

BIULETYN INFORMACYJNY INSTYTUTU TECHNIKI CIEPLNEJ POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

WARSZAWA

TEL. 215021 w. 32 i 48

NOWOWIEJSKA 25

Nr 11/K.T.M.C.10

wrzesień 1967 r.

Prof.dr Bogumił Staniszewski
Dr Tomasz Wartanowicz
Katedra Teorii Maszyn Ciepłych

BADANIE PLAZMOWEGO PRZETWORNIKA OPARTEGO NA EFEKCIE KLEINA (model I)

1. Wstęp

Rozwój techniki wytwarzania i przetwarzania energii pozostaje ostatnio pod znakiem poszukiwania i badania metod bezpośredniego przetwarzania energii cieplnej w elektryczną. Jedną z takich metod jest wykorzystanie tzw. efektu kaloro-elektrycznego odkrytego przez francuskiego fizyka S.Kleina. Efekt ten polega na powstawaniu różnicy potencjałów na elektrodach umieszczonych w strumieniu przepływającej plazmy i mających różne temperatury.

Klein wykonał szereg urządzeń opartych na efekcie kaloro-elektrycznym, w których przepływał zjonizowany gaz lub para, przy czym jonizacja była uzyskiwana na drodze chemicznej w płomieniu [1] lub za pomocą prądów wysokiej częstotliwości [3].

Ostatnio były także prowadzone badania urządzenia pracującego w reaktorze jądrowym, w którym jonizacja gazu krążącego w układzie następowała w wyniku reakcji rozszczepienia jądrowego [2].

Teoria efektu kaloroelektrycznego nie została dotychczas opracowana, istnieją wprawdzie hipotezy tłumaczące jakościowo to zjawisko, jednak nie jest ono jeszcze w pełni poznane i opisane.

Praca niniejsza jest poświęcona opisowi badania eksperymentalnego przetwornika kaloroelektrycznego wykonanego w Instytucie Techniki Ciepłej. W przetworniku tym czynnikiem roboczym były pary rtęci, zaś jonizację uzyskiwano przez zastosowanie prądów wysokiej częstotliwości.

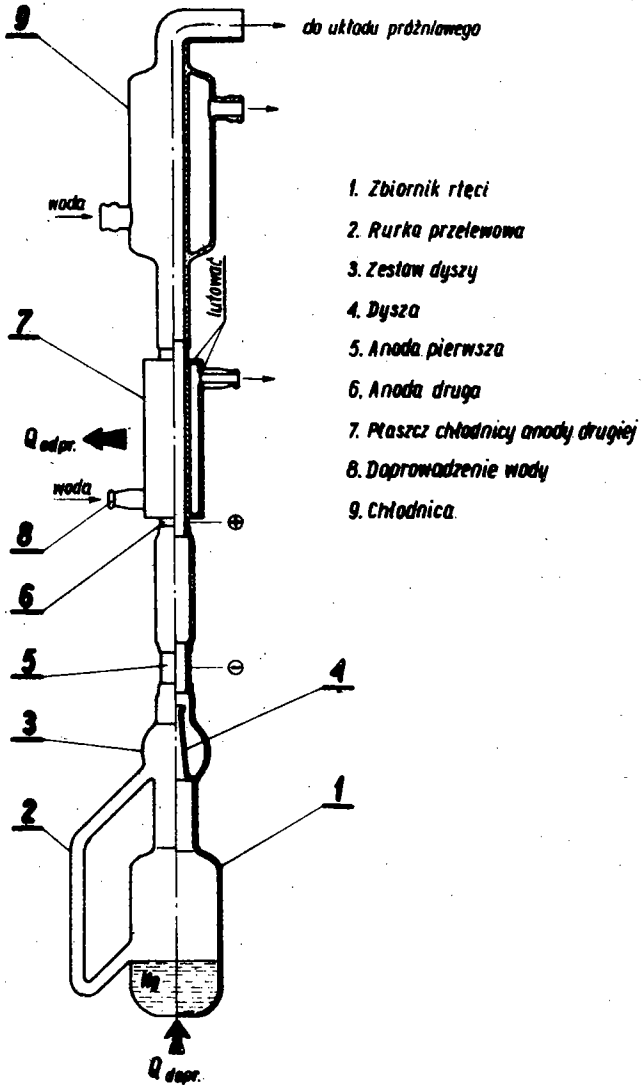
2. Opis badanego urządzenia

Badany przetwornik kaloroelektryczny przedstawiony jest na rysunku 1. Stanowi on naczynie szklane, którego dolna część (1) tworzy zbiornik rtęci. W górnej części zbiornika znajduje się dysza (2), nad nią zaś dwie elektrody metalowe (3 i 4). Przewód (5) łączy górną część aparatu ze zbiornikiem (1).

Urządzenie działa w sposób następujący. Rtęć ogrzewana jest do temperatury około 250°C , wskutek czego ciśnienie par rtęci wzrasta. Para przepływa następnie przez dyszę, w której rozpręża się, uzyskując dość znaczną prędkość przepływu. Zbiornik (1) jest otoczony uzwojeniem, przez które przepływa prąd dużej częstotliwości wynoszącej 40 M Hz, wytwarzający zmienne pole elektromagnetyczne, powodujące jonizację par rtęci. Zjonizowana para przepływa przez dyszę i dostaje się do górnej części aparatu, zawierającej 2 elektrody, w której wytworzona jest próżnia (ciśnienie wynosi około 10^{-3} Tr). Para skrapla się w tej części przetwornika i skroplona rtęć sływa przewodem 5 do zbiornika.

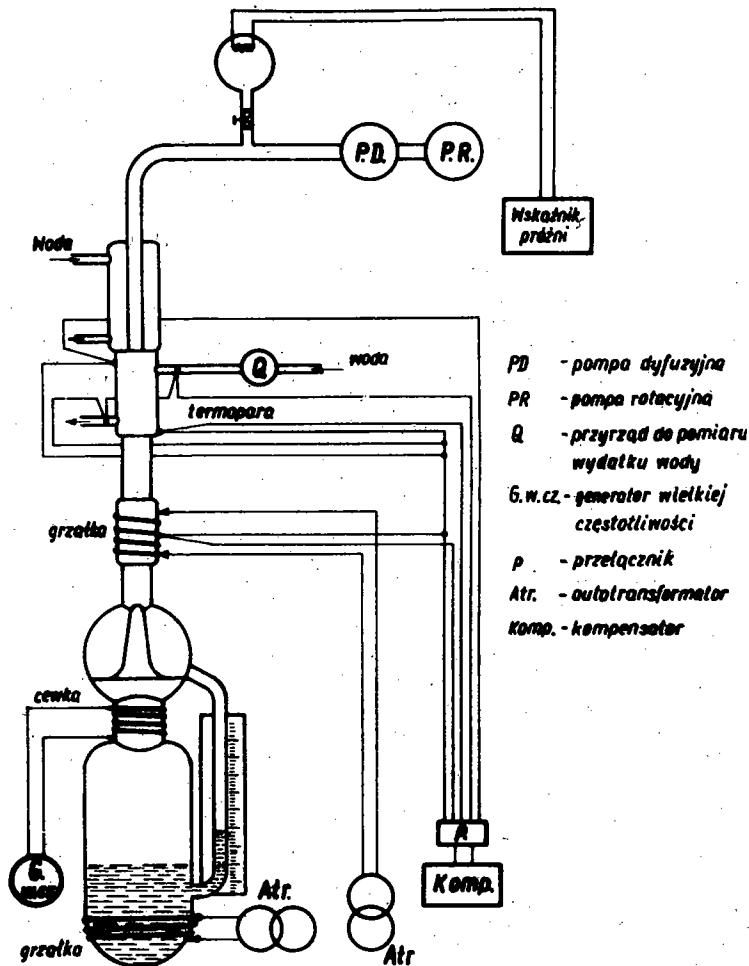
Schemat urządzenia wraz z układem pomiarowym przedstawia rysunek 2.

Obydwie elektrody mają kształt cylindryczny, przy czym elektroda znajdująca się bliżej dyszy jest ogrzewana grzałką zasilaną z sieci przez autotransformator, zaś druga elektroda, umieszczona w odległości 57 mm od poprzedniej, jest chłodzona wodą przepływającą przez płaszczyznę metalową, otaczającą elek-



Rys. 1

trodę. Dzięki temu można utrzymywać obydwie elektrody w różnych temperaturach, przy czym temperatury te mogą być regulowane za pomocą autotransformatora w przypadku elektrody grzanej oraz za pomocą natężenia przepływu wody w przypadku elektrody chłodzonej.



Rys. 2

Natężenie przepływu wody chłodzącej było mierzone za pomocą rotametu. Temperatury elektrod mierzono za pomocą termoelementów połączonych w układzie kompensacyjnym. Temperaturę elektrody chłodzonej wyznacza się pośrednio na podstawie znajomości temperatur wody chłodzącej na wlocie i wylocie

z płaszcza oraz temperatur płaszcza mierzonych w dolnej i górnej jego części.

Dolna część zbiornika rtęci owinięta jest spiralą grzejną zasilaną z sieci przez autotransformator, co pozwala regulować moc grzejną, a więc temperaturę i ciśnienie par rtęci w układzie. Jonizację pary powoduje cewka nawinięta na górnej części zbiornika i zasilana z generatora wysokiej częstotliwości.

Górna część przetwornika znajdująca się nad elektrodami jest chłodzona wodą celem zapewnienia skraplania się par rtęci. Skroplona rtęć ścieka następnie po ściankach urządzenia do zbiornika. W końcowej części układu znajdują się przewody łączące urządzenie z pompami próżniowymi oraz próżniomierzem oporowym.

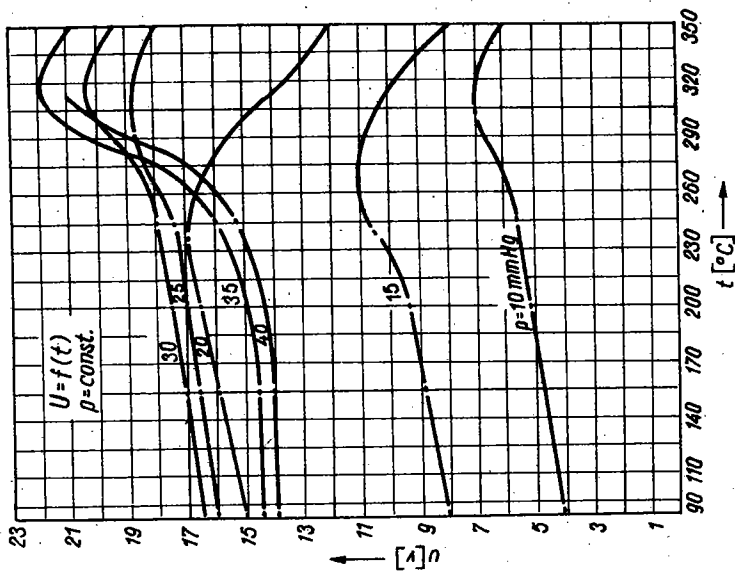
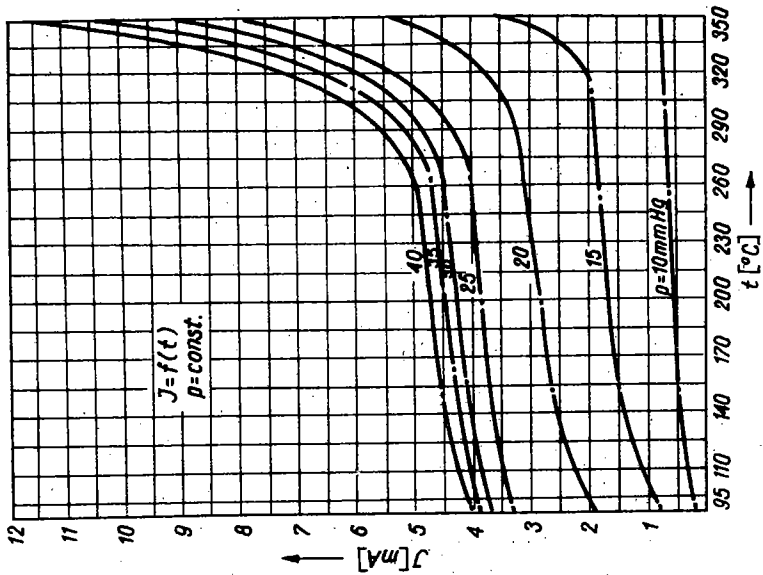
Celem badań było określenie siły elektromotorycznej powstającej w przetworniku oraz prądu zwarciovego przy różnych wartościach temperatury elektrody ogrzewanej oraz ciśnień par rtęci.

Prąd był mierzony amperomierzem laboratoryjnym kl. 0,2, zaś siła elektromotoryczna metodą kompensacyjną.

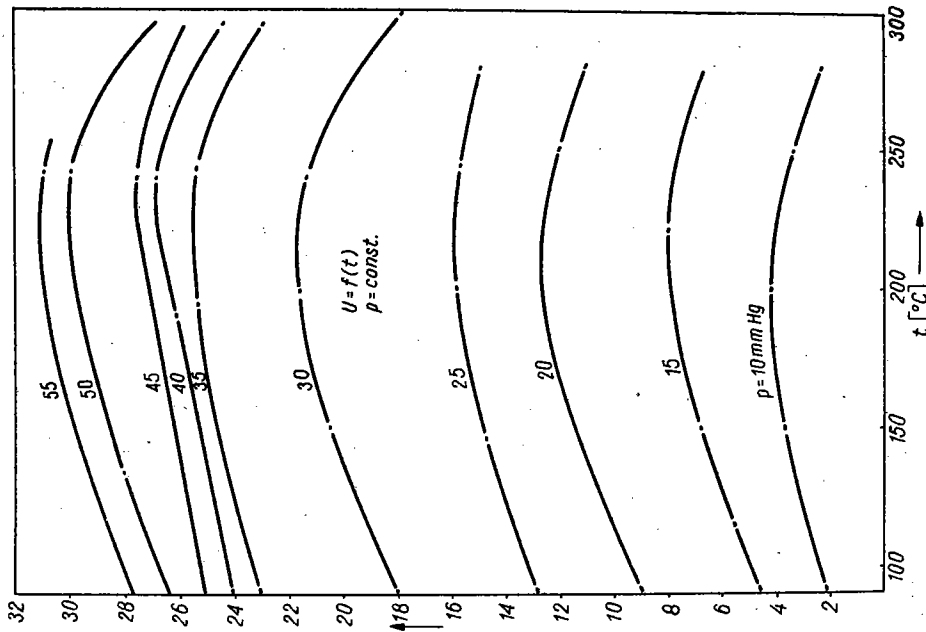
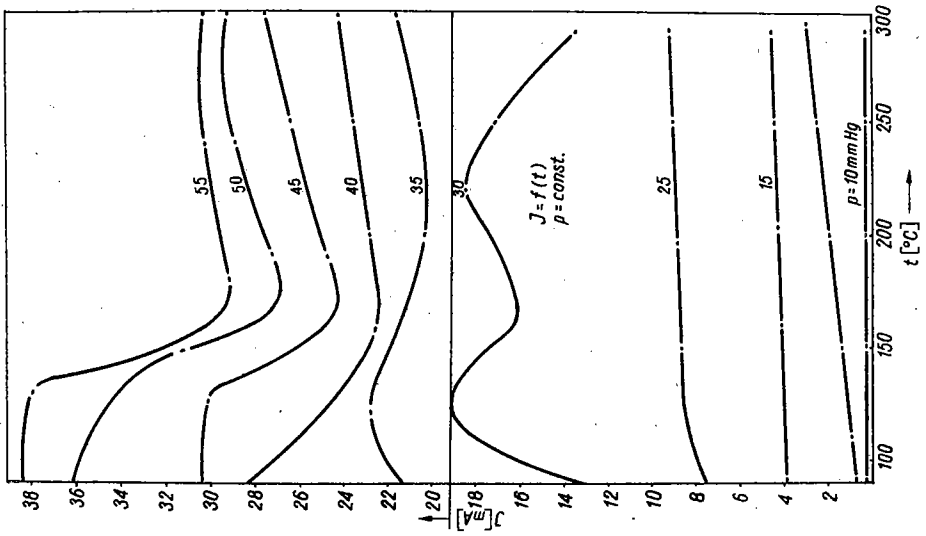
Badany układ był w zasadzie oparty na jednym z urządzeń Kleina, co było podyktowane chęcią zdobycia doświadczeń przed dalszymi modyfikacjami i zmianami. Jednocześnie otrzymane wyniki pozwalają na porównanie z rezultatami eksperymentów Kleina.

3. Wyniki pomiarów

Celem pomiarów było wyznaczenie podstawowych wielkości charakteryzujących właściwości energetyczne przetwornika, tzn. prądu zwarciovego i siły elektromotorycznej, przy różnych wartościach takich parametrów jak temperatura gorącej elektrody i natężenie przepływu par rtęci. Pomiarzy zostały wykonane przy dwóch odmiennych położeniach cewki jonizującej. W pierwszym przypadku cewka była nawinięta na górnej części zbiornika rtęci, a więc w dalszej odległości od elektrody gorącej, w drugim zaś cewka znajdowała się bliżej elektrody gorącej i była nawinięta na odcinku rury łączącej dyszę ze zbiornikiem



Rys. 3



Rys. 4

rtęci. Wyniki pomiarów przedstawiono w postaci wykresów na rysunkach 3 i 4. Wykresy te wykonane zostały w układzie współrzędnych: siła elektromotoryczna U lub prąd zwarcia J w funkcji temperatury elektrody gorącej, zaś ciśnienie par w zbiorniku rtęci jest parametrem zmiennym. Rysunek 3 odpowiada pierwszemu położeniu cewki, zaś rysunek 4 położeniu drugiemu.

Porównanie krzywych z rysunków 3 i 4 pozwala stwierdzić, że charakter zmian siły elektromotorycznej jest w obu przypadkach bardzo podobny, to znaczy jej wartość wzrasta przy rosnącym natężeniu przepływu par rtęci (co jest równoznaczne ze wzrostem ciśnienia w zbiorniku rtęci), natomiast przy stałym ciśnieniu par rtęci występuje maksimum siły elektromotorycznej. Maksimum to zachodzi dla temperatury elektrody gorącej równej temperaturze plazmy w danych warunkach, co można wykazać przez dodatkowe pomiary oraz głębszą analizę zjawiska. Dalszy wzrost temperatury - powoduje monotoniczny spadek siły elektromotorycznej. Wyraźny wpływ wzrostu natężenia przepływu plazmy na wartość siły elektromotorycznej zarysowuje się do ciśnień $p = 30 - 40$ mm Hg, przy czym dla pierwszego położenia cewki, w przeciwieństwie do położenia drugiego, występuje nawet dość znaczny spadek siły elektromotorycznej, po przekroczeniu wartości $p = 30$ mm Hg. Aktualnie trudno wytłumaczyć ten fakt ze względu na niedostatecznie opracowaną teorię efektu kaloro-elektrycznego.

Charakterystyki prądowe przetwornika otrzymane przy stałej wartości ciśnienia par rtęci wykazują natomiast odmienny przebieg dla obu badanych układów, przy czym można zaobserwować pewne prawidłowości. Jedynie przy małych wartościach ciśnień, tzn. w pierwszym przypadku dla $p = 10$ mm Hg, w drugim zaś dla $p = 20$ mm Hg, można stwierdzić monotoniczny wzrost prądu z temperaturą. Pozostałe wyniki można zaś scharakteryzować następująco:

a. Pierwsze położenie cewki jonizującej

Wzrost temperatury elektrody gorącej, przy stałym natężeniu przepływu plazmy, powoduje początkowo monotoniczny wzrost wartości prądu aż do temperatury około 290°C , począwszy zaś od tej wartości następuje gwałtowny skok wartości prądu w górę, tym gwałtowniejszy, im wyższe jest ciśnienie par w zbiorniku.

niku rtęci. Wpływ ciśnienia na zmiany prądu jest znaczny w zakresie wartości tego ciśnienia do około 25 mm Hg, przy wyższych zaś jego wartościach stopniowo maleje.

b. Drugie położenie cewki jonizującej

Wzrost ciśnienia par rtęci powyżej 20 mm Hg wywołuje zupełnie odmienny niż dla niższych ciśnień, przebieg krzywych dla stałej wartości ciśnienia par rtęci p . Przebiegi te charakteryzują się występowaniem dwóch maksimum i jednego minimum. Typowym przykładem jest krzywa odpowiadająca $p = 25$ mm Hg, pozostałe krzywe dla $p > 25$ mm Hg wykazują podobny charakter, jeśli odpowiednio zwiększy się temperaturę elektrody, czego nie pokazano na wykresie z powodu braku miejsca. Pierwsze maksimum występuje przy temperaturze $t \approx 120^{\circ}\text{C}$, zaś minimum przy $t \approx 175^{\circ}\text{C}$. Drugie maksimum odpowiada temperaturze elektrody gorącej równej temperaturze plazmy, co stanowi analogię z przebiegiem krzywej charakteryzującej zmienność siły elektromotorycznej. Należy podkreślić, że dwie krzywe dla $p = 30$ mm Hg i $p = 35$ mm Hg należy wyłączyć z omówienia, gdyż przetwornik pracował wówczas ze zmiennym stopniem jonizacji, spowodowanym zakłóceniami w sieci. Podobnie jak przy pierwszym położeniu cewki jonizującej, największy wpływ ciśnienia par rtęci na wzrost prądu zachodzi do $p = 25$ mm Hg.

Poza omówionymi pomiarami badano także wpływ natężenia przepływu plazmy na pobór mocy przez cewkę jonizującą. Jak się okazało energia potrzebna do jonizacji par rtęci początkowo rośnie gwałtownie z ich natężeniem przepływu, dochodzi do maksimum, następnie zaś maleje łagodnie. Spowodowane jest to możliwością osiągnięcia tylko pewnego określonego stopnia sprężenia między generatorem wysokiej częstotliwości (przez cewkę) i plazmę, przepływającą w rurze.

4. Wnioski końcowe

Omówione wyniki badań pozwalają stwierdzić ich podobieństwo do wyników uzyskanych przez Kleina.

Porównanie danych otrzymanych w obu układach pozwala stwierdzić, że układ, w którym cewka znajduje się bliżej elektrody gorącej pozwala na osiągnięcie lepszych wyników. Np. prąd

jest wówczas czterokrotnie większy w porównaniu z drugim z rozważanych układów, co jest spowodowane zmniejszonym wpływem zjawiska rekombinacji w plazmie, z uwagi na stosunkowo bliskie umieszczenie cewki jonizującej w stosunku do elektrody gorącej.

Ponadto wypływają pewne wnioski konstrukcyjne, a mianowicie należy zabezpieczyć możliwie bezkolizyjny spływ skroplonej rtęci do zbiornika, gdyż w przeciwnym przypadku spadające krople w kierunku dyszy zakłócają przepływ plazmy, co powoduje znaczne wahania napięcia.

Bibliografia

1. Klein S.: C.R.Acad.Sc. 251, Paris 1960, str.2492.
2. Klein S.: 6-eme Conf.Int.sur le phenomenes d'ionisation dans les gaz. Paris 8-13 juillet 1963, str.537.
3. Klein S.: Przegląd Elektrotechniczny. 11, Warszawa 1966, str.456.

Autorzy pragną podziękować mgr inż.S.Biale i mgr inż. J. Cieślowskiemu z Przemysłowego Instytutu Elektroniki za wykonanie kaloroelektrycznego przetwornika rtęciowego oraz dr inż.A. Rudzkiemu z Wydziału Elektroniki PW za okazaną pomoc w opracowaniu i wykonaniu generatora wysokiej częstotliwości. Ponadto autorzy dziękują studentom S.Niezbale i W.Nowakowskiemu z Wydziału MEL PW za wykonanie niezbędnych pomiarów.

nr 11/K.T.M.C.11

Mgr inż. Mieczysław Poniewski
Dr inż. Tomasz Wartanowicz
Katedra Teorii Maszyn Ciepłych

OCENA PLAZMOWEGO PRZETWORNIKA KALOROELEKTRYCZNEGO W PORÓWNANIU Z GENERATOREM MHD

Celem pracy jest porównanie dwu metod bezpośredniego przetwarzania energii: metody magneto hydrodynamicznej i metody kaloroelektrycznej.

1. Trudności praktycznej realizacji magnetohydrodynamicznej metody konwersji energii

Sprawność cieplną (sprawność wewnętrzną) generatora MHD definiuje się jako stosunek energii cieplnej, która jest przekazywana w postaci energii elektrycznej zewnętrznemu odbiornikowi do energii na wejściu do generatora. Maksymalne jej wartości dla najkorzystniejszego przypadku stałej prędkości wzdłuż kanału generatora zawierają się w granicach $\eta = 20-30\%$, czyli samodzielnie pracujący generator nie ma uzasadnienia ekonomicznego. Rozważane są zatem różne sposoby połączenia go z siłownią klasyczną, przy czym przewiduje się, że sprawność takiego układu skojarzonego: generator MHD - siłownia klasyczna, wyniesie 50 - 55% [2].

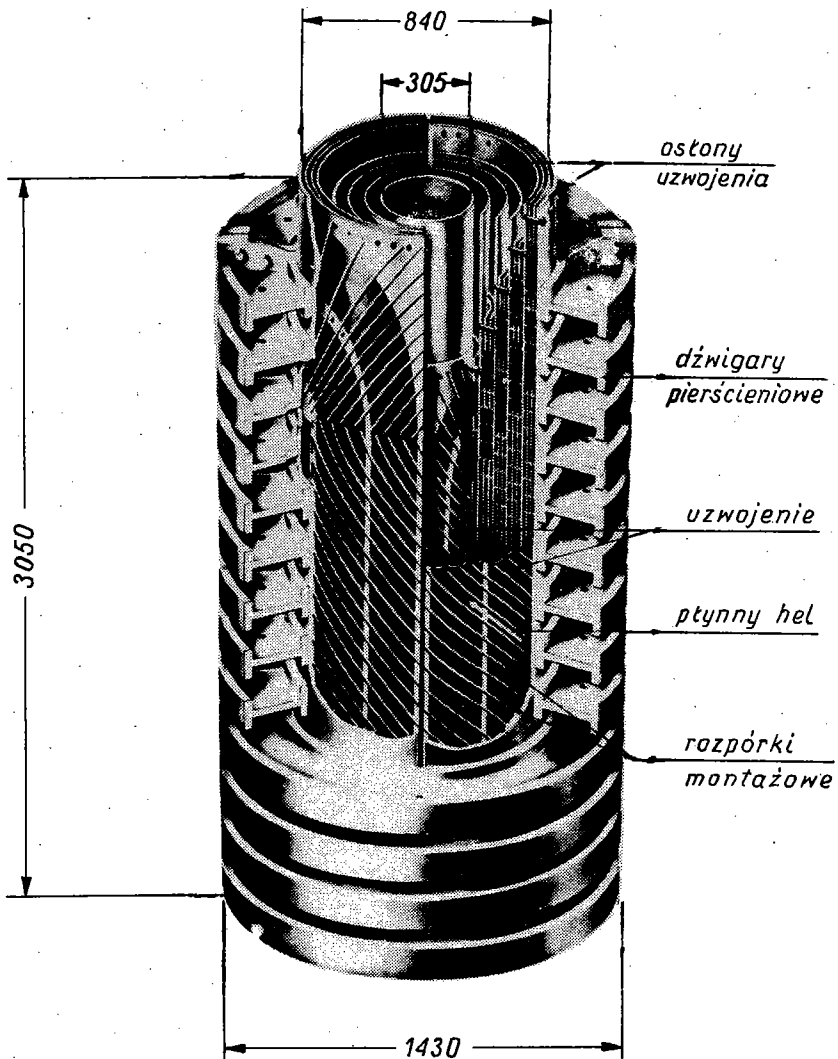
Należy zaznaczyć, że sprawność ogólna generatora MHD będzie znacznie niższa niż sprawność cieplna ze względu na szereg zjawisk obniżających jej wartość, do których zalicza się:

- 1) tarcie o ścianki kanału generatora,
- 2) zaburzenia przepływu prądów na końcu kanału,
- 3) zwieranie elektrod przez laminarną warstwę przyścienną,
- 4) straty ciepła na skutek chłodzenia ścianek,
- 5) straty wzbudzenia (straty mocy na wytworzenie niezbęd- nego do zaistnienia zjawiska pola magnetycznego).

Na skutek tych przyczyn sprawność ogólna generatora MHD nie przekracza 15%.

Straty mocy na wytworzenie pola magnetycznego w pierwszych generatorach, przy zastosowaniu elektromagnesów o chłodzonym wodą uzwojeniu miedzianym z rdzeniem żelaznym, sięgały 160% wartości energii elektrycznej, wytworzonej przez generator [1].

Można stwierdzić, że największe możliwości zastosowania, w zakresie magnesów dla generatorów magnetohydrodynamicznych, rokuje elektromagnesy z uzwojeniem nadprzewodzącym. Z obliczeń teoretycznych wynika, że straty mocy na wytworzenie pola magnetycznego nie przekroczą wartości 0,08% [1]. Na ostatnim sympozjum w Salzbürgu pracownicy Avco-Everett [3] opublikowali dane dotyczące nowego magnesu nadprzewodzącego o stosunkowo dużej objętości roboczej w porównaniu do urządzeń dotychczas zbudowanych.



Rys. 1. Elektromagnes nadprzewodzący wytwarzający pole magnetyczne o indukcji $B=4 \text{ Wb/m}^2$

W pokazanym na rys. 1 elektromagnesie opanowano problem wybuchów, związany z chwilową utratą nadprzewodności przez materiał uzwojenia, poprzez wtopienie prętów z Nb + 25% Zr w płytki miedziane. Pełnej charakterystyki opłacalności zastosowania elektromagnesów nadprzewodzących można dokonać po uwzględnieniu kosztów izolacji i materiałów nadprzewodzących na uzwojenie oraz strat mocy na chłodzenie, czyli utrzymanie uzwojenia w temperaturze bliskiej temperaturze ciekłego helu ($4,2^{\circ}\text{K}$).

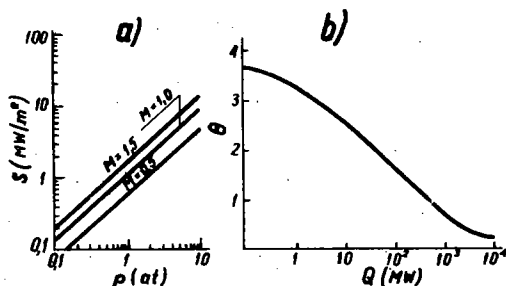
Maksymalna temperatura czynnika roboczego w kanale generatora MHD osiąga wartość około 3000°K , co powoduje duże trudności w znalezieniu odpowiednich materiałów na ścianki kanału i elektrody. Elek-

trody wykonane są najczęściej z wolframu, grafitu lub tantalu i chłodzone wodą. Ścianki natomiast robi się również z metalu z tym, że pokrywa się je warstwą tlenku (MgO , ZrO_2 itp.). Wadą takiego rozwiązania jest mała przewodność cieplna ścianek, a co za tym idzie straty ciepłne w kanale MHD, co znacznie obniża sprawność. Zależność strat ciepła odprowadzanego przez ścianki od ciśnienia czynnika roboczego i doprowadzonej mocy cieplnej ilustrują rysunki 2 [1].

Należy zaznaczyć, że maksymalny czas pracy kanału MHD przy zastosowaniu wymienionych materiałów wynosił zaledwie 1 godzinę.

2. Sprawność przetwornika kaloroelektrycznego

Wskazane wyżej trudności w dużej mierze nie występują w plazmowym przetworniku kaloroelektrycznym jak: brak układu wzbudzenia, niższe temperatury czynnika roboczego, co skłania do głębszej analizy tej metody bezpośredniej konwersji energii.

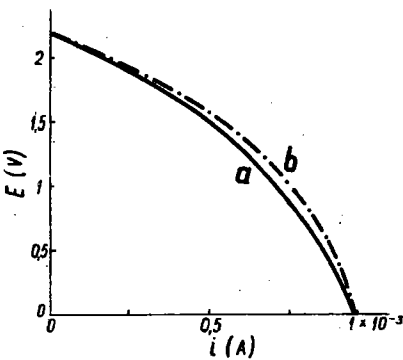


Rys. 2. Zależność strat ciepła S odprowadzanego przez ścianki od ciśnienia (a) i mocy wejściowej generatora MHD (b): θ - stosunek strat ciepła do entalpii gazu

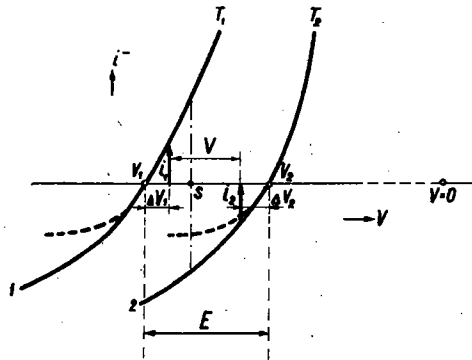
Przetwornik kaloroelektryczny mógłby znaleźć zastosowanie, podobnie jak generator MHD, jako pierwszy człon układu skojarzonego z siłownią klasyczną. Dla obiegu otwartego z plazmą płomieniową parametry czynnika, konstrukcja układu są podobne dla obu przetworników. Podane przyczyny są powodem, że najważniejszą drogą oceny plazmowego przetwornika kaloroelektrycznego wydaje się porównanie jego właściwości z generatorem magnetohydrodynamicznym.

Należy jednocześnie zauważyć, że w generatorze MHD motorem zjawiska jest przyłożone pole magnetyczne, natomiast w przetworniku kaloroelektrycznym różnica temperatur elektrod; podobieństwo zjawisk jest więc tylko zewnętrzne.

Podstawową wielkością określającą przydatność każdego przetwornika energii jest jego sprawność; obliczenie sprawności będzie wykonane dla przetwornika płomieniowego, który najwygodniej jest porównywać z generatorem MHD. Ponieważ obydwie teorie tłumaczące efekt kaloroelektryczny przyjmują, że SEM stanowi różnicę między potencjałami pływającymi każdej z elektrod, zanurzonej w plazmie, można posłużyć się opisem zaproponowanym przez A.von Enegeła i J.R.Cozensa. Teoria ta daje dobre przybliżenie ilościowe. Należy zastrzec, że obliczenia mogą być jedynie przybliżone, gdyż potencjały pływające elektrod nie są określone wyłącznie przez prąd elektronowy, a rozkład energii elektronów jest jedynie zbliżony do maxwellowskiego.



Rys. 3. Siła elektromotoryczna przetwornika płomieniowego w funkcji prądu: a - krzywa eksperymentalna, b - krzywa teoretyczna



Rys. 4. Zależność prądu płynącego do pojedynczej sondy w funkcji różnicy potencjałów

Charakterystykę zewnętrzną, teoretyczną i doświadczalną oraz zależność prądu płynącego do pojedynczej elektrody w funkcji potencjału pływającego podają rysunki 3 i 4 [4].

Siłę elektromotoryczną określa zależność

$$E = V_2 - V_1 , \quad (1)$$

a potencjał pływający elektrody 1 lub 2

$$V_{1,2} = -(kT_{e1,2}/2e) \ln (T_{e1,2} M_j / T_j M_e) . \quad (2)$$

Napięcie na zaciskach przetwornika określa równanie

$$U = E - (\Delta V_1 + \Delta V_2) . \quad (3)$$

Gęstość prądu

$$j = (eN_e)(kT_{e1}/2\pi M_e)^{\frac{1}{2}} \exp(-eV_1/kT_{e1}) \{ \exp(e\Delta V_1/kT_{e1}) - 1 \} . \quad (4)$$

Na podstawie rys. 3 i 4 można zauważyć, że maksymalną moc otrzymamy, gdy

$$U_p = 1/2 E . \quad (5)$$

Przy założeniu

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 , \quad (6)$$

mamy

$$\Delta V_1 = 1/4 E . \quad (7)$$

Po podstawieniu (7) do (4) otrzymuje się wyrażenie na gęstość prądu odpowiadającą mocy maksymalnej

$$j_p = (eN_e)(kT_{e1}/2\pi M_e)^{\frac{1}{2}} \exp(-eV_1/kT_{e1}) \{ \exp(0,25E/kT_{e1}) - 1 \} . \quad (8)$$

Maksymalną gęstość mocy, którą teoretycznie można odebrać od strumienia plazmy w przetworniku kaloroelektrycznym, reprezentuje iloczyn

P_{str} = energia elektronów w środku strumienia plazmy (energia nośników ładunków) \times gęstość ładunków (przyjmujemy $N_e = N_j$) \times prędkość najwolniejszych nośników ładunków (jony dodatnie przy elektrodzie zimnej). (9)

Maksymalna gęstość mocy odbieranej z przetwornika

$$P_{przet} = U_p j_p . \quad (10)$$

Sprawność przemiany (sprawność wewnętrzna) określa się następująco

$$\eta = \frac{P_{przet}}{P_{str}} 100\% . \quad (11)$$

Obliczenia zostaną wykonane dla przetwornika płomienia według danych doświadczalnych uzyskanych przez A.von Engela i J.R.Cozensa [4]:

$$\begin{aligned} T_1 &= 800^{\circ}\text{K} , & T_2 &= 300^{\circ}\text{K} , \\ kT_{el} &= 1,44 \cdot 10^1 \text{ J} , & kT_{e2} &= 0,36 \cdot 10^{-1} \text{ J} , \\ kT_{ep} &= 2,08 \cdot 10^{-1} \text{ J} , & T_{j2} &= T_2 , \\ N_e &= 5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3} , & & \\ V_1 &= 5,83 \text{ V} , & k &= 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J}^{\circ}\text{K} , \\ U_p &= 1,1 \text{ V} , & M_e &= 9,1 \cdot 10^{-28} \text{ g} , \\ V_1 &= 0,55 \text{ V} , & e &= 1,6 \cdot 10^{-1} \text{ C} . \end{aligned}$$

Wyniki obliczeń:

$$\begin{aligned} j_p &= 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ A/cm}^2 , \\ P_{przet} &= 1,87 \cdot 10^{-4} \text{ W/cm}^2 , \\ v_{j2} &= 0,5 \cdot 10^5 \text{ cm/S} , \\ P_{str} &= kT_{ep} N_e v_{j2} = 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ W/cm}^2 , \\ \eta &= 36\% . \end{aligned}$$

Otrzymana wartość sprawności jest wyższa od sprawności cieplnej generatora MGD.

Dokładniejsze obliczenie sprawności (określenie sprawności ogólnej) nie jest jeszcze możliwe ze względu na niedokładną znajomość zjawiska oraz brak urządzeń na skalę techniczną. Ale już teraz można stwierdzić, że sprawność ta będzie wyższa niż sprawność generatora MHD. Stwierdzenie powyższe opieramy na otrzymanym wyniku liczbowym, $\eta = 36\%$ oraz na tym, że sprawności ogólne miałyby niewiele mniejszą wartość, gdyż w kaloroelektrycznym przetworniku plazmowym nie mamy strat wzbudzenia a straty chłodzenia powinny być niższe niż w MHD, ze względu na możliwość pracy przy znacznie niższej temperaturze czynnika roboczego (od 500° - 2000° K).

3. Ogólna charakterystyka plazmowych przetworników kaloroelektrycznych

W tym paragrafie są omówione zasadnicze własności kaloroelektrycznego plazmowego przetwornika. Szczególną uwagę zwrócono na te cechy, które dają mu pewną przewagę nad generatorem magnetohydrodynamicznym. Są to:

- 1) niska temperatura elektrod (ścianek kanału), przeważnie 500° K dla elektrody zimnej i 800° K dla elektrody gorącej,
- 2) niska temperatura czynnika roboczego (od 500 - 2300° K),
- 3) mniejsze straty chłodzenia niż w generatorze MHD, co wynika z p. 2,
- 4) brak układu wzbudzenia (elektromagnesów).

Badania wykazały, że otrzymywana SEM nie zależy od temperatury całego urządzenia, jest natomiast funkcją różnicy temperatur elektrod. Dzięki temu mniejsze są straty chłodzenia ścianek a zarazem łatwiej zbudować urządzenie nadające się do pracy ciągłej, co jak wiemy, w przypadku generatora MHD nie jest możliwe przy użyciu obecnie znanych materiałów konstrukcyjnych.

Ponieważ w przetworniku kaloroelektrycznym motorem zjawiska jest różnica temperatur elektrod, a nie pole magnetyczne jak w generatorze MHD, nie ma w ogóle strat wzbudzenia.

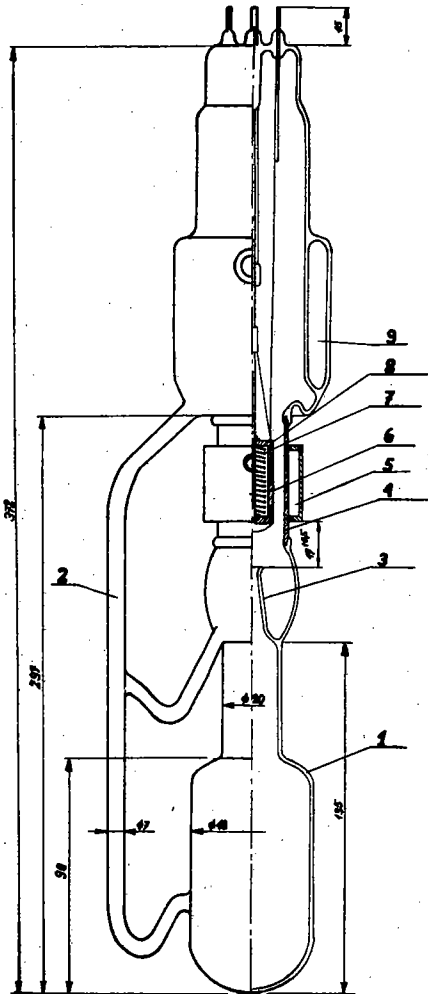
O ile istnieją możliwości zbudowania w najbliższym czasie magnesu nadprzewodzącego, co pozwoliłoby znacznie zmniejszyć straty wzbudzenia, to nie wydaje się możliwe zbudowanie kanału generatora MHD, który nadałby się do pracy ciągłej.

Omówione cechy przetwornika plazmowego, tj. wyższa sprawność wewnętrzna, niższa temperatura pracy i brak układu wzbudzenia, stanowią zalety tej metody przemiany energii w porównaniu z metodą magnetohydrodynamiczną.

Później przedstawiono aktualne perspektywy zastosowania poszczególnych typów przetworników kaloroelektrycznych.

W przetworniku rtęciowym, który stanowi obieg zamknięty, jonizację uzyskujemy przez zastosowanie pola wielkiej częstotliwości. Sprawność sprzężenia cewka jonizująca - płatna jest niska, rzędu 50%, ale udział tej sprawności w sprawności ogólnej przetwornika można zmniejszyć przez zastąpienie rtęci o potencjale jonizacji 10,4 V innym czynnikiem o niższym potencjale jonizacji, np. cezem - 3,86 V.

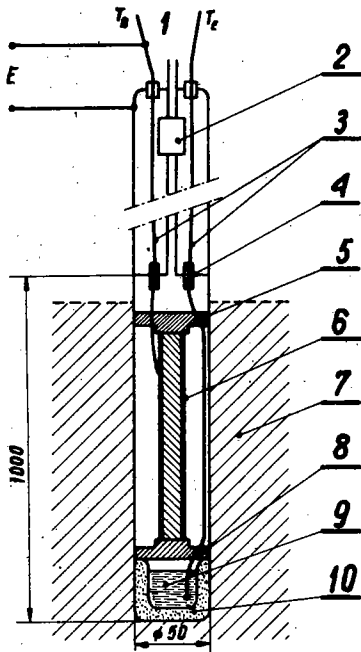
Przetwornik na paliwo jądrowe daje bardzo małą moc. Proponowane przez S.Kleina [5] zwiększenie mocy poprzez wzrost gęstości strumienia neutronów w praktyce niewiele poprawiłoby



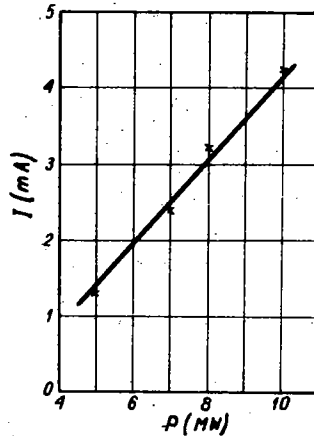
Rys. 5. Przetwornik rtęciowy o współśrodkowych elektrodach: 1 - zbiornik rtęci, 2 - rurka opadowa, 3 - dysza, 4 - elektroda zimna, 5 - chłodnica elektrody, 6 - elektroda gorąca, 7 - grzejnik, 8 - termopara, 9 - chłodnica

uzyskane dotychczas wyniki. Wzrost ciśnienia roboczego we-

wewnątrz urządzenia wpłynąby początkowo na wzrost gęstości ładunków, a co za tym idzie i gęstości prądu. W miarę podnoszenia ciśnienia wewnątrz urządzenia wzrasta wpływ rekombinacji i należy zatem drogą eksperymentalną ustalić ciśnienie optymalne.



Rys. 6. Schemat przetwornika użytego w kanale reaktora E13: 1 - w kierunku pompy próżniowej, 2 - filtr produktów rozpadu, 3 - termopary, 4 - przejście ceramiczne, 5 - izolator, 6 - warstwa U_3O_8 , 7 - ciężka woda reaktora, 8 - izolator, 9 - ciężka woda przetwornika, 10 - izolacja termiczna

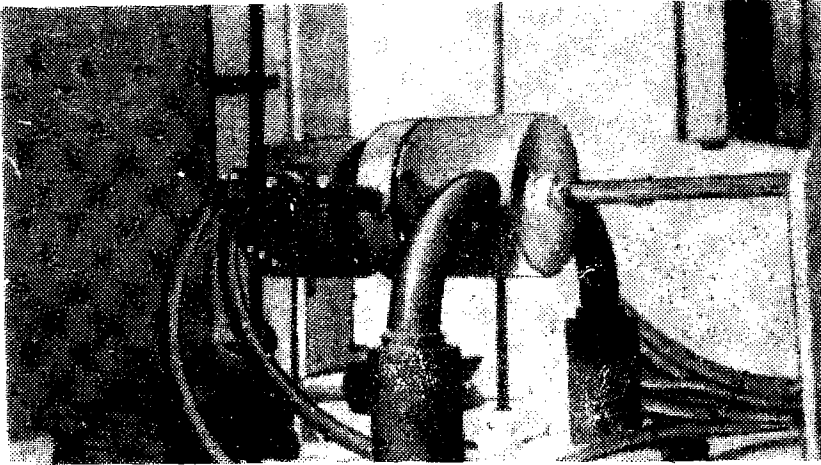


Rys. 7. Zmienność prądu przetwornika z rys. 6 (na oporność 100Ω) w funkcji mocy reaktora

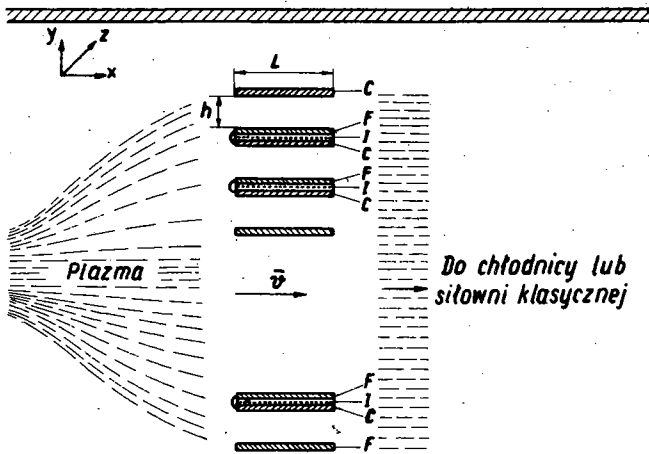
Wydaje się, że najszersze możliwości praktycznego zastosowania rysują się dla przetwornika płomieniowego.

Przetwornik ten stanowiłby pierwszy człon układu skojarzonego [6]. Taki układ, przetwornik kaloroelektryczny-siłownia klasyczna, można porównać z układem otwartym siłowni MGD.

Opierając się na podanych teoriach efektu kaloroelektrycznego, możemy stwierdzić, że połączenie (jak na rys. 9) pozwala zwiększyć SEM 2V, otrzymywaną z jednej komory, tyle razy ile jest komór. Wiąże się to z lepszym odprowadzeniem ładunków z obszaru. Należałoby tak dobrać wymiary komór, ich ilość oraz prędkość przepływu



Rys. 8. Przetwornik płomieniowy składający się z dwóch elektrod umieszczonych wzdłuż płomienia



Rys. 9. Schemat połączenia przetwornika kaloroelektrycznego płomieniowego z siłownią klasyczną: C - elektroda zimna, I - izolator elektryczny i cieplny, E - elektroda gorąca

czynnika, by zbierać możliwie dużą ilość ładunków. Należy podkreślić, że ze względu na możliwość pracy przetwornika, przy znacznie niższej temperaturze plazmy niż w generatorze MHD, łatwiej tak dobrać jej parametry, aby one były optymalne dla siłowni klasycznej, co wpłynęłoby korzystnie na sprawność układu skojarzonego.

Wykaz oznaczeń

e	- ładunek elektronu (C)
j	- gęstość prądu (A/cm ²)
j _p	- gęstość prądu dla mocy maksymalnej przetwornika (A/cm ²)
k	- stała Boltzmana (J/°K)
p	- ciśnienie (at)
B	- indukcja pola magnetycznego (Wb/m ²)
E	- siła elektromotoryczna (V)
M _{e,j}	- masa elektronu jonu (g)
N _{e,j}	- gęstość elektronów lub jonów (cm ⁻³)
P _{przetw}	- gęstość mocy przetwornika (W/cm ²)
P _{str}	- gęstość mocy strumienia plazmy (W/cm ²)
Q	- moc na wejściu kanału MHD (MW)
S	- straty ciepła przez ścianki kanału MHD (MW/m ²)
T _{e,j}	- temperatura elektronów lub jonów (°K)
T _{e,p}	- temperatura elektronów w środku strumienia plazmy (°K)
T _{1,2}	- temperatura elektrody (°K)
U	- napięcie (V)
U _p	- napięcie dla mocy maksymalnej (V)
η	- sprawność (%)
S	- stosunek strat ciepła do entalpii gazu
v _{ej}	- prędkość elektronu (jonu)

Bibliografia

1. Urusow J.D.: MGD-generatory, Moskwa 1966.
 2. Jędrzejowski Z., Andrzejewski S.: Electricity from MHD, Proc. of a symposium, Salzburg 1966, vo.III, p.177.
 3. Kantrowitz A. i inni: Electricity from MHD. Proc. of a symposium, Salzburg 1966, vol.III, p.177.
 4. A.von Enegel i Cozeus J.R.: Proc. Phys.Soc. 1963, vol. 82, part. 1, N. 525, p. 85.
 5. Klein S.: Przegląd Elektrotechniczny, 1966, Nr 11, str.456.
 6. Klein S., Surdin M.: Comptes Reudus, Acad.Sc., 254, 1962, p. 2303.
- Wyk. ZG P.W.,z.46, n.100+20