

# Wczesne maszyny reluktancyjne

Krzysztof Bieńkowski

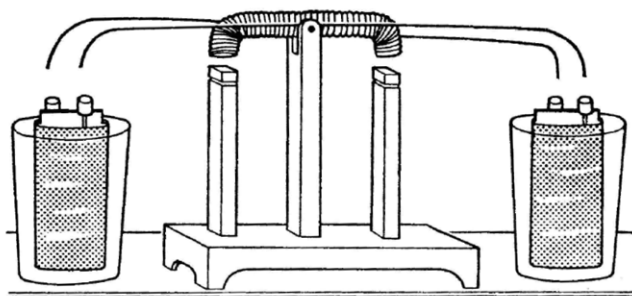
## Pierwsze doświadczenia

W roku 1820 Hans Oersted i Andre Amper zaobserwowali zjawisko oddziaływania przewodów z prądem elektrycznym na igłę magnetyczną. Kilka lat później Wiliam Sturgeon zbudował pierwszy elektromagnes z żelaznym rdzeniem, za pomocą którego podniósł dziewięćfuntowy żelazny przedmiot. Odkrycia te zainspirowały ludzi ówczesnej epoki do prac nad wykorzystaniem zjawisk elektromagnetycznych do napędu maszyn i pojazdów. Podobnie jak w przypadku maszyn parowych, brak było jeszcze jednolitej teorii elektromagnetyzmu, lecz nie przeszkadzało to w konstruowaniu działających modeli, a nawet użytkowych maszyn elektrycznych.

W 1830 roku Joseph Henry, pionier w dziedzinie cewek indukcyjnych, zbudował wahadło napędzane samoczynnie przezłączającym się elektromagnesem zasilanym z ogniów galwanicznych (rys. 1). Wahadło drgało z częstotliwością około 1 Hz [1].

Pracujący niezależnie we Włoszech Salvatore del Negro skonstruował w roku 1831 napędzany elektromagnesem mechanizm skokowy z kołem zapadkowym, wytwarzający ruch obrotowy [2]. Te pierwsze próby zaowocowały rozwojem mechanizmów i aparatów elektromagnetycznych zastosowanych szerzej w połowie XIX wieku wraz z rozwojem telegrafii, a w późniejszym okresie telefonii i układów zdalnego sterowania [3].

Pierwsze próby przekształcenia sił wytwarzanych przez elektromagnesy w ruch obrotowy wzorowane były na rozwiązaniach stosowanych w ówczesnych maszynach parowych. W latach 1835–1840 Amerykanin Charles D. Page konstruował działające modele silników reluktancyjnych z mechanizmami korbowymi (rys. 2). Warto zwrócić uwagę na fakt, iż silnik Page'a jest maszyną dwufazową. Dwa oddzielne elektromagnesy oraz układ

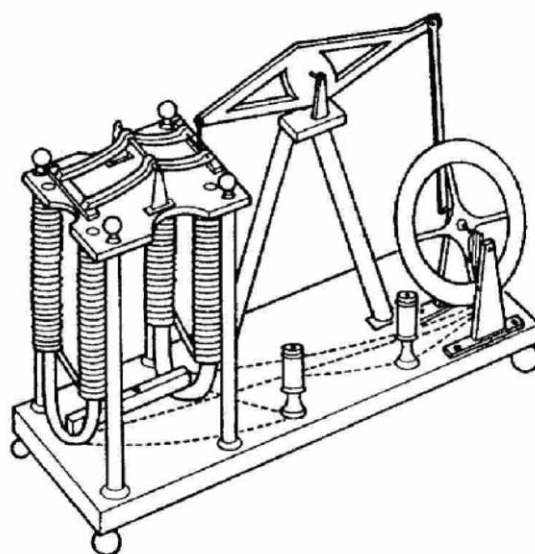


Rys. 1. Model wahadła elektromagnetycznego J. Henry'ego (1830 r.) [4]

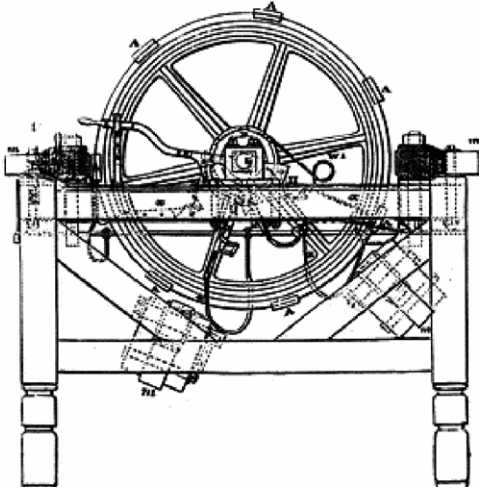
**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wczesne koncepcje i konstrukcje elektrycznych maszyn reluktancyjnych zwanych w XIX wieku maszynami elektromagnetycznymi. Rozwijane w latach 1830–1860 koncepcje zostały porzucone po udoskonaleniu komutatorowych maszyn prądu stałego i skonstruowaniu maszyn prądu przemiennego z wirującym polem magnetycznym. W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania przełączalnymi maszynami reluktancyjnymi z uwagi na wzrost cen magnesów trwałych i postępy w dziedzinie scalonych modułów mocy.

**Abstract:** The early concepts and structures of electrical reluctance motors (electromagnetic motors) were presented in this paper. This ideas were developed in the years 1830–1860, but were abandoned after improving dynamo machines and alternating current machines with rotational magnetic flux. In recent years, an increased interest is noticed in switch reluctance drives due to the rising cost of permanent magnets and advances in the area of intelligent power modules.

dźwigni z korbowodem umożliwiają przekazanie dwóch impulsów napędowych na koło zamachowe w czasie jednego obrotu.



Rys. 2. Silnik elektromagnetyczny z mechanizmem korbowym Charlesa D. Page'a (ok. 1836 r.) [4]



Rys. 3. Silnik W. H. Taylora z 1840 roku [5]

### Użyteczne konstrukcje

Pierwszym wynalazcą, który skonstruował silnik reluktancyjny wytwarzający ruch obrotowy bez pośrednictwa mechanizmów korbowych był W. H. Taylor [4]. W 1840 roku otrzymał on w Anglii patent [5] na maszynę przedstawioną na rysunku 3.

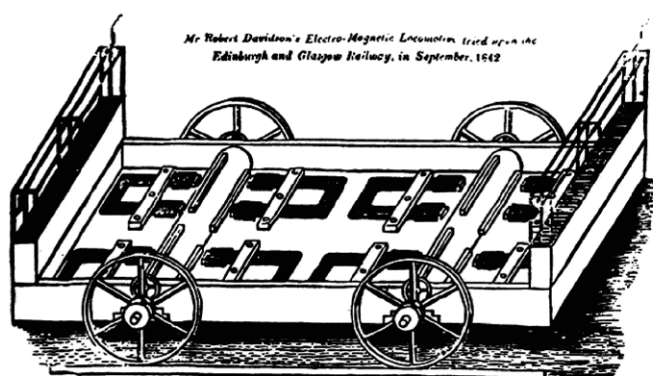
Na obwodzie drewnianego koła ułożyskowanego w ramie stojana, zamocowano siedem żelaznych sztab rozłożonych rów-

nomiernie. Na stojanie znajdowały się cztery elektromagnesy załączane sekwencyjnie przez mechaniczny komutator sterowany położeniem wirnika. Na wale maszyny umieszczony był dysk wykonany z segmentów przewodzących wykonanych z blachy miedzianej i segmentów izolacyjnych wykonanych z kości słoniowej (!). Metalowe szczotki wraz z dyskiem umożliwiały sekwencyjne załączanie elektromagnesów do źródła prądu.

Czteropasmowy silnik Taylora stanowił duży krok naprzód. Choć odznaczał się niezrównoważeniem promieniowych sił elektromagnetycznych, stanowił protoplastę współczesnych maszyn reluktancyjnych przełączalnych (ang. *Switched Reluctance Motor*).

Już w 1842 roku maszyny pomysłu Taylora zostały zastosowane do napędu pierwszego w historii pojazdu elektrycznego. Szkocki wynalazca Robert Davidson skonstruował pięciotonową lokomotywę, której każdą z osi napędzały dwa dwufazowe silniki reluktancyjne (rys. 4). 22 września 1842 roku pojazd przejechał półtorej mili po nowo wybudowanej linii kolejowej łączącej Glasgow i Edinburgh, rozwijając prędkość około 6,5 km/h. Przyczyną tak niewielkiego zasięgu była mała wydajność baterii ogniów cynkowych, które ciągnięte były za lokomotywą na specjalnym wagonie [4, 6].

W następnych latach podejmowane były próby wdrażania udoskonalonych silników elektromagnetycznych według pomysłu Taylora do napędu urządzeń przemysłowych w miejsce



Rys. 4. Szkic przedstawiający konstrukcję lokomotywy Roberta Dawidsona (1842 r.) [6]

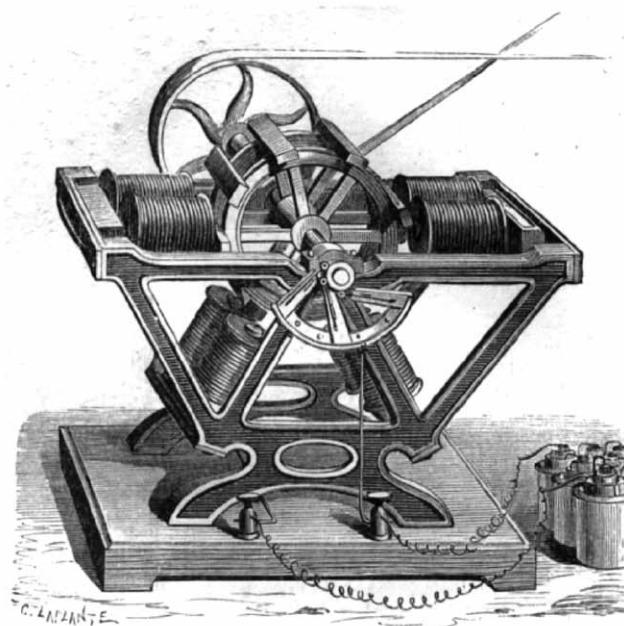
hałaśliwych maszyn parowych (rys. 5), jednakże pojawiły się kłopoty z konstrukcją mechanicznego przełącznika elektromagnesów. Wyłączenie prądu w obwodzie z dużą indukcyjnością powodowało szybkie zużywanie się styków w wyniku działania łuku elektrycznego. Brakowało także odpowiednio wydajnych źródeł energii elektrycznej do zasilania maszyn elektromagnetycznych.

### Upadek idei

Poszukiwania efektywnych źródeł energii elektrycznej przyniosły wynalazek prądnicy komutatorowej prądu stałego. W 1867 roku Werner Siemens i niezależnie Charles Wheatstone udoskonalili wcześniejsze konstrukcje, otwierając drogę do przemysłowego wykorzystania energii elektrycznej. Jednocześnie prądnica okazała się maszyną odwracalną, zdolną także do pracy silnikowej. Uwaga konstruktorów na długie lata skupiła się na maszynach komutatorowych. Także późniejsze prace Nikoli Tesli i Michała Doliwo-Dobrowolskiego w dziedzinie maszyn indukcyjnych prądu przemiennego sprawiły, iż idea przetwarzania energii za pomocą maszyn reluktancyjnych znalazła się na poboczu głównego nurtu rozwoju elektrotechniki. Ślady tej idei pozostały w elementach wykonawczych urządzeń elektrycznych w postaci elektromagnesów.

Dopiero w roku 1919 pojawił się skokowy silnik reluktancyjny [8], lecz jego głównym zadaniem było pozycjonowanie wirnika w określonym położeniu, przetwarzanie energii miało drugorzędne znaczenie. Wykorzystanie silników reluktancyjnych jako wydajnych przetworników energii wymagało rozwiązania problemu przełączania pasm fazowych w ściśle określonych położeniach wirnika. Szanse na to pojawiły się w latach 80. XX wieku wraz z pojawieniem się tranzystorów IGBT [9] i mikroprocesorów.

W ostatnich latach zainteresowanie przełączalnymi silnikami reluktancyjnymi w zastosowaniach przemysłowych wzrasta, tym bardziej, że ich parametry eksploatacyjne dorównują silnikom indukcyjnym przy mniej skomplikowanej technologii produkcji. Znaczny wzrost cen magnesów trwałych spowodował także podjęcie prób zastosowania silników SRM jako napędów serwo mechanizmów i generatorów wiatrowych.



Rys. 5. Silnik reluktancyjny Gustave'a Fromenta (1845 r.) [4]

### Literatura

- [1] HENRY J.: *On a Reciprocating Motion Produced by Magnetic Attraction and Repulsion*. „Silliman's American Journal of Science”, v. 20, July 1831, p. 340–343.
- [2] DAL NEGRO S.: *Nuove esperienze ed osservazioni elettro-magnetiche*. Padova: coi tipi della Minerva, 1831.
- [3] IVOBOTIENKO B.A. ET AL.: *Dyskretne napędy elektryczne z silnikami skokowymi*. WNT, Warszawa 1975.
- [4] MULTON B.: *Historique des machines electromagnetiques et plus particulièrement des machines a reluctance variable*. Rapport d'habilitation à diriger des recherches de l'auteur 17 mai 1994. École Normale Supérieure de Cachan.
- [5] TAYLOR W.H.: *Obtaining Motive Power*, U.K. Patent 8255, 1840.
- [6] ANDERSON A.F.: *Robert Davidson – Father of the electric locomotive*, Proc. IEE Conf. History of Electrical Engineering, 1975.
- [7] JARVIS R.: *Davidson's locomotive: How did he do it*. „Engineering Science and Education Journal” 12/1996.
- [8] WALKER C.L.: *Improvements in and connected with electromagnetic step-by-step signaling and synchronous rotation*, UK Patent 137150, 1919.
- [9] PLUMMER J.D.: *Monolithic semiconductor device*, US Patent 4199774, 1980.