

Tvrtka Westinghouse je dogovarala otkup patentnih prava za asinkroni motor Galilea Ferrarisa za samo tisuću američkih dolara, ali je od toga odustala jer je kupila Tesline patente. Da su to uradili izbjegli bi mnoge naknadne sudske sporove.

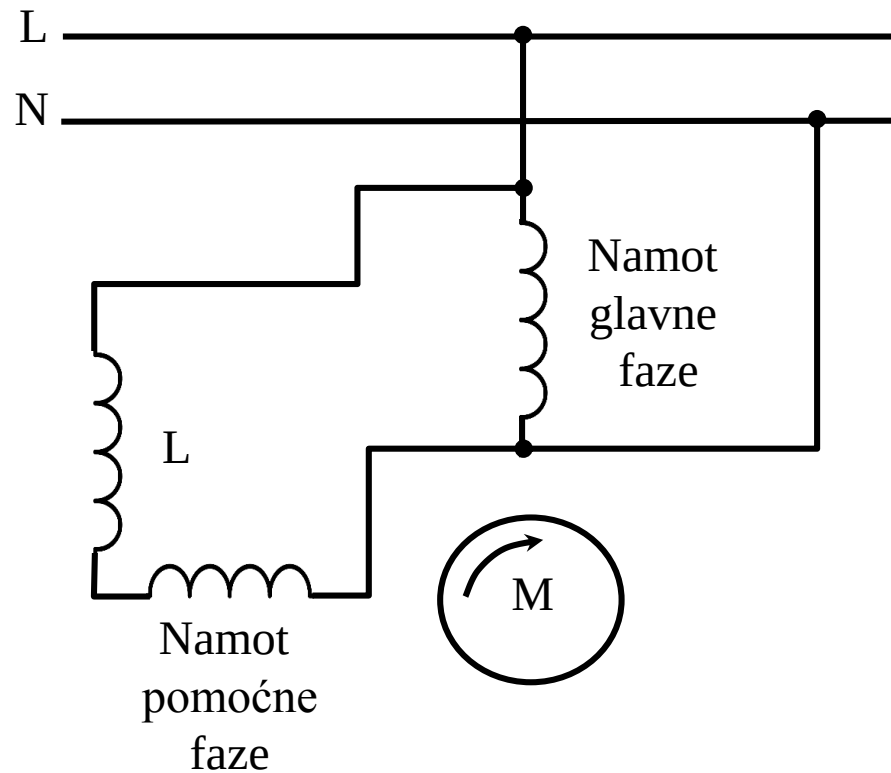
Ferraris je u ovom radu, također, predložio izradu mjernih instrumenata (električnih brojila) za izmjenične struje na temelju ovog principa.

Predložio je i kako od jedne faze napraviti dvije dodavanjem induktiviteta u pomoćnu fazu, tj. opisao je izum jednofaznog asinkronog motora i, ujedno, jednofaznog sinkronog motora.

Prvenstvo izuma jednofaznog asinkronog motora bio je predmet mnogih sudskih sporova. George Westinghouse je bio moćan čovjek i dobio je te sudske sporove; neke i nezakonito.



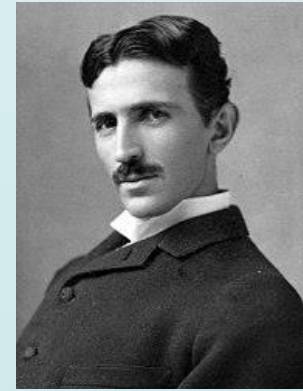
Asinkroni AC motori (7)



Tesla je tek u prosincu 1888. godine prijavio prvi patent za jednofazni asinkroni AC motor.

Asinkroni AC motori (8)

Tesla je studij strojarstva u Grazu započeo 1875. godine. Početkom 1880. otišao je u Prag, a u siječnju 1881. u Budimpeštu, gdje 1882. šetao po parku. Tamo je bio tehnički crtač u Središnjem telegrafskom uredu mađarske vlade. U proljeće 1882. godine odlazi u Pariz raditi za Edisonovu tvrtku.



Tesla je svjedočeći na američkom sudu tvrdio da je, radeći u Strasbourgu za Edisonovu tvrtku Soci  t   Electrique Edison, 1883. godine u tajnosti napravio prototip asinkronog AC motora, koji je navodno skrivao u ormaru, a taj je motor pogonio Siemensov jednofazni AC generator. Njegovo otkriće u budimpeštanskom parku nikad se nije spominjalo na sudu.

Tesla je u SAD otišao 6. lipnja 1884. godine. Između 1887. i 1891. godine razvio je prototipove svojih AC motora.

Važne patente prijave uslijedile su u studenom i prosincu 1887. godine godine, ali nijedna nije prihvaćena do 1. svibnja 1888. godine, kada mu je prihvaćena cijela serija patenata.



Asinkroni AC motori (9)

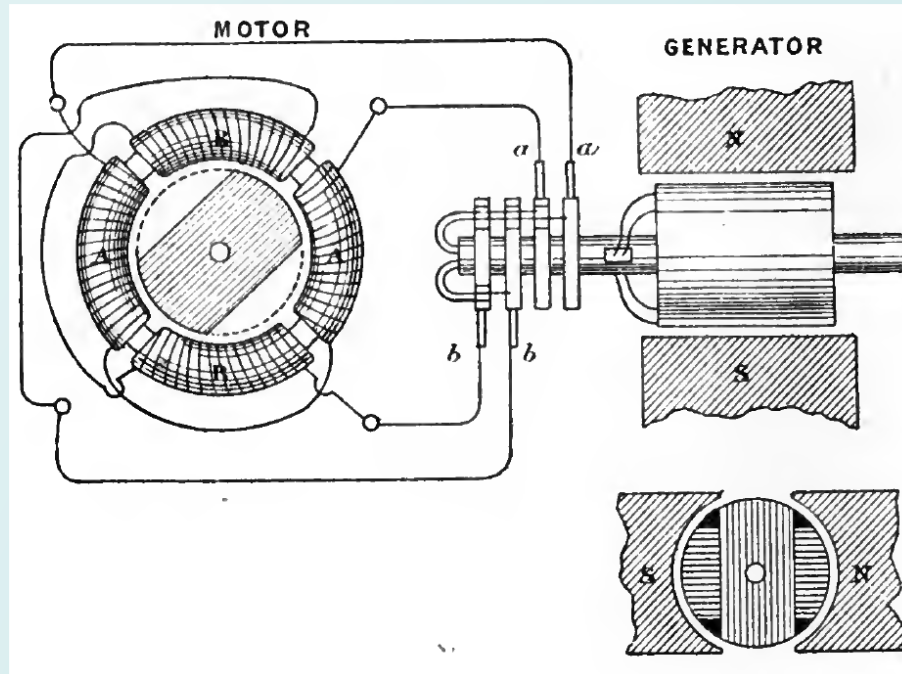
Znakovito je to da je Tesla u opisu svog američkog patenta br. 382.280, prihvaćenog 1. svibnja 1888. godine, napisao sljedeće: „***Svjestan sam da nije ništa novo proizvesti rotacije motora povremenim pomicanjem polova jedne od njegovih sastavnica. ... U svom izumu, međutim, koristim prave izmjenične struje; i moj se izum sastoji u otkrivanju načina ili metode korištenja takvih struja***“.

Svoj uspjeh Nikola Tesla prvenstveno može zahvaliti elektroinženjeru Alfredu S. Brownu i odvjetniku Charlesu F. Pecku (umro 1890. godine), koji su uložili novac u Teslina istraživanja tako što su u travnju 1887. godine zajedno s Teslom osnovali tvrtku Tesla Electric Company. Peck i Brown uobličili su svoju poslovnu strategiju za Tesline izume koja se može svesti na frazu „*patentiraj – promoviraj – prodaj*“.

Zahvaljujući toj strategiji i njihovoj lukavoj obmani Goergea Westinghousea da druga tvrtka želi odmah skupo platiti Tesline patente, Peck i Brown vrlo su skupo prodali Tesline patente tvrtki Westinghouse u srpnju 1888. godine.

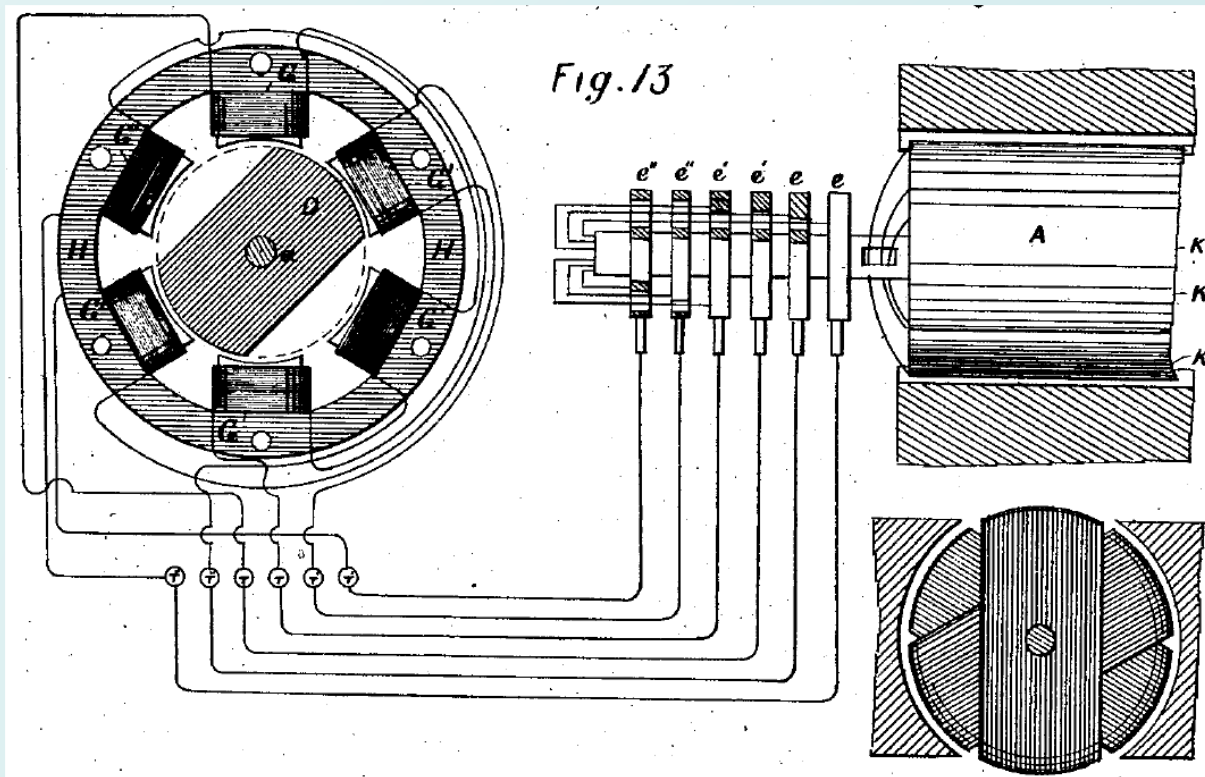


Asinkroni AC motori (10)



Teslin patent dvofaznog AC motora i generatora s dva vodiča po fazi.
Patent je prihvaćen 1. svibnja 1888. godine.

Asinkroni AC motori (11)

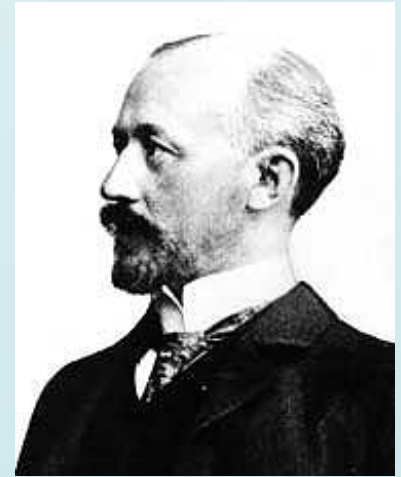


Teslin patent trofaznog AC motora i generatora s dva vodiča po fazi.

Patent je prihvaćen 1. svibnja 1888. godine.

Asinkroni AC motori (12)

1889. godine Michael von Dolivo-Dobrowolsky (Mikhail Osipovich Dolivo-Dobrovolsky) iz njemačke elektrotvrtke AEG-a prvi trofazni kavezni asinkroni AC motor s kavezom kakav se i danas koristi, a nakon toga je konstruirao i trofazni kliznokolutni asinkroni AC motor od 5 KS. To su bili vrlo funkcionalni motori. Međutim, prihvaćeni su mu patentni samo za rotor trofaznih asinkronih AC motora.



Šveđaninu Jonasu Wenströmu iz ASEA-e je 1890. godine prihvaćen britanski patent za trofazni prijenosni sustav te trofazne motore i generatore.



Benjamin G. Lamme, elektroinženjer tvrtke Westinghouse, je napisao: „*Europske zemlje, treba razumjeti, nisu zaostajale za SAD-om u razvoju samog asinkronog AC motora, a zapravo je Europa na neki način bila godinu ili dvije ispred SAD-a. ... Posao s asinkronim AC motorima u ovoj zemlji doista je krenuo 1893. godine.*”

Asinkroni AC motori (13)

Teslini prototipovi asinkronih AC motora nisu bili upotrebljivi u industriji, a na poboljšanju tih motora, služeći se i teorijskim izračunima, više su godina radili inženjeri tvrtke Westinghouse, do 1890. godine pod vodstvom elektroinženjera Charlesa F. Scotta, a nakon toga pod Lammeovim vodstvom. Pušteni su u prodaju tek 1894. godine.

Sav taj veliki trud bio je potreban da bi unaprijeđeni Teslini asinkroni AC motori u industriji radili jednako dobro kao trofazni asinkroni AC motori Michaela von Dolivo-Dobrowolskog, konstruirani početkom 1889. godine.



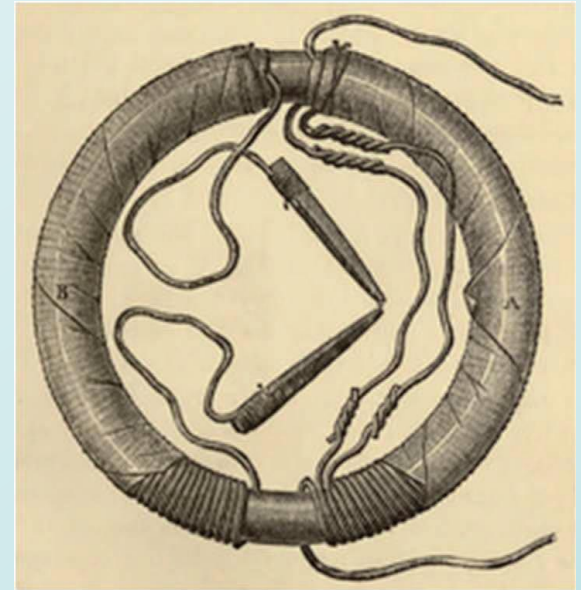
Asinkroni AC motori (14)

O izumu asinkronog AC motora, povjesničar tehnologije Hughes u svojoj odličnoj knjizi, objavljenoj 1983. godine, piše: *„Postoji i nacionalistička pristranost u tvrdnjama o prvenstvu izuma i razvoju asinkronih AC motora. ... Kao najpoznatiji među izumiteljima asinkronog AC motora ističe se Nikola Tesla. Tesla je poznatiji od ostalih ne samo zbog uspjeha svog izuma, već i zbog toga što je njegova domovina, Jugoslavija, predano njegovala sjećanje na njega; jer je bio povezan s vodećim američkim industrijalcem; jer su ga njegovi suvremenici poštovali; i zato što je bio živopisna, dramatična osoba koja je privukla značajnu pozornost u novinama i časopisima te o kojoj je napisan niz popularnih knjiga.“*

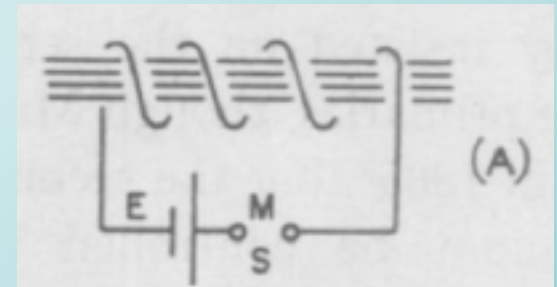


Transformatori (1)

Transformator je nastao zahvaljujući tome što je Michael Faraday 1831. godine otkrio zakon elektromagnetske indukcije. Faradayev je eksperimentalni indukcijski uređaj u svojoj jednostavnosti bio u određenoj mjeri embrij iz kojeg su se razvili svi generatori, motori i transformatori. To je jednofazni pritransformator sa zatvorenom željeznom jezgrom.

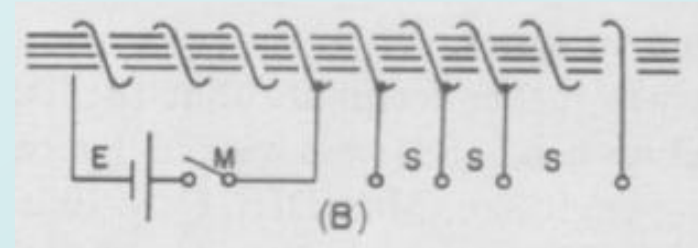


Američki istraživač Joseph Henry je 1832. godine, uslijed uklapanja i isklapanja zavojnice na istosmjerni izvor izazvao električnu iskr.



Transformatori (2)

Slijedeći Henryijev pokus, C. J. Page je 1836. godine konstruirao prvi autotransformator.



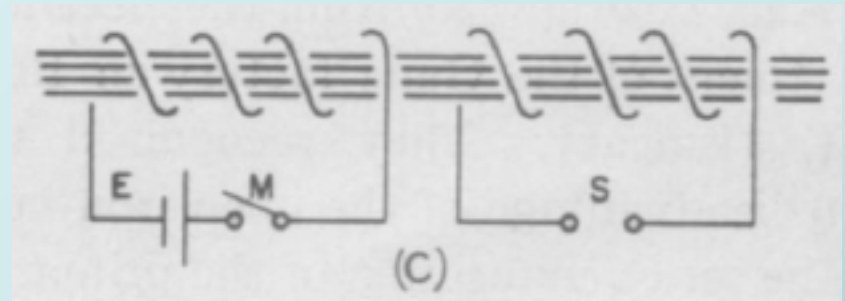
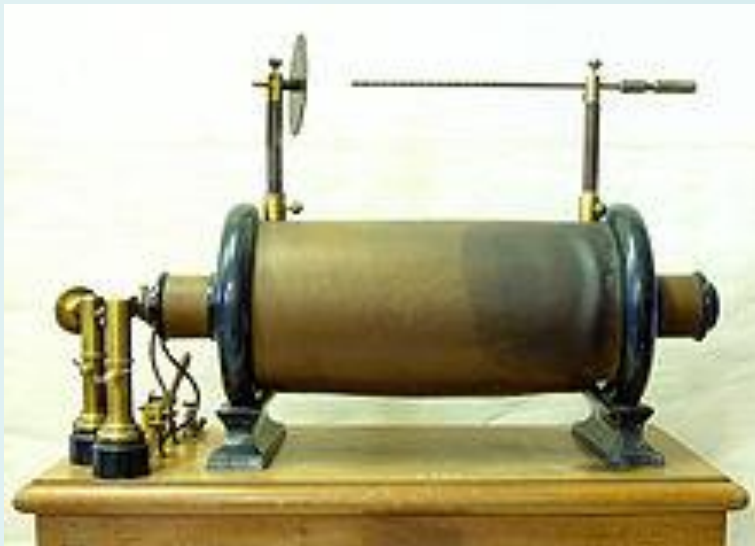
Prva vrsta transformatora, uređaja koji prenosi električnu energiju iz jednog strujnog kruga u drugi pomoću elektromagnetske indukcije, bio je takozvani induktor ili induksijska zavojnica.

Induktor je uređaj pomoću kojeg se niskonaponska DC struja kroz primarni namot prekida pomoću prekidača te se uslijed EM indukcije u sekundarnom namotu sa znatno većim brojem zavoja postiže visoki AC napon. Namoti su namotani na otvorenu željeznu jezgru.

U Europi je prvi induktor bio Callanov induktor, ali je mnogo poznatiji postao Rühmkorffov induktor. Irski je svećenik i istraživač Nicholas Callan svoj induktor opisao 1836. godine te ga je konstruirao 1837. godine, dok je njemački konstruktor instrumenata Heinrich Daniel Rühmkorff svoj induktor konstruirao 1848. godine

Transformatori (3)

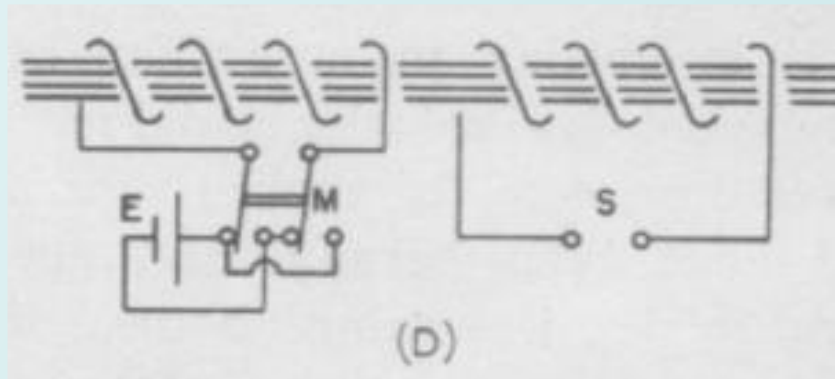
Pomoću induktora iz baterije (DC izvora) dobivao se visoki izmjenični (AC) napon koji je između krajeva sekundarnog namota stvarao iskre. Istosmjerna struja u primarnom namotu sa znatno manjim brojem zavoja prekidana je pomoću mehaničkog prekidača. Preko induktora napajane su lučne svjetiljke.



Induktor

Transformatori (4)

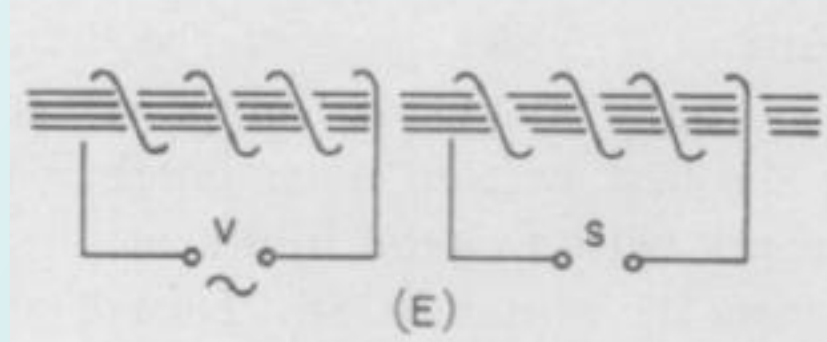
Da bi pojačao iskrenje iz induktora, Cromwell Fleetwood Varley je 1856. godine kroz primarni namot induktora puštao simuliranu izmjeničnu struju koju je dobivao iz DC izvora pomoću preklopke.



Dakle, Varley je kroz primarni namot induktora puštao izmjeničnu struju i prije no što su postojali stabilni AC izvori električne energije.

Transformatori (5)

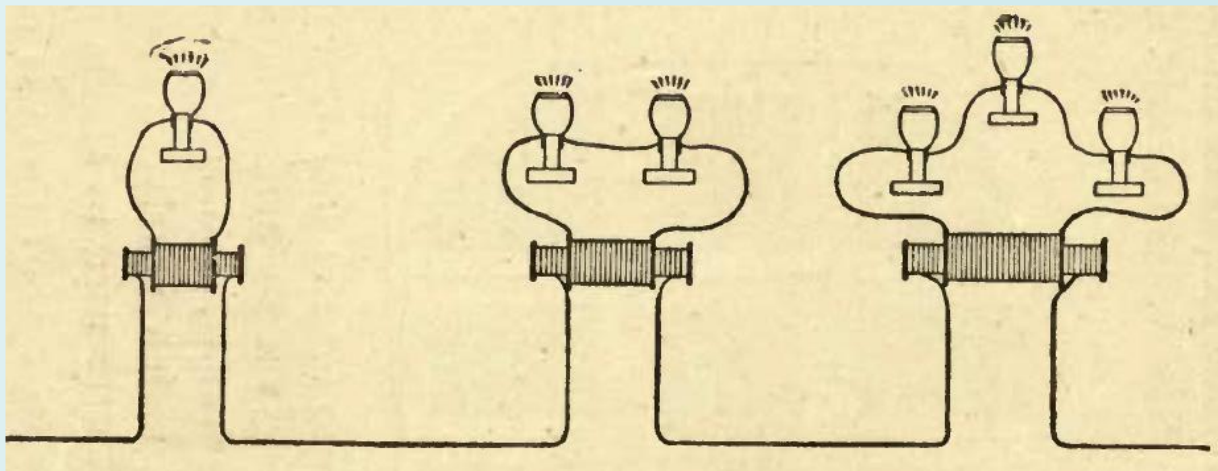
Budući da su 1868. godine postojali stabilni AC izvori, induktori su se mogli koristiti izravno, tj. bez mehaničkog prekidača. To je prvi učinio engleski fizičar William Robert Grove 1868. godine.



Možda bi malo poznati američki izumitelj Jim Billings Fuller bio izumitelj transformatora i prijenosnog AC sustava da nije prerano umro. Svoje je ideje povjerio svom predradniku neposredno prije smrti, a njegove su bilješke pronađene nedugo nakon toga, u veljači 1879. godine.

Transformatori (6)

Ruski istraživač Pavel Nikolajevič Jabločkov je u Parizu 1876. godine patentirao i 1877. godine instalirao novi sustav lučne rasvjete koji je koristio induktore napajane iz DC generatora s izmjenjivačem i potom iz Grammeovog jednofaznog AC generatora. Ta pariška ulična rasvjeta je vjerojatno bila prva električna ulična rasvjeta.



Jabločkov je, ustvari, za napajanje koristio strujnu petlju, a to znači da su primarni namoti induktora bili povezani serijski

Transformatori (7)

Dana 13. rujna 1882. godine francuski inženjer Lucien Gaulard i engleski poduzetnik John Dixon Gibbs podnijeli su zahtjev za engleski patent za jednofazne transformatore i za prijenosni električni sustav čije su sastavnice bili ti transformatori.

Taj su sustav demonstrirali najprije 1883. na maloj elektrotehničkoj izložbi u Westminster Aquariumu u Londonu, zatim na Metropolitan Railwayu u Londonu iste godine, te na Općoj talijanskoj izložbi u Torinu, u Italiji, 1884. godine.

Gaulard-Gibbsov transformator je nastao preinakom induktora i to je bio silazni jednofazni transformator s otvorenom ravnom željeznom jezgrom, a oni su ga nazvali *sekundarnim generatorom*. Tada još nije bio uveden naziv transformator.

Gaulard i Gibbs su inzistirali na upotrebi otvorene željezne jezgre, a napon na sekundaru njihovog transformatora kontrolirao se uguravanjem i izvlačenjem ove željezne jezgre.



Transformatori (8)



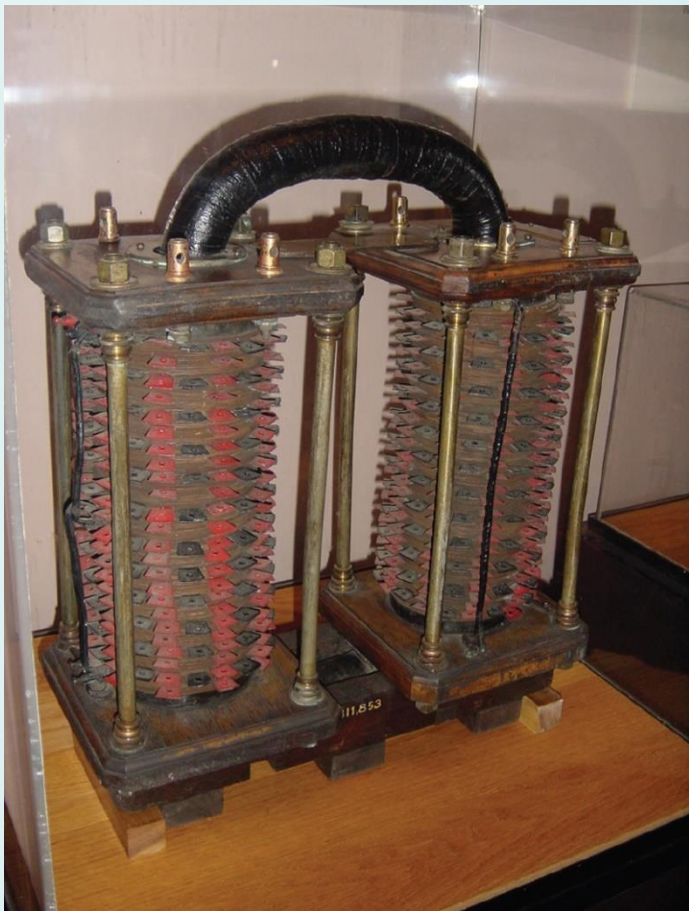
Primjerak Gaulard-Gibbsovog transformatora proizvedenog 1884. godine (Museo Galileo, Florence, Italija)

Gaulard-Gibbsov silazni transformator s otvorenom ravnom jezgrom nije imao visoku korisnost da bi se mogao komercijalno koristiti.

Taj je transformator visoki napon smanjivao na napon koji je bio prikladan za napajanje rasvjetnih sustava s lučnim svjetiljkama i svjetiljkama sa žarnom niti.

Izumitelji su prodali patente američkoj tvrtki Westinghouse. Međutim, izgubili su patentna prava na engleskom sudu kad ih je tužio britanski elektroinženjer i izumitelj Sebastian Ziani de Ferranti.

Transformatori (9)



Primjerak Gaulard-Gibbsovog transformatora koji je izložen u Smithsonian Museumu, u Washtingtonu, D.C.

Transformatori (10)

Opću talijansku izložbu u Torinu 1884. godine posjetila su tri mlada inženjera, Miksa Déri, Ottó Titusz Bláthy i Károly Zipernowsky, iz elektroodjela mađarske tvrtke Ganz iz Budimpešte.

Prepoznali su veliki nedostatak otvorene željezne jezgre i serijskog povezivanja primarnih namota Gaulard-Gibbsovog transformatora i započeli su s izradom jednofaznog transformatora sa zatvorenom željeznom jezgrom.

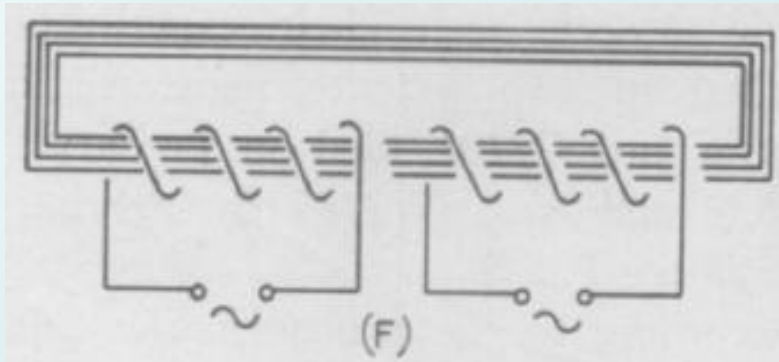
Tijekom zime 1884. godine, Déri je demonstrirao njihov izum jednofaznog transformatora sa zatvorenom željeznom jezgrom u Austriji na Vienna Trade Associationu. Njihovi eksperimenti rezultirali su s dva austrijska patenta podnesena u siječnju i veljači 1885. godine.

Svoj jednofazni transformator sa zatvorenom željeznom jezgrom i AC prijenosni sustav predstavili su na Nacionalnoj općoj izložbi u Budimpeštiu u svibnju 1885. godine.



Transformatori (11)

Ovaj uređaj, koji su Déri, Bláthy i Zipernowsky prvi nazvali *transformatorom*.



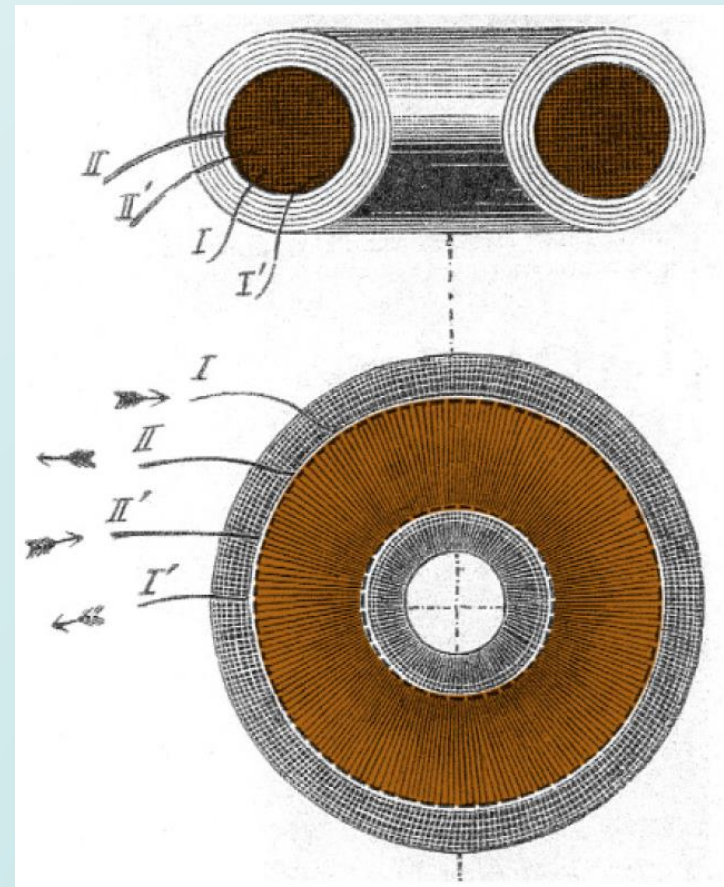
Jednofazni transformator tvrtke Ganz u literaturi se naziva ZBD transformatorom ili pak ZDB transformatorom, što su inicijali prezimena njegovih izumitelja.

Paralelni spoj primarnih namota ZBD transformatora omogućio je da regulacija opterećenja transformatora bude neovisna o opterećenju ostalih transformatora, što je omogućilo učinkovit prijenos električne energije kroz transformatore.

Transformatori (12)



Prvi ogrnuti ZBD transformator

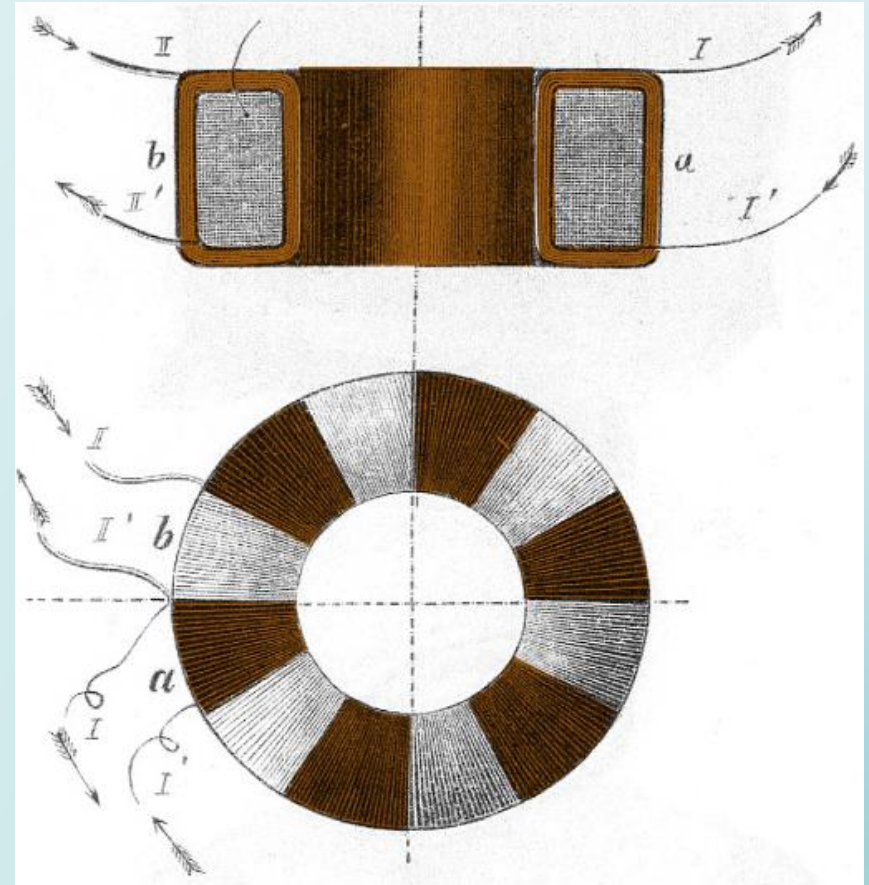


Bakreni namoti su označeni smeđom bojom

Transformatori (13)



Jezgrasti ZBD transformator



Bakreni namoti su označeni smeđom bojom

Transformatori (14)

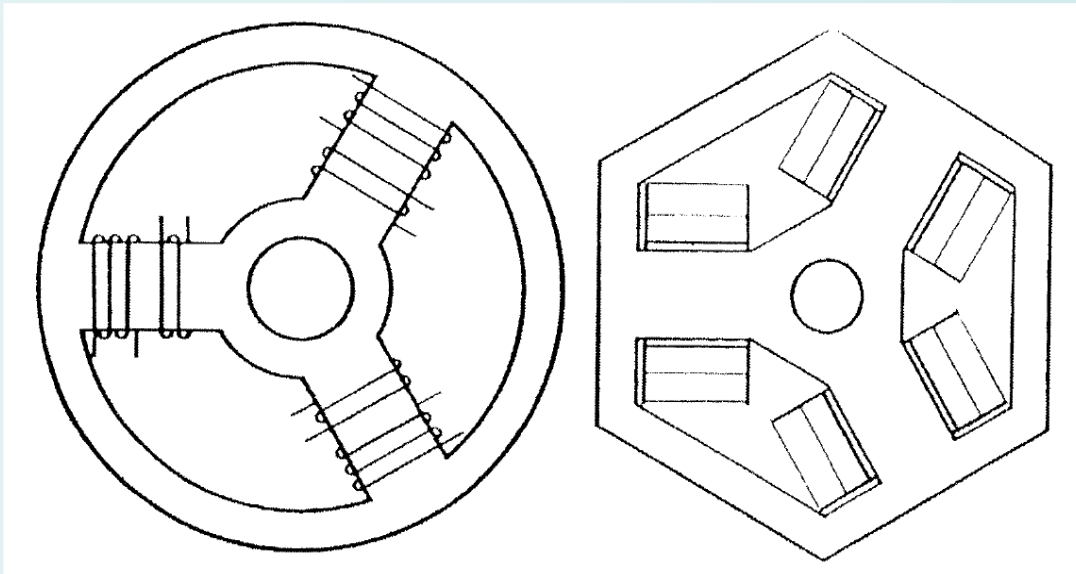
Gaulard i Gibbs su svoja patentna prava prodali američkoj tvrtki Westinghouse Electric Company koja je osnovana u siječnju 1886. godine.

Elektroinženjer William Stanley je konstruirao prvi Westinghouseov komercijalni jednofazni transformator sa zatvorenom željeznom jezgrom ogrnutog tipa za koji mu je patent prihvaćen 1886. godine.



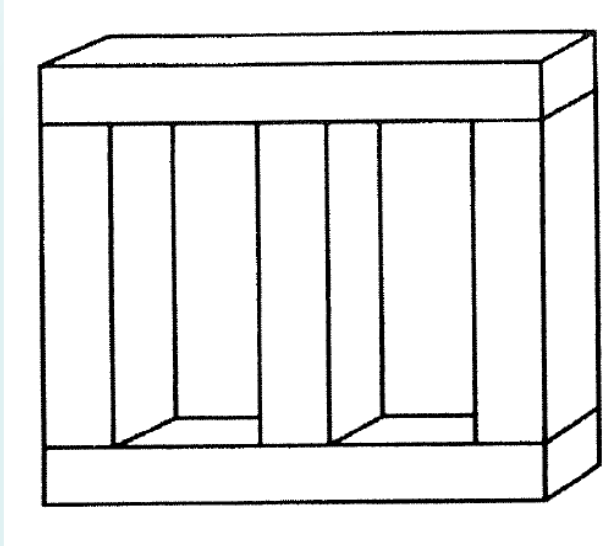
Transformatori (15)

Glavni elektroinženjer njemačke tvrtke AEG Michael von Dolivo-Dobrowolsky je 1889. godine konstruirao prvi trofazni suhi transformator sa zatvorenom željeznom jezgrom. Zahvaljujući suradnji tvrtki AEG i MFO, već je 1890. godine elektroinženjer Charles E. L. Brown konstruirao MFO-ov trofazni uljni transformator.



Jezgra i namoti prvih
trofaznih suhих
transformatora tvrtke
AEG

Transformatori (16)



Jezgra trofaznih suhих transformatora tvrtke AEG sa stupovima u istoj ravnini – takva se jezgra i danas koristi.

U SAD-u nije zaživjela ideja da se grade trofazni transformatori, već se tamo umjesto trofaznog uljnog transformatora i danas koristi skup od tri jednofazna uljna transformatora.

Jednofazni AC prijenosni sustavi (1)

Opis Gaulard – Gibbsovog jednofaznog AC prijenosnog sustava objavljen je u Velikoj Britaniji 1883. godine. Primarni namoti transformatora su bili povezani serijski, a njihovi transformatori (sekundarni generatori) imali su otvorenu željeznu jezgru.

Godine 1884. na Općoj talijanskoj izložbi u Torinu prikazan je eksperimentalni Gaulard-Gibbsov AC prijenosni sustav napona 3 kV od Lanza do Torina. Ovaj je sustav prenosio električnu energiju na udaljenost od 40 kilometara i bio je prvi AC prijenosni sustav koji je javno predstavljen.

Gaulard – Gibbsov jednofazni AC prijenosni sustav je potakao profesora Ferarisa na rad na razvoju AC sustava i izumu AC motora 1885. godine, Westinghousea da osnuje elektrotvrtku 1886. godine te Pecka i Browna da ulože novac u Teslin laboratorij i s njim 1887. godine osnuju tvrtku Tesla Electric Company.



Jednofazni AC prijenosni sustavi (2)

Gaulard – Gibbsov jednofazni AC prijenosni sustav je potakao mađarsku tvrtku Ganz da razvije svoj tzv. ZBD jednofazni AC prijenosni sustav. Primarni namoti transformatora su bili povezani paralelno, a njihovi transformatori imali su zatvorenu željeznu jezgru.

ZBD prijenosni sustav tvrtke Ganz predstavljen na Nacionalnoj općoj izložbi u Budimpešti 1885. godine. ZBD sustav je bio praktičan i masovno se primjenjivao.

Između 1885. i 1890. godine tvrtka Ganz je diljem svijeta isporučila gotovo 60 kompletnih jednofaznih AC elektrana.

Nakon Nacionalne opće izložbe u Budimpešti 1885. godine, tijekom idućih pet godina, tvrtka Ganz je izgradila ukupno 273 električna postrojenja diljem svijeta.

Tvrtka Ganz je 1892. godine izgradila najveću jednofaznu AC hidroelektranu tog vremena u Europi i to u Tivoliju, blizu Rima.



Jednofazni AC prijenosni sustavi (3)

Stanleyjev sustav razvijen za tvrtku Westinghouse postao je operativan u ožujku 1886. godine. Odbacio je nestabilni Gaulard-Gibbsov dizajn koji je kupio Westinghouse i izumio svoj jednofazni generator, transformator i distribucijski sustav.

Do 1. rujna 1887. godine tvrtka Westinghouse Electric Company proizvela je i montirala 24 male jednofazne AC elektrane u SAD-u i jednu u Kanadi. Godine 1890. više od 300 jednofaznih AC elektrana širom svijeta koristilo je Westinghouseove jednofazne AC sustave.

Do 1. rujna 1887. godine tvrtka Westinghouse Electric Company proizvela je i montirala 24 male jednofazne AC elektrane u SAD-u i jednu u Kanadi. Godine 1890. više od 300 jednofaznih AC elektrana širom svijeta koristilo je Westinghouseove jednofazne AC sustave.



Jednofazni AC prijenosni sustavi (4)

U engleskom tehničkom časopisu 1887. godine autor teksta je lamentirao: „*Europskim elektrotehničarima i kapitalistima ne služi baš na čast to što su sve ideje i eksperimenti došli iz Europe ... a prepušteno je američkoj tvrtki da preuzme sustav i učini ga komercijalnim i praktičnim uspjehom, s kojim tvrtka Westinghouse sada posluje.*“

Britanskom elektroinženjeru Sebastianu Ziani de Ferrantiju 1886. godine prihvaćena su dva patenta za jednofaznu AC distribuciju.

Kao početak komercijalne jednofazne AC elektrifikacije u Hrvatskoj može se uzeti početak elektrifikacije riječke luke početkom 1891. godine.

Prvi jednofazni AC prijenosni vod u Hrvatskoj izgrađen je 1895. godine od HE Krke (Jaruge 1) do Šibenika. Bio je to dvostruki jednofazni AC vod od HE Krke do Šibenika, dug 11 kilometara, koji je pušten je u pogon 28. kolovoza 1895. godine.

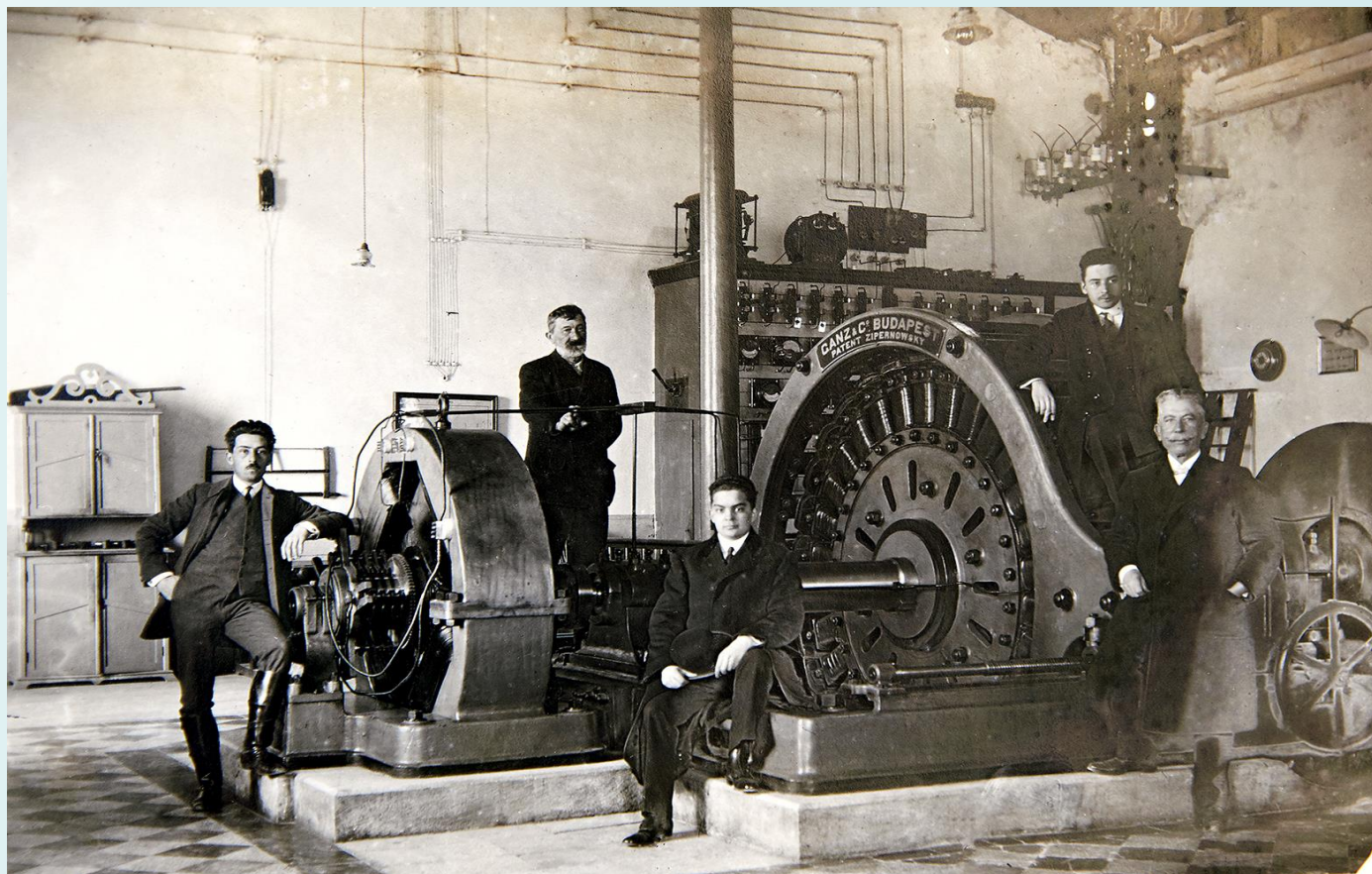


Jednofazni AC prijenosni sustavi (5)

GRUNDBUCHBLATT			
der <i>W. Str.</i> Maschine No <i>2289</i>			
Type: <i>A7</i>		Nähere Bezeichnung:	
Direct mit dem Motor gekuppelt oder für Riemenantrieb mit oder ohne Riemenspannvorrichtung: <i>mit Turbine</i>			
Leistung	Ampères <i>67</i>	Riemscheibe	Durchmesser: <i>Kuppelung</i>
	Volt: <i>3000</i>		Breite: <i>11-12337</i>
	Anzahl der zu betreibenden Glüh- und Bogenlampen event. Sec. Generatoren		Bohrung: <i>200</i>
			Touren pro Minute: <i>170</i>
Commutator	Type und Zeichnung Nr. <i>9462</i>	Bürsten	Anzahl:
	Durchmesser: <i>380</i>		Material:
	Breite: <i>86</i>		Lagen in einer Bürste:
	Bohrung: <i>280/290</i>		Länge:
	Anzahl der Sektoren oder Schleifringe: <i>2</i>		Breite:
Bohrung der Lager	Riemscheiben Seite: <i>210</i>	Durchmesser des Drahtes der Bewicklung	der Inductionsspulen:
	Commutator Seite: <i>150</i>		der Magnet-spulen bei S. W.
			der Spulen der rotirenden Magnete:
Zeichnung Nr. (Zusammenstellung) nach welcher die Maschine montirt wurde: <i>7018.8955</i>			
Lieferung	Datum: <i>7. XI. 94.</i>	Bemerkung:	
	Best.-Nr.: <i>11483</i>		
	Besteller: <i>Sebenico</i>		
	Bestimmungsort:		
		Unterschrift des Werkführers: des Controlors:	

Preslika iz knjige isporuka tvrtke Ganz za generator tipa A7

Jednofazni AC prijenosni sustavi (6)



Općepoznata fotografija članova obitelji Šupuk i suradnika pokraj jednofaznog AC generatora tipa A7 i DC uzbudnika HE Krke (Jaruge 1)

Jednofazni AC prijenosni sustavi (7)

Dana 17. prosinca 1895. godine, nekoliko mjeseci nakon HE Krke, u Varaždinu je u pogon puštena javna jednofazna AC elektrana.

Tvrtka Ante Šupuk i sin je 1888. godine, ili pak 1889. godine, u HE Krku ugradila još jedan jednofazni AC agregat radi napajanja novoizgrađene tvornicu za proizvodnju kalcijevog karbida u vlasništvu venecijanske elektrokemijske tvrtke.

HE Krka (Jaruga 1) bila je u pogonu do 1914. godine, odnosno do početka Prvog svjetskog rata, kada su elektrana i njen dalekovod demontirani da bi se bakar i željezo iz elektrane i s dalekovoda upotrijebili u vojne svrhe.

Visokonaponski jednofazni AC prijenosni sustavi bili su sveprisutni do 1890. godine, osobito sustavi koje su izgradile tvrtka Westinghouse Electric Company iz SAD-a i tvrtka Ganz iz Mađarske.



Višefazni AC prijenosni sustavi

Elektrotvrtke u SAD-u, uključujući tvrtke Stanley Electric Manufacturing Company i Thomson-Houston Company, te njemačke i švicarske elektrotvrtke pridonijele su razvoju višefaznog AC sustava. Zanimljivo je da su Britanci stajali po strani.

Kao što je prethodno rečeno, američki izumitelj Charles S. Bradley je 1887. godine prvi prijavio patent za dvofazni prijenos izmjenične električne struje s četiri vodiča.

U Teslinim patentima prihvaćenim 1. svibnja 1888. godine dvofazni sustav je imao 4 vodiča, dok je trofazni sustav imao 6 vodiča.

Nijedan zapis o razvoju višefaznih AC sustava ne bi bio potpun bez osvrta na Međunarodnu elektrotehničku izložbu u Frankfurtu na Majni u ljeto 1891. godine. Na toj su izložbi javno prikazani prvi pokazni dvofazni AC prijenosni sustav i prvi pokazni trofazni AC prijenosni sustav.



Dvofazni AC prijenosni sustavi (1)

Na Međunarodnoj elektrotehničkoj izložbi u Frankfurtu na Majni 1891. godine prikazan je prvi pokazni dvofazni AC prijenosni sustav njemačke tvrtke Schuckert & Co. koji je prenosio električnu energiju na udaljenost od 4 kilometra.

Komercijalni dvofazni AC prijenosni sustavi švicarske tvrtke BBC i američke tvrtke Stanley Electric prethodili su Westinghouseovoj demonstraciji dvofaznog sustava na Svjetskoj kolumbovskoj izložbi u Chicagu 1893. godine.

Dva komercijalna dvofazna AC prijenosna sustava puštena su u pogon 1892. godine: hidroelektrana u Badenu u Švicarskoj koju je sagradila tvrtka BBC i kombinacija eksperimentalnog i komercijalnog dvofaznog AC sustava u Pittsfieldu, u američkoj saveznoj državi Massachusetts, koji je sagradila tvrtka Stanley Electric.



Dvofazni AC prijenosni sustavi (2)

Prvi dvofazni AC prijenosni sustav na području Republike Hrvatske bio je prijenosni sustav između HE Jaruge 2 i tvornice kalcijeva karbida Crnici. Tvornicu, elektranu i prijenosni vod izgradila je tvrtka SUFID. Pušten je u pogon 1. prosinca 1903.

Na Ganzovom službenom popisu najvećih izrađenih hidrogeneratora nalaze se i dva dvofazna hidrogeneratora snage 3 MVA izrađena za HE Jarugu 2 tijekom 1902. godine.

Ova je hidroelektrana 1914. godine, nakon demontaže HE Krke (Jaruge 1) preuzela elektroopskrbu grada Šibenika.

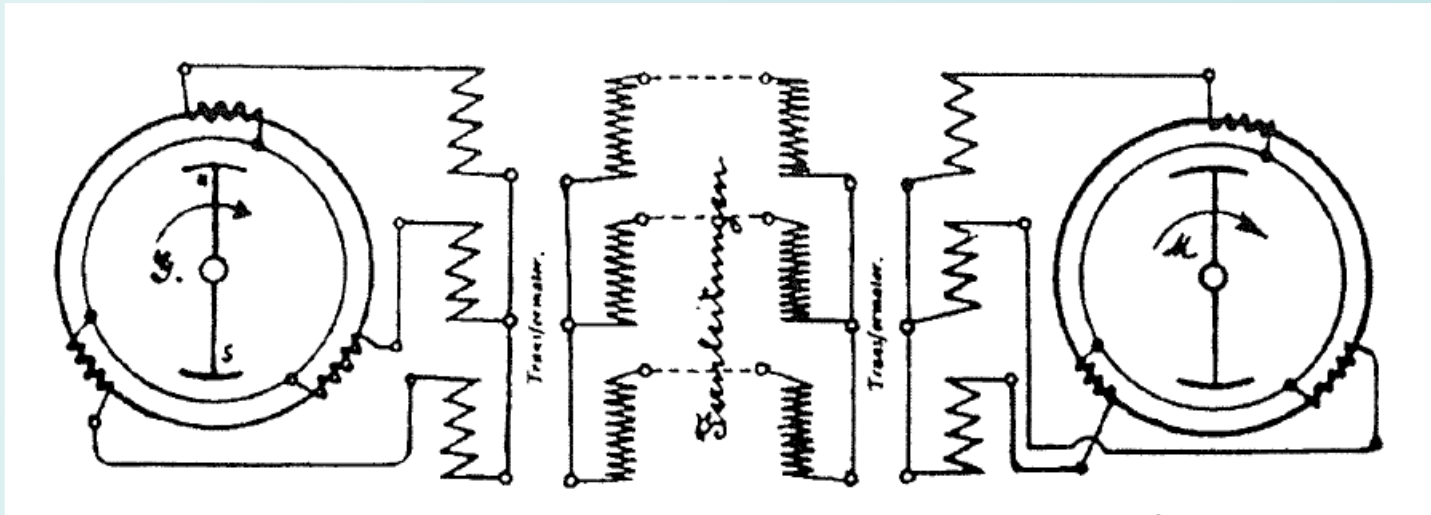
Bez obzira na rat, tijekom 1916. godine obavljena je prva velika rekonstrukcija HE Jaruge 2 te je povećana snaga turbina, a elektrana je s dvofaznog preinačena na trofazni sustav.



Trofazni AC prijenosni sustavi (1)

Koristeći svoj trofazni sinkroni AC generator i trofazni sinkroni AC motor, izrađene 1887. godine, Haselwander je u ožujku 1888. godine, demonstrirao prijenos trofazne struje s jednog stroja na drugi, barem na probnoj razini.

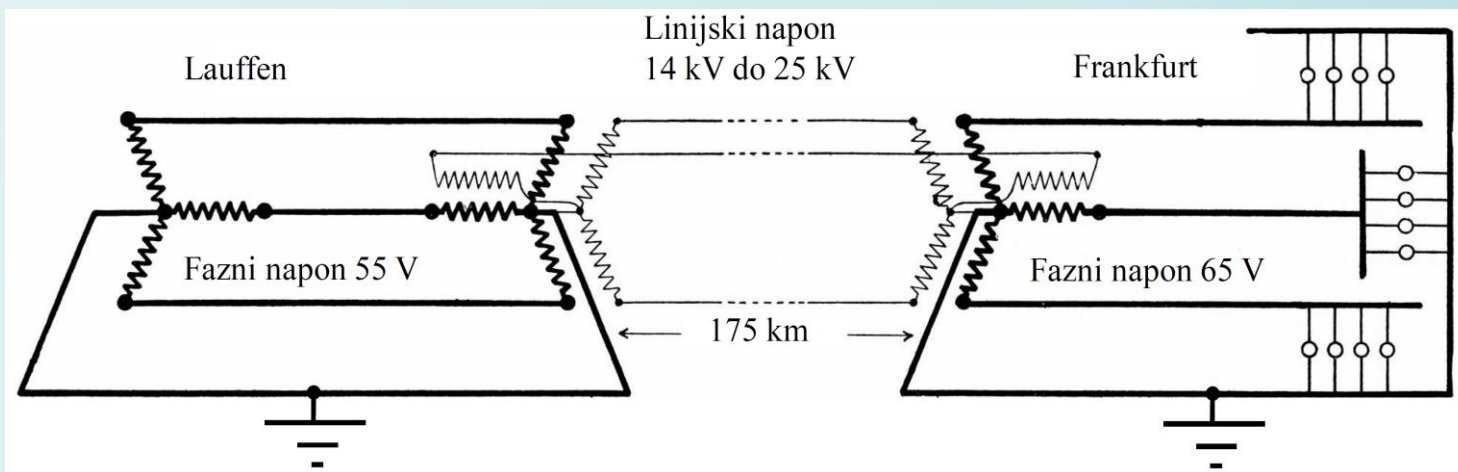
To je bio prvi prijenos električne energije između dva sinkrona AC stroja pomoću trofaznog trožičnog voda. Namoti strojeva su bili spojeni u zvijezdu.



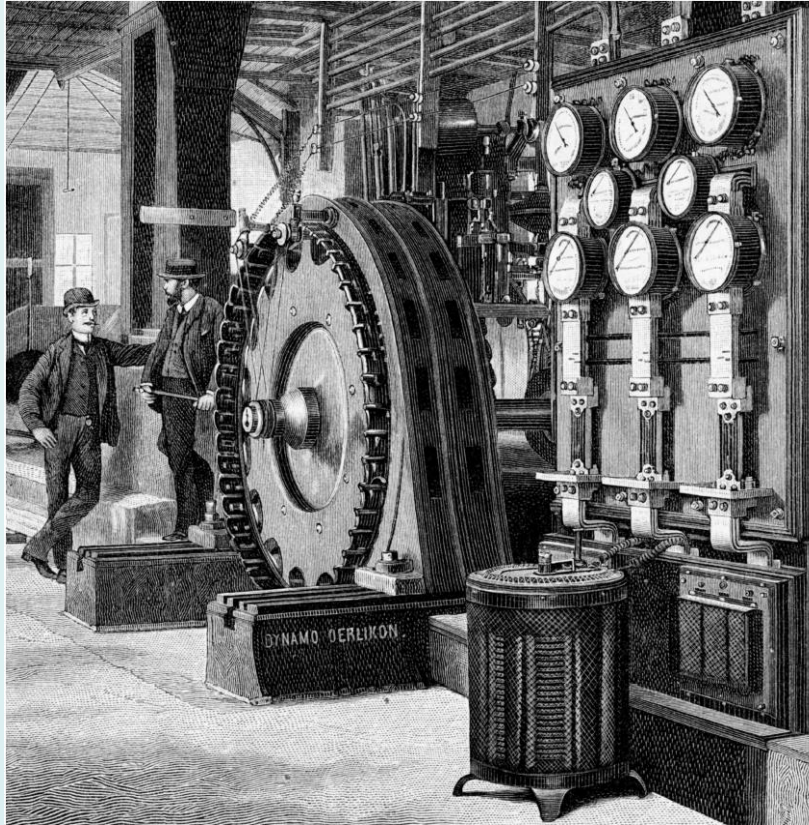
Trofazni AC prijenosni sustavi (2)

Prvi pokazni cjeloviti trofazni AC prijenosni sustav Lauffen-Frankfurt sagrađen je za elektrotehničku izložbu u Frankfurtu, Njemačka, 1891. godine. **Bila je to veličanstvena pobjeda trofaznog AC prijenosnog sustava u takozvanom ratu struja.**

Nositelji projekta bili su Oskar von Miller, Michael von Dolivo-Dobrowolsky i njegova tvrtka AEG, te Charles E. L. Brown i njegova švicarska tvrtka MFO (Maschinenfabrik Oerlikon) iz Züricha. Imali su veliku podršku Njemačke carske pošte koja je imala teški zadatak trasiranja i izgradnje prijenosnog voda.



Trofazni AC prijenosni sustavi (3)



Generator i
rasklopno
postrojenje u HE
u Lauffenu 1891.
godine

Izgradnja komercijalnih trofaznih AC prijenosnih sustava započela je 1892. godine!!!!
Trofazni prijenos električne energije iz HE Niagare pušten je u pogon u studenom 1896. godine.

Prvi značajni trofazni AC prijenosni sustavi u Hrvatskoj (1)

Tvrtka SUFID je sagradila trofaznu HE Manojlovac (Miljacku). Ugrađena su četiri trofazna hidrogeneratora tvrtke Ganz od 5,2 MVA, nazivnog napona 30 kV, frekvencije 42 Hz. Jedan generator je pušten u pogon 1906. godine, dok su tri preostala generatora puštena u pogon 1907. godine.

Iz HE Manojlovca proizvedena se električna energija prenosila, 35 kilometara dugim, dvostrukim trofaznim dalekovodom do nadograđene tvornice kalcijevog karbida u šibenskoj Crnici.

Veliki pothvat tvrtke Ganz bila je izgradnja trofazne hidroelektrane Kraljevac, u kojoj su dva trofazna hidrogeneratora od 16 MVA puštena u pogon 1912. godine, dok su druga dva trofazna hidrogeneratora od 26 MVA puštena u pogon 1932. godine. U tom trenutku to su bila dva najveća hidrogeneratora u Europi. Prvu fazu izgradnje financirala je tvrtka SUFID, a drugu fazu tvrtka La Dalmatienne.

Iz HE Kraljevca proizvedena se električna energija prenosila, 23 kilometara dugim, dvostrukim trofaznim dalekovodom do novoizgrađene tvornice kalcijevog karbida i kalcijeva cijanamida u Dugom Ratu.



Prvi značajni trofazni AC prijenosni sustavi u Hrvatskoj (2)

Prvi paralelni rad rekonstruiranih hidroelektrana HE Manojlovca (Miljacke) i HE Jaruge 2, preko trafostanice TS Lozovac 30/6 kV, ostvaren je tek 1947. godine. Ovaj je elektroenergetski sustav bio trofazni, frekvencije 50 Hz, a 1948. godine priključila mu se i hidroelektrana HE Kraljevac preko novoizgrađenog dalekovoda Kraljevac-Lozovac.

Važno još navesti:

- Trofazni AC prijenosni sustav HE Ozalj iz 1908. godine
- HE Majdan (Vrilo) i HE Vrilo 2 iz 1909. godine – važna za elektrifikacija Splita
- HE Roški slap iz 1909. godine – važna za elektrifikacija Drniša
- Trofazni AC prijenosni sustav od HE Kuzmice do Slavonske Požege, koji je pušten u pogon 1912. godine



HE na slapovima Niagare (1)

Ključna osoba za odabir prijenosnog sustava i izgradnju hidroelektrane na slapovima rijeke Niagare bio je Eduard Dean Adams, koji je bio jedan od osnivača tvrtke Cataract Construction Company. Tvrtka je osnovana radi iskorištavanja energije rijeke Niagare. Stoga mnogi u SAD u ovu hidroelektranu nazivaju Adamsovom hidroelektranom.

Prvi komercijalni višefazni AC Westinghouseov sustav, koji je javno zabilježen, bio je tek onaj na slapovima Niagare, koji je započeo dvofazni lokalni prijenos u obližnju industriju 26. kolovoza 1895. godine. Trofazni prijenos u Buffalo, udaljen 30 km, proradio je tek u studenom 1896. godine.

Prva dva dvofazna sinkrona AC generatora u Adamsovoj hidroelektrani, rasklopno postrojenje i pomoćnu opremu za elektranu projektirala je i konstruirala tvrtka Westinghouse.



HE na slapovima Niagare (2)

Vodne je turbine konstruirala tvrtka I. P. Morris Company iz Philadelphije, prema projektu švicarske kompanije Faesch and Piccard.

Transformatore, trofazni dalekovod od slapova Niagare do Buffala kao i transformatorsku stanicu u Buffalu, projektirala je i izvela Edisonova tvrtka General Electric.

Dakle, generatori su bili dvofazni, a dalekovod je bio trofazni.

Pretvaranje dvofaznog sustava u trofazni omogućio je Scottov transformator.

Iako Tesla nije sudjelovao u projektiranju i izvedbi ovog višefaznog AC sustava na slapovima Niagare, novinari su sve zasluge pripisali baš njemu.

Glavna Westinghouseova prednost u odnosu na druge tvrtke pri dobivanju dijela posla bili su Teslini patent.

Do svibnja 1900. godine u Adamsovu HE ugrađeno je ukupno 10 hidrogeneratora od 3,725 MW. Dakle, ukupna instalirana snaga bila je 37,25 MW. To je bila samo prva vrlo velika dvofazna HE.



Električna brojila (1)

Za električnu rasvjetu ranih osamdesetih godina 19. stoljeća uglavnom su se koristile lučne svjetiljke, a prva metoda tjedne naplate potrošene električne energije bila je utemeljena na ukupnom broju instaliranih svjetiljki.

Potom je uveden i dodatni kriterij: istrošenost grafitnih elektroda lučnih svjetiljki.

Krajem 19. stoljeća razvijeno je više vrsta električnih brojila za potrebe mjerenja potrošnje DC električne energije, a Moore ih je u svom članku podijelio na: elektrolitska brojila, termalna brojila, brojila sa satnim mehanizmom i motorna brojila.

Magnetomotorna su električna brojila vatsatna brojila i mogu se koristiti samo za DC električne sustave.

Elektrodinamička DC brojila su vatsatna električna brojila, a mogu se koristiti i za mjerenje potrošnje AC električne energije



Električna brojila (2)

Za mjerenje potrošnje AC električne energije razvijena su indukcijska električna brojila, koja spadaju u motorska brojila i ne mogu se koristiti za mjerenje potrošnje DC električne energije.

Njihov princip rada je isti kao i princip rada dvofaznog ili jednofaznog asinkronog AC motora.

Galileo Ferraris u svom članku iz 1888. godine predložio izradu mjernih AC instrumenata na temelju predloženog principa rada dvofaznog asinkronog AC motora. Predložio je i kako od jedne faze napraviti dvije faze, tj. opisao je izum jednofaznog asinkronog AC motora.

Počevši od 1888. godine izumljeni su različiti tipovi indukcijskih brojila, a značajniji izumitelji su bili: François Borel, Emile Paccaud, Oliver B. Shallenberger, Arthur Wright, Sebastian Ziani de Ferranti i Ottó Titusz Bláthy.



Električna brojila (3)

Prva Borel-Paccaudova, Shallenbergerova, Wrightova i Ferrantijeva indukcijska brojila bila su ampersatna brojila, dok je prvo Bláthyjevo indukcijsko brojilo bilo vatsatno.

Shallenbergerovo indukcijsko **ampersatno** brojilo, koje je patentirano 1888. godine bilo je prvo indukcijsko brojilo koje se moglo uspješno koristiti u praksi, a proizvodila ga je tvrtka Westinghouse.

Bláthyjevo **vatsatno** indukcijsko brojilo izumljeno je 1889. godine, a proizvodila ga je tvrtka Ganz. Ono se smatra prvim indukcijskim vatsatnim brojiлом i prvim indukcijskim brojiлом koje se uspješno koristilo u Europi.

Tek je 1894. godine Shallenberger za tvrtku Westinghouse konstruirao svoje prvo indukcijsko **vatsatno** električno brojilo.

Prvo indukcijsko **vatsatno** električno brojilo američke elektrotvrtke General Electric, koje su konstruirali Elihu Thomson i William H. Pratt, pušteno je u prodaju 1897. godine, a ono je zamijenilo Thomsonovo elektrodinamičko brojilo



Obrazovanje – čimbenik ubrzanog razvoja opće elektrifikacije (1)

Početnom razvoju elektrotehnike, pa i same elektrifikacije, bitno su doprinijeli mnogi izumitelji, a rijetki su među njima bili visokoškolski obrazovani.

Prva dva desetljeća elektrifikacije obilježilo je nekoliko valova pionira. Prvi su bili tvorci DC sustava predvođeni Edisonom, zatim dolazi skupina tvoraca jednofaznih AC sustava i na kraju tvorci višefaznih AC sustava.

Nakon toga slijedila je skupina izumitelja i elektroinženjera koji su završili studije na visokoškolskim ustanovama i potom pohađali elektrotehničke tečajeve. Na taj je način ubrzana opća elektrifikacija.

Značajnu ulogu imali su i visokoškolski profesori koji su napisali važne knjige te znanstvene i stručne članke iz elektrotehnike.

U Njemačkoj je Werner von Siemens, utjecajna osoba u inženjerskoj i znanstvenoj zajednici, potaknuo obrazovanje profesora elektrotehnike i osnivanje katedri za elektrotehniku na svim tehničkim visokim školama.



Obrazovanje – čimbenik ubrzanog razvoja opće elektrifikacije (2)

Na Tehničkoj visokoj školi u Darmstadtu, 1882. godine započeo je s radom prvi zasebni studij elektrotehnike na svijetu.

Tehnološki institut u Massachusettsu (MIT) započeo je s prvim četverogodišnjim studijem elektrotehnike u Americi 1882. godine, koji je bio dio nastavnog programa fizike.

Zasebni odjel elektrotehnike na MIT-u osnovan je tek 1902. godine.

Osim škotskog fizičara Jamesa Clerka Maxwella i njemačkog profesora Erasmusa Kittlera, kao profesore koji su značajno doprinijeli općoj elektrifikaciji svijeta i teorijskom razumijevanju elektromagnetskih pojava, navest ću samo profesore Sylvanusa P. Thompsona, Johna Hopkinsona i Charlesa P. Steinmetza.



Umjesto zaključka (1)

Moje ozbiljno zanimanje za povijest elektrifikacije započelo je prije petnaestak godina kada sam počeo predavati Osnove elektroenergetike.

Krenuo sam izučavati ovu problematiku s preduvjerenjem da je sve, ili gotovo sve, vezano za početke elektrifikacije izmislio američki izumitelj Nikola Tesla.

Međutim, kad sam proučio mnoštvo knjiga, članaka i патената iz tog područja, otkrio sam da su mnogi izumitelji značajno doprinijeli elektrifikaciji svijeta, odnosno razvoju trofaznih izmjeničnih prijenosnih sustava, generatora i motora.

Nikola Tesla je nedvojbeno bio jedan od njih, ali samo jedan od njih.

Ma koliko se to činilo čudnim, o počecima elektrifikacije premalo se zna i postoji mnoštvo zabluda o tome, a među njima se ističe zablada da je Nikola Tesla bio jedini izumitelj izmjenične struje i glavni tvorac opće elektrifikacije.



Umjesto zaključka (2)

Sveprisutna je i zablude da je HE Krka (Jaruga 1) bila dvofazna AC elektrana iako je ona bila jednofazna AC elektrana.

Mnogi su uvjereni da je Adamsova hidroelektrana sagrađena na slapovima Niagare bila trofazna AC elektrana iako je ona bila dvofazna AC elektrana.

Danas je prvi pokazni trofazni AC prijenosni sustav Lauffen – Frankfurt gotovo je nepoznat u općoj populaciji pa i u stručnoj javnosti.

Hvala na pažnji!

