

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

PROBLEMY

ŁĄCZNOŚCI

89

1973

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 13

WARSZAWA 1973

NR 89

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Problemów Łączności

Redaktor Naczelny - mgr inż. Jerzy Rutkowski

Redaktorzy działów:

mgr inż. Władysław Cetner, mgr inż. Adam Moniuszko,

mgr inż. Józef Możejko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności

Format B5. Nakład 940. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 29.04.1972 r.

Druk ukończono w styczniu 1973 r.

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Opracowanie tłumaczeń

PIERWOTNE ŹRÓDŁA ENERGII

SPIS TREŚCI

	Str.
Generatory termoelektryczne	3
Elektrownie wiatrowe	30
Ogniwa pierwotne /galwaniczne/	53
Ogniwa słoneczne	65
Turbogeneratory parowe pracujące w obiegu zamkniętym	75
Ogniwa paliwowe	79

PIERWOTNE ŹRÓDŁA ENERGII

Opracował H. Naimski na podstawie wydawnictwa
CCITT: pt. Primary Sources of Energy, Geneva
1970 r.

WSTĘP

Od dawna już istnieje problem zasilania energią elektryczną urządzeń telekomunikacyjnych instalowanych w miejscach, gdzie doprowadzenie energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej jest niemożliwe albo bardzo trudne i połączone z dużymi kosztami. Dotyczy to przede wszystkim stacji teletransmisyjnych /wzmacniakowych/, stacji linii radiowych, stacji retransmisyjnych telewizji i radiofonii itp. urządzeń, często zlokalizowanych z dala od osiedli, niekiedy na trudno dostępnych wzgórzach i zwykle nie mających stałej obsługi.

Urządzenia te obecnie, dzięki tranzystoryzacji, wymagają niewielkiej ilości energii, co ułatwia w pewnym stopniu rozwiązanie tego zagadnienia przez zastosowanie niekonwencjonalnych źródeł małej mocy, takich jak na przykład generatory termoelektryczne, silniki wiatrowe, ogniwa słoneczne, ogniwa paliwowe i inne.

Niniejsze opracowanie, oparte na zbiorowej pracy powołanej przez CCITT Specjalnej Samodzielnej Grupy Roboczej nr 4 /GAS 4/, zawiera informacje dotyczące tego problemu.

W opracowaniu opuszczono wiadomości dotyczące akumulatorów

elektrycznych oraz spalinowych zespołów prądotwórczych, które są od dawna znane i szeroko stosowane w Polsce w urządzeniach telekomunikacyjnych. Pominięto też informacje o turbinach gazowych, silniku Stirlinga, generatorach magneto hydrodynamicznych oraz przekształtnikach termicznych, gdyż te źródła energii bądź znajdują się dopiero w stadium wyłącznie eksperymentalnym, bądź ze względu na bardzo duże moce nie nadają się do celów omówionych na wstępie. Trzeba też zaznaczyć, że informacje na te tematy są bardzo skąpe.

Głównym powodem opracowania SSGR nr 4 była chęć przyjsia z pomocą krajom rozwijającym się i rozbudowującym sieci telekomunikacyjne na terenach słabo zaludnionych, trudno dostępnych, gdzie istnieją szczególne trudności związane z położeniem geograficznym, ukształtowaniem terenu itp. Wydaje się jednak, że i w Polsce zagadnienie źródeł energii, nie związanych z siecią elektroenergetyczną, nabiera dużego znaczenia, a to przede wszystkim w związku z rozbudową sieci stacji retransmisyjnych radiofonii i telewizji, które są niezbędne do pokrycia odbiorem programu obszaru całego kraju.

Wydawnictwo CCITT, aczkolwiek oparte na wielu źródłach z literatury specjalistycznej, nie może rzecz jasna zawierać wyczerpujących danych konstrukcyjnych. Stanowi jednak materiał wyjściowy do konkretnych opracowań użytkowych.

GENERATORY TERMOELEKTRYCZNE

Wprowadzenie

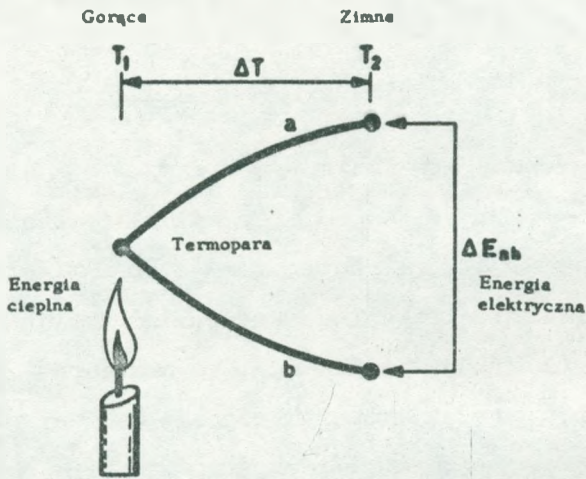
Generatorem termoelektrycznym jest urządzenie ciała stałego przetwarzające energię cieplną na energię elektryczną. Źródłem energii cieplnej może być specjalne paliwo albo izotop radioaktywny. Teoretycznie każda reakcja egzotermiczna może być użyta jako źródło ciepła, zarówno chemiczna, jak i nuklearna. W praktyce o rodzaju źródła energii cieplnej, użytego w generatorze termoelektrycznym, decydują względy ekonomiczne oraz możliwości uzyskania paliwa.

Podstawowa zasada działania

Działanie generatora termoelektrycznego jest oparte na zjawisku Seebecka, zasadzie przemiany energii odkrytej przez tego uczonego w 1821 r. Zasadę tę przedstawia rys. 1.

Gdy dwa różne przewodniki /a, b/ zostaną połączone i miejsce to będzie podgrzewane, tak że podtrzymana będzie różnica temperatury $|\Delta T|$, między punktem połączenia T_1 a przeciwnymi zakończeniami T_2 , to powstanie siła elektromotoryczna ΔE_{ab} , która spowoduje przepływ prądu w obwodzie przyłączonym do obydwu zakończeń T_{2a} i T_{2b} .

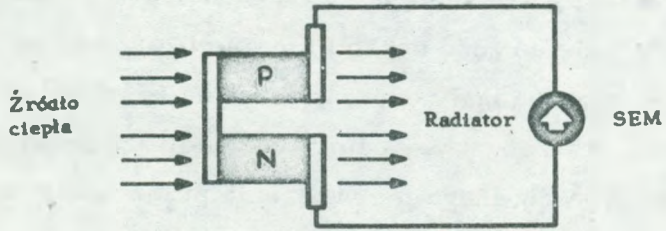
Tego rodzaju układ różnych przewodników nazywa się termoparą /lub termoogniwem/, a energia elektryczna uzyskana w ten sposób - energią termoelektryczną. Ilość tej energii otrzymanej z termopary jest wprost proporcjonalna do różnicy temperatury występującej na niej.



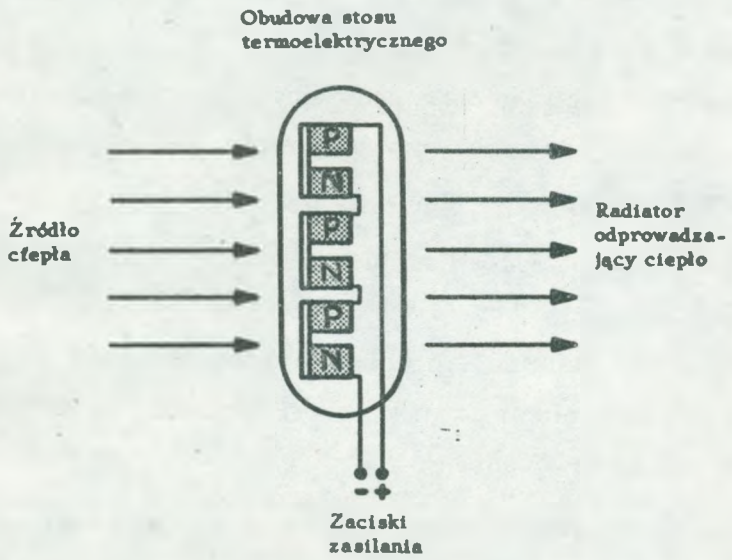
Rys. 1. Zasada działania generatora termoelektrycznego

Termopary złożone z przewodników metalowych są stosowane od wielu lat do pomiarów temperatury, jednak nie znalazły szerszego zastosowania do wytwarzania energii elektrycznej. Metalowa termopara nie jest zdolna do wytworzenia dostatecznej do celów użytkowych energii elektrycznej ze względu na duże przewodnictwo cieplne przewodów metalowych, uniemożliwiające utrzymanie odpowiednio dużej różnicy temperatury. Natomiast rozwój materiałów półprzewodnikowych umożliwia uzyskanie termopar zapewniających znaczne ulepszenie generatorów termoelektrycznych. Termopary stosowane w generatorach termoelektrycznych dostępnych w handlu składają się z elementów typu P i N / różnych pod względem koncentracji nośników /, z materiałów półprzewodnikowych, takich jak PbTe, SiGe i BiTe. W tego rodzaju / rys. 2 / termoparze można utrzymać różnicę temperatury sięgającą aż do 450°C , i w wyniku tego odpowiednio dużą ΔE .

Generator termoelektryczny składa się z wielu termopar pół-



Rys. 2. Termopara półprzewodnikowa



Rys. 3. Stos termoelektryczny

przewodnikowych połączonych elektrycznie szeregowo, tworzących stos termoelektryczny / rys. 3/. Ciepło przenoszone jest z komory spalania do stosu, gdzie następuje przemiana części energii cieplnej na elektryczną, a część energii nie przetworzonej na elektryczną musi być w sposób ciągły odprowadzana na zewnątrz. Do tego celu służy radiator żeberkowy odprowadzający zbędne ciepło do atmosfery drogą swobodnego przewodzenia przez powietrze.

Paliwa

Materiały termoelektryczne stosowane w generatorach są dobierane w zależności od rodzaju paliwa, które ma być użyte do uzyskania optymalnej skuteczności.

W telekomunikacji, gdzie niezawodność pracy w obiektach niedozorowanych jest zasadniczym wymaganiem, paliwo powinno odpowiadać następującym warunkom.

- 1/ ogólna dostępność w handlu,
- 2/ niski koszt,
- 3/ chemiczna stabilność podczas przechowywania,
- 4/ całkowite spalanie przy wysokiej sprawności,
- 5/ łatwość przewożenia.

Warunkom tym odpowiadają, jeśli idzie o paliwa węglowodorowe: gaz ziemny, propan i butan, które ponadto, mając naturalne ciśnienie parowania, eliminują potrzebę dodatkowego zewnętrznego sprężania paliwa.

W przypadku obiektu obsługiwanego, gdzie też istnieje możliwość ciągłej konserwacji, nadają się jako paliwa: nafta, benzyna, olej napędowy lub paliwo stosowane w odrzutowcach. Są to jednak pali-

wa na ogół niestabilne przy przechowywaniu i nie mogą być całkowicie spalane bez powstawania pozostałości.

Innym źródłem energii cieplnej mogą być izotopy promieniotwórcze.

Rozpad izotopów radioaktywnych pozwala na uzyskanie bardzo stabilnego źródła energii cieplnej. Radioaktywność zanika eksponentalnie z czasem. Czas, w którym aktywność rozpadu /dezintegracji/ osiąga połowę natężenia początkowego, nazywa się okresem połowicznego rozpadu. Często stosowany izotop Stront 90 charakteryzuje się okresem połowicznego rozpadu, wynoszącym 28 lat. Zwykle wykorzystuje się jednak ten izotop w ciągu 5-10 lat.

Moc i sprawność

Teoretycznie nie ma ograniczenia liczby termopar lub stosów, które można łączyć dla otrzymania dużej mocy. W praktyce, w obecnym stanie techniki, ekonomiczne granice mocy generatorów termoelektrycznych sięgają 500 W, a nawet istnieją możliwości zwiększenia mocy do 1 kW tam, gdzie są korzystne warunki dostawy paliwa.

Sprawność przemiany materiałów termoelektrycznych osiąga 15%. Typowa sprawność wypadkowa generatorów handlowych jest w zakresie 1,5 do 5%, co czyni je w praktyce możliwymi do stosowania pod względem ekonomicznym.

Obecny stan wykorzystania

Urządzenia, wykorzystujące paliwa węglowodorowe, wprowadzono do produkcji na skalę handlową począwszy od 1961 r. w USA i

w niektórych krajach europejskich.

W większości urządzenia te znalazły zastosowanie tam, gdzie istotne znaczenie ma niezawodne dostarczanie energii w sposób ciągły. Typowymi zastosowaniami są:

- telekomunikacja,
- ochrona katodowa,
- środki pomocnicze dla nawigacji,
- telemetria,
- rejestracja danych,
- zdalna sygnalizacja i alarmowanie.

Najszersze zastosowanie w świecie znalazły w dziedzinie telekomunikacji - głównie w niedozorowanych stacjach wzmacniakowych sieci przewodowej lub w stacjach linii radiowych, stacjach przekąźnikowych itp.

Podobnie, jak każde nowe urządzenie, generatory termoelektryczne przyjmują się bardzo powoli w praktyce w terenach, gdzie dominują konwencjonalne metody wytwarzania energii. Ogólna akceptacja wyniknie dopiero w praktyce na podstawie pozytywnych rezultatów pracy.

Generatory termoelektryczne, oparte na wykorzystaniu Strontu 90 jako źródła ciepła, są przeznaczone do ciągłej pracy w okresie powyżej 5 lat. Generatory takie nadają się do instalowania w odosobnionych miejscach i pozostawiania bez opieki w ciągu 5-10 lat. Koszt zakupu obejmuje koszt generatora i paliwa izotopowego. Generatory tego rodzaju są produkowane już w USA i w Europie.

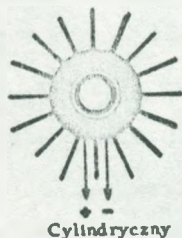
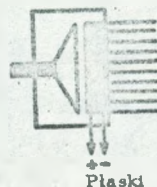
Obecna działalność w zakresie ich badań i rozwoju idzie w różnych kierunkach użycia izotopowych generatorów termoelektrycz-

nych: na lądzie, pod wodą i w przestrzeni kosmicznej. Urządzenia stosowane wspólnie mają zatem charakter doświadczalny. Stosowane są one w miejscach bardzo odosobnionych, gdzie koszt uzyskania niezawodnego źródła energii środkami konwencjonalnymi byłby bliski lub większy od obecnego kosztu izotopowego źródła energii.

Opis urządzeń

Generatory termoelektryczne z paliwem węglowodorowym są produkowane w dwóch podstawowych typach: jeden w kształcie płaskich stosów termoelektrycznych umieszczonych między palnikiem a radiatorom żeberkowym /rys. 4/ oraz drugi w kształcie cylindrycznego palnika umieszczonego w środku stosu termoelektrycznego, mającego na obwodzie żebra radiatora /rys. 5/.

Rys. 4. Płaski stos termoelektryczny



Rys. 5. Cylindryczny stos termoelektryczny

Wymiary generatorów z paliwem węglowodorowym zawierają się w granicach od 0,06 m³ i ciężarze 13 kg do 0,3 m³ i 120 kg w zależności od mocy wytwarzanej.

Palniki są przystosowane do paliw dostępnych w handlu, a mianowicie na gaz: miejski, ziemny /metan/, propan, butan lub mieszany propan - butan. Są stosowane palniki zwykłego typu atmosferycznego albo katalitycznego. Zapłon odbywa się ręcznie lub automatycznie.

Konstrukcja obudowy stosu termoelektrycznego wraz z palnikiem i radiatorem powinna mieć własną ochronę przed oddziaływaniem zewnętrznym i wpływami atmosferycznymi w każdym klimacie. Obudowa ma zwykle dostateczną odporność i wytrzymałość potrzebną podczas instalowania, jak również podczas pracy w niesprzyjających warunkach w miejscach odosobnionych.

Lokalizacja generatora, niezależnie od względów, jakimi się należy kierować w stosunku do urządzeń telekomunikacyjnych, powinna umożliwiać dostęp w celu uzupełniania paliwa. Tam gdzie dostęp za pomocą drogi nie jest możliwy, stosuje się zaopatrywanie w paliwo innymi środkami /przenoszenie przez ludzi, zwierzęta juczne, helikoptery itp./. Zbiorniki paliwa mogą być umieszczane nad ziemią lub pod ziemią i powinny mieć dostateczną pojemność, zapewniającą utrzymanie ciągłości pracy urządzeń zasilanych przy nieczęstym dostarczaniu paliwa. Jeżeli istnieje możliwość dowozu paliwa drogą, można zmagazynować paliwo w ilości wystarczającej nawet na cały rok pracy. W trudnych warunkach transportu muszą być zastosowane mniejsze zbiorniki /butle/. Przez łączenie w prosty sposób poszczególnych mniejszych butli można uzyskać dostatecznie duży główny zbiornik paliwa, a poza tym jeszcze zbiornik

rezerwowo. Wymiana lub uzupełnianie zbiorników paliwa powinno odbywać się bez przerywania pracy całego urządzenia.

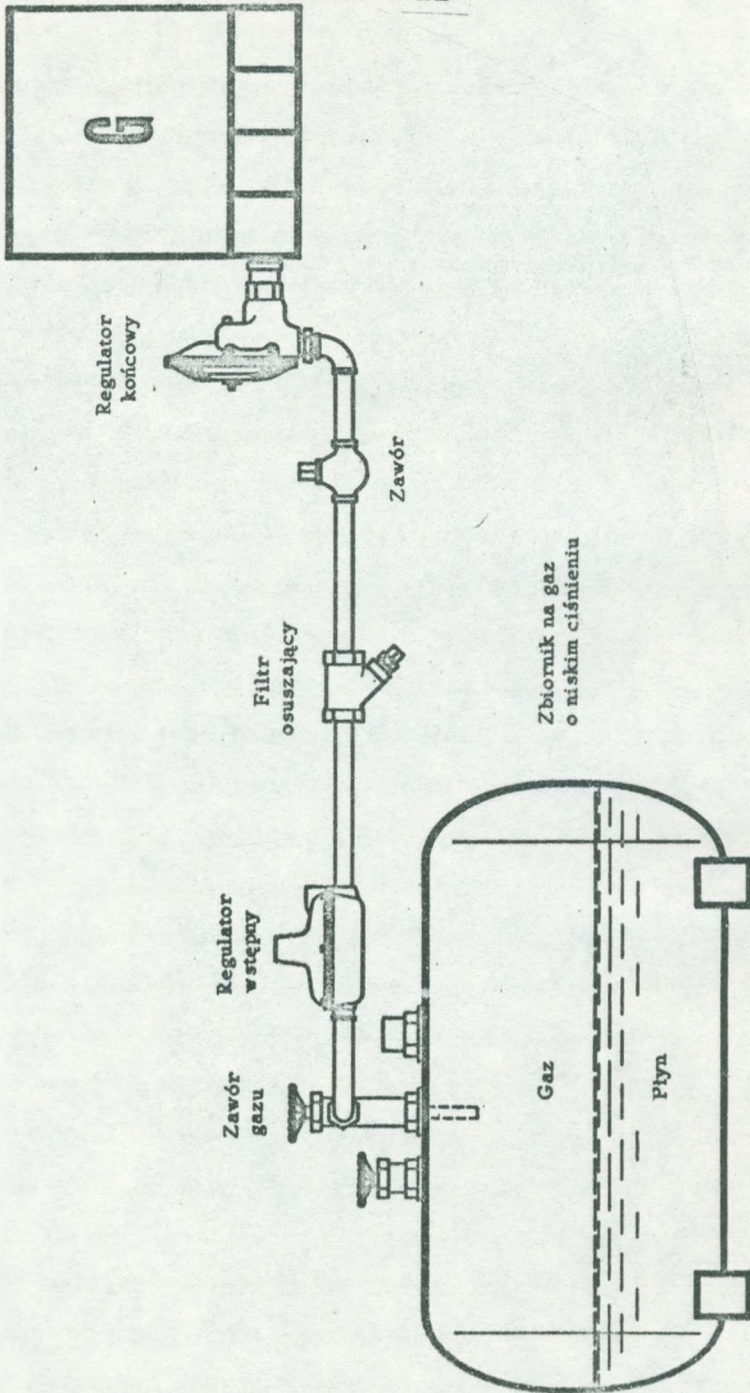
Propan i butan są magazynowane w stanie ciekłym. Ponieważ mają one bardzo niski punkt wrzenia, to w zbiorniku istnieją pary o określonym ciśnieniu właściwym. Paliwo jest czerpane i spalane będąc w fazie parowania. Ciśnienie wytwarzające się podczas parowania, a zatem ciśnienie występujące podczas dopływu paliwa, zmienia się w zależności od temperatury otoczenia. Aby więc utrzymać stałą temperaturę podczas spalania, jest konieczne utrzymanie stałego ciśnienia w zbiorniku paliwa. Ciśnienie gazu doprowadzanego do palnika musi być więc niezależne od warunków zewnętrznych i dlatego konieczna jest odpowiednia regulacja ciśnienia, jako część składowa całego układu /rys. 6/. Zaleca się stosowanie dwóch regulatorów, ponieważ przy zastosowaniu tylko jednego, zachodzi obawa zamarzania dyszy regulatora.

Normalne środki zapobiegające zawilgoceniu paliwa powinny być przestrzegane przez dostawcę paliwa.

Gdy temperatura otoczenia sezonowo spada poniżej punktu parowania paliw gazowych o niskim ciśnieniu (0°C dla butanu -42°C dla propanu), powinno być wykorzystane ciepło odprowadzane z generatora do utrzymania ciśnienia gazu podczas ciągłej pracy.

Przy przechowywaniu i obchodzeniu się z paliwami gazowymi o niskim ciśnieniu obowiązują we wszystkich urządzeniach normalne przepisy bezpieczeństwa.

Na ogół generator termoelektryczny może być umieszczony jako zespół oddzielnie od urządzeń zasilanych, może być umocowany na słupie lub ustawiony na platformie powyżej poziomu gruntu. Nie wymaga dodatkowej osłony. Tam gdzie istnieje obawa uszkodzenia z



Rys. 6. Typowy zespół paliwowy z propanem

zewnątrz lub gdzie pożądane jest wykorzystywanie wydzielającego się ciepła, generator może być zainstalowany wewnątrz obudowy urządzeń telekomunikacyjnych przy wzięciu pod uwagę konieczności usuwania gazów wydzielających się przy spalaniu oraz dostępu powietrza potrzebnego do spalania i do odprowadzania ciepła z radiatorów.

Chłodny klimat nie wpływa ujemnie na działanie generatora termoelektrycznego. Przeciwnie, moc generatorów jest większa w klimacie chłodnym niż w gorącym. Jedynie niezbędne jest utrzymywanie ciśnienia paliwa, jak już wspomniano poprzednio.

Generatory będące w handlu są zaopatrywane w radiatory wystarczające do odprowadzania ciepła nawet w warunkach bardzo wysokiej temperatury otoczenia, jaką spotyka się na pustyni. Zabezpieczenie przed promieniami słonecznymi zapewnia obudowa zewnętrzna, a w warunkach wyjątkowo silnego nasłonecznienia zaleca się dodatkowo użycie prostych osłon nad urządzeniem.

Moc termoelektrycznych urządzeń powinna być określana w warunkach najwyższej przewidywanej temperatury otoczenia, aby zapewnić dostateczne zasilanie urządzeniom. Zależność mocy od temperatury otoczenia można określić na podstawie krzywych dostarczonych przez wytwórcę danego typu generatora.

Obudowa generatora powinna zabezpieczać go przed wiatrem. Istniejące urządzenia są odporne na wiatry o szybkości do 200 km/godz. W niektórych wyjątkowych przypadkach mogą być konieczne dodatkowe zabezpieczenia. Odnosnie instalowania na dużych wysokościach, praktyczną granicę wysokości określa zdolność udzwigu przez helikopter. Istnieją urządzenia zainstalowane na wysokości do 4000 m n.p.m. Powyżej 2500 m n.p.m. konieczne jest

wyregulowanie doprowadzenia powietrza do komory spalania.

Generatory termoelektryczne są w zasadzie zabezpieczone przed opadami atmosferycznymi, gdyż palnik znajduje się w zamkniętej komorze spalania. Tylko całkowite zanurzenie w wodzie powoduje zgaszenie palnika.

Chociaż generator, jako ciało promieniujące ciepło, ma tendencję do stapiania śniegu lub lodu, który spada na niego, to jednak jest pożądane montowanie generatora dostatecznie wysoko nad gruntem w celu uniknięcia całkowitego zasypania przez nawiewany śnieg. Gdy generator jest umieszczony w budynku, doprowadzenie powietrza i wylot spalin powinny być zabezpieczone przed zasypaniem śniegiem.

Generatory termoelektryczne nie są wrażliwe na wilgoć. Mogą pracować w terenach narażonych na zapylenie i burze piaskowe, zakładając że urządzenia będą tak instalowane, aby piasek itp. nie mógł się gromadzić przy nich, tj. zostaną ulokowane na słupie lub szrudłach. Powietrze niezbędne do spalania powinno być w takich przypadkach tak doprowadzone poprzez labirynt lub filtr, aby cząsteczki stałe znajdujące się w powietrzu podczas burzy zostały wytrącone przed dojściem do palnika. Drobnny pył jest wydalany razem ze spalinami.

W środowisku powodującym korozję musi być zastosowana specjalna konstrukcja zapobiegająca korozji części składowych. Szczególne środki zabezpieczające są konieczne tam, gdzie istnieje możliwość zasolenia.

Generatory termoelektryczne z paliwem izotopowym. Podstawowe części składowe generatora termoelektrycznego z paliwem izotopowym są w istocie takie same, jak w generatorze z paliwem wę-

głowodorowym; różnica polega tylko na źródle ciepła.

Ciepło wydzielane na skutek rozpadu izotopu przenosi się bezpośrednio na stos termoelektryczny poprzez ścianki pojemnika w którym znajduje się izotop.

Chociaż właściwy generator izotopowy nie potrzebuje obudowy, to urządzenia towarzyszące powinny ją mieć. Jeśli jednak cały zespół urządzeń ma znajdować się w obudowie, to należy zapewnić właściwą wentylację w celu usuwania z niej wytwarzającego się ciepła, które nie zamienia się w energię elektryczną. Zewnętrzne części generatora, a mianowicie zimne złącza stosu, powinny znajdować się w miarę możliwości w temperaturze otoczenia. Nie zachodzi wówczas potrzeba dodatkowego chłodzenia lub dogrzewania. Nie jest też konieczne pomieszczenie na magazynowanie paliwa. Dostarczany generator zawiera paliwo wystarczające na czas pracy, odpowiadający okresowi połowicznego rozpadu izotopu. Pod koniec tego okresu zachodzi konieczność wymiany izotopu.

Generatory izotopowe nie potrzebują dodatkowych zabezpieczeń, gdyż źródło promieniowania jest całkowicie osłonięte w pojemniku.

Parametry konstrukcyjne generatorów termoelektrycznych z paliwem izotopowym powinny umożliwiać ich instalowanie w dowolnym terenie, nawet o temperaturach skrajnych. Na pracę generatorów nie powinny mieć wpływu wiatry dowolnej prędkości, wilgotność, wysokość, opady atmosferyczne lub zapylenie. Ponieważ izotop jest szczelnie zamknięty w pojemniku, zanieczyszczenie paliwa może nastąpić tylko w razie mechanicznego uszkodzenia pojemnika.

Charakterystyka pracy

Napięcie wytwarzane przez generatory termoelektryczne jest niskie i w generatorach małej mocy zostaje podwyższone do użytkowego poziomu /np. 12 lub 24 V/ za pomocą przetwornicy półprzewodnikowej /rys. 7/. W dużych generatorach napięcie jest dostatecznie wysokie bez potrzeby zastosowania przetwornicy.

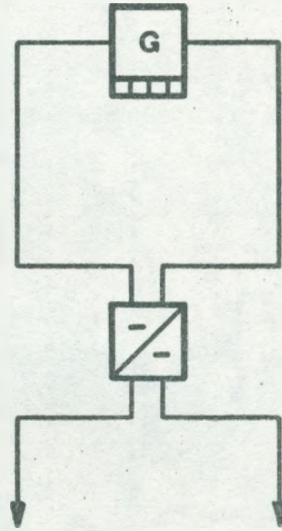
Zmiany napięcia są powodowane zmianami obciążenia i wahaniami temperatury otoczenia. Temperatura gorącej strony termopary jest zależna od ciśnienia paliwa, które powinno być regulowane w układzie paliwowym. Temperatura natomiast strony ochładzanej waha się w zależności od temperatury i szybkości przepływu powietrza przez radiator.

W celu uzyskania stabilizacji napięcia stosuje się regulatory napięcia, utrzymujące je na nastawionym poziomie /rys. 8/. Regulatory te mogą stanowić część układu przetwornicy prądu stałego na stały. Typowa stabilizacja za pomocą regulatora napięcia wynosi $\pm 5\%$ wartości nastawionej w warunkach od 0 do obciążenia pełnego.

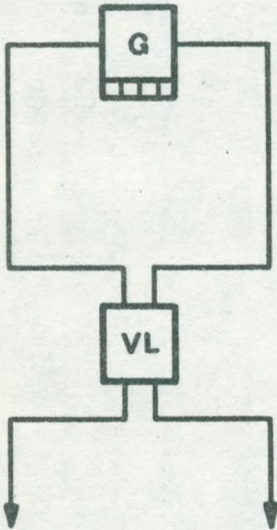
Moce indywidualnych zespołów termoelektrycznych z paliwem węglowodorowym wynoszą w zależności od wielkości stosów od 5 do 250 W.

W tablicy 1 podane są typowe moce wytwarzane przez dostępne w handlu generatory termoelektryczne oraz dane przetwornic. Podane charakterystyki odnoszą się do temperatury otoczenia $+24^{\circ}\text{C}$ i warunków dopasowania obciążenia /moc maksymalna/.

Większe zakresy mocy można uzyskać przez zwielokrotnienie in-



Rys. 7. Generator termoelektryczny /G/
z przetwornicą

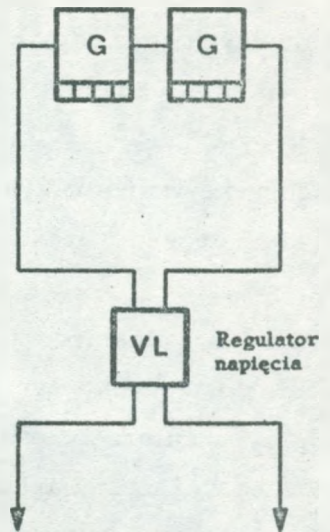


Rys. 8. Generator termoelektryczny /G/
z regulatorem napięcia /VL/

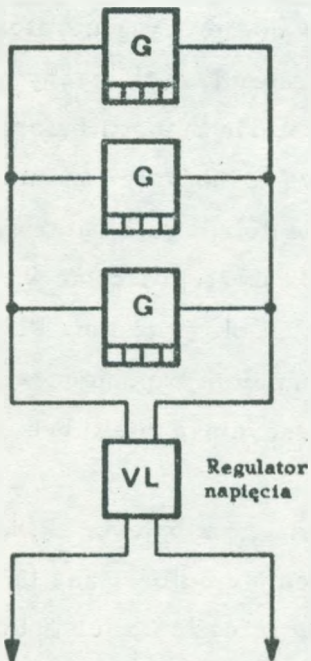
T a b l i c a 1

Charakterystyki generatorów termoelektrycznych i przetwornic do nich

Charakterystyka stosu				Charakterystyka przetwornicy			
Napięcie odbioru V	Prąd odbioru A	Moc V		Napięcie odbioru V	Prąd odbioru A	Moc V	
1,0	9	9		12	0,44	5,3	
				24	0,21	5	
1,8	10	18		12	1,2	14	
				24	0,6	14	
3,6	10	36		12	2,4	28	
				24	1,2	28	
4,5	10	45		12	3	36	
				24	1,5	36	
6,3	10	63		12	4,2	50	
				24	2,1	50	
8,1	10	81		12	5,4	65	
				24	2,7	65	
12	8,3	100		24	3,4	82	
12	10,5	198		-	-	-	
24	8,3	200		-	-	-	
14	17,9	250		-	-	-	
28	9,0	250		-	-	-	



Rys. 9. Szeregowe połączenie generatorów /G/



Rys. 10. Równoległe połączenie generatorów /G/

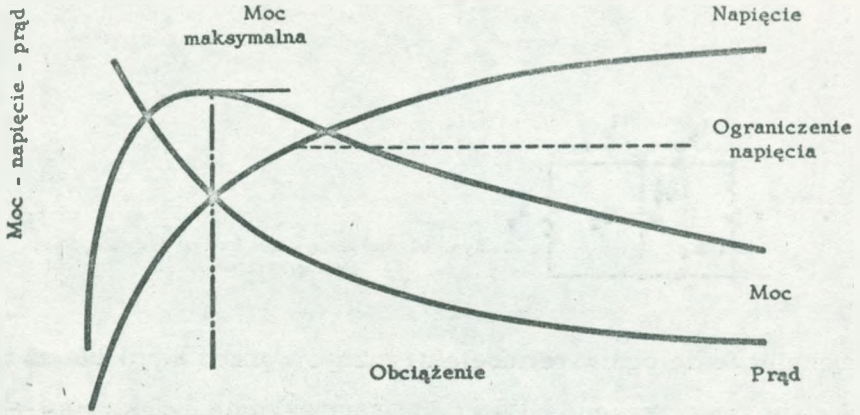
dywidualnych generatorów /rys. 9 i 10/. Charakterystyka napięciowo-prądowa zmienia się w funkcji rezystancji obciążenia, jak podaje rys. 11.

Moc maksymalną otrzymuje się przy rezystancji obciążenia R_o dokładnie dopasowanej do wewnętrznej rezystancji R_w generatora /rys. 12/.

Moce indywidualnych zespołów termoelektrycznych izotopowych, obecnie dostępnych, wynoszą 25 i 60 W. Stosowane są również w tym przypadku przetwornice podwyższające napięcie do 12 lub 24 V albo wyższych napięć, wyposażone w regulatory napięcia.

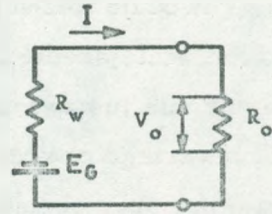
Współpraca generatora termoelektrycznego z baterią akumulatorów /rys. 13/ jest wskazana, gdy obciążenie jest zmienne lub przerywane, a uruchamianie i zatrzymywanie pracy generatora jest skomplikowane i niepożądane. Generator jest obliczony na obciążenie przeciętnym poborem mocy, a bateria stanowi bufor. Obciążenie jest zasilane z baterii z przerwami lub przy zmieniającym się poborze prądu, a generator stale doładowuje baterię określonym prądem /rys. 14/. System taki może pracować w sposób ciągły bez żadnego nadzoru przez długi okres czasu. Układ generatora, przetwornicy i regulatora napięcia zapobiega wyladowaniu baterii, w razie gdyby napięcie generatora miało być niższe od napięcia baterii.

Współpraca generatora termoelektrycznego z baterią akumulatorów jest wskazana też w celu zapewnienia ciągłości zasilania w wypadku, gdyby praca generatora uległa przerwaniu lub osłabieniu, na przykład na skutek niekorzystnych warunków zewnętrznych /zbyt wysoka temperatura - zmniejszenie mocy stosu termoelektrycznego, albo zbyt niska - spadek ciśnienia w zbiorniku paliwa/.

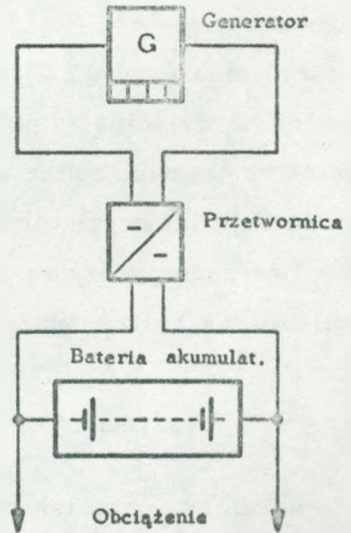


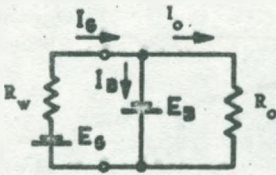
Rys. 11. Typowa charakterystyka elektryczna

Rys. 12. Dopasowanie rezystancji obciążenia do rezystancji wewnętrznej generatora



Rys. 13. Współpraca generatora termoelektrycznego z baterią akumulatorów





Rys. 14. Doładowywanie baterii przy współpracy z generatorem

Zabezpieczenie ogniw termoelektrycznych przed skutkami zwarcia obwodu zewnętrznego odbywa się samoczynnie dzięki zjawisku Peltiera. Zjawisko to polega na tym, że prąd płynący przez element termoelektryczny wymusza przenoszenie ciepła od strony gorącej ku zimnej. Powoduje to zmniejszenie różnicy temperatur ΔT , a zatem z kolei zmniejszenie prądu. Uszkodzenie termoogniwa skutkiem przeciążenia lub zwarcia jest więc niemożliwe, natomiast w przypadku otwartego obwodu zewnętrznego termoogniwo nagrzewa się bardziej niż przy obciążeniu, co powinno być uwzględnione przy projektowaniu, tak aby generatory były zabezpieczone w tych warunkach.

Zakłócenia /szумы/, jakie powodować mogą stopy termoelektryczne na wyjściu, są pochodzenia termicznego lub występują na skutek raptownych zmian w obciążeniu. Jeśli jednak w skład generatora wchodzi regulator napięcia i przetwornica tranzystorowa, to wytwarzane przez te podzespoły zakłócenia /najczęściej o częstotliwości 400 Hz/ muszą być tłumione przez odpowiedni filtr.

Utrzymanie ciągłości pracy /konserwacja/

Generatory termoelektryczne z paliwem węglowodorowym, których działanie oparte jest na półprzewodnikach i które nie mają

żadnych ruchomych części, nie wymagają w zasadzie ciągłej konserwacji.

Wadliwa praca generatora może być spowodowana przez: zgaśnięcie płomienia w palniku, wiatr, zalanie wodą lub zasypanie śniegiem, uszkodzenie stosu skutkiem wady fabrycznej, przegrzania podczas pracy, silnego uderzenia lub wstrząsu, uderzenia pioruna oraz uszkodzenia regulatora lub przetwornicy.

W praktyce dla utrzymania ciągłości pracy są konieczne pewne środki zapobiegawcze, a mianowicie: dostateczna kontrola przez wytwórcę, zwrócenie uwagi na staranne zaprojektowanie ważniejszych detali urządzenia oraz na przestrzeganie zaleceń odnoszących się do instalowania. Poza tym niezbędne jest wykonywanie bieżących przeglądów przez użytkownika podczas uzupełniania paliwa. Nie są do tego potrzebne specjalne kwalifikacje ani umiejętności. Podczas uzupełniania paliwa wymienia się filtry paliwa i powietrza.

Generatory termoelektryczne z paliwem izotopowym ze względu na samowystarczalność paliwową i jego samoczynne użytkowanie oraz niewrażliwość na wpływy zewnętrzne, a także wyposażenie w półprzewodnikowe urządzenia do regulacji i przetwarzania nie wymagają prawie żadnej konserwacji i opieki. Wystarczy ogólne sprawdzenie działania, a czas potrzebny wynosi tyle, ile konieczne jest na dostanie się do miejsca zainstalowania urządzenia. Wobec niedostatecznego jeszcze doświadczenia, nie można jednak ustalić dokładnie tej sprawy.

Wymiana części składowych może być wykonywana na miejscu, przy czym nie zachodzi konieczność specjalnego ekranowania przed promieniowaniem.

Czynniki ekonomiczne

Poniżej wymienione są czynniki, które trzeba wziąć pod uwagę, przy określaniu kosztów w porównaniu z kosztami innych środków wytwarzania energii elektrycznej. Koszty utrzymania normalnie ograniczają się do sporadycznej wymiany filtrów, dysz itp., co zwykle wykonuje się podczas uzupełniania paliwa.

W odniesieniu do generatorów z paliwem węglowodorowym na koszty składają się następujące czynniki:

a/ koszty nakładowe - generator /patrz rys. 15/, instalacja paliwowa, urządzenia zapłonowe, sterujące itp. oraz ewentualnie bateria akumulatorów i pomieszczenia,

b/ koszty eksploatacyjne - paliwo, jego dostawa i wymiana ewentualnie konserwacja i wymiana baterii oraz inne,

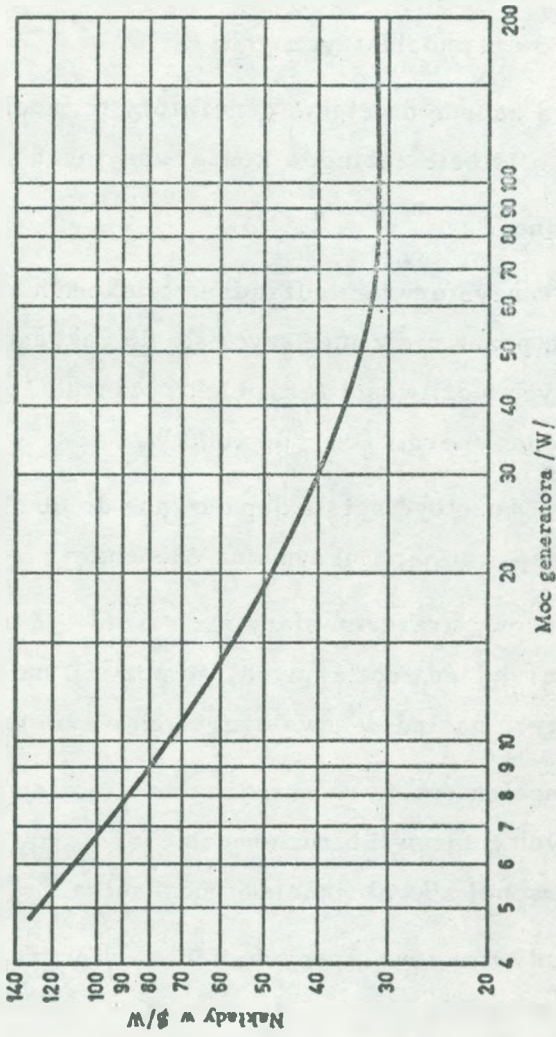
c/ żywotność - na podstawie dotychczasowych doświadczeń można ustalić na 5-10 lat.

Generatory z paliwem izotopowym są we wczesnym stadium rozwoju i koszty ich są wysokie. Realne koszty mogą być określone przez wytwórcę.

Wnioski końcowe

Generatory z paliwem węglowodorowym. Studia nad zastosowaniem generatorów termoelektrycznych są prowadzone przez różne przedsiębiorstwa, instytuty badawcze i wyższe uczelnie począwszy od 1948 r.

Generatory takie istnieją od około 7 lat.



Rys. 15. Generatory termoelektryczne - średnie koszty nakładowe

Dostępne w handlu zespoły mają moc wystarczającą do zastosowania w telekomunikacji.

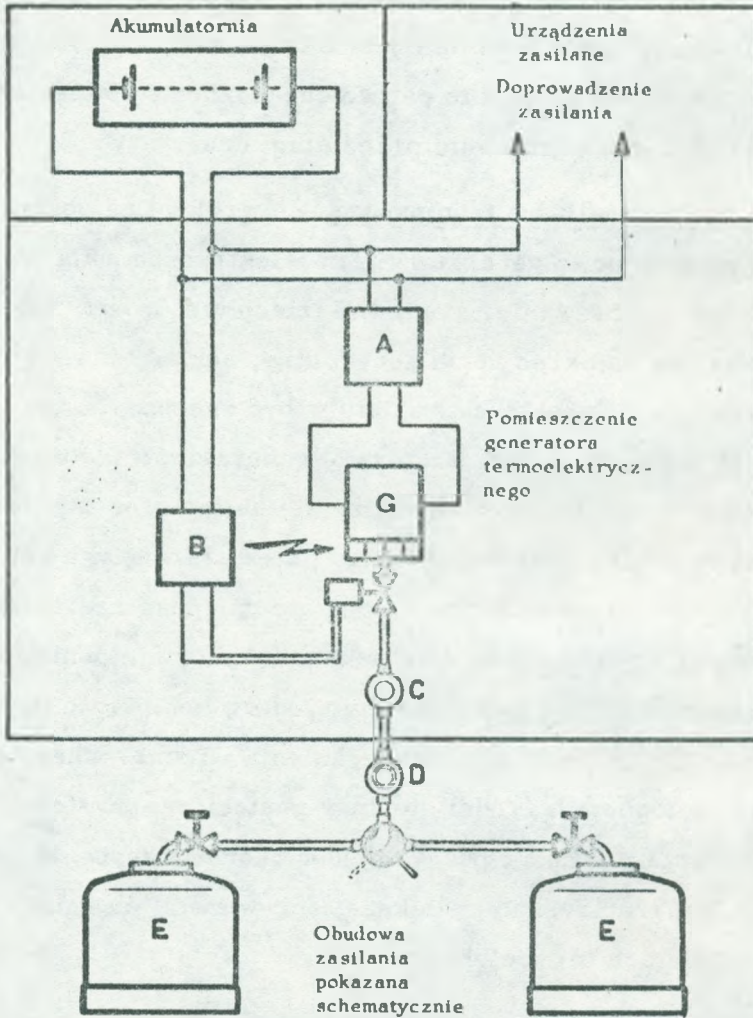
Zalety generatorów termoelektrycznych:

- 1/ z uwagi na swą zasadę działania generatory termoelektryczne nie wymagają w istocie zabiegów konserwacyjnych,
- 2/ duża niezawodność,
- 3/ w związku z tranzystoryzacją urządzeń telekomunikacyjnych, moc pobierana przez nie zmniejszyła się do zakresu, który pasuje do obecnych możliwości termoelektrycznych /półprzewodnikowych/ źródeł energii /od 5 do 1000 W/, .
- 4/ moc wyjściowa może być ściśle dopasowana do obciążenia przez urządzenie, zapewniając maksymalną ekonomię,
- 5/ w miarę rozbudowy urządzeń stacyjnych może być uzupełniane wyposażenie urządzeń zasilających, co pozwoli na ograniczenie początkowych nakładów inwestycyjnych do minimum,
- 6/ nie ma w termoelektrycznych urządzeniach zasilających żadnych wirujących maszyn lub ruchomych części, nie jest więc potrzebny personel z kwalifikacjami mechanika,
- 7/ ochrona od wpływów zewnętrznych stanowi nierozłączną część konstrukcji zespołu.
- 8/ instalowanie nie wymaga żadnych szczególnych umiejętności poza normalnymi, koniecznymi przy instalowaniu urządzeń paliwowych,
- 9/ wymiary fizyczne i ciężar są nieduże i nie są potrzebne żadne specjalne fundamenty,

10/ paliwo /gaz płynny/ jest dostępne w handlu po niskiej cenie w większości części świata i jest łatwe w transporcie lądowym lub powietrznym. Jest to paliwo chemicznie stabilne, co umożliwia jego magazynowanie przez długi czas.

Generatory z paliwem izotopowym. Ze względu na obecne wysokie koszty izotopowe generatory termoelektryczne mają bardzo ograniczone zastosowanie. Ponieważ izotopowe źródło ciepła zapewnia paliwo na okres życia generatora, nakłady inwestycyjne na generatory o dużej mocy musiałyby być znaczne. Z tego powodu należy się spodziewać, że rozwój generatorów izotopowych w zastosowaniu praktycznym zaznaczy się najlepiej w zakresie małych mocy /poniżej 100 W/. Pomimo przewyższających zalet praktycznych generatory izotopowe mogą nie osiągnąć szerokiego zastosowania, zanim ich koszt na jednostkę mocy nie obniży się do kosztu generatorów z paliwem węglowodorowym. Może to nastąpić w miarę większego rozpowszechnienia i różnorodnego zastosowania izotopowych źródeł ciepła w postaci przemysłowej oraz udoskonalenia produkcji pod względem ekonomicznym i konstrukcyjnym, a także uzyskania większej sprawności przemiany energii w elementach termoelektrycznych.

Systemy zasilania przy zastosowaniu generatorów termoelektrycznych. System polegający na zasilaniu urządzeń bez zastosowania baterii akumulatorów nadaje się do urządzeń telekomunikacyjnych o stałym poborze mocy. Konieczne jest wyposażenie generatora w stabilizator napięcia, a niekiedy też w przetwornicę półprzewodnikową podwyższającą napięcie, jeżeli napięcie wytwarzane przez stos termoelektryczny jest za niskie /patrz tabl. 1 na str. 18/.



A - przetwornica napięcia - ogranicznik, B - układ automatycznego zapłonu /w razie potrzeby/, C - drugi stopień regulacji ciśnienia gazu, D - pierwszy stopień regulacji ciśnienia gazu z automatycznym dopływem paliwa, E - zbiorniki propanu, G - generator termoelektryczny

Rys. 16. Typowy układ zasilania za pomocą generatora termoelektrycznego

System równoległej pracy generatora z baterią akumulatorów stosuje się w przypadkach obciążenia zmiennego lub pracy przerywanej. Ze względu na współpracę generatora z baterią można nie projektować generatorów obliczonych na maksymalny pobór mocy /przewymiarowanych/, lecz na średni pobór mocy, co wobec dużego kosztu urządzeń termoelektrycznych jest bardzo istotne.

Właściwy dobór mocy generatora powinien zapewniać dostateczne zasilanie w każdym czasie, w każdych warunkach atmosferycznych i eksploatacyjnych. Pojemność baterii powinna zaspokajać przewidywane zapotrzebowanie w danych okolicznościach. Generator powinien być obliczony na utrzymanie baterii w stanie naładowania i na uzupełnienie ładunku pobranego podczas szczytowego obciążenia tam, gdzie występuje zmienność obciążenia.

Typowe rozwiązanie urządzenia zasilającego z generatorem termoelektrycznym pracującym równoległe z baterią przedstawia rys. 16.

Układ paliwowy umożliwia korzystanie zarówno z głównego, jak i zapasowego zbiornika paliwa. Przełączenie dopływu paliwa z głównego zbiornika na zapasowy może odbywać się samoczynnie, sterowane spadkiem ciśnienia w zbiorniku głównym. Podczas przełączania jest wysyłany sygnał do nadrzędnej stacji /obsługiwanej/, powiadamiający o opróżnieniu się zbiornika głównego.

W urządzeniach zainstalowanych na dużych wysokościach lub w innych terenach, gdzie występują znaczne spadki temperatury, jest pożądane dogrzewanie akumulatorów zbędnym ciepłem wytwarzanym w generatorze przez umieszczenie ich we wspólnej obudowie. Konieczne jest jednak rozwiązanie konstrukcyjne, umożliwiające sezonowe automatyczne lub zdalne przełączanie ogrzewania w zależności od temperatury zewnętrznej.

WYKAZ LITERATURY

1. Sudekum R.H., Richards J.D.: Economics and applications of thermoelectric generators. Proceedings of the fifth international symposium on power sources, Brighton 1966. Oxford: Pergamon Press 1967, s. 627.
2. Telan thermoelectric generator TEG8. General Instrument Corp. New York [b. r.]
3. Thermoelectric power systems IE-TEG PS. 3M Co St. Paul, Minnesota [b. r.]
4. Martin nuclear generator model LL6-25A. Bois-Colombes: Hispano-Martin [b. r.]
5. Générateurs thermoélectriques. Paris: Compagnie générale de télégraphie sans fil [b. r.]
6. Logothetis E.B.: Investigation of thermoelectric power plant application for embratel. PCE-R-4321-0003 Washington: Page Communications Engineers 1967
7. Fritts R.W.: The development of thermoelectric power generators. W: Proceedings of the intersociety energy conversion engineering conference, Los Angeles 1966. New York: IEEE [b. r.]
Plevyak T.J.: A 160-Watt experimental thermoelectric power plant for telephone microwave equipment. W: Proceedings of the intersociety energy conversion engineering conference, Los Angeles 1966. New York: IEEE [b. r.]

8. Barnett W.T.: Microwave radio relay: Attainment for reliability objectives. IEEE Trans. Commun. Technol. 1966 t.COM-14 nr 1, s. 39-46.
9. Caruthers R.S.: Current status of all solid state microwave and associated semiconductors. W: Proceedings of the third colloquium on microwave communication, Budapest 1968. Budapest: Akademiai Kiado 1968 s. 191-209.

ELEKTROWNIE WIATROWE

Wprowadzenie

Wiatr może być wykorzystany jako źródło energii za pomocą urządzenia, które zatrzymując przepływ powietrza pobiera z niego energię. Może odbywać się to w urządzeniu zainstalowanym na stałe, mającym część wirującą dookoła osi, jak na przykład silnik wiatrowy. Generator elektryczny, czyli prądnica, sprzęgnięty z tym silnikiem umożliwia przekształcenie energii kinetycznej w elektryczną.

Główne zalety wykorzystania energii wiatru są następujące:

a/ źródło energii jest niewyczerpalne i dostępne w dużej obfitości w wielu częściach świata,

b/ energia jest dostępna na miejscu jej użytkowania, bez kosztów.

Jednakże są z tym związane pewne problemy praktyczne; a mianowicie:

- a/ niski poziom energetyczny wiatru,
- b/ prędkości wiatru nie można przewidzieć co do wartości w czasie,
- c/ niska sprawność silników wiatrowych,
- d/ podatność silników wiatrowych na oblodzenia.

Zakres użytkowania

Ogólny. Aczkolwiek ludzie używali wiatru jako źródła energii kinetycznej począwszy od czasów starożytnych /wiatraki były stosowane w Persji w V wieku n.e./, jednakże do wytwarzania energii elektrycznej wiatr jest wykorzystywany dopiero od kilkudziesięciu lat.

Uzyskano rozległe doświadczenia przy stosowaniu na małą skalę, w szczególności w wielu tysiącach małych domowych elektrowni wiatrowych zaopatrzonych w baterie akumulatorów /USA, ZSRR, Kanada, Argentyna/. Wyniki eksploatacyjne wykazały dużą niezawodność i niskie roczne koszty konserwacji.

W Danii, dzięki pracy prof. P. La Cour w Duńskiej Państwowej Stacji Doświadczalnej w Askow, zainstalowano wiele urządzeń średniej mocy. W latach 1940-47 podczas wojny, gdy istniały duże braki w zaopatrzeniu w paliwo płynne, uruchomiono na wsi 88 elektrowni wiatrowych, które dostarczyły 18 MWh dla lokalnych sieci.

Przykłady urządzeń na większą skalę podane są w tabl. 2. Są opracowywane generatory wiatrowe o mocy do 20 000 kW.

Specjalnie interesujące są dwie istniejące elektrownie wiatrowe: jedna o mocy 8 kW zasilająca latarnię morską przy ujściu Ła-

by, począwszy od 1926 r. przez 20 lat /obecnie została zastąpiona podobnym urządzeniem, które nadal pracuje/, druga - o mocy 6 kW na Helgolandzie, która od 1952 r. zasila ostrzegawczy system nawigacyjny i inne odbiory. W obu tych przypadkach, ze względu na ważność zasilanych urządzeń, istnieją rezerwowe zespoły spalinowo-elektryczne na wypadek długich okresów niesprzyjających warunków atmosferycznych.

T a b l i c a 2

Duże elektrownie wiatrowe

Kraj	Lokalizacja	Rok uruchomienia	Moc kW
ZSRR	Bałakława	1931	100
USA	Vermont	1941	1250
Dania	Gedser	1959	200
W. Brytania	Orkney	1952	100
W. Brytania	St. Albans	1954	100

Telekomunikacja. Elektrownie wiatrowe są stosowane w związku z problemami zasilania urządzeń telekomunikacyjnych, występującymi w niektórych szczególnych przypadkach.

Pierwszym obiektem była stacja wzmacniakowa w Powell's Creek w Australii, na trasie liniowym Adelaide - Darwin. W tym przypadku elektrownia wiatrowa, ukończona w 1939 r., pozwoliła pokonać trudności wynikające z lokalizacji stacji w miejscowości, która jest niedostępna w ciągu 4 miesięcy pory deszczowej. W pewnym okresie australijska administracja P.T. miała 150 pracujących elektrowni wiatrowych. Liczba ta została zredukowana do 41 w wyniku rozbudowy sieci elektroenergetycznej.

Innym przykładem jest Puelchas w La Pampa w Argentynie. Elektrownia wiatrowa zasila tam stację wzmacniakową telefonii nośnej 3-kanalowej, pracującej na linii napowietrznej.

W NRF pracowały przez 2 lata dwie elektrownie wiatrowe o mocy 6 kW na stacji linii radiowej w Schöneberg w relacji Frankfurt nad Menem - Kolonia. W 1954 roku zostały zdemontowane na skutek rozbudowy sieci elektroenergetycznej.

Obecnie, w związku ze zmniejszonym zapotrzebowaniem mocy w wyniku rozwoju w telekomunikacji urządzeń półprzewodnikowych, przypuszcza się, że zwiększy się zastosowanie elektrowni wiatrowych w odosobnionych stacjach. Jednakże z uwagi na wymaganą niezawodność takich stacji, a z drugiej strony nieregularność występowania wiatrów w danej miejscowości, elektrownie wiatrowe nie mogą być stosowane bez baterii akumulatorów, magazynującej energię. Zwykle też stosowane jest drugie źródło energii - zespół spalino-elektryczny na wypadek, gdy energia zmagazynowana w baterii wyczerpuje się. Może to zdarzyć się podczas długich okresów bezwietrznych lub przy naprawach elektrowni wiatrowej.

Opis urządzeń

Większość elektrowni wiatrowych stosuje śmigła wirujące na osi poziomej, a nie pionowej ze względu na lepszy współczynnik sprawności i większą prędkość obrotową. Zwykle stosuje się sprzęgła mechaniczne między wałem silnika a prądnicą. Jedną z odmian jest sprzęgło pneumatyczne oparte na zasadzie Andreau. W tym rozwiązaniu śmigło, wydrążone i mające na końcach łopatek otwory, powoduje odśrodkowy ruch powietrza, które napędza turbinę powietrz-

ną umieszczoną u podstawy wydrążonej konstrukcji wsporczej. Niestety straty energii spowodowane podwójną przemianą energii z aerodynamicznej na mechaniczną są bardzo duże, a zatem sprawność mała.

Podstawowe prawa odnoszące się do projektowania wiatraków i śmigieł zostały eksperymentalnie ustalone 200 lat temu przez J. Smeatona następująco:

- a/ "im większa powierzchnia jest pokryta śmigłami /wiatraka/, tym mniejsza jest stosunkowo ich skuteczność w odniesieniu do powierzchni /w pewnych granicach",
- b/ "maksymalna skuteczność śmigieł równa się prawie trzeciej potędze prędkości wiatru",
- c/ "liczba obrotów w danym czasie śmigieł o podobnym kształcie i położeniu jest odwrotnością promienia lub długości śmigła".

Jak z tego wynika, największą sprawność ma śmigło dwuramienne wirujące z dużą prędkością. Jednak w praktyce śmigło takie jest poddane nadmiernym naprężeniom i drganiom i dlatego częściej stosuje się śmigła trójramienne.

Pożądane są śmigła o zmiennym skoku, co zapewnia dostateczny moment rozruchowy i odpowiednie warunki pracy. Nastawienie skoku odbywa się na ogół za pomocą urządzenia uruchamianego pod wpływem ciśnienia wiatru na łopatki śmigła albo za pomocą siły odśrodkowej. Urządzenia te również oddziałują na napęd, redukując obroty z chwilą, gdy szybkość wiatru staje się nadmierna. Urządzenia do regulacji skoku śmigieł wymagają jednak konserwacji. Tam gdzie stosuje się śmigła o stałym skoku, konieczne jest urządzenie zabezpieczające przed uszkodzeniem, jakie może spowodować nadmierna szybkość wiatru.

Zastosowanie generatora bezpośrednio sprzężonego z wałem silnika wiatrowego pozwala na wyeliminowanie przekładni i uniknięcie strat na tarcie. Rozwiązanie takie jest pożądane zwłaszcza przy pracy w niskich temperaturach. Generatory o małej mocy, mające dużą prędkość obrotową, nadają się do bezpośredniego napędu.

W celu zmniejszenia zabiegów konserwacyjnych celowe jest stosowanie następujących czterech typów generatorów, a mianowicie: zwykłego generatora prądu przemiennego z pierścieniami ślizgowymi albo generatora ze stałymi magnesami lub indukcyjnego, albo generatora bezszczotkowego z wbudowanymi diodami krzemowymi zamiast komutatora. Pierwszy z tych typów ma tę wyższość nad generatorem prądu stałego, że szczotki ślizgają się po pierścieniach, a nie po komutatorze, a następne typy w ogóle nie mają szczotek. Prostownanie i regulacja napięcia odbywa się za pomocą układów półprzewodnikowych.

Do ustawiania silnika wiatrowego na właściwy kierunek wiatru służy chorągiewka ogonowa, która w niektórych rozwiązaniach spełnia również funkcję regulatora mocy generatora.

Do umieszczenia silnika wraz z generatorem na odpowiedniej wysokości stosuje się wieże lub maszty.

Charakterystyka wydajności

Przy rozpatrywaniu wydajności generatora wiatrowego mają znaczenie następujące czynniki:

- a/ energia uzyskana z wiatru,
- b/ charakterystyka wiatrów w określonym miejscu.

Energia, którą można uzyskać z wiatru wyraża się wzorem

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

gdzie:

V - szybkość wiatru,

S - gęstość powietrza.

Zatem energia kinetyczna powietrza zależna jest od trzeciej potęgi szybkości wiatru. Niestety, cała energia kinetyczna nie może być pobrana z powietrza. W rzeczywistości idealny silnik wiatrowy może uzyskać tylko 59,3% tej energii. W praktyce, z uwagi na niedoskonałość aerodynamiczną i straty mechaniczne i elektryczne, jeszcze mniejsza moc może być wykorzystana w postaci energii elektrycznej.

Dane teoretyczne mocy w zależności od szybkości wiatru i średnicy śmigła zawiera tabl. 3.

Tablica 3

Moce teoretyczne silników wiatrowych

Szybkość wiatru m/s	Moc w kW dla średnicy śmigła w metrach				
	3,8	7,6	15,2	30,5	61
4,5	0,38	1,5	6,0	24	96
9,0	3,08	12,3	49,2	196	784
13,5	10,04	41,6	166,4	666	2664
18,0	24,6	98,4	393,6	1574	6296
22,5	48,2	192,8	771,2	3085	12340
27,0	83,2	332,8	1331,2	5525	21300

W praktyce moc jest ograniczona do określonego zakresu szybkości wiatru. Minimalna szybkość wiatru jest uzależniona od możliwości ładowania baterii, a maksymalna jest podyktowana zabezpieczeniem przed uszkodzeniem. Poza tym byłoby nieuzasadnione ekonomicznie zaprojektowanie urządzenia, które będzie tylko wykorzystywało duże szybkości wiatru, występujące w krótkich okresach czasu. Z tego względu dolną granicę określa szybkość wiatru, odpowiadająca włączeniu generatora na ładowanie, a górną - szybkość wiatru, przy której generator osiąga pełną moc /szybkość znamionowa wiatru/. Poziom ten określa szybkość maksymalną, przy przekroczeniu której śmigło powinno "zwinąć się".

Charakterystyka wiatrów wyraża się szybkością wiatru w danej lokalizacji zależną od:

- 1/ ogólnego położenia geograficznego,
- 2/ szczegółowej lokalizacji, jak np. wysokości nad poziomem morza, odległości od morza itp. ,
- 3/ wystawienia na wiatry przeważające w danej okolicy,
- 4/ ukształtowania i rodzaju terenu,
- 5/ wysokości względem otaczającego terenu.

W wielu miejscowościach i regionach zostały wykonane pomiary szybkości wiatrów występujących w ciągu dłuższego czasu. Wyniki tych pomiarów mogą być udostępnione przez służby meteorologiczne odnośnych państw. Nie jest jednak możliwa, ze względów podanych wyżej, ekstrapolacja tych wyników na inne miejscowości bez popełnienia poważnego błędu. Aby więc można było przewidzieć z należytą dokładnością wydajność elektrowni wiatrowej w danej miejscowości, należy przeprowadzić długotrwałe pomiary w miarę

możliwości na takiej wysokości, na jakiej projektuje się zainstalowanie generatora.

Statystyka wykazuje, że średnie roczne szybkości wiatru w danej miejscowości mało się zmieniają z roku na rok i dlatego pomiary z okresu jednego roku wydają się wystarczające.

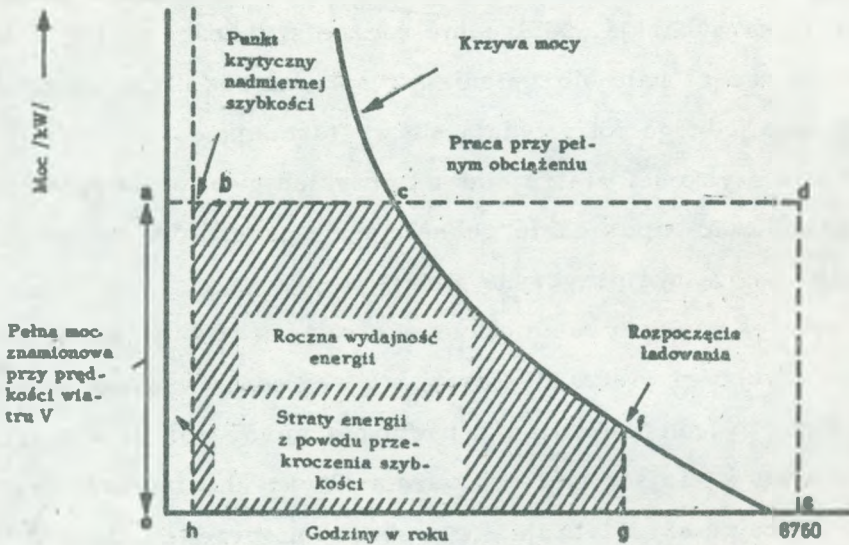
Wahania szybkości wiatru, jak na przykład gwałtowne podmuchy, będą powodować odpowiednie wahania mocy generatora i w pewnych wypadkach mogą być przyczyną przerw w pracy.

Aczkolwiek czasy trwania okresów ciszy jak również okresy nadmiernej szybkości wiatru zawierają się w średniej rocznej szybkości wiatru, to jednak nie są one równomiernie rozłożone w ciągu roku. Nawet w miejscowościach o umiarkowanych wiatrach długotrwałe okresy ciszy zdarzają się w sposób nieprzewidziany. Z tego względu pomiary szybkości wiatru powinny być zapisywane z uwzględnieniem ich zmian w czasie.

Jeżeli projektowanie nie może być poprzedzone długotrwałymi pomiarami, to można, opierając się na możliwych do uzyskania danych, zaprojektować rozmyślnie urządzenie z nadmiernym zapasem albo zainstalować początkowo urządzenie modelowe z zamiarem dokonania późniejszych zmian po uzyskaniu doświadczeń z eksploatacji.

Jeżeli przyjąć, że sprawność generatora nie zmienia się w całym zakresie pracy od włączenia na ładowanie do szybkości wiatru znamionowej, to można ustalić roczną energię na podstawie krzywej okresowych zmian mocy w ciągu roku.

Wykres na rys. 17 przedstawia teoretyczną krzywą, uwzględniającą pracę począwszy od minimalnej szybkości wiatru /włączenie na ładowanie/ oraz straty w okresach nadmiernej szybkości wiatru.



Rys. 17. Roczna wydajność energii

Powierzchnia zakreskowana $bcfgh$ przedstawia roczną wydajność energii, a prostokąt $adeo$ - pracę przy znamionowym ciągłym obciążeniu. Stosunek tych powierzchni jest współczynnikiem obciążalności, który pomnożony przez liczbę godzin w roku /8760/ daje roczną wydajność energii w stosunku do mocy elektrowni.

$$T = \frac{bcfgh}{adeo} \cdot 8760 \text{ /kWh/rok/ kW/}$$

Charakteryzuje to daną elektrownię wiatrową, będąc ekwiwalentem godzin pracy przy pełnym obciążeniu. Jak wynika z wykresu na rys. 17, jest on funkcją szybkości wiatru, przy której następuje włączenie na ładowanie oraz wyłączenie przy przekroczeniu dopuszczalnej szybkości. W praktyce w celu uzyskania maksymalnej wydajności, właściwej dla danej lokalizacji, elektrownie wiatrowe powinny posiadać następujące właściwości:

- najmniejsza szybkość znamionowa wiatru, np. 9 m/s
- najmniejsza szybkość wiatru przy włączeniu na ładowanie np. 4,5 m/s
- szybkość wiatru krytyczna np. 270 m/s.

W urządzeniach telekomunikacyjnych jest potrzebne ciągle zasilanie stosunkowo niewielką mocą, przy czym szczególnie ważne jest ładowanie baterii przy jak najmniejszej szybkości wiatru. Jeżeli nawet nie zostanie wykorzystana moc, która jest osiągalna przy dużych szybkościach wiatru, to uzyskanie większej ciągłości zasilania pozwoli na skrócenie okresów pracy rezerwowego źródła energii /zespołu spalinowo-elektrycznego/.

Czynniki ekonomiczne

Ogólnie biorąc, energia elektryczna generowana za pomocą silników wiatrowych może być tania pod warunkiem, że:

- 1/ w danym miejscu będą odpowiednie warunki pod względem występujących tam wiatrów,
- 2/ będzie wykorzystywana całkowicie energia potencjalna danego urządzenia,
- 3/ będą dopuszczalne okresowe przerwy w dostawie energii.

Jednakże koszty energii elektrycznej uzyskiwanej z elektrowni wiatrowych do zasilania stacji telekomunikacyjnych trzeba uważać jako wyższe, ponieważ warunki eksploatacji w takich stacjach są przeciwieństwem wymienionych wyżej. Warunki eksploatacji w odniesieniu do telekomunikacji są bowiem następujące:

a/ lokalizacja stacji wynika z wymagań stawianych przez telekomunikację i względy organizacyjne, a nie jest dyktowana warunkami terenowymi,

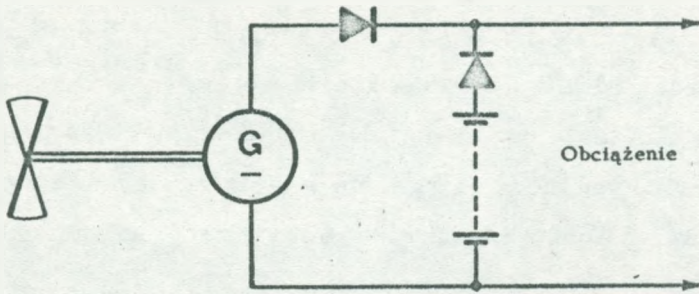
b/ konieczne jest magazynowanie energii i z tego powodu energia potencjalna urządzenia nie jest stale wykorzystywana,

c/ przerwy w zasilaniu energią elektryczną nie mogą być zazwyczaj tolerowane i dlatego konieczne jest najczęściej posiadanie na stacji rezerwowego źródła energii.

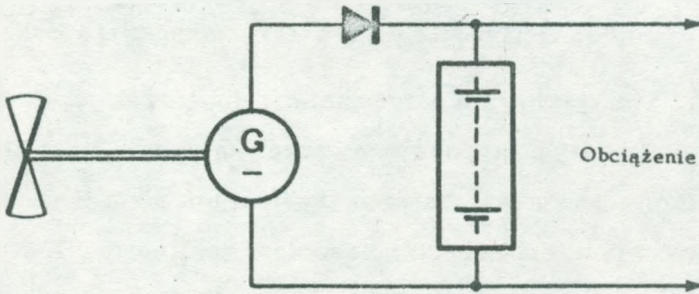
Problem wymieniony pod a/ mógłby być rozwiązany przez umieszczenie elektrowni wiatrowej poza stacją, w dogodnym ze względu na wiatr miejscu. Jednak takie rozwiązanie nie wydaje się ekonomiczne ze względu na straty przy przesyłaniu energii. W przypadku linii radiowych lokalizacja stacji, pracujących w systemie bezpośredniej widoczności, jest korzystna dla działania elektrowni wiatrowych i wtedy trudności wymienione pod a/ nie występują.

Jeśli idzie o warunki b/ i c/, to spełniane one mogą być przez zastosowanie baterii akumulatorów w celu uniknięcia przerw w zasilaniu wskutek nie będących do przewidzenia i zapobieżenia zmian w natężeniu wiatru. Jednakże baterie akumulatorów mając określoną pojemność, będą w pewnych wypadkach całkowicie naładowane, a w innych - wyladowane. Gdy bateria jest całkowicie naładowana, nie można jej więcej ładować, a zatem część potencjalnej energii urządzenia nie będzie wtedy wykorzystana. Gdy natomiast bateria zostanie wyladowana i nastąpi okres bezwietrzny, to konieczne będzie wówczas uruchomienie niezależnego od wiatru źródła energii, na przykład prądotwórczego zespołu spalinowo-elektrycznego.

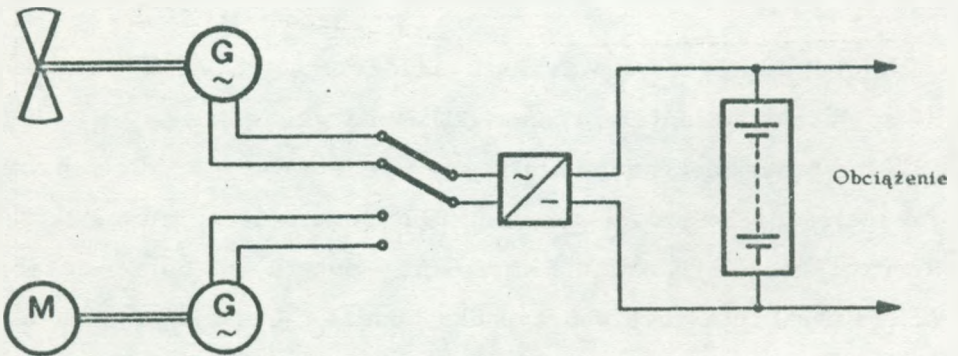
Koszty nakładowe elektrowni wiatrowych łącznie z konstrukcją



Rys. 18. Generator z napędem wiatrowym i z baterią ogniów galwanicznych



Rys. 19. Generator z napędem wiatrowym i z baterią akumulatorów



Rys. 20. Układ z rezerwowym zespołem spaliniowo-elektrycznym gaźnikowym lub wysokoprężnym

wsporczą /wieżę/ wahającą się w granicach od 0,5 do 5 dol. /W zakresie mocy od kilku kW do kilkuset watów/.

Systemy zasilania urządzeń telekomunikacyjnych za pomocą elektrowni wiatrowych mogą polegać na współpracy prądnicy napędzanej silnikiem wiatrowym z innym rezerwowym źródłem energii, a mianowicie:

z prądnicą połączoną równolegle z baterią ogniów galwanicznych, w układzie schematycznie przedstawionym na rys. 18,

z prądnicą połączoną równolegle z baterią akumulatorów - rys.19.

Ponieważ, jak już wyżej wspomniano, nie można przewidzieć czasu trwania ciszy, zagrażającej przerwą w zasilaniu ze względu na ograniczoną pojemność baterii, system ten musi być uzupełniony awaryjnym źródłem energii: zespołem spalinowo-elektrycznym zainstalowanym na stałe lub przewoźnym, dostarczającym w razie potrzeby /rys. 20/. Wyjątkiem mogą być stacje o bardzo małym poborze mocy, zaopatrywane w baterie o stosunkowo bardzo dużej pojemności.

Na ogół nieliczne są przykłady niedozorowanych stacji telekomunikacyjnych zasilanych przez elektrownie wiatrowe.

Współpraca elektrowni wiatrowej z rezerwowym źródłem energii /zespołem spalinowo-elektrycznym lub generatorem termoelektrycznym itp./ może być również korzystna z punktu widzenia oszczędności paliwa, zwłaszcza w przypadku lokalizacji stacji w trudno dostępnym terenie, gdzie koszty transportu paliwa są wysokie.

Wytyczne projektowania

Typowe urządzenie może składać się z jednego lub dwóch generatorów napędzanych silnikiem wiatrowym, jednego lub dwóch zespołów spalinowo-elektrycznych i baterii akumulatorów oraz układu sterująco-kontrolnego, łączącego powyższe części składowe urządzenia zasilającego.

Akumulatory mogą być kwasowe lub zasadowe. Pewnym problemem jest wyparowywanie wody z elektrolitu, zwłaszcza w terenach pustynnych. Właściwa regulacja prądu ładowania może złagodzić te trudności. Pojemność baterii powinna być ustalona w zależności od poboru prądu przez obciążenie oraz długości okresów zastoju w działaniu silnika wiatrowego. Pojemność baterii poza tym powinna być wystarczająca do zasilania stacji w wypadku uszkodzenia powodującego przerwę w ładowaniu, w czasie potrzebnym na dostanie się do stacji personelu wykonującego naprawę i na samą naprawę, np. 1-2 dni. Im większa pojemność baterii, tym mniejsze będzie wykorzystywanie zespołu spalinowo-elektrycznego. Jednak pojemność baterii jest w praktyce ograniczona, zwłaszcza w dużych urządzeniach.

Urządzenia kontrolno-regulacyjne są pożądane półprzewodnikowe ze względu na dużą niezawodność i długotrwałość.

Silnik wiatrowy umieszcza się na wieży lub maszcie o wysokości zależnej od średnicy śmigła i wysokości otaczających obiektów w terenie. Powinien on być umieszczony na najwyższym punkcie wybranego miejsca, skierowany w stronę, z której wieją najczęściej wiatry i tak, aby śmigło znajdowało się co najmniej o 6 m powyżej zasłon, na przykład wierzchołków drzew. Wieża musi być dostatecz-

nie wytrzymała na napór wywierany przez wiatr za pośrednictwem śmigła oraz na moment obrotowy.

Bateria, rezerwowy zespół spalinowo-elektryczny i urządzenia kontrolne powinny być umieszczone w obudowie na poziomie gruntu, w pobliżu wieży.

Przy projektowaniu należy też wziąć pod uwagę warunki pracy silnika wiatrowego i prądnicy podczas silnych wiatrów oraz przy oblodzeniu, które może być powodem uszkodzeń śmigła i łożysk wskutek powstania niezrównoważenia.

Czynniki, które mają duże znaczenie przy projektowaniu silnika wiatrowego zostały omówione już wyżej. Przystępując do sporządzenia projektu, należy:

- odnośnie silnika i generatora:

a/ zmierzyć, wyprowadzić lub przyjąć średnią roczną wartość szybkości wiatru dla danej lokalizacji,

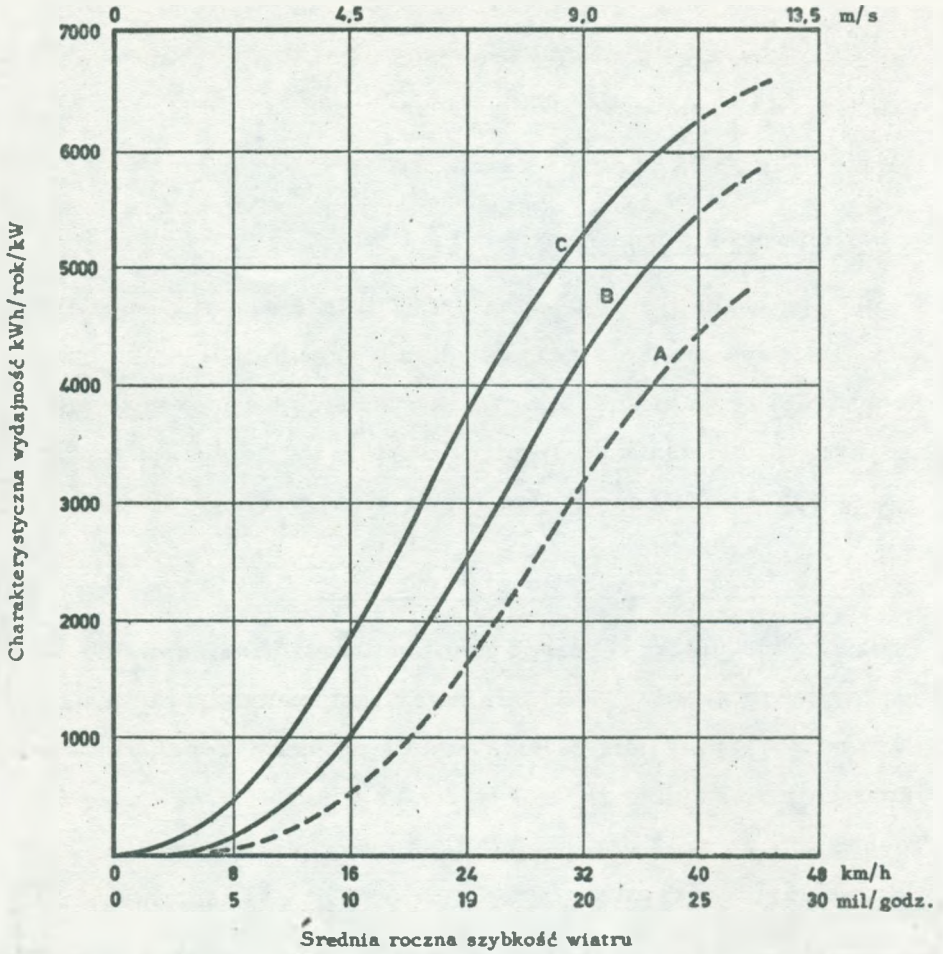
b/ wybrać odpowiedni typ elektrowni wiatrowej, tj. mający odpowiednie dane dotyczące szybkości "włączenia na ładowanie" i znamionowej szybkości wiatru,

c/ wyprowadzić charakterystyczną dla tych wartości wydajność roczną $/X \text{ kWh/rok/kw/}$ - patrz rys. 21,

d/ obliczyć roczne zapotrzebowanie energii przez stację $/Y \text{ kWh/rok/}$,

e/ wówczas stosunek $\frac{X}{Y}$ kW daje minimalną moc znamionową elektrowni,

f/ ze względu na konieczność magazynowania energii wypadkowa sprawność systemu będzie mniejsza, a zatem znamionową wartość można w praktyce przyjąć jako $\frac{4X}{Y}$ kW,



Krzywa	Znamionowa szybkość wiatru mil/godz. /km/h/	Szybkość włączenia ładowania mil/godz. /km/h/	Szybkość krytyczna mil/godz. /km/h/
A	30 /48/	17 /27,2/	60 /96/
B	25 /40/	13 /20,8/	60 /96/
C	20 /32/	10 /16/	60 /96/

Rys. 21. Wydajność charakterystyczna w funkcji średniej rocznej szybkości wiatru

g/ jeśli ze względu na niezawodność i łatwiejszą konserwację przyjąć dwa komplety generatora wiatrowego, to wówczas moc znamionowa będzie $\frac{2X}{Y}$ kW;

- odnośnie baterii akumulatorów

pojemność baterii nie powinna być mniejsza od sumy amperogodzin wyładowywanych do czasu wysłania sygnału powodującego uruchomienie zespołu spalinowo-elektrycznego i amperogodzin koniecznych do zasilania stacji do czasu przybycia obsługi w przypadku nieuruchomienia zespołu spalinowo-elektrycznego;

- odnośnie zespołu spalinowo-elektrycznego

moc zespołu prądotwórczego powinna umożliwiać zasilanie stacji przy jednoczesnym ładowaniu baterii odpowiednim prądem. Idealnym rozwiązaniem jest zainstalowanie na stacji dwóch zespołów, z których jeden będzie zawsze gotów do pracy, a drugi może być uruchamiany na czas przeglądu lub naprawy pierwszego.

Przykłady wykorzystania energii wiatru do zasilania urządzeń telekomunikacyjnych są przytoczone poniżej.

Przykład 1. Zasilanie stacji linii radiowej w Schöneberg /NRF/

Średnia roczna szybkość wiatru	5,6 m/s
Znamionowa szybkość wiatru	9,0 m/s
Szybkość włączania na ładowanie	3,4 m/s
Wydajność charakterystyczna /z wykresu na rys. 5/	3000 kWh/rok/kW
Zapotrzebowanie energii	9500 kWh/rok
Stąd potrzebna minimalna moc generatora	$\frac{9500}{3000} = 3,2$ kW

Jednak w przypadku generatora o takiej mocy potrzebna byłaby bateria o nieskończenie wielkiej pojemności, co dopiero pozwoliłoby uniknąć strat energii w czasie, gdy bateria byłaby już całkowicie naładowana. W praktyce natomiast wobec skończonej pojemności baterii będzie niezbędny generator o większej mocy, aby zapewnić pełne naładowanie baterii możliwie jak najczęściej, aczkolwiek związane to będzie z niepełnym wykorzystaniem mocy generatora.

W przykładowo rozpatrywanym obiekcie były zainstalowane 2 generatory, każdy o mocy 6 kW, współpracujące z baterią o pojemności energetycznej 43,2 kWh. Podczas eksploatacji stwierdzono nadwyżkę 26 kWh w stosunku do dobowego poboru. Pomimo tego zespoły spalinowo-elektryczne jednak często pracowały z powodu niesprzyjających warunków atmosferycznych i małej pojemności baterii.

Stacja linii radiowej znajdująca się w Schöneberg jest zlokalizowana na wysokości 670 m n.p.m., gdzie przy przeciętnej szybkości wiatru 5,6 m/s często wieją wiatry o szybkości 4,1 m/s.

Moce otrzymywane z generatora były przy szybkości wiatru:

3,4 m/s	-	0,3 kW	/minimalna/
4,1 m/s	-	1 kW	/najczęściej/
9,0 m/s	-	6 kW	/znamionowa/.

Dobowa produkcja energii z dwóch generatorów wynosiła średnio 40 kWh.

Każdy z generatorów, mający trójramienne śmigło o średnicy 10 m, był zainstalowany na 10 m maszcie i sprzęgnięty za pomocą przekładni redukcyjnej z prądnicą prądu stałego.

Nastawienie skoku śmigła było rozwiązane trzema niezależnymi od siebie sposobami:

a/ ręcznie - poprzez mechaniczne ulinowanie dostępne u podstawy masztu,

b/ automatycznie - za pomocą regulatora odśrodkowego na wale rozrządczym,

c/ automatycznie - poprzez hydrauliczne nastawienie uzależnione od szybkości wiatru albo napięcia prądnicy; w razie huraganowego wiatru łopatki śmigła zostają zwinięte, aby uniknąć uszkodzenia.

Napięcie prądnicy wynosiło od 220 do 310 V, a bateria składała się ze 110 ogniw ołowiowych o pojemności 216 Ah i zapewniała stabilizację napięcia oraz rezerwowe źródło energii, wystarczające /przy pełnym naładowaniu/ na 12,5 godziny, co odpowiadało 1,8 dnia roboczego stacji, która była czynna tylko 7 godzin na dobę. Poza tym stacja miała 2 przetwornice z prądu stałego na przemieniony o napięciu 220 V stabilizowanym z dokładnością $\pm 2\%$ i o częstotliwości utrzymywanej w granicach 49-51,1 Hz, w zależności od stanu baterii.

Dla zapewnienia ciągłości zasilania podczas okresów ciszy był zainstalowany zespół spalinowo-elektryczny o mocy 9 kW, który ładował baterię poprzez prostownik, gdy napięcie baterii obniżyło się do 208 V. Ładowanie automatycznie przerywało się przy napięciu 265 V.

Praca stacji została rozpoczęta w 1954 r. przy zapotrzebowaniu dziennym energii 26 kWh. Następnie po kolejnych rozbudowach zapotrzebowanie wzrastało, aż do osiągnięcia 137 kWh w końcu 1956 r.

Analiza wydajności wykazała, że w żadnym z miesięcy energia dostępna nie mogła być całkowicie wykorzystana, ponieważ zapotrzebowanie na nią było często małe, a możliwość magazynowania niedostateczna. Gdyby bateria miała dwa razy większą pojemność tj. 432 Ah, to można by było codziennie magazynować 60 kWh zamiast 41 kWh, co przyczyniłoby się do bardziej ekonomicznej eksploatacji. Przy większej pojemności baterii uniknęłyby się jej przeładowywania, niekorzystnie wpływającego na trwałość akumulatorów.

Poniższa tablica daje porównanie ilości energii wytwarzanej przez elektrownię wiatrową i zespół spalino-elektryczny w różnych okresach eksploatacji.

Okres	Elektrownia wiatrowa	Zespół spalino-elektryczny	Produkcja elektrowni wiatrowej %
I - wrzesień 1954 r. - - grudzień 1954 r.	2663 kWh	665 kWh	80
II - lipiec 1955 r. - - czerwiec 1956 r.	13336 kWh	13080 kWh	52,5
Ogółem zarejestrowano	31467 kWh	44083 kWh	41,7

Z tablicy tej widać, że przy większym zapotrzebowaniu energii w II okresie konieczne było większe niż w I okresie wykorzystanie zespołu spalino-elektrycznego, czego powodem była - jak już wspomniano - niemożność magazynowania energii w dostatecznej ilości z powodu zbyt małej pojemności baterii.

Przykład II. Zasilanie stacji linii radiowej w Australii

Na linii Perth - Adelaide konieczne było zainstalowanie 51 stacji, z których 43 nie mogły korzystać z zasilania z sieci elektroenergetycznej, gdyż byłoby to połączone z nieuzasadnionymi ekonomicznie kosztami. Ponieważ poprzednio już uzyskano pozytywne wyniki z eksploatacji generatorów wiatrowych, zdecydowano zaprojektować tego rodzaju zasilanie dla 41 stacji.

Średnia roczna szybkość wiatru wynosi w tym terenie 8,2 m/s, przy czym w 75% roku przekracza 8,9 m/s. Poza tym obserwacje wcześniej zainstalowanych urządzeń wykazały, że szybkość poniżej 2,2 m/s może się zdarzać w styczniu, lutym i marcu, do 16 dni ciszy w miesiącu, oraz mogą być okresy dwutygodniowe z szybkością wiatru poniżej 4,4 m/s przez cały czas.

Opierając się na powyższych danych i innych obserwacjach, zaprojektowano elektrownię wiatrową wyposażoną w baterię akumulatorów i rezerwowy zespół spalinowo-elektryczny. W czasie gdy szybkość wiatru spada, energii dostarcza bateria. Jeżeli bateria zostanie wyladowana w 50%, to wówczas następuje samoczynne uruchomienie zespołu spalinowo-elektrycznego, który pracuje aż do chwili pełnego naładowania baterii i wtedy zostaje samoczynnie zatrzymany. Kiedy elektrownia wiatrowa dostarcza wystarczającej mocy, to znów zasilanie odbywa się z tego źródła i bateria jest utrzymywana w stanie naładowanym.

Urządzenia zasilające, oparte na średniej szybkości wiatru 5-6 m/s, składają się z następujących części:

- prądnica prądu stałego o napędzie wiatrowym o mocy 2 kW
przy szybkości wiatru 11 m/s

szt. 2

- bateria akumulatorów 24 V 500 Ah szt. 4
- zespół spalinowo-elektryczny prądu stałego chłodzony powietrzem o mocy 4 kW szt. 2

Zabiegi konserwacyjne wykonywane są regularnie raz na trzy miesiące; wówczas sprawdza się baterie, uzupełnia się elektrolit i ładuje się je, sprawdza się też ilość paliwa i smarów oraz wszelkie połączenia elektryczne. Po każdych 9000 godzin pracy silnika spalinowego następuje jego wymiana i przekazanie do gruntownego przeglądu. Również silniki wiatrowe po pierwszych 5 latach pracy powinny być oddawane do gruntownego przeglądu w odstępach 3-letnich.

Personel konserwujący /2 osoby/ dysponuje specjalnym samochodem przystosowanym na mieszkanie i wyposażonym w zespół spalinowo-elektryczny przeznaczony do zasilania stacji podczas sprawdzania urządzeń zasilających lub ich wymiany, zapasowy zespół, wodę destylowaną, przyrządy pomiarowe, żywność oraz urządzenia ciśnieniowe, zabezpieczające ludzi i sprzęt przed pyłem podczas jazdy.

WYKAZ LITERATURY

1. Golding E.W.: The generation of electricity by wind power. London 1955 E.8 F.N Spon Limited s. XIII, 318.
2. Golding E.W.: Electrical energy from the wind. Proc. IEE 1955 t. 102, nr 6, s. 677.
3. Sachs P.: Wind generation of electric power for radio-relay repeaters. Point to Point Telecommunications, 1964 nr 2, s.15.

4. Rösseler G.: Electrical power supply by wind power to the 10-cm Schöneberg /Eifel/ radio links and experience gathered with its operation. NTZ, 1959 t. 12 nr 7, s. 352-360.
5. Hawke H.: Wind-driven generators for remote repeater stations. Telecom, J. Australia, 1940 nr 18, s. 81.
6. Putnam P.C.: Power from the wind. Van Nostrand, Nowy Jork 1948 s. XII, s. 244.

OGNIWA PIERWOTNE /GALWANICZNE/

Wstęp

Ogniwo pierwotne /galwaniczne/ jest niezależnym źródłem energii elektrycznej wytwarzanej przez zużycie jednego lub kilku jego składników. Chociaż ogniwa galwaniczne były pierwszym źródłem zasilania używanym w urządzeniach telegraficznych i telefonicznych, to jednak wzrastające zapotrzebowanie na wyższe napięcia przyczyniło się do zmniejszenia ich zastosowania. W ostatnich latach nastąpił nowy rozwój w związku z pojawieniem się tranzystora.

Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna /CEI/ przyjęła następujące podstawowe definicje w dziedzinie ogniw:

- ogniwo lub bateria pierwotna - źródło energii elektrycznej otrzymywane przez bezpośrednie przekształcenie energii chemicznej,
- ogniwo mokre - ogniwo, w którym elektrolit jest w stanie ciekłym,

- ogniwo /bateria/ suche - ogniwo gotowe do użycia, w którym elektrolit jest wykonany jako niewylewny,
- ogniwo obojętne - ogniwo, które jest zdolne do dostarczania energii elektrycznej dopiero po uaktywnieniu całości lub części jego elektrolitu,
- napięcie bez obciążenia - różnica potencjałów istniejąca między zaciskami ogniwa lub baterii przy otwartym obwodzie,
- napięcie pod obciążeniem - różnica potencjałów istniejąca między zaciskami ogniwa, gdy dostarcza ono prądu,
- napięcie znamionowe - określone napięcie bez obciążenia,
- polaryzacja - zjawisko zmniejszania się SEM podczas pracy ogniwa,
- depolaryzator - substancja lub środek do zredukowania lub zapobiegania polaryzacji,
- wyładowanie - czynność, podczas której ogniwo dostarcza prądu do obwodu zewnętrznego; wyładowanie może być ciągle lub przerywane,
- moc użyteczna - praca użyteczna ogniwa lub baterii w określonych warunkach; może być wyrażona w watogodzinach, amperogodzinach lub trwałością;
- czas przechowywania - czas, w ciągu którego ogniwo przechowywane w określonych warunkach zachowuje zdolność do określonej pracy.

Rozpatruje się następujące trzy rodzaje ogniw :

a/ ogniwa Leclanché , w których elektrodą ulegającą rozpuszczeniu jest cynk, a depolaryzatorem jest dwutlenek manganu; elektrolitem jest zwykle niewylewna masa żelatynowa lub roztwór chlorku amonu;

b/ ogniwa z depolaryzacją powietrzną, elektrolitem amonowym - jak wyżej i elektrodą cynkową; depolaryzatorem jest tlen z powietrza;

c/ ogniwa z depolaryzacją powietrzną i elektrolitem zasadowym /alkalicznym/; elektrodą ulegającą rozpuszczeniu jest również cynk, a depolaryzatorem tlen z atmosfery, lecz elektrolitem jest roztwór wodorotlenku sodu /NaOH/ lub potasu /KOH/; są to zwykle ogniwa obojętne, które się uruchamia przez dolanie wody miękkiej lub morskiej.

Ostatnio są wprowadzane ogniwa, w których zamiast elektrody cynkowej zastosowano elektrodę z magnezu. Zapewniają one wyższe napięcie pod obciążeniem /1,6 - 1,75 V/, lecz są dwukrotnie droższe od ogniw cynkowych. Mogą być magazynowane przez długi czas, zwłaszcza w warunkach tropikalnych. Są nadal w stadium eksperymentalnym, jeśli idzie o długotrwałość wyładowania.

Ze względu na swój charakter ogniwa pierwotne są źródłem niskiego napięcia, są kosztownym źródłem energii i zastosowanie ich jest ograniczone do małych przyrządów i urządzeń w miejscach, gdzie nie ma zasilania z sieci.

Stosowane są w następujących urządzeniach:

- stacjach telefonicznych miejscowej baterii,
- centralach abonenckich,
- domofonach.

- w stacjach wzmacniakowych tranzystoryzowanych na kablach współosiowych i na liniach radiowych,
- sygnalizacji kolejowej.

W specjalnych przypadkach baterie pierwotne mogą być stosowane w systemie pracy buforowej. Jedna z administracji P. T. wprowadziła do zasilania urzędzeń telefonicznych wiejskich itp., w terenach o niedostatecznym zasilaniu z sieci, baterie pierwotne w połączeniu równoległym z prostownikami. Normalnie urządzenia telefoniczne są zasilane z prostownika, a ładowanie baterii jest ograniczone przez opornik zbocznikowany diodą. Gdy zasilanie z prostownika jest niedostateczne, zapotrzebowanie szczytowe pokrywa bateria.

W razie zaniku napięcia w sieci zasilanie odbywa się wyłącznie z baterii. Ogniwa specjalnego typu mają odwracalną pojemność około 3% ich pojemności znamionowej. Podczas krótkotrwałych przerw cynk nie zużywa się, lecz podczas dłuższych okresów zaniku napięcia w sieci, gdy zdolność ogniw do pracy jako akumulatorów wyczerpie się, pracują one jako ogniwa pierwotne. Ogniwa o dużej pojemności mogą zapewnić długotrwałe zasilanie urzędzeń telefonicznych.

Opis różnego rodzaju ogniw i ich charakterystyka

Tablica 4 zawiera dane dotyczące różnego rodzaju ogniw produkowanych w prawie wszystkich krajach.

Porównanie poszczególnych rodzajów ogniw:

- a. Ogniwa Leclanché są niekiedy używane w telefonii, lecz nie są tak trwale jak ogniwa z depolaryzatorem powietrznym i mają mniejszą pojemność.

Charakterystyka typowych ogniw

Pojemność Ah	Siła elektromotoryczna V	Kształt	Wymiary przybliżone			Ciężar przybliżony kg
			długość	szerokość	wysokość	
<u>Ogniwa Leclanché</u>						
100	1,50	równoległoscian	82	82	180	2,0
40	1,50	cylinder		65 śr.	152	0,75
<u>Ogniwa z depolaryzacją powietrzną i z elektrolitem NH_4Cl</u>						
270	1,45	równoległoscian	105	105	180	2,70
135	"	"	85	85	180	1,70
70	"	cylinder		65 śr.	152	0,65
90	"	równoległoscian	70	60	160	0,85
45	"	"	63	63	110	0,55
22	"	"	50	50	90	0,30
135	2,90	"	110	105	100	3,00
900	1,45	"	178	178	196	9,00
900	2,90	"	337	178	190	16,00
850	1,45	"	168	168	190	7,00

Pojem- ność Ah	Siła elek- tromoto- ryczna V	Kształt	Wymiary przybliżone			Ciężar przybli- żony kg
			długość	szerokość	wysokość	
<u>Ogniwa z depolaryzacją powietrzną i z elektrolitem NaOH</u>						
2000	1,45	równoległoscian	215	215	246	10,00
1100	"	"	138	138	240	4,50
<u>Ogniwa z depolaryzacją powietrzną i z elektrolitem KOH</u>						
2000	1,45	równoległoscian	215	215	246	10,00
1100	"	"	138	138	240	4,50
10000	"	"	304	304	520	42,00
3500	"	"	211	211	342	18,00
3500	"	"	211	211	342	18,50
1000	2,90	"	214	185	218	9,00

b. Ogniwa z depolaryzatorem powietrznym i elektrolitem amonowym o pojemności użytecznej od 20 do 900 Ah zaspokajają większość zapotrzebowań małej mocy /od ułamka wata do kilku watów/, lecz ich średnie napięcie podczas wyładowania jest niższe niż innego rodzaju ogniw.

Obydwa powyższe rodzaje ogniw są szczególnie przydatne w urządzeniach telekomunikacyjnych, które muszą być często przenoszone z miejsca na miejsce ze względu na niewylewny elektrolit. Jednakże ich koszt na kWh jest wyższy niż w przypadku ogniw z elektrolitem zasadowym.

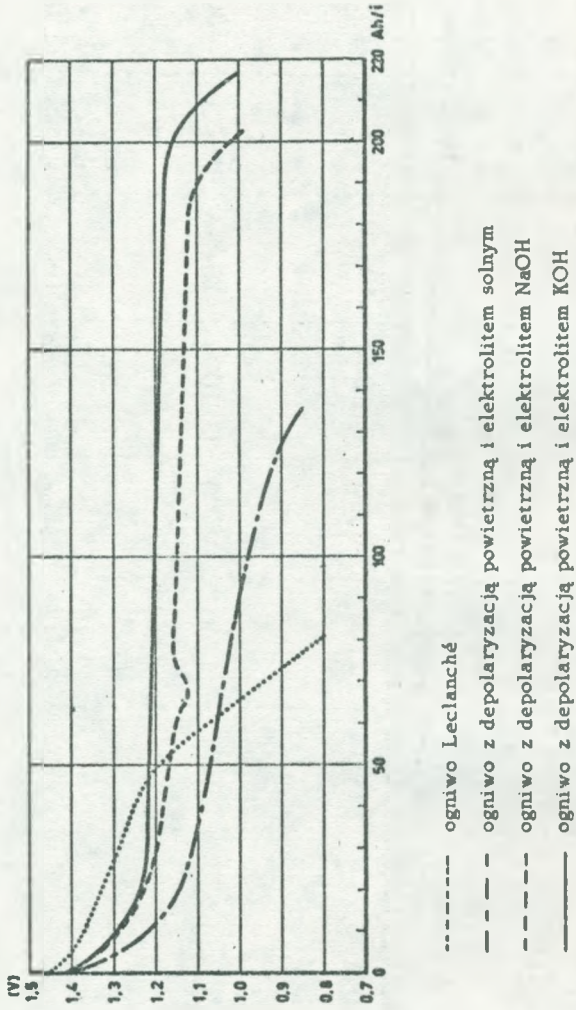
c. Ogniwa z depolaryzatorem powietrznym i elektrolitem zasadowym /NaOH lub KOH/ pokrywają zakres pojemności między 1000 a 10000 Ah. Są one lżejsze od innego rodzaju ogniw i wodę nalewa się do nich dopiero na miejscu zainstalowania, oszczędzając w ten sposób 20-30% na ciężarze transportowanym. Stosunek pojemności energetycznej do ciężaru i objętości tych ogniw jest najwyższy spośród wszystkich źródeł elektrochemicznych. Poza tym należy brać pod uwagę, że przy jednakowej pojemności energetycznej stałość napięcia ogniw zasadowych jest o 15% wyższa niż innych, co w rezultacie daje około 45% zysku, jeśli idzie o stosunek pojemności do ciężaru.

Charakterystyka pracy jest podana w tabl. 5. Jak wynika z tych danych, napięcie ogniwa obciążonego na ogół zmienia się w granicach od 1,45 do 0,9 V lub o 38% podczas ładowania. Dotyczą one warunków laboratoryjnych, w temperaturze umiarkowanej i przy wyładowaniu ciągłym prądem maksymalnym dla danego ogniwa. Przy wyładowaniu z przerwami pojemność użyteczna może być inna.

Tablica 5

Charakterystyka pracy ogniw

Rodzaj ogniw	Pojemność C Ah	Napięcie V		Maksymalny prąd ciągłego wyładowania A	Temperatura pracy °C	Maksymalny czas magazynowania lat	Maksymalny czas pracy miesiące	Przebiegienny koszt kWh dol. USA
		bez obciążenia	średnie przy maksymalnym prądzie	końcowe przy maksymalnym prądzie				
Leclanché	40-100	1,50	1,20	0,90	-10+40	1	0,5-24	8-20
Depolaryzacja powietrzna elektrolit NH ₄ Cl	10-850	1,45	1,00	0,90	-15+50	2	6-36	8-15
Depolaryzacja powietrzna elektrolit NaOH	500-2000	1,45	1,15	0,90	-15+50	5 nie na pełne	6-36	4-6
Depolaryzacja powietrzna elektrolit KOH	1000-10000	1,45	1,20	0,90	-40+50	5 nie na pełne	6-36	4-6



Rys. 22. Krzywe wyładowania różnych rodzajów ogniw w ciągu 2000 godzin przy 20°C

Porównanie krzywych wyładowania podanych na rys. 22 wykazuje, że:

a/ ogniwa z depolaryzacją powietrzną mają charakterystykę bardzo płaską,

b/ ogniwa z elektrolitem zasadowym /NaOH i KOH/ mają średnie napięcie wyższe niż ogniwa z elektrolitem amonowym,

c/ ogniwa z elektrolitem wodorotlenkiem potasu /KOH/ mają bardziej stabilne napięcie niż ogniwa z wodorotlenkiem sodu /NaOH/ ,

d/ ogniwa z elektrolitem zasadowym uzyskują pręcej po rozpoczęciu wyładowania napięcie stabilne, co pozwala uniknąć kosztownych regulatorów.

Jednakże z ogniw z elektrolitem zasadowym nie można uzyskać stabilnego napięcia, gdy pobór prądu przekracza 1 A.

Napięcie ogniw podczas wyładowania jest wprost proporcjonalne do temperatury.

W niskich temperaturach lepiej pracują ogniwa z elektrolitem zasadowym. Optymalna temperatura wynosi od 0 do $+40^{\circ}\text{C}$ dla ogniw z elektrolitem NaOH oraz -20 do $+40^{\circ}\text{C}$ dla KOH.

W klimatach tropikalnych preferować powinno się ogniwa zasadowe, które są mniej wrażliwe od ogniw z elektrolitem z chlorkiem amonu / NH_4Cl /.

Wilgoć ma nieznaczny wpływ na pracę ogniw, zwłaszcza mokrych, nie należy jednak magazynować ogniw w pomieszczeniach wilgotnych. Nadmiernie suche powietrze może powodować szybkie parowanie elektrolitu w ogniwach mokrych. W suchym klimacie tropikalnym trzeba dolewać wody co trzy miesiące. Parowanie elektrolitu zasadowego jest bardzo słabe w porównaniu do czystej wody.

W ogniwach z depolaryzatorem powietrznym trzeba chronić przed zanieczyszczeniem otwory, którymi powinno mieć dostęp powietrze.

Często regulatorów napięcia nie stosuje się przy zastosowaniu ogniw pierwotnych /baterii/, jednak w celu skompensowania spadku napięcia w regulatorze lub skompensowania spadku napięcia w ciągu długotrwałej pracy może być celowe zastosowanie ogniw dodatkowych. Po krótkotrwałych przeciążeniach lub zwarcjach ogniwo powraca do stanu normalnego. Pobór prądu powinien być jednak ograniczony do dopuszczalnej wartości.

Pomieszczenia na ogniwa powinny mieć skuteczną wentylację naturalną, zwłaszcza ogniwa z depolaryzacją powietrzną.

Elektrolit zasadowy /NaOH i KOH/ jest substancją trującą, zarówno w stanie ciekłym jak i stałym, i nie powinien dostawać się do organizmu człowieka lub stykać się z naskórkiem, oczami itp. oraz ubraniem. W przypadku zetknięcia się należy dane miejsce na ciele zmywać obficie wodą w ciągu 15 minut, a następnie zneutralizować za pomocą roztworu kwasu borowego, octu lub kwasu cytrynowego.

Ogniwo wymaga bardzo niewiele zabiegów konserwacyjnych. W ogniwach mokrych należy od czasu do czasu sprawdzać poziom elektrolitu i dolewać w miarę potrzeby wody.

Końcówki /zaciski/ powinny być utrzymane w stanie nieskorodowanym i dobrze dokręcone. Napięcie w poszczególnych ogniwach baterii należy sprawdzać i wymieniać ogniwa przed ich całkowitym wyczerpaniem.

Czynniki ekonomiczne

Ogniwa są niezależnymi źródłami energii, której mogą dostarczyć w ściśle ograniczonej ilości. Po jej wyczerpaniu ogniwa muszą być wymienione. Zużyte ogniwa nie mają żadnej wartości, nawet jako złom.

Czynnikiem ekonomicznym, które trzeba brać pod uwagę, są: cena zakupu, koszty transportu, opłaty celne w przypadku importu, koszty instalowania.

Wnioski

Wraz ze zwiększającym się zastosowaniem urządzeń strazy-storyzowanych, których zapotrzebowanie energii znacznie zmalało, oraz udoskonaleniem ogniwo o dużej wydajności /zasadowych z wodorotlenkiem potasu lub sodu/ należy dojść do przekonania o wzrastającym znaczeniu ogniwo w dziedzinie telekomunikacji. Jednakże nie jest prawdopodobne, aby można było w przyszłości przekroczyć osiągalną obecnie pojemność jednego ogniwo - 10 000 Ah ze względu na ciężar i związane z tym trudności transportowe. Poza tym z obliczeń wynika, że dalszy wzrost pojemności nie wpłynie prawie na zredukowanie podstawowego kosztu na kWh.

Wykaz literatury

1. Vinal G.W.: Primary batteries. Wiley & Sons, Inc., New York, s. XI, 336.

2. Zalecenia EIC /International Electrotechnical Commission, 1 rue de Varembe, Geneva, Switzerland Publication 86.1. Publication 86.1. Primary cell and batteries - General. Publication 86.2. Primary cell and batteries - Specification Sheets. Publication 86.3. Primary cell and batteries - Terminals.

OGNIWA SŁONECZNE

Wstęp

Ogniwa słoneczne przekształcają energię promieniowania słońca bezpośrednio na użyteczną energię elektryczną.

Pod różnymi nazwami występują ogniwa słoneczne, jak: przetworniki światła, fotodiody i inne. Należy podkreślić, że w przeciwieństwie do ogniw elektrochemicznych ogniwa słoneczne nie mogą magazynować energii i z tego powodu muszą być stosowane w połączeniu z ogniwami akumulatorowymi.

W celu zorientowania się co do ilości energii, jaką można by uzyskać z ogniw słonecznych, jest konieczne otrzymanie danych ilościowych co do przeciętnej energii słonecznej dostępnej w tym miejscu, w którym ma być zlokalizowane urządzenie.

Wskazówki co do zebrania danych niezbędnych do projektowania elektrowni słonecznej można znaleźć w literaturze [1, 2 i 3].

Bateria słoneczna składa się z indywidualnych ogniw. Najlepsze ogniwa są wykonane z monokrystalicznego krzemu. Promieniowanie słoneczne, padając na powierzchnię kryształów krzemu, powoduje powstawanie napięcia, które wywołuje prąd elektryczny w ob-

wodzie zewnętrznym. Prądem tym ładuje się baterię akumulatorów i zasila urządzenia.

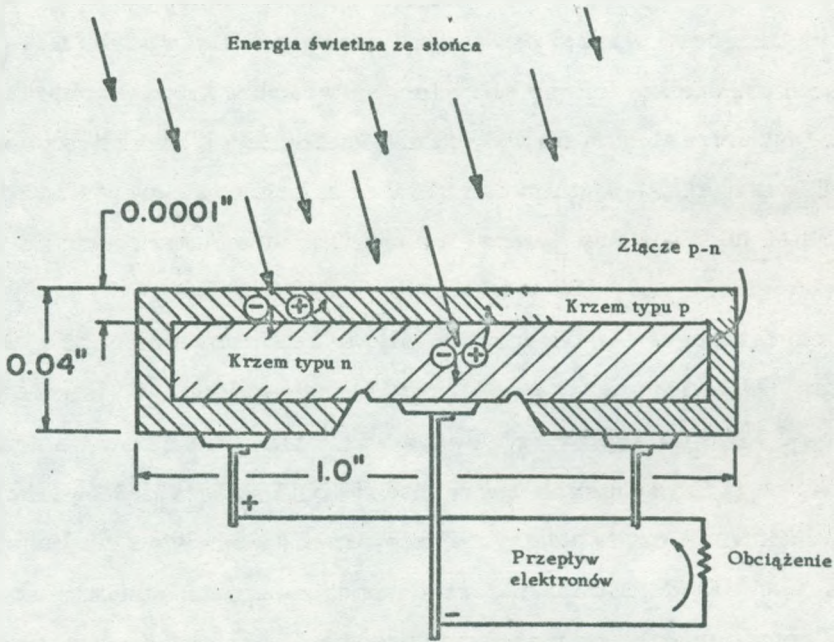
Liczba urządzeń wykorzystujących energię w ten sposób wytwarzaną jest niewielka, czego powodem są wysokie koszty kryształów krzemu potrzebnych do wykonania skutecznych baterii słonecznych. Pewien postęp w kierunku obniżenia kosztów ogniw słonecznych został już zrobiony, jednak cena ich jest w dalszym ciągu bardzo wysoka, rzędu 200 - 600 dolarów USA na wat.

Pomimo tego ogniwa słoneczne znalazły zastosowanie w telekomunikacji /niezależnie od satelitarnych zastosowań/. W Japonii w okresie od 1958 do 1966 r. zbudowano 25 stacji zasilanych z ogniw słonecznych pokrywających zakres od 8 do 1156 W [4]. Również stacje zbudowane przez amerykańskie przedsiębiorstwa na Jamajce mają moc 100 W. Można się więc spodziewać, że w miarę obniżenia ceny ogniw słonecznych zastosowanie ich może wzrosnąć.

Opis urządzeń i ich charakterystyka

Podstawową jednostką obecnie przekształcającą energię słoneczną na elektryczną jest fotodioda krzemowa, której przekrój przedstawia rys. 23. Najważniejszymi elementami ogniwa są monokryształ krzemu wykonany specjalną technologią oraz oprawa stykowa. Krzem musi być wysokiej czystości, z którego tworzy się kryształ i wprowadza do niego następnie ściśle kontrolowane domieszki. Celem domieszek jest utworzenie obszarów typu p i n, między którymi powstaje złącze p - n, będące źródłem napięcia wytwarzanego pod wpływem energii promieniowania [6].

Bateria zdolna do wytworzenia mocy wielu watów wymaga wiel-



Rys. 23. Przekrój fotodiody krzemowej

kij liczby indywidualnych fotodiód, na przykład przeszło 10000 dla otrzymania mocy kilkuset watów. Zwykle dostarczane są przez producentów fotodiody w kompletach zgodnie z żądaniami użytkownika. Mają one często postać płaskich paneli o kształcie prostokątnym.

Moc indywidualnych fotodiód i baterii z nich zestawionych zależy od kilku czynników, z których jedne są zdeterminowane przez właściwości promieniowania padającego na diody, a inne zależą od wpływów otoczenia.

Właściwości fizyczne charakteryzujące źródło światła użyte do generowania energii polegają na rozkładzie energii widma /względ-

na ilość energii promieniowania w funkcji długości fali/, całkowitym natężeniu światła na powierzchni baterii $[W/cm^2]$ oraz ustawieniu baterii ogniw w stosunku do przychodzącego światła.

Tylko część energii widma słonecznego może być użyta do generowania energii, a mianowicie między 0,35 i 1,1 mikrona długości fali.

Nowoczesne ogniwa słoneczne, produkowane na skalę przemysłową, wykazują sprawność do 12% w optymalnych warunkach. Oznacza to, że przy $100 mV/cm^2$ odpowiadających promieniowaniu słonecznemu $12 mV/cm^2$ jest do uzyskania z aktywnej powierzchni ogniwa.

Wartości liczbowe dotyczące wydajności ogniw zmieniają się w zależności od wytwórni i roku produkcji, gdyż technologia jest w stadium rozwojowym.

W ostatnich latach uczyniono pewien postęp w celu uzyskania większej sprawności przez umieszczenie złączy bliżej powierzchni ogniwa, polepszenie styku, racjonalne rozmieszczenie oraz przez zastosowanie powłok antyodblaskowych.

Innym czynnikiem o dużym znaczeniu jest zorientowanie baterii słonecznej względem padającego promieniowania. Konieczne jest dokonywanie sezonowych zmian położenia, kilka razy w roku. Zalecane są na przykład [8] zmiany orientacji przy zrównaniu dnia z nocą, wiosennych i jesiennych, oraz przesileniach letnich i zimowych.

Wpływ warunków otoczenia, a zatem temperatury jest znaczny. Zmiana sprawności z temperaturą wynika głównie ze zmiany napięcia ogniwa, na przykład wynosi $- 2,1 mV/^{\circ}C$ przy maksymalnej mocy i $- 2,25 mV/^{\circ}C$ przy obwodzie otwartym.

W celu zapewnienia właściwej pracy ogniw słonecznych konieczne jest usuwanie z ich powierzchni substancji pochłaniających energię promieniowania, jak np. śnieg, pył, piasek itp. Deszcz i grad mają niewielki wpływ. Deszcz raczej jest pożyteczny, gdyż oczyszcza powierzchnię ogniw.

Wysokość lokalizacji nie ma większego znaczenia, jednak im wyżej, tym intensywność promieniowania jest większa. Ogniwa przeznaczone do pracy naziemnej nie powinny być poddawane natężeniu promieniowania odpowiadającemu wartości większej niż 120 W/cm^2 . Również temperatura otoczenia nie powinna przekraczać $+50^\circ\text{C}$.

Zastosowanie baterii słonecznych

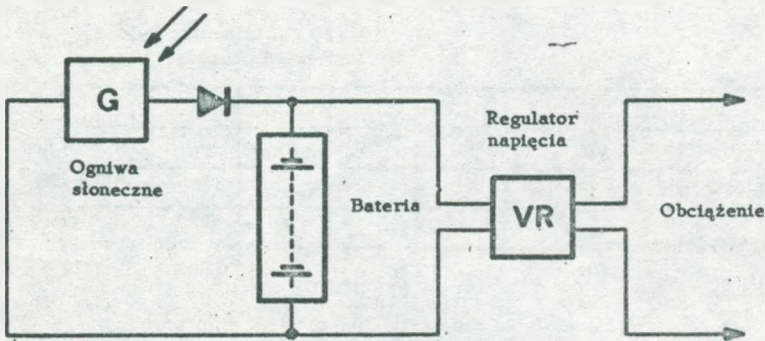
System zasilania, polegający na współpracy ogniw słonecznych z baterią akumulatorów lub z ogniwami pierwotnymi /galwanicznymi/, może być zastosowany w następujących przypadkach:

- telefonia nośna na terenach wiejskich,
- stacje przekaźnikowe UKF,
- radiolatarnie
- boje świetlne itp.

na ogół tam, gdzie jest potrzebna moc w zakresie 5-50 W.

Schemat układu przedstawia rys. 24. Bateria słoneczna jest połączona równolegle z baterią akumulatorów, którą ładuje zasilając jednocześnie odbiór.

W okresach ciemności lub w pochmurne dni odbiór jest zasilany z baterii akumulatorów. Dioda zapobiega wyladowaniu się akumulatorów poprzez stosunkowo małą rezystancję baterii słonecz-

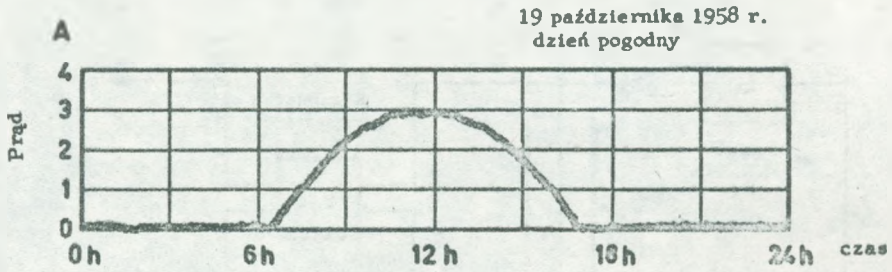


Rys. 24. Układ współpracy ogniw słonecznych z baterią akumulatorów

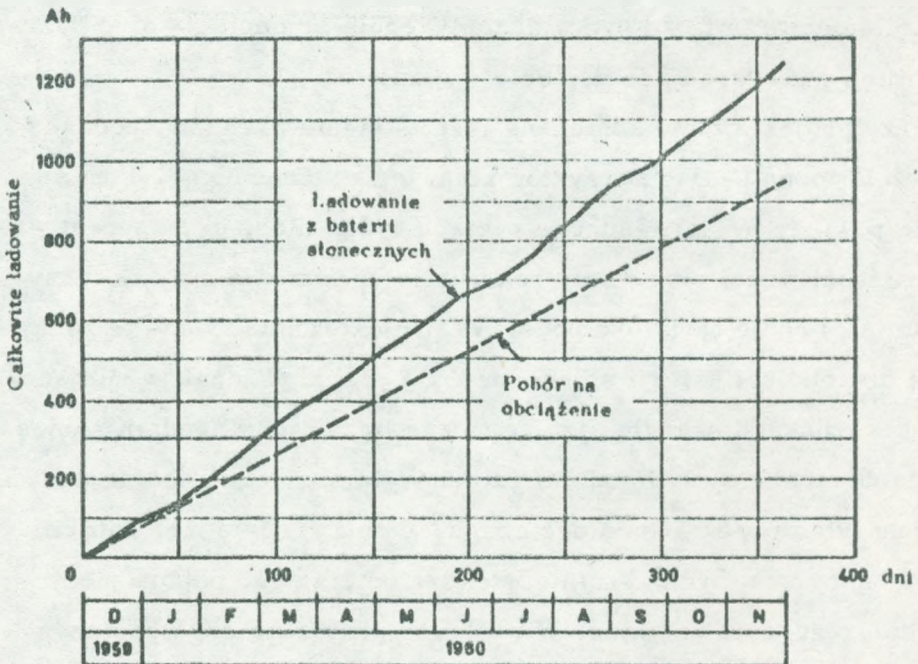
nej. Na odbiorze może być włączony regulator napięcia albo przetwornica podwyższająca napięcie wyjściowe.

Przy projektowaniu konieczne jest ustalenie okresów, podczas których można będzie korzystać ze światła słonecznego. Pomiarów takie powinny być prowadzone w ciągu wielu miesięcy, a nawet w miarę możliwości przez cały rok w celu upewnienia się, że otrzymane informacje mogą być podstawą projektowania. Dane te zdecydują o wielkości baterii słonecznej. Na przykład jeżeli w miejscowych warunkach okazało się, że można liczyć na 90 godzin słońca w ciągu miesiąca /720 godzin/, to energia słoneczna będzie dostępna tylko przez $1/8$ całego czasu. Zatem średnia moc baterii słonecznej musi być 8-krotnie większa od ciągłego poboru mocy przez urządzenie zasilane. W praktyce przyjmuje się współczynnik 10-15.

Rysunki 25 i 26 przedstawiają przykłady pracy ogniw słonecznych w zależności od warunków atmosferycznych - dzień pogodny lub pochmurny.



Rys. 25. Prąd ładowania z baterii słonecznej w dniu pogodnym



Rys. 27. Ładowanie z baterii słonecznych i pobór na obciążenie w latarni morskiej IKADA

Wielkość baterii słonecznej powinna być taka, aby całkowita ilość energii przez nią dostarczana w okresie rocznym była nieco większa od ilości energii, która ma być pobrana przez odbiór /rys. 27/. Jeżeli energia wytwarzana przez baterię słoneczną będzie znacznie większa od poboru przez odbiór, to będzie występować przeładowanie akumulatorów, szkodliwe dla ich trwałości. Jeżeli będzie przeciwnie, to bateria akumulatorów zostanie wkrótce wyczerpana. W niektórych przypadkach za rezerwową energię w akumulatorach /pojemność energetyczna Wh/ przyjmuje się 10-30 dni stałego poboru.

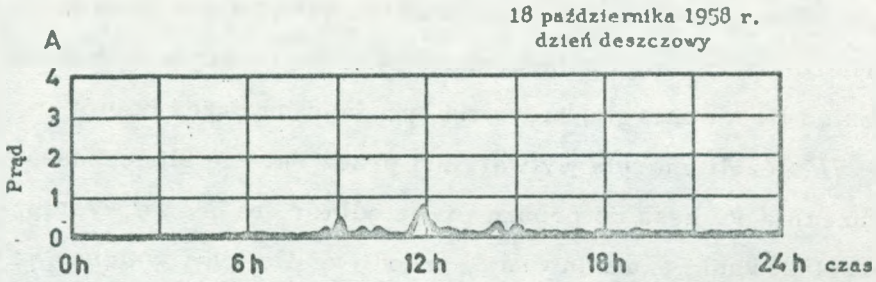
Budowa i instalowanie baterii słonecznych

Niewielka liczba ogniw, np. 5-9, połączonych szeregowo tworzy jednostkę - moduł produkcyjny. Z modułów tych zestawia się baterie o żądanym napięciu. Producent dobiera optymalną liczbę i zestawienie ogniw po uwzględnieniu wymagań odbioru i warunków otoczenia. Obliczenia muszą też brać pod uwagę charakterystykę prądowo-napięciową /rys. 28/ i przewidywać zmiany temperatury w ogniwach.

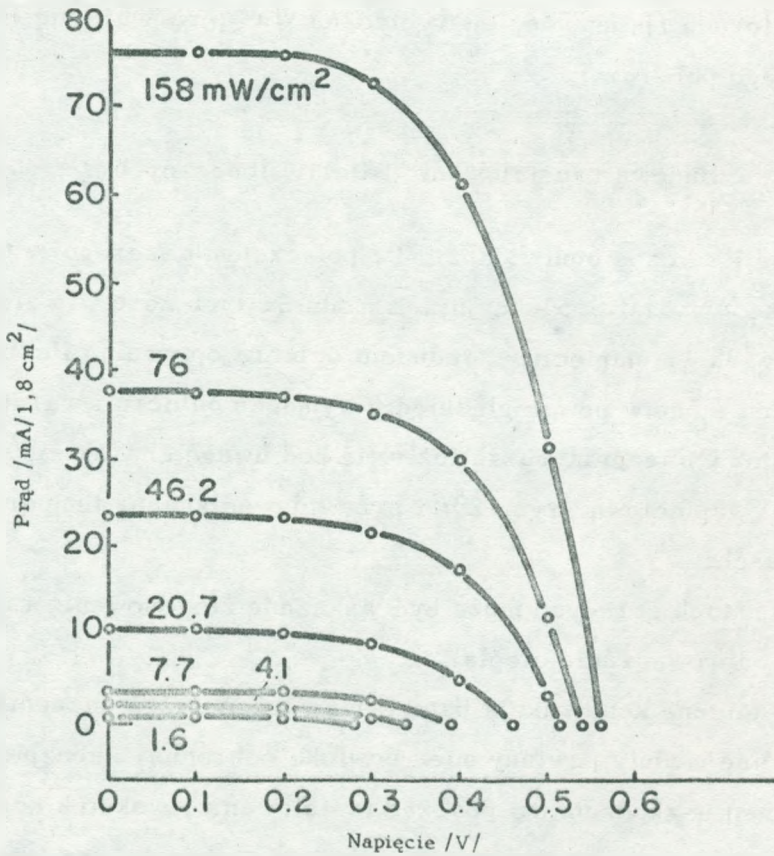
W klimatach gorących może być wskazane zastosowanie radiatorów do odprowadzania ciepła.

Mechaniczna konstrukcja baterii ma bardzo duże znaczenie. Poszczególne moduły powinny mieć powłokę ochronną, zabezpieczającą przed uszkodzeniami podczas instalowania, wskutek korozji itp., jak również powinny być odporne na wstrząsy przy transporcie.

Dla zwiększenia skuteczności baterie słoneczne mogą być wypo-



Rys. 26. Prąd ładowania z baterii słonecznej w dniu deszczowym



Rys. 28. Typowa charakterystyka ogniwa krzemowego przy różnych poziomach naświetlania przy 25°C

sażone w soczewki skupiające promienie słoneczne. Podraża to jednak koszty.

Baterie słoneczne powinny być instalowane w miejscach niezacienionych /na wierzchołku mocnego słupa lub wieży itp./. Urządzenia pomocnicze mogą być umieszczone w dowolnym miejscu, dostępnym dla obsługi, lecz zabezpieczonym od dostępu osób niepowołanych.

Powinna istnieć możliwość zmiany położenia względem padających promieni słonecznych. Jeżeli częsta, np. codzienna zmiana orientacji nie jest możliwa, konieczne będzie - jak już wspomniano - przeprowadzenie zmiany położenia kilka razy w roku. W danym dniu należy ustawić baterię o godz. 12 w południe prostopadle do kierunku promieni.

Wykaz literatury

1. New Sources of Energy. Proceedings of the United Nations Conference. Rome, 21-31 August 1961, p. 287.
2. Lbf G.O.G., Duffie J.A. and Smith C.O.: World distribution of solar radiation. J. Solar Energy 1966 t. 10, s. 27.
3. New Sources of Energy, loc. cit., p. 115.
4. Duffie J.A. and Lbf G.O.G.: Industrial applications of photovoltaic generators; paper presented at the Photovoltaic Specialists Conference, W: Cocoa Beach, Florida, March 1967, s. 28-31.
5. Smith D.H.: A one-watt solar power plant. Trans. Amer. Inst. of Elect. Engrs. 1959 t. 78 nr 5, s. 530. Part I. Commun. and Electronics 1959 nr 45.

6. Kittel C. : Introduction to solid-state physics. Wiley & Sons, Inc., New York, London, 2nd edition /1956/, XVII, 617.
7. Cherry W.R. : Solar cells and the applications engineer, *Astronautics and Aerospace Engineering*, May /1963/, pp. 54-57.
8. Kobayashi M., Ishikawa Y. and Hayashi K. : Solar batteries for use as the power source of unattended V.H.F. repeaters; *Proc. Inst. Elect. Engrs*, Paper 2960 E [International Conv. on Transistors and Assoc. Semicond. Dev] 1959 cz. B nr 16, s. 726-30, 746-7.

TURBOGENERATORY PAROWE PRACUJĄCE W OBIEGU ZAMKNIĘTYM

Wstęp

Opisywane źródło energii składa się z turbiny parowej, pracującej w obiegu zamkniętym, sprzężonej z generatorem /prądnicą/ prądu przemiennego. Całość mieści się w szczelnej, hermetycznie zamkniętej obudowie.

Wyróżniającą cechą tego urządzenia jest to, że może być ono napędzane z dowolnego źródła ciepła, gdyż obieg pary jest zamknięty i wymaga tylko ogrzewania z zewnątrz. Istnieją turbogeneratory pracujące na: płynnym gazie /propan, butan lub mieszanina obydwu/, gazie ziemnym, energii słonecznej oraz na paliwach płynnych /olej napędowy, nafta, benzyna/.

Najodpowiedniejsze w odosobnionych stacjach są turbogeneratory ogrzewane płynnym gazem.

Opis działania

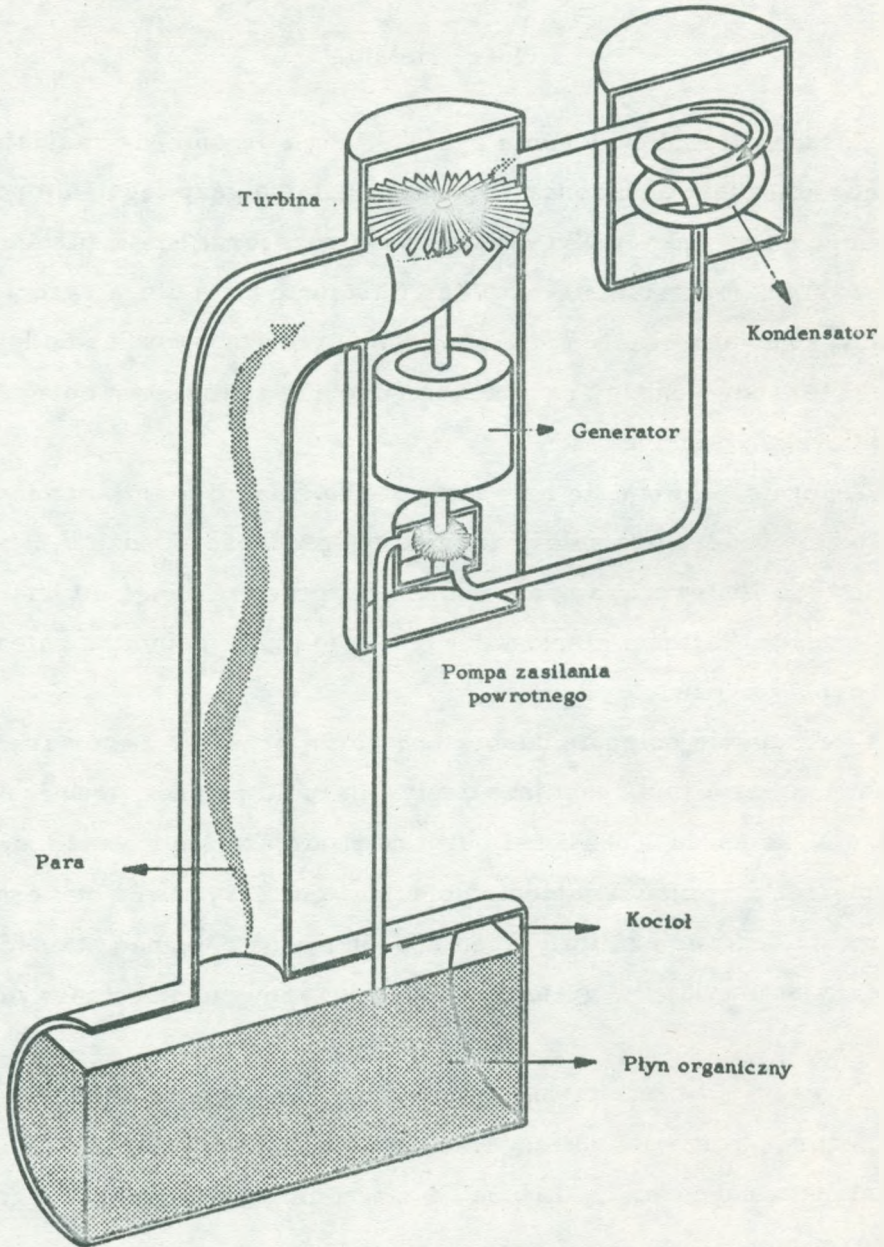
Zasadę działania wyjaśnia rys. 29. Płyn organiczny znajdujący się w kotle jest ogrzewany za pomocą palnika gazowego /nie pokazanego na rysunku/. Wytworzona para rozszerza się w turbinie, powodując obracanie się wirnika. Następnie para ulega skropleniu w kondensatorze i jest z powrotem przepompowywana do kotła. Cykl termodynamiczny pary w hermetycznie zamkniętym obiegu jest cyklem Rankine'a.

Generator obraca się z tą samą prędkością co wirnik turbiny. Napięcie generatora zależy więc od tej prędkości i może być regulowane dopływem pary przechodzącej przez turbinę, co jest uzależnione od ilości ciepła wytwarzanego przez palnik, a zatem od dopływu gazu.

Gdy napięcie osiągnie nastawioną górną granicę, zawór uruchamiany elektrycznie zmniejsza dopływ gazu do palnika, temperatura w kotle spada - prędkość obrotów zmniejsza się i obniża się napięcie. Po dojściu napięcia do dolnej granicy, zawór otwiera większy dopływ gazu itd. W ten sposób można osiągnąć stałość napięcia na przykład w granicach 2 V przy napięciu znamionowym 24 V.

Generator, wirnik turbiny i pompy są osadzone na wspólnym wale, który obraca się na łożyskach hydrodynamicznych smarowanych parą napędzającą turbinę, a zatem nie wymagają osobnego smarowania.

Prędkość obrotowa wynosi około 20.000 obrotów na minutę. Normalnie generator jest trójfazowy o częstotliwości 600 Hz, bez pierścieni i szczotek, zamontowany w hermetycznej obudowie razem



Rys. 29, Turbogenerator parowy pracujący w obiegu zamkniętym

ze statycznym regulatorem napięcia i mostkiem prostowniczym. Napięcie normalnie wynosi 48 albo 24 V prądu stałego. W przypadku potrzeby zastosowania prądu przemiennego konieczna jest przetwornica.

Wymiary turbogenerators o mocy 400 W wynoszą 1000 x 1000 x x 3500 milimetrów, a ciężar około 700 kg.

Ważną zaletą tego systemu turbogeneratorów jest bardzo niskie ciśnienie wewnętrzne, około 4 mm słupa rtęci na poziomie kondensatora. Wyklucza to obawę wybuchu.

Obecne zastosowanie

Turbogeneratory opisanego wyżej typu są produkowane. Podczas próbnej eksploatacji w ciągu 10.000 godzin nie wykazały żadnej usterki, i kilka administracji telekomunikacji zastosowało je.

W przypadkach stałego poboru mocy turbogenerator zasila urządzenie bezpośrednio, jeżeli zaś pobór mocy jest zmienny, generator może pracować buforowo z baterią akumulatorów.

Instalacja

Paliwo przechowuje się w zbiornikach naziemnych lub podziemnych. Pożądane jest posiadanie dużej rezerwy paliwa, nawet na cały rok. Dopływ paliwa do palnika powinien być stały dla zapewnienia właściwej pracy urządzenia. W tym celu stosuje się dwa zawory redukcyjne: jeden na wyjściu ze zbiornika o ciśnieniu około 1 kg, a drugi na wejściu do palnika o ciśnieniu poniżej około 70 mm słupa wody.

Turbogenerator instaluje się na fundamentach nieco szerszych od podstawy turbogeneratorsa i grubości zależnej od rodzaju gruntu. Może być zainstalowany poza budynkiem. W razie jednak, gdy ma być umieszczony w budynku razem z innymi urządzeniami, niezbędna jest wentylacja kondensatora oraz dla usuwania spalin.

Niskie temperatury wpływają dodatnio na pracę, jednak przy temperaturze -30°C paliwo musi być podgrzewane.

Turbogeneratory mogą pracować nawet przy $+50^{\circ}\text{C}$, jednak kondensator powinien być chroniony przed bezpośrednim nagrzewaniem przez słońce.

Inne wskazówki co do wpływu otoczenia - jak w przypadku generatorów termoelektrycznych.

Wniosek

Turbogeneratory opisanego typu są nowoczesnym źródłem energii idealnie nadającym się do odosobnionych stacji o poborze mocy do 2000 W.

OGNIWA PALIWOWE

Wstęp

Ogniwo paliwowe jest pierwotnym elementem galwanicznym, który stale dostarcza energii elektrycznej w postaci prądu stałego. Odbywa się to wówczas, gdy zostaną spełnione następujące warunki:

- między zaciskami ogniwa zostanie włączony obwód zewnętrzny,

- czynniki w postaci paliwa i utleniacza będą doprowadzone do elektrod, przy których powstaje reakcja,
- wytwarzane na skutek reakcji substancje oraz ciepło zostaną wydalone na zewnątrz.

Ogniwo paliwowe składa się z elektrod nie podlegających reakcji oraz łączącego je elektrolitu. Do spełnienia wyżej wymienionych warunków są niezbędne niektóre pomocnicze części /pompy, wymienniki ciepła, chłodnice itp./, które służą do doprowadzenia składników biorących udział w reakcji i odprowadzeniu ciepła. Te części składowe wraz z innymi częściami elektrycznymi tworzą kompletne ogniwo paliwowe.

Jako utleniacz służy najczęściej powietrze, niekiedy czysty tlen, a jako paliwo niektóre gazowe lub ciekłe związki, które cechuje dobra aktywność i niska cena oraz które nie oddziałują szkodliwie na elektrody. Głównie bierze się pod uwagę: paliwa węglowodorowe /metan, benzyna, olej napędowy/, tlenek węgla, związki azoto-wodorowe, jak amoniak lub hydrazyna albo tylko wodór.

Głównymi produktami reakcji, które muszą być usuwane na zewnątrz są: woda, dwutlenek węgla i azot.

Ponieważ żadne z ogniw paliwowych nie spełnia idealnie łącznie wszystkich wymienionych wyżej warunków, opracowano pewną liczbę różnego typu ogniw paliwowych.

W celu uzyskania określonej przemiany energii w ogniwie paliwowym danej wielkości, można zastosować następujące środki:

- może być podwyższona temperatura, co zwiększa stopień reakcji,
- może być zwiększone ciśnienie pracy,
- można zastosować elektrody o dużej powierzchni wewnętrznej,

- można użyć odpowiednich katalizatorów w elektrodach.

Zasada działania ogniwa wodorowo-tlenowego

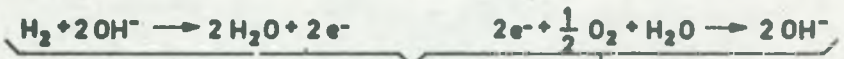
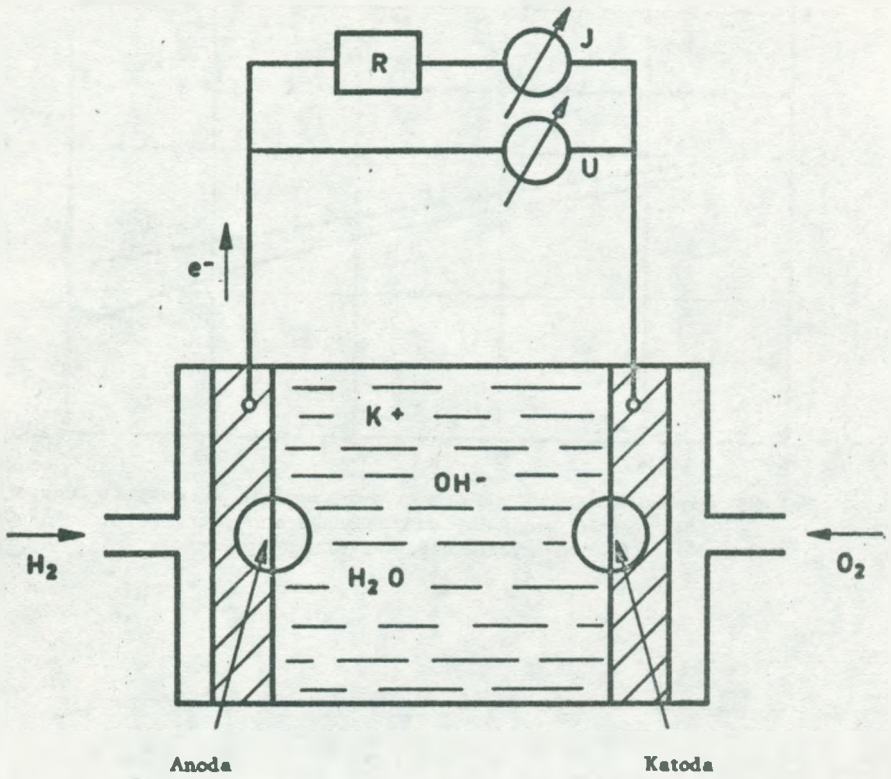
Przed rozpatrzeniem różnych typów ogniw paliwowych zapoznać się trzeba z podstawowymi zasadami działania ogniwa wodorowo-tlenowego, którego rozwój osiągnął najwyższy postęp.

Schematycznie ogniwo takie jest przedstawione na rys. 30. Jako elektrolit może być zastosowany w nim np. wodny roztwór wodorotlenku potasu /KOH/. Do elektrody dodatniej /anody/ jest doprowadzany wodór, a do ujemnej /katody/ tlen i wówczas reakcja przebiega zgodnie z wzorem pokazanym na rysunku.

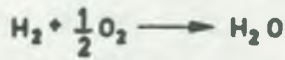
Napięcie ogniwa wodorowo-tlenowego wynosi w stanie nieobciążonym, tj. s.e.m. 1,23 V. Charakterystykę ogniwa obciążonego przedstawia wykres na rys. 31. Jak widać, napięcie ogniwa spada wraz z obciążeniem na skutek polaryzacji /na elektrodach/ i rezystancji /w elektrolicie/.

Gdy temperatura wzrasta, spadek napięcia spowodowany polaryzacją zmniejsza się, jak również zmniejsza się rezystancja elektrolitu. co powoduje podwyższenie napięcia na wyjściu ogniwa. Krzywe na rys. 2 odnoszą się do przykładowej zmiany temperatury od 60°C do 80°C i charakterystyki zewnętrznej niezależnej od wielkości ogniwa.

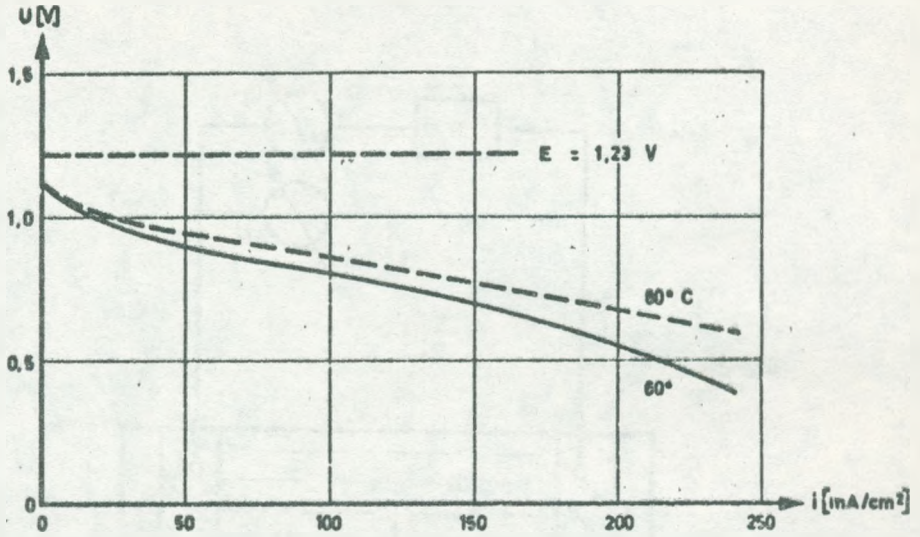
Ważną i korzystną właściwością ogniw paliwowych jest to, że mają one wysoką sprawność, zwłaszcza przy małych gęstościach prądu. co w praktyce narzuca pracę poniżej maksymalnego obciążenia. Energetyczna sprawność ogniwa wodorowo-tlenowego w temperaturze pokojowej wynosi teoretycznie 83%.



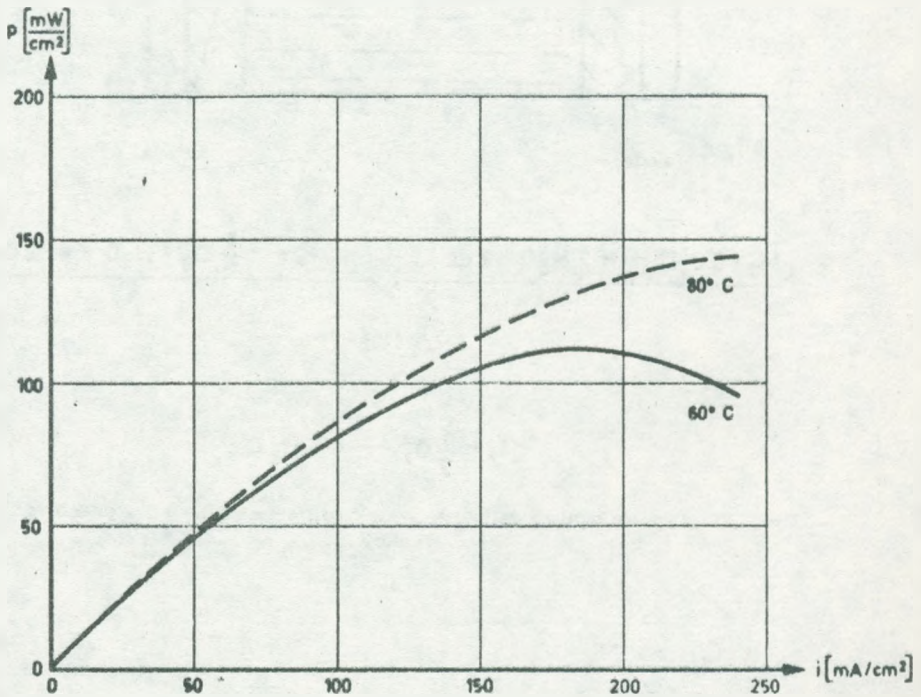
Połączenie



Rys. 30. Typowe ogniwo paliwowe z elektrolitem zasadowym - przebieg reakcji



Rys. 31. Napięcie na jedno ogniwo w typowym ogniwie paliwowym w funkcji gęstości prądu dla różnych temperatur pracy / E - teoretyczne napięcie jednego ogniwa/



Rys. 32. Sprawność w funkcji gęstości prądu dla różnych temperatur pracy

Wykres na rysunku 32 przedstawia praktyczną sprawność w funkcji gęstości prądu.

Zespoły ogniw paliwowych i urządzeń pomocniczych

Z uwagi na niskie napięcie pojedynczego ogniwa, około 1 V, w praktyce ogniwa są łączone szeregowo w baterie, przy czym poszczególne ogniwa w baterii mają wspólne doprowadzenie paliwa i czynnika utleniającego.

Wspólne też jest wydalenie produktów reakcji, wspólne chłodzenie i układ elektryczny. Poza tym są konieczne urządzenia pomocnicze, jak: pompy, dmuchawy, wymienniki ciepła, zawory kontrolne i zabezpieczające urządzenia, stabilizatory napięcia. Zakres tych urządzeń jest różny zależnie od rodzaju ogniw, ich mocy i specjalnych potrzeb danego urządzenia zasilanego.

Rodzaje ogniw paliwowych i ich obecne zastosowanie

Przyjęty podział ogniw paliwowych w zależności od ich temperatury pracy i rodzaju elektrolitu przedstawia się przykładowo jak następuje:

a/ ogniwa o elektrolicie stałym i wysokiej temperaturze pracy 800 - 1000°C,

b/ ogniwa o elektrolicie płynnym / solnym / i wysokiej temperaturze pracy około 600°C,

c/ ogniwa o wodnym elektrolicie i średniej temperaturze pracy około 200°C,

d/ ogniwa o wodnym elektrolicie i niskiej temperaturze pracy 20 - 80°C,

e/ ogniwa z przeponą do wymiany jonów i niskiej temperaturze pracy 20 - 80°C.

Przy rozważaniu ewentualnego zastosowania ogniw paliwowych różnego rodzaju do zasilania urządzeń telekomunikacyjnych konieczne jest wzięcie pod uwagę ich zalet i wad oraz stanu rozwoju technicznego.

W obydwu typach ogniw o wysokiej temperaturze pracy jest możliwe w zasadzie przetwarzanie taniego paliwa bezpośrednio w energię elektryczną przy dużej gęstości prądu, jednak budowa tych ogniw jest dość trudna ze względu na skomplikowaną i kosztowną produkcję stałego elektrolitu i korozję powodowaną przez płynną sól. Ponadto istnieją trudności z utrzymaniem wysokiej temperatury przy małym poborze prądu. Jak dotąd, nie osiągnięto w zakresie ogniw o dużej mocy stadium doświadczeń w eksploatacji.

W ogniwach pracujących w temperaturze około 200°C stosuje się jako elektrolit kwasy /fosforowy lub siarkowy/ albo zasady /zwykle wodorotlenek potasu/. Nie można w przypadku kwasów stosować paliw zawierających węgiel, ponieważ oddziałują one na elektrolit. Konieczne jest więc ograniczenie się do wodoru lub związków wodorowo-azotowych, które mogą być też użyte w niskich temperaturach. W ogniwach z elektrolitem kwasowym związki węgla mogą być stosowane jednak tylko przy bardzo umiarkowanej gęstości prądu i przy zastosowaniu bardzo kosztownych katalizatorów /metale szlachetne/ do aktywizacji elektrod. Wreszcie problemy korozji są poważne przy 200°C w ogniwach o obudowie metalowej.

Pozostają jeszcze ogniwa paliwowe pracujące w temperaturze pokojowej lub nieco powyżej jej /do 60°C/. W takich niskich temperaturach może być zastosowany plastik i można rozważyć użycie paliw o dużej aktywności. Ogniwa tego rodzaju pracujące w niskich temperaturach i w zakresie małej mocy, zarówno z przepionami do wymiany jonów jak i z elektrolitem wodnym /kwasowym albo zwłaszcza zasadowym/, są najodpowiedniejsze w urządzeniach telekomunikacyjnych.

Ogniwa paliwowe są stosowane w pojazdach kosmicznych do zasilania urządzeń telekomunikacyjnych. Są to ogniwa H_2O_2 o mocy rzędu kilowata. Ogniwa o mniejszych mocach są używane do celów wojskowych, przy czym ogniwa o mocach 60 - 300 W głównie powietrzno-hydrazynowe mają ograniczoną żywotność.

Zastosowanie ogniw paliwowych wodorowo-tlenowych do celów telekomunikacji /o niskiej temperaturze pracy i mocy około 50 W/ jest obecnie w stadium prób. Ogniwa metanol-powietrze z elektrolitem zasadowym, o mocy około 20 W, były w próbach w ciągu kilku miesięcy na telewizyjnych stacjach przekaźnikowych /linii radiowej/. Jednak żywotność elektrod w tych ogniwach nie jest wystarczająca, aby była możliwa praca w ciągu kilku lat.

Ogniwa paliwowe mogą znaleźć zastosowanie we wszelkich przypadkach zasilania urządzeń telekomunikacyjnych. W najbliższej przyszłości jednak zastosowanie ograniczy się do mocy 10-100 W, gdyż tylko takie jednostki mogą pracować bez akcesorii wymagających dużych zabiegów konserwacyjnych. Specjalnych korzyści można się spodziewać, gdy stanie się możliwe zastosowanie ogniw paliwowych w warunkach zmiennego obciążenia /ewentualnie przy współpracy z akumulatorami/.

Ogniwa paliwowe, nadające się do zastosowania w telekomunikacji w odosobnionych obiektach, nie są jeszcze produkowane na skalę przemysłową. Istnieją na razie prototypy o mocy poniżej 1 kW, które jak wydaje się dojrzały do ukazania się w handlu. Są to mianowicie:

1. Ogniwa wodorowo-tlenowe, pracujące w temperaturze między -20 i $+60^{\circ}\text{C}$, z elektrolitem zasadowym, o mocy w granicach 50-250 W. Paliwem jest wodór, a utleniaczem tlen z powietrza. Wodór może być dostarczany różnymi sposobami: w postaci gazu pod ciśnieniem, w postaci płynnej /umożliwiającej pracę w ciągu kilku miesięcy bez doładowywania/ albo jako wodór otrzymywany drogą rozkładu amoniaku, alkoholu metylowego lub tp. Konieczne jest, aby wodór i powietrze były bezwzględnie wolne od dwutlenku węgla i dlatego baterie ogniw paliwowych korzystające z tlenu z powietrza muszą być wyposażone w stale działające urządzenie usuwające dwutlenek węgla.
2. Ogniwa hydrazyna-powietrze, pracujące w temperaturze między 0 i 60°C z elektrolitem zasadowym i hydrazyną jako paliwem, a powietrzem jako utleniaczem. Moc około 60 W ewentualnie 200-300 W. Woda powstająca podczas reakcji jest częściowo wiązana przez azot, będący czynnikiem rozkładu hydrazyny, częściowo zaś wyparowuje.
3. Ogniwa metanol-powietrze, pracujące w temperaturze od -20 do $+50^{\circ}\text{C}$, z elektrolitem zasadowym, w którym rozpuszczony jest metanol jako paliwo, a powietrze działające jako utleniacz. Gdy paliwo wyczerpuje się, trzeba wymieniać mieszaninę elektrolitu i paliwa. Pod tym względem ogniwo paliwowe jest ogni-

wem pierwotnym, które charakteryzuje się pojemnością elektrochemiczną /Ah/, podczas gdy inne ogniwa paliwowe charakteryzują się prądem /A/ i mocą /W/.

Warunki zewnętrzne pracy ogniw paliwowych

W celu utrzymania pożądanej temperatury pracy /np. 10-70°C/ ogniwa powinny być izolowane w celu uniknięcia skrajnych zmian temperatury.

Wysokość położenia może mieć wpływ na pracę w przypadku użycia powietrza jako utleniacza /powyżej 300 m n.p.m./.

Niekiedy może być konieczne filtrowanie powietrza w razie jego zapylenia.

Tam gdzie jest stosowane paliwo w postaci gazowej /szczególnie wodór/, muszą być przedsięwzięte środki ostrożności stosowane przy przechowywaniu materiałów łatwopalnych. Przy posługiwaniu się i magazynowaniu hydrazyny muszą być przestrzegane następujące przepisy: zbiorniki powinny być wykonane z materiałów niemetalicznych, nie wolno dopuścić do podwyższania się temperatury oraz uważać na trujące właściwości hydrazyny.

Przy użyciu metanolu rozpuszczonego w elektrolicie zasadowym lub elektrolitu kwasowego nie ma większego niebezpieczeństwa niż przy obsłudze akumulatorów zasadowych względnie kwasowych.

Perspektywy rozwojowe

Ogniwa paliwowe stosujące wodór i tlen są w stadium dojrzałości do produkcji, co również odnosi się do ogniw z metanolem lub

hydrazyną. Na zastosowanie ich głównie mają wpływ czynniki ekonomiczne /cena i żywotność elektrod, cena paliwa/. Ogniwa z elektrolitem kwasowym, w których są stosowane związki węgla jako paliwo, a powietrze jako utleniacz, zapewne znajdą się w przyszłości w produkcji, lecz jest wątpliwe czy staną się przydatne pod względem ekonomicznym.

Wykaz literatury

1. Adams D.R. et al.: Fuel cells, power for the future; Fuel cell research associates. W.: Cambridge Mass. /U.S.A./, 1960.
2. Gould R.F.: Fuel cell systems; Advances in chemistry series 47. W.: American Chemical Society, 1965.
3. Spring K.H.: Direct generation of electricity. Academic Press, London 1965.
4. Vielstich W.: Brennstoffelemente; W.: Verlag Chemie GmbH., Weinheim, 1965.
5. Sandstede G.: Elektrochemische Brennstoffzellen; W.: Fortschr. d.chem. Forschung, 1967 nr 8, s. 171-221.
6. Apothéloz M.: La station provisoire de télévision du Gebidem. Bull techn. PTT 1966 nr 44, s. 192-193.
 Proceedings of the 21 st annual power sources conference /16-18 May 1967/. W.: Atlantic City PSC Publication Committee Red Bank, Nowy Jork.
 Deuxième Journée internationale d'étude des piles à combustible /19-23 June 1967/, S.E.R.A.I. Bruxelles, 1967.
 Proceedings of the Fifth International Power Source Symposium. Brighton /20-22 September 1966/. W: Pergamon Press, Oxford 1967.

