

Kurdziel, Roman

Wkład Nikoli Tesli w dzieło rozwoju nauk technicznych

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 3/4, 589-620

1958

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Roman Kurdziel

WKŁAD NIKOLI TESLI W DZIEŁO ROZWOJU NAUK TECHNICZNYCH*

Nikola Tesla jest jedną z najwybitniejszych, dziś niestety zbyt mało docenianych, postaci historii techniki schyłku XIX i początku XX stulecia. Z urodzenia Jugosłowianin, blisko trzy ćwierci swego długiego pracowitego żywota spędził w Stanach Zjednoczonych, gdzie był bardziej znany niż w Europie. Jego epokowe wynalazki z dziedziny elektrotechniki przypadły na wczesny okres jego twórczości — powstały one między 28 a 38 rokiem życia. Przyniosły mu one olbrzymi rozgłos w całym świecie, chociaż rozgłos ten miewał nieraz formę najmniej pożądaną, jak to wynika z artykułu ogłoszonego w „The Electrical Engineer“ w lipcu 1911 r., a więc gdy Tesla miał już za sobą blisko 30 lat twórczej pracy.

Autor artykułu podkreślił, że Tesli zawdzięczamy wynalezienie pola wirującego i opracowanie metod wytwarzania prądów szybkozmennych. Równocześnie przypomniał falę niedowiarstwa, z jaką spotkała się publikacja Tesli na temat perspektyw zastosowania tych prądów. Przytoczył przy tym znamieny fakt, jak to po oświadczeniu Tesli, iż przepuścił przez swe ciało prąd szybkozmienny przy napięciu 60 kW i zaświecił izolowaną żarówkę wyciągnąwszy jedynie palec ku niej, ukazał się w jednym z fachowych czasopism poważny artykuł naukowy, którego autor dowodził, że podobny fakt nie jest możliwy, a Teslę nazwał szarlatanem. Wiele lat później redakcja tegoż czasopisma oddała hołd Tesli stwierdzając, iż jedyną wadą tego genialnego wynalazcy było to, że wyprzedził znacznie epokę, w której żył.

Z biegiem czasu pierwszeństwo niektórych najcenniejszych od-

* Pierwsza wersja tego artykułu była referowana w dni 21 czerwca 1957 r. na posiedzeniu naukowym zorganizowanym w Warszawie przez Wydział Nauk Technicznych Polskiej Akademii Nauk.

kryć Tesli zaczęto przypisywać innym wynalazcom, wskutek czego rozpowszechniły się błędne mniemania na ten temat.

W związku z obchodzoną niedawno setną rocznicą urodzin Tesli wydaje się więc celowe przedstawienie we właściwym świetle jego wkładu w rozwój nauki i techniki.

LATA MŁODZIENECZE TESLI

Nikola Tesla urodził się 10 lipca 1856 r. we wsi Smiljan w nadmorskiej części Chorwacji, należącej wówczas do Austro-Węgier. Ojciec jego, Milutin Tesla, pochodzenia serbskiego, był duchownym prawosławnym. Po ukończeniu szkoły podstawowej w rodzinnej wsi, Nikola uczęszczał do gimnazjum realnego w Gospić, a następnie w Karlovač. Od najwcześniejszych lat Nikola wykazywał duże zdolności w kierunku matematyki i fizyki. Pod wpływem nauczyciela fizyki zainteresował się szczególnie elektrycznością, co miało zaważyć na całym jego życiu.

Po złożeniu egzaminu dojrzałości w 1873 r. miał Nikola zgodnie z życzeniem ojca, a wbrew swym zamiłowaniom do fizyki, poświęcić się stanowi duchownemu. W tym czasie wybuchła w Serbii i Chorwacji epidemia cholery, której ofiarą padł Nikola. Przykuty do łóżka przez 9 miesięcy, zdołał pod koniec choroby wymóc na ojcu zgodę na rozpoczęcie po wyzdrowieniu studiów politechnicznych. W czasie rocznej rekonwalescencji w górach nabrał z powrotem sił i tężyzny fizycznej, by w roku 1875 wstąpić na politechnikę w Grazu, gdzie miał się przygotowywać do zawodu nauczycielskiego w dziedzinie matematyki i fizyki. Z miejsca zabrał się z zapałem do nauki i był uważany za najzdolniejszego studenta. Szybko jednak porzucił myśl o zawodzie nauczycielskim postanawiając poświęcić się karierze inżynierskiej. Pod koniec drugiego roku studiów, gdy prof. Poeschl demonstrował podczas ćwiczeń z elektrotechniki działanie maszyny z wirnikiem pierścieniowym Gramme'a jako prądniczy i jako silnika, Tesla zwrócił uwagę na silne iskrzenie między komutatorem a szczotkami, gdy maszyna pracowała jako silnik pod obciążeniem. Już wówczas zrodziła się w nim myśl, że można by zbudować maszynę elektryczną nie posiadającą komutatora, który zdaniem jego nie był istotną częścią maszyny. Myśl ta pochłonęła go całkowicie, tak że podczas trzeciego roku studiów Nikola zaniedbał się w nauce, nie złożył w porę egzaminów i w konsekwencji stracił stypendium. Pozbawiony środków materialnych musiał przerwać studia i wrócić do domu. W roku 1880 spełniając

prośbę umierającego ojca wyjechał Nikola do Pragi i w tamtejszym uniwersytecie ukończył w następnym roku studia wyższe.

Z końcem 1881 r. znalazł się Tesla w Budapeszcie, gdzie jako inżynier rozpoczął pracę przy instalowaniu sieci telefonicznej. Tu dokonał kilku drobniejszych wynalazków w dziedzinie urządzeń telegraficznych. W roku 1882, jak sam wspomina, wpadł on na pomysł uzyskania pola magnetycznego wirującego przy użyciu prądów zmiennych przesuniętych w fazie. Nie widząc żadnych możliwości realizacji tego pomysłu w Budapeszcie, wyjechał Nikola Tesla w jesieni tegoż roku do Paryża i rozpoczął pracę w Kontynentalnym Towarzystwie Edisona, które budowało wówczas elektrownie i sieci prądu stałego na terenie Francji. Wszystkie wolne chwile po pracy poświęcał Tesla realizacji swego pomysłu. W r. 1883 w Strasburgu, gdzie zakładał instalację elektryczną na tamtejszym dworcu kolejowym, udało mu się wykonać prymitywny jeszcze model silnika na prąd zmienny, pozbawionego komutatora [6]¹. Namowy przyjaciele w kierunku założenia Towarzystwa dla eksploatacji tego wynalazku wstrzymały Tesłę od opublikowania w prasie tego pomysłu, który zdaniem jego miał wywrzeć decydujący wpływ na budowę maszyn elektrycznych. Jednak sfery przemysłowe Strasburga ani później Paryża nie wykazały zainteresowania wynalazkiem Tesli.

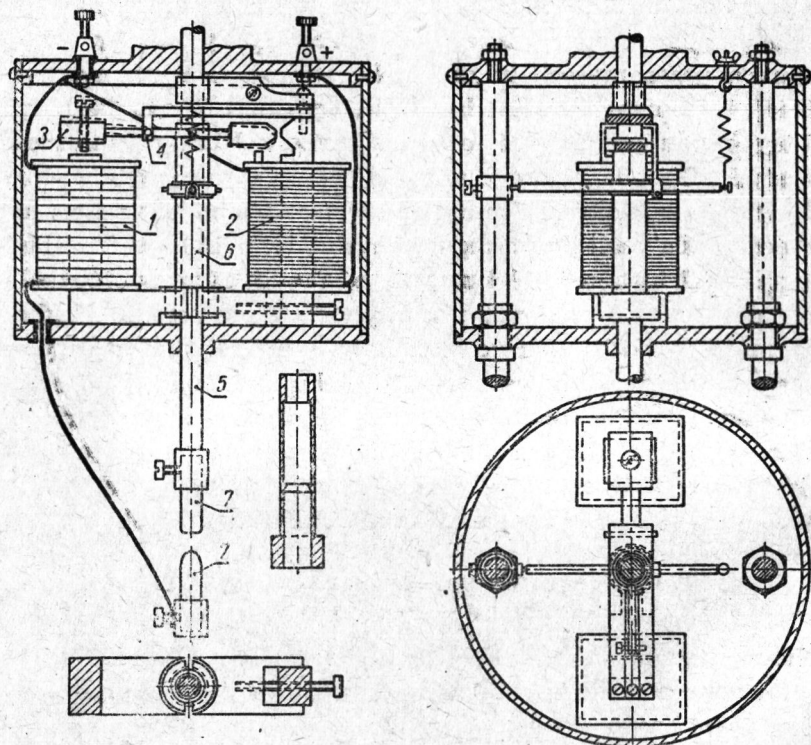
WYJAZD DO STANÓW ZJEDNOCZONYCH PIERWSZE PATENTY

Nie widząc możliwości zdobycia w Paryżu potrzebnych środków finansowych postanowił Tesla po konsultacji z zatrudnionymi w Kontynentalnym Towarzystwie Edisona Amerykanami wyjechać do Stanów Zjednoczonych, gdzie — jak mu mówiono — chętnie udzielano poparcia wynalazcom. W lecie 1884 r. przybył do Nowego Jorku i został na podstawie listu polecającego zaangażowany z miejsca w Zakładach Edisona w charakterze konstruktora prądnic i silników prądu stałego. Z powierzonych mu zadań wywiązywał się Tesla doskonale, wykazując nieprzeciętne zdolności konstruktorskie i pomysłowość. Nie dawało mu to jednak zadowolenia, ponieważ krępowano go w pracy nad własnym wynalazkiem. Zaledwie po rocznej pracy Tesla, znany już na terenie nowojorskim jako doskonały konstruktor, zdecydował się na opuszczenie Zakładów Edisona otrzymawszy propozycje zajęcia się rozwojem systemu oświetlenia lu-

¹ Liczby w nawiasach kwadratowych odnoszą się do spisu literatury, podanego na końcu artykułu.

kowego i utworzenia towarzystwa przemysłowego pod nazwą „Tesla Arc Light Company“ (T.A.L.C.).

Przystawienie się na nową dziedzinę nie sprawiało Tesli żadnej trudności, ponieważ śledził pilnie rozwój elektrotechniki, umiał dostrzegać wszelkie niedociągnięcia i znajdować sposoby ich usuwania.



Rys. 1. Urządzenie do samoczynnej regulacji odstępów elektrod w lampach łukowych. 1 — cewka prądowa, 2 — cewka napięciowa, 3 — ruchoma dźwignia, 4 — zawieszenie dźwigni, 5 — trzpień metalowy, 6 — tulejka hamująca, 7 — elektrody węglowe.

W owym czasie rozpowszechniało się stosowanie lamp łukowych do oświetlania fabryk, ulic i placów. Kosztowne urządzenia mechaniczne do regulacji odstępów elektrod w miarę ich opalania się, oparte na mechanizmach zegarowych, były całkowicie niezadowolające. Nie zapewniały bowiem równomiernego płonienia łuku, a chwilami powodowały nawet gaśnięcie lamp wskutek zetknięcia się elektrod. Wady te występowały szczególnie jaskrawo przy połączeniu szeregowym kilku lamp łukowych. Tesla opracował w tej sytuacji bar-

do pomysłowe, oparte na zasadzie elektromagnetycznej, urządzenie, zapewniające płynną regulację odstepu elektrod (rys. 1).

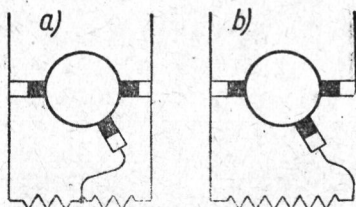
Elektrody węglowe są tu umieszczone pionowo w jednej osi. Dolna elektroda (—) jest nieruchoma. Górna elektroda (+) jest osadzona w trzpieniu stalowym prowadzonym w tulejce z wytoczonym pośrodku ostrym występem do hamowania ruchu trzpienia. U dołu trzpienia jest nasadzony dwudzielny pierścień z miękkiej stali przyciągany w dwóch przeciwnych kierunkach przez dwa elektromagnesy. Uzwojenie jednego z nich jest połączone w szereg z elektrodą dolną i zasilane prądem pobieranym przez lampę z sieci, a uzwojenie drugiego jest zasilane napięciem między elektrodami. Gdy przeważa siła przyciągowa elektromagnesu prądowego, górną elektrodę jest hamowana w tulejce. Gdy wskutek opalania się elektrod wzrośnie napięcie między nimi, przeważą siła przyciągowa elektromagnesu napięciowego i trzpień z górną elektrodą zacznie opuszczać się ku dołowi. Trwa to tak długo, dopóki napięcie między elektrodami w wyniku ich zbliżenia się zmniejszy się do tego stopnia, by przeważała siła przyciągowa elektromagnesu prądowego. Jak widać, opisane urządzenie jest prototypem szeregowo-bocznikowego regulatora odstepu elektrod.

Tesla uzyskał na to urządzenie patent Nr 335786 dnia 9.2.1886 r.

W latach 1885/86 uzyskał Tesla jeszcze kilka patentów, z których jako jeden z ciekawszych wymienimy sposób regulacji napięcia prądnicy prądu stałego za pomocą szczotki połączonej z uzwojeniem wzbudzenia. Dwa spośród kilku układów połączeń trzeciej szczotki, zaproponowanych przez Teslę, przedstawiono na rys. 2.

Tesla spodziewał się, że wspomniane Towarzystwo T.A.L.C. zapewni mu fundusze potrzebne do zrealizowania budowy silnika prądu zmiennego opartego na wykorzystaniu pola wirującego.

Nadzieje jego nie ziściły się. Działalność T.A.L.C. absorbowwała go bardzo i krepowała w pracy nad jego głównym wynalazkiem. Dlatego zdecydował się wystąpić z T.A.L.C. bez żadnych korzyści materialnych. W Stanach Zjednoczonych jednakże panował wówczas kryzys gospodarczy, tak że Tesli, mimo jego zdolności, z trudem udało się otrzymać pracę w towarzystwie telegraficznym Western Union.



Rys. 2. a, b. Układy do regulacji napięcia prądnicy bocznikowej za pomocą trzeciej szczotki.

PODSTAWOWE PATENTY TESLI Z DZIEDZINY PRĄDÓW WIELOFAZOWYCH WYNALEZIENIE WIRUJĄCEGO POLA MAGNETYCZNEGO

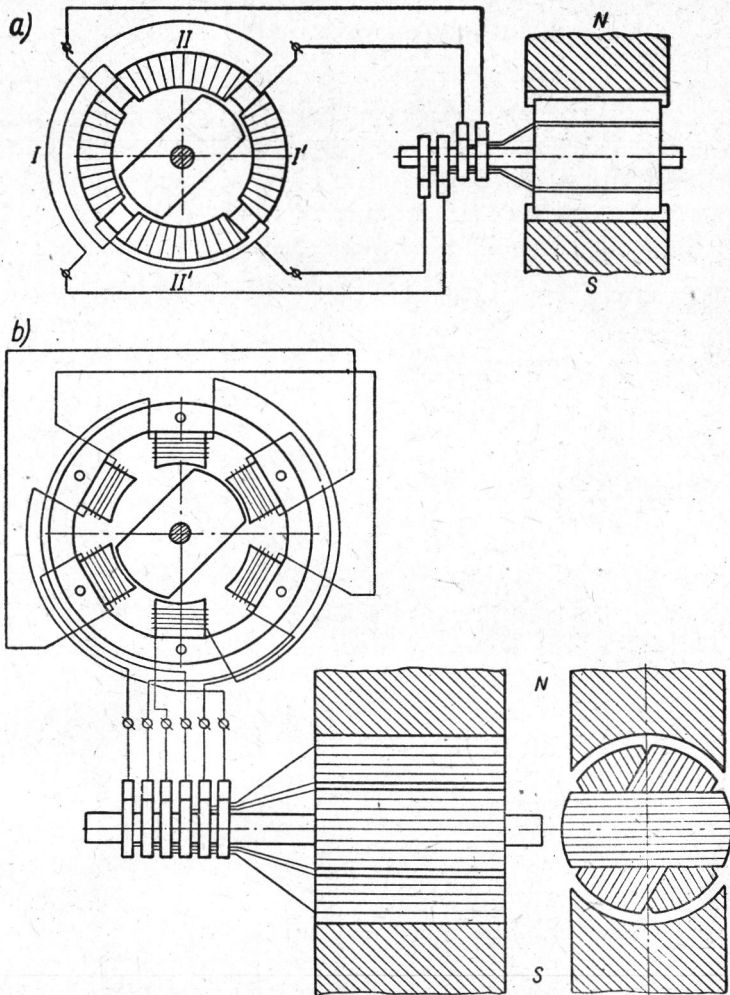
Zaznajomiwszy się bliżej z dyrektorem Western Union, Braunem, Tesla przedstawił mu w szczegółach swój pomysł wytwarzania prądu dwufazowego i wykorzystania uzyskanego za jego pomocą wirującego pola magnetycznego w budowie silników. Braun ocenił z miejsca doniosłość wynalazku Tesli i zaczął montować pośpiesznie nowe towarzystwo pod nazwą „Tesla Electric Company“ (T.E.C.), które miało sfinansować prace Tesli nad nadaniem prądnicom i silnikom dwufazowym realnych kształtów tak, aby mogły konkurować z używanymi dotychczas maszynami prądu stałego.

Towarzystwo zostało założone w kwietniu 1887 r., zaopatrzyło Teslę w niezbędne fundusze i prace postępowały szybko naprzód. W uruchomionym przez T.E.C. warsztacie doświadczalnym wykonano w ciągu 6 miesięcy kilka modeli prądnic i silników dwufazowych według projektów Tesli. W zimie 1887/8 r. prof. Anthony przeprowadzając w obecności członka zarządu The American Institute of Electrical Engineers (A.I.E.E.), Martina szczegółowe badania silników Tesli stwierdził, że dorównywały one pod względem sprawności ówczesnym silnikom prądu stałego.

Dnia 12.10.1887 r. złożył Tesla w Urzędzie Patentowym Stanów Zjednoczonych dwa obszerne wnioski patentowe dotyczące budowy prądnic dwu- i trójfazowych, uzyskiwania pola magnetycznego wirującego oraz budowy silników dwu- i trójfazowych. Dnia 1 maja 1888 r. przyznano mu na nie patenty Nr 381968 i Nr 382280, a jednocześnie jeszcze cztery dalsze patenty na wnioski złożone 30.11. i 23.12.1887 r.

Wniosek do patentu Nr 382280 zatytułowany *Electrical Transmission of Power* zawierał szczegółowe objaśnienie powstawania pola magnetycznego wirującego w obwodzie magnetycznym o rdzeniu pierścieniowym, na którym były nawinięte cztery cewki przesunięte kolejno o $\frac{1}{4}$ część obwodu. Cewki przeciwległe były połączone szeregowo w ten sposób, że ich siły magnetomotoryczne były skierowane przeciwnie. Obie pary cewek były zasilane prądami sinusoidalnymi przesuniętymi względem siebie o 90° w fazie. Potrzebny prąd dwufazowy był uzyskiwany z objętej tymże patentem prądnicy dwufazowej dwubiegunowej o nieruchomej magneśnicy (rys. 3a). Bębnowy wirnik prądnicy był zaopatrzony w dwa jednakowe niezależne od siebie uzwojenia przesunięte względem siebie

o 90° na obwodzie. Na załączonych do wniosku rysunkach przedstawił Tesla 8 kolejnych położenia wirnika co 45° i odpowiadające im 8 położenia wypadkowego strumienia magnetycznego (rys. 6).



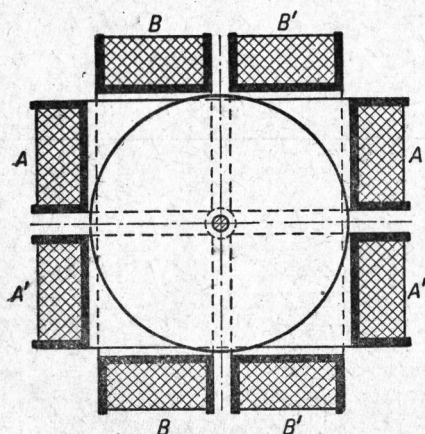
Rys. 3. Prądnice i silniki według patentu Tesli: a—dwufazowe; b—trójfazowe.

Wniosek do patentu Nr 381968 pod tytułem *Electro-Magnetic Motor* zawierał 19 rysunków, w tym 17 rysunków dotyczących zasady działania i budowy prądnic i silników dwufazowych oraz 2 rysunki dotyczące silników i prądnic trójfazowych (rys. 3b). Prądnice składały się z nieruchomej magnetycznej dwubiegunowej i wirnika

bębnowego, na którym były nawinięte dwa jednakowe uzwojenia umieszczone prostopadle do siebie w przypadku prądnicy dwufazowej, a trzy uzwojenia przesunięte co $\frac{1}{3}$ część obwodu wirnika w przypadku prądnicy trójfazowej. Końce uzwojeń były wyprowadzone do 4 względnie do 6 pierścieni. Stojan silnika dwufazowego miał budowę pierścieniową, natomiast stojan silnika trójfazowego był zaopatrzone w 6 nabiegowników, przy czym każda para przeciwnych nabiegowników była zasilana z jednej z faz prądnicy tak, że biegunowości ich były przeciwne.

Tesla był zwolennikiem układu dwufazowego i nadal go propagował, nie dostrzegając przewagi układów trójfazowych, które

w swych wnioskach patentowych z roku 1887 potraktował raczej marginesowo. Korzyści układów trójfazowych ocenił należycie Doliwo-Dobrowolski, któremu zawdzięczamy skonstruowanie w roku 1889 pierwszego silnika trójfazowego asynchronicznego, pomysł łączenia uzwojeń w gwiazdę i trójkąt, skonstruowanie w roku 1890 pierwszej dalekosiężnej linii trójfazowej i wybudowanie w r. 1891 pierwszej dalekosiężnej linii trójfazowej wysokiego napięcia (15 kW) z Lauffen do Frankfurtu nad Menem (175 km). Niesłusznie nato-



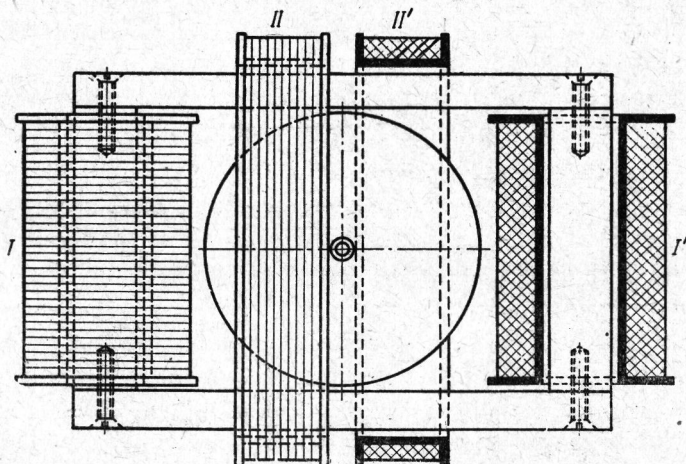
Rys. 4. Urządzenie Ferrarisa do wytwarzania wirującego pola magnetycznego.

miast przypisuje się Doliwo-Dobrowolskiemu pierwszeństwo w wynalezieniu układu trójfazowego. Wybitny ówczesny inżynier angielski Gisbert Kapp, twórca teorii transformatora, w artykule swym ogłoszonym w 1891 r. w „The Electrician“ (t. 27, s. 486) przyznał, że Tesla wpadł przed Doliwo-Dobrowolskim na pomysł stosowania układu trzech cewek w budowie silników i prądnic prądu zmiennego.

Zasada działania silników dwufazowych i trójfazowych opiera się na wykorzystaniu wirującego pola magnetycznego. Zgłoszenie patentowe Tesli na wytwarzanie wirującego pola magnetycznego za pomocą prądów zmiennych przesuniętych w fazie względem siebie jest pierwszą oficjalną wypowiedzią na ten temat.

Dotychczas przypisywano niesłusznie (głównie w Europie), pierwszeństwo w wynalezieniu wirującego pola magnetycznego Ferrarisowi. W rzeczywistości praca Ferrarisa została przedłożona Akademii w Turynie 18.3.1888 r. a ogłoszona drukiem 22.4.1888 r., wprawdzie na krótko przed przyznaniem Tesli patentów Nr 382280 i 381968, jednak w kilka miesięcy po złożeniu przez niego wniosku patentowego. Ponadto praca Ferrarisa była pod względem konstrukcyjnym bardzo prymitywna w porównaniu z dojrzałymi konstrukcjami modelami Tesli.

U Ferrarisa wirnik w postaci masywnego bębna miedzianego o średnicy 89 mm, długości 180 mm i masie 4,9 kg ledwo obracał się sam w wirującym polu magnetycznym uzyskanym za pomocą dwóch par cewek AA' i BB' (rys. 4). Przesunięcie fazowe prądów w cew-



Rys. 5. Licznik Fr. Borela (Szwajcaria) z 1887 r.

kach AA' i BB' uzyskał Ferraris włączając cewkę AA' o 200 zwojach w szereg z uzwojeniem pierwotnym transformatora, a cewkę BB' o 500 zwojach w obwód wtórny tegoż transformatora obciążonego jeszcze oporem R. Przy natężeniu prądu 5 A w uzwojeniu AA' wirnik zaczynał ruszać i osiągał w stanie nieobciążonym 900 obr/min przy częstotliwości prądu $f = 40$ Hz, której odpowiada synchroniczna liczba obrotów 2400 na minutę. Przy natężeniu prądu 9 A wirnik ten oddawał moc mechaniczną 2,7 W przy 650 obr/min. Sam Ferraris utrzymywał, że zasada pola magnetycznego wirującego nie ma szans zastosowania w budowie silników elek-

trycznych i że zakres jej zastosowania jest ograniczony do mier-
nictwa elektrycznego.

Tymczasem wykonane przez Teslę prototypy silników opartych
na wykorzystaniu pola wirującego już kilka miesięcy przedtem do-
równywały pod względem sprawności silnikom prądu stałego.

Pierwszeństwo Ferrarisa w wynalezieniu pola wirującego było
wielokrotnie kwestionowane na łamach prasy. Niespełna w 4 mie-
siące od przedłożenia pracy przez Ferrarisa, a w 3 miesiące od jej
ogłoszenia drukiem, E. Meylan opublikował w „La Lumière Élec-
trique“ z dnia 14.7.1888 r. (t. 29, s. 53) artykuł na temat skonstruo-
wanego w roku 1887 przez François Borela i produkowanego w tym-
że roku w Szwajcarii licznika indukcyjnego. Była w nim zastosowa-
na tarcza obracająca się w polu magnetycznym wytworzonym przez
dwie pary cewek I, I' i II, II' (rys. 5). Cewki I i I' były nawinięte na
rdzeniu żelaznym przeciw sobie, tak że ich wypadkowy strumień
magnetyczny I zamykał się przez powietrze. Cewki II i II' obejmu-
jące z zewnątrz obwód magnetyczny I wytwarzały strumień II
prostopadły do I. Połączone szeregowo pary cewek I II i I' II' two-
rzyły więc równoległe gałęzie, wobec czego licznik działał jako lic-
znik amperogodzin. Borel nie opisał zasady działania swego licznika,
w którym zachodzi przesuwanie się strumienia wypadkowego z obu
strumieni I i II dzięki temu, że jeden z nich jest, z uwagi na zja-
wisko histerezy i prądów wirowych w rdzeniu, przesunięty nieco
w fazie względem drugiego. Również Meylan publikując swój arty-
kuł na temat licznika Borela nie pokusił się o wyjaśnienie zasady
działania licznika. Z tekstu artykułu wynika, że Borel raczej nie
zdawał sobie sprawy z tego, iż w skonstruowanym przezeń liczniku
powstaje wirujące pole magnetyczne. Jednakże w roku 1926 Stump-
ner w obszernym artykule *Zur Geschichte der Elektrizitätszähler*,
ogłoszonym w ETZ („Elektrotechnische Zeitschrift“) przypisywał,
w oparciu o wspomniany artykuł i o wzmiankę w ETZ z 1901 r.
(s. 743), pierwszeństwo w wynalezieniu tarczy obracającej się w wi-
rującym polu magnetycznym F. Borelowi.

Z zestawienia przytoczonych faktów wynika jednak bezspornie,
że pierwszeństwo w wynalezieniu wirującego pola magnetycznego
należy się Tesli, który już w kwietniu 1887 r. założył wraz z Brau-
nem towarzystwo T.E.C. mające na celu realizację zastosowania wi-
rującego pola magnetycznego w budowie silników, a dnia 12.10.
tegoż roku złożył wniosek patentowy.

Przyznały to również sądy amerykańskie. Firmy konkurencyjne czyniły liczne próby obalenia patentów Tesli, dotyczących silników wielofazowych i późniejszych jednofazowych, na tej podstawie, że wydanie patentów nastąpiło po ogłoszeniu pracy Ferrarisa o polu wirującym. Sąd Najwyższy Stanów Zjednoczonych wydał jednak dnia 28.11.1904 r. ostateczne orzeczenie utrzymujące w mocy wydane Tesli patenty, ponieważ przedłożył on dostateczną ilość dowodów, że wynalazku wirującego pola magnetycznego dokonał wcześniej.

W chwili, gdy Tesla budował pierwsze silniki na prąd zmienny, trwająca od 12 lat w Stanach Zjednoczonych walka między zwolennikami prądu stałego a zwolennikami prądu zmiennego dochodziła do punktu kulminacyjnego. Na czele pierwszego obozu stał Th. A. Edison, założyciel Towarzystwa, na którego bazie powstało później "General Electric Company". Drugiemu obozowi przewodziło „The Westinghouse Company“.

Do roku 1875 panował niepodzielnie prąd stały. Skonstruowanie przez Jabłoczkowa lampy łukowej, tzw. świecy Jabłoczkowa, sprzyjało rozwojowi prądnic prądu zmiennego, których duża oporność indukcyjna odgrywała rolę czynnika regulującego wartość natężenia prądu. Jabłoczkow opracował ciekawy układ szeregowego zasilania swych lamp ze źródła napięcia zmiennego, umożliwiający przy zgaśnięciu którejs z lamp świecenie lamp pozostałych. Poszczególne lampy były przyłączone do uzwojeń wtórnych transformatorów o rdzeniu otwartym, a więc o dużym prądzie magnesującym. Uzwojenia pierwotne transformatorów, połączone szeregowo, były zasilane z prądnicy wysokiego napięcia (do 2000 V). Zgaśnięcie dowolnej lampy powodowało tylko nieco większy spadek napięcia w uzwojeniu pierwotnym odnośnego transformatora i nie wpływało praktycznie na pracę pozostałych lamp. Powyższy system rozdziału energii elektrycznej dla celów oświetleniowych odznaczał się dużą gospodarnością dzięki stosowaniu wysokiego napięcia.

Skonstruowanie w kilka lat później żarówki elektrycznej, nadającej się już do masowej produkcji, przechyliło czasowo szalę zwycięstwa na stronę prądu stałego. Zwolennicy jego wysuwali przeciw stosowaniu prądu zmiennego szereg argumentów, jak np. niemożność używania akumulatorów jako zasobników energii elektrycznej, duże straty jałowe transformatorów, brak zadowalających pod względem jakości silników elektrycznych na prąd zmienny i wreszcie niebezpieczeństwo dla życia ludzkiego.

Jak gdyby na poparcie tego ostatniego argumentu zwolennicy prądu stałego zrealizowali w 1889 r. budowę pierwszego fotela elektrycznego do tracenia skazańców, zasilanego z prądnic prądu zmiennego, zakupionych w firmie "Westinghouse" przez podstawionego pośrednika.

Jednym z najzacieklejszych przeciwników prądu zmiennego był Edison. On to twierdził z uporem, że prąd zmienny nie ma żadnej przyszłości a nawet na sesję senatu stanu Virginia wniósł projekt ustawy zabraniającej stosowania prądu zmiennego o napięciu przekraczającym 200 V.

Dopiero wynalazek Tesli i późniejsze prace Doliwo-Dobrowolskiego miały zakończyć tę walkę definitywnym zwycięstwem prądu zmiennego.

PIERWSZY ODCZYT TESLI NA TEMAT PRĄDÓW WIELOFAZOWYCH

Tesla pochłonięty całkowicie pracami konstruktorskimi i technologicznymi nie miał początkowo czasu na publikowanie swych prac. Ograniczał się jedynie do opracowywania krótkich opisów i rysunków, które załączał do zgłoszeń patentowych. Mimo pracowania i osłabienia dał się jednak wreszcie namówić Anthony'emu i Martinowi, przewodniczącemu sekcji odczytowej AIEE do wygłoszenia odczytu na temat prądów wielofazowych i ich zastosowań. Odczyt ten odbył się 16 maja 1888 r. i był połączony z wystawę wykonanych przez Teslę prądnic, silników i transformatorów dwufazowych. Konspekt odczytu skreślił Tesla pośpiesznie w nocy przed dniem jego wygłoszenia. Został on ogłoszony drukiem — podobnie jak teksty wielu późniejszych odczytów — w obszernej monografii o pracach Tesli wydanej przez Martina w r. 1893, a przetłumaczonej na język niemiecki w roku 1895 [2].

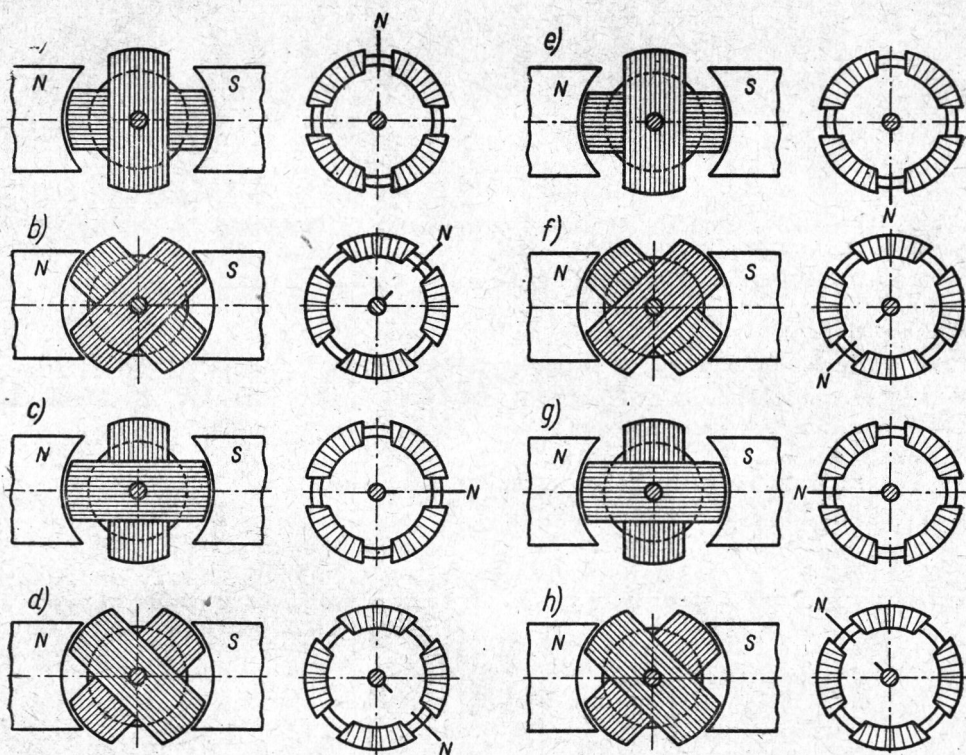
Temat pierwszego odczytu brzmiał: *Nowy system silników i transformatorów prądu zmiennego*. O głębokiej wnikliwości i logice wywodów Tesli niech świadczy przytoczony niżej skrót odczytu:

Przedmiotem mojego odczytu jest nowy system rozdziału i przesyłania energii elektrycznej przy prądzie zmiennym, co ma szczególne znaczenie w zastosowaniu do silników elektrycznych. Jestem przekonany, że stosowanie prądu zmiennego do przesyłania energii elektrycznej pozwoli na osiągnięcie wyników nie osiągalnych przy prądzie stałym.

Zanim przejdę do właściwego tematu, uważam za wskazane omówić pokrótce warunki pracy prądnic i silników prądu stałego, jakkolwiek są one na ogół znane. W uzwojeniach tych prądnic wytwarza się prąd zmienny,

który wyprostowujemy za pomocą komutatora. Wyprostowany w ten sposób prąd nie może być wykorzystany bezpośrednio w uzwojeniach silników, lecz musi być znów przekształcony za pomocą komutatora do pierwotnej postaci, tj. prądu zmiennego. Komutator spełnia funkcję zewnętrzną w odniesieniu do maszyn i nie wpływa na ich działanie wewnętrzne. W rzeczywistości wszystkie używane obecnie maszyny prądu stałego z komutatorami są w swej istocie maszynami prądu zmiennego, a wytwarzane w nich prądy mają charakter prądu stałego jedynie na drodze między prądnicą a silnikiem.

Oprócz przekształcania prądu stałego doprowadzonego do silnika komutator powoduje przemagnesowanie się twornika w sposób ciągły. Gdyby się



Rys. 6. Powstawanie pola wirującego w obwodzie magnetycznym o zasilaniu dwufazowym: a — do h — osiem kolejnych pozycji wirnika prądnicy i wypadkowego strumienia magnetycznego.

udało wyeliminować dwie zbędne operacje, tj. prostowanie prądu w prądnicę i ponowne przekształcanie go na prąd zmienny w uzwojeniach silnika, to należałoby jeszcze wywołać przesuwanie się pola magnetycznego w jednym z elementów silnika. Jest to bardzo łatwe przy zastosowaniu prądu zmiennego.

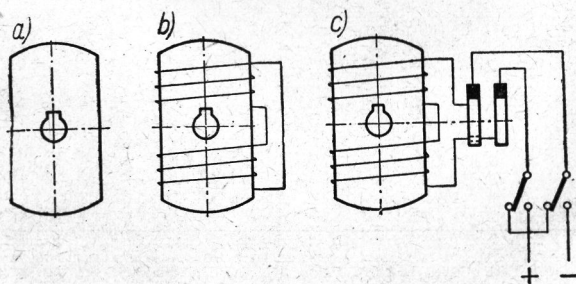
Na przedstawionym wirniku bębnowym (rys. 3a) obracającym się w polu dwubiegunowej magnetycznej znajdują się 2 cewki umieszczone pod kątem 90° względem siebie. W cewkach tych wytwarzają się siły elektromotoryczne przesunięte w fazie o 90° względem siebie. Końce wspomnianych cewek są połączone z czterema pierścieniami metalowymi umieszczonymi na osi, odizolowanymi od osi i od siebie. Z pierścieni odbieramy napięcie za pomocą szczotek. Tak otrzymany układ nazywać będziemy układem dwufazowym.

Weźmy z kolei wykonany z odizolowanych od siebie blach żelaznych pierścieni, na którym są nawinięte symetrycznie co 90° cztery jednakowe cewki I, I' i II, II' (rys. 3a). Cewki I i I' połączone szeregowo są zasilane napięciem jednej fazy prądu, a cewki II, II' również połączone szeregowo są zasilane napięciem drugiej fazy. Amperozwoje cewek I i I' przeciwdziałają sobie tak, że ich wypadkowy strumień zamyka się przez powietrze w osi między cewkami. To samo dotyczy cewek II, II'.

Ponieważ prądy w obu cewkach przy przyjętych sinusoidalnych przebiegach prądów są przesunięte o 90° w fazie oraz rozmieszczenie cewek jest symetryczne (co 90°), przeto w wyniku nakładania się pól magnetycznych otrzymamy wirujące pole magnetyczne o stałej amplitudzie. Jednemu obrotowi twornika prądu odpowiada jeden obrót pola magnetycznego. Kolejne położenia twornika prądu i wypadkowego pola magnetycznego pokazano na rys. 6². W celu wykazania zupełnej równoważności uzyskanego w opisany sposób pola wirującego z polem magnetycznym wywołanym przez wirowanie magnesów stałych wykonano model zasilanego prądem stałym elektromagnesu, który wprawiono mechanicznie w ruch obrotowy.

Wirujące pole magnetyczne możemy wykorzystać w budowie silników elektrycznych na prąd zmienny. Stojan silnika stanowi opisany wyżej pierścień z blach żelaznych zaopatrzony w cztery nabieguniki z nawiniętymi czterema cewkami zasilanymi z układu dwufazowego.

Wirnik silnika może być wykonany w różny sposób, przy czym zależnie od sposobu wykonania można podzielić silniki na dwie grupy:



Rys. 7. Wirniki silników Tesli: a — wirnik bębnowy o bokach ściętych, b — wirnik bębnowy o uzwojeniu zwartym, c — wirnik bębnowy o uzwojeniu zasilanym prądem stałym.

² Rysunek ten był zamieszczony w zgłoszeniu patentowym z 1887 r., a więc przed ogłoszeniem pracy Ferrarisa.

1. Silniki o małym momencie rozruchowym, zachowujące stałą liczbę obrotów niezależnie od obciążenia. Będziemy je nazywać silnikami synchronicznymi;

2. Silniki o dużym momencie rozruchowym, których liczba obrotów maleje ze wzrostem obciążenia.

Najprostszy wirnik pierwszej grupy silników ma kształt bębna żelaznego ściętego symetrycznie z dwóch boków (rys. 7a). Wirnik stara się zachować w stosunku do pola wirującego takie położenie, aby obejmować możliwie największy strumień magnetyczny. Moment rozruchowy takiego silnika jest nieznaczny. Można go powiększyć zaopatrując wirnik w uzwojenie, którego końce zwieramy (rys. 7b).

W celu powiększenia momentu obrotowego podczas pracy, skonstruowano następny wirnik zaopatrzony również w uzwojenie, jednak końce tego uzwojenia są połączone z dwoma pierścieniami umieszczonymi na osi wirnika. Pierścienie są połączone za pomocą szczotek i przewodów z przełącznikiem dwubiegunowym (rys. 7c). W pozycji rozruchowej I przełącznik zwiiera uzwojenie wirnika. Po osiągnięciu przez wirnik synchronicznej liczby obrotów przestawiamy przełącznik w położenie II, przy którym uzwojenie wirnika jest zasilane ze źródła o stałym napięciu. Charakterystyczną cechą takiego silnika jest fakt, że zmiana biegunowości napięcia stałego zasilającego wirnik nie wywołuje zmiany kierunku wirowania wirnika.

W drugiej grupie silników należy wymienić przede wszystkim silnik, którego wirnik wykonany w kształcie bębna jest zaopatrzony w dwie cewki umieszczone prostopadle do siebie. Końce każdej z cewek są ze sobą zwarte. Silnik taki nie ustępuje pod względem sprawności ani pod względem momentu rozruchowego silnikom prądu stałego, a przewyższa je prostotą konstrukcji.

Zmiany kierunku obrotów wszystkich opisanych typów silników można uzyskać przez przełączenie zacisków jednej z faz uzwojenia stojana, co pociąga za sobą zmianę kierunku wirowania pola magnetycznego.

Z przytoczonych w skrócie wywodów Tesli widać, że w chwili, gdy Ferraris ogłaszał swą pracę na temat powstawania wirującego pola magnetycznego, Tesla dysponował już kilkoma typami silników prądu zmiennego, w których świadomie wykorzystywał zasadę wirującego pola magnetycznego.

DALSZE PRACE TESLI NAD ROZWOJEM SILNIKÓW INDUKCYJNYCH

Wynalazkiem prądnic i silników wielofazowych wytyczył N. Tesla nową drogę w rozwoju elektrotechniki: zapoczątkował wytwarzanie i przesyłanie prądów wielofazowych oraz wykorzystanie uzyskanego za ich pomocą pola magnetycznego wirującego w budowie silników elektrycznych. Dzięki temu wynalazkowi odniósł on olbrzymi sukces, gdyż jeszcze w r. 1888 Westinghouse wykupił jego patenty z dnia 1.5. 1888 r. za cenę miliona dolarów oraz zaangażował

go na rok do swych zakładów w celu sprawowania nadzoru technicznego przy uruchamianiu seryjnej produkcji silników dwufazowych.

Myśl twórcza Tesli pracowała nadal bardzo owocnie. Do końca 1888 roku zgłosił on jeszcze 28 wniosków patentowych, z których za najcenniejsze należy uznać wynalazki prądnic i silników dwufazowych wielobiegunowych oraz silników jednofazowych z tzw. fazą pomocniczą.

W budowie prądnic zarysowały się dwa odrębne typy. Prądnicą typu pierwszego posiadała magnesnicę wielobiegunową nieruchomą, a twornik wirujący bębnowy wyposażony w dwa jednakowe uzwojenia przesunięte względem siebie na obwodzie o odległość równą połowie podziałki biegunowej. Końce uzwojeń były połączone z czterema pierścieniami odizolowanymi od osi i od siebie. W prądnicie drugiego typu wirnik miał postać wielobiegunowej magnesnicy zasilanej ze źródła stałego napięcia poprzez dwa pierścienie. Twornik pierścieniowy był zaopatrzony w $4p$ (p — liczba par biegunowych) cewek umieszczonych symetrycznie jedna obok drugiej na całym obwodzie. Cewki należały na przemian do faz I i II uzwojenia prądnic, przy czym cewki każdej z faz miały kolejno przeciwny kierunek nawinięcia, tak że ich amperozwoje przeciwdziały sobie. Początki i końce uzwojeń obu faz były przyłączone do 4 zacisków.

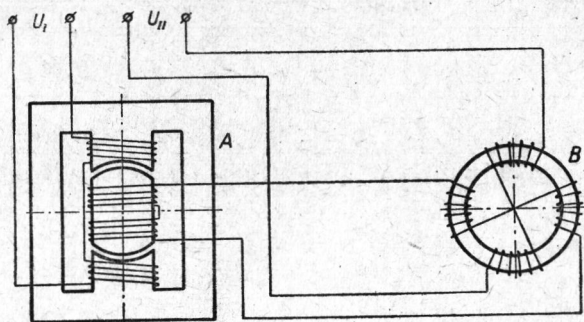
Silniki wielobiegunowe miały także dwa różne rozwiązania konstrukcyjne. Stojan zasilany ze źródła napięcia dwufazowego bywał wykonywany bądź jako pierścieniowy, bądź z wydatnymi biegunami. W pierwszym przypadku na pierścieniu znajdowało się $4p$ cewek, z których każda miała długość nieco mniejszą niż $1:4p$ części obwodu pierścienia. Cewki były łączone w szereg na przemian w obwód fazy I i II, przy czym cewki każdej z faz miały kolejno przeciwną biegunowość.

Wirnik bywał wykonany jako wirnik bębnowy dwufazowy, zaopatrzony w dwa uzwojenia przesunięte o $1:4p$ część obwodu względem siebie. Końce uzwojeń były zwarte. Wirnik tego typu był stosowany przy stojanie z biegunami wydatnymi. W przypadku stojana pierścieniowego stosował Tesla wirnik z biegunami wydatnymi. Liczba biegunów wynosiła $4p$ (po $2p$ na każdą fazę). Uzwojenia biegunów należące na przemian do faz I i II były w obrębie każdej fazy łączone w szereg a końce uzwojeń były zwarte.

Do ciekawszych pomysłów Tesli z dziedziny silników dwufazowych należy układ do płynnej regulacji liczby obrotów silnika od maksimum do zera a następnie do maksimum w kierunku przeciw-

nym, przedstawiony na rys. 8. Uzwojenie jednej z faz stojana zasiliał Tesla bezpośrednio z jednej fazy układu sieciowego; uzwojenie drugiej fazy stojana zasiliał poprzez transformator obrotowy z drugiej fazy układu sieciowego.

Najliczniejszą grupę wśród zgłoszonych w roku 1888 wniosków patentowych stanowią wnioski dotyczące budowy silników induk-



Rys. 8. Schemat urządzenia do płynnej regulacji liczby obrotów silnika indukcyjnego dwufazowego. A — transformator obrotowy, B — stojan silnika.

cyjnych jednofazowych, których działanie było oparte na wykorzystaniu pola magnetycznego wirującego. Wirowanie pola magnetycznego przy jednofazowym uzwojeniu stojana było uzyskane przez podział uzwojenia na dwie równoległe gałęzie i włączenie w obwód jednej gałęzi opornika, a w obwód drugiej gałęzi — cewki indukcyjnej. Zdając sobie sprawę z tego, że wspomniany opornik i cewka indukcyjna odgrywają istotną rolę tylko podczas rozruchu silnika, czyli że nie są konieczne do utrzymania silnika w ruchu, wykonał Tesla model silnika jednofazowego z przełącznikiem rozruchowym. Opornik i cewka indukcyjna włączane szeregowo w dwie gałęzie uzwojenia na czas rozruchu były po zakończeniu rozruchu wyłączane za pomocą przełącznika, tak że obie połączone równoległe gałęzie otrzymywały podczas pracy pełne napięcie zasilające. Za to podczas rozruchu otrzymywały one napięcie pomniejszone o spadek napięcia na oporze i cewce indukcyjnej. W wyniku tego zmniejszał się strumień magnetyczny, a w konsekwencji także moment rozruchowy silnika. Aby temu zapobiec, skonstruował Tesla nowy model silnika jednofazowego, w którym każda z połówek uzwojenia była wykonana na połowę napięcia zasilającego. Opornik rozruchowy i cewka rozruchowa były tak dobrane, że przy równoległym połączeniu obu ga-

łęzi na czas rozruchu uzwojenie każdej z nich otrzymywało około 50% napięcia zasilającego. Po zakończonym rozruchu następowało szeregowo połączenie obu połówek uzwojenia za pomocą przełącznika.

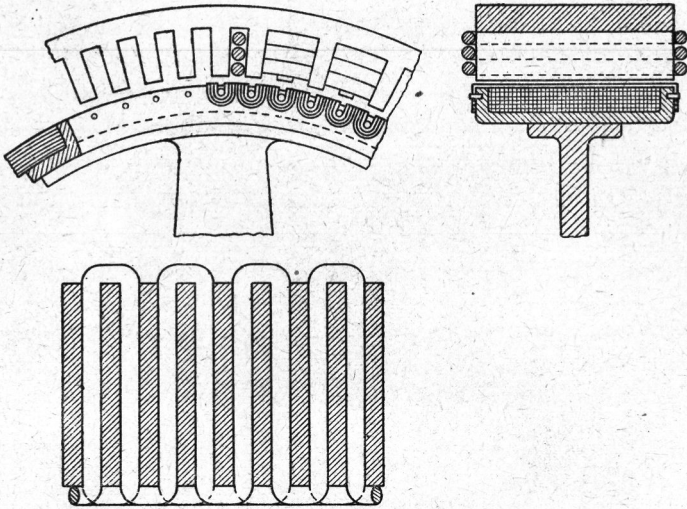
W opisanych silnikach jednofazowych wirnik bywał wykonywany tak jak dwufazowy, przy czym uzwojenie wirnika było zwarte.

W rozważaniach nad obniżeniem kosztów produkcyjnych silników indukcyjnych doszedł Tesla do ciekawego wniosku, że masy miedzi w uzwojeniach stojana i wirnika powinny być mniej więcej równe sobie.

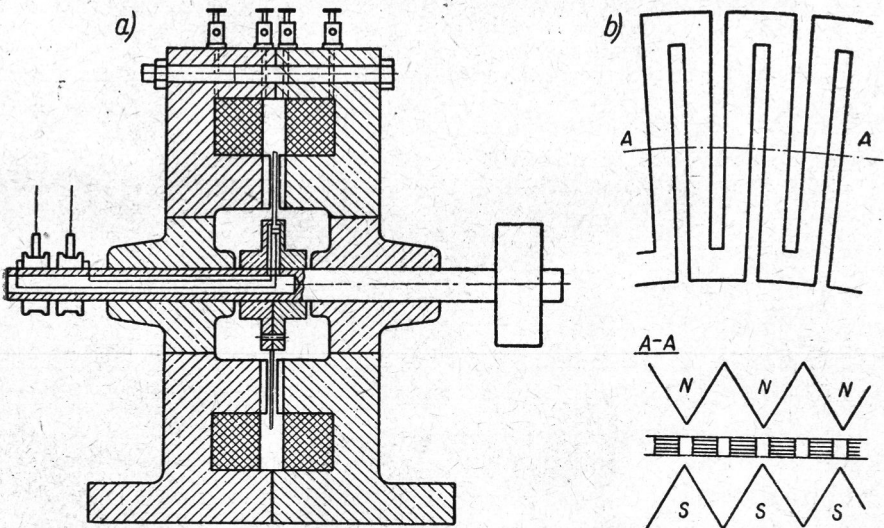
PRĄDNICE WIRUJĄCE WIELKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

Badając proces świecenia lamp łukowych przy prądzie zmiennym doszedł Tesla do wniosku, że prądy małej częstotliwości nie są korzystne z uwagi na szum towarzyszący paleniu się łuku oraz na ochładzanie się elektrod i przestrzeni połukowej w chwilach gaśnięcia łuku przy zmianie kierunku prądu. Te obserwacje skłoniły go do budowy prądnic o coraz większej częstotliwości dochodzącej z biegiem czasu do przeszło 10 000 Hz. Duża indukcyjność rozproszenia powodowała stosunkowo małe wahania wartości skutecznej natężenia prądu nawet przy dłuższej rozpiętości oporności łuku spowodowanej opaleniem się elektrod. Wadą ich była niestety mała sprawność. W krótkim czasie zasłynął Tesla jako konstruktor prądnic wielkiej częstotliwości, które były według jego patentów budowane przez około 30 lat.

Na rys. 9 przedstawiono jedną z wykonanych przez Tesłę prądnic doświadczalnych wielkiej częstotliwości, przeznaczoną do zasilania 2 lamp łukowych połączonych szeregowo. Średnica zewnętrzna stojana wynosiła 81 cm, wewnętrzna — 75 cm, a grubość — 3 cm. Na obwodzie rozmieszczono 384 bieguny o podziałce biegunowej około 0,6 cm. Uzwojenia nabiegunków były połączone szeregowo w jeden obwód i zasilane napięciem stałym. Bardzo ciekawie był skonstruowany wirnik. W celu uniknięcia strat wiropądowych miał on kształt wieńca z wgłębieniem przeznaczonym do wypełnienia go drutem żelaznym o średnicy 0,7 mm nawiniętym kilkuwarstwowo wzdłuż obwodu wieńca. Z boków wieńca były wkrecone kołeczki służące do umocowania uzwojenia ułożonego jednowarstwowo na powierzchni twornika.



Rys. 9. Prądnicą wielkiej częstotliwości o biegunach wydatnych.



Rys. 10. Prądnicą przemysłową wielkiej częstotliwości: a — przekrój prądnicy, b — uzwojenie prądnicy.

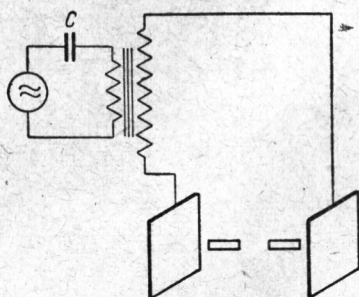
Dla celów przemysłowych opracował Tesla jeszcze inne typy prądnic, z których jeden przedstawiono na rys. 10. Magnesnica dwudzielna była wykonana w ten sposób, że linie pola magnetycznego w szczelinie miały kierunek osiowy a nie promieniowy. Jedna połówka magnesnicy miała biegunowość *N* a druga biegunowość *S*. Zmianę indukcji magnetycznej w szczelinie uzyskał Tesla zaopatrując obie połówki magnesnicy w ząbki na kształt piły. Wszystkie ząbki wycięte w jednej połowce magnesnicy miały tę samą biegunowość a ząbki wycięte w drugiej połowce magnesnicy miały biegunowość przeciwną. Wektor indukcji magnetycznej *B* zmieniał się wzdłuż obwodu od pewnej wartości maksymalnej do minimalnej. Twornik był wykonany w postaci tarczy miedzianej wyciętej zygzakowato, jak widać na rys. 10. Końce powstałego w ten sposób uzwojenia „falowego“ prądnicy były połączone przewodami przez wydrążony w osi otwór z dwoma pierścieniami, z których odbierano napięcie za pomocą szczotek. Tarcza miedziana z wycięciami stanowiąca uzwojenie twornika, była umocowana na osi prądnicy za pomocą dwóch tarcz izolacyjnych o mniejszej średnicy.

TRANSFORMATOR TESLI

Badania własności prądów szybkozmiennych doprowadziły Teslę do odkrycia zjawisk świetlnych w gazach rozrzedzonych poddanych działaniu szybkozmiennych napięć czy pól elektrycznych.

Zarówno wysokość napięcia jak i częstotliwości uzyskiwane za pomocą prądnic wirujących nie zadowalały Tesli. W celu otrzymania wyższych napięć sięgnął do cewek Ruhmkorffa i opracował oryginalną technologię budowy tych cewek na bardzo wysokie napięcie.

Na rys. 11 przedstawiono stosowany przez Teslę układ połączeń do badania zjawisk świetlnych w rurkach napełnionych rozrzedzonymi gazami, umieszczonymi w szybkozmiennym polu elektrycznym. Pole to było wytwarzane między dwiema płytami metalowymi połączonymi z zaciskami wtórnymi cewki Ruhmkorffa. Uzwojenie pierwotne cewki było zasilane przez



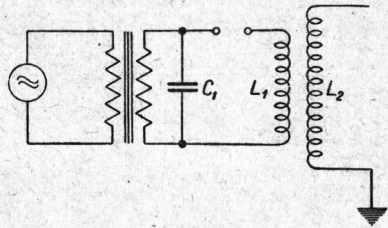
Rys. 11. Świecenie gazów rozrzedzonych w polu elektrycznym.

prądnicę wielkiej częstotliwości poprzez kondensator C dobrany tak, aby wystąpiło zjawisko rezonansu, a tym samym możliwie najwyższe napięcie w uzwojeniu wtórnym cewki.

W celu powiększenia częstotliwości i dalszego podwyższenia napięcia zastosował Tesla po stronie wtórnej cewki Ruhmkorffa obwód drgający złożony z kondensatora C_1 , cewki bezrdzeniowej L_1 o niewielkiej liczbie zwojów i iskiernika kulowego (rys. 12). Kondensator był włączony do zacisków wtórnych cewki Ruhmkorffa zasilanej od strony pierwotnej z prądnicę wielkiej częstotliwości lub poprzez przerywacz ze źródła o stałym napięciu. Odstęp kulek iskiernika był wyregulowany tak, że przy zbliżaniu się napięcia wtórnego do wartości maksymalnej następował przeskok. Energia pola elektrycznego w kondensatorze wyładowywała się w obwodzie drgającym L_1, C_1 .

Wewnątrz cewki L_1 była umieszczona współosiowo cewka L_2 o kilkakrotnie mniejszej średnicy i kilkadziesiąt razy większej liczbie zwojów. Pojemność kondensatora C_1 była dobrana tak, aby pierwotny obwód drgający L_1, C_1 był w rezonansie z obwodem wtórnym, jaki stanowiła cewka L_2 o pojemności własnej C_2 .

Cewki L_1, L_2 tworzą transformator bezrdzeniowy znany dziś w fizyce pod nazwą transformatora Tesli. Tesla budował opisane transformatory o różnych wymiarach i osiągał za ich pomocą początkowo napięcie setek tysięcy woltów przy częstotliwościach rzędu 10^5 Hz i większych. Z biegiem czasu powiększając stale wymiary swych transformatorów i moce zasilające osiągnął w roku 1900 napięcie przekraczające 10 MV.



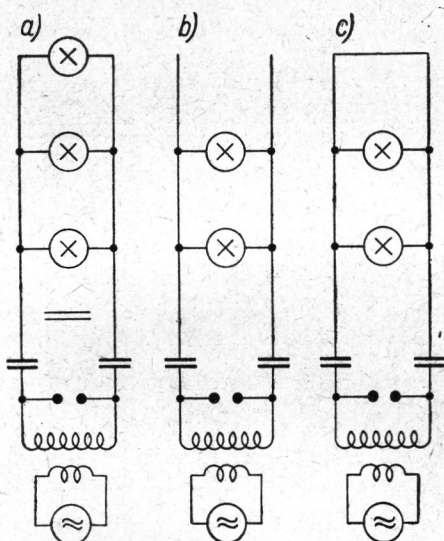
Rys. 12. Schemat do uzyskiwania wysokich napięć i wielkiej częstotliwości za pomocą transformatora bezrdzeniowego.

BADANIA ZJAWISK W OBWODACH PRĄDÓW SZYBKOZMIENNYCH

Transformator Tesli stał się wkrótce cudownym narzędziem pracy badawczej tego genialnego wynalazcy i eksperymentatora. Dzięki niemu odkrył Tesla wiele nowych zjawisk, torując drogę nieznanym dotąd gałęziom fizyki i elektrotechniki. Wyniki swych badań w dziedzinie prądów szybkozmiennych ogłosił Tesla po raz pierwszy w czasopiśmie „The Electrical World” z 21. II. 1891 r. [3]. W maju tegoż

roku wygłosił Tesla na posiedzeniu naukowym American Institute of Electrical Engineers w Nowym Jorku pierwszy obszerny referat na temat prądów szybkozmiennych, połączony z demonstracjami. W następnym roku udał się na zaproszenie przedstawicieli nauki angielskiej do Londynu, gdzie wygłosił następne referaty na ten temat w Institution of Electrical Engineers i w Royal Institution. Obecni na odczytach uczeni angielscy Dewar i Lord Rayleigh wykazali olbrzymie zainteresowanie zdumiewającymi doświadczeniami Tesli.

Zakres jego badań był wszechstronny i obejmował wyszczególnione niżej zjawiska i działania prądów szybkozmiennych.



Rys. 13. Układ do badania zjawisk impedancyjnych: a — przewody połączone na końcu żarówką kilkuwoltową, b — przewody otwarte na końcu, c — przewody zwarte na końcu.

- połączone żarówką kilkuwoltową,
- otwarte (grzbiet fali napięcia na końcu przewodów),
- zweite (węzeł fali napięcia na końcu przewodów).

W pewnej odległości od końca przewodów była umieszczona żarówka na napięcie 50 V, a w około dwa razy większej odległości — żarówka na napięcie 100 V.

W przypadku a) świeciły wszystkie 3 żarówki, w przypadku

- Zjawiska „impedancyjne“.
- Zjawisko naskórkowe.
- Świetenie ciał stałych w szybkozmiennym polu elektrycznym.
- Luminescencję w gazach rozrzedzonych i gazach pod ciśnieniem atmosferycznym.
- Działania fizjologiczne.
- Przenoszenie energii przez środowiska nieprzewodzące.

Typowe demonstrowanie przez Teslę zjawiska „impedancyjne“ przedstawiono schematycznie na rys. 13. Użyty do demonstracji obwód drgający składał się z dwóch przewodów równoległych, dwóch kondensatorów połączonych w szereg z przewodami i iskiernika kulowego. Przewody były na końcu kolejno:

b) tylko żarówka górna (rys. 13b), a w przypadku c) tylko żarówka dolna (rys. 13c).

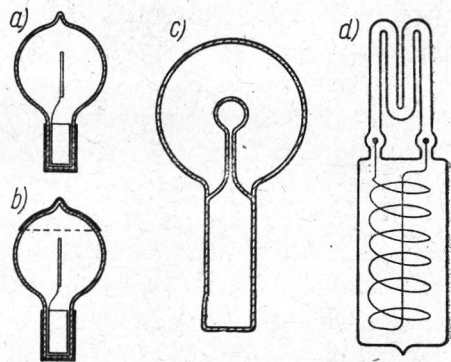
Ze zjawisko świecenia żarówek w przeprowadzonych doświadczeniach było nie tylko wynikiem działań cieplnych wywołanych prądem elektrycznym przepływającym przez włókna żarówek, wykazał Tesla używając obok zwykłych żarówek próżniowych również żarówek, z których baniek nie wypompowano powietrza. Te ostatnie żarówki połączone w szereg z poprzednimi bądź świeciły znacznie ciemniej, bądź w ogóle nie świeciły. Im większa była częstotliwość drgań własnych obwodu, tym jaskrawiej występowały różnice w intensywności świecenia obu rodzajów żarówek.

Zjawisko naskórkowe i związany z nim wzrost oporności przewodów demonstrował Tesla za pomocą pręta miedzianego umieszczonego w szybkozmiennym polu elektromagnetycznym i żarówki, która była połączona za pomocą dwóch przewodów ze wspomnianym prętem miedzianym w dwóch punktach odległych od siebie o kilkadziesiąt cm. Żarówka świeciła tym jaśniej, im większa była częstotliwość drgań pola elektromagnetycznego.

Najwięcej czasu poświęcił Tesla badaniom zjawisk świetlnych w szybkozmiennym polu elektromagnetycznym. W referacie ogłoszonym w Anglii wyraził pogląd, że ówczesne elektryczne źródła światła są bardzo nieekonomiczne i że uzyskane przezeń wyniki prób zastosowania prądów szybkozmiennych w technice oświetleniowej otwierają drogę do budowy wielokrotnie ekonomiczniejszych źródeł światła dzięki możliwości wyeliminowania balastu promieniowania cieplnego.

Tesla przyznał, że do badań w tym kierunku skłoniły go doświadczenia Crookesa nad świetleniem ciał stałych umieszczonych w rozrzedzonej gazie i poddanych działaniu silnego pola elektrycznego. Podkreślił przy tym, że dzięki zastosowaniu prądu szybkozmiennego udało mu się uzyskać o wiele silniejsze efekty świetlne.

Tłumacząc powyższe zjawisko Tesla intuicyjnie wyrażał pogląd,



Rys. 14. Lampy wyładowcze Tesli: a, b — lampy elektrodowe, c — lampa z elektrodą gazową, d — lampa o wydłużonej żorzy.

że zjawiska świetlne w gazie mogą być wywołane tylko przez silne wyładowania w polu elektrycznym, które działając na molekularne ładunki elektryczne pobudzają je do wysyłania fal świetlnych.

Pierwsze skonstruowane przez Tesłę lampy wyładowcze (rys. 14a, b) miały wszelkie cechy lamp elektrodowych. Elektrody z materiału ognioodpornego umieszczone w bańce szklanej napętlonej silnie rozrzedzonym powietrzem i połączone z jednym biegunem źródła napięcia szybkozmiennego były pobudzane do świecenia. Sam proces świecenia uważał Tesla za wynik bombardowania elektrody przez cząsteczki gazu. Intensywność świecenia zależała przy danej częstotliwości i napięciu od gęstości prądu wyładowania na powierzchni elektrody, od materiału elektrody oraz od ciśnienia gazu. Spośród materiałów najkorzystniejszym okazał się karborund.

Do wyrobu elektrod służył pręcik węglowy używany w budowie żarówek. Jeden koniec pręcika węglowego, stanowiącego jednocześnie doprowadzenie prądu do samej elektrody, zanurzał Tesla w tetrze, posypywał go proszkiem karborundowym a następnie suszył w piecu. W celu uzyskania żądanych wymiarów elektrody ponawiał tę operację kilkakrotnie.

Wykorzystując przewodnictwo gazów rozrzedzonych do ciśnienia kilku mm słupka rtęci wykonał Tesla elektrodę w postaci kulki wypełnionej średnio rozrzedzonym gazem i umieszczonej w bańce szklanej, z której wypompowano powietrze (rys. 14c).

Doprowadzenie prądu do elektrod było wykonywane jako pojemnościowe lub indukcyjne. W przypadku doprowadzenia pojemnościowego trzonek lampy był od środka i od zewnątrz wyłożony folią metalową. W przypadku doprowadzenia indukcyjnego w trzonku lampy była umieszczona kilkuzwojowa cewka i takąż cewka znajdowała się w oprawce do lampy.

Przy dokładniejszej obserwacji świecenia wymienionych lamp zauważył Tesla, że głównym źródłem światła w lampach wyładowczych nie jest elektroda, lecz słupek gazu (zorza) tworzący się przy elektrodzie. W dalszym rozwoju lamp wyładowczych dążył Tesla do wydłużenia zorzy, nadawał lampom kształty rur wygiętych (rys. 14d) lub prostych, które początkowo miały na końcach wtopione elektrody, a w późniejszych doświadczeniach były pozbawione elektrod. Pewne doświadczenia w tym kierunku prowadził równolegle Thomson, jednak efekty osiągnięte przezeń były stosunkowo nikłe, a wydajność świetlna zbyt mała. Tesla osiągnął o wiele większą wydajność dzięki zastosowaniu prądów szybkozmiennych.

Dalszym efektem badań Tesli było stwierdzenie faktu, że elektrody nie odgrywają istotnej roli w lampach wyładowczych. Wystarczy bowiem umieścić rurkę lub bańkę z rozrzedzonym gazem w szybkozmiennym polu elektromagnetycznym, aby pobudzić gaz zamknięty w rurce lub bańce do świetlenia. Im większa jest częstotliwość źródła napięcia, tym dalej od źródła dadzą się jeszcze zaobserwować opisane zjawiska. To doprowadziło Teslę do koncepcji, że można przy odpowiednio dużych elektrodach stworzyć w całym pomieszczeniu warunki dogodne do świetlenia lamp wyładowczych. W tym celu należy zainstalować w pomieszczeniu dwie duże elektrody metalowe (ewentualnie siatkowe), np. w podłodze i pod sufitem albo w dwóch przeciwległych ścianach. Elektrody, które powinny pokrywać całą powierzchnię podłogi i sufitu lub ściany, należy łączyć z zaciskami wtórnymi transformatora bezrdzeniowego wielkiej częstotliwości.

W toku badań nad właściwościami prądów szybkozmiennych Tesla stwierdził, że nie tylko nie działają one szkodliwie na organizm ludzki, ale powodując powierzchniowe nagrzewanie ciała mogą być wykorzystane w leczeniu. Wobec licznych pisemnych zapytań ówczesnych postępowych lekarzy opublikował w „The Electrical Engineer“ z dnia 23.12. 1891 r. artykuł [1], w którym wyraźnie podkreślał szerokie perspektywy zastosowania prądów szybkozmiennych w elektroterapii.

Z przedstawionych wyżej wyników badań nad prądami szybkozmiennymi uważał Tesla za najcenniejsze osiągnięcia dotyczące zjawisk świetlnych w szybkozmiennym polu elektrycznym. Samo wyładowanie elektryczne w gazach wraz z towarzyszącymi mu zjawiskami świetlnymi było już od połowy XIX wieku przedmiotem badań fizyków. Olbrzymie zasługi na tym polu położył bezpośrednio przed Teslą fizyk angielski J. J. Thomson. On to ogłosił w 1883 r. swą teorię wyładowania elektrycznego w gazach, odkrył istnienie elektronów i jonów a w roku 1899 wyznaczył stosunek ładunków elektronów i jonów do ich mas.

Tesla, nie zagłębiając się w teorię przewodnictwa elektrycznego gazów, pierwszy wpadł na pomysł wykorzystania świetlenia elektrod i gazów do budowy nowych źródeł światła. Był przekonany, że wobec wyeliminowania balastu w postaci promieniowania cieplnego lampy wyładowcze powinny osiągnąć wydajność świetlną wielokrotnie większą od wydajności świetlnej żarówek i uważał je za lampy przyszłości. Wydawało mu się jednak, że najpewniejszą

drogą do osiągnięcia dużej wydajności świetlnej jest zasilanie lamp wyładowczych ze źródła napięcia szybkozmiennego. Tesla zbudował przeszło dwadzieścia prototypów lamp wyładowczych o zdumiewających efektach świetlnych, wytyczając w ten sposób nową drogę rozwojową technice oświetleniowej.

Poważną przeszkodą w rozpowszechnianiu się lamp wyładowczych Tesli były trudności w wytwarzaniu i przesyłaniu energii elektrycznej przy odpowiednio wysokim napięciu i wielkiej częstotliwości. Wówczas Tesla skierował swe wysiłki badawcze w kierunku bezprzewodowego przesyłania energii elektrycznej, poświęcając się odtąd niemal wyłącznie temu zagadnieniu.

Próby wielu późniejszych badaczy uzyskania zadowalającej wydajności świetlnej lamp wyładowczych przy zasilaniu ich napięciem niskim (220 V) o częstotliwości sieciowej zostały uwieńczone sukcesem dopiero po przeszło 40 latach, najpierw dzięki zastosowaniu dodatku par metali (Na, Hg) do gazu wypełniającego wnętrze lampy, a później dzięki wykorzystaniu zjawiska fluorescencji.

BEZPRZEWODOWE PRZENOSZENIE ENERGII I SYGNAŁÓW

Rok 1893 był rokiem przełomowym w życiu Tesli. Z faktu, że jego odbiorniki oświetleniowe świeciły w znacznej odległości od źródła napięcia szybkozmiennego, zrodziła się w jego umyśle koncepcja bezprzewodowego przesyłania energii elektrycznej na znaczne odległości. Pochłonęła go ona całkowicie, jak przed laty koncepcja wirującego pola magnetycznego.

Doświadczenia Tesli nad tym zagadnieniem zostały przerwane w roku 1895 przez pożar, jaki wybuchł w jego laboratorium w Nowym Jorku i zniszczył wszystkie urządzenia. Niezrażony tak silnym ciosem Tesla zabrał się do budowy nowego laboratorium pod Nowym Jorkiem. Obok laboratorium wybudował doświadczalną stację nadawczą, za pomocą której wysyłał już w r. 1897 fale elektromagnetyczne odbierane przez stację odbiorczą znajdującą się w odległości 40 km.

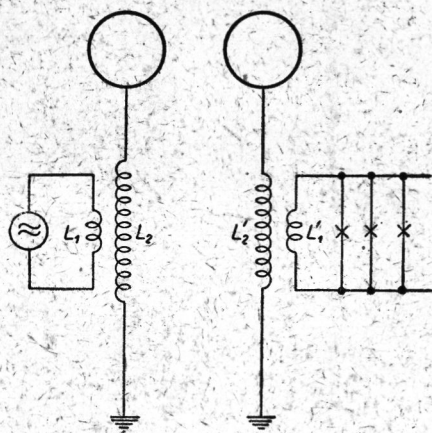
Dnia 2.9. 1897 r. złożył Tesla wniosek patentowy zatytułowany: *Apparatus for Transmission of Electrical Energy*; Urząd Patentowy przyznał mu na to urządzenie patent Nr 649621 dnia 15.5. 1900 r. Do wniosku patentowego był dołączony schemat układu nadawczego i odbiorczego przedstawiony na rys. 15. Źródło napięcia szybkozmiennego zasilало uzwojenie pierwotne L_1 transformatora bezrdzeniowe-

go, którego uzwojenie wtórne było włączone w obwód antena-ziemia. Tesla projektował antenę pionową o możliwie dużej wysokości, zakończoną u góry płytą lub kulą z blachy. Cewki L_1 , L_2 były wykonane jako cewki spiralne płaskie, przy czym cewka L_1 o wielokrotnie mniejszej liczbie zwojów obejmowała cewkę L_2 . Urządzenie odbiorcze składało się z takiego samego transformatora bezrdzeniowego, którego uzwojenie L_2 było włączone w obwód identycznej anteny odbiorczej, a uzwojenie L_1 miało zasilać odbiorniki.

W roku 1898 wykonał Tesla model statku sterowanego zdalnie i zgłosił dnia 1 lipca tegoż roku wniosek patentowy zatytułowany *Method of an Apparatus for Controlling Mechanism of Moving Vessels or Vehicles*, zatwierdzony przez Urząd Patentowy dnia 8.10. 1898 r. pod Nr 613809.

Ponieważ laboratorium nowojorskie było za ciasne do badań nad bezprzewodowym przesyłaniem energii elektrycznej, przeniósł się Tesla do Colorado, gdzie wykonał swe największe transformatory bezrdzeniowe oraz zbudował radiostację nadawczą o mocy 200 kW. Widząc, że efekty z przenoszeniem energii za pomocą fal elektromagnetycznych są stosunkowo nikłe, postanowił Tesla ograniczyć swoją koncepcję na razie do przesyłania sygnałów. Dnia 16.7. 1900 r. złożył wniosek patentowy zatytułowany *System of Signaling*, na który przyznano mu 14.4. 1903 r. patent Nr 725605. Z załączonego do wniosku opisu i rysunku wynika, że Tesla zastosował dostrajanie obwodów za pomocą regulowanej indukcyjności zarówno w urządzeniu nadawczym jak i w urządzeniu odbiorczym. Nadawanie sygnałów odbywało się za pomocą wirującego przerywacza.

W roku 1900 powrócił Tesla do Nowego Jorku z planem budowy olbrzymiej stacji nadawczej telegraficznej w okolicy tego miasta. Jednak zebrane fundusze były zbyt szczupłe. Praca posuwała się naprzód bardzo powoli w porównaniu z tempem, jakie cechowało wszystkie jego dotychczasowe przedsięwzięcia. W tym czasie Marconi złożył wniosek patentowy na swoje urządzenie do nadawania sygnałów i uzyskał na nie patent amerykański w 1904 r.



Rys. 15. Układ do bezprzewodowego przesyłania i odbioru energii elektrycznej.

Do dziś Marconi jest w wielu krajach uważany niesłusznie za ojca radiotechniki. Duże jednak zasługi na tym polu położyli przed nim H. Hertz, N. Tesla, O. Lodge i A. Popow. Hertz wytworzył pierwszy już w 1887 r. fale elektromagnetyczne w skali laboratoryjnej, zbadał ich właściwości i przewidywał ich zastosowanie dla celów telegrafii bezprzewodowej. Tesla rozwinął technikę, wytwarzania fal elektromagnetycznych wielkiej częstotliwości o dużym natężeniu pola. Lodge opublikował w 1894 r. swe doświadczenia nad wykrywaniem fal elektromagnetycznych za pomocą koherera. Popow zbudował w 1895 r. pierwsze urządzenie nadawczo-odbiorcze, którego opis opublikował w styczniu 1896 r., a w marcu tegoż roku wraz z Rybkinem zademonstrował na posiedzeniu rosyjskiego Towarzystwa Fizyko-chemicznego nadanie i odbiór z odległości 250 m pierwszego w świecie radiotelegramu złożonego z dwóch słów: „Henryk Hertz“.

Pierwszy patent na wykorzystanie fal elektromagnetycznych w radiotelegrafii został przyznany Marconiemu 2.VI. 1896 r. w Anglii. Na techniczne rozwiązanie tego problemu uzyskał on patent w Stanach Zjednoczonych dopiero w 1904 r.

Znamienny jest fakt, który podaje inż. Wojsław Popowić w ogłoszonym w roku 1956 artykule o N. Tesli w czasopiśmie „Technica“ wydawanym w Belgradzie³, że Najwyższy Sąd Stanów Zjednoczonych anulował w 1943 r. patent wydany Marconiemu przez omyłkę Urzędu Patentowego w Waszyngtonie w roku 1904. W motywach wyroku podano, że to, na co Marconi uzyskał patent, było już objęte patentami Tesli (Nr 649621 i 725605). Niestety tej moralnej satysfakcji Tesla już nie dożył.

ZMIERZCH KARIERY TESLI

Pozbawiony pomocy finansowej Tesla postanowił kontynuować własnymi środkami budowę radiostacji. W celu zdobycia potrzebnych funduszy skierował swe twórcze wysiłki w dziedzinę mechaniki. W ciągu dwóch lat otrzymał kilka patentów, którymi zdobył znów zaufanie sfer finansowych. W roku 1909 powstało nowe towarzystwo Tesla Propulsion Company o kapitale zakładowym milion dolarów. Celem towarzystwa była eksploatacja pomysłów i wynalazków Tesli z dziedziny budowy maszyn. Niektóre z nich znalazły szybko zastosowanie praktyczne. Za największy uważał Tesla wynalazek turbiny

³ Por. tłumaczenie polskie tego artykułu, *Mikołaj Tesla, 1856—1956. W setną rocznicę urodzin*. „Horyzonty Techniki“, nr 10/1956.

frykcyjnej, której zasada działania była oparta na wykorzystaniu tarcia ciekłego lub gazowego czynnika roboczego o szereg równoległych tarcz umieszczonych bardzo blisko siebie.

Dochody z niektórych zrealizowanych w tym okresie patentów Tesli wystarczyłyby mu na dostatnie życie i zapewnienie spokojnej starości. Jednak Tesla z natury skromny i mało wymagający dla siebie wydawał tylko nieznaczną część dochodów na własne utrzymanie a resztę zużywał na prace doświadczalne w dziedzinie bezprzewodowego przenoszenia energii elektrycznej. Autorytet Tesli w kołach naukowo-technicznych był tak duży, że początkowo wierzone, iż uda mu się wywołać rewolucję w technice oświetleniowej przez zastosowanie generatorów wielkiej częstotliwości, które by zasięgiem pokrywały cały kraj. Obszerna wzmianka na ten temat była zamieszczona między innymi w czasopiśmie „The Electrical World“ oraz w londyńskim „The Electrical Engineer“ w styczniu 1910 r. Z biegiem czasu jednak zaczęły się szerzyć powątpiewania w możliwość realizacji koncepcji bezprzewodowego przesyłania energii elektrycznej. Sam Tesla, który święcie w nią wierzył, czuł się coraz bardziej osamotniony.

W chwili zakończenia I wojny światowej Tesla miał 62 lata. Jego samopoczucie fizyczne było doskonałe. Umysł jego był nadal bardzo czynny, jakkolwiek stracił wiele z dawnej inwencji. Pomysły godne opatentowania rodziły się coraz rzadziej w jego mózgu. Powoli popadał w ruinę finansową, gdyż wszystkie zarobione niegdyś pieniądze wydał na badania naukowe. Wrażliwy i ambitny z trudem dał się nakłonić do przyjęcia stypendium Rządu Jugosłowiańskiego w wysokości 600 dolarów miesięcznie. Mieszkał samotnie w jednym z większych hoteli w Nowym Jorku, gdzie zmarł w styczniu 1943 r. w 87 roku życia.

CHARAKTERYSTYKA NIKOLI TESLI JAKO NAUROWCA I WYNAŁAZCY

Chcąc należycie ocenić postać Tesli jako badacza naukowego i wynalazcy musimy wziąć pod uwagę te wszystkie czynniki, które wywarły istotny wpływ na jego twórczość.

Uczelnie w Grazu i w Pradze rozwinęły w nim wrodzone zamiłowanie do dociekań i eksperymentów w dziedzinie fizyki. Nie mogły natomiast zapewnić takich podstaw teoretycznych z matematyki i fizyki, jakie wynieśli np. ze szkół angielskich Lord Rayleigh, Hea-

viside, Dewar i inni, wychowani na wspaniałych tradycjach M. Faradaya i genialnych pracach teoretycznych J. C. Maxwella, wymagających bardzo dużego, jak na owe czasy, przygotowania z matematyki i fizyki.

U progu swej kariery jako wynalazcy zetknął się Tesla z Edisonem i przez rok zajęcia w jego zakładach zdołał przyswoić sobie styl pracy polegający na ciągłym eksperymentowaniu oraz opracowywaniu pomysłów zarówno z punktu widzenia wymogów Urzędu Patentowego jak też w celu ich realizacji. Ilość i różnorodność pomysłów, opracowywanie kilkunastu do kilkudziesięciu wniosków patentowych rocznie absorbowwały umysł Tesli tak dalece, że nie pozostawiały mu zupełnie czasu na pogłębianie wiadomości z matematyki i fizyki teoretycznej. Wtedy, gdy elektrotechnika teoretyczna stawiała miłowe kroki, Tesla pochłonięty pracami wynalazczymi nie nadążał za rozwojem teorii.

W pracach i osiągnięciach Tesli zdumiewa bogactwo pomysłów i niesłychana intuicja. Zdawał on sobie dobrze sprawę z tego, że swoimi wynalazkami kładł podwaliny pod nowe, dotychczas zupełnie nie znane, gałęzie elektrotechniki. W wyciąganiu wniosków z obserwowanych zjawisk odznaczał się dużą śmiałością. Można mu tylko zarzucić zbyt powierzchowny, przeważnie intuicyjny i tylko opisowy sposób tłumaczenia zjawisk. Tesla unikał ujmowania ich we wzory teoretyczne i zależności matematyczne.

Zbytne kierowanie się intuicją i pewne niedocenywanie znaczenia teorii utrudniały Tesli krytyczne ustosunkowanie się do własnych pomysłów. W tym właśnie tkwi przyczyna zmiernego jego kariery. Wpadłszy na pomysł bezprzewodowego przesyłania energii elektrycznej Tesla, choć zdawał sobie sprawę z istnienia — jak sam mówił — „nieubłaganego prawa zmniejszania się działań elektrycznych z kwadratem odległości“, wierzył, że uda mu się to prawo pokonać względnie ominąć. Obserwując zjawiska rezonansowe w obwodach elektrycznych wyobrażał sobie, że ziemia ma też pewne oscylacje własne natury elektrycznej i że w przypadku dostrojenia drgań własnych urządzenia nadawczego do rezonansu z oscylacjami ziemi będzie możliwe bezprzewodowe przenoszenie energii całkowicie bez strat.

Niepowodzenie tej ostatniej wielkiej koncepcji Tesli nie powinno jednak wcale umniejszać hołdu należnego mu za to, co uczynił dla rozwoju elektrotechniki i radiotechniki.

LITERATURA

Książki:

1. Nikola Tesla, *Lectures-Patents-Articles*; Nikola Tesla Museum, Beograd 1956.
2. Thomas Commerford Martin, *Nikola Tesla's Untersuchungen über Mehrphasenströme und Wechselströme hoher-Spannung und Frequenz*, W. Knapp, Halle 1895.

Ważniejsze artykuły Tesli:

3. Nikola Tesla, *Phenomena of Alternating Currents of Very High Frequency*, „Electrical World“, 21. 2. 1891.
4. Nikola Tesla, *Electric Discharge in Vacuum Tubes*, „Electrical Engineer“, N. Y., 1.7. 1891.
5. Nikola Tesla, *The Transmission of Electric Energy without Wires*, „Electrical World“, 5.3. 1904.
6. Nikola Tesla, *Some Personal Recollections*, „Scientific American“, 5.6.1915.
7. Nikola Tesla, *Electrical Oscillators*, „Electrical Experimenter“, 1919.
8. Nikola Tesla, *Developments in Practice and Art of Telephotography*, „Electrical Review“, 11.12. 1920.
9. Wzmianki i krótkie artykuły o Tesli i jego patentach w czasopismach: „The Electrical World“, 1888—1916; „The Electrical Engineer“, 1891—1916; „The Electrician“, 1887—1895.

НИКОЛА ТЕСЛА И ЕГО ВКЛАД В РАЗВИТИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Никола Тесла был одним из крупнейших исследователей и изобретателей в области электротехники. Он интересовался самыми различными проблемами, в том числе вопросами из области механики, отличался большой проницательностью и необычайным исследовательским чутьем. Своими главными открытиями, сделанными в период 1887—1900 годов, Тесла наметил правильный путь развития электротехники и создал основы для обширной области переменных электрических токов высокой частоты. Заслуги Теслы в деле развития электротехники в настоящее время недооцениваются, приоритет на некоторые сделанные им открытия зачастую неправильно приписывается другим ученым.

Тесла первый открыл возможности получения вращающегося магнитного поля при помощи токов многофазных систем и использования его для строительства двигателей. Своей заявкой на патент, внесенной им 12 октября 1887 года, он на 5 месяцев опередил первый доклад Феррариса на тему вращающегося магнитного поля. В тот момент, когда работа Феррариса была опубликована, Тесла уже располагал несколькими типами двухфазных генераторов и двигателей переменного тока, которые по своей работе не уступали тогдашним двигателям постоянного тока. Хотя он был сторонником двухфазной системы, но в упомянутой заявке на патент он поместил чертеж генератора и двигателя трехфазного тока, опередив таким образом на два года Доливо-Добровольского, которого заслугой является скорее развитие, чем открытие трехфазной системы.

Диапазон работ и достижений Теслы в области переменных электрических токов высокой частоты поразительно широк, так как они охватывают сконструирование вращающихся генераторов высокой частоты, выра-

ботку этих токов при помощи колебаний электрического контура, а затем преобразование их с помощью изобретенного им трансформатора без сердечника, и, наконец, проведение тщательных исследований явлений в контурах переменных токов высокой частоты. Тесла наряду с Поповым опередил Маркони в открытии беспроволочной передачи сигналов и раньше, чем Маркони, получил патент на изобретенные им устройства для передачи электроэнергии без проводов, сигнализации и дистанционного управления.

NIKOLA TESLA'S CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGICAL SCIENCES

Nicola Tesla was one of the foremost research workers and inventors on the field of electric technology. He distinguished himself by his manifold interests, a penetrating mind and an astonishing intuition in research. His main discoveries in the period 1887—1900 marked the right road to the development of electric power and laid the foundation under the vast domain of high speed alternating currents. To-day the merits of Tesla on the field of electrical technology development are often undervalued and priority of many of his discoveries are unjustly attributed to others.

Tesla was the first who conceived the idea to produce a rotating magnetic field by means of multiphase currents and to apply it in construction of electric generators. His application for patent rights deposited on Oct. 10th. 1887 preceded by five months the first Ferraris report dealing with a rotating magnetic field. At the time Ferraris work has been published Tesla had already at his disposal a number of types of generators and two-phase motors, which equalled in efficiency the contemporary direct current motors. Although himself an adherent of the two-phase system he put in his application for patent a design of a three-phase generator and motor, being ahead by two years over Doliwo-Dobrowolski whose main merit consists in the development rather than in the invention of a three-phase system.

The range of Tesla works and attainments in the domain of high speed alternating currents is indeed astonishing. It embraces the construction of high frequency rotating generators, the production of such currents by means of an oscillating electric circuit, their transformation with the aid of a coreless transformer of his own invention and finally a thorough investigation of phenomena occurring in the circuit of high speed alternating currents.

Tesla, like Popoff, was far ahead of Marconi in wireless transmission of signals and preceded Marconi in obtaining patents for installations of his own inventions covering a wireless transmission of power, signalling and remote steering.