Najznačajnija otkrića Nikole Tesle

Čavka, Ivan Roko

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:149810

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository - Faculty of Maritime Studies - Split - Repository - Faculty of Maritime Studies Split for permanent storage and preservation of digital resources of the institution







SVEUČILIŠTE U SPLITU

POMORSKI FAKULTET U SPLITU

IVAN ROKO ČAVKA

NAJZNAČAJNIJA OTKRIĆA NIKOLE TESLE

ZAVRŠNI RAD

SPLIT, 2020.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

POMORSKI FAKULTET U SPLITU

STUDIJ: POMORSKE ELEKTROTEHNIČKE I INFORMATIČKE TEHNOLOGIJE

NAJZNAČAJNIJA OTKRIĆA NIKOLE TESLE

ZAVRŠNI RAD

MENTOR:
mr. sc. Ivica Kuzmanić

STUDENT:
Ivan Roko Čavka
(MB: 0171275447)

SPLIT, 2020.

SAŽETAK

U ovom radu govori se o Nikoli Tesli, njegovim idejama, izumima, patentima te o njegovom načinu života koji je uvelike utjecao na njegovo stvaralaštvo kao izumitelja. Priložene su skice, fotografije, matematički izvodi i patentna dokumentacija u prilog njegovoj slavi kao izumitelju. Nikola Tesla je unatoč svim negativnim faktorima i preprekama na putu ostavio ostavštinu neprocjenjivo vrijednu za buduće generacije te se i u doba pisanja ovog rada nije istrošila njegova riznica intelektualnog znanja zapisana u brojnim spisima, pismima, bilježnicama te patentima. Jedna jako bitna osoba za današnji način života za koju možemo reći da je ostavila trag u povijesti koji se neće skoro nadmašiti.

Ključne riječi: *Nikola Tesla, indukcijski motor, izmjenična električna struja, Teslin transformator, trofazni sustav, bežični sustav, X-zrake*

ABSTRACT

This thesis talks about Nikola Tesla, his ideas, inventions, patents and his way of life, which greatly influenced his work as an inventor. A number of sketches, photographs, mathematical excerpts and patent documents in support of his fame as an inventor were also attached. Nikola Tesla left a legacy invaluable for future generations, and at the time of writing this work has not exhausted his treasury of intellectual knowledge written in numerous writings, letters, notebooks and patents. One very important person for today's way of life that we can say has left a mark in history that will not be nearly surpassed.

Keywords: *Nikola Tesla, induction motor, alternating electrical current, Tesla coil, three phase system, wireless system, X-rays*

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. BIOGRAFIJA 2
   2.1. PATENTI NIKOLE TESLE 4
   2.2. TESLINI CITATI 5
3. IZMJENIČNA ELEKTRIČNA STRUJA 6
   3.1. SINUSOIDALNA IZMJENIČNA STRUJA 7
   3.2. INDUCIRANJE IZMJENIČNE STRUJE 8
      3.2.1. Induktivni otpor u krugu izmjenične struje 9
      3.2.2. Kapacitivni otpor 9
   3.3. OHMOV ZAKON ZA IZMJENIČNU STRUJU 10
   3.4. GOSPODARSKI ZNAČAJ IZMJENIČNE STRUJE 11
4. TROFAZNI SUSTAV 12
   4.1. SNAGA U TROFAZNIM SUSTAVIMA 14
5. TESLIN TRANSFORMATOR 15
   5.1. KONSTRUKCIJA TESLINOG TRANSFORMATORA 16
   5.2. NAČELO RADA 17
   5.3. PRIMJENA 18
6. INDUKCIJSKI MOTOR 19
   6.1. KAVEZNI MOTOR 20
   6.2. TEORIJA RADA ASINKRONOG MOTORA 21
7. BEŽIČNI PRIJENOS ENERGIJE 23
   7.1. RADIO 23
   7.2. ELEKTROMAGNETSKI SPEKTAR 24
8. TESLA I MEDICINA 26
   8.1. X-ZRAKE 27
   8.2. OZONIZATOR 28
9. ZAKLJUČAK 29

LITERATURA 30

POPIS SLIKA 31

POPIS TABLICA 32

1. UVOD

Nikola Tesla je jedan od najvažnijih ljudi u povijesti čovječanstva. U ovom radu će se opisati neka njegova najznačajnija djela i svi bitni pojmovi vezani uz spomenuta djela. Glavni cilj ovog rada je dokazati kakav utjecaj je Tesla ostvario na današnji način života kroz analizu njegovih izuma. Također će biti riječi o njegovom životu, životu koji je bio buran, ali produktivan za njegovo stvaralaštvo. U prvoj cjelini obradit će se biografski njegov život, prikazat će se patenti prijavljeni u SAD-u te neki zanimljivi citati iz njegovih intervjua kroz život. Kako se ovdje radi o teoretskom radu, koristit će se metode primjenjive za ovaj oblik rada kao što su metoda sinteze i analize, deskriptivna metoda, metoda indukcije i dedukcije.

U cjelini 2: Biografija obrađen je život Nikole Tesle, njegovo stvaralaštvo te su navedene neke od njegovih patentnih dokumentacija u prilog važnosti njegovih izuma za današnji način života. Spomenuti su i zanimljivi citati iz njegovog života koji nam govore kakav je Tesla imao stav prema stvaranju i privatnom životu.

U cjelini 3: Izmjenična električna struja obrađuje se sinusoidalna izmjenična struja, njeno induciranje te Ohmov zakon za izmjeničnu struju. Obrađen je i gospodarski značaj izmjenične struje.

U cjelini 4: Trofazni sustav opisan je ukratko trofazni sustav, priložene su sheme mogućih spojeva takvog sustava te je prikazan graf ovisnosti struje o vremenu trofaznog sustava. Navedene su i glavne prednosti trofaznog sustava nad jednofaznim te su matematički opisane snage u trofaznim sustavima.

U cjelini 5: Teslin transformator obrađuje se izum poznatiji kao Teslina zavojnica, naponi koje ona proizvodi, konstrukcija samog uređaja te načelo rada istog uz njegovu primjenu.

U cjelini 6: Indukcijski motor obrađuje se asinkroni elektromotor, kavezna izvedba takvog motora te teorija rada asinkronog motora

U cjelini 7: Bežični prijenos energije obrađuje se načelo bežičnog prijenosa, radio uređaj te elektromagnetski spektar u svrhu prikazivanja radio spektra.

U cjelini 8: Tesla i medicina obrađuje se Teslin doprinos medicini, visokofrekventne struje s primjenom u medicini, X-zrake te ozonizator.

2. BIOGRAFIJA

Nikola Tesla, izumitelj, elektrotehničar, fizičar, rođen je 10. srpnja 1856. godine u mjestu Smiljan kraj Gospića. Potječe iz pravoslavne obitelji, otac Milutin je bio pravoslavni svećenik, a majka Georgina (Đuka) također potječe iz pravoslavne svećeničke obitelji Mandića. Imao je tri sestre: Milku, Angelinu i Maricu te jednog brata Danu.

Prvo školovanje započinje u rodnom Smiljanu gdje ide u Krajišku trivijalku, školu gdje se uči njemački jezik, računanje i vjeronauk, nakon čega odlazi u Gospić gdje ide u Pripremnu osnovnu školu i Nižu realnu gimnaziju. Iz Gospića odlazi u Rakovac kod Karlovca gdje završava Višu realnu gimnaziju. U Grazu upisuje studij na Visokoj politehničkoj školi sa stipendijom Vojne krajine, no nakon ukidanja stipendije radi razvojačenja Vojne krajine Tesla ne uspijeva završiti drugu godinu studija te se odaje kartanju, kockanju da nadoknadi taj financijski gubitak, ne uspijeva pa odustaje od studija prije treće godine. Kratko vrijeme radi u Mariboru pa nakon smrti oca 1879. godine radi u Realnoj gimnaziji u Gospiću. Godine 1880. pokušava upisati studij u Pragu što mu ne uspijeva pa godinu kasnije počinje raditi u Budimpešti te sudjeluje u izgradnji prve telefonske centrale.

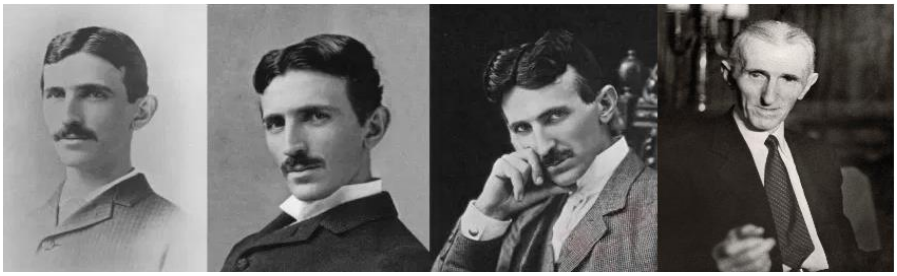
U Parizu Tesla radi za Edisonovu tvrtku (Continental Edison Company) te 1883. godine u Strasbourgu konstruira prvi model indukcijskog motora. Nakon povratka u Pariz Tesla dobiva preporuku Charlesa Batchellora i 1884. godine odlazi u New York i zapošljava se u Edisonovoj kompaniji. Nakon nesporazuma s Edisonom 1885. godine Tesla osniva vlastitu kompaniju Tesla Electric & Manufucturing Company. Godinu kasnije mu tvrtka propada pa se uzdržava teškim fizičkim radom. Godine 1887. Tesla osniva Tesla Electric Company i prijavljuje patente: višefazni sustav prijenosa el. energije, indukcijski motor, generatore i transformatore. Godinu dana kasnije, 1888. Tesla ulazi u partnerstvo s Georgeom Westinghousom i prodaje mu patente na bazi izmjenične električne energije za milijun dolara, međutim dobio je oko 60000 dolara (kako se navodi u nekim izvorima).

Tesla se 1889. godine vraća u Europu te posjećuje rodnu Liku. To mu je prvi posjet Europi otkako je otišao u Ameriku. Godine 1890. započinje istraživati struje visokih frekvencija i godinu kasnije izrađuje Teslinu zavojnicu (transformator). Drugi posjet Europi je bio 1892. godine kad pokapa majku i tad posjećuje druge Europske gradove: London, Pariz, Zagreb, Budimpeštu i Beograd. Godine 1893. je održana izložba u Chicagu posvećena dostignućima iz elektrotehnike gdje Tesla prikazuje prednost izmjenične energije. U

požaru mu je 1895. godine uništen laboratorij tako da ne uspijeva objaviti otkriće elektrona i X-zraka.

Godine 1896. je na Nijagarinim slapovima puštena u rad hidrocentrala u kojoj su korišteni Teslini patenti na bazi izmjenične električne energije Tesla je prvi upotrijebio daljinsko upravljanje pa je 1898. demonstrirao brod s daljinskim upravljanjem. Nastavlja istraživanja visokofrekventnih i visokonaponski struja pa 1899. godine podiže laboratorij u Colorado Springsu gdje vrši eksperimente s tim strujama. Godine 1900. započinje graditi sustav bežičnog prijenosa energije na Long Islandu koji nikad nije završio jer mu je J. P. Morgan ukinuo financijska sredstva pa ga nije mogao završiti. Tesla dalje nastavlja sa svojim izumima pa tako 1907. godine izrađuje turbinu bez lopatica koju godinu kasnije i testira. Bavio se pronalascima vezanim uz strojarstvo od 1910 do 1922.

Godine 1919. izlazi Teslina autobiografija „Moji pronalasci“. Tesla i dalje prijavljuje patente iz različitih područja kao patent za vakumiziranje, letjelicu za vertikalno polijetanje, bavi se poboljšanjem procesa proizvodnje sumpora, željeza i bakra. Edisonovu medalju (najveće priznanje Američkog društva elektroinženjera) je dobio 1917. godine, a 1926. godine je postao počasni doktor Sveučilišta u Zagrebu. Godine 1937. dobiva počasni doktorat Politehničke škole u Grazu i Sveučilišta u Parizu. Tesla je puno živio u hotelima gdje je i umro. Umro je 7. siječnja. 1943. godine u New Yorku u hotelu New Yorker na 33. katu u apartmanu 3327 u 86 – oj godini. Najveće priznanje Tesla je dobio na 11. općoj konferenciji za mjere i utege 10. listopada 1960. godine u Parizu, kada je za mjernu jedinicu magnetske indukcije (gustoće magnetskog toka) prihvaćen naziv tesla (oznaka T). To je jedini naziv mjerne jedinice po nekom Slavenu među 19 naziva po zaslužnim znanstvenicima u Međunarodnom sustavu mjernih jedinica. Po njemu su nazvani i asteroid 2244 Tesla te krater na Mjesecu Tesla krater.



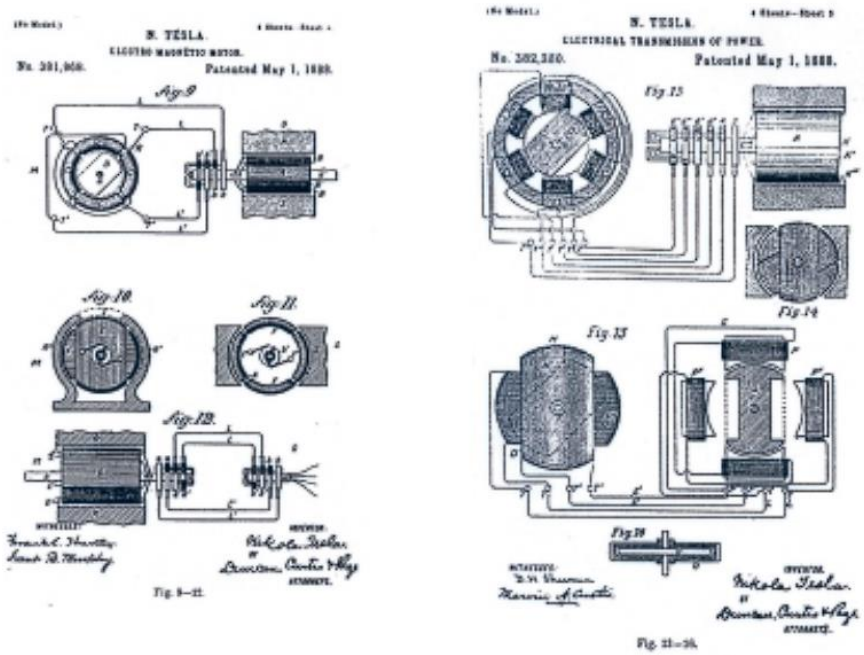
Slika 1. Nikola Tesla tijekom života [1]

2.1. PATENTI NIKOLE TESLE

Pravu i potpunu sliku o Teslinim otkrićima, izumima i konstrukcijama nije doista moguće dobiti bez uvida u sve ono što je on zapisao, pribilježio i nacrtao. Nikola Tesla je u Patentnom uredu SAD-a patentirao 112 svojih izuma. Ti se patenti mogu podijeliti na sljedeće skupine:

- motori i generatori,
- transformacija električne snage,
- rasvjeta,
- visokofrekventni uređaji i regulatori,
- radio,
- telemehanika,
- turbine i slične naprave te
- različiti izumi.

Patentni spisi dvaju Teslinih glavnih patenata prikazani su na slici 2:



Slika 2. Asinkroni motor (lijevo) i električni prijenos energije (desno) [1]

2.2. TESLINI CITATI

U govorima o svojim izumima i patentima, jedan od značajnih odgovora je bio:
„ *Ne žalim što su drugi pokrali moje ideje. Žalim što nemaju svoje*.“

U intervjuima vezanim za njegov privatni život nalazimo jedan vrlo zanimljiv pogled Tesle prema ženama:
„*Naumio sam sav svoj život posvetiti radu i zbog toga sam se odrekao ljubavi i društva dobre žene; a i više od toga. Mislim da se književnik ili muzičar trebaju oženiti. Oni tako dobivaju nadahnuće koje ih vodi prema još većem uspjehu. Ali, pronalazač ima tako žestoku narav, s toliko divlje, strastvene osobnosti da bi morao sve to napustiti i tako se odreći izabranog područja rada kako bi se posvetio ženi. A šteta je što je tako; katkad se osjećamo tako usamljeni.*“

Kod spomena ideje bežičnog prijenosa, Teslina ideja opisuje današnji stil života na vrlo jasan način, a on glasi ovako:
„*Jeftin instrument, ne veći od sata, omogućit će onom tko ga nosi da čuje bilo gdje, na moru ili kopnu, glazbu ili pjesmu, govor političkih vođa, naći adresu znanih ljudi ili propovijed od rječitih svećenika, isporučene s nekog drugog dalekog mjesta. Na isti način bilo koja slika, znak, crtež se mogu prenijeti iz jednog na drugo mjesto*.“

I za kraj, jedan od njegovih posljednjih intervjua zapisao je Teslin osvrt na njegovo stvaralaštvo koji glasi:
„*Svi moji izumi, moja otkrića i djela bili su samo jedna velika igra. Ja sam se igrao. Igrao sam se čitavog svog života i uživao u tome. Jest, tako je. Ja sam se volio igrati elektricitetom!“*

3. IZMJENIČNA ELEKTRIČNA STRUJA

Izmjenična električna struja je električna struja kojoj se smjer mijenja u vremenu. Struja je promjenjiva pri promjenjivom strujanju električnog naboja, a njezine vrijednosti mogu se za svaki trenutak vremena saznati ako je poznat grafički prikaz tih promjena u koordinatnome sustavu (i, t) ili ako je zadan analitički izraz $i = f(t)$

promjene struje s vremenom. Od svih promjenjivih struja najvažnije za elektrotehniku su periodično promjenjive struje. To su struje kod kojih se promjene stalno ponavljaju u određenim vremenskim razmacima ili intervalima. Trajanje jedne potpune promjene zove se period i označuje se slovom T. Ako periodično promjenjiva struja mijenja smjer uz svoju jakost, naziva se izmjenična struja.

Osim periodom T, promjenjivost izmjeničnih struja možemo označiti i brojem titraja u jednoj sekundi i taj broj naziva se frekvencijom izmjenične struje f. Frekvencija i period su u slijedećem omjeru:

$$f = \frac{1}{T} \text{ (Hz)} \tag{1}$$

Budući da se svaka periodično promjenjiva struja može, prema Fourierovu pravilu transformacije, rastaviti na niz komponenata, to je za proučavanje izmjeničnih struja vrlo bitno poznavanje zakona kojima podliježe sinusoidalna izmjenična struja. Analitički izraz za sinusoidalnu izmjeničnu struju i glasi:

$$i = I_{max} \cdot \sin(\omega t), \tag{2}$$

gdje je : I_{max} – amplituda struje; $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – kružna frekvencija. Aritmetička srednja vrijednost sinusoidalne struje jednaka je nuli, ali kvadratna srednja vrijednost o kojoj ovise učinci izmjenične struje jednaka je:

$$I = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 0{,}707 \cdot I_{max} \text{ (A)} \tag{3}$$

i naziva se efektivnom vrijednosti.

3.1. SINUSOIDALNA IZMJENIČNA STRUJA

Sinusoidalna izmjenična struja može se upotrijebiti za stvaranje topline u elektrotermičkim aparatima, jer za proizvodnju topline svejedno je u kojem smjeru prolazi struja kroz otporni grijač. Računski to se može vidjeti prema Jouleovu zakonu (proizvedena toplina ovisi o kvadratu jakosti struje) pa se iz tog razloga koristi efektivna vrijednost kao mjerodavna. Jednako tako se pomoću sinusoidalne izmjenične struje u elektromotorima može proizvesti zakretna sila, jer i ona u motorima izmjenične struje ovisi o kvadratu jakosti struje. No, kako je kemijski učinak (na primjeru galvanizacije) ovisan o srednjoj vrijednosti, koja je za sinusoidu jednaka nuli, ne može se izmjeničnom strujom postići spomena vrijedan kemijski učinak. Ipak izmjeničnu struju možemo upotrijebiti i za elektrolizu i za ostale aparate koji traže istosmjernu struju, ako se ona ispravi. Takva struja sastavljena je od samih pozitivnih polovica sinusoide pa je njezina srednja vrijednost prozvana elektrolitskom srednjom vrijednošću. Računski ona iznosi:

$$I_{el.sr} = \frac{2}{\pi} \cdot I_{max} = 0{,}637 \cdot I_{max} \text{ (A)} \tag{4}$$

Pri računima s promjenjivim strujama uvedene su općenito ove prosječne vrijednosti:

- Aritmetička srednja vrijednost:

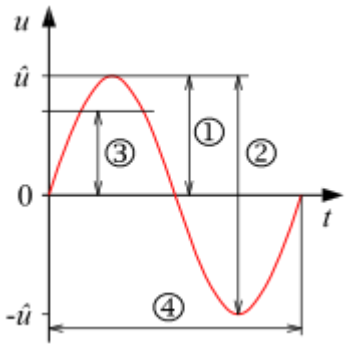
$$I_{sr} = \frac{1}{T}\int_0^T i \cdot dt \text{ (A)} \tag{5}$$

- Elektrolitska srednja vrijednost:

$$I_{el.sr} = \frac{1}{T}\int_0^T |i| \cdot dt \text{ (A)} \tag{6}$$

- Efektivna vrijednost:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2 \cdot dt} \text{ (A)} \tag{7}$$



Slika 3. Vrijednosti električnog napona kod sinusoidalne izmjenične struje: 1-amplituda; 2-vršna vrijednost; 3-efektivna vrijednost; 4-period [10]

3.2. INDUCIRANJE IZMJENIČNE STRUJE

Ako se okvir, pravokutnog oblika načinjen od žice, okreće oko svoje osi u magnetskom polju, u njemu će se zbog sječenja magnetskih silnica inducirati električni napon. Krajevi okvira su spojeni s dva metalna prstena po kojima klize ugljeni štapovi koje nazivamo četkice. Inducirani električni napon bit će najveći kada okvir siječe najviše magnetskih silnica. Suprotno tome, napon će biti jednak nuli kada nema sječenja magnetskih silnica. Nakon svake polovine okreta metalnog okvira u magnetskom polju s jednim parom polova se mijenja smjer induciranog električnog napona. Spoje li se po redu sve dobivene vrijednosti električnog napona u dijagramu, dobit će se sinusoida koja prikazuje tok induciranog električnog napona.

Trenutna vrijednost u induciranog napona određena je kutom φ koji se zove fazni kut. To je kut što ga čini ravnina okvira prema okomitom položaju na magnetske silnice. Fazni kut φ može se izraziti kutnom brzinom ω i vremenom t, iz čega slijedi:

$$\varphi = \omega \cdot t \tag{8}$$

Matematički se može opisati:

$$u = U_{max} \cdot sin\varphi = U_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t) \tag{9}$$

gdje je: U_m - najveća vrijednost induciranog električnog napona.

Slično tome može se za izmjeničnu struju pisati:

$$i = I_{max} \cdot sin\varphi = I_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t) \tag{10}$$

Ako je nakon vremena T točka obišla čitavu kružnicu polumjera $U_m = 1$, odnosno prijeđeni put 2π, onda je:

$$2 \cdot \pi = \omega \cdot t, \tag{11}$$

pa je:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f \tag{12}$$

gdje je: ω-kružna frekvencija, a to je broj titraja u 2π sekunda. Tako je na primjer za izmjeničnu struju, koja ima frekvenciju $f = 50$Hz:

$$T = \frac{1}{50} = 0{,}02\ [s] \tag{13}$$

a:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314\ [\tfrac{1}{s}] \tag{14}$$

3.2.1. Induktivni otpor u krugu izmjenične struje

Induktivni otpor (X_L) je prividan otpor, prouzrokovan slabljenjem izmjenične struje zbog samoindukcije u krugu. Osim slabljenja, induktivni otpor prouzrokuje razliku među fazama električne struje i napona, to jest da se njihove promjene ne zbivaju istovremeno. Struja zaostaje za naponom i ima najveću vrijednost tek onda kad napon već pada. Kad napon padne na nulu, struja još uvijek teče jer je podržava samoindukcija u električnoj zavojnici. U strujnom krugu s induktivitetom struja zaostaje za naponom. Taj fazni pomak može biti u rasponu od 0° do 90°. Ako u izmjeničnom krugu imamo samo induktivni otpor, struja zaostaje u fazi za naponom za 90°. Pokusi pokazuju da je induktivni otpor veći što je veći induktivitet L i što je veća frekvencija izmjenične struje. Induktivni otpor računa se po jednadžbi:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = \omega \cdot L\ [\Omega] \tag{15}$$

3.2.2. Kapacitivni otpor

Spoji li se električni kondenzator na izvor istosmjerne struje, poteći će samo kratkotrajna struja, što može pokazati galvanometar svojim naglim otklonom. Ta struja teče samo dok se oblozi kondenzatora nabiju na isti električni napon koju ima izvor struje. Prema tome, kondenzator u krugu istosmjerne krugu stvara prekid struje. On za istosmjernu struju predstavlja neizmjerno velik električni otpor.

Ako se pak električni kondenzator priključi na izvor izmjenične struje, dobit će se drugi rezultati. Kondenzator će se za vrijeme prvog poluperioda izmjenične struje nabijati i to sve dok napon na oblozima kondenzatora bude jednak naponu izvora struje. Za vrijeme drugog poluperioda, kad napon izvora struje ima suprotan smjer, kondenzator će se izbiti, a zatim nabiti u protivnom smjeru. To se nabijanje i izbijanje neprestano ponavlja pa se polaritet na oblozima kondenzatora neprestano mijenja. Time se vidi da u ovom strujnom krugu neprestano teče električna struja nabijanja i izbijanja, to jest električni kondenzator propušta izmjeničnu struju. Kod ukapčanja poteče najjača struja koja sve više pada kako napon kondenzatora raste. Kad je napon kondenzatora najveći, jakost električne struje je jednaka nuli. Kada napon izvora struje promijeni smjer, kondenzator se počne prazniti, a struja teče u suprotnom smjeru. Napon kondenzatora pada, a jakost struje raste. Kako se kondenzator nabija u suprotnom smjeru, njegov napon raste, a jakost struje pada. Konačno se kondenzator potpuno nabije, napon mu je najveći, a jakost struje padne na nulu.

Iz toga se vidi da električni kondenzator u krugu izmjenične struje ne sprečava prolaz struje, ali izaziva zaostajanje napona iza struje. Taj fazni pomak može biti od 0° do 90°. Ako je u krugu izmjenične struje samo kapacitivni otpor napon zaostaje u fazi za strujom za 90°. Pokusi pokazuju da je kapacitivni otpor obrnuto proporcionalan s frekvencijom izmjenične struje i s kapacitetom kondenzatora. Kapacitivni otpor X_C izračunava se iz jednadžbe:

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\omega \cdot C}\ [\Omega] \tag{16}$$

3.3. OHMOV ZAKON ZA IZMJENIČNU STRUJU

Ako se u strujnom krugu izmjenične struje nalaze u seriji omski R, induktivni X_L i kapacitivni X_c otpori, onda jakost električne struje ovisi o veličini pojedinih otpora. Ako je induktivni otpor veći od kapacitivnog, nadvladat će induktivni otpor, struja će zaostajati za naponom, ali u manjoj mjeri nego kad bi bio samo induktivni otpor u strujnom krugu. Obratno će biti ako je kapacitivni otpor veći. Struja će tada prethoditi naponu. Ako je induktivni otpor jednak kapacitivnom, oni se kao suprotni i jednaki međusobno poništavaju pa u strujnom krugu postoji samo radni otpor. Radni otpor je stvarni otpor kojim se neki električni vodič suprotstavlja protjecanju struje.

Induktivni i kapacitivni otpor su prividni otpori, jer se sva energija koja se utroši na njihovo savladavanje ponovo vraća u strujni krug. Naime, kod induktivnog otpora stvara se magnetsko polje kojega se energija nakon njegova nestanka vraća u obliku struje natrag u strujni krug. Ista je stvar i kod kapacitivnog otpora gdje se stvara električno polje.

Ukupni otpor ovakvog strujnog kruga, u koji su serijski uključeni radni, induktivni i kapacitivni otpori, zove se električna impedancija koja se označava sa *Z*, a izračunava po jednadžbi:

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2 \tag{17}$$

pa je jakost električne struje $\bar{I}$:

$$\bar{I} = \frac{\bar{U}}{\bar{Z}} \tag{18}$$

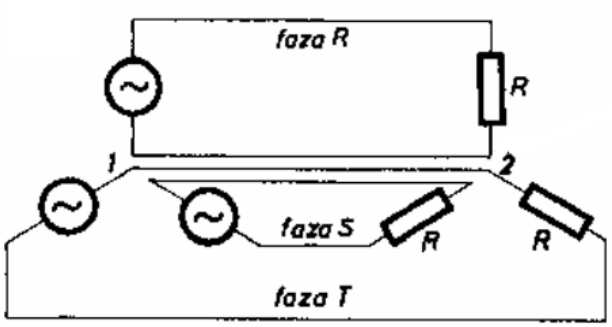
To je opći oblik Ohmova zakona za izmjeničnu struju.

3.4. GOSPODARSKI ZNAČAJ IZMJENIČNE STRUJE

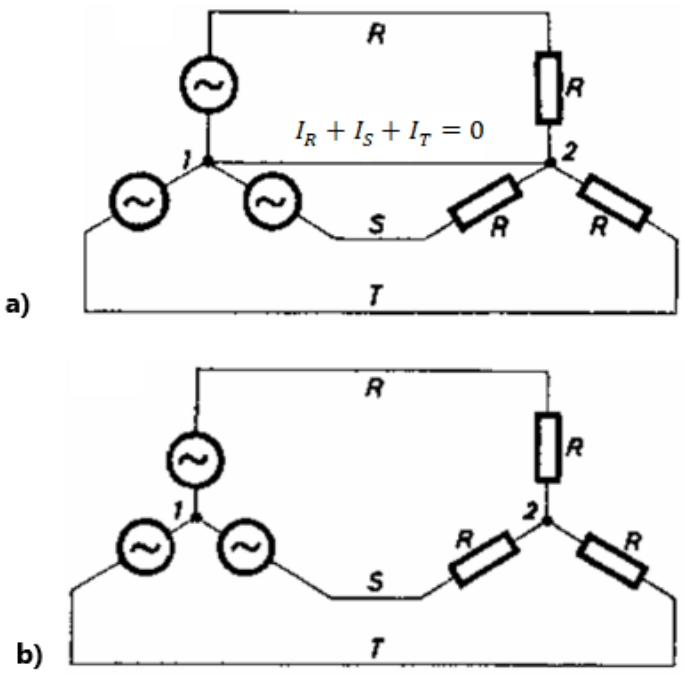
Tesla je prednosti izmjenične struje isticao, iako se pri tome morao oduprijeti velikom pritisku bivšeg poslodavca, Thomasa Alva Edisona, koji je svim snagama pokušao dokazati opasnosti izmjenične struje, uzalud. Prijenos energije je najveća prednost izmjeničnih struja iz razloga što to radi učinkovito, uz vrlo male gubitke, na velike udaljenosti. Naime, za prijenos snage nije važan ni samo iznos struje, ni samo napona, već njihov umnožak. Gubitci u prijenosnom vodiču ovise o neizbježnom otporu vodiča i kvadratu struje koja kroz njega prolazi. Dakle, uz povećanje napona i odgovarajuće struje moguće je prenositi istu snagu uz manje gubitke. Povećanje napona se za izmjenične struje može vrlo jednostavno provesti u transformatorima. Uz prijenos energije vezane su i naredne teme koje ćemo obraditi detaljnije, a to su višefazni sustavi (trofazni u našem slučaju) te bežični prijenos energije i informacija.

4. TROFAZNI SUSTAV

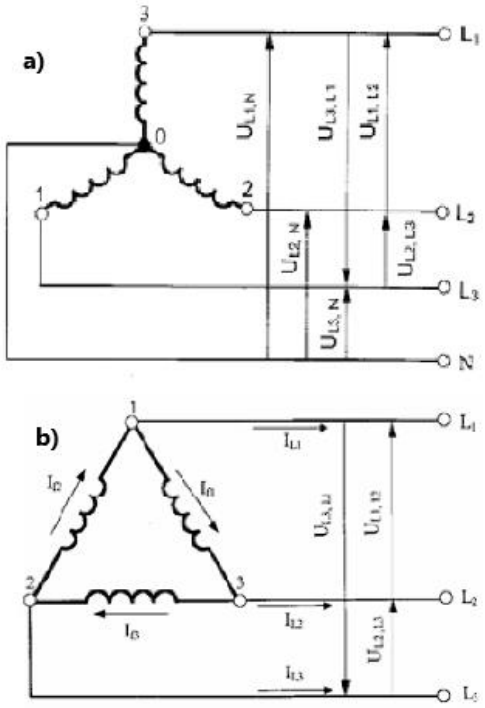
Kako je prethodno spomenuto, izmjenična struja je potrebna zbog smanjenja gubitaka u prijenosnim vodovima elektroenergetskog sustava. Najjednostavniji sustav je s jednom fazom. Spajanjem dva jednofazna sustava može se dobiti dvofazni sustav, s tri trofazni itd. Kada bi se spojili svi povratni vodiči svih faza, dobio bi se višefazni sustav. Na tu ideju je prvi došao Nikola Tesla. Trofazna je struja sustav triju sinusoidalno promjenjivih struja koje su vremenski jedna prema drugoj fazno pomaknute za 1/3 periode, što u grafičkom prikazu odgovara faznom kutu od 120°. Na sljedećim slikama može se vidjeti primjere spojeva trofaznih sustava te njihove najčešće izvedbe. Započet će se s nastankom trofaznog sustava (slika 4.)



Slika 4. Tri jednofazna sustava [9]



Slika 5. Spojevi zvijezda-zvijezda. a) Spoj s nul-vodičem; b) Spoj bez nul-vodiča [9]

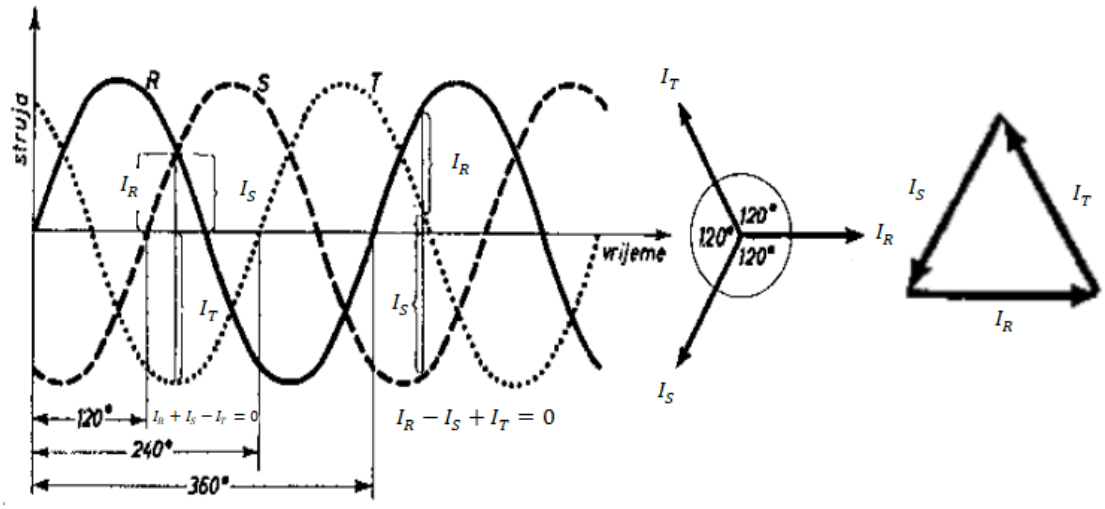


Slika 6. a) Spoj u zvijezdu; b) Spoj u trokut [9]

Tablica 1. Linijski naponi i struje u spoju zvijezde i trokuta [9]

Spoj u zvijezdu	Spoj u trokut
$U_L = \sqrt{3}U_f$	$U_L = U_f$
$I_L = I_f$	$I_L = \sqrt{3}I_f$

Uz jednake struje u sve tri faze ukupna je struja jednaka nuli, kao što se može vidjeti iz slike 7.



Slika 7. Graf ovisnosti struje o vremenu trofaznog sustava [9]

Glavne prednosti trofaznog sustava nad jednofaznim su:

- omogućavanje ekonomičnijeg prijenosa električne energije, s manjim gubicima i uštedom materijala za vodove
- generira se rotacijsko magnetsko polje, na kojem se temelji rad većine rotacijskih strojeva
- trenutna snaga simetričnog trofaznog trošila je konstantna bez obzira na vrstu spoja
- trofazni uređaji su robusni i ekonomični.

4.1. SNAGA U TROFAZNIM SUSTAVIMA

Trofazno simetrično trošilo ima u svakoj grani jednako opterećenje:

$$\overline{Z_1} = \overline{Z_2} = \overline{Z_3} = \bar{Z} \tag{19}$$

Za radnu snagu vrijedi:

$$P_{uk} = 3 \cdot P = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot cos\varphi = 3 \cdot U_L \cdot \frac{I_L}{\sqrt{3}} \cdot cos\varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot cos\varphi \tag{20}$$

Za jalovu snagu vrijedi:

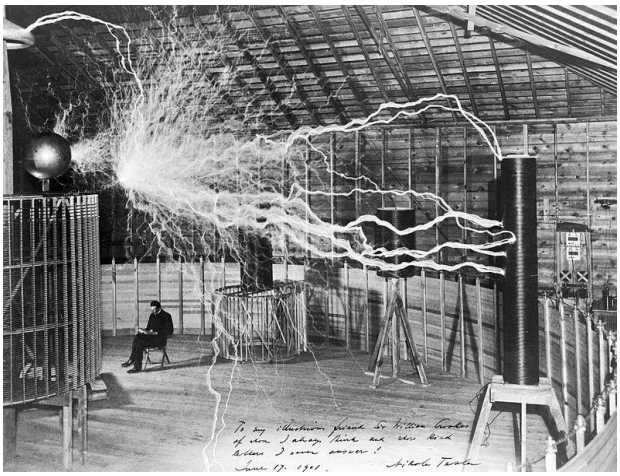
$$Q_{uk} = 3 \cdot Q = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot sin\varphi = 3 \cdot U_L \cdot \frac{I_L}{\sqrt{3}} \cdot sin\varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot sin\varphi \tag{21}$$

Za prividnu snagu vrijedi:

$$S_{uk} = 3 \cdot S = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot cos\varphi = 3 \cdot U_L \cdot \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \tag{22}$$

5. TESLIN TRANSFORMATOR

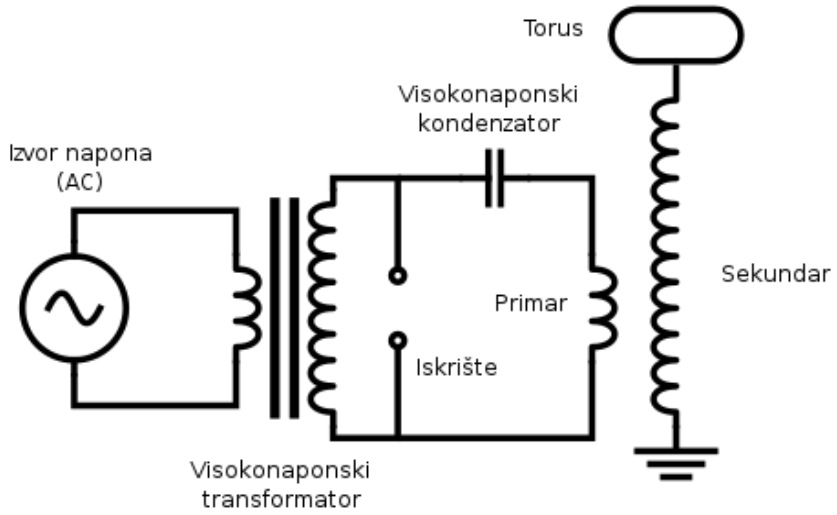
Teslin transformator, poznatiji pod nazivom Teslina zavojnica, nastao je 1891. godine te proizvodi visoki napon (od nekoliko milijuna volti) i izmjenične struje visokih frekvencija (10 do 300 kHz). Tesla je smatrao da bi električno osvjetljenje bilo ekonomičnije ako bi se upotrebljavala izmjenična električna struja sa znatno većom frekvencijom od 50 Hz. Prvi Teslini pokusi visokofrekventnih generatora izmjenične struje imali su 400 pari polova te bi pri 3000 okretaja u minuti davali struju frekvencije 10 000 Hz. Ti pokusi nisu bili zadovoljavajući te je Tesla počeo ispitivati druge mogućnosti dobivanja visoke frekvencije i vrlo visokog napona. Rješenje tog problema je pronašao upotrebom razmaka na iskrištu, slično svjećici na automobilu, u oscilirajućem električnom krugu. Pri stvaranju električne iskre nastaju električne oscilacije, čiji bi broj iznosio između 100 000 Hz i 1 000 000 Hz, uslijed čega u takvom krugu nastaje isto toliki broj prekida struje. Prema tome, magnetsko polje ovakvog oscilirajućeg kruga mijenjat će svoj smjer 100 000 do 1 000 000 puta u sekundi. Ako se unese vodič u takvo promjenjivo magnetsko polje, inducirat će se visokofrekventna struja i visoki napon. U svom patentu naveo je da munje prilikom pražnjenja proizvode električne oscilacije unutar Zemlje. Ta opažanja je izmjerio koristeći precizne mjerne instrumente postavljene tako da reagiraju na električna pražnjenja munja. Mjerenja su pokazala da se valne duljine takvih električnih valova kreću od 25 do 75 km te da se radi o stojnim valovima.



Slika 8. Slika iz Colorado Springsa gdje Tesla sjedi u svom laboratoriju iza Teslinog transformatora koji stvara milijune volti napona. [5]

5.1. KONSTRUKCIJA TESLINOG TRANSFORMATORA

Primar Teslinog transformatora sastoji se od električne zavojnice načinjene od žice s relativno malim brojem zavoja, visokonaponskog električnog kondenzatora i iskrišta. Frekvencija titranja titrajnog strujnog kruga primara ovisi o električnom kapacitetu kondenzatora i induktivitetu zavojnice. Sekundarna zavojnica ima vrlo velik broj zavoja načinjenih od tanke žice, a radi boljeg prijenosa energije nalazi se unutar primarne zavojnice. Zbog visokih frekvencija, zavojnice ne sadrže željeznu jezgru jer bi s njom gubitci energije bili veliki. Električni kondenzator se električki nabija do nekoliko kilovolta napona uz pomoć izvora izmjenične struje, najčešće pomoću transformatora. Kada je kondenzator električki nabijen, strujni krug primara zatvara se preko iskrišta, kondenzator se prazni i nastaje visokofrekventno titranje (punjenje i pražnjenje kondenzatora kroz zavojnicu). Magnetsko polje primarne zavojnice inducira napon u sekundarnoj zavojnici. Vrlo visoki naponi u Teslinom transformatoru stvaraju snažne iskre ili pak duge pramenove svjetlosti ako se na vrh sekundarne zavojnice montira metalni prsten ili toroid. Postoje i drugi učinci, kao što je svijetljenje u Geisslerovim cijevima čak i kada one nisu povezane vodičima sa sekundarom transformatora.



Slika 9. Shema Teslinog transformatora [5]

5.2. NAČELO RADA

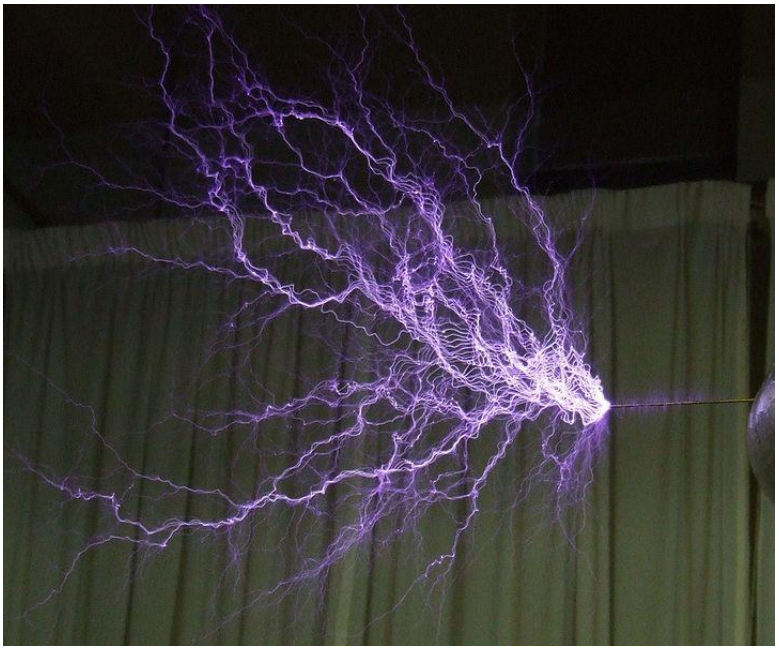
Teslin transformator sastoji se od primarne zavojnice od nekoliko zavoja debele žice. Promjer ove zavojnice može biti između nekoliko centimetara do nekoliko metara. U sredini primara zavojnice, nalazi se sekundar s velikim brojem zavoja tanke i dobro izolirane žice puno manjeg promjera od primarne zavojnice. Kao izolator može se koristiti zrak ili obje zavojnice potopiti u transformatorsko ulje. Naspram normalnih transformatora, on nema željeznu jezgru jer bi ometala električne oscilacije. Najveći efekt se može postići na sekundarnoj zavojnici kada ima isti period oscilacija kao i primarna zavojnica. Za dobivanje takvog efekta treba izmjenični izvor električne struje, koji je preko visokonaponskog transformatora spojen na kondenzator. Na vrh sekundarne zavojnice stavlja se prsten, obično napravljen od fleksibilnih aluminijskih cijevi, koji stvara električno polje, koje omogućuje stvaranje iskri i munja izvan zavojnica transformatora. Na slici ispod može se vidjeti jedan model današnje izvedbe Teslinog transformatora na kojem se koristi aluminijska cijev, u obliku prstena s bakrenim namotajima i drvenim kućištem za smještaj ostatka sklopa.



Slika 10. 3D model Teslinog transformatora [4]

5.3. PRIMJENA

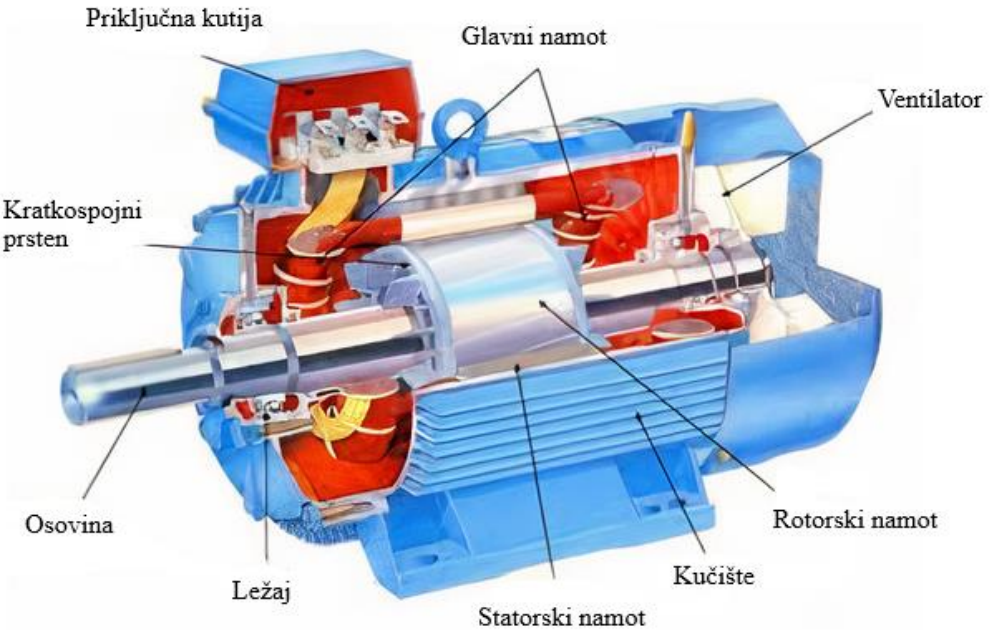
Kada bi se jedan pol sekundarne zavojnice Teslinog transformatora uzemljio, na drugom će polu izbijati dugi pramenovi svjetlosti. Još intenzivniji plavičasti pramenovi vidjet će se između dvije paralelne bakrene žice ili dvije kružno savijene bakrene žice, ako se njihovi krajevi spoje na polove sekundarne zavojnice. Ako se pak na polove sekundarne zavojnice stave dvije bakrene ploče, onda se između njih stvara električno polje velike jakosti. Kada bi se u to električno polje stavilo fluorescentnu svjetiljku, ona bi zasvijetlila, iako nema nikakvog dodira. Tesla je ove konstrukcije transformatora koristio uglavnom za pokuse s bežičnim prijenosom energije i informacija na daljinu. Danas se pak Teslin transformator koristi za obrazovne svrhe, a konstruiraju ih muzeji, istraživačke ustanove i pokoji entuzijasti.



Slika 11. Pramenovi svjetlosti s Teslinog transformatora [4]

6. INDUKCIJSKI MOTOR

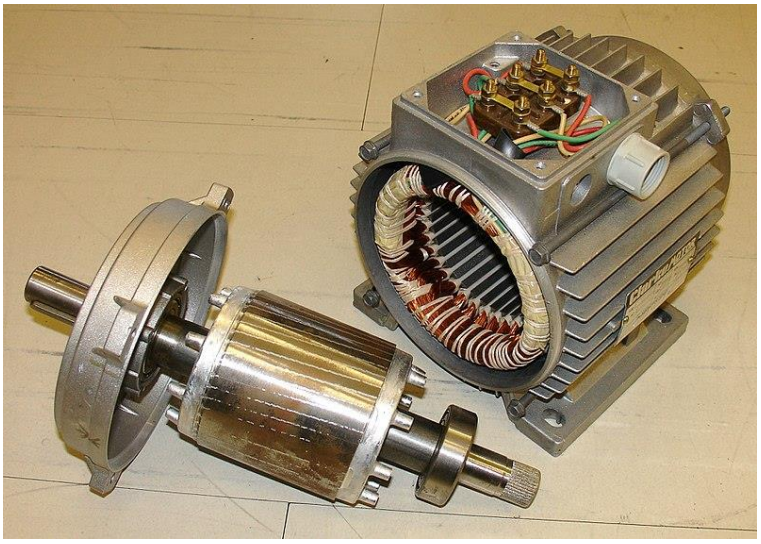
Indukcijski motor ili asinkroni motor (elektromotor) je uređaj koji pretvara električnu energiju u mehanički rad. Sastoji se od rotirajućeg dijela, rotora, na koji se električna energija prenosi beskontaktno (indukcijom) djelovanjem okretnog magnetskog polja koje stvara sustav višefaznih struja u statoru. Prema izvedbi rotorskog namota mogu se podijeliti na kavezne i klizno-kolutne strojeve. Električni strojevi ovakve izvedbe su jednostavne konstrukcije, robusni i pouzdani u pogonu pa se najčešće koriste u svim vrstama elektromotornih pogona. Brzina okretanja statorskog polja razlikuje se od brzine vrtnje rotora te zbog toga dobivaju naziv asinkroni (neistovremeni). Razlika brzina, takozvano klizanje, ključna je veličina u teoriji djelovanja i prijenosa energije u stroju. Klizanje kod asinkronih motora je pojava, da se rotor vrti brzinom vrtnje, koja je uvijek manja od sinkrone, to jest manja od brzine vrtnje okretnog magnetskog polja. Kod sinkronih motora nema klizanja zahvaljujući dodatnom istosmjernom napajanju ili korištenju permanentnih magneta u rotoru.



Slika 12. Presjek asinkronog motora [3]

Izmjenični asinkroni motor, napajan iz mreže izmjeničnog trofaznog ili jednofaznog napona, najveću primjenu ima u industrijskim postrojenjima. Takav motor

izveden za priključak na jednofaznu mrežu služi i u manjim uređajima kao što su radionički, laboratorijski i kućanski uređaji (crpke, perilice rublja i posuđa, hladnjaci itd.). U asinkronom motoru se okretno magnetsko polje stvara prolaskom trofazne struje kroz trofazne namotaje na statoru. Ono se može stvoriti i priključkom motora na jednofaznu mrežu, ako se dva fazna namota prostorno pomaknu za prikladan kut i ako se u jedan namot doda električni kondenzator. Tim kondenzatorom bi ostvarili fazni pomak među strujama kojima se napajaju ta dva namota. Kondenzator se nakon zaleta motora može i isključiti. Ovako priključen motor naziva se kondenzatorski motor.



Slika 13. Rotor (dolje lijevo) i stator (gore desno) indukcijskog motora. [3]

6.1. KAVEZNI MOTOR

Kavezni motor je dobio naziv po svom rotorskom namotu koji se sastoji od neizoliranih, najčešće aluminijskih vodiča, simetrično raspoređenih po obodu željezne jezgre rotora. Na svojim krajevima su kratko spojeni, pa oni nalikuju na kavez ili krletku. Ovo je najčešće upotrebljavana vrsta asinkronog motora te ima najveću primjenu u industriji jer u njegovom rotoru ne treba dovoditi nikakvu struju pa iz tog razloga nema potrebe za četkicama i kolektorima koji povećavaju cijenu održavanja. Da se spriječi njegovo zagrijavanje, na osovini rotora postavljen je ventilator. Sinkroni i asinkroni motori vrlo su jednostavni po konstrukciji, a time i jeftiniji od ostalih motora, osobito asinkroni koji ne sadrži kolektore ni klizne kolute.

Nikola Tesla je prvi otkrio rotacijsko magnetsko polje na kojem se temelji cijeli rad ovakvog stroja tako da je jednim eksperimentom stavio limenku u sredinu polja, i uočio kako se ona vrti. Daljnjim istraživanjima i eksperimentima je usavršio stroj do razine na kojoj se danas koristi. Bez Teslinog doprinosa, ovakav uređaj ne bi postojao kao takav.

6.2. TEORIJA RADA ASINKRONOG MOTORA

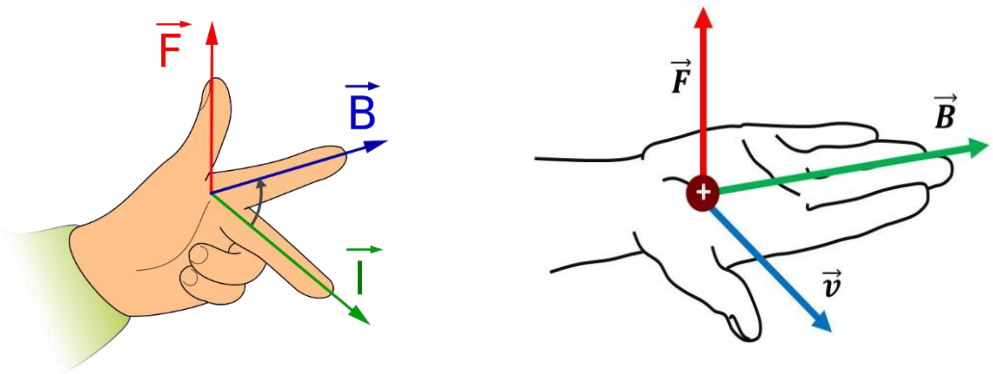
Ako se između dva suprotna magnetna pola stavi električni vodič, a kroz vodič pusti električna struja, tada će se vodič izmaknuti iz tog magnetnog polja. Na vodič djeluje sila F, koja ga odmiče iz magnetnog polja. Sila F definirana je sljedećom jednadžbom [1]:

$$F = B \cdot l \cdot I \qquad (N) \tag{23}$$

gdje su:

- $B \rightarrow$ jakost magnetske indukcije (T),
- $l \rightarrow$ duljina vodiča u magnetskom polju (m),
- $I \rightarrow$ jakost električne struje (A).

Želi li se magnetsko polje približiti vodiču, vodič će uvijek odmicati od magnetskog polja. Smjer sila kojom magnetsko polje djeluje na vodič određuje se pravilom lijeve ruke prikazano na slici 14.



Slika 14. Pravilo lijeve ruke (lijevo), pravilo desne ruke (desno) [3]

Ako se kroz vodič ne pusti struja, on će mirovati. Priključi li se na krajeve tog vodiča vrlo osjetljivi voltmetar, vodič uhvati čvrsto nekim izolacijskim materijalom, a pomiču se magnetski polovi (dakle i magnetsko polje) u jednu stranu; tako da silnice sijeku

vodič, može se zapaziti kako se kazaljka voltmetra otklanja. Voltmetar tada registrira električni napon. Taj napon je veći s porastom magnetskog polja, što je brže njegovo kretanje i što je veća duljina vodiča zahvaćena homogenim magnetskim poljem.

Inducirani napon U razmjeran je gustoći magnetskog toka B, brzini kretanja v i duljini vodiča u tom polju l. To je definirano sljedećom jednadžbom [2]:

$$U = B \cdot l \cdot v \quad \text{(V)} \tag{24}$$

gdje su:

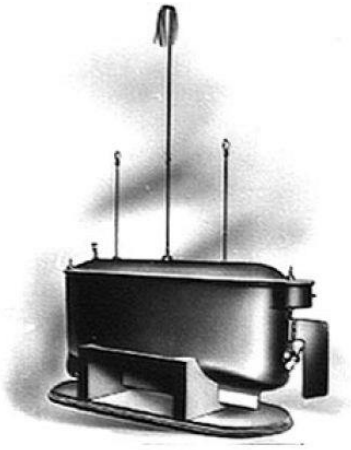
- $B \rightarrow$ jakost magnetske indukcije (T),
- $l \rightarrow$ duljina vodiča u magnetskom polju (m),
- $v \rightarrow$ brzina kretanja (m/s).

Smjer induciranog napona određuje se pravilom desne ruke. U oba primjera, magnetsko polje je homogeno i kretanja su uvijek okomita. Lenzovo pravilo (prema Heinrichu Lenzu) je pravilo kojemu je smjer induciranog električnog napona i njime pokrenute električne struje u strujnoj petlji kroz koju se mijenja magnetski tok uvijek takav da poništava promjenu magnetskoga toka kojim je napon induciran, to jest magnetski tok induciranje struje uvijek je suprotan izvornom magnetskom toku.

7. BEŽIČNI PRIJENOS ENERGIJE

Bežični prijenos energije ili bežično slanje energije je proces koji se odvija u bilo kojem stanju gdje se električna energija prenosi s izvora na trošilo, bez spajanja istih u električni sklop. Ova vrsta prijenosa je savršena u slučajevima kada je potreban trenutan ili stalan prijenos energije, ali je spajanje žicama nezgodno, opasno ili nemoguće.

Prve primjene prijenosa energije bez žica uočio je Tesla, a za to je koristio posljedicu protjecanja izmjenične struje koja odašilje elektromagnetske valove. Ako se iznos tako prenesene energije mijenja, moguće je na bežični način prijemnoj strani slati dogovorene signale. Tako se može prenositi telegrafske kodove, glas, upravljati udaljenim strojevima i automatima, pronositi sliku i druge oblike informacija. Prvi primjer njegovog bežičnog prijenosa je pokazao izgradnjom radioupravljanog modela broda sa slike 15.



Slika 15. Radioupravljani model broda [1]

7.1. RADIO

Kada se spominje Teslin radioupravljani model broda, mora se obratiti pažnja na njegovo otkriće radija. Radio je bežično primanje i prijenos komunikacijskih signala elektromagnetskim valovima čije su frekvencije niže od frekvencije vidljive svjetlosti.

Tesla je vodio borbu s Guglielmom Marconiem, talijanskim inženjerom i fizičarom, za patentna prava u vezi primjene elektromagnetskih valova za bežičnu telegrafiju koja je razriješena od strane Vrhovnog suda Sjedinjenih Američkih Država u Teslinu korist. Unatoč tome, Marconi je 1901. godine prvi uspio predati radio signal preko Atlantskog

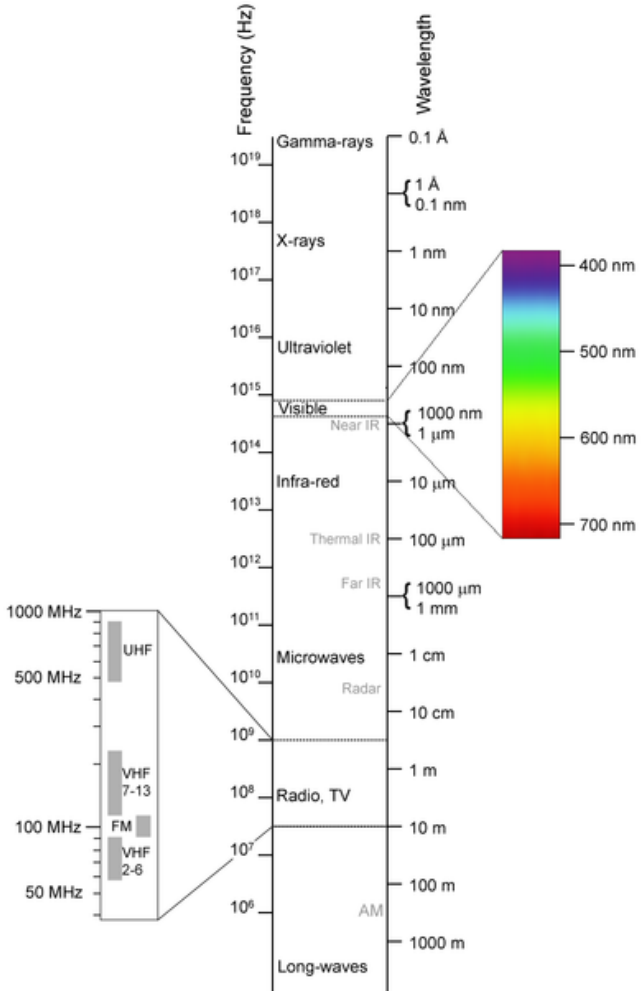
oceana. Za radove na bežičnoj telegrafiji Nobelovu nagradu za fiziku podijelio je s Carlom Ferdinardom Braunom 1909. godine.

Radiovalovi putuju kroz homogen prostor (zrak ili vakuum) pravocrtno, u svim pravcima. Ako postoje diskontinuiteti, kao što je ionosfera u Zemljinoj atmosferi, dolazi do odbijanja, a isto takvo odbijanje se događa i od površine Zemlje. Kada se radiovalovi usmjere prema komunikacijskom satelitu, oni se tu hvataju, pojačavaju i odašilju natrag prema Zemlji.

Informacija se prenosi sustavnim mijenjanjem neke osobine radiovalova, kao što je amplituda, frekvencija ili faza. To se mijenjanje zove modulacija. Takav električni signal se onda uvodi u rezonantni sklop koji je priključen na radio odašiljač, odakle se odašilju radiovalovi u prostor. Kada se električni vodič nađe u elektromagnetskome polju radiovalova, ono inducira izmjeničnu struju u vodiču. To se može detektirati i transformirati u zvuk ili drugi signal koji nosi informaciju na način da se prvo uhvati što veća količina energije radiovalova u antenu prijemnika, a zatim izvrši proces obrnut od modulacije - demodulacija. Potom se dobije električni signal koji sadrži neku korisnu informaciju.

7.2. ELEKTROMAGNETSKI SPEKTAR

Radiovalovi su oblik elektromagnetskog zračenja koje se stvara kada električki nabijen objekt (u radio prijenosu elektron) ubrza s frekvencijom koja leži u radiofrekvencijskom opsegu elektromagnetskog spektra (RF). U radiju ovo ubrzavanje izaziva izmjenična struja u anteni, radiovalovi zauzimaju raspon od nekoliko desetina herca do 300 GHz, iako komercijalno važne primjene koriste mali dio ovog spektra.



Slika 16. Elektromagnetski spektar [6]

Tablica 2. Raspon radio frekvencija

Naziv	Frekvencijsko područje
Ekstremno niska frekvencija (ELF)	3 Hz – 30 Hz
Super niska frekvencija (SLF)	30 Hz – 300 Hz
Ultraniska frekvencija (ULF)	300 Hz – 3 kHz
Vrlo niska frekvencija (VLF)	3 kHz – 30 kHz
Niska frekvencija (LF)	30 kHz – 300 kHz
Srednja frekvencija (MF)	300 kHz – 3 MHz
Visoka frekvencija (HF)	3 MHz – 30 MHz
Vrlo visoka frekvencija (VHF)	30 MHz – 300 MHz
Ultravisoka frekvencija (UHF)	300 MHz – 3 GHz
Supervisoka frekvencija (SHF)	3 GHz – 30 GHz
Ekstremno visoka frekvencija (EHF)	30 GHz – 300 GHz

TESLA I MEDICINA

Tesla je, među svojim brojnim eksperimentima kojima je rješavao probleme vezane uz rasvjetu i prijenos električne energije na daljinu, opazio da struje visoke frekvencije nisu opasne za čovjeka. Ta opažanja je 1891. godine objavio u časopisu Electrical World. Izvodeći pokuse propuštanja visokofrekventne struje kroz vlastito tijelo, došao je do spoznaje da se pomoću tih struja mogu bezopasno zagrijavati tkiva u unutrašnjosti ljudskog tijela. Stoga je u prosincu iste godine objavio poseban članak o mogućnostima medicinske primjene visokofrekventnih struja. U knjizi The Problem of Increasing Human Energy Tesla je zapisao [1]: "Još uvijek se s užitkom sjećam kako sam prije devet godina naboj snažne indukcijske zavojnice ispraznio kroz svoje tijelo kako bi pred znanstvenom javnošću demonstrirao komparativnu neškodljivost visokofrekventnih električnih struja, i još uvijek se sjećam zaprepaštenja publike. Danas bih, s mnogo manje bojazni nego u tom pokusu, pustio da kroz moje tijelo teku struje jake kao električna energija svih dinama koji sada rade na Nijagari – četrdeset ili pedeset tisuća konjskih snaga. Premda sam proizveo sam električne oscilacije koje su bile takvog intenziteta da su cirkulirajući kroz moje ruke i prsa rastopile žice priključene na moje dlanove, nisam osjećao nikakvu nelagodu." Daljnjim dopisima s liječnicima upoznaje se više s elektroterapijama i konstruira poseban uređaj za liječenje visokofrekventnim strujama. Taj uređaj se čuva u Muzeju Nikole Tesle u Beogradu, a prikazan je na slici 17.

Danas visokofrekventne struje (frekvencije nekoliko stotina kiloherca) imaju primjenu u postupcima medicinske dijatermije. Pri tom postupku se električna energija pretvara u toplinsku, te se na taj način zagrijava tkivo u unutrašnjosti organizma, djelujući terapijski. Time se liječe reumatične i druge kronične upale, bolesti, a primjenu imaju i u ginekologiji i kirurgiji. Sličan postupak, pod nazivom teslinizacija, je postupak pri kojem se ljudsko tijelo stavlja u električno polje VF struja dobivenih Teslinim transformatorom.



Slika 17. Teslin uređaj za liječenje visokofrekventnim strujama, početak 20. st. [7]

7.3. X-ZRAKE

Izvodeći pokuse s vakuumskim cijevima, gotovo je u isto vrijeme kada i W. C. Röntgen otkrio X-zrake. Nekoliko mjeseci nakon Röntgenove objave javnosti, Tesla 1986. godine u američkom časopisu Electrical Review objavljuje niz članaka o tim novim zrakama. U člancima je detaljno opisao tehniku dobivanja rendgenograma i priložio rendgenske snimke lubanje i prsnog koša čovjeka, koje je sam napravio (slika 18.). Zaslužan je i za usavršavanje tehnike rendgenskih uređaja, a osobito za održavanje i reguliranje vakuuma u rendgenskim cijevima.



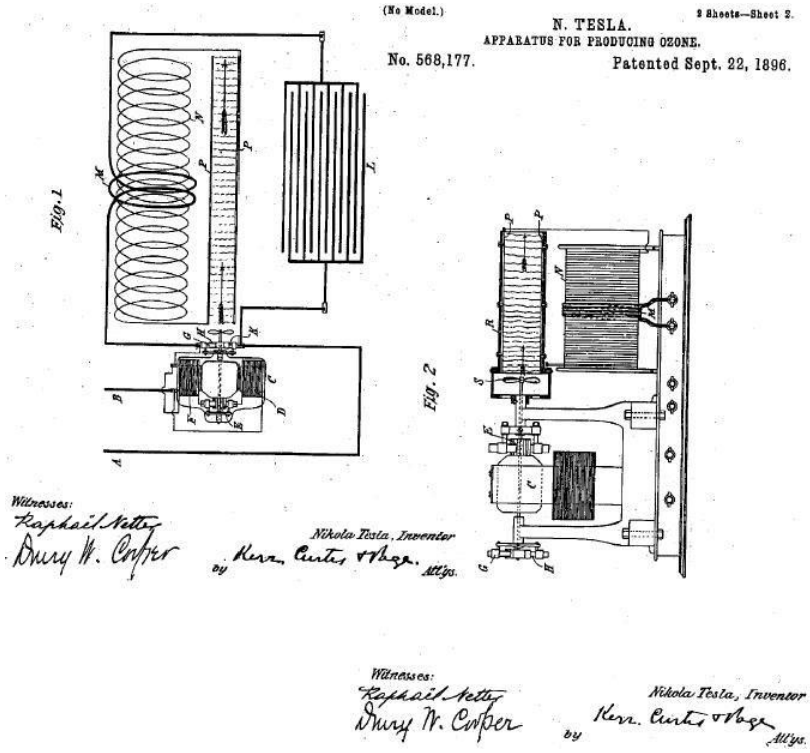
Slika 18. Snimka lubanje - Nikola Tesla, 1896. [7]

Godine 1890. Tesla je zapazio ako se neki predmet položen na fotografsku ploču stavi u visokofrekventno električno polje, na ploči nastaje obris tog predmeta. Tu pojavu je nazvao elektrografska fotografija ili elektrografija. Poslije je taj način snimanja nazvan Kirlianova fotografija. Karakterističan obris pojavljuje se i na fotografijama dijelova ljudskog tijela. To se zove „aurom“ odnosno energijskim poljem živog organizma.

Tesla je istraživao i utjecaj mehaničkih vibracija na neke fiziološke poremećaje. Konstruirao je „vibrator“ koji je koristio za smanjenje osjećaja umora u nožnim mišićima.

7.4. OZONIZATOR

Daljnjim eksperimentima s visokofrekventnom strujom primijetio je kako struje izazivaju stvaranje ozona u zraku. U vrlo malim koncentracijama ozon ima osvježavajući učinak, ali posjeduje i baktericidna svojstva. Tesla je znao za baktericidno djelovanje ozona, pa je konstruirao jedan od prvih ozonskih generatora ili ozonizatora. Taj izum je patentirao 1896. godine (slika 19.). Tesla Ozone Company, osnovana 1900. godine proizvodila je ozonske generatore i prodavala ih liječnicima. Ozonizatori se i danas primjenjuju za pročišćavanje i osvježivanje zraka u prostorima s klima uređajima.


(No Model.) 2 Sheets—Sheet 2.

N. TESLA.

APPARATUS FOR PRODUCING OZONE.

No. 568,177. Patented Sept. 22, 1896.

Fig. 1

Fig. 2

Witnesses:
Raphael Netter
Dury W. Cooper

Nikola Tesla, Inventor
by Kerr, Curtis & Page
Attys.

Witnesses:
Raphael Netter
Dury W. Cooper

Nikola Tesla, Inventor
by Kerr, Curtis & Page
Attys.

Slika 19. Patentna prijava aparata za proizvodnju ozona, 1896 [1]

8. ZAKLJUČAK

Kvaliteta današnjeg života naspram nekoliko stotina godina prije pisanja ovog rada se znatno povećala. Standardi su viši jer je tehnologija znatno napredovala u svim svojim granama te za taj napredak se mora zahvaliti Nikoli Tesli. Njegovi izumi, otkrića te stavovi prema napretku su dali „odskočnu dasku“ da se iz njegovih okruženja skoči u njegovu maštu, maštu u kojoj se djelomično trenutno nalazimo. Njegove vizije pametnih telefona, televizora, radara, bežičnog prijenosa u cijelosti te mnoge ostale su iz izrugivanja postale svakidašnjica. Rođen u tami, siromaštvu i skromnosti je bio veliki motiv da svoje životno djelo podijeli s ostatkom čovječanstva bez imalo zanimanja za zaradom. Glavni motiv mu je bio naš napredak. Majka mu je pri rođenju rekla da će on biti dijete svjetla, što je on doista i bio. Svjetlo iz naše prošlosti koje sija i danas, pokazuje nam put ka boljem svijetu, svijetu kakvog je zamislio, svijetu u kojem djelomično sada živimo. Zbog svega toga, osjećamo dužnost reći mu jedno veliko hvala!

LITERATURA

[1] Carlson, W. Bernard: *Tesla – izumitelj električnog doba*, Planetopija biblioteka OSOBA, Zagreb, 2014.

[2] https://mcnikolatesla.hr/nikola-tesla/ (pristupljeno 22.7.2020.)

[3] Električni motor (elektromotor), "Hrvatska enciklopedija", Leksikografski zavod Miroslav Krleža, https://www.enciklopedija.hr/ 2017. (pristupljeno 24.7.2020.)

[4] https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=69710 (pristupljeno 21.7.2020.)

[5] https://www.livescience.com/46745-how-tesla-coil-works.html (pristupljeno 21.7.2020.)

[6] Paar, V.: *Tesla – vizionar 21. stoljeća*, Radovi Zavoda za znanstveni rad Varaždin, No. 18, 2007., 2007, str. 199-219

[7] Salopek I.; Žauhar G.: *Teslini doprinosi medicini*, Acta medico-historica Adriatica: AMHA, Vol. 4 No. 2, 2006., str. 189-198

[8] Muljević V.: Život i djelo Nikole Tesle, Journal of Energy : Energija, Vol. 55 No. 2, 2006., str. 218-235

[9] Kuzmanić I.: *Brodska elektrotehnika i elektronika*, Pomorski fakultet u Splitu, Split, 2006.

[10] Električna struja, "Hrvatska enciklopedija", Leksikografski zavod Miroslav Krleža, https://www.enciklopedija.hr/, 2017. (pristupljeno 15.7.2020.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Nikola Tesla tijekom života [1] 3
Slika 2. Asinkroni motor (lijevo) i električni prijenos energije (desno) [1] 4
Slika 3. Vrijednosti električnog napona kod sinusoidalne izmjenične struje: 1-amplituda; 2-vršna vrijednost; 3-efektivna vrijednost; 4-period [10] 8
Slika 4. Tri jednofazna sustava [9] 12
Slika 5. Spojevi zvijezda-zvijezda. a) Spoj s nul-vodičem; b) Spoj bez nul-vodiča [9] 12
Slika 6. a) Spoj u zvijezdu; b) Spoj u trokut [9] 13
Slika 7. Graf ovisnosti struje o vremenu trofaznog sustava [9] 14
Slika 8. Slika iz Colorado Springsa gdje Tesla sjedi u svom laboratoriju iza Teslinog transformatora koji stvara milijune volti napona. [5] 15
Slika 9. Shema Teslinog transformatora [5] 16
Slika 10. 3D model Teslinog transformatora [4] 17
Slika 11. Pramenovi svjetlosti s Teslinog transformatora [4] 18
Slika 12. Presjek asinkronog motora [3] 19
Slika 13. Rotor (dolje lijevo) i stator (gore desno) indukcijskog motora. [3] 20
Slika 14. Pravilo lijeve ruke (lijevo), pravilo desne ruke (desno) [3] 21
Slika 15. Radioupravljani model broda [1] 23
Slika 16. Elektromagnetski spektar [6] 25
Slika 17. Teslin uređaj za liječenje visokofrekventnim strujama, početak 20. st. [7] 27
Slika 18. Snimka lubanje - Nikola Tesla, 1896. [7] 27
Slika 19. Patentna prijava aparata za proizvodnju ozona, 1896 [1] 28

POPIS TABLICA

Tablica 1. Linijski naponi i struje u spoju zvijezde i trokuta [9] 13
Tablica 2. Raspon radio frekvencija 25

KRATICE

SAD	Sjedinjene Američke Države
RF (engl. Radio frequency)	radio frekvencija
VF	visoka frekvencija