

Tadeusz GLINKA

## ELEKTROMECHANICZNE PRZETWORNIKI ENERGII

**Streszczenie.** Powstanie i rozwój konstrukcji elektromechanicznych przetworników energii nastąpiły w wieku XIX. W wieku XX rozwój przetworników elektromechanicznych dyktuje technologia oraz osiągnięcia inżynierii materiałowej w zakresie materiałów magnetycznych, materiałów izolacyjnych i magnesów trwałych. W Polsce rozwój przemysłu maszyn elektrycznych rozpoczął się w 1921 r. W okresie międzywojennym była to najbardziej ekonomiczna branża gospodarki. Po wojnie następuje dalszy rozwój tego przemysłu, powstało kilkanaście nowych fabryk, a znaczący procent ich produkcji był eksportowany. Po roku 1990 wszystkie fabryki zostały już sprywatyzowane. Także w dydaktyce polska szkoła maszyn elektrycznych jest znana w świecie. Opublikowano wiele fundamentalnych książek i monografii dotyczących teorii, konstrukcji i eksploatacji maszyn elektrycznych. Rozwój przetworników elektromechanicznych nie jest zamknięty. W tematyce tej powstają ciągle nowe rozwiązania i nowe patenty, a motorem ich jest obniżenie kosztów przetwarzania energii, kompatybilność elektromagnetyczna i warunki pracy ludzi.

## ELECTROMECHANICAL ENERGY CONVERTERS

**Summary.** The origin and development of electromechanical energy converters began in 19<sup>th</sup> century. During the 20<sup>th</sup> century, the advancement in electromechanical converters has been due to technology and material science where magnetic materials, insulation materials and permanent magnets are involved. The growth of electrical machines industry in Poland started in 1921. In the twenties and thirties it was the most profitable industry branch. After the Second World War, further development of this industry took place, tens of new plants were built and a significant percentage of their overall output was exported. All of these factories were privatised after 1990. When it comes to teaching, the Polish School of electrical machines is renowned. Lots of fundamental works and books on theory, design and operation of electrical machines have been published. The development of electromechanical converters is not over yet. New designs and patents are upcoming. The great inducement for the progress is the need for lessening the energy consumption, improving the electromagnetic compatibility and bettering work conditions.

## 1. HISTORIA ROZWOJU PRZETWORNIKÓW ELEKTROMECHANICZNYCH

Rozwój elektromechanicznych przetworników energii jest związany z odkryciem zjawisk i praw elektrotechniki. Powstanie i rozwój elektrotechniki jako samodzielnej nauki w początkowym pionierskim okresie, a szczególnie drugiej połowie w XIX wieku są tożsame z rozwojem przetworników elektromechanicznych. Przypomnijmy najważniejsze daty tego rozwoju.

Rok 1600 – William Gilbert, angielski fizyk i lekarz, wydaje w języku łacińskim dzieło: „O magnesie, ciałach magnetycznych i o wielkim magnesie ziemi”. Dziełem tym wszedł do historii jako twórca nowożytnej nauki o magnetyzmie. W roku 1660 niemiecki fizyk i inżynier Otto Von Guericke skonstruował pierwszą maszynę elektrostatyczną. W roku 1800 Alessandro Volta, włoski fizyk i chemik, wynalazł ogniwo galwaniczne tzw. stos Volty, a w roku 1820 Hans Oersted, duński fizyk odkrył związek między elektrycznością i magnetyzmem. Odkrycie to pozwoliło fizykowi i matematykowi francuskiemu Andre Ampere sformułować prawa wzajemnego oddziaływania elektryczności i magnetyzmu, dlatego A. Ampere jest uważany za twórcę podstaw współczesnej elektrodynamiki.

Fizyk i chemik angielski Michael Faraday, niezależnie od Oersteda, w 1821 r. zaobserwował ruch przewodników z prądem znajdujących się w polu magnetycznym i wykorzystując to zjawisko zbudował prototyp silnika elektrycznego. W roku 1831 M. Faraday odkrył prawo indukcji elektromagnetycznej i z tego tytułu w elektrotechnice uważany jest za ojca teorii pola elektromagnetycznego.

Odkrycia wymienionych praw zapoczątkowało szybki rozwój elektromechanicznych przetworników energii. W roku 1833 niemiecko-rosyjski fizyk Moritz Jacobi skonstruował silnik elektryczny prądu stałego wzbudzany magnesami trwałymi i zasilany z baterii elektrycznej, a w 1845 r. Wheatstone-Cook maszynę prądu stałego wzbudzaną elektromagnesami. Współczesny kształt maszyny prądu stałego opracował inżynier i wynalazca rosyjski polskiego pochodzenia, a pracujący w Niemczech, Doliwo-Dobrowolski (1891 r.).

W roku 1859 francuski fizyk Gaston Plante wynalazł akumulator ołowiowy. Wynalazek ten okazał się tak doskonały, że ten typ akumulatora jest powszechnie stosowany po dzień dzisiejszy jako statyczny zasobnik energii. W 1866 r. konstruktor i wynalazca niemiecki Werner Siemens zbudował pierwsze dynamo elektryczne. W 1881 r. w Berlinie ruszył pierwszy tramwaj elektryczny.

W roku 1885 włoski fizyk Galilea Ferraris jednocześnie z Nikola Tesłą odkrył zjawisko wirowania pola magnetycznego wytwarzanego przez prąd zmienny i zbudował 2-fazowy silnik asynchroniczny, który został zaprezentowany na wystawie międzynarodowej w Antwerpii. Wspomniany już elektrotechnik Doliwo-Dobrowolski w roku 1888 zbudował prądnice 3-fazową, a rok później silnik indukcyjny zwarty, on jest także twórcą transformatora.

W roku 1891 chorwacki konstruktor i wynalazca Nikola Tesla, pracujący w Stanach Zjednoczonych, skonstruował transformator wysokiego napięcia, tzw. transformator Tesli.

W roku 1891 został wynaleziony układ napędowy Leonarda, a 10 lat później koło Ilgnera jako zasobnik energii kinetycznej.

Wiek XIX można nazwać wiekiem wynalazków i rozwoju przetworników elektromechanicznych. Następuje dynamiczny rozwój konstrukcji maszyn elektrycznych, dotyczy to zarówno zakresów mocy znamionowej w górę, powyżej  $10^9$  W jak i dół do  $10^{-6}$  W. Podobna skala mocy nie jest spotykana w żadnych innych urządzeniach technicznych. W zakresie prędkości obrotowej maszyny elektryczne budowane są od ułamka obrotów na minutę do 300 000 obr/min. Rozwój konstrukcji i technologii maszyn elektrycznych w wieku XX był inspirowany i pobudzany osiągnięciami inżynierii materiałowej, w szczególności w zakresie materiałów magnetycznych i materiałów elektroizolacyjnych. Prawie każde dziesięciolecie XX wieku wprowadziło tu znaczący postęp. Przykładem tu może być blacha transformatora. W latach pięćdziesiątych transformatory budowano z blachy gorącowalcowanej o stratności 1,3 W/kg (przy indukcji 1 T i częstotliwości przemagnesowania 50 Hz), w latach sześćdziesiątych z blachy o stratności 1,1 W/kg, a następnie z blachy zimnowalcowanej o stratności 0,9-0,7 W/kg, a w latach dziewięćdziesiątych zapoczątkowano budowę transformatorów z blachy amorficznej o stratności 0,3-0,4 W/kg. Jeszcze większy postęp inżynieria materiałowa osiągnęła w magnesach trwałych od magnesów ze stali chromowej i kobaltowej (wiek XIX) o energii maksymalnej 2-8 kJ/m<sup>3</sup>, poprzez ferryty (o energii dochodzącej do 20 kJ/m<sup>3</sup>), ALNICO (do 40 kJ/m<sup>3</sup>) do magnesów z pierwiastków ziem rzadkich (do 160 kJ/m<sup>3</sup>) i magnesów NdFeB (250 kJ/m<sup>3</sup>). Podobny postęp osiągnięto w materiałach izolacyjnych od materiałów klasy temperaturowej A (papier, bawełna) poprzez materiały oparte na miedzi i szkle (kl. B i F) do materiałów aramidowych (kl. F i H). Tak wysokie klasy izolacji można było osiągnąć dzięki współczesnym lakierom izolacyjnym spełniającym warunki izolacji kl. F i H. Dalszy postęp to nasycanie izolacji uzwojeń od metody kropłowej do próżniowo-ciśnieniowej (VPI).

Także w technice odprowadzania ciepła nastąpiła ewolucja: od chłodzenia naturalnego poprzez wymuszone chłodzenie powietrzem, chłodzenie wodne w maszynach specjalnych, a w generatorach dużej mocy chłodzenie wodorowe i chłodzenie wodne bezpośrednio miedzi.

Jak dotychczas, nie zanotowano postępu w zakresie materiałów przewodzących prąd. Od początku do dnia dzisiejszego jako materiał przewodzący używana jest miedź. Dotychczasowe osiągnięcia inżynierii materiałowej w zakresie materiałów nadprzewodzących nie są zadowalające. Materiały nadprzewodnikowe w temperaturze ciekłego azotu nie mogą być powszechnie wykorzystywane w konstrukcji przetworników elektromechanicznych i transformatorów. Problematyka ta nadal czeka na rozwiązanie.

## 2. PRZEMYSŁ MASZYN ELEKTRYCZNYCH W POLSCE

Z inicjatywy inż. Zygmunta Okoniewskiego w roku 1921 zostały utworzone Polskie Zakłady Elektryczne Brown-Boveri S.A. W tym samym roku poczyniono przygotowania do uruchomienia fabryki maszyn elektrycznych w Żychlinie, w której 1923 r. podjęto produkcję silników indukcyjnych. Fabryka ta, dzięki inż. Zygmuntowi Gogolewskiemu, szybko rozwinęła produkcję tak że już w 1928 r. wytwarzane tu były silniki indukcyjne o mocy do kilkuset kW, maszyny prądu stałego do kilkudziesięciu kW między innymi do napędu tramwajów, prądnice synchroniczne o prędkości obrotowej 125-250 ob./min. i mocy do kilkuset kW i transformatory olejowe o mocy do 300 kV·A. Światowy kryzys gospodarczy zahamował rozwój fabryki i doprowadził do upadku PZE Brown-Boveri S.A. w 1931 r. Pod koniec roku 1932 nastąpiło porozumienie między firmą Rohn, Zieliński i Spółka S.A. w Warszawie z koncernem Brown Boveri S.A. w Baden, w wyniku którego powstała nowa firma: Zakłady Elektromechaniczne Rohn-Zieliński, Spółka Akcyjna, Licencja Brown-Boveri. W skład tej firmy weszły fabryki w Żychlinie i w Cieszynie. Firmą tą rządził, trzysobowy dyrektoriat, którego przewodniczącym był inż. Stanisław Skibiński, a w skład jego wchodził inż. Zygmunt Gogolewski (dyrektor ds. technicznych) i Karol Tomanek (dyrektor ds. handlowych). Firma ta w okresie przedwojennym zanotowała bardzo duże osiągnięcia techniczne i ekonomiczne.

Fabryka w Żychlinie produkowała:

- transformatory o mocy do 25 MV·A i napięciu do 150 kV (transformatory te jeszcze pracują w Elektrowni Rożnów),
- maszyny prądu stałego (silniki, prądnice, przetwornice między innymi do łodzi podwodnych),
- silniki indukcyjne średniej mocy.

Fabryka w Cieszynie specjalizowała się w produkcji silników indukcyjnych mniejszej mocy. Jej sukces ekonomiczny ilustruje dochód, który wynosił w 1933 r. 4831 zł, a w 1938 r. 794 213 zł.

Po zakończeniu wojny następuje bardzo dynamiczny rozwój przemysłu elektromaszynowego w Polsce. Za sprawą prof. Z. Gogolewskiego (dyrektora technicznego Zjednoczenia Przemysłu Maszyn Elektrycznych) produkcję podejmują fabryki: w Żychlinie – EMIT i w Cieszynie – CELMA. Budowane są nowe fabryki: w Bielsku – INDUKTA, w Katowicach – KOMEL, w Mikołowie – MEFTA, w Brzegu – BESEL, w Tarnowie TAMEL, we Wrocławiu – DOLMEL i w Łodzi – ELTA. W latach następnych budowane są następne fabryki, w Poznaniu – WIEFAMEL, w Warszawie – WAMEL, we Wrześni – MIKROMA i w Sosnowcu SILMA (podane nazwy fabryk pochodzą z lat późniejszych).

Przemysł maszyn elektrycznych i transformatorów od początku nastawiony był na pełne zabezpieczenie potrzeb krajowych i na produkcję eksportową, w tym także na rynek zachodnioeuropejski i amerykański. Konkurencja tych rynków wymuszała stały rozwój konstrukcji,

unowocześnianie technologii i utrzymanie wysokiej jakości. Było to możliwe dzięki jednostkom badawczo-rozwojowym: Instytutowi Elektrotechniki w Warszawie i branżowemu Ośrodkowi Badawczo-Rozwojowemu KOMEL w Katowicach, które miały pomoc i wsparcie szkół wyższych.

Reformę ustrojową w Polsce w latach 1989-1990 przemysł maszyn elektrycznych odczuł poprzez duży spadek zapotrzebowanie na jego wyroby w Polsce i w krajach wschodnioeuropejskich, a w szczególności w krajach należących obecnie do Wspólnoty Niepodległych Państw. Produkcja w fabrykach spadła znacznie (20 ÷ 50%), lecz żadna z fabryk nie upadła. Stało się to dlatego, że standard produkowanych maszyn elektrycznych i transformatorów był wysoki i odpowiadał wymogom rynku krajów zachodnich, co zapewniło ich sprzedaż na tych rynkach.

Należy ubolewać, że wymienione fabryki nie są obecnie w rękach polskich. Kapitał zachodni, wykupując te fabryki, nie zawsze je rozwija. Tak stało się w dużej części z jedną z najlepszych polskich fabryk – DOLMELEM; nowy właściciel ma w innych państwach tak duże moce produkcyjne, że Polskę traktuje tylko jako rynek zbytu. Życzyć należy przemysłowi elektromaszynowemu w Polsce, aby dalsze lata były dla niego bardziej szczęśliwe.

### 3. PRZETWORNIKI ELEKTROMECHANICZNE W DYDAKTYCE

Teoria maszyn elektrycznych przedstawiana w podręcznikach szkolnych i wykładana studentom na studiach inżynierskich i magisterskich bazuje na równaniu Faradaya, opisującym zjawisko indukowania się napięcia  $e$  w przewodniku elektrycznym o długości  $l$ , poruszającym się z prędkością  $v$  w polu magnetycznym o indukcji  $B$

$$e = Blv \sin \alpha \quad (1)$$

i prawie Ampera, opisującym siłę elektrodynamiczną  $f$ , generowaną w przewodzie o długości  $l$ , w którym płynie prąd  $i$ , jeśli znajduje się on w polu magnetycznym o indukcji  $B$ ,

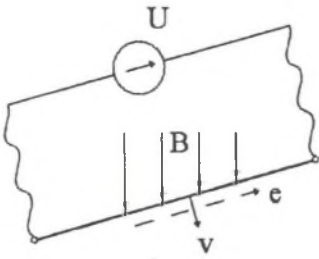
$$f = Bli \sin \alpha, \quad (2)$$

przy czym  $\alpha$  oznacza kąt między wektorem indukcji  $B$  a płaszczyzną ruchu przewodu. Model fizyczny przetwornika elektromechanicznego przedstawia rys. 1. Równania (1) i (2) uzupełnione równaniem napięcia

$$u = e \pm L \frac{di}{dt} \pm Ri \quad (3)$$

i równaniem ruchu

$$f = f_m \pm m \frac{dv}{dt} \quad (4)$$

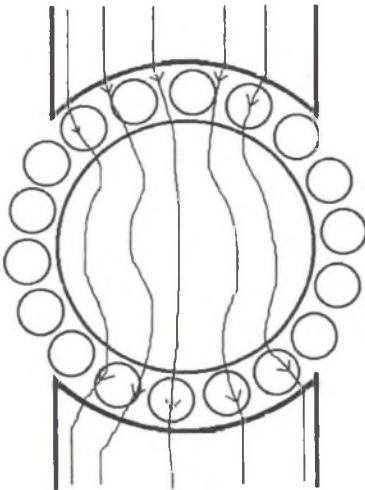


Rys. 1

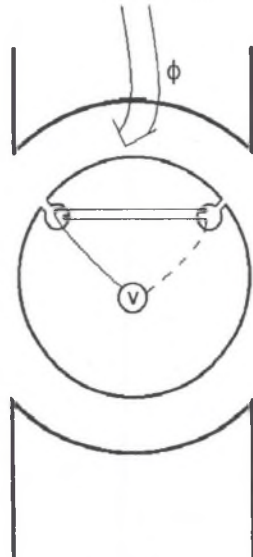
są modelem matematycznym elektromechanicznego przetwornika energii. Znak (+) obowiązuje przy przetwarzaniu energii elektrycznej na mechaniczną, a znak (-) przy przetwarzaniu odwrotnym. Indukcyjność  $L$  i rezystancja  $R$  obwodu oraz masa  $m$  (przewodu i innych elementów mechanicznie z nim połączonych) są parametrami tego modelu.

Jeśli w modelu tym wielkością wymuszającą ruch pręta jest napięcie  $u$  (do przewodu jest doprowadzona energia elektryczna), a wielkością odbieraną jest siła mechaniczna  $f_m$ , którą można zmieniać niezależnie, to wartościami dopasowującymi się są prąd w przewodzie  $i$  oraz prędkość przewodu  $v$ . Jeśli natomiast wielkością wymuszającą ruch pręta jest siła mechaniczna  $f_m$ , a wielkością odbieraną prąd, którego wartość jest zmieniana poprzez impedancję obciążenia, to wartością dostosowującą się jest napięcie  $u$ .

Jeśli na bazie modelu przedstawionego na rys.1 zbudować maszynę elektryczną, to maszyna taka powinna mieć uzwojenie przetwarzające energię (uzwojenie twornika) umieszczone w szczelinie powietrznej – rys.2.



Rys. 2



Rys. 3

Natomiast prawie wszystkie maszyny elektryczne uzwojenia mają umieszczone w zębках – rys.3. Konsekwencją umieszczenia przewodów w zębках jest ich ekranowanie przez otaczające zęby. W zębku nie ma zatem praktycznie zewnętrznego pola magnetycznego  $B$

odpowiadającego modelowi z rys. 1. Czy zatem w przewodach tych nie indukuje się napięcie i czy w nich nie generuje się siła elektrodynamiczna?

Eksperymentalnie stwierdzamy, że napięcie w uzwojeniu indukuje się, natomiast siła elektrodynamiczna obwodowa wzbudzana jest w zębach, a nie w przewodach. Siła elektrodynamiczna  $f$  w maszynach elektrycznych z rdzeniami ferromagnetycznymi i uzwojeniem umieszczonym w zębach jest generowana na zasadzie takiej, jak między dwoma magnesami trwałymi. Wartości liczbowe siły elektrodynamicznej  $f$  bądź momentu elektrodynamicznego  $t$  w maszynach wirujących mogą być wyznaczone z energii elektrodynamicznej układu:

$$f = \frac{\partial W_m}{\partial x} \quad \text{lub} \quad t = \frac{\partial W_m}{\partial \vartheta}, \quad (5)$$

$$W_m = \sum_{k=1}^n \Psi_k di_k, \quad (6)$$

gdzie:  $\Psi_k$  – strumień skojarzony z uzwojeniem  $k$ , w którym płynie prąd  $i_k$ ,  
 $x, \vartheta$  – przesunięcie przewodu liniowe bądź kątowe.

Napięcie powstające w uzwojeniu jest indukowane w obwodzie, podobnie jak w uzwojeniu transformatora, zgodnie z prawem Faradaya

$$e = -z \frac{d\Phi}{dt}. \quad (7)$$

Zmiana strumienia sprzężonego z uzwojeniem  $\frac{d\Phi}{dt}$  zachodzi zarówno pod wpływem wirowania uzwojenia względem pola magnetycznego, jak i zmiany w czasie bądź wirowania strumienia magnetycznego  $\Phi$ . Przykładem może być maszyna indukcyjna, w której zarówno strumień  $\Phi$ , jak i uzwojenie wirnika wiruje, oczywiście z różną prędkością.

Czy zatem szkolne modele przetworników elektromechanicznych bazujące na równaniach (1) – (4) są poprawne? Odpowiedź jest pozytywna. Obliczona wartość siły elektrodynamicznej z równań (2) i (5) oraz napięcia indukowanego z równań (1) i (7) są identyczne. Dowód taki przeprowadził już Faraday, wyprowadzając z prawa indukcji elektrodynamicznej (6) równanie (1).

#### 4. ROZWÓJ PRZETWORNIKÓW ELEKTROMECHANICZNYCH I TRANSFORMATORÓW

Rozwój konstrukcji maszyn elektrycznych i technologii ich wytwarzania trwa nieprzerwanie już około 150 lat. Kryteria determinujące ten rozwój z upływem lat zmieniały się i wynikały z istniejących warunków bądź potrzeb. Obecne kryterium narzuca ekologia. Kryterium to wynika z rozumowania, że o ile mniej niepotrzebnie zużyje się energii, o tyle mniej jej się wyprodukuje i zmniejszy się ujemne oddziaływanie energetyki na środowisko. Biorąc

pod uwagę, że około 60-70% produkowanej energii jest przetwarzana przez silniki elektryczne (głównie indukcyjne) na energię mechaniczną, podwyższenie ich sprawności wpłynie w sposób zauważalny na produkcję energii elektrycznej. Dodatkowymi kryteriami obowiązującymi obecnie w konstrukcji maszyn elektrycznych są kompatybilność elektromagnetyczna i warunki pracy ludzi, na które wpływają drgania maszyn i ich głośnie praca (hałas).

Kryterium ekologiczne determinuje minimalną dopuszczalną sprawność maszyn, wymusza ono zatem produkcję maszyn elektrycznych o wysokiej sprawności. Ponieważ względy ekonomiczne (cena maszyn i cena energii) nie są motywem do produkcji maszyn elektrycznych energooszczędnych, stąd już obecnie rząd USA i rząd Kanady przepisem państwowym (Energy Policy Act, 1992) wprowadziły zakaz sprzedaży silników nie spełniających warunków sprawności minimalnej podanej w normie NEMA.

Drugim czynnikiem rozwoju maszyn elektrycznych są osiągnięcia inżynierii materiałowej w zakresie materiałów magnetycznych i materiałów elektroizolacyjnych. Aplikacja tych osiągnięć oraz poszukiwanie nowych o wyższej sprawności rozwiązań obwodów elektromagnetycznych maszyn elektrycznych powodują ich ciągły rozwój i sprawiają, że przetworniki elektromechaniczne nadal są tematyką twórczą. Według rozeznania autora, tematyka prac obecnie rozwijanych przez ośrodki badawcze koncernów i firm produkujących maszyny elektryczne, a wynikająca z wymienionych kryteriów dotyczy:

- maszyn reluktancyjnych z magnesami trwałymi, w tym z komutatorem elektronicznym i maszyn hybrydowych, np. reluktancyjnych z dodatkowym podmagnesowaniem magnesami trwałymi [3,5],
- maszyn o nowych rozwiązaniach konstrukcyjnych np. Written-Pole Motor [1], w których sprawność i współczynnik mocy są większe, a prąd rozruchowy 2 do 3 razy mniejszy niż w silnikach indukcyjnych,
- maszyn wolnoobrotowych (ok. 30 obr/min) dla elektrowni wiatrowych [7],
- generatorów synchronicznych o napięciu 110 kV i większym, przeznaczonych do współpracy z systemem elektroenergetycznym bez transformatora pośredniczącego [2],
- przetworników elektromechanicznych, których budowę oparto na materiałach piezoceramicznych [4].

Silniki z komutatorem elektronicznym, z uwagi na wzbudzenie od magnesów trwałych, mają wyższą sprawność, a dynamika ich działania odpowiada maszynom prądu stałego, które jak dotychczas, charakteryzują się najmniejszą inercją. Silniki reluktancyjne, dowzbudowane magnesami trwałymi, mają większą sprawność i znacznie (nawet dwukrotnie) większą gęstością mocy [W/kg] niż silniki indukcyjne przy tej samej prędkości obrotowej.

Maszyny elektryczne, których uzwojenia mają wpisywaną liczbę biegunów (Written-Pole Motor), są wynalazkiem amerykańskim. Działanie takiego uzwojenia można sobie wyobrazić na przykładzie uzwojenia klatkowego silnika indukcyjnego, w którym liczba biegunów dopasowuje się (wpisuje) do liczby biegunów uzwojenia stojana. Jednakże wykonanie podobnego uzwojenia otwartego przystosowanego do zasilania zewnętrznego nie jest zagadnieniem prostym.



Urządzenia wykorzystujące odnawialne źródła energii, w szczególności elektrownie wiatrowe i elektrownie wodne o małej różnicy poziomu wody, stosują generatory wolnoobrotowe. Eliminując przekładnie mechaniczne powiększa się gabaryt maszyny, ale podwyższa się sprawność przetwarzania energii i zwiększa niezawodność pracy. Od generatorów tego typu wymagana jest trwałość co najmniej 20 lat bez przeglądu i konserwacji, gdyż wykonanie tych czynności na wieży wiatraka jest kłopotliwe. Gabaryty tych maszyn (bezprzekładniowe generatory wiatrakowe mają kilkumetrowe średnice) i warunki pracy na wolnym powietrzu w zmiennych warunkach klimatycznych powodują, że budowa tych urządzeń jest trudnym zadaniem konstrukcyjnym i technologicznym.

Zjawisko piezoelektryczne zostało rozpoznane w 1880 r., jednak dopiero opracowanie i produkcja ceramiki piezoelektrycznej o sprawności przetwarzania energii elektrycznej na mechaniczną dochodzącej do 90% stworzyły możliwości budowy elektromechanicznych przetworników energii w opartych na tych materiałach. Przetworniki tego typu różnią się od przetworników, które omawiano dotychczas:

- nie posiadają uzwojenia,
- przemiana energii dokonywana jest w polu elektrycznym,
- przetwornik pracuje w rezonansie, co w mechanice jest przypadkiem rzadkim,
- energię mechaniczną otrzymuje się w postaci drgań, które następnie należy zamienić na ruch liniowy lub obrotowy.

## 5. UWAGI KOŃCOWE

Ten krótki artykuł poświęcony problematyce przetworników elektromechanicznych w ujęciu historycznym, z wyakcentowaniem problematyki obecnej, jest spojrzeniem autorskim. Nie było moim celem omawiać wielkich osiągnięć nauki w zakresie teorii konstrukcji, technologii produkcji, badań i diagnostyki maszyn elektrycznych. Osiągnięcia te są utrwalone zarówno w dziełach fundamentalnych, na przykład w pracy [6], jak i monografiach i artykułach; literatura ta jest niezwykle obszerna w każdym języku. W tym artykule chciałem pokazać skąd wyszliśmy, gdzie obecnie jesteśmy i jaka jest perspektywa dalszego rozwoju w tematyce przetworników elektromechanicznych.

## LITERATURA

1. Dąbrowski M.: Maszyny elektryczne z biegunami wpisywanymi. „Wiadomości Elektrotechniczne” 2000, nr 2, ss. 52-54.
2. Dąbrowski M.: POWER-FORMER, nowy rodzaj prądnicy synchronicznej. „Wiadomości Elektrotechniczne” 1998, nr 9, ss. 947-949.
3. Glinka T.: Mikromaszyny elektryczne wzbudzane magnesami trwałymi. Wyd. Pol. Śląskie, Gliwice 1995.

4. Glinka T.: Modele fizyczne silników piezoelektrycznych. ZN Pol. Śląskiej, Mechanika, z. 13, Gliwice 2000.
5. Lippo T.A.: Advanced Motor Technologies Converter Fed Machines. Springer-Verlag, Berlin 1997, pp.205-222.
6. Richter R.: Elektrische Maschinen. Birkhauser, Basel 1951-1953.
7. Wyzwania stawiane elektrotechnice przez XXI wiek. Ekspertyza Komitetu Elektrotechniki PAN, 2000 r.

Wpłynęło do Redakcji dnia 20 maja 2000 r.