

РОЗДІЛ ЧЕТВЕРТИЙ

ОПАНУВАННЯ ЗМІННОГО СТРУМУ

(1886–1888)

ТЕРМОМАГНІТНИЙ ДВИГУН

У найскрутніші часи Тесла зібрався з силами й у березні 1886 року подав патентну заявку на термомагнітний двигун. Так само, як винаходи в галузі дугового освітлення врятували Теслу після того, як він пішов від Едісона, ця нова заявка допомогла йому знову стати на ноги.

Цілком імовірно, що винахідник почав думати про зв'язок між магнетизмом і теплом, ще працюючи на машинобудівному заводі Едісона, оскільки останній тоді експериментував з піромагнітним генератором, який мав виробляти електрику при спалюванні вугілля. Один із експериментів 1884 року виявився невдалим: Едісон нагрівав вугілля, поки воно не розжарилося, а потім ввів газ, який, як він сподівався, мав бути іонізований розжареним вугіллям; у підсумку утворився дуже сильний струм, але газ при цьому вибухнув і вибив вікна в лабораторії¹⁸⁴.

Можливо, саме пам'ятаючи про невдалий досвід Едісона з перегрітим вугіллям, Тесла спочатку зосередився на тому факті, що залізні магніти втрачають свої магнітні властивості при нагріванні. Щоб скористатися цим явищем, він спроектував невеликий двигун, що складався з магніту, залізної поворотної рукоятки, пружини, пальника Бунзена та маховика (рис. 4.1). За нормальних температур нерухомий магніт був достатньо потужним, щоб притягнути поворотну рукоятку та стиснути пружину. Проте коли поворотна рукоятка наближалась до нерухомого магніту, вона потрапляла під дію полум'я пальника. Полум'я нагрівало поворотну рукоятку й змушувало її втрачати магнітні властивості, індуковані в ній нерухомим магнітом. Сила стисненої пружини тепер перевищувала силу магнітного поля, що спричиняло відштовхування поворотної рукоятки від нерухомого магніту. Оскільки поворотна рукоятка була з'єднана через кривошип із маховиком, рух поворотної рукоятки змушував маховик обертатися. Коли рукоятка виходила із зони впливу полум'я, вона охолоджувалася й знову притягалася магнітом. Тепер сила магнітного поля була більшою за силу пружини, що приводило до руху поворотної рукоятки назад до нерухомого магніту та полум'я. У своїй патентній заявці Тесла виклав не тільки основний принцип дії цього двигуна, але й сім його варіантів¹⁸⁵.

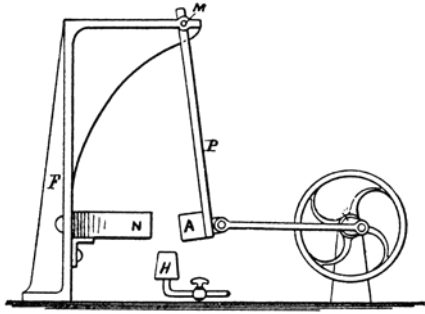


Рис. 4.1. Термоелектричний двигун Тесли 1886 року:

N — фіксований магніт;

A — рухомий магніт;

P — залізна поворотна рукоятка;

FM — листова пружина;

H — пальник Бунзена.

Джерело: T. C. Martin, *The Inventions, Researches, and Writings of Nikola Tesla*, 2-ге вид.

(1894; reprinted 1995), рис. 240 на с. 428.

ПОРЯТУНОК ЗАВДЯКИ ПЕКУ ТА БРАУНУ

Патент Тесли на термоелектричний двигун став поворотним моментом у його кар'єрі, оскільки завдяки цьому він зустрівся з людьми, які стали його покровителями під час роботи над двигуном змінного струму. Риючи канали, Тесла розповів майстру, який його найняв, про свої винаходи, а цей майстер згодом представив його Альфредові С. Брауну (1836–1906)¹⁸⁶. Браун почав працювати на телеграфі 1855 року і до 1875 просунувся до посади керівника відділення *Western Union* у нью-йоркському районі Метрополітен¹⁸⁷. Про нього говорили як про «першокласного електрика та фахівця з підземних телеграфних робіт». Браун відповідав за нагляд за встановленням кабелів, що з'єднували головний офіс *Western Union* із фондовою й товарною біржами, розташованими в центрі Мангеттена, тож цілком можливо, що бригадир, який керував прокладанням каналів для цих підземних кабелів, міг представити Теслу Брауну¹⁸⁸. Будучи чільним менеджером *Western Union*, Браун бачив, як Едісон демонстрував кілька своїх видатних винаходів, зокрема дуплекс (систему зв'язку між двома абонентами), квадруплекс (систему зв'язку між чотирма абонентами) та вдосконалений телефон¹⁸⁹. Свідченням високого становища Брауна в телеграфних колах було те, що він тримав покривало на похороні 1878 року Вільяма Ортона, впливового президента *Western Union*¹⁹⁰. На основі свого досвіду в *Western Union* Браун добре знав, як винаходи можуть допомогти компаніям і окремим особам здійснити радикальні зміни в галузі.

Відчуваючи в термоманітному двигуні Тесли перспективу, але розуміючи, що він потребує ділової експертизи, щоб перетворити цей винахід на комерційний продукт, Браун звернувся до Чарльза Ф. Пека (пом. 1890). Адвокат із Енглвуда (штат Нью-Джерсі) Пек цікавився телеграфом та розвитком електрики, і другом його родини був ще один винахідник-електрик — Вільям Стенлі-молодший.

Пек уперше зайнявся телеграфним зв'язком 1879 року, коли він і Джон О. Еванс вивчали можливість встановлення прямого зв'язку між Вашингтоном (округ Колумбія) та Чикаго. Намагаючись встановити цю лінію, Пек з'ясував, що деякі банки та комерційні організації зацікавлені в оренді

виділених ліній для безпечного ведення свого бізнесу. Щоб скористатись цим попитом на оренду телеграфних ліній, вони з Евансом 1880 року організували *Mutual Union Telegraph Company* з капіталом у розмірі 1,2 мільйона доларів. Метою цієї компанії було спорудження між великими містами ліній, які могли б забезпечити цю послугу. Еванс був президентом нової компанії, а Пек посідав посаду секретаря. *Mutual Union* побудувала нову лінію між Бостоном і Вашингтоном, після чого відразу здала окремі лінії в оренду кільком фірмам. Пек і Еванс отримали від цієї операції чималий прибуток. Разом вони утворили хорошу команду: як писав один історик телеграфної справи, «Еванс був живий, швидкий, схильний до ризику. Містер Пек був активний і обережний»¹⁹¹.

Але Пек і Еванс швидко зрозуміли, що прибутки можуть бути іще більшими, якщо *Mutual Union* розпочне атаку на *Western Union*. Відтоді, як наприкінці 1860-х ця компанія посіла панівні позиції в телеграфній індустрії, вона постійно стикалася із загрозою захоплення федеральним урядом або фінансистами з Волл-стріт. Для боротьби з цими загрозами президент *Western Union* Вільям Ортон майстерно застосовував поєднання політичного лобіювання, вмілого скорочення тарифів, прокладання ліній уздовж основних залізничних шляхів і, насамперед, захоплення таких винахідників, як Едісон та Ілайша Грей, до розробки ще ефективніших засобів телеграфного зв'язку. Проте ці тактики не були надійними: якби фінансисти-конкуренти зуміли заволодіти або патентами на нові винаходи, або правами на прокладання ліній уздовж залізничних шляхів, вони могли б легко атакувати *Western Union* і спробувати поглинути цю компанію. Джей Гоулд двічі випробовував цю стратегію: спершу безрезультатно в 1874–1877 роках, а потім успішно в 1879–1881 роках. «Під час кожної з цих спроб захоплення, — зазначав історик Річард Р. Джон, — Гоулд організував політичну кампанію, щоб позбавити *Western Union* юридичних привілеїв, ініціював шалені коливання ринкових цін акцій компанії, для чого користувався отриманою заздалегідь інформацією про тенденції ринку і створював конкурентну телеграфну корпорацію: 1874 року — *Atlantic & Pacific*, а 1879 року — *American Union*, яку *Western Union* визнала за доцільне викупити»¹⁹².

1881 року, як це робив і Гоулд, Пек та Еванс вирішили розширити *Mutual Union*, щоб створити власну телеграфну мережу. Проголосивши намір придбати «дев'ять десятих прибуткового телеграфного бізнесу країни», бізнесмени випустили акції та облігації на суму 10 мільйонів доларів, переконали банкіра з Волл-стріт Джорджа Ф. Бейкера приєднатися й почали будувати нові лінії. Вони набули значної ваги, коли залізниця «Балтімор і Огайо» здала їм в оренду свої телеграфні лінії. Щоб керувати операціями, Пек узяв Брауна, який раніше працював у *Western Union*, на посаду генерального директора *Mutual Union*. Прагнучи мати найсучасніші технології, *Mutual Union* найняла Джона Райта та Джона Лонгстріта на посади інженерів-електриків компанії й поставила перед ними завдання розробляти біржовий телеграф

із функцією друку. Усе це було зроблено так активно, що вже за два роки *Mutual Union* володіла лініями протяжністю понад двадцять п'ять тисяч миль у двадцяти двох країнах. *Mutual Union* пишалася тим, що річний прибуток мережі може сягнути 1,5 мільйона доларів США, а ймовірні річні дивіденди становитимуть 12 %¹⁹³.

Гоулд не хотів, щоб ця нова компанія знищила *Western Union*, і він контратакував, застосувавши ту саму тактику, яку використовував у власних спробах захоплення *Western Union*. Спочатку Гоулд придбав 30 % акцій *Mutual Union* і запропонував Бейкерові керувати компанією спільно. Коли Бейкер відмовився, Гоулд втягнув *Mutual Union* у низку судових позовів. Згідно зі статутom *Mutual Union*, акціонерний капітал компанії був обмежений сумою 1,2 мільйона доларів, і тому випуск акцій та облігацій у обсязі 10 мільйонів доларів був незаконним. Незадоволені інвестори, підбурювані Гоулдом, вимагали від верховного судді Нью-Йорка анулювати статут компанії. (У підсумку роздратований верховний суддя скасував статuti як *Mutual Union*, так і *Western Union*.) *Western Union* подала позов на *Mutual Union* за порушення авторського патенту на телеграфне реле, винайдене Чарльзом Дж. Пейджером (про цей пристрій див. далі в цьому розділі). Тим часом муніципалітет Чикаго відмовив *Mutual Union* у праві встановлювати на вулицях ліхтарні стовпи, і Детройт погрожував зробити те ж саме. Пригнічений цими подіями, президент *Mutual Union* Еванс помер на Різдво 1881 року¹⁹⁴.

Але Пек знав, що такі неприємності були частиною атаки на *Western Union*; треба було терпіти й чекати, поки остання запропонує мирову угоду. Зрештою, усвідомлюючи, що він не може дозволити, щоб *Mutual Union* стала об'єднавчою базою для його ворогів у телеграфній індустрії, Гоулд 1885 року розпочав переговори з цією компанією. Після тривалих дискусій *Western Union* погодилася взяти в оренду лінії *Mutual Union*. Умови оренди полягали в тому, що *Western Union* сплачувала 1,5 % річних на суму 10 мільйонів доларів акцій *Mutual Union* та відсотки з облігацій на 5 мільйонів доларів, при цьому 50 000 доларів США щороку відраховували в амортизаційний фонд. Крім того, за умовами цієї угоди, Браун повернувся до *Western Union* як її керівник¹⁹⁵. Так Пек розбив Гоулда його ж власною зброєю і вийшов із протистояння переможцем.

З огляду на їхній досвід із *Mutual Union*, Пек і Браун ідеально підходили на роль наставників Тесли у світі просування винаходів. Працюючи на найвищих рівнях телеграфної індустрії, вони навчилися отримувати вигоду від технологічних інновацій. Ці люди знали, як створювати компанії, просувати нові технології та впливати на зміни. Пек і Браун визначили для Тесли ключові можливості, які відкриваються в електротехнічній промисловості, й поширили інформацію про його винаходи у такий спосіб, щоб отримати максимальний публічний розголос і фінансову вигоду. Тесла з великою повагою говорив про обох цих чоловіків, зазначаючи: «В усіх наших справах вони проявили себе як найчудовіші й найшляхетніші особи з усіх, кого я тільки зустрічав у своєму житті»¹⁹⁶.

Зацікавившись Теслиним термомагнітним двигуном та іншими ідеями, восени 1886 року Пек запропонував, щоб вони з Брауном виступили гарантами зусиль Тесли із втілення цих винаходів у робочі пристрої. Щоб Тесла міг приступити до вдосконалення своїх винаходів, Пек і Браун орендували для нього лабораторію в нижньому Мангеттені восени 1886 року. Вони погодились розподіляти будь-які прибутки так, щоб третину отримував Тесла, третину — Пек і Браун, а ще третина реінвестувалась у майбутні винаходи. Пек і Браун покривали всі витрати, пов'язані із забезпеченням патентів, і виплачували Теслі щомісячну зарплату в розмірі 250 доларів. У квітні 1887 року Тесла, Пек і Браун утворили *Tesla Electric Company*. У травні 1887 року, щоб допомагати Теслі, до Нью-Йорка приїхав Сіреті¹⁹⁷.

Перша лабораторія Тесли містилася у фінансовому районі Нью-Йорка за адресою: Ліберті-стріт, 89, просто за рогом офісу *Mutual Union* на Бродвеї, 120. На першому поверсі був розташований офіс *Globe Stationery & Printing Company*, а Тесла зайняв кімнату нагорі. Лабораторія була обладнана лише верстатом, плитою та динамо виробництва Едварда Вестона. Щоб забезпечити живлення динамо, Пек і Браун уклали угоду з сусідами — поліграфічною компанією. Оскільки *Globe* використовувала свій паровий двигун для роботи пресів лише вдень, вночі вона могла надавати електроенергію Теслі. В підсумку Тесла виробив звичку працювати над своїми винаходами вночі¹⁹⁸.

У своїй угоді з Пеком і Брауном Тесла взяв на себе зобов'язання розробити кілька різних винаходів, а не тільки двигун змінного струму, про який він вже давно мріяв. Отже, Тесла спочатку став працювати над проблемами, які викликали в двигунах і динамо комутатори. Він багато років розмірковував над проблемою комутаторів і, хоч і вважав, що краще було б усунути їх із електричного обладнання, придумав кілька поліпшень, зокрема двигун змінного струму з короткозамкненим комутатором і комутатор для динамо зі зменшеним іскрінням¹⁹⁹.

ПРОМАГНІТНИЙ ГЕНЕРАТОР

Поки Тесла займався оформленням патентної заявки на комутатор для динамо, Пека й Брауна набагато більше цікавили його ідеї щодо перетворення тепла від спалювання вугілля безпосередньо в електрику²⁰⁰. Ця ідея була більш привабливою, оскільки їх дуже цікавило виробництво електроенергії. Добре знаючи про зростання в американській промисловості попиту на дешеву енергію, до Пека й Брауна звернувся один інженер, який запропонував виробляти пару за рахунок різниці температур в океані. Подекуди в океані різниця температур між холодною водою в глибині й теплою — на поверхні може сягати 60 градусів (15,6 градусів за Цельсієм). Один зі способів скористатися цією різницею температур полягав у використанні принципу, втіленого в кріофорі, — пристрої, розробленому англійським ученим В. Г. Волластоном. Вивчаючи природу тепла, Волластон з'єднав дві посудини трубою,

а потім викачав усе повітря. В одній із посудин була вода кімнатної температури, а інша була поміщена у крижаний термостат. На превелике здивування Волластона, різниця температур між двома посудинами привела до того, що вода в першій ставала парою і переміщалася через трубку до другої, де й конденсувалася. На підставі цієї ідеї інженер розрахував для Пека і Брауна, як можна було б використати масштабну систему трубопроводів, насосів, двигунів, котлів і конденсаторів для, здавалося б, невичерпного постачання з океану пари, яку потім можна буде підводити трубами до парових двигунів. Хоча Пек і Браун цей план зацікавив, їх зупиняло те, що для його реалізації був потрібен величезний капітал, щоб збудувати експериментальний завод. Водночас вони не знали, як можна буде розподіляти всю енергію, що її генеруватиме величезний завод з виробництва пари: як передавати енергію на численні фабрики, в магазини та житлові будинки.²⁰¹

Цікавлячись амбіційними планами на кшталт згаданого видобутку пари з океану, Пек і Браун, природно, звернули увагу на ідею Тесли про перетворення тепла від спалювання вугілля безпосередньо в електрику. Можливість виробляти електроенергію просто за рахунок нагрівання була надзвичайно привабливою для винахідників та інвесторів через вартість і складність використання парових двигунів і динамо. Щоб генерувати електроенергію у 1880-х (або навіть сьогодні), треба було спалювати вугілля для нагрівання котла і вироблення пари. Потім ця пара надходила у пристрій, який забезпечував обертання динамо. У цій системі енергія втрачалася на кожному етапі через втрати теплоти або тертя. Якби можна було усунути всі ці етапи та безпосередньо переходити від спалювання вугілля до електрики, то це був би ефективний винахід, навіть більш революційний за динамо. (Тесла повернувся до ідеї підвищення ефективності видобутку електроенергії кілька років по тому, коли працював над механічним осцилятором; див. розділ 10).

Розробляючи піромагнітний генератор, Тесла сполучив принцип, який він використовував у своєму термомагнітному двигуні, з законом електромагнітної індукції Фарадея. Працюючи над термомагнітним двигуном, Тесла виявив, що нагрівання магніту спричиняло ослаблення магнітного поля або його зміну. Як показав Фарадей, коли магнітне поле змінюється, воно викликає електричний струм у провіднику, розташованому всередині цього поля. Отже, якщо помістити провідник у поле магніту, що поперемінно нагрівається та охолоджується, у провіднику індукватиметься струм²⁰².

Щоб об'єднати ці два принципи на практиці в піромагнітному генераторі, Тесла почав з того, що взяв великий підковоподібний магніт (рис. 4.2). Упоперек полюсів цього магніту він встановив спеціальний сердечник, що складався з теплоізовольованої металевої коробки, в якій містилася велика кількість порожнистих залізних трубок. Оскільки сердечник був розташований на підковоподібному магніті, ці залізні труби намагнічувалися. Навколо зовнішньої поверхні сердечника були намотані дві котушки дроту. Під

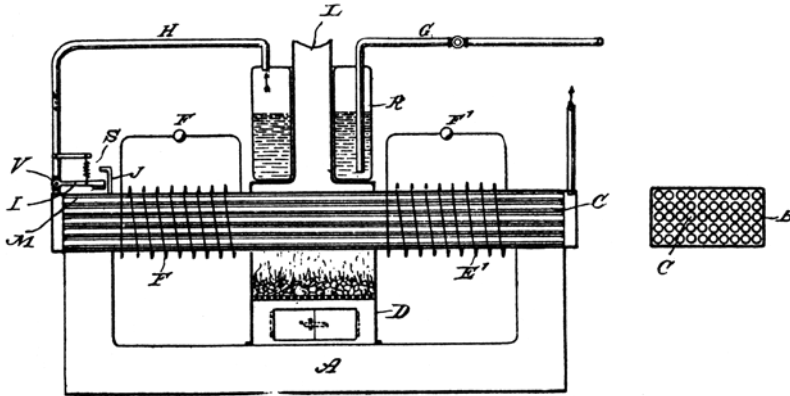


Рис. 4.2. Піромагнітний генератор Тесли, 1886–87 рр.:

A – підковоподібний магніт;

B – теплоізолювана металева коробка;

C – порожнисті залізні труби всередині коробки;

E¹, F – дві котушки дроту;

D – топка, яка нагрівала залізні труби;

K – бойлер;

H – труба, яка з'єднувала котел із сердечником так, щоб пара могла циркулювати всередині залізних трубок;

V – клапан регулювання пари, яка циркулювала в сердечнику.

Джерело: TCM, The Inventions, Researches, and Writings of Nikola Tesla, 2-ге вид. (1894; перевидано 1995), рис. 242 на с. 430.

центральною частиною сердечника була топка, яка нагрівала залізні труби, а над центром сердечника – бойлер, з'єднаний трубою з сердечником у такий спосіб, що пара могла циркулювати всередині залізних трубок. Щоб контролювати процес циркуляції пари в сердечнику, Тесла розмістив у трубці між бойлером і серцевиною клапан²⁰³.

Коли цей пристрій працював, спалюване вугілля в котлі нагрівало залізні трубки, доки вони не ставали червоними, тобто до температури близько 600 °C. За цієї температури залізні трубки розмагнічувалися, і зміна магнітного поля індукувала струм у котушках. Далі клапан відкривали, і пара (за температури 100 °C) циркулювала всередині труб, знижуючи їх температуру. Внаслідок цього процесу охолодження магнітне поле в залізних трубках відновлювалося, і знову змінне магнітне поле індукувало інший струм у котушках. Оскільки нагрівання та охолодження викликали струми, що текли у протилежних напрямках, піромагнітний генератор Тесли виробляв змінний струм.

Тесла називав цей піромагнітний генератор «великим винаходом» і завзято працював над ним з осені 1886 року до кінця літа 1887 року²⁰⁴. Ймовірно, він стикнувся із проблемою отримання достатньої різниці температур між нагріванням і охолодженням. Для того щоб генерувати значну кількість електроенергії, температура сердечника мала різко зростати й падати; якщо

сердечник зберігав усередині тепло, то генерувалося мало електрики. Тесла подав патентну заявку на цей винахід, але патент не отримав.

Засмучений тим, що йому не вдалося вдосконалити винахід, Тесла побоювався, чи не відмовляться від нього Пек і Браун, як це зробили Вейл і Лейн у Равеї. Однак Пек був цілком впевнений у Теслі й закликав його й далі працювати над винаходами. Тесла згадував про зустріч із ним тоді, коли стало зрозуміло, що піромагнітний генератор не працюватиме: «Я зустрівся з паном Пеком просто біля дверей будівлі, в якій був його офіс; він дуже люб'язно говорив зі мною і сказав: “Не зважайте на те, що цей ваш чудовий винахід не вдався; зрештою, ви ще можете досягти успіху з ним. Можливо, вам зараз варто переключитися на інші ідеї, а цю на якийсь час залишити. Як показує досвід, це дуже хороший план”. Ця розмова мене підбадьорила»²⁰⁵.

ОПАНУВАННЯ ДВОХ ПРОТИФАЗНИХ СТРУМІВ

Дослухавшись поради Пека, Тесла переключив увагу з піромагнітного генератора на електродвигуни. Тепер він повернувся до ідеалу, який створив у думках в Будапешті п'ять років тому: двигун з обертовим магнітним полем (див. розділ 2). Як перший крок до досягнення цього ідеалу Тесла мав перевірити свій здогад про те, що кілька змінних струмів можуть спричинити обертання магнітного поля. Він довго розмірковував над тим, як можна об'єднати кілька змінних струмів, але ще ніколи не намагався втілити це на практиці.

Тесла почав з того, що модифікував у своїй лабораторії динамо постійного струму Вестона так, щоб воно могло продукувати два, три або чотири окремі змінні струми²⁰⁶. У перших своїх експериментах він використовував як статор велике ламіноване кільце, подібне до того, що було в його страсбурзькому двигуні. Але замість однієї обмотки на кільці, як це було в Страсбурзі, Тесла тепер розділив обмотку на чотири окремі котушки, по одній на кожен із чотирьох секторів. Винахідник зробив так, щоб його генератор змінного струму подавав два окремі струми на котушки на протилежних сторонах кільця (рис. 4.3). Як ротор двигуна він підвісив на шпильку в центрі кільця бляшанку з-під крему для взуття. На превелику радість Тесли, обертове магнітне поле спричинило обертання бляшанки²⁰⁷.

У процесі роботи над цим двигуном Тесла нарешті зрозумів, як об'єднати змінні струми для створення обертового магнітного поля у статорі двигуна. Для цього струми, що надходили до кожної пари котушок, мали бути у протифазі один до одного. У випадку з двома струмами це означало, що коли один струм мав максимальне позитивне значення, то інший — максимальне негативне. Якщо розглядати змінні струми як синусоїду, то можна сказати, що ці два струми мають зсув за фазою на 180° . Тепер, зрозумівши важливість зсуву за фазою між струмами, Тесла міг за допомогою обертового магнітного поля побудувати повномасштабний електродвигун, як він і замислив у Будапешті.

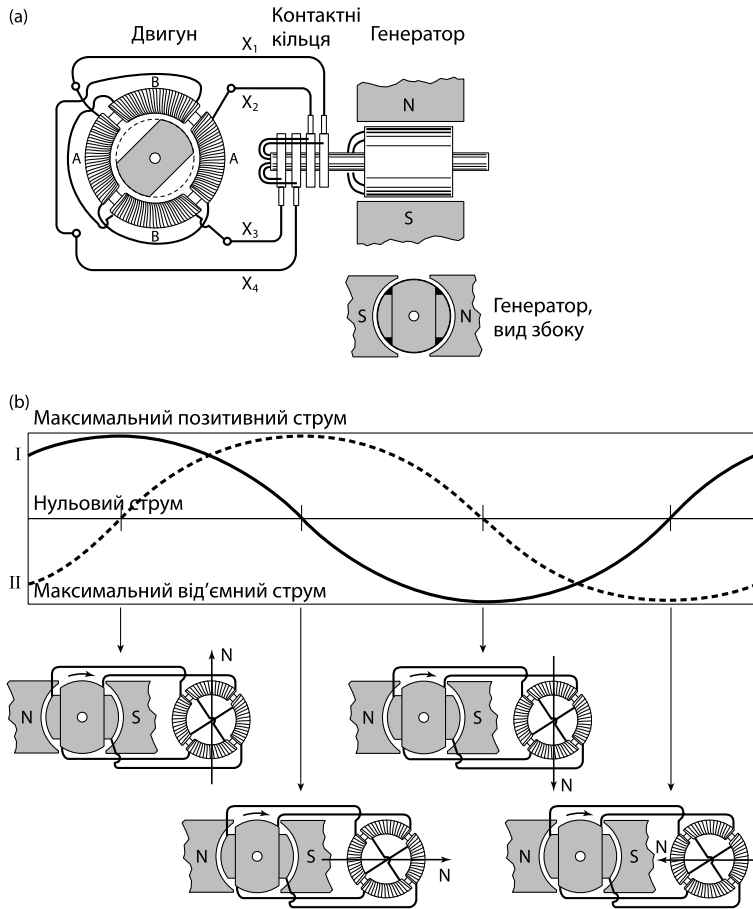


Рис. 4.3. Двигун змінного струму Тесли 1887 року.

Як і більшість інженерів-електриків, Тесла використовував комбінацію стаціонарних електромагнітних котушок (що називається статором) та обертових електромагнітних котушок (ротора) для перетворення руху в електричний струм і навпаки в його генераторі та двигуні. Схема (а) показує, як Тесла використав чотири дроти (X_1 , X_2 , X_3 , X_4) для підключення свого двигуна до генератора змінного струму. Як показано на боковому зображенні, статор генератора складався із двох котушок (N, S), а його ротор — із двох котушок, встановлених під прямим кутом одна до одної. Цей генератор продукував два окремі змінні струми, які надходили до двигуна через дві пари контактних кілець. Два струми йшли до двигуна чотирма дротами, і кожен струм заряджав одну пару котушок статора двигуна (або AA, або BB). Ротор у двигуні зображений як сірий прямокутник у середині чотирьох котушок, але в експериментах 1887 року Тесла використовував круглу бляшанку з-під крему для взяття. Схема (б) показує, як два окремі змінні струми (I, II) були зміщені один відносно одного за фазою на 90 градусів; це означає, що коли один був на максимумі, то інший мав нульове значення. Зображення нижче графіка струмів показує, як оберталося магнітне поле статора двигуна, коли струми збільшувалися та зменшувалися, при цьому стрілка, позначена N, оберталася за годинниковою стрілкою. Коли магнітне поле в двигуні оберталося, воно індукувало протилежну магнітну силу в роторі, спричиняючи обертання ротора. Зверніть увагу, що у двигуні на схемі (а) ротор показаний, але він не включений до менших зображень на схемі (б), оскільки було б важко одночасно показати і ротор, і обертове магнітне поле.

ЗРОСТАННЯ ПОПУЛЯРНОСТІ ЗМІННОГО СТРУМУ НАПРИКІНЦІ 1880-Х РОКІВ

Захоплений цим двигуном, що був справжнім проривом, Тесла наприкінці літа 1887 року запропонував Брауну, який дуже цікавився технікою, прийти й подивитися на демонстрацію приладу. Але коли Браун спостерігав за обертанням бляшанки у прототипі двигуна, Тесла зрозумів, що перед ним стоїть непросте завдання переконати своїх покровителів, що його обертове магнітне поле може бути використане як основа практичного, комерційного двигуна змінного струму. Чому вони мають вкладати гроші в обертання бляшанки з-під крему для взуття? Якщо сьогодні для нас доцільність рішення про розробку двигуна змінного струму є очевидною, то 1887 року експерти з електрики так не вважали. Щоб зрозуміти причину цього, розгляньмо ситуацію в електротехнічній галузі в середині 1880-х років.

З одного боку, покровителі Тесли, ймовірно, були задоволені тим, що він досліджував двигуни, оскільки в колах інженерів-електриків дедалі частіше обговорювалася можливість використання двигунів на центральних електростанціях. У середині 1880-х років, коли кількість таких електростанцій збільшилась, а в комунальній галузі зросла конкуренція, оператори зацікавилися використанням двигунів задля розширення своєї клієнтської бази. І далі надаючи електроенергію для освітлення вулиць і фасадів у нічний час, вони водночас почали розглядати двигуни як засіб, за допомогою якого можна було продавати електроенергію заводам і трамвайним лініям удень. У відповідь виробники електрообладнання запустили лінії з виробництва двигунів, і до 1887 року в цій галузі діяли вже п'ятнадцять фірм із загальною потужністю виробництва близько десяти тисяч двигунів за рік²⁰⁸. А якби центральні електростанції змогли використовувати двигуни для розподілу електрики на заводи, то, можливо, новий ефективний двигун дав би змогу Пеку та Брауну розподіляти електроенергію, отриману завдяки їхній амбітній схемі добування пари з океану²⁰⁹.

З іншого боку, Пек і Браун із великою підозрою ставилися до ідей Тесли про створення двигуна змінного струму, оскільки практично всі центральні електростанції в США в середині 1880-х років використовували постійний, а не змінний струм²¹⁰. Наприкінці 1870-х років кілька винахідників-електриків у Франції, а також Еліу Томсон в Америці експериментували з використанням змінного струму в своїх системах дугового освітлення. Змінний струм приваблював цих винахідників, оскільки давав їм змогу використовувати елементарний трансформатор для вирішення основної проблеми: як домогтися того, щоб єдине динамо одночасно живило кілька дугових ламп; у 1870-х роках електрики називали це «підрозділом електричного освітлення». Проте, коли Чарльз Брюш із Клівленда представив свою систему дугового освітлення постійним струмом із покращеним динамо та регулятором, американські інженери-електрики відразу перейшли до розробки систем

постійного струму. Використовуючи постійний струм, підприємці змогли встановити центральні електростанції для систем як дугового освітлення, так і освітлення лампами розжарювання у десятках американських міст²¹¹.

В Європі, однак, не забули про змінний струм, і винахідники там вдосконалили трансформатор; намотавши дві різні котушки на один залізний сердечник, вони зрозуміли, що можуть збільшувати або зменшувати напругу змінного струму, і цей новий прилад невдовзі почали використовувати у різний спосіб. Наприклад, 1883 року в Лондоні Люсьєн Голар та Джон Гіббс використовували один із перших трансформаторів для послідовного підключення як дугових ламп, так і ламп розжарювання до одного великого генератора²¹². Приблизно в той самий час у Будапешті інженери, з якими Тесла познайомився на виробництві фірми «Ганц і компанія» — Циперновський, Блаті й Дері, — почали розглядати змінний струм як спосіб розвивати системи освітлення на лампах розжарювання, яка могла б обслуговувати більші території. Вони побачили, що за допомогою генератора, який виробляв змінний струм високої напруги, можна передавати електроенергію на великі відстані, використовуючи тонші мідні дроти. Щоб захистити споживачів від високої напруги, вони знижували її за допомогою трансформатора, перш ніж струм надходив до будинків та магазинів. Система Циперновського, Блаті й Дері використовувалася упродовж кількох років для освітлення низки європейських міст. Як система Голара й Гіббса, так і система Циперновського, Блаті й Дері використовували однофазний змінний струм, оскільки цього було достатньо, щоб забезпечити потрібну зміну напруги²¹³.

Далекоглядні американські підприємці в галузі електрики швидко оцінили роботу європейців над трансформаторами змінного струму. Під час поїздки за кордон 1885 року Чарльз Коффін із компанії Томсона-Г'юстона дізнався про систему Циперновського, Блаті й Дері й по поверненні рекомендував Томсону поновити роботу над змінним струмом. 1886 року агенти Едісона в Європі попередили його, що їм доводиться конкурувати за контракти на освітлення з «Ганцом і компанією», і переконали компанію Едісона викупити опціон на патент для використання в Америці системи Циперновського, Блаті й Дері²¹⁴.

Але найбільше серед усіх американських підприємців трансформатором змінного струму зацікавився Джордж Вестінгауз (1846–1914). Здобувши знання у машинобудівному цеху свого батька в Нью-Йорку, Вестінгауз досягнув унікального поєднання технічного генія та ділової спритності. Він не тільки сам розробив повітряні гальма та вдосконалив сигнальні системи для залізниць, а й мав достатню кваліфікацію керувати компаніями, які виробляли та продавали ці інновації у великих масштабах. 1884 року Вестінгауз зацікавився електричним освітленням, спочатку заради диверсифікації діяльності свого підприємства *Union Switch and Signal Company*. Першим кроком Вестінгауза в цьому напрямку стало прийняття на роботу Вільяма Стенлі-молодшого, який запатентував лампу розжарювання та саморегульовне динамо.

Спочатку Вестінгауз просто мав намір розробити систему постійного струму, подібну до едісонівської, але навесні 1885 року, після того як він прочитав про це в журналі *Engineering*, його зацікавила система трансформаторів змінного струму Голара та Гіббса²¹⁵. Відчуваючи, що від розробки ще однієї системи постійного струму можна отримати лише вельми обмежений прибуток, Вестінгауз вирішив рухатися в абсолютно новому напрямку. Зокрема, він припустив, що змінний струм можна використати для встановлення центральних електростанцій у муніципалітетах, які компанія Едісона не могла обслуговувати. Через високу ціну на генератори та мідну розподільчу мережу компанія Едісона могла продавати системи лише в густонаселених містах; щоб центральна електростанція могла приносити прибуток, вона мала бути розташована так, щоб обслуговувати десятки будинків і підприємств. Вестінгауз вважав, що за допомогою змінного струму можна зменшити витрати за рахунок збільшення виробництва: трансформатори давали б змогу збільшити напругу, розподіляти енергію на ширший регіон і, отже, обслуговувати більше клієнтів. Його система змінного струму мала бути розроблена так, щоб бути вигідною в містах із розпорошеним населенням.

Побачивши у змінному струмі великий комерційний потенціал, Вестінгауз розпочав рішучі дії. Він відправив свого співробітника Гвідо Панталєоні до Європи, щоб той придбав опціон на систему Голара та Гіббса. Влітку 1885 року Вестінгауз замовив кілька трансформаторів Голара і Гіббса для свого заводу в Піттсбурзі й попросив Стенлі розробити систему освітлення лампами розжарювання на змінному струмі²¹⁶. Працюючи в невеликій лабораторії у Грейт-Баррінгтоні (штат Массачусетс), Стенлі створив практичну конструкцію для трансформатора, підтвердивши думку, що трансформатори мають бути підключені до генератора паралельно, а не послідовно, як у Голара й Гіббса. Щоб продемонструвати цінність свого трансформатора, у березні 1886 року Стенлі протягнув на деревах уздовж вулиць Грейт-Баррінгтона дроти, які мали доставляти змінний струм до будинків і підприємств²¹⁷. У листопаді, взявши за основу демонстраційну систему Стенлі, Вестінгауз втілював свою першу комерційну мережу змінного струму в Буффало (штат Нью-Йорк). Рішуче налаштована не відставати від Вестінгауза компанія *Thomson-Houston* в травні 1887 року запровадила систему змінного струму в *Lynn Electric Light Company*, а до кінця того самого року *Thomson-Houston* облаштувала ще двадцять дві системи²¹⁸.

Електротехнічна спільнота 1887 року з цікавістю стежила за швидким розвитком систем освітлення на змінному струмі. Якщо у січні 1887 року в щорічному огляді галузі в журналі *Electrical World* трансформатори змінного струму згадувались лише побіжно, то вже у січні наступного року цей журнал писав про розвиток освітлювальних систем з використанням трансформаторів, як про один із найважливіших проривів у електротехніці²¹⁹.

Змінний струм зацікавив представників електротехнічної спільноти не тому, що вони вважали його використання технологією майбутнього, а тому,

що ці люди бачили величезний розрив між ідеалом і реальністю. Так, в ідеалі змінний струм мав уможливити для центральних електростанцій розподіл енергії більшій кількості клієнтів, але насправді цього ще треба було досягти. Отже, станом на кінець 1887 року змінний струм був утіленням як комерційної можливості, так і значних технічних проблем і ризиків. Хоча трансформатори могли піднімати й понижувати напругу, для інженерів компанії Вестінгауза й *Thomson-Houston* проектування ефективного трансформатора виявилось заважким завданням. Лунали також голоси критиків, стурбованих витратами, яких потребуватимуть великі електростанції змінного струму. Вестінгауз стверджував, що головна перевага змінного струму полягала в тому, що на околиці міста можна було спорудити велику установку, яка могла б виробляти дешеву електроенергію. Добре знайомі з труднощами залучення капіталу для будівництва станцій Едісон і чимало операторів центральних електростанцій вважали, що будівництво великих станцій змінного струму коштуватиме надто дорого, і виплати відсотків за інвестиціями зведуть нанівець будь-які операційні прибутки²²⁰.

Ще однією проблемою була безпека. Едісон і його партнери витрачали багато часу, намагаючись визначити, які теплоізоляційні матеріали будуть найкращими для їхньої низьковольтної системи; вони просто не вірили в те, що Вестінгауз зможе захистити людей від ураження струмом високої напруги²²¹. І, нарешті, кілька коментаторів вказували на те, що системи змінного струму, запропоновані компаніями Вестінгауза й *Thomson-Houston*, не були такими ж зручними та універсальними, як системи постійного струму: обидві компанії не мали лічильників для вимірювання того, скільки електроенергії використовував кожен окремий споживач або двигун, що забезпечував би живлення заводів і трамвайних ліній. Ретельно вивчивши всі плюси та мінуси змінного струму, Едісон зробив остаточний висновок, що він просто «не вартий уваги практичних людей»²²².

«КОЛУМБОВЕ ЯЙЦЕ»

Пек і Браун добре знали про ці тенденції в галузі електротехніки. На той час, попри зростання інтересу до електродвигунів, ніхто не міг із впевненістю стверджувати, що майбутнє — за змінним струмом. Отже, коли покровителі Тесли заохочували його працювати над електродвигунами, вони мали на увазі не роботу над двигуном змінного струму. На їхню думку, змінний струм був просто тимчасовою примхою — так, можливо, цікавою, але такою, яку надто складно наблизити до ідеалу. Можливо, було б краще, якби Тесла зосередився на двигуні постійного струму, готовий ринок збуту для якого вже існував?

Після кількох невдалих спроб обговорити з Пеком і Брауном плани щодо двигуна змінного струму Тесла зрозумів, що потрібна видовищна демонстрація. Показати Брауну баночку з-під крему для взуття, яка крутиться

в обертовому магнітному полі, було недостатньо; треба було зробити щось, що захопило б увагу його спонсорів.

Отож під час наступної зустрічі Тесла запитав Пека і Брауна, чи відома їм історія про «Колумбове яйце». Згідно з легендою, Христофор Колумб перемиг своїх критиків при дворі іспанської королеви Ізабели, запропонувавши їм встановити яйце вертикально. Після того як насмішники не змогли змусити яйце стояти, Колумб зробив це, злегка надломивши шкаралушу з одного кінця. Вражена тим, як Колумб перемиг опонентів, Ізабела заклала свої коштовності для спорядження кораблів у його експедиції²²³.

Коли Пек і Браун сказали, що чули цю історію, Тесла заявив, що може змусити яйце стояти, не розбиваючи шкаралуші. Якщо він зможе перевершити Колумба, чи погодяться співрозмовники фінансувати його експерименти зі змінним струмом? «Ми не маємо королівських коштовностей, щоб закласти їх, — відповів Пек, — але кілька дукатів у наших кишнях є, і, можливо, ми змогли б допомогти вам»²²⁴.

Щоб отримати ці дукати, Тесла прикріпив магніт із чотирма котушками до нижнього боку дерев'яного стола й підготував яйце з мідним покриттям і кілька кульок (рис. 4.4). Коли Пек і Браун наступного разу приїхали до лабораторії, Тесла поклав мідне яйце на стіл і подав на магніт два протифазних струми. Чоловіки були вражені, коли яйце стало вертикально, але коли воно, а разом і кульки, почали обертатися на стільниці, вони буквально оніміли з подиву. Це було схоже на магію, але Тесла доступно пояснив Пеку та Брауну, що яйце й кулі крутяться завдяки обертовому магнітному полю. Неабияк вражені цією демонстрацією, обидва спонсори стали активно підтримувати роботу Тесли над електродвигунами змінного струму.

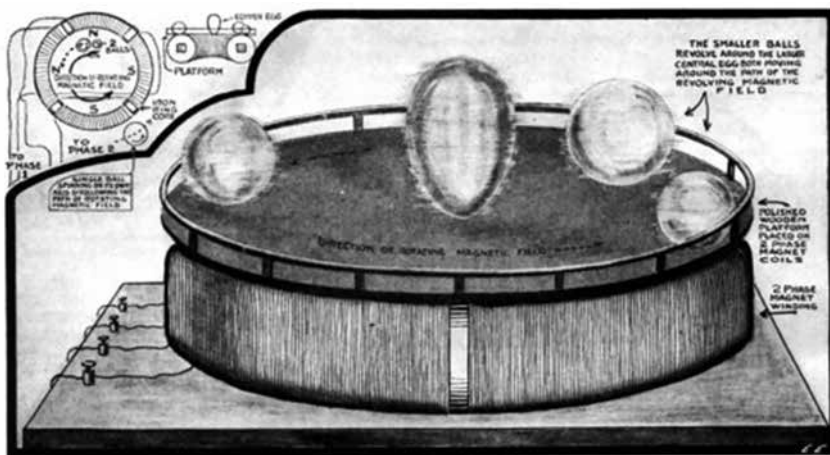


Рис. 4.4. Прилад Тесли «Колумбове яйце», близько 1887 року.
Джерело: Tesla's Egg of Columbus, *Electrical Experimenter* 6:774–75ff.
(March 1919), на с. 774.

Цей епізод підштовхнув Теслу до розуміння того, що винахідник має бути певною мірою шоуменом, щоб створювати правильну ілюзію про свої творіння. Люди некладають кошти у винаходи, що демонструються за допомогою бляшанок; вони інвестують у проекти, які захоплюють їхню уяву. Щоб привернути увагу глядачів, часто доводиться спиратися на метафори, історії та теми, популярні в певній культурі, — саме це зробив Тесла, звернувшись до випадку з Колумбом. Заволодівши увагою Пека і Брауна, Тесла вже міг спрямувати їхні думки на комерційний потенціал свого двигуна.

ВИГОТОВЛЕННЯ БАГАТОФАЗНИХ ДВИГУНІВ

Зумівши переконати Пека й Брауна «Колумбовим яйцем», Тесла став активно працювати над двигунами, в яких використовувалося обертове магнітне поле. За допомогою Сігеті він виготовив два основних двигуни змінного струму, які використовував майже у всіх своїх експериментах 1887 та 1888 років. Першим був пристрій під назвою «Колумбове яйце», який складався з великого ламінованого кільця (статора) із залізним диском (ротором), який обертася у його центрі (рис. 4.5)²²⁵. У другому двигуні Тесла також використав ламіноване кільце, але цього разу він розмістив чотири котушки на виступах всередині кільця (рис. 4.6). В цьому випадку він спробував використати кілька різних роторів,

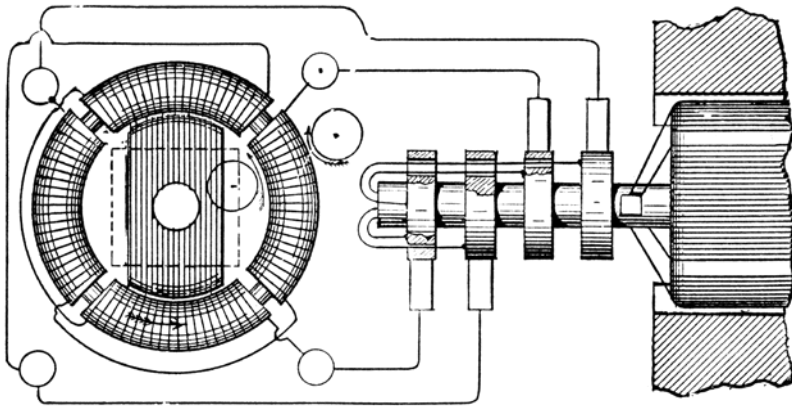


Рис. 4.5. Основна установка Тесли для експериментування з електродвигунами змінного струму восени 1887 року.

Зліва на цьому рисунку двигун, справа — генератор. Генератор виробляв два окремі змінні струми, як показують чотири рухомі кільця на роторному валу. Двигун складався зі статора (котушки у формі тора) та прямокутного сталевого ротора в центрі торової котушки. Статор мав чотири окремі котушки, попарно з'єднані з генератором. Коли два струми, вироблені генератором, мали зміщення відносно один до одного на 90 градусів, вони створювали в статорі обертове магнітне поле, а вже воно змушувало ротор обертатися на своєму валу.

Джерело: TCM, The Inventions, Researches, and Writings of Nikola Tesla, 2-ге вид. (1894; перевид. 1995), рис. 9 на с. 16.

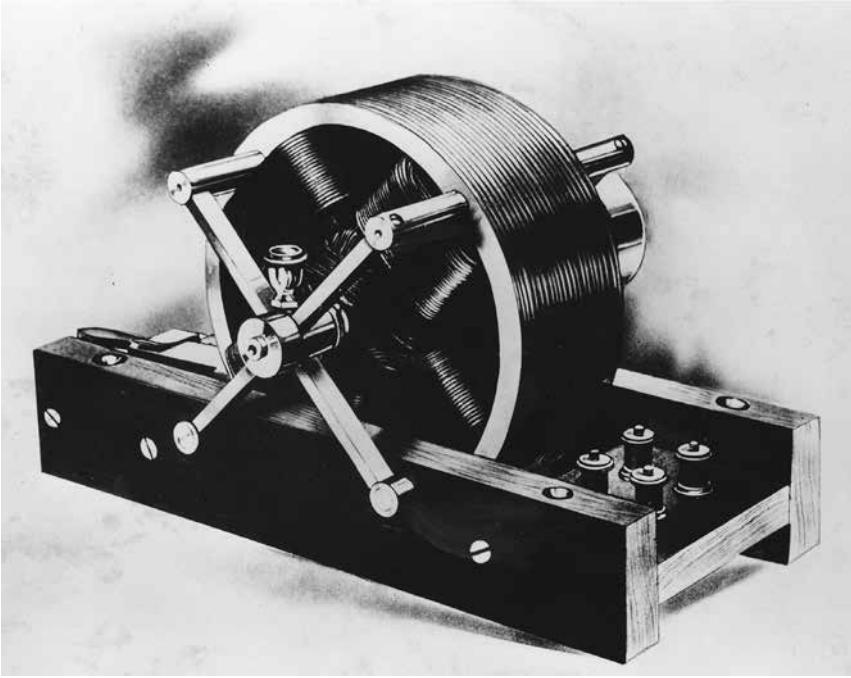


Рис. 4.6. Двигун Тесли, сконструйований у 1887–1888 рр. Джерело: NTM.

зокрема дисковий і барабанний²²⁶. Винахідник побачив, що двигуни обох конструкцій працювали, і коли він змінював полярність електричних контактів, двигуни вмиг змінювали напрямок обертання. Тесла був надзвичайно задоволений цими двигунами. Пізніше він писав: «Вони були саме такими, як я їх уявляв. Я не робив жодних спроб покращити конструкцію, а просто відтворював ті картини, які поставали перед моїм внутрішнім зором, і пристрої працювали саме так, як я очікував»²²⁷.

Оскільки в цих двигунах використовувалися два або більше змінні струми зі зміщенням за фазою відносно один одного, Тесла назвав їх багатофазними двигунами. Він був не єдиним винахідником, який на той час працював над електродвигунами змінного струму, але його багатофазні двигуни суттєво відрізнялися від розроблених Еліу Томсоном та іншими конкурентами. По-перше, конструкція двигуна Тесли залишалася простою, оскільки він зосереджувався на тому, щоб викликати обертання ротора, індукуючи в ньому вихрові струми, а не підводячи до нього струм ззовні. По-друге, в основу його двигуна було покладено явище, яке не зустрічається в безпосередньому вигляді у природі, — обертове магнітне поле. І, по-третє, на відміну від будь-кого зі своїх сучасників, Тесла прагнув використати кілька змінних струмів для створення магнітного поля.

До кінця 1887 року Пек і Браун визнали, що Тесла винайшов чудовий новий електродвигун змінного струму і стали рішуче наполягати, щоб він

запатентував свої ідеї. Пек порадив Теслі проконсультуватися з юридичною фірмою *Duncan, Curtis & Page*. Сам він був високої думки про цю фірму й запевнив Теслу, що вона оформить надійні патенти на його винаходи. У *Duncan, Curtis & Page* роботою з патентом Тесли зайнявся один із компаньйонів цієї фірми – Паркер В. Пейдж (1862–1937). Випускник Гарвардського університету, Пейдж, імовірно, особливо зацікавився двигунами Тесли, оскільки його батько, Чарльз Графтон Пейдж, у 1840–1850-х роках працював над створенням електродвигунів і навіть розробив локомотив, який повністю працював від акумулятора. Крім того, тема патентів була дуже важливою для родини Пейджів. Вже в похилому віці Чарльз Графтон Пейдж зареєстрував через Конгрес спеціальний патент на загальну форму індукційної котушки; після смерті Пейджа його вдова Прісцила переконала *Western Union*, і фірма придбала права на цей патент за 25 000 доларів плюс роялті від ліцензіатів. Беручи до уваги роботу батька над електродвигунами та успіх матері у продажі патенту для *Western Union*, Паркер Пейдж був ідеальним адвокатом для роботи над патентами на двигуни Тесли²²⁸.

Офіс компанії *Duncan, Curtis & Page* був розташований на Бродвеї, 120, у тому самому будинку, що й кабінет Пека, неподалік лабораторії Тесли на Ліберті-стріт. Тесла регулярно відвідував офіс Пейджа і приносив йому ескізи та технічні описи своїх ідей. Винахідник ретельно готував письмові технічні звіти не тільки для того, щоб порадитись із Пейджем із приводу своїх експериментів, він сподівався згодом написати книжку з назвою «Історія тисячі й одного двигуна змінного струму». Як розповідав Пейдж, у своїх звітах Тесла описував загальні принципи, а не просто конкретні конструкції двигунів. Використовуючи описи та ескізи Тесли, Пейдж складав патентні заявки, а винахідник потім перевіряв і коригував їх²²⁹.

У цій спільній праці Пейдж і Тесла мали ухвалити стратегічне рішення: як Теслі захистити свій винахід? До цього часу Тесла дотримував звичаю більшості винахідників і подавав патентні заявки на конструкцію окремих компонентів: наприклад, для системи дугового освітлення він подав окремі заявки на динамо, лампу та регулятор. Однак тепер Пейдж і Тесла вирішили, що серія заявок на конструкції окремих частин багатофазного двигуна не віддзеркалюватиме суті винаходу. Іще з часів навчання Тесла думав про свій двигун як про систему і тепер хотів представити свій винахід світові саме як систему. Тому вони з Пейджем обрали сміливу стратегію: подати заявку на цілу систему використання багатофазних двигунів для передачі електроенергії.

Переконаний у тому, що його двигун потрібно розглядати як цілісну систему, Тесла 12 жовтня 1887 року подав комплексну патентну заявку²³⁰. У ній йшлося не тільки про винахід нового двигуна змінного струму, а й про нову систему передачі електроенергії. Готовий до того, що експерти Патентного відомства можуть не зрозуміти, як працює його новий двигун, Тесла виклав свою теорію про обертання ротора за допомогою обертового магнітного поля.