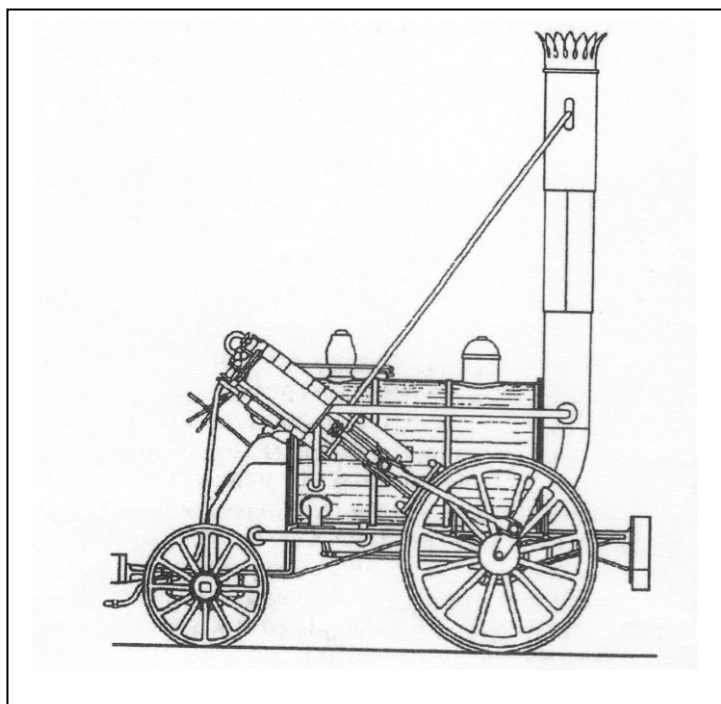


HISTÓRIA SILNOPRÚDOVEJ ELEKTROTECHNIKY

Z hľadiska vplyvu elektrotechniky na rozvoj spoločnosti už hrala silnoprádová elektrotechnika koncom 19. a na začiatku 20. storočia významnú úlohu. Avšak ešte oveľa skôr v 18. storočí sa objavil stroj, ktorý sa zdal byť nadhlo široko využiteľný v priemysle, v doprave a na pohon rôznych zariadení. Pravdepodobne v roku 1712 bol totiž objavený **parný ("ohňový") stroj** (často ešte označovaný ako atmosférický), ktorý zostrojil anglický kováč THOMAS NEWCOMEN. (Jeho predchodcami boli rôzne pokusy o zhotovenie strojov poháňaných parou. O to sa pokúšal v 16. storočí napr. Leonardo da Vinci a v roku 1663 Angličan Edward Somerset, ktorý získal patent na tzv. parnú pumpu.) Stroj sa používal i napriek nízkej energetickej účinnosti na pohon banských čerpadiel skoro 100 rokov. Konal kývavý pohyb s frekvenciou 10 zdvihov za minútu, neskôr až 20 zdvihov za minútu. Newcomenov stroj podstatne zdokonalil škótsky mechanik JAMES WATT (1736-1819), ktorý bol v roku 1757 ako 21-ročný poverený opravou Newcomenovho ohňového stroja. Prvé vylepšenie prestavoval externý parný kondenzátor a náhrada využívania atmosférického tlaku čerstvou parou (1759). Na tento prvý, tzv. jednočinný parný stroj získal J. Watt patent v roku 1769. V ňom už použil aj prevodník priamočiareho pohybu piesta na rotačný a zaviedol aj zotrvačnik na odstránenie problému "mŕtveho bodu" v krajných polohách piesta. Stroj spotreboval len asi štvrtinu množstva uhlia oproti stroju vytvoreného Newcomenom. Ďalšie zdokonalenie J. Watt dosiahol v roku 1782 vytvorením dvojčinného parného stroja a v roku 1788 Watt stroj doplnil o tzv. odstredivý regulátor množstva pary privedenej do valca. Neskôr sa úsilie J. Watta a ďalších sústredilo na využitie parného stroja v doprave, no stroje ("parné samohyby") boli ťažké a málo výkonné. V roku 1800 sa ukončila platnosť Wattovho patentu a bolo možné stroje ďalej zdokonaľovať. V roku 1807 sa v USA objavil **prvý riečny parník**. Pokusy s parovozmi pohybujúcimi sa na koľajniciach (1808 Londýn) stroskotali pre veľkú hmotnosť stroja, pod ktorým koľajnice praskali. **Prvá parná lokomotíva** sa objavila na trati Manchester-Liverpool v roku 1829; jej konštruktérom bol GEORG STEPHENSON. Dokázala vyvinúť rýchlosť až 56 km/hod. Do Európy sa parné stroje dostali trochu neskôr aj kvôli tomu, že Angličania zaviedli na ich predaj embargo.



Obr. 1. Stephensonova parná lokomotíva "Rocket" z roku 1829

19. storočie sa stalo "storočím pary" vzhľadom na búrlivé rozšírenie parných strojov a následne aj parných turbín (1883 Švéd Laval, 1884 Angličan Parsons) a ich použitie na pohon rôznych zariadení, okrem iného i na pohon generátorov elektrického prúdu. Na rozvoj parných turbín mal veľkú zásluhu aj Slovák pôsobiaci v Zürichu Aurel Stodola.

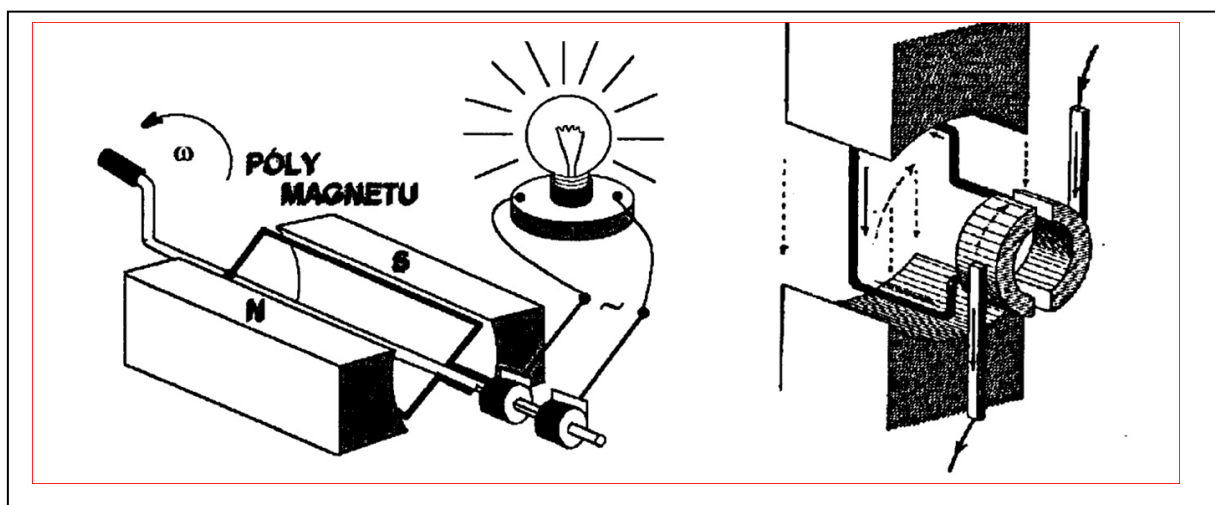
V čase, keď už našiel Wattov parný stroj významné použitie v praxi, elektrotechnika len vznikala. Ako vieme, prvý galvanický článok bol predvedený v roku 1800 (Voltov stĺp) a prvé poznatky o silovom pôsobení magnetických polí na vodič prúdu boli známe až v roku 1821 (Ampérov silový zákon). Zákon elektromagnetickej indukcie ako základ pre konštrukciu generátorov elektrického prúdu (dynamá, alternátory) bol objavený v roku 1831 (M. Faraday, J. Henry). Vtedy nikto netušil, že parné stroje budú neskôr nahradené benzínovými spaľovacími motormi a - elektromotormi. To nastalo koncom 19. storočia. Objav trvalejšieho zdroja elektrického napätia, ktorý nahradil Leidenskú fľašu, viedol aj k rozvoju použitia elektriny na svietenie (oblúkové lampy, žiarovky). Dnes pod pojem "silnoprúdová elektrotechnika" zaraďujeme najmä oblasť elektromotorov, generátorov elektrického prúdu (spoločne označované ako elektrické stroje), rozvod elektrickej energie (transformátory, rozvodné vedenia) a elektrické osvetľovanie. V tejto kapitole sa budeme zaoberať práve históriou klasických silnoprúdových zariadení.

1. Z histórie elektrických strojov

Elektrické stroje zaznamenali 3 vývojové etapy (delenie je približné):

1. Do roku 1860 - objavy fyzikálnych princípov, prvé modely s malým výkonom; snaha bola dosiahnuť, aby sa vplyv magnetického poľa na vodič prúdu premenil na rotačný pohyb.
2. 1860 - 1910: začali sa využívať teoretické poznatky na zdokonaľovanie elektrických strojov, dochádzalo k postupnej náhrade galvanických článkov generátormi, najskôr jednosmerné systémy, po roku 1888 už aj striedavé stroje a prístroje. Elektrické stroje zvyšovali svoj výkon rôznymi technickými úpravami a začali postupne nahrádzať parné stroje.
3. Po roku 1910 sa elektrické stroje stali neoddeliteľnou súčasťou priemyslu, začali sa používať nové poznatky a využívať nové materiály na konštrukciu "takmer dokonalých výrobkov".

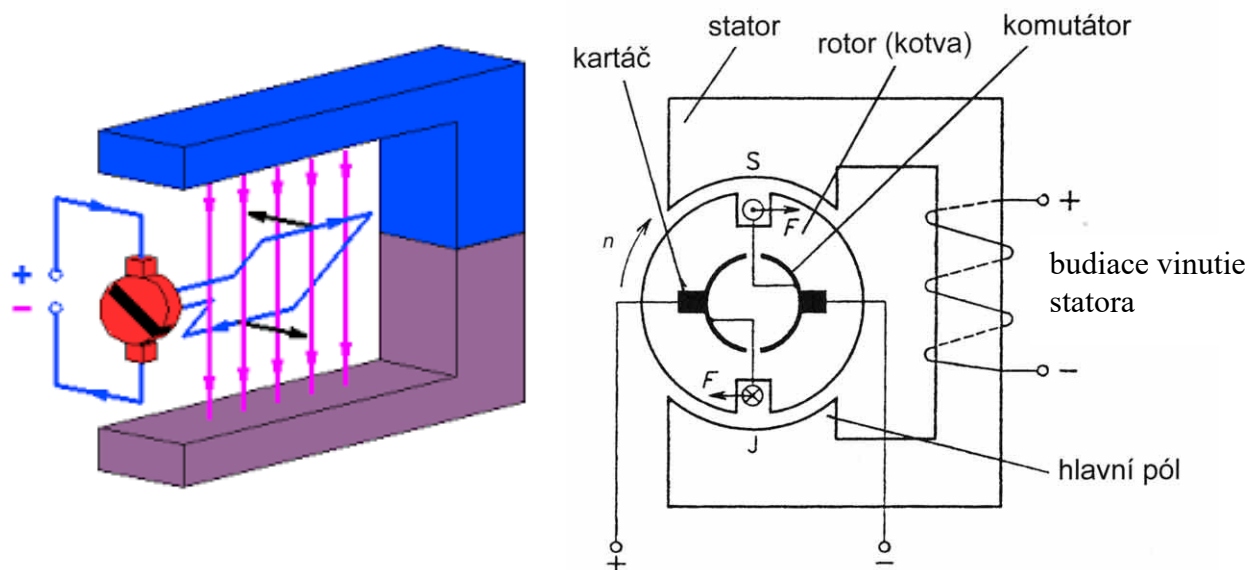
Najprv si stručne pripomeňme **základné princípy činnosti elektrických strojov**.



Obr. 2. Princíp činnosti generátora elektrického prúdu (vľavo) a dynamo (vpravo)

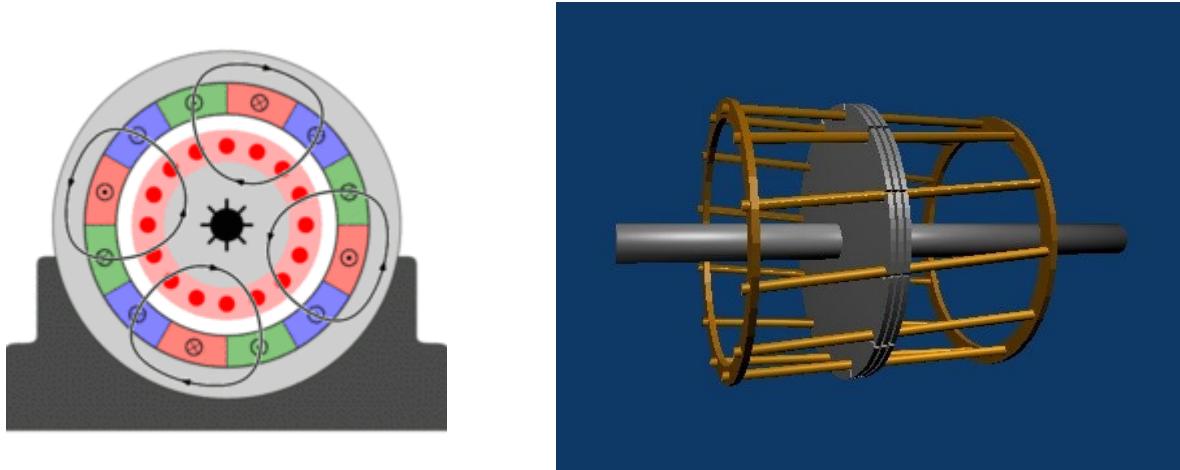
Na obr. 2 vľavo je znázornený princíp **alternátora** - generátora striedavého prúdu. Zariadenie principiálne pozostáva z uzavretej prúdovej slučky, ktorá rotuje okolo pevnej osi stálou uhlovou rýchlosťou (stálou frekvenciou) v magnetickom poli (v tomto prípade vytvorenom trvalým magnetom). V častiach vodivej slučky rovnobežných s osou otáčania vzniká indukované napätie; indukované napätia v týchto častiach sa sčítajú (sú to akoby dva zdroje napätia zapojené do série). Na rotujúcu slučku sú pripojené zberné kotúče, napájajúce obvod so žiarovkou. Žiarovkou prechádza striedavý harmonický prúd (matematicky opísaný časovo závislou sínusovkou), to jest podľa hodnoty frekvencie $f = \omega/2\pi$ otáčania sa za časovú jednotku zmení smer prúdu v žiarovke f - krát. Princíp **dynama** je obdobný, avšak vývody rotujúceho uzavretého vodiča sú pripojené na zberné kefky prostredníctvom tzv. komutátora - mechanického usmerňovača prúdu. V okamihu, kedy by sa mal zmeniť smer prúdu, sa pri rotačnom pohybe lamely komutátora vymenia, takže z dynama vychádza cez zberné kefky vývodmi do spotrebiča vždy jednosmerný prúd. Ten však nie je konštantný, ale "pulzujúci". Spotrebič (napr. žiarovka) nie je v pravej časti obrázku nakreslený.

Elektromotor (v dnes najčastejšie používanom usporiadaní) funguje principiálne tak, že medzi nehybnými pólmi magnetu alebo elektromagnetu (táto časť sa nazýva stator) sa nachádza pevná vodivá slučka, ktorou tečie prúd. Slučka je upevnená na pevnej osi otáčania, okolo ktorej sa môže otáčať. Túto rotujúcu časť nazývame rotor. Komutátor (na obr. 3 vľavo červenou farbou) zabezpečuje to, že v jednotlivých častiach otáčajúcej sa vodivej slučky rovnobežných s osou tečie vždy prúd tým istým smerom. Na každú takúto časť slučky pôsobí v magnetickom poli „magnetická sila“ daná Ampérovým silovým zákonom (vyjadrujúcim silu, pôsobiacu na vodič prúdu v magnetickom poli). Tieto sily majú na protiľahlých častiach slučky opačný smer. Na rotor teda pôsobí "moment dvojice magnetických síl", ktorý roztáča os elektromotora.



Obr. 3. Princíp činnosti jednoduchého jednosmerného elektromotora (obr. vľavo). Na obrázku vpravo je konštrukčná úprava, v ktorej je permanentný magnet nahradený elektromagnetom s budiacim vinutím a vodivá slučka je uložená v drážkach pevného rotora (rotor sa často z historických dôvodov označuje ako „kotva“). Moderné elektromotory sú oveľa zložitejšie a majú rôzne modifikácie v konštrukcii rotora i statora a spravidla sú napájané striedavým prúdom, veľmi často trojfázovým.

Najčastejšie používaným elektromotorom (na striedavý prúd) je **asynchrónny elektromotor** (často označovaný aj ako **indukčný**). Jeho rotor sa obvykle skladá zo sady vodivých tyčí, usporiadaných do tvaru valcovej klietky (obr. 4). Tyče sú na koncoch vodivo spojené a rotor sa potom nazýva „kotva nakrátko“. Pri stojacom motore otáčavé magnetické pole statora budí (indukuje) v tyčiach rotora elektrické prúdy, ktoré vytvárajú elektromagnetické pole rotora. Obe magnetické polia potom vzájomnou interakciou vytvárajú krútiaci moment rotora. Otáčky rotora spočiatku vzrastajú. Priblížením otáčok rotora "otáčkam" magnetického poľa statora klesajú indukované prúdy a intenzita nimi vytváraného poľa, klesajú tým i otáčky rotora a zároveň točivý moment motora. Pokiaľ je motor aspoň minimálne zaťažovaný, nikdy nedosiahne otáčky danými frekvenciou napájacieho napätia - nikdy s nimi nebude synchronný - z toho názov asynchrónny motor.

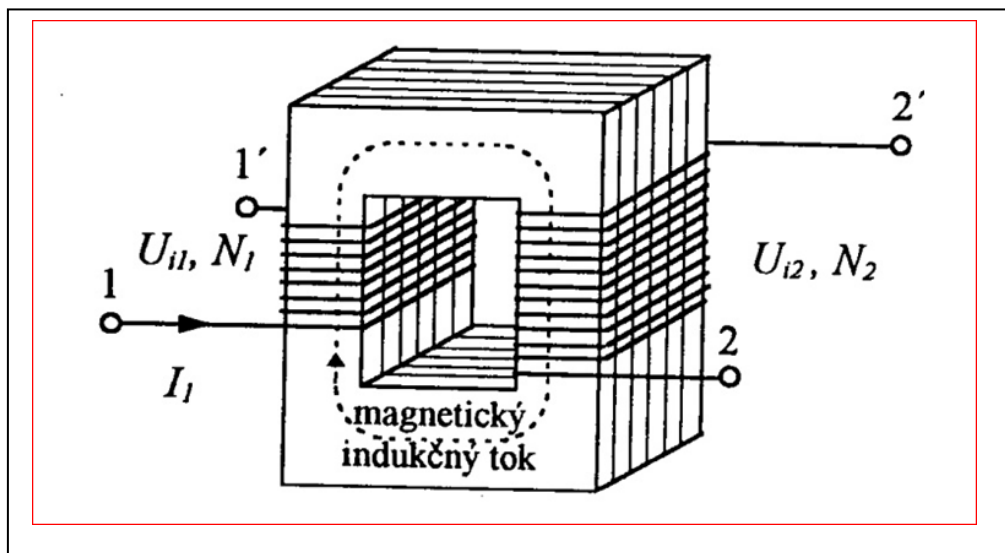


Obr. 4. Vznik otáčavého magnetického poľa v statore viacfázového asynchrónneho motora (vľavo) a rotor tvaru valcovej klietky (vpravo). Používa sa aj iný typ rotora, tzv. "krúžková kotva". Vo vinutí statora prechádza trojfázový striedavý prúd vytvárajúci otáčavé magnetické pole. Prevzaté z https://cs.wikipedia.org/wiki/Asynchronní_motor

Stručný prehľad typov elektromotorov možno nájsť napríklad na

<http://www.eriks.sk/eriks.asp?pageid=2941>

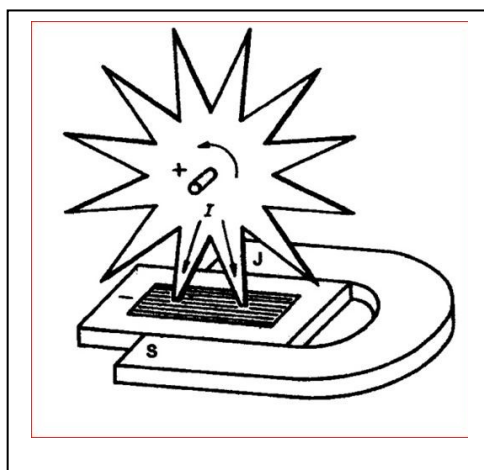
Ďalším zariadením, používaným najmä pri rozvoде elektrickej energie (striedavý prúd), ktoré funguje na princípe elektromagnetickej indukcie, je **transformátor**. Pozostáva z dvoch cievok navinutých na spoločnom jadre z mäkkého feromagnetika (obr. 5). V zásade ide o zariadenie, ktoré použil už M. Faraday vo svojom prevratnom objave v roku 1831.



Obr. 5. Jednoduchý transformátor s tzv. pevnou väzbou. Na spoločnom jadre zloženom z tenkých plechov z mäkkého feromagnetika sú navinuté dve cievky s počtom závitov N_1 a N_2 . Ak v prívodoch prvej cievky 1-1' prechádza časovo premenlivý prúd I_1 , na svorkách druhej cievky 2 - 2' vzniká indukované napätie. Pomer samoindukovaného napätia U_{i1} na prvej cievke a indukovaného napätia U_{i2} na druhej cievke je daný pomerom počtu závitov na týchto cievkach.

Vývoj fyzikálnych princípov elektromotorov

Prvý známy zdroj elektrického napätia (Voltov stĺp) bol jednosmerný a je preto vcelku logické, že elektrotechnici pri vývoji elektrických strojov spočiatku za prakticky použiteľné považovali iba jednosmerné elektrické prúdy.

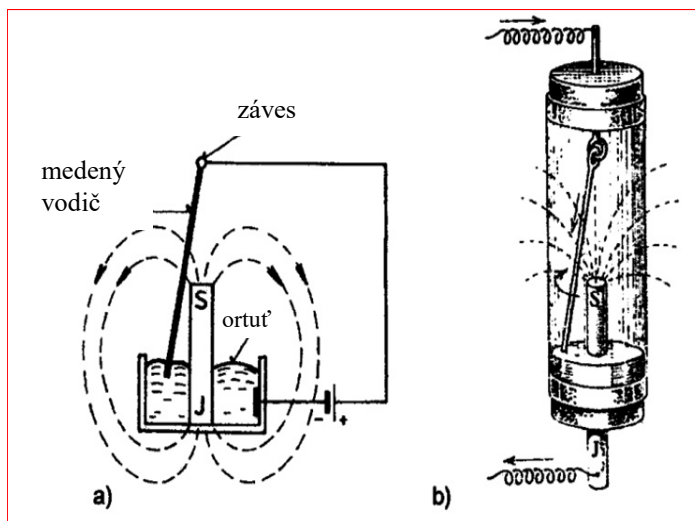


Pravdepodobne prvý, kto použil silové pôsobenie magnetického poľa na vodič prúdu s cieľom dosiahnuť rotačný pohyb, bol Angličan PETER BARLOW v roku 1821. Jeho zariadenie je na obr. 6. Hroty kotúča zhotoveného z vodivého materiálu sa postupne ponárajú do ortuti, pričom na nádobku s ortuťou a hriadeľ kotúča je pripojený Voltov stĺp. Medzi hriadeľom a ortuťou teda tečie časťou kotúča elektrický prúd. V magnetickom poli permanentného magnetu takto vzniká v tejto časti kotúča sila opísaná

Obr. 6. Kotúč P. Barlowa - princíp usporiadania

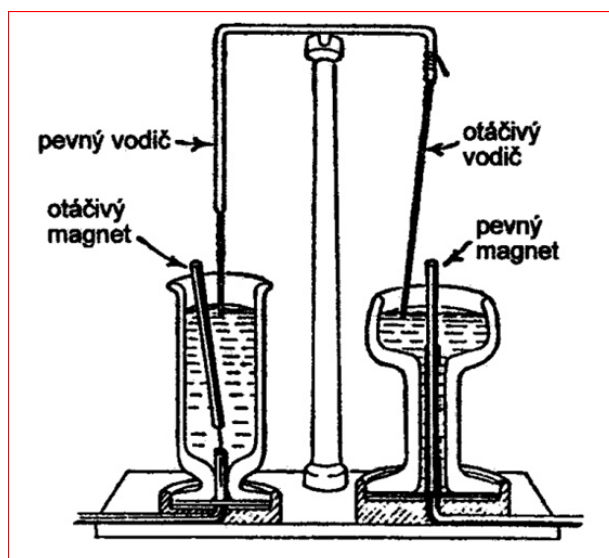
Ampérovým silovým zákonom. Moment tejto sily roztáča kotúč. (Barlowov kotúč by taktiež mohol fungovať aj ako dynamo, pokiaľ by bol kotúč vonkajšou silou roztáčaný. Medzi pohybujúcim sa hrotom a hriadeľom by vznikalo indukované elektromotorické napätie.)

V roku 1821 Faraday vykonal pokus s vodičom prúdu, ktorý sa nachádzal v poli permanentného magnetu (obr. 7). Medený vodič začal rotovať okolo osi magnetu, ak ním



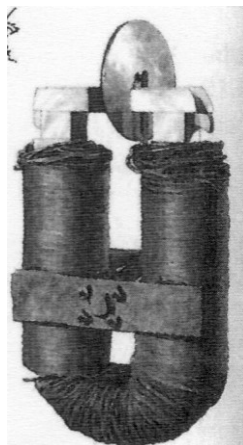
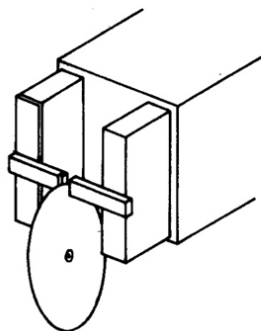
Obr. 7. Faradayov pokus s otáčavým vodičom nachádzajúcim sa v poli permanentného magnetu a) princíp pokusu b) praktická realizácia. Tento pokus uskutočnil a potom i zverejnil na základe rozhovoru H. Davyho a W. Wollastonea, ktorého bol M. Faraday svedkom. Následne bol týmito páňmi obvinený z plagiátorstva a vzťahy medzi nimi ochladli.

tiekol elektrický prúd. Bol to svojím spôsobom akýsi "elektromotorček", v ktorom hrala úlohu Ampérova sila pôsobiaca na vodič prúdu v magnetickom poli. Tento model mohol fungovať aj ako "dynamo". Neskôr Faraday vytvoril dvojicu takýchto zariadení na demonštráciu prenosu mechanickej energie elektrickým prúdom (obr. 8).



Obr. 8. Faradayov experiment s prenášaním mechanickej energie pomocou elektrického prúdu. Ľavá strana predstavuje "generátor" prúdu, pravá časť funguje ako "elektromotor".

M. Faraday interpretoval aj známy pokus francúzskeho fyzika Araga ako dôsledok existencie elektromagnetickej indukcie. Zmenil Aragovo usporiadanie experimentu a vytvoril tak vlastne zariadenie, ktoré navonok fungovalo podobne, ako *dynamo elektrického prúdu*. Dnes sa označuje aj ako **Faradayov kotúčik**. Bolo to medené koliesko točiace sa na mosadznej osi. Jeho obvod bol zasunutý medzi póly silného magnetu. Ak sa koleso točilo, vznikalo medzi bodmi na obvode a osou kolesa elektromotorické indukované napätie. Týchto bodov sa dotýkali medené kolektory (resp. kolektory z poamalgámovaného olova).



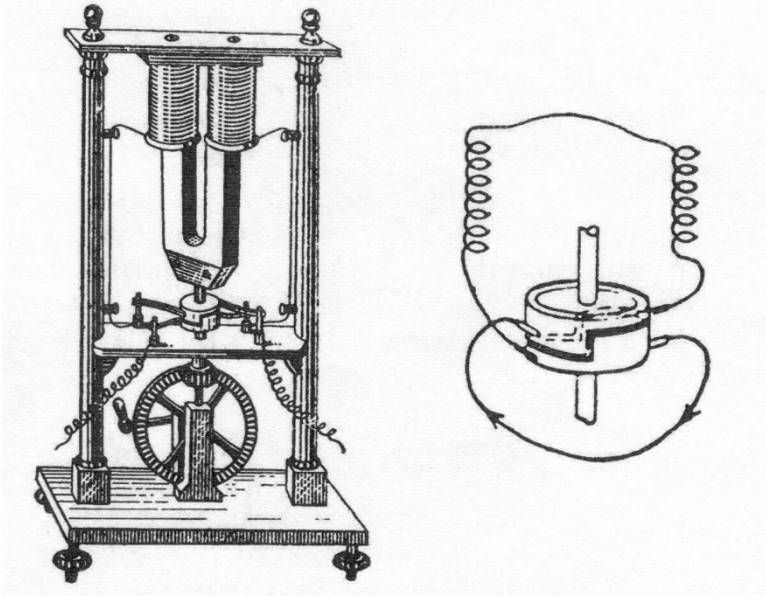
Obr. 9. Prvé "dynamo" zostrojené M. Faradayom v roku 1830. Na medenom kotúči sa pri jeho rotácii medzi pólmi magnetu indukuje elektrický prúd. Tento zdroj jednosmerného indukovaného napätia je vlastne homopolárny (unipolárny) elektrický stroj, využívajúci princíp rotácie vodivého kotúča v magnetickom poli na výrobu jednosmerného prúdu. Vpravo je modernejšia realizácia tohto stroja. Toto zariadenie nepotrebovalo mechanický usmerňovač - komutátor.

Ako sme už uviedli, ďalší experimentátori - tvorcovia nových typov zdrojov elektrickej energie (generátorov) si ich nevedeli predstaviť inak ako zdroje jednosmerného napätia/prúdu. Z tohto dôvodu ich vybavovali mechanickým usmerňovačom v skutočnosti striedavého indukovaného prúdu - **komutátorom**. Komutátor je dôležitou súčasťou dynama - zdroja "pulzujúceho" jednosmerného prúdu. Až neskôr sa ukázalo, že napríklad na osvetľovanie možno použiť i prúd striedavý, ak má dostatočne vysokú frekvenciu.

Na tomto mieste treba uviesť, že do histórie elektrických strojov významne prispel "zabudnutý vynálezca" slovensko-maďarského pôvodu ŠTEFAN ANIÁN JEDLÍK (1800-1895). V rokoch 1827-1829 ako študent lýcea v maďarskom Rábe zostrojil elektromotorček. Jeho rotor i stator boli vytvorené na báze elektromagnetu. Motorček používal unikátny ortuťový komutátor. Jedlík bol autorom asi 80 vynálezov, nielen v oblasti elektrotechniky. Jeho asi najvýznamnejší vynález bol vynález **dynama s vlastným budením z roku 1861**. Niektoré pramene udávajú dokonca rok 1858. Tým predbehol o niekoľko rokov nemeckého vynálezcu W. Siemensa a Angličana Ch. Wheatstonea, ktorí sa v literatúre považujú za vynálezcov tohto typu dynama. O Jedlíkovi je podrobnejšie spracovaná osobitná kapitola týchto učebných textov. Vynálezy tohto typu vznikali nezávisle od seba v rôznych častiach sveta, a preto asi nemá zmysel hľadať, "kto bol prvý". Napríklad sa v niektorých prameňoch uvádza, že v roku 1854 dánsky vynálezca S. Hjorth získal britský patent na elektrický stroj s vlastným budením. Na Jedlíka i na Hjortha sa však zabudlo...

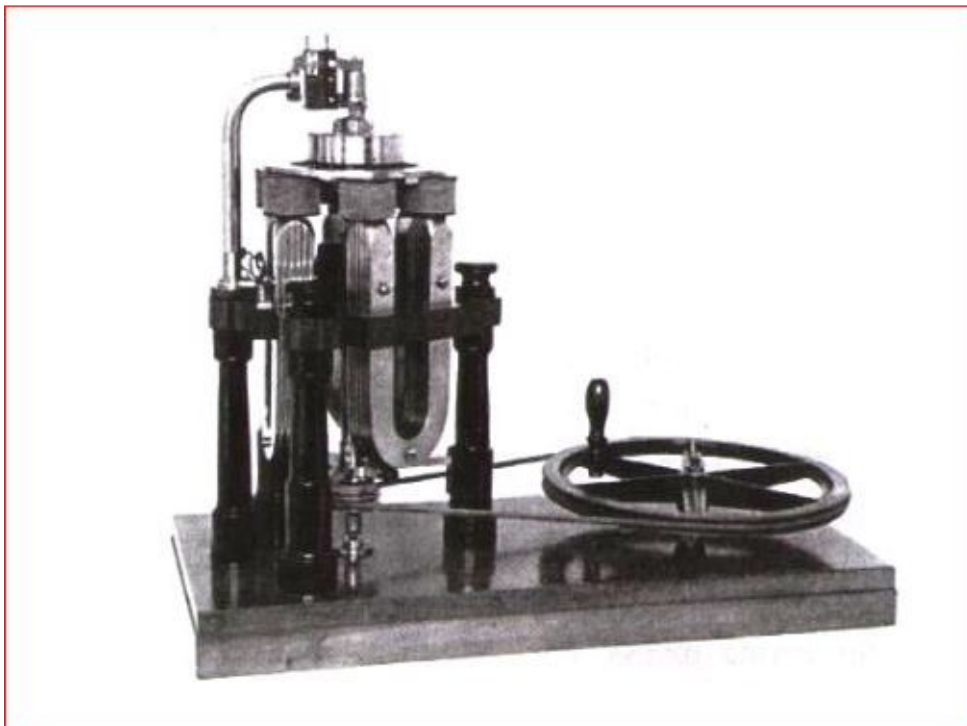
Jedným z prvých vynálezcov generátora prúdu bol aj HYPOLIT PIXII, parížsky mechanik. Jeho **dynamo pochádza z roku 1832**. Otáčajúci sa permanentný magnet tvaru

podkovy indukoval vo dvoch nepohyblivých cievkach striedavé napätie, ktoré bolo usmerňované mechanickým prepínačom, predchodcom komutátora



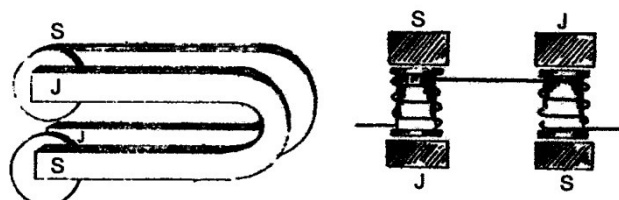
Obr. 10. Dynamo H. Pixiiho z roku 1832. Vpravo je Pixiiho prepínač, predchodca komutátora. Prepínač slúžil ako mechanický usmerňovač prúdu, pretože zariadenie vyrábalo striedavé napätie.

V roku 1843 lipský mechanik Emil STÖHRER zdokonalil Pixiiho dynamo. Použil 3 nepohyblivé navzájom pootočené podkovovité magnety, nad pólmi ktorých sa otáčalo 6 cievok - vznikalo striedavé elektrické indukované napätie v dôsledku časových zmien magnetického toku.



Obr. 11. Stöhrerov magnetoelektrický stroj (generátor prúdu) z roku 1834.

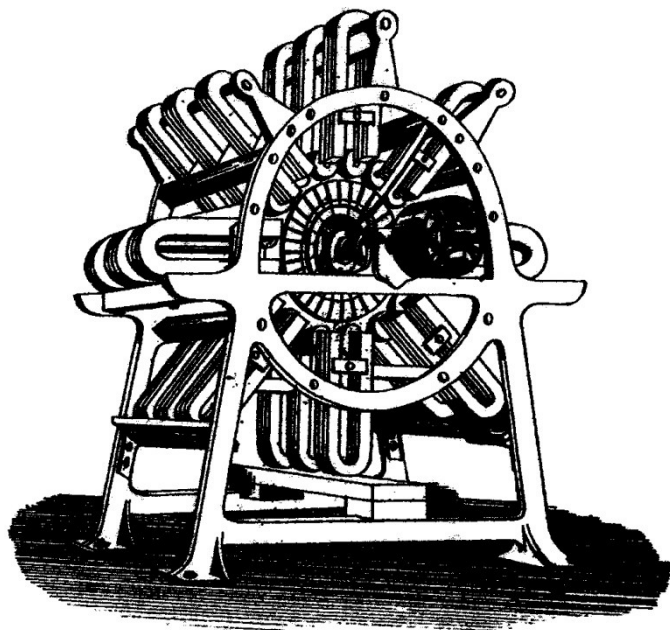
Neskôr sa pôvodný Pixiiho vynález ďalej modifikoval (Negro, Richie, Saxon, Clark, Petřina). Napr. český vynálezca Petřina zaviedol pohyb cievok kolmo k rovine magnetov (t. j. nie nad pólmi magnetov) - tým dosiahol zvýšenie hodnoty indukovaného napätia v dôsledku intenzívnejšieho magnetického poľa.



Obr. 8.7. Skica k Petřinově dynamu (dle Domalípa).

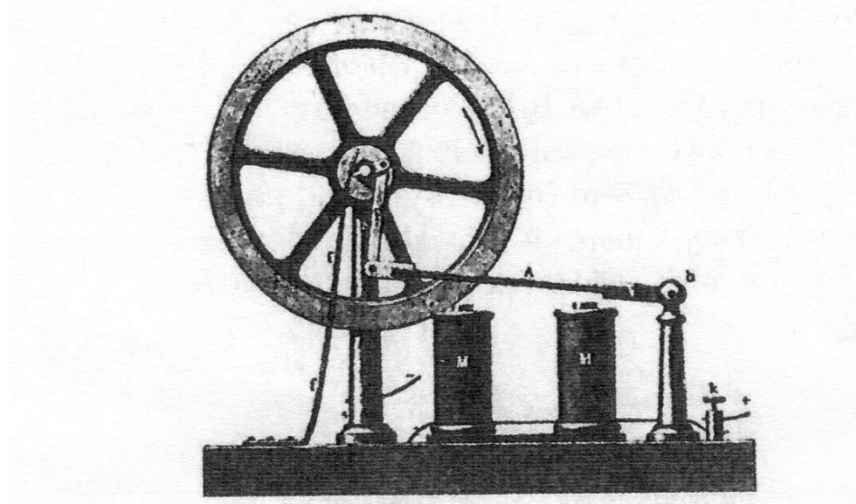
Obr. 11. Schématický náčrtok Petřinovo dynamu (prevzaté z knihy D. Mayera).

V rokoch 1849-52 bolo Petřinovo dynamo zdokonalené francúzskou firmou **Compagnie d'Alliance**. Rotor tvorili tri rovnobežné mosadzné dosky, na ktorých obvode bolo uložených 16 cievok, zapojených do série. Každá z dosiek sa pohybovala medzi pólmi permanentných podkovovitých magnetov, umiestnených lúčovite okolo osi stroja. Bol to **striedavý generátor**. Vyrábala sa spravidla bez komutátora. Najčastejšie sa preto používal na napájanie osvetlenia. Ukázalo sa, že zdroje svetla neblíkajú, ak je frekvencia napájacieho prúdu aspoň 20 Hz.



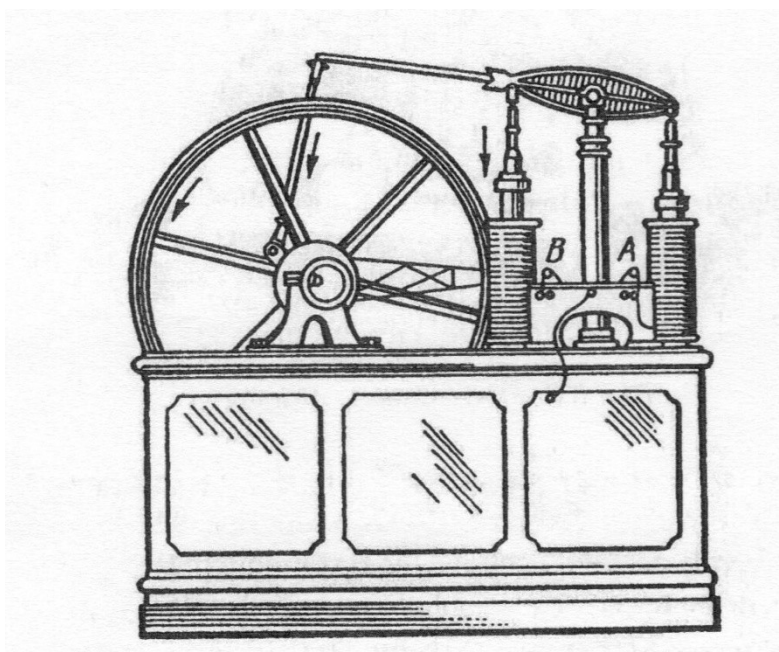
Obr. 12. Generátor francúzskej firmy Compagnie d'Aliance

Iné elektrické stroje z tejto etapy vývoja elektrických strojov by sa dnes javili dosť kuriózne. Napríklad v roku 1832 sa objavil **elektromotor**, v ktorom dva elektromagnety striedavo priťahovali železné jadro. Tento posuvný pohyb bol prevedený kľukovým mechanizmom na rotačný pohyb zotrvačníka. Postupné zapájanie a vypínanie elektromagnetov zabezpečoval prepínač uložený na hriadeli zotrvačníka (obr. 13).



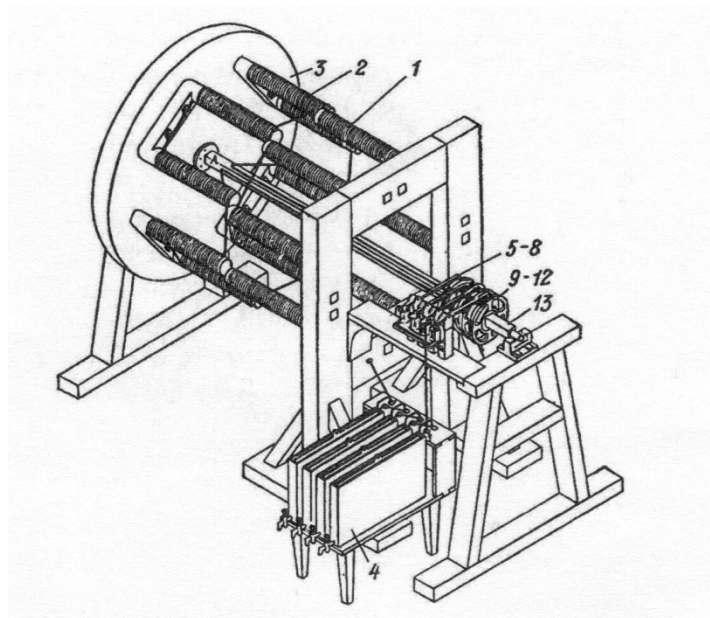
Obr. 13. Elektromotor s dvoma striedavo prepínanými elektromagnetmi a kľukovým mechanizmom pripojeným na zotrvačník (1832)

Tento elektromotor bol neskôr zdokonalený dánskym elektrotechnikom Sörenom HJORTHOM, ktorý bol zrejme inšpirovaný parným strojom s dvoma piestami a valcami. Piesty a valce parného stroja boli "nahradené" elektromagnetmi s priamočiarym pohybom jadier elektromagnetu, ktoré sa postupne zasúvali a vysúvali z cievok podobne, ako piesty parného stroja. Priamočiary pohyb bol prevedený kľukovým mechanizmom na pohyb rotačný (obr. 14).



Obr. 14. Hjorthov elektromotor s dvoma elektromagnetmi. Ich striedavé prepínanie zabezpečuje striedavý pohyb (priamočiareho) pohybu jadier elektromagnetov, ktorý je kľukovým mechanizmom prevedený na rotačný pohyb.

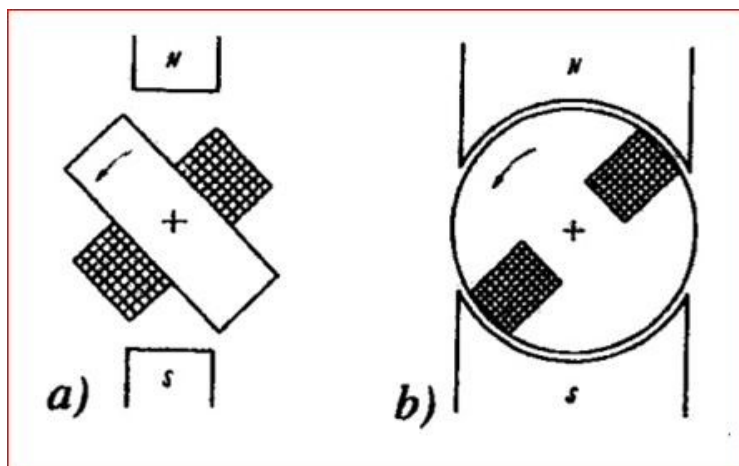
Iným typom elektrického stroja je tzv. **Jakobiho motor** z roku 1834. Autorom je B. S. JAKOBI. Motor získaval krútiaci moment vzájomným priťahovaním pevných a otáčavých podkovovitých elektromagnetov a bol napájaný galvanickými článkami. Prúd v cievkach sa zapínal a vypínal v požadovanej postupnosti zvláštnym typom prepínača (obr. 15). Pôvodne mal výkon 15 W. V roku 1838 bol zostrojený motor s výkonom až 500 W napájaný 320 galvanickými článkami. Používal sa na pohon člna na rieke Neva v St. Peterburgu, avšak ukázalo sa, že tento výkon je stále malý. Jakobi potom od ďalšieho experimentovania upustil.



Obr. 15. Jakobiho elektromotor z roku 1834.

Horeuvedené elektrické stroje nemali i napriek neraz veľkej hmotnosti a rozmerom väčšiu šancu na praktické využitie, boli to skôr zaujímavé aplikácie fyzikálnych zákonov s nízkym výkonom a malou energetickou účinnosťou.

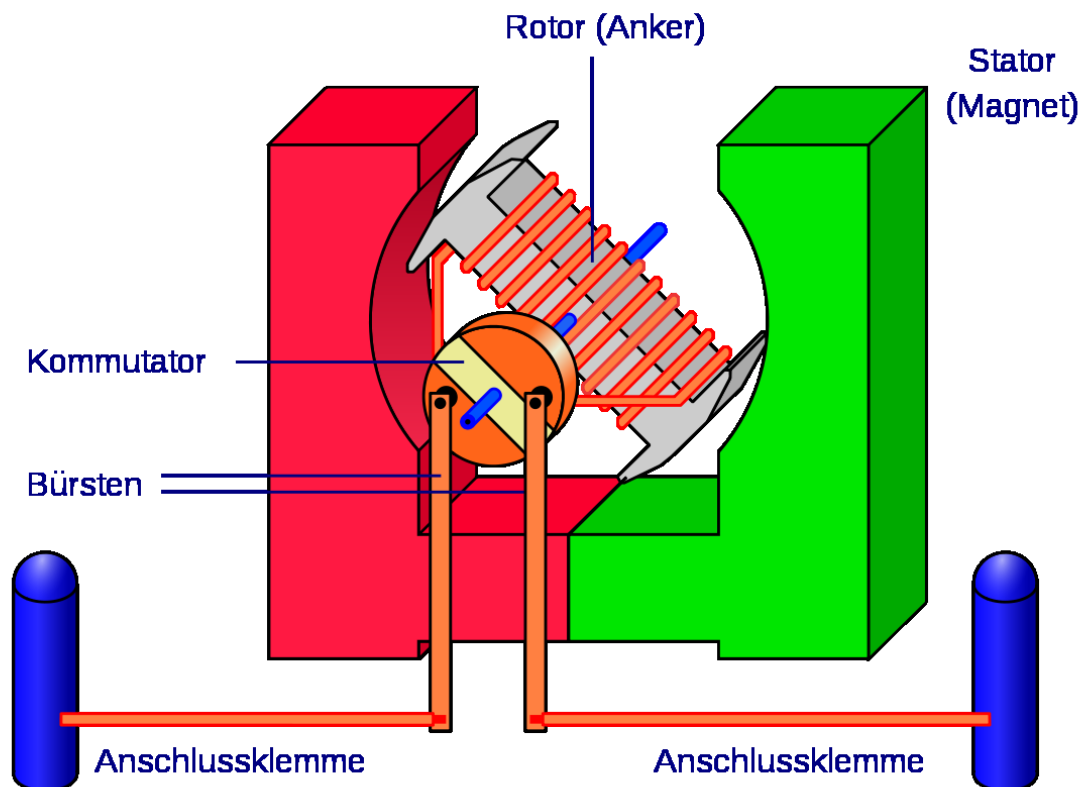
Vývoj jednosmerných elektrických strojov vhodných pre praktické použitie



Prvý **prakticky použiteľný jednosmerný stroj** navrhol WERNER von SIEMENS v roku 1856. Uvedomil si, že je žiaduce lepšie konštrukčne vyriešiť magnetický obvod stroja. **Cievku rotora**, v ktorej sa indukuje napätie, **navinul na železné jadro**, ktoré sa otáčalo medzi pólmi permanentného magnetu. Tým sa dosiahne to, že sa obmedzí rozptyl

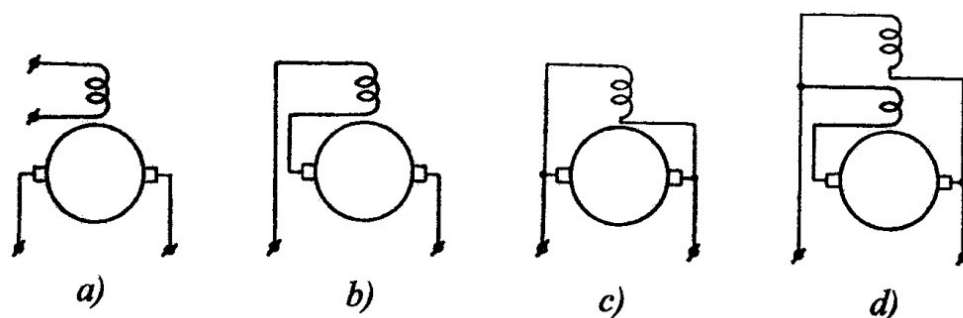
Obr. 16. Siemensova konštrukcia magnetického obvodu jednosmerného stroja z roku 1856
a) princíp b) kotva tvaru dvojitého T

magnetického toku do priestoru a oveľa väčšia časť magnetického toku bude viazaná s cievkou rotora. Preto na nej musí vzniknúť oveľa väčšie indukované napätie. Tento efekt ešte zosilnil vhodným tvarom rotujúceho jadra - nazval ho **kotvou tvaru dvojitého T** (obr. 16). Tento Siemensov stroj však mal stále malý výkon (30 W) a používal sa na zvončekovú signalizáciu telefónnych spojení alebo ako dynamo na odpaľovanie výbušných náloží.



Obr. 17. Nákres jednosmerného elektrického stroja s rotorom tvaru dvojitého T. Rotor (kotva, nem. Anker) je zhotovený z magnetu a je na ňom navinutá cievka. Komutátora sa dotýkajú kefy (nem. Bürsten) vytvorené z uhlíka. Stator je skonštruovaný z permanentného magnetu.

V roku 1867 W. Siemens urobil ďalší vývojový krok – použil tzv. **dynamoelektrický princíp**. Dovtedy sa magnetické obvody budili v elektrických strojoch permanentným magnetom. Aby bolo možné regulovať napríklad otáčky motora alebo veľkosť napätia dynama, nahradil sa permanentný magnet elektromagnetom napájaným z vonkajšieho zdroja napätia (batérie). Vznikol tak **stroj s cudzím budením**. Aby nebolo potrebné mať k dispozícii vonkajší pomocný zdroj, Siemens využil to, že magnetické materiály, z ktorých sú vytvorené elektromagnety (a na nich sú navinuté cievky) majú tzv. remanentný ("zvyškový") magnetizmus - sú zdrojom slabého magnetického poľa aj vtedy, ak cievkami prúd netečie. V cievke navinutej na kotve dynama sa teda indukuje malé napätie aj vtedy, ak elektromagnetom statora ešte netečie budiaci prúd. To znamená, že ak sa cievka navinutá na kotve (rotore) pripojí sériovo alebo paralelne na budiace vinutie elektromagnetu statora, budiaci prúd v statore sa postupne zväčšuje, až sa napokon dosiahne stav, že sa v cievke kotvy indukuje požadované napätie (tzv. menovité napätie). Vtedy je už v magnetoch nasýtený stav. Takto vznikol **elektrický stroj s vlastným budením**. Môže byť podľa spôsobu zapojenia cievok rotora a statora a) sériový b) paralelný (derivačný) c) kombinovaný (kompaundný) - pozri obr. 18.

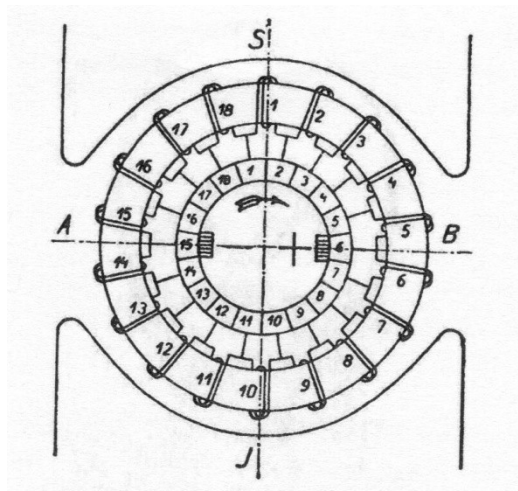


Obr. 8.15. Siemensův stejnosměrný stroj s cizím buzením (a) a s vlastním buzením: sériový (b), derivační (c) a kompaundní (d).

Obr. 18. Schéma Siemensovho jednosmerného stroja a) s cudzím buzením b) - d) s vlastným buzením. Prevzaté z knihy D. Mayera.

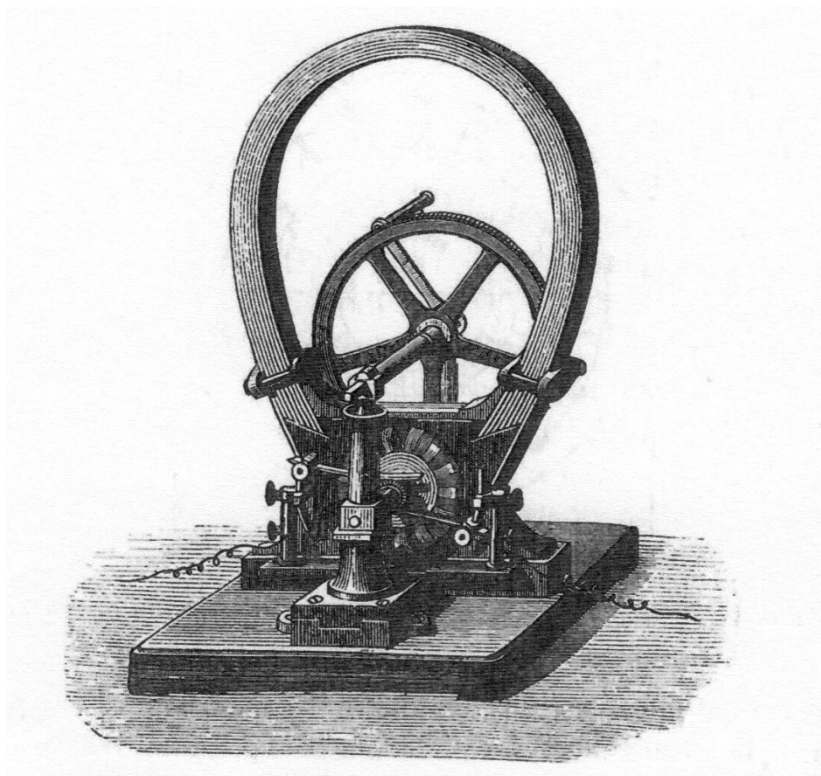
Tu ešte raz pripomeňme, že W. Siemens rozhodne nemá v týchto objavoch dynamoelektrického princípu časovú prioritu. Patentovú prihlášku stroja s vlastným buzením podal 14. 2. 1867. V tento deň mal CHARLES WHEATSTONE v Londýne prednášku, na ktorej opísal dynamoelektrický princíp a predviedol funkčný model stroja. Ale už v rokoch 1854 a 1855 získal dánsky vynálezca Sören HJORTH britské patenty na jednosmerný stroj, v ktorom boli fakticky použité princípy vlastného budenia. Ďalším "kandidátom" na svetové prvenstvo je aj Š. A. JEDLÍK, o ktorom sme už hovorili. Na rozdiel od menovaných si nikdy nijaký patent v tejto oblasti nepodal.

V roku 1860 Talian ANTONIO PACINNOTTI, profesor fyziky na univerzite v Pise skonštruoval **rotor (kotvu) v tvare prstenca** (toroidu), zhotoveného zo zvinutého železného drôtu. Na prstenci bola navinutá cievka, z ktorej boli vyvedené vývody k lamelám komutátora (obr. 19).



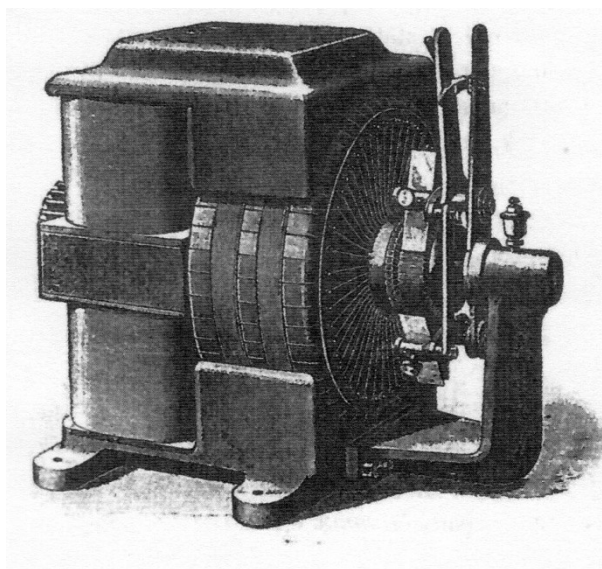
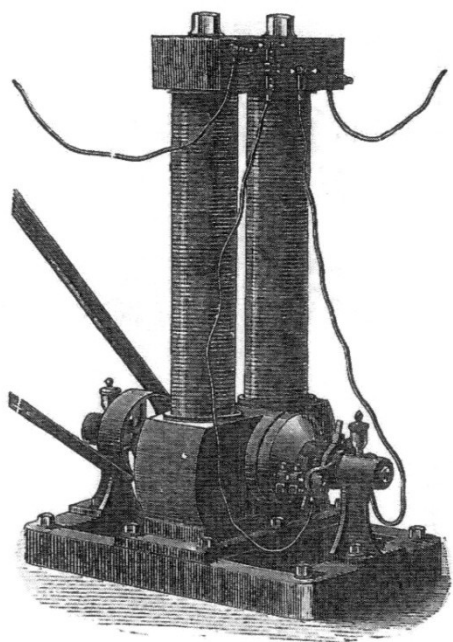
Obr. 19. Princíp jednosmerného elektrického stroja, v ktorom je rotor v tvare železného prstenca a na ňom sú navinuté závitky cievky rotora vyvedenej na lamely komutátora. Prstenec sa nazýva "Grammov prstenec" (Grammova kotva).

Pacinnottiho myšlienka sa neujala a až v roku 1873 ju oživil Belgičan ZÉNOBE THÉOPHILE GRAMME, zamestnanec francúzskej firmy Alliance. Rotor tohto typu stroja sa podľa toho nazýva *Grammova kotva* a vinutie na prstenci *prstencové vinutie*. Elektrické stroje s Grammovou kotvou už mali pomerne dobrý výkon. Na obr. 20 je **Grammovo dynamo** na ručný pohon. Výhodou Grammovej konštrukcie bolo to, že na rozdiel od Siemensovho dynama poskytovala nie príliš zvlnené svorkové napätie. Nevýhodou bolo, že magnetický prstenec nedovoľoval indukovať napätie na vnútornej strane prstenca (vytváral pre túto časť vinutia "magnetické tienenie"). Táto časť prstencového vinutia teda nebola využitá, no vznikali v nej úbytky napätia a znižovali účinnosť stroja. Výroba bola dosť prácna, keďže vinutie sa robilo ručne.



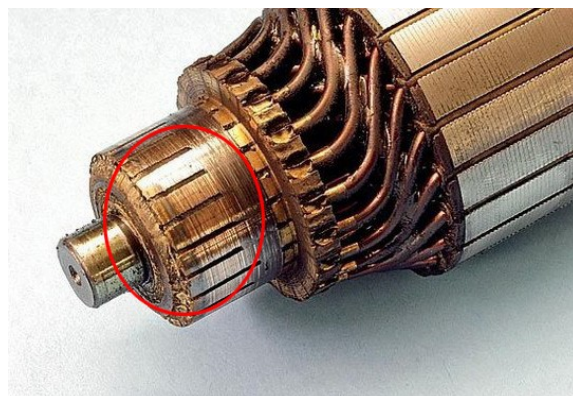
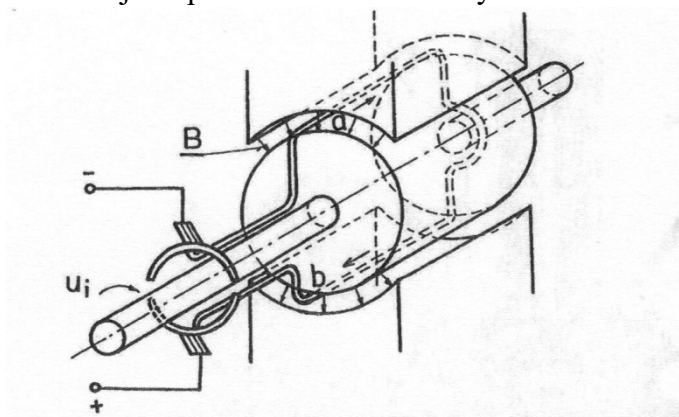
Obr. 20. Grammovo dynamo (asi z roku 1880). Bolo na ručný pohon. V spodnej časti je viditeľný prstenec (Grammova prstencová kotva) s navinutou cievkou.

Následne vznikali rôzne modifikácie konštrukcie Grammovej kotvy. Veľké množstvo takýchto strojov vyrábala Edisonova továreň (obr. 21 vľavo). Inou modifikáciou je dvojpólový jednosmerný motor s Grammovou kotvou, slúžiaci na pohon električiek (obr. 21 vpravo). Zberné ústrojenstvo je skonštruované tak, že počas prevádzky je možné nastavovať zberné kefky v závislosti od zaťaženia motora.



Obr. 21. Edisonov jednosmerný stroj (1879) a trakčný dvojpólový motor s Grammovou kotvou.

Nedostatky Grammovej kotvy v jednosmerných strojoch (napätie sa indukuje len na vonkajšej časti závitov cievky) odstránil FRIDRICH von HEFNER-ALTENECK (1845-1910), inžinier firmy Siemens und Halske. Zaviedol tzv. **bubnové vinutie**. V tomto type vinutia obe strany cievok ležia na vonkajšom povrchu telesa rotora (kotvy), pričom ak jedna strana cievky leží pod severným pólom statora, druhá strana leží pod južným pólom. Napätie sa teda indukuje súčasne na oboch stranách závitov cievok. Firma Westinghouse začala vyrábať drážkované kotvy, zložené z plechov. Tento princíp dvojpólového jednosmerného stroja sa používa dodnes v rôznych modifikáciách.



Obr. 22. Princíp bubnového vinutia dvojpólového jednosmerného stroja s komutátorom. Jednotlivé časti cievky sú navinuté na protichodných častiach telesa rotora a uložené na jeho povrchu (sú vložené do drážok). Indukované napätie teda vzniká v oboch častiach "a" aj "b" závitov cievky.

Koncom 19. storočia sa začali objavovať *empiricky* vyvíjané rôzne varianty magnetických obvodov, avšak neexistovala seriózna teória, ktorá by umožňovala optimalizáciu konštrukcie jednosmerných elektrických strojov. Konštruktéri používali empirické pravidlá a približné vzťahy a fyzikálne zákony si v podstate nevšimli. Bolo to dané aj tým, že Maxwellova teória bola vo svojej pôvodnej podobe v tomto období matematicky ešte veľmi zložitá a nedala sa jednoducho použiť na praktické aplikácie a výpočty.

Jedným z prvých tvorcov **teórie elektrických strojov** bol JOHN HOPKINSON (1849-1898), ktorý v rokoch 1867-1871 študoval na Trinity College univerzity v Cambridge. (tam študoval o 17 rokov skôr aj J. C. Maxwell). Od roku 1877 pracoval v anglickej pobočke Edisonovej spoločnosti. Bol autorom patentu na tzv. trojvodičové jednosmerné rozvody (dovtedy sa používali dvojvodičové) a vypracoval **metódy na riešenie magnetických obvodov jednosmerných dynám**. Zaoberal sa tiež výskumom feromagnetík používaných na konštrukciu magnetických obvodov. Je po ňom pomenovaný známy *Hopkinsonov vzťah*. Vo fyzike je známy ako analógia Ohmovho zákona pre magnetické obvody. Hopkinsonov vzťah používa popri pojme magnetického toku aj pojmy magnetického odporu a magnetického napätia.

Striedavé elektrické točivé stroje a trojfázová rozvodná sústava

Až do deväťdesiatych rokov 19. storočia sa používali výhradne jednosmerné elektrické stroje, používajúce komutátor. Taktiež na prenos elektrickej energie sa pôvodne používali jednosmerné rozvodné vedenia. Ale nezadržateľne sa začali objavovať striedavé generátory elektrického prúdu a prenos energie najprv dvojfázovými, potom trojfázovými rozvodnými sústavami. Súčasne sa začali objavovať striedavé elektromotory. Tieto technické riešenia sú spojené najmä s menami NIKOLA TESLA (1856-1943, pôvodom Srb, narodený na území dnešného Chorvátska, ktorý skončil svoju životnú púť aj kariéru v USA) a M. O. DOLIVO-DOBROVOLSKIJ (vynálezca ruského pôvodu, ktorý z Ruska odišiel do Nemecka.) Najmä o živote N. Teslu vyšlo mnoho publikácií a pripisovali sa mu aj niektoré záhadné hypotézy. To však nie je možné na tomto mieste podrobnejšie rozoberať. Pre vývoj elektrických strojov sa stal kľúčovou osobnosťou, pretože si položil za cieľ *zostrojil stroj bez komutátora*. Dráždilo ho najmä iskrenie, ktoré na komutátore jednosmerných strojov vznikalo. Životopis N. Teslu možno nájsť v knihe D. Mayera na str. 307.

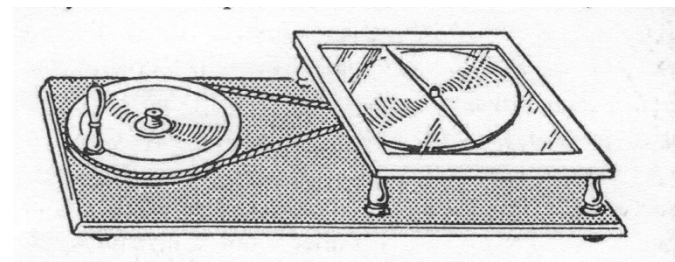
Myšlienka o vytvorení "stroja bez komutátora" N. Teslu napadla ešte v treťom ročníku štúdia v Grazi (Štajerský Hradec) na polytechnike, zrejme v roku 1879. Vtedy sa zoznámil s Grammovým systémom jednosmerného motora a keď videl iskrenie na zberačoch komutátora, vyslovil poznámku o tom, že treba zostrojil stroj bez komutátora. Jeho nápad veľmi pobúrili prítomného profesora fyziky. Tesla sa v tom čase venoval hazardným hrám a štúdiu aj pod vplyvom reakcie profesora zanechal. V roku 1880 študoval v Prahe na Karlovej univerzite matematiku, filozofiu a experimentálnu elektrotechniku u známeho docenta Domalípa. Po roku odišiel do Budapešti, kde po skončení štúdia pôsobil ako kreslič telegrafného úradu. N. Tesla vo svojom životopise uvádza, že predstavu točivého magnetického poľa si vytvoril vo februári 1882 pri prechádzke v parku v Budapešti. Následne odišiel do Paríža, kde pôsobil ako konštruktér elektrických strojov v európskej pobočke Edisonovej továrne *Continental Edison Company*. Firma ho vyslala do Strassburgu, kde sa uvádzala do chodu nová elektráreň. V jej dielňach zostrojil prvý asynchrónny motor. O jeho vynález však nemala firma záujem. Sklamany odišiel v roku 1884 do USA. Nastúpil vo firme *Edison Machine Works* ako projektant jednosmerných strojov. Pracoval veľmi intenzívne a snažil sa vzbudiť u Edisona záujem o jeho stroj poháňaný striedavým prúdom.

To však sa mu nepodarilo, pretože Edison zastával myšlienku o perspektívnosti jednosmerného prúdu a koncepcia striedavého motora mu do tejto koncepcie nezapadala.

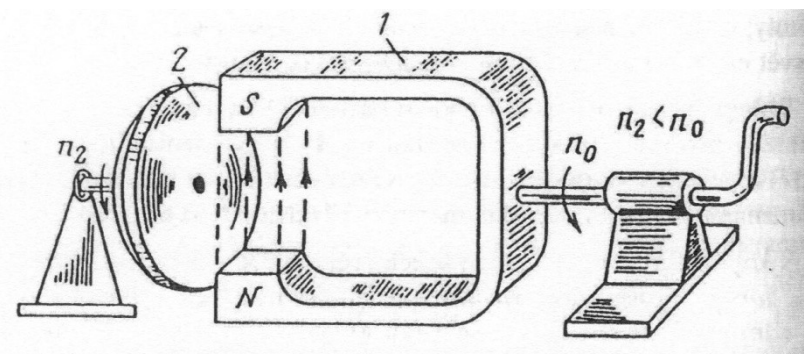
V roku 1886 Tesla odchádza z firmy a zakladá vlastnú firmu *Tesla Electric Co.* Získal rad patentov na striedavé stroje - motory aj generátory, no stále sa nepresadil svojím objavom asynchrónneho motora. Na výzvu Spoločnosti amerických inžinierov uskutočnil 16. mája 1888 v New Yorku prednášku, ktorá vstúpila do dejín elektrotechniky. Prednáška veľmi oslovila Georga Westinghousea, prezidenta spoločnosti zaoberajúcej sa výstavbou elektrární na striedavý prúd v Pittsburgu. Táto firma zápasila s problémami výroby a rozvodu striedavého prúdu, lebo nemala k dispozícii motor na striedavý prúd. Tesla mu predal za milión dolárov všetkých svojich 36 patentov a stal sa technickým riaditeľom vývojového laboratória.

Rozšírenie asynchrónneho motora prinieslo Teslovi veľkú slávu. Bol porovnávaný s Faradayom, dovtedy považovaného za najslávnejšieho vedca v elektrotechnike. No Tesla po roku, t. j. v roku 1889 z firmy v Pittsburgu odchádza do New Yorku, stráca záujem o silnoprúdovú elektrotechniku a začína sa zaoberať vysokým napätím, výbojmi veľkých rozmerov a prenosom energie na diaľku. V tom čase vznikol známy Teslov transformátor a pokusy s výbojmi v Geisslerových trubiciach. Tesla založil v Colorado Springs laboratórium vysokého napätia a v roku 1898 predviedol v New Yorku čln, ktorý na diaľku riadil elektromagnetickými vlnami...ďalšie časti jeho života možno nájsť v literatúre.

Vráťme sa adresnejšie priamo **k vzniku asynchrónneho stroja**. Bol to zásadný vynález, ktorého základom bolo **otáčavé magnetické pole**. Aj keď sa veľmi často uvádza časová priorita Teslových vynálezov, idea otáčavého magnetického poľa sa prisudzuje aj iným vynálezcom. Napríklad WALTER BAILY v roku 1879 otáčal permanentným magnetom okolo jeho osi, čím **mechanickým spôsobom vytvoril otáčavé magnetické pole**. Zároveň zistil, že ak sa do tohto poľa vloží medený valček - začne sa otáčať, i keď pomalšie ako sa otáča magnet. Podobný pokus vykonal už takmer pred polstoročím (1825) FRANCOIS ARAGO, francúzsky fyzik. Arago ukázal, že horizontálne umiestnený medený kotúč, nad ktorým bola zavesená magnetka, svojím pohybom ovplyvňuje polohu magnetky, ktorá sa vychýľuje v smere rotácie medeného kotúča. Jav neskôr vysvetlil M. Faraday: v kotúči sa indukujú vírivé prúdy, ktoré vytvárajú nové magnetické pole, interagujúce s magnetickým poľom magnetky. Takto sa dá vysvetliť aj Bailyho experiment.

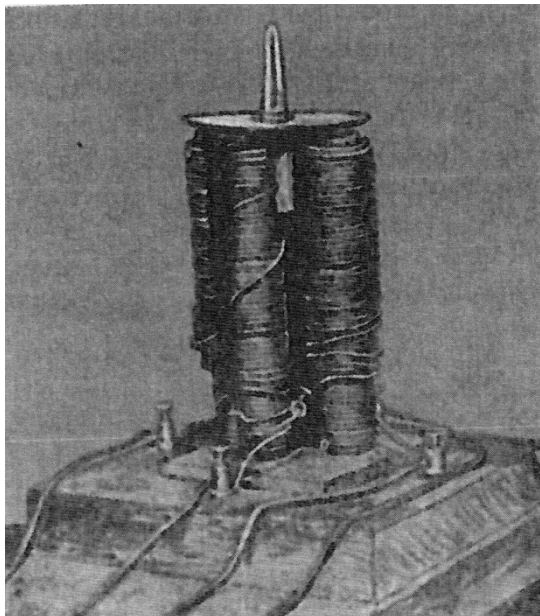


Obr. 23. Aragov pokus z roku 1825. Rotujúci medený kotúč vyvolal pohyb magnetky v smere rotácie kotúča.



Obr. 24. Bailyho experiment z roku 1879. Točivé magnetické pole rotujúceho magnetu vyvolá rotáciu medeného kotúča.

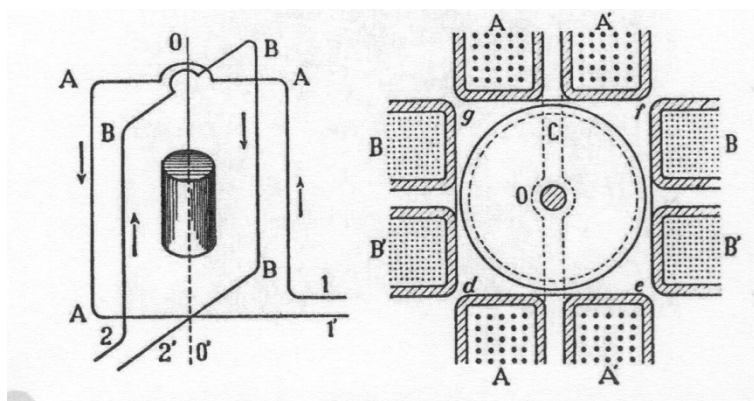
Ďalší Bailyho pokus (1879) sa už priblížil k asynchrónnemu motoru. Dva podkovovité elektromagnety navzájom pootočené o 90 stupňov boli striedavo magnetizované jednosmerným prúdom. Striedanie magnetizácie sa vykonávalo rýchlo, aj keď ručne mechanickým prepínačom. Medený kotúčik s priemerom 6 cm umiestnený tesne nad pólmi magnetov sa pod vplyvom striedavo prepínaných na seba kolmých magnetov otáčal - magnety pri prepínaní totiž vytvárali **otáčavé magnetické pole**. Tento princíp je dobre známy z fyziky:



dva na seba kolmé kmitavé pohyby fázovo posunuté o 90° vytvárajú (rovnomerný) pohyb hmotného bodu po kružnici.

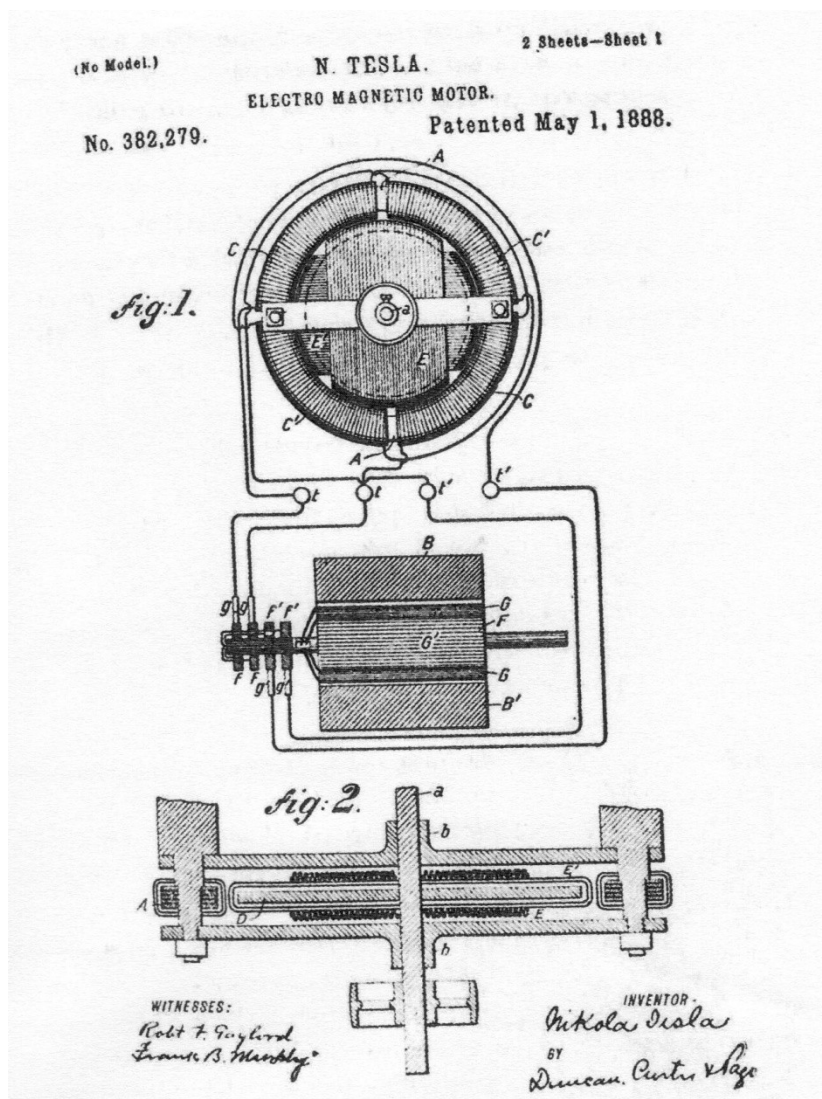
Obr. 25. Bailyho pokus s otáčavým magnetickým poľom. Otáčanie poľa sa dosiahlo mechanickým prepínaním magnetizačného jednosmerného prúdu vo dvoch elektromagnetoch, ktoré boli navzájom pootočené o 90°. Otáčavé pole indukuje v medenom kotúči vírivé prúdy, ktorých magnetické pole interaguje s otáčajúcim sa poľom elektromagnetov. Z tohto dôvodu sa medený kotúč roztočí.

Na časovej osi asi prvým vynálezcom, ktorý vytvoril stacionárne **otáčavé magnetické pole bez použitia mechanických častí**, bol taliansky profesor GALILEO FERRARIS (1847-1897). Na prednáške na akadémii vied v talianskom Turíne v roku 1888 uviedol, že princíp mu je známy už od roku 1885. Otáčavé pole dosiahol pomocou dvoch párov cievok, ktorých osi boli navzájom kolmé. Cievky boli napájané striedavými prúdmi fázovo navzájom posunutými. Do priestoru medzi cievkami umiestnil medený valček, uložený na osi otáčania. Valček sa po zapnutí striedavých prúdov začal otáčať. Fázový posun striedavých prúdov dosiahol tak, že do série s jednou dvojicou cievok zaradil odpor a do série s druhou dvojicou cievok zaradil indukčnosť. Ferraris očakával, že vo valčeku dochádza k veľkým stratám energie, a teda účinnosť "motorčeka" je malá. Dnes sa Ferrarisov systém používa ako pohon počítačového elektromeru.



Obr. 26. Ferrarisov motorček - reprodukcia z patentového spisu.

N. TESLA prišiel na myšlienku **otáčavého magnetického poľa** už v roku 1882 a o rok neskôr zostrojil aj prvý funkčný asynchrónny (iný názov - indukčný) motor. Ten postupne zdokonaľoval a Ferrarisove práce zrejme nepoznal. V roku 1888 získal patent **na dvojfázový aj trojfázový asynchrónny motor**.



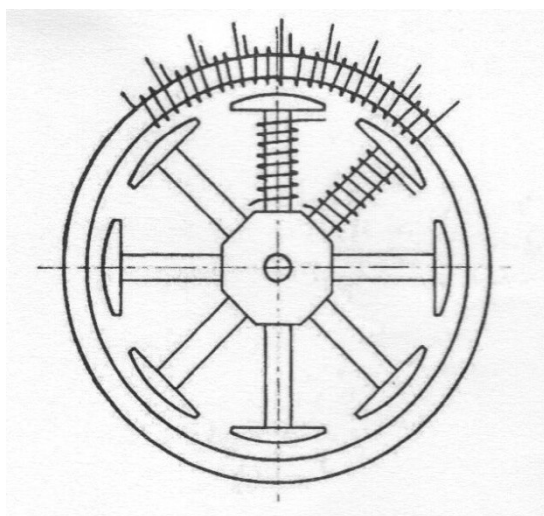
Obr. 27. Výňatok z patentového spisu N. Teslu "Electro-magnetic motor" ž 1. mája 1888.

- V rokoch 1889-91 podal Tesla sériu patentov na
- synchrónny motor
 - prenos elektrickej energie viacfázovou striedavou sústavou
 - asynchrónny jednofázový motor s pomocnou fázou - obr. 27.

Tieto vynálezy odstúpil firme Westinghouse. Spočiatku používal **dvojfázový rozvod** so štyrmi vodičmi, potom trojfázový so šiestimi vodičmi. Po spoznaní princípov zapojenia troch fáz "do hviezdy" a do "trojuholníka" sa definitívne priklonil k trojfázovej sústave. Spočiatku používal frekvenciu 125 Hz a 133 Hz (používala sa na osvetľovanie), ale u motorov vznikali veľké prídavné straty v železe aj medi. Potom prešiel na frekvenciu 25 a 30 Hz, ale to vyvolávalo blikanie žiaroviek. V roku 1894 bola v USA zavedená frekvencia 60 Hz. V roku 1891 zvíťazila v USA aj Teslova koncepcia **striedavého trojfázového prúdu** pri výstavbe vodnej elektrárne na Niagarských vodopádoch, ktorú podľa Teslových patentov

podala firma Westinghouse. Konkurenčný projekt elektrárne na jednosmerný prúd podal Edisonov koncern spolu s firmou Thomson-Houston. Tento projekt podporoval aj lord Kelvin, slávny anglický fyzik. V tom čase existovalo dosť dôvodov na uprednostnenie jednosmerných systémov, ktoré mali možnosť akumulácie. Rozhodla však možnosť transformácie na vyššie napätia a nižšie prúdy vo vedeniach pri rozvodných sústavách. Tým pri prenose energie vznikajú podstatne nižšie Jouleove straty a zvyšuje sa účinnosť prenosu energie.

Na obr. 28 je schéma **synchronného alternátora viacfázového prúdu** s Grammovým prstencom na statore. Póly s budiacim vinutím sú na rotore. Na prstenci statora boli vedľa seba navinuté cievky, pričom každá dvojica cievok (spojených sériovo alebo paralelne) je umiestnená oproti inému páru pólov elektromagnetu kotvy. Tak vznikli v tomto prípade štyri nezávislé zdroje striedavého napätia, posunuté fázovo o 90° .



Obr. 28. Princíp striedavého štvorfázového alternátora s Grammovým prstencom na statore

K rozvoju striedavých viacfázových elektrických strojov a k vytváraniu viacfázového prenosu elektrickej energie výrazne prispel okrem Teslu aj MICHAEL OSIPOVIČ DOLIVODOBROVOL'SKIJ (1861-1919), narodený v Petrohrade. Študoval na technike v Rige od roku 1878. Po atentáte na cára Alexandra III. bol vylúčený zo štúdia, pretože bol obvinený so spojenia s revolučnými kruhmi. Odišiel do Nemecka, kde doštudoval na polytechnike v Darmstade. Po skončení štúdia sa po niekoľkých krátkych zamestnaniach stal zamestnancom a neskôr šéfkonstruktérom firmy AEG.

V roku 1888 ako prvý zostrojil **trojfázový asynchrónny motor s klieťkovou kotvou**. Prispel aj do teórie trojfázových sústav.

V tomto období sa rozvíjali aj **prenosové systémy elektrickej energie**. G. FERRARIS možnosť týchto systémov predpovedal vo svojej diplomovej práci. Za hlavný problém považoval zníženie strát pri prenose.

Prvý **jednosmerný prenos** uskutočnil MARCEL DEPREZ, francúzsky elektrotechnik v roku 1873 na svetovej výstave vo Viedni. Grammovo dynamo poháňané parným strojom dodávalo vedením dlhým asi 1 km prúd do elektromotora, ktorý poháňal čerpadlo. M. Deprez predpovedal možnosť prenosu energie aj na veľkú vzdialenosť pri dostatočne vysokom napätí aj pomocou telegrafného vedenia. Neskôr zdokonalené systémy prenosu energie Deprez predvádzal na výstave v Mníchove v roku 1882, kde použil telefónne vedenie. Pre nízku účinnosť a veľké straty sa tento systém napokon nepresadil.

V USA sa prenosom energie zaoberal N. Tesla, pôvodne vo dvojfázových systémoch.. Ale v Európe sa v roku 1891 uskutočnil tzv. **Frankfurtský experiment** pod vedením Dolivo-Dobrovoľského. Ním sa dokázalo, že **striedavým viacfázovým prúdom možno prenášať energie na veľkú vzdialenosť s pomerne vysokou účinnosťou**. V meste Lauffen sa na rieke Neckar vybudovala vodná turbína, ktorá poháňala trojfázový alternátor 55V, 1400 A, 40 Hz. Výstup sa transformoval na 3 x 8500 V. Výkon asi 75 kW sa prenášal 750 km dlhým vedením do Frankfurtu nad Mohanom, kde sa napätie transformovalo nadol na 100 V. Ním sa napájali motory aj osvetlenie. Systém mal účinnosť prenosu asi 75%. Bolo to 28. 9. 1891. Ako rozvod boli použité medené vodiče s priemerom 4 mm. Tým sa ukázali aj výhody trojfázovej sústavy.

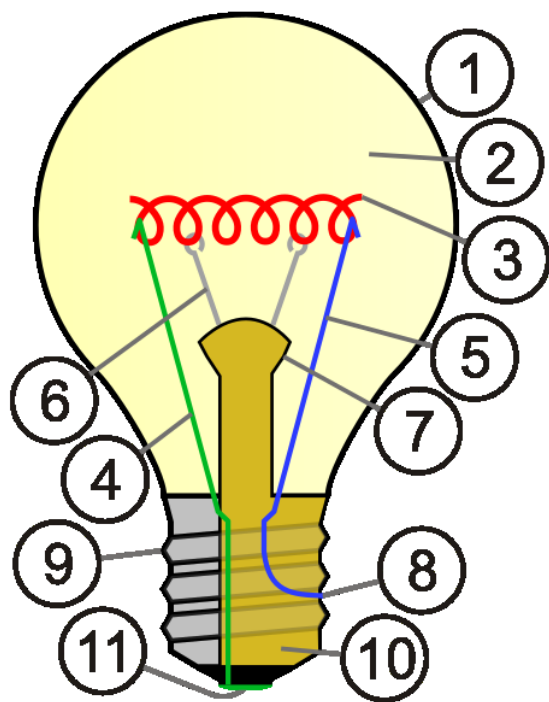
Ďalší vývoj elektrární a rozvodných sústav bol veľmi živelný, no sústreďoval sa na blízkosť uhoľných zdrojov a vodných tokov. Až oveľa neskôr vznikli jadrové elektrárne a pozornosť sa sústredila i na tzv. obnoviteľné zdroje energie. Dlhो popri sebe existovali dvojfázové i trojfázové sústavy a dokonca ešte v prvej polovici 20. storočia sa na rozvod asi 8,5% výkonu v bývalej ČSR používalo jednosmerné vedenie....Dnes je striedavá energetická sústava medzinárodná.

2. História elektrického osvetľovania

Aj keď sa za vynálezcu žiarovky obvykle považuje THOMAS ALVA EDISON (1847-1931), elektrické svietidlá sa objavili už oveľa skôr, ako začal Edison svoju bádateľskú činnosť. Historicky sa vyvíjali dva typy elektrických svietidiel:

- a) **žiarovky**, fungujúce na princípe svietiaceho rozžeraveného vlákna (elektrickým prúdom)
- b) **oblúkovky**, t. j. svietidlá využívajúce elektrický oblúk.

Dnes je škála svietidiel podstatne širšia (napríklad žiarivky, LED svietidlá a pod.). Za pôvodcu myšlienky elektrického osvetlenia sa považuje Angličan HUMPHRY DAVY. Tento vedec je známy aj vysvetlením princípu činnosti galvanického článku. Jeho asistentom bol aj M. Faraday V rámci Davyho experimentov s elektrickou energiou v roku 1802 sa skúmali aj rozžeravené platinové vlákna; o dva roky sa mu podarilo vytvoriť elektrický oblúk s kúskami uhlíka. V tomto období však realizoval elektrický oblúk aj ruský vedec V. V. PETROV.



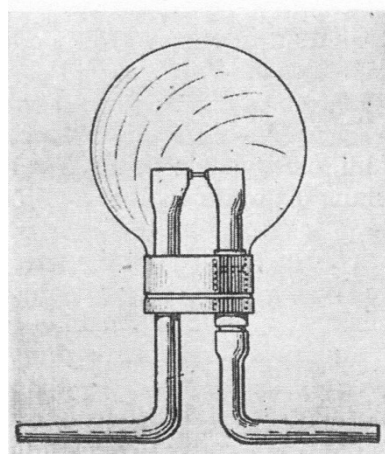
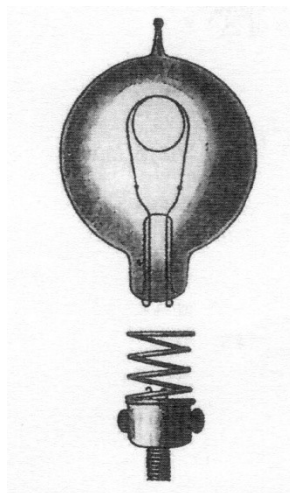
História vzniku žiarovky

Princíp fungovania vlákňových žiaroviek je zrejmý z obr. 29.

Obr. 29. Princíp fungovania vlákňovej žiarovky. 1=sklenená banka; 2=inertný plyn; 3=volfrámové vlákno; 4=prírodný vodič pripojený na "zem"; 5=prírodný vodič napojený na závitovú objímku; 6=držiak vlákna; 7=sklenená opora; 8=kontaktný vodič; 9=závitová objímka; 10=izolácia; 11="zemný" (spodný) kontakt

Experimenty so svietiacim vláknom uskutočnil v roku 1820 Belgičan GASTON de la RUE. Uzavrel navíjané platínové vlákno vo vákuovej trubici, cez ktoré pretekal elektrický prúd. Návrh bol založený na koncepcii, že vysoká teplota topenia platiny by umožnila pracovať pri vysokých teplotách a že evakuovaná komora by obsahovala menej molekúl plynu reagujúcich s platinou, čím by sa zlepšila jej dlhovekosť. Hoci tento nápad bol zdanlivo efektívny, náklady na platínu znemožnili komerčnú výrobu. Pravdepodobne prvú prakticky použiteľnejšiu žiarovku vytvoril v roku 1840 Angličan WILLIAM ROBERT GROWE. Ako vlákno slúžila špirálka z platínového drôtika. Podrobnosti o tejto žiarovke nie sú však známe. V roku 1845 Američan J. W. STARR umiestnil do vákuovanej sklenenej banky uhlíkové vlákno. Podobný typ žiarovky zostrojil v tom istom roku Angličan E. A. KING. V roku 1872 Rus ALEXANDER NIKOLAJEVIČ LODYGIN* umiestnil do sklenenej banky tyčinku z retortového uhlia, ktorá bola na jednom mieste stenčená. Pri prechode elektrického prúdu sa rozžeravila a svietila (asi pol hodinu). Nemecký obchodník, žijúci v New Yorku HEINRICH GOEBEL použil ako vlákno zuhoľnatenu bambusovú štiepku. Jeho žiarovka údajne svietila niekoľko desiatok hodín a osvetľovala výklad jeho hodinárstva. Goebela však nenapadlo využiť toto riešenie komerčne a ani to, aby si vynález dal patentovať.

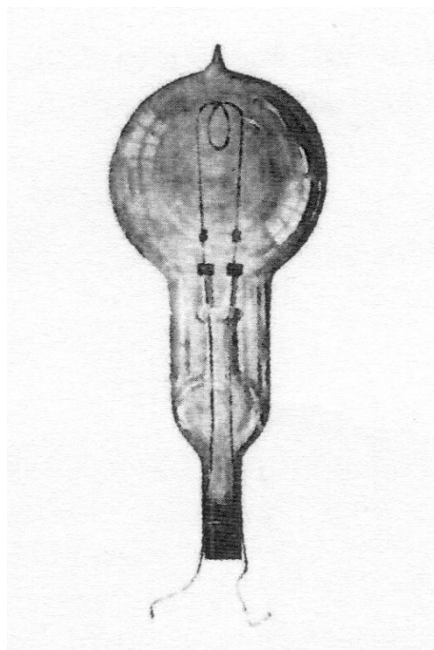
V rade vynálezcov žiarovky má významné miesto JOSEPH WILSON SWAN, britský fyzik. V roku 1880 získal patent na žiarovku so slučkou z bavlneného vlákna, ktoré zuhoľnatelo v kyseline sírovej. (Toto riešenie bolo neskôr predmetom patentového sporu s T. A. Edison, ktorý po mnohých pokusoch nájst' vhodné vlákno v roku 1883 začal používať na výrobu práve Swanov patent).



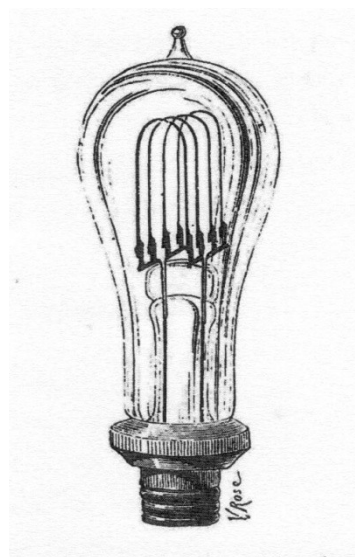
Obr. 30. Swanova žiarovka a objímka k nej. Vpravo žiarovka A. N. Lodygina z roku 1872.

* pozri dodatok na konci kapitoly

T. A. EDISON však napriek tomu bol prvý aspoň v tom, že ním vyvinutá žiarovka mala dostatočne dlhú životnosť. Dovtedajšie vynálezy sa neuplatnili nielen pre krátku životnosť svietiacich vlákien, ale aj preto, že neboli k dispozícii spoľahlivé zdroje elektrického prúdu. Preto mali skôr charakter experimentálneho prototypu, ktorý čakal na technické zdokonalenie. Edison na to vyvinul enormné úsilie a nemalé investície (udáva sa 50 000 dolárov na vývoj a 100 000 dolárov na rôzne výpravy do tropických krajín Južnej Ameriky, Japonska a Indie, kde hľadal vhodný druh bambusu, ktoré by po zuhoľnatení bolo vhodné do žiarovky. Experimentoval i s uhlíkom, zuhoľnatým papierom, platinou, irídiom, báryom...najlepšie sa mu javilo zuhoľnaté vlákno z japonskej bavlny - obr. 31.) Táto

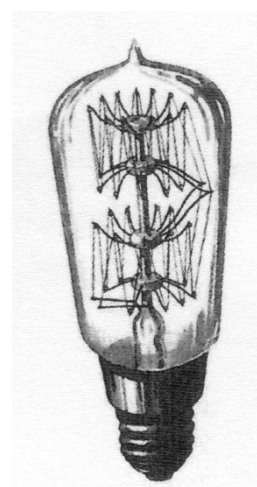


Obr. 31. Prvá Edisonova žiarovka s vláknom zo zuhoľnateného bavlneného vlákna (1879)



Obr. 32. Edisonova žiarovka so 4 vláknami

žiarovka sa zrodila 21. 10. 1879 a mala životnosť 45 hodín. Zuhol'natené bavlnené vlákno bolo vložené do evakuovanej banky a malo odpor asi 500 ohmov. Vydávalo jasné svetlo a bolo trvanlivé napriek vysokej teplote pre zlý odvod tepla. Edison dal vyrobiť niekoľko sto takýchto žiaroviek a z reklamných dôvodov zorganizoval silvestrovský prezentačný večierok, kde pozval asi 3000 osôb na "žiarovkovú show". Napokon však Edison používal Swanov ďalší patent z roku 1883: **vlákno bolo z nitrocelulózy rozpustenej v kyseline octovej, pretlačené jemnými tryskami a potom zuhoľnatené**. Znieslo väčšie prúdové zaťaženie a malo lepšiu svietivosť. Neskôr sa Edison snažil vylepšiť životnosť žiarovky zavedením väčšieho počtu paralelne zapojených vlákien. Bol úspešný i preto, že venoval pozornosť aj **vývoju príslušenstva žaroviek** (objímky, päťice, poistky, meracie prístroje....) a rozvíjal aj **výstavbu elektrární a rozvodných vedení**. Edison ako prvý použil trojvodičovú rozvodnú sústavu - dve dynamá spojil do série a ich spoločná svorka tvorila "nulový vodič". Spotrebiče sa pripájali na nulový vodič a vždy na jeden z vývodov jedného z dynam. Na meranie odobratej energie používal merací prístroj založený na elektrolyze prebiehajúcej medzi dvoma zinkovými elektródami: rozdiel hmotností dvoch elektród bol úmerný množstvu prejdeného náboja (zinok sa prenášal z anódy na katódu). Elektrárne menili elektromer každý mesiac a vážením elektród určili množstvo odobratej energie. Postupne so zdokonaľovaním vlákien sa od paralelného vkladania viacerých vlákien upustilo. Zároveň sa znižoval objem priestoru, ktorý zaberá vlákno (dvojité špirála), aby sa znížil odvod tepla a zároveň sa začala banka plniť zmesou inertného plynu a dusíka, čo znižovalo množstvo odpareného vlákna.



Obr. 33. Žiarovka s paralelnou dvojicou tantalových vlákien (1905)

Ďalšia etapa vývoja nastala v roku 1908, kedy vzniklo **vlákno wolfrámové**, ktoré vyrobil Američan WILLIAM DAVID COOLIDGE v roku 1908. Vlákno vznikalo lisovaním práškového W a následne tepelne vykované. Neskôr sa použila zliatina osmia a wolfrámu (od tohto obdobia sa používa obchodné označenie *Osram*.)

Postupne boli zakladané ďalšie firmy na výrobu žiaroviek, aj v Európe (napr. Edison Swan Electric Light Co., AEG v Nemecku a pod.). Osvetľovanie žiarovkami začalo byť veľmi rozšírené aj vo vnútorných priestoroch, a to aj preto, že plynové lampy boli často príčinou požiarov. Samozrejme, kto chcel svietiť, musel mať zdroj elektrického prúdu - pôvodne sa využívalo jednosmerné dynamo poháňané parným strojom alebo neskôr vodné turbíny. Začali vznikať verejné elektrárne, vyrábajúce elektrickú energiu pre verejnosť.

Na Slovensku bolo prvým mestom s elektrickým osvetlením Krompachy (1889). Bolo napájané z prvej vodnej elektrárne pri Krompachoch. Medzi mestami a elektrárňami sa uzatvárali dlhodobé zmluvy, kedy sa začali uplatňovať aj zľavy na osvetlenie, pričom za mestské osvetlenie mesto platilo napr. ročný paušálny poplatok. V roku 1919 bol v ČSR prijatý prvý elektrifikačný zákon na podporu výstavby elektrární a rozvodnej sústavy. Prvá električka v Bratislave vznikla v roku 1895, šla na jednosmernú trakciu, vytváranú z dynám vo vlastnej elektrárni. Dynamá poháňali parné stroje. Propagácii el. svetla napomohla svetová výstava techniky vo Viedni v roku 1883.

Zo života T. A. Edisona

Pôvodne bol Edison v Bostone zamestnancom telegrafnej spoločnosti, kde sa v miestnej knižnici zoznámil s Newtonovými *Princípmi*. Neporozumel im a vznikla u neho "trvalá nechť k matematike". K experimentovaniu ho podnietili Faradyove práce. V roku 1868 ponúkol prvý patent: elektrický sčítač hlasov v parlamente, no nebol oň záujem. Potom v New Yorku zdokonalil pre firmu Western Union burzový telegraf a dostal odmenu 40 tisíc dolárov. To mu dalo impulz zaoberať sa prenosom správ-informácií, v čom správne videl budúcnosť rozvoja. Neskôr si v Newarku zriadil dielňu na zdokonaľovanie telegrafných prístrojov, vynášiel napr. rýchlotelegraf, zdokonalil písací stroj, zaoberal sa prenosom viacerých správ naraz v jednom vedení (duplexné, kvadruplexné a multiplexné telegrafy). **1875 objavil tzv. Etheric Force** (iskrenie medzi drobnými zrnkami uhlíka uloženými náhodou v blízkosti induktora s iskrišťom - keďže nebol teoreticky zdatný, netušil, že je blízko objavu elektromagnetického vlnenia a jeho využitia na prenos správ - to neskôr vykonali Hertz, Popov, Tesla, Marconi a ďalší, napr. Murgaš.)

V roku 1876 sa presťahoval do Menlo Parku, štát New York. Tam vybudoval svoje slávne dielne, spojené s vynálezmi

- uhlíkového mikrofónu
- žiarovky
- nového typu dynamo.

Už sme spomínali, že Edison bol horlivým propagátorom jednosmerného elektrického rozvodu energie.

V roku 1881 sa presťahoval do New Yorku a v roku 1882 na Pearl Street otvoril svojho druhu prvú verejnú elektráreň v USA.

V roku 1883 pri pokusoch so žiarovkou s rozžeraveným vláknom z uhlíka v evakuovanej sklenenej banke si Edison všimol modravé žiarenie medzi koncami vlákna.

Aby sa dal jav lepšie pozorovať, zatavil do banky ďalšiu elektródu. Zistil, že ak túto elektródu pripojí na kladný pól batérie a na uhlíkové vlákno záporný pól, medzi elektródami preteká malý prúd. Dnes tento jav nazývame **Edisonov jav**. Jav vysvetlil objaviteľ elektrónu J. J. THOMSON: ide o termoemisiu elektrónov z povrchu uhlíkového vlákna, ktoré sú priťahované kladnou elektródou (anódou). Bola to vlastne **prvá vákuová priamo žeravená dióda**. Edison vtedy nemal tušenia, aký význam má tento jav pre vznik *elektroniky*. Objav prišiel príliš skoro, aby našiel praktické využitie. Diódu objavil v roku 1904 J. A. FLEMING a triódu LEE do FOREST v roku 1906.

V roku 1886 si Edison kúpil zámoček v štáte New Jersey (West Orange), kam presťahoval laboratóriá z Menlo Parku a nakúpil najmodernejšie prístroje a založil aj knižnicu. Tu postupne vznikali Edisonove továrne. V nových laboratóriách vznikli ďalšie vynálezy:

- bezdrôtové telegrafné spojenie medzi dvoma idúcimi vlakmi
- fonograf
- kinetoskop (predchodca kinematografu) - pozorovanie pohyblivých obrázkov
- alkalický akumulátor (vtedy už bol známy olovený akumulátor). Uvažoval o zostrojení elektromobilu.

Celkovo sa Edisonovi pripisuje vyše 2000 (úspešných) vynálezov, z ktorých získal 1093 patentov. Zomrel 1931. Je zaujímavé, že zarobené finančné prostriedky investoval do experimentov, často riskantných a "nebol teda dobrým podnikateľom". Podrobnosti o jeho živote možno nájsť v mnohých prameňoch.

História oblúkových elektrických lúčok

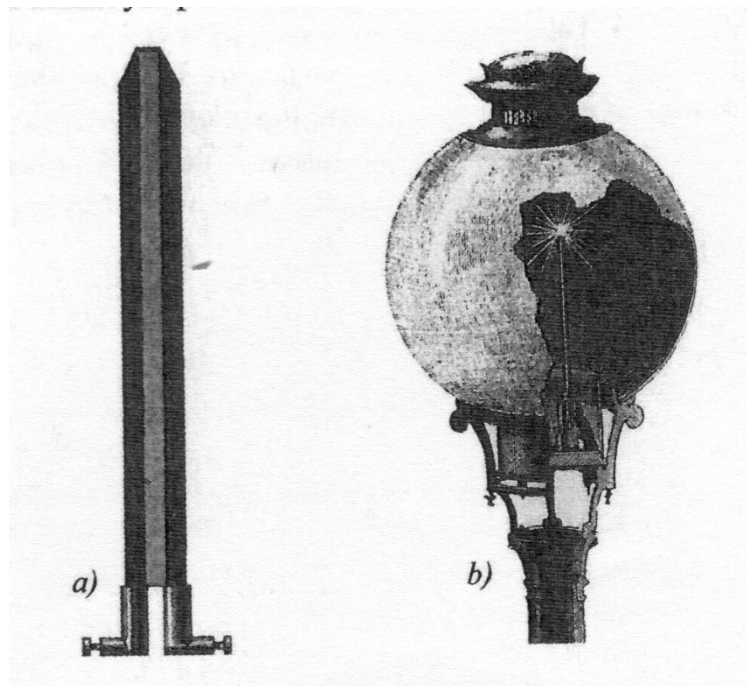
Už v roku 1804 upozornil na možnosť osvetlenia el. oblúkom HUMPHRY DAVY. Taktiež zistil (už v roku 1802), že rozžeravený Pt drôtik...svieti. Takže oba princípy svietenia "boli na svete". V prípade oblúkovky bol **hlavný problém regulácia vzdialenosti uhlíkových elektród**.

V roku 1884 vykonával pokusy s reguláciou vzdialenosti uhlíkových elektród Francúz J. FOUCAULT. Udržiaval stálu vzdialenosť medzi uhlíkmi hodinovým strojom.

1850 Sankt Peterburg: B. S. JACOBI skúšal oblúkové osvetlenie ulíc, to však nemohlo konkurovať plynovým svietidlám. Galvanické články jednoducho nestačili oblúk trvale napájať. Až vynález Grammovho dynamu umožnil rozšírenie oblúkoviek.

V roku 1874 PAVEL NIKOLAJEVIČ. JABLOČKOV v Moskve zostrojil tzv. **Jabločkovu sviečku**. Pozostávala z 2 uhlíkových tyčínok, uložených vedľa seba a oddelených vrstvou kaolínu (obr 34). Po pripojení na zdroj horel medzi uhlíkovými tyčinkami oblúk a postupne sa kaolín odtavoval a odkrýval ďalšiu časť uhlíkových tyčínok. Sviečka horela asi 3/4 hodiny. Neskôr kvôli finančným problémom odišiel do Paríža a potom do Londýna. Svojou oblúkovkou vzbudil veľký záujem a postupne ju zdokonaľoval a patentoval. Aj keď tento druh osvetľovania bol oveľa drahší ako osvetľovanie plynovými horákmi, vzbudil na svetovej výstave v Paríži v roku 1878 senzáciu. Jabločkovov systém sa začal priemyselne vyrábať a v Paríži sa ním vytvorilo prvé elektrické pouličné osvetlenie. Neskôr

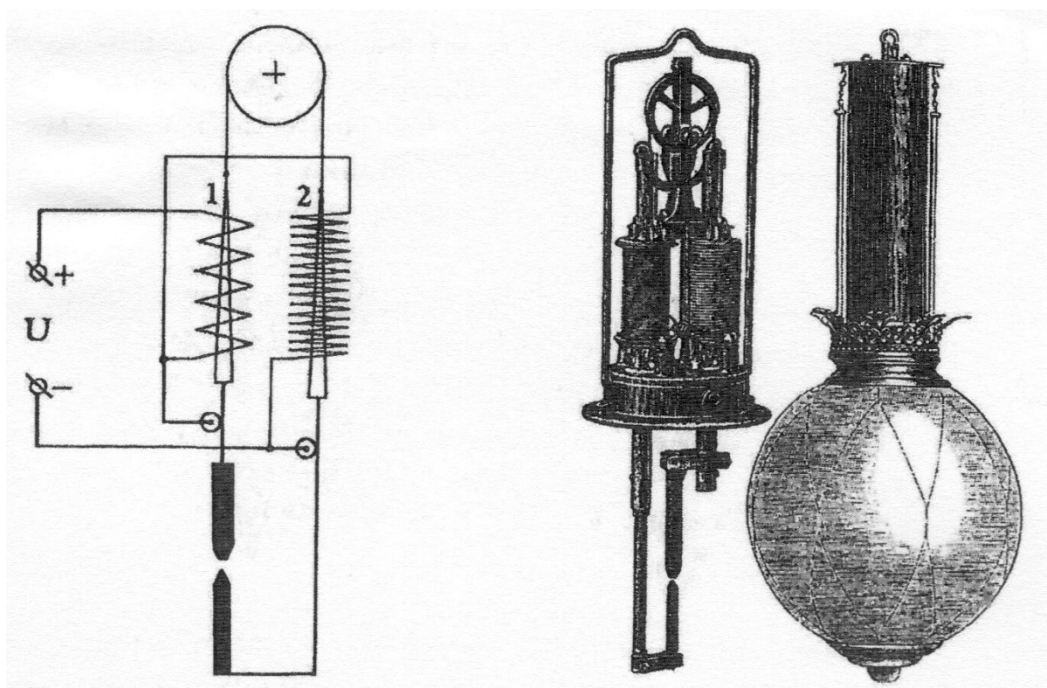
sa však objavili dômyselnejšie konštrukcie oblúkoviek a navyše - objavila sa Edisonova vláknová žiarovka.



Obr. 34. Jabločkova sviečka z roku 1878. a) usporiadanie uhlíkových tyčiniek b) celkové usporiadanie lampy.

Na výstave v Paríži v roku 1878 bol aj Čech FRANTIŠEK KŘÍŽÍK (1847-1941). Je považovaný za zakladateľa českej elektrotechniky, aj keď mohol vtedy študovať len strojné inžinierstvo. Jeho život a dielo je podrobne uvedené v knihe D. Mayera *Pohledy do minulosti elektrotechniky*, str. 342-363. Křížík je autorom tzv. **Plzenskej lampy**, ale predtým si zaobstaral od firmy Schuckert Grammo jednostranné dynamo ako zdroj napájania (za pomoci majiteľa papierní Pietta). Vtedy už boli známe niektoré jednoduché regulátory oblúčovej lampy, ale zlyhávali, ak boli oblúčovky zapojené do série na jedno dynamo. Preto každá oblúčovka potrebovala svoje vlastné dynamo. Křížík po ročnej práci vytvoril **diferenciálny regulátor vzdialenosti uhlíkových elektród**. V roku 1880 si dal Plzenskú lampu patentovať pod menom Piette-Křížík na vďaka podnikateľovi Piettovi za finančnú pomoc. Patent mu nechceli udeliť len v Nemecku, kde údajne diferenciálny regulátor vytvoril v r. 1879 F. Hefner-Alteneck s použitím regulovaného hodinového stroja. Napokon však Křížík spor vyhral.

Princíp diferenciálneho regulátora je zrejmý z obrázku 35. Jemná regulácia vzdialenosti uhlíkových elektród sa dosiahla tým, že do vnútorného priestoru sériovo a paralelne zapojených solenoidov (husto navinutých cievok) sa zasúvali železné jadrá zvláštneho tvaru, ktoré zaručili jemný pohyb kladky, na ktorej bola jedna z elektród zavesená, vďaka "diferenciálnemu" zapojeniu solenoidov.. Tak bolo možné na jedno dynamo zapojiť viac oblúčoviek. V patentovom spore Křížík argumentoval tým, že princíp diferenciálneho regulátora bol už skôr známy, takže patent sa mohol vzťahovať len na tvar železných jadier.



Obr. 35. Křížikova oblúkovka - Plzeňská lampa. Vľavo je schéma zapojenia diferenciálneho regulátora vzdialenosti uhlíkových elektród. V strede je pohľad na vnútorný mechanizmus oblúkovky, vpravo je celkový pohľad na oblúkovku vybavenú krytom z mliečneho skla.

Křížikovi oblúkovka priniesla slávu a hojne sa v Čechách používala. Vlastnil dve továrne na výrobu elektrární, výlučne na báze dynám. Stal sa priekopníkom elektrifikovanej dopravy. Doplatil potom na to, že sa začala presadzovať striedavá trojfázová rozvodná sústava a striedavé asynchrónne motory a Křížik presadzoval podobne ako Edison v USA jednosmerné sústavy.

Na záver pripomeňme, že história silnoprúdovej elektrotechniky tým nekončí. Celý vývoj bol poznačený výrobou stále väčších zariadení na výrobu elektrickej energie, poháňaných nielen parným strojom, ale aj vodnými a parnými turbínami. Objavili sa električky, trolejbusy, ba aj elektromobil. Zároveň dochádzalo od začiatku 20. storočia k postupnému vytlačaniu jednosmerných strojov v prospech zariadení používajúcich trojfázové striedavé sústavy.

Dodatok. Prínos A. N. Lodygina pre vývoj žiarovky.

Málo sú známe vynálezy petrohradského vynálezcu A. N. LODYGINA, ktorými nepochybne ovplyvnil vývoj žiarovky. O jeho prvom vynáleze sme písali na str. 22. Kým sa dostal k riešeniu, skúšal platinové, irídiové i uhlíkové vlákno, no napokon vyrábala uhlíkové vlákienka z dreva, ktoré potom žihal v uhoľných sadziach so zamedzením prístupu vzduchu. Vlákna bolo pripojené na platinové prívody a systém bol zatavený do sklenenej banky. Vlákna boli dve: prvé horelo asi 30 minút s cieľom spotrebovať kyslík, až potom sa zaplo druhé vlákno. Dve takéto lampy boli použité v Petrohrade v roku 1873 na pouličné osvetlenie namiesto petrolejových svietidiel a vydávali jasné biele svetlo. V nich bolo použité kúsky

retortového uhlia s priemerom asi 2 mm vložené medzi dva uhlíky s priemerom 6 mm. Vynález vyvolal veľkú pozornosť. Lodygin systém zdokonaľoval napr. tak, že v lampe bolo viac "vlákien", ktoré sa po prepálení jedného prepli na ďalšie. Vyvíjal i špeciálne lampy pre rôzne účely. Boli akceptované v podobe "privilégia" v 6 európskych krajinách (GB, F, SW, SP, P, B). Lodygin však finančnú podporu nedostal a nemal peniaze ani na úhradu zahraničných patentov. Jeho vynález sa stal akurát predmetom burzových špekulácií. Neskôr odišiel do Paríža a potom do USA, kde sa stretol so "svojou" žiarovkou, mala však ako vynálezcu Edisona...V roku 1877 totiž jeden ruský námorný dôstojník (A. M. Chotinskij) priniesol Edisonovi vzorky Lodyginových žiaroviek. A Edison hneď pochopil význam tohto vynálezu a nikdy nepriznal, že bol inšpirovaný práve Lodyginovými žiarovkami. Na rozdiel od Lodygina mal so sebou štáb ľudí a bankárov a dostatok financií na vývoj. Ako sme uviedli, jeho prvá žiarovka bola prezentovaná v roku 1879. Edisonove žiarovky so zuhoľnateným bavlneným vláknom sa hromadne vyrábali a priniesli Edisonovi finančný kapitál.

Lodygin v roku 1890 dostal privilégium na elektrické žiarovky s vláknami z wolfrámu, molybdénu, platina, osmia, irídia a paládia, to jest kovové vlákna. Výrobu týchto žiaroviek Lodygin zabezpečil cez továreň na výrobu žiaroviek firmy Westinghouse. Vtedy ešte Edison vyrábala žiarovky s uhlíkovým vláknom. V roku 1906 získala od Lodygina jeho patent na žiarovky s wolfrámovým vláknom firma General Electric Company. V historických prameňoch sa však udáva, že wolfrámové vlákno vytvoril v roku 1908 v USA W. L. COOLIDGE...Po návrate do vlasti Lodygin zistil, že využívanie elektrickej energie je v Rusku výhradne v licenciách zahraničných firiem a tie nemali záujem využiť služby inžiniera, ktorý stál pri zrode viacerých amerických závodov. Skončil ako prednosta električkovej stanice.

Pri písaní tejto časti boli použité tieto pramene:

D. Mayer: Pohledy do minulosti elektrotechniky, nakladateľstvo Kopp České Budějovice, 2004

V. V. Danilevskij: Vynalezeno v Rusku, Průmyslové vydavatelství Praha, 1951

+ rôzne zdroje získané z internetu