

JAN KRAUZE

Katedra Urządzeń Elektrycznych

PROSTOWNIKI KRZEMOWE
JAKO ŹRÓDŁA ZASILANIA URZĄDZEŃ ELEKTROLIZY
(przesłanki techniczne i ekonomiczne)

Streszczenie: W artykule omówiono pokrótce zasadę działania prostowników krzemowych, oraz ich własności w porównaniu z własnościami innych urządzeń przetwórczych. W świetle tych własności przeanalizowano z punktu widzenia technicznego i ekonomicznego przydatność prostowników krzemowych do zasilania urządzeń elektrolizy.

1. Uwagi wstępne

W ostatnich dziesięcioleciach daje się zauważyć silny wzrost znaczenia prądu stałego w technice. Ta forma energii elektrycznej znajduje coraz szersze zastosowanie w przemyśle oraz trakcji. Podczas gdy w dziedzinie wytwarzania i przesyłu energii panuje w dalszym ciągu prąd zmienny, odbiorcy przemysłowi w coraz większym stopniu wymagają prądu stałego. Tę formę energii wykorzystuje w dużym stopniu przemysł hutniczy a przede wszystkim chemiczny, w którym już dziś (wg danych zachodnich) ok. 40% mocy pobierane jest w postaci prądu stałego.

Znajduje ona w pierwszym rzędzie zastosowanie w urządzeniach wielkich elektroliz przemysłowych, należących do najbardziej rozwijających się energochłonnych dziedzin przemysłu chemicznego i metalurgii.

Wraz z początkiem rozwoju tych gałęzi techniki stanęło przed konstruktorami zagadnienie stworzenia dla nich odpowiedniego źródła energii. Stosowanie generatorów prądu stałego, wymagających budowy indywidualnych elektrowni, zostało już jak wiadomo, dawno zaniechane.

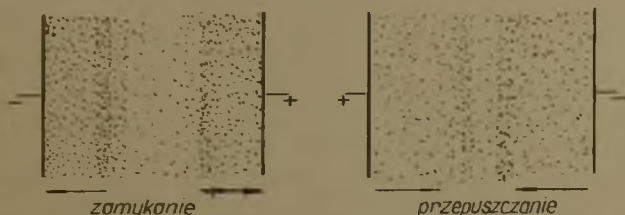
Zaczęto stosować dwu i jednotwornikowe przetwornice maszynowe, które dziś jak źródło zasilania wielkich elektroliz możemy jeszcze gdzieś spotkać w starych urządzeniach. Zastąpiły je, wprowadzone przed około 35 laty, prostowniki rtęciowe. Stanowiły one urządzenia sprawniejsze i wygodniejsze w użyciu, bo pozbawione części wirujących. W latach czterdziestych pojawiły się nowe urządzenia, stanowiące poważną konkurencję dla prostowników rtęciowych, przetwornice kontaktowe. Górowały one nad nimi sprawnością, która tu przy napięciu rzędu 800 V wynosiła około 97% (w porównaniu z wartością 95,8% dla prostowników rtęciowych).

Zadecydowało to, iż w dość krótkim czasie zajęły one pierwsze miejsce jako źródła zasilania elektroliz. Obok swych oczywistych zalet, mają przetwornice kontaktowe również poważne wady, z których jedną są ruchome, wymagające nadzoru części. Prace szły więc w kierunku poszukiwań coraz to lepszych, nowych rozwiązań. Sięgnięto w dziedzinę prostowników suchych. Jednak dotychczas znane prostowniki selenowe i miedziowe nie znalazły w dziedzinie zasilania odbiorników wielkiej mocy szerszego zastosowania. Głównymi przyczynami tego było ich bardzo niskie bo wynoszące zaledwie 35 V, napięcie zaporowe oraz niska w porównaniu z urządzeniami tego typu sprawność, równa 88%. Uzyskanie jaknajwiększej sprawności jest kluczowym zagadnieniem szczególnie w dziedzinie urządzeń wielkiej mocy, w których każdy jej procent wyraża w skali rocznej ogromne zyski energii. W ostatnich czasach fizyka i chemia dały technice owe poszukiwane zdawna urządzenia. Łączą one w sobie wiele cech, które wysuwają je na pierwszy plan wśród znanej dotychczas aparatury. Są nimi nowe półprzewodnikowe prostowniki germanowe i krzemowe.

2. Zasada działania prostowników krzemowych (3.6 i 7)

Zjawisko prostowania w tym urządzeniu polega na powstawaniu warstwy zaporowej między dwoma obszarami kryształu, charakteryzującymi się różnym przewodnictwem: elektronowym i dziurowym. Normalnie, czysty kryształ jest ciałem nieprzewodzącym. Zjawisko przewodzenia zachodzi w nim po dodaniu odpowiednich domieszek. Rozróżniamy domieszki dostarczające siatce kryształu krzemowego elektrony tzw. donory, oraz pobierające z tej siatki elektrony, tworząc w ich miejsce dodatnie, dziury, tzw. akceptory. Donorami są pierwiastki z V grupy układu okresowego, np. atom Sb. Wchodząc w siatkę krzemu, pierwiastka z grupy IV, atom Sb wprowadza

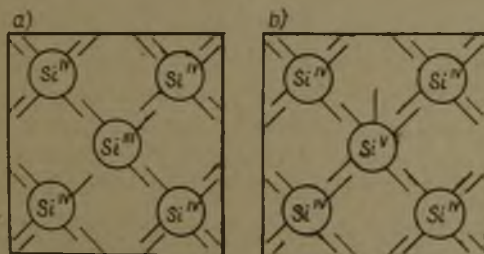
w połączenia z 4 sąsiednimi jego atomami swoje 4 elektrony walencyjne, zaś piąty pozostawia w kryształ, jako elektron



Rys.1. Zasada działania prostownika półprzewodnikowego

niezwiązany (rys. nr 2b). Jego energia jest tak mała iż niewielkie pole elektryczne może go wytrącić w obszar przewodzenia. Akceptorami są atomy z III grupy układu Mendelejewa. Należą do nich np. atomy Al. Posiadając 3 elektrony walencyjne, łączą je z 3 sąsiednimi atomami krzemu. Czwarty sąsiedni atom będzie miał takie połączenie nie wypełnione.

(Rys.2a) Zamiast brakującego elektronu mamy tu jakby dziurę o dodatnim ładunku. Dziura ta zachowuje się jak dodatni elektron i pod wpływem pola elektrycznego może się w kryształ



Rys.2. Atomy obce w sieci krystalicznej krzemu

a) akceptory; b) donory

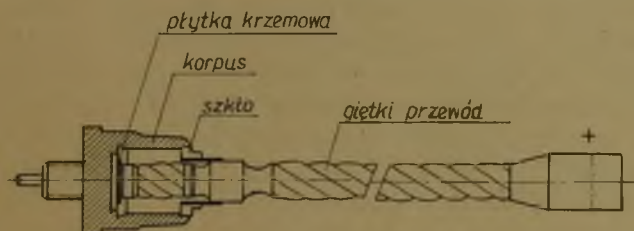
poruszać. Jeśli do płytki takiego kryształu, składającego się z obszaru o przewodnictwie elektronowym, oznaczonym symbolem "n" i z obszaru o przewodnictwie dziurowym, oznaczonym symbolem "p" przyłożymy napięcie, i to w ten sposób, że

na elektrodzie przyłączonej do części p będzie biegun ujemny a na elektrodzie przyłączonej do części n - biegun dodatni, to na skutek przyciągania się różno-imiennych ładunków, elektrony z obszaru "n" przejdą w kierunku elektrody, podobnie jak i dziury z części "p". W środku kryształu powstaje strefa pozbawiona nośników prądu. Kryształ nie przewodzi. Przeciwnie, jeśli zmienimy kierunek przyłożonego napięcia, to ujemne elektrony będą przez ujemny biegun odpychane z części "n" w kierunku "p" i podobnie dodatnie dziury będą, na skutek odpychania dodatniego bieguna dążyły do części "n". Kryształ w tym kierunku przewodzi. Pokazano to na rys. 1. Jest to zasada prostownika pn. W praktyce lepsze własności wykazał prostownik psn, z warstwą "s", o składowym wyposażeniu w obce domieszki, tworzącą pasmo środkowe.

3. Budowa prostowników krzemowych

Do budowy prostowników krzemowych konieczne jest przede wszystkim otrzymanie monokryształów krzemowych bardzo wysokiej czystości, a mianowicie na 10^7 atomów Si może przypadać 1 atom zanieczyszczeń (4). Uzyskanie ich stanowi jedną z głównych trudności technologicznych w procesie produkcji prostowników. Kryształ taki zostaje rozpiłowany specjalnymi diamentowymi piłkami na cienkie płytki, które z kolei drogą procesu stapiania (4) uzyskują domieszki donorowe i akceptorowe. Powierzchnia płytki krzemowej bardzo czuła jest na działanie atmosfery i na skutek tego szybko traci swoje własności prostownicze (8). Dla tego też w praktycznym wykonaniu obudowuje się ją szczelnie miedzianą kapsłą (8). Sama płytka połączona jest ściśle z miedzianym podłożem (dnem kapsli) które stanowi jednocześnie biegun ujemny. Służy ono również do odprowadzenia strat cieplnych. Biegun dodatni, stanowiący giętką linkę, wyprowadzony jest z drugiej strony, przez przepust szklany izolowany od kapsli elektrycznie i zapewniający jednocześnie szczelność. Wewnątrz kapsli płytka krzemowa znajduje się w atmosferze gazu obojętnego. Tak zbudowany element nazwany jest celką krzemową. Przedstawiono ją na rys. nr 3. Jedną z zalet prostowników krzemowych jest wielka dopuszczalna gęstość prądu. Związane są z nią jednak stosunkowo duże jednostkowe straty mocy przypadające 1 cm^2 powierzchni. Przy bardzo małych rozmiarach płytki (średnica największej płytki prod. SSW wynosi $1,5 \text{ cm}^2$ i $0,5 \text{ mm}$ grubości) mamy do czynienia z bardzo małą pojemnością cieplną. Sama więc płytka nie może znieść większych wahań obciążenia bez reakcji w postaci

wzrostu temperatury. W związku z tym celki krzemowe zaopatruje się w korpusy chłodzące, wykonane z metalu, posiadające wiele żeber dla lepszego oddawania ciepła. Masa ich jest większa od 400 do 1000 razy od masy samej płytki krzemowej.



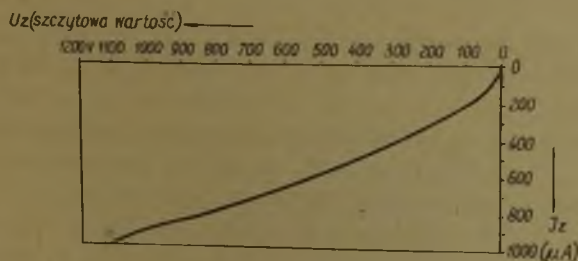
Rys.3. Budowa celki krzemowej

Sprawa chłodzenia jest tu bardzo ważna z tego powodu, że elementy krzemowe, w przeciwieństwie do prostowników np. selenowych, mimo swojej bardzo wysokiej dopuszczalnej temperatury, bo równej 140°C , są jednak bardzo wrażliwe na przeciążenia i przepięcia. Raz przebita płytkę jest już elementem zniszczonym i sama się nie regeneruje.

4. Własności prostowników krzemowych

Wspomniane na wstępie znaczenie prostownika krzemowego w technice prądów silnych, spowodowane jest niezwykle korzystnymi jego własnościami. Są to:

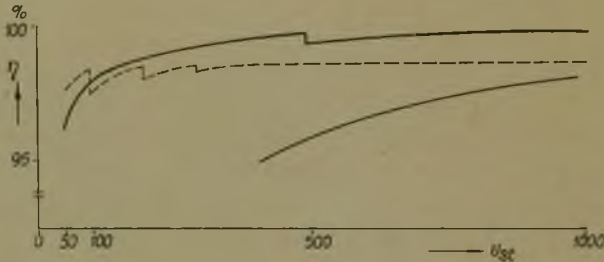
- a) Wysokie napięcie zaporowe (5). Wynosi ono 600 V wartości szczytowej. Przy uwzględnieniu 10% rezerwy, w przeliczeniu na wartość skuteczną, wynosi ono 380 V. Na-



Rys.4. Charakterystyka zaporowa celki krzemowej przy temp. pracy 140°C

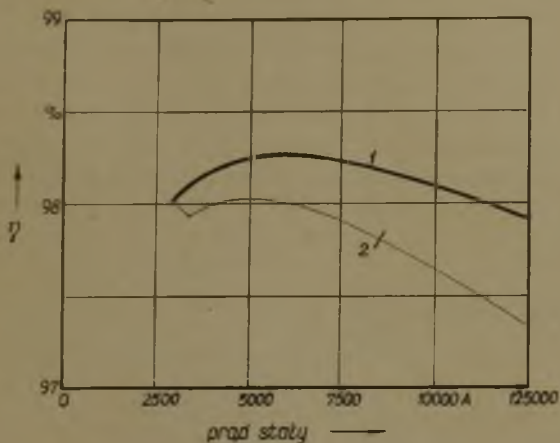
pięcie próbne jest równe 1000 V. Prąd w kierunku zaporowym jest bardzo mały i wynosi 1 mA. Na rys. 4, przedstawiono charakterystykę zaporową celki.

- b) Sprawność celki (5). Jest bardzo duża, bo wynosi aż 99,6%. Jest to wynikiem bardzo małego spadku napięcia i wysokiego napięcia zaporowego celki. Spadek ten wynosi $\Delta U = 1 + 1,3$ V. Sprawność rośnie ze wzrostem napięcia znamionowego. Charakterystykę sprawności w funkcji napięcia przedstawia rys.5, a rys.6 charakterystykę sprawności w funkcji prądu obciążenia, dla prostownika 12500 A i 650 V.



Rys.5. Porównanie sprawności elementu rtęciowego (z jednoanod. naczyniem) celki germanowej i celki krzemowej

- c) Obciążalność prądowa (5). Prostowniki krzemowe odznaczają się niespotykaną w dziedzinie prostowników suchych obciążalnością prądową. Wynosi ona, przy chłodzeniu naturalnym 80 A/cm^2 a przy chłodzeniu wzmożonym wzrasta do 200 a nawet 230 A/cm^2 . Prąd płytki Si 150 o powierzchni równej $1,5 \text{ cm}^2$ równy jest około 350 A.
- d) Dopuszczalna temperatura (5). Dopuszczalna temperatura wynosi 140°C . Przyjęto ją już z pewnym współczynnikiem pewności. Rzeczywista temperatura dopuszczalna wynosi 200°C . Tak wysoka temperatura jest zjawiskiem korzystnym dla łatwiejszego odprowadzenia dużych strat.
- e) Małe rozmiary.



Rys.6. Sprawność prostownika 12500 A. 600 V w funkcji obciążenia

1. Sprawność wg VDE 0555/1936 wyznaczona na podstawie pomiarów strat w poszczeg. elementach układu (transf. główny, transf. prost. cewki regulac. prostownik krzemowy). 2. Całkowita sprawność z uwzględnieniem strat w urządzeniach gładzących i w połączeniach w zależności od budowy urządzenia prostownikowego

5. Porównanie własności prostowników krzemowych z własnościami innych urządzeń przetwórczych

Porównanie prostowników krzemowych w świetle opisanych własności z innymi urządzeniami prostownikowymi ilustruje tablica 1.

Tablica porównawcza własności urządzeń prostujących uwydatnia dość jasno górującą pozycję prostownika krzemowego. Jest ona jednak utrzymana tylko wtedy, gdy warunki pracy pozwalają na wyzskanie korzystnych własności prostownika, a więc wysoką sprawność a co za tym idzie napięcie zaporowe, co zresztą widać z rys.5. Zakres zastosowania różnych rodzajów urządzeń przetwórczych ze względu na sprawność uwidacznia wykres na rys.7. Zawarte na nim krzywe przedstawiają zależność sprawności całego zespołu (prostownik, transformator prostownikowy i urządzenia pomocnicze) od napięcia

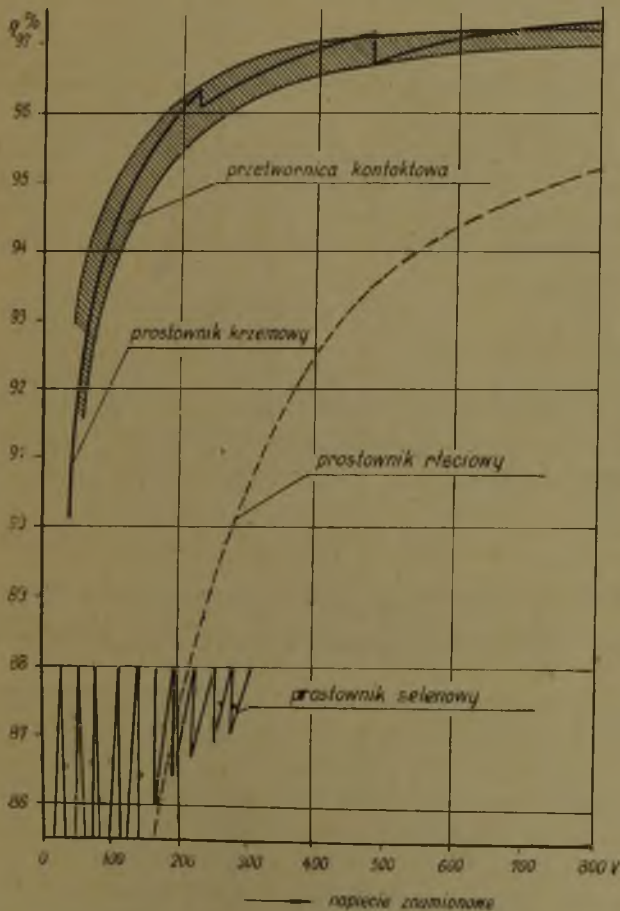
Tablica 1

Porównanie własności prostowników krzemowych
i innych urządzeń prostujących (3;8)

Rodzaj prost.	C _u O ₂	Se	Ge	Si	Przetw. kontakt.	Prostownik Hg
Obc. właściwa pra- dowa (A)/cm ²						
a) z chłodz. nat.	0,04	0,07	40	80	-	-
b) z chłodz. wzmoż.	0,14	0,20	100	200	-	-
Napięcie zapor. Vsk	6	25	110	380	760	1400+ 5300
Maks. dop. temp. pracy °C	50	85	65	140	130	100
Sprawność %	78	92	98,5	99,6	99,3	97,3 + 99,2
Zapotrzeb. miejsca przy jednak. mocy	30	15	3	1	-	-
Napięcie na warstwie zaporowej	0,2	0,6	0,5	0,7	-	-
Spadek nap. na 1 went.	1+2,5	1+2	0,6+0,7	1+1-3	2,5-3	20-24

prądu stałego dla układu pracy "podwójna gwiazda". Wykres wykonany jest dla prostownika krzemowego, przetwornicy kontaktowej, prostownika rtęciowego i selenowego. Przy napięciach małych, rzędu 150, 100 V i niższych, sprawność prostowników krzemowych zupełnie maleje.

W tych właśnie zakresach napięciowych nadaje się lepiej prostownik selenowy. Prostownik ten poza tym wytrzymuje lepiej od krzemowego i germanowego przetężenia zwarciove i przepięcia. W związku z tym zajmuje on nadal mocną pozycję w urządzeniach o niskim napięciu, gdzie te zjawiska są częste. Ze



Rys.7. Charakterystyki sprawności funkcji napięć dla zespołów transformatorowo - prostownikowych w układzie podw. gwiazda z dławikiem

względem na duże zapotrzebowanie miejsca nie stosuje się go do urządzeń wielkiej mocy.

Przetwornica kontaktowa pod względem charakterystyki sprawności w funkcji napięcia przedstawia się podobnie do prostownika krzemowego. Charakterystyka prostownika germanowego, patrz rys.5, przebiega w początkowym zakresie powyżej a dalej nieco poniżej krzywej prostowników krzemowych. Spowodowane jest to niższym napięciem zaporowym prostowników germanowych i w związku z tym koniecznością wcześniejszego niż dla prostowników krzemowych stosowania połączeń szeregowych celek. Przy takich połączeniach musimy celowo ograniczyć dopuszczalne napięcie celki o 10% , by w razie nierównomiernego rozkładu napięć na nich, mieć większą pewność iż żadna z nich nie zostanie przebita. Obniżenie napięcia zaporowego obniża sprawność. Przeprowadzone powyżej porównanie wskazuje, iż miejsce prostownika krzemowego jest przede wszystkim w urządzeniach o dostatecznie wysokich napięciach pracy, odpowiadających napięciom zaporowym celek, co pozwala na wykorzystanie jego wysokiej sprawności. Są to napięcia, zależnie od układu połączeń, rzędu 500 V lub 800- 900 V (w układzie 3- faz. mostkowym).

Należy stosować je przede wszystkim do urządzeń dużych, gdzie możemy w pełni wyzyskać ich wielką obciążalność prądową i małe zapotrzebowanie miejsca. Poza tym, z powodu wrażliwości tego prostownika na przepięcia zwarcia i przeciążenia, najbardziej wskazanym dla niego zastosowaniem jest praca w urządzeniach, gdzie te zjawiska występują w minimalnym stopniu.

6. Prostownik krzemowy

w zastosowaniu do zasilania urządzeń elektrolizy

Przesłanki techniczne. Grupę odbiorców najlepiej odpowiadającą warunkom wymienionym w poprzednim rozdziale, stanowią wielkie elektrolizy przemysłowe. Urządzenia te są jednymi z najbardziej energochłonnych odbiorów. Przykładowo, elektroliza soli kuchennej w jednym z zakładów azotowych pobiera prąd 12 kA przy 220 V, w hucie aluminium wyprostowany prąd wynosi 60 kA przy 825 V, a za granicą, przede wszystkim we Francji stosuje się w hutach aluminium prądy rzędu 110 kA przy 850 V. Jak widać, stosowane napięcia, szczególnie w wymienionych urządzeniach metalurgicznych, odpowiadają zakresowi największej sprawności prostowników krzemowych,

wynoszącej ok. 97,5%. Doświadczenia praktyki eksploatacyjnej pozwalają wysnuć wnioski, iż w urządzeniach tych zwarcia praktycznie nie występują w ogóle. Przetężenia ruchowe należą tu na ogół do rzadkości.

W aspekcie wspomnianych własności elektrolizy, ze względu na sprawność konkurować między sobą będą: prostownik krzemowy i przetwornica kontaktowa, jako urządzenia o zbliżonych charakterystykach sprawności. O wyborze decydować tu będą względy wygody eksploatacyjnej.

Prostownik krzemowy, jako urządzenie prostsze w obsłudze, pozbawione części wirujących, łatwo wypalających się styków i nie powodujące częstych zwarc, będzie górował nad przetwornicą. Prostownik rtęciowy, którego sprawność w omawianym zakresie napięć roboczych wynosi tylko 94,7% nie może równać się pod tym względem z urządzeniami powyżej wymienionymi. Dla zilustrowania korzyści jakie daje w skali rocznej zastosowanie urządzeń bardziej sprawnych, posłużmy poniższy przykład. Dwie elektrolizy aluminium o identycznych danych wyjściowych:

$$U_{st} = 850 \text{ V,}$$

$$J_{st} = 120 \text{ 000 A}$$

Zasilane zostały jedna za pomocą prostowników rtęciowych, druga za pomocą prostowników krzemowych.

$$\text{Sprawność stacji prostowników rtęciowych } \eta_{Hg} = 0,946$$

$$\text{Sprawność stacji prostowników krzemowych } \eta_{Si} = 0,976$$

$$\text{Roczny czas występowania maks. strat } \tau = 7800 \text{ h}$$

Różnica rocznych strat energii, wynikająca z różnicy sprawności wyniesie:

$$\Delta A = \tau U_{st} J_{st} \left(\frac{1}{\eta_{Hg}} - \frac{1}{\eta_{Si}} \right) 10^{-6} =$$

$$= 7800 \cdot 850 \cdot 120000 \left(\frac{1}{0,94} - \frac{1}{0,976} \right) \cdot 10^{-6} = 28300 \text{ MWh}$$

Do zilustrowania mniejszego zapotrzebowania miejsca przez prostowniki krzemowe w stosunku do innych urządzeń prostowniczych tej samej mocy, posłużą dwa poniżej przytoczone przykłady. Dotyczą one porównania kubatur stacji przetwórczej tej samej mocy wyjściowej, zaprojektowanej w 2 wersjach (przy uży-

prostowników krzemowych i rtęciowych) oraz porównania kubatur stacji przetwornic maszynowych zastąpionej przez stację prostowników krzemowych o tych samych parametrach wyjściowych.

Dane porównawcze zestawiono w tablicy nr 2.

Tablica 2

Lp.	Moc oddawana przez urządzenie (MW)	Rodzaj urządzeń prostowniczych	kubatura stacji (m ³)	$\frac{V}{P} \frac{m^3}{MW}$	$\frac{V_{HG}}{V_{Si}}$	$\frac{V_{masz}}{V_{Si}}$
1	93,5	prostowniki rtęciowe	21930	238	1,62	-
		prostowniki krzemowe	13700	147		
2	2,6	przetwornice maszynowe	2691	1030	-	2,67
		prostowniki krzemowe	1006	387		

Obliczone tu wskaźniki jasno uwydatniają korzystną pozycję prostowników krzemowych w stosunku do pozostałych urządzeń. Drugim aspektem przy doborze prostownikowej aparatury zasilającej jest regulacją napięcia. Większość elektroliz wymaga napięcia regulowanego. Zakres jego zmienności dzieli się na część ruchową oraz rozruchową. Wielkość jego zależy od rodzaju elektrolizy i od technologii. Największy zakres regulacji wymagany jest zwykle przy rozruchu. Regulacja ruchowa obejmuje zakres napięć położonych zarówno powyżej jak i poniżej napięcia znamionowego. Regulacja w górę spowodowana jest koniecznością utrzymania stałej wartości prądu, który na skutek zwiększenia się oporności wanien, przejawia tendencje malenia. W elektrolizie aluminium zjawisko to nazywa się efektem anodowym i objawia się wzrostem napięcia na niektórych wannach szeregowo połączonych serii z 4,5 V do ok. 29,5 V (na pozostałych wannach pozostaje napięcie normalne, po 4,5 V). Przyjmuje się występowanie co najwyżej dwóch takich efektów jednocześnie. W związku z tym, górna wartość napięcia elektrolizy o $U_N = 850$ V wynosić będzie $850 + 2 \cdot 25 = 900$ V. W przypadku elektroliz wielkiej mocy, regulacja ruchowa w

w dół, spowodowana jest koniecznością ograniczenia prądu przy powtórny, poawaryjnym załączeniu urządzenia. Dla jednej z wielkich elektroliz, o parametrach 110 kA przy 850 V, wymagana jest obniżka napięcia do 451 V. Spośród trzech omawianych rodzajów urządzeń prostujących, żaden nie może pokryć wymaganego zakresu regulacji.

W prostownikach rtęciowych, przy tak wielkich mocach regulacja siatkowa może być wykorzystana w obawie przed zapłonami zwrotnymi tylko w zakresie 15% [1], a w największych jednostkach tylko w 3% U_n (oferta Pechiney z 1961). Przetwornica kontaktowa nie jest typowym zaworem regulowanym i zakres jej regulacji wynosi tylko 30% U_n [1]. Prostownik krzemowy jest zaworem nie sterowanym [1]. Wszelka regulacja odbywa się w nim poprzez zmianę napięcia zmiennego w transformatorze prostownikowym, za pomocą przełącznika zaczepów i transduktorów. Wynika stąd, iż przy zasilaniu elektroliz wymagających większego zakresu regulacji, żadne z 3 omawianych urządzeń nie wykazuje ze względu na właściwości regulacyjne decydującej wyższości.

O wyborze rodzaju aparatury prostowniczej decydować będzie zapotrzebowanie miejsca, pewność ruchu, łatwość eksploatacji, brak części wirujących, brak zapłonów zwrotnych, a przede wszystkim sprawność. Pod względem tych cech nad wszystkimi rodzajami omawianej aparatury górować będą prostowniki krzemowe, które, mogą być uważane za najdogodniejsze z punktu widzenia technicznego źródła zasilania wielkich elektroliz przemysłowych.

Przesłanki ekonomiczne. Obecnie w Polsce większość elektroliz, włączenie z najnowszymi urządzeniami tego rodzaju, zasilana jest z prostowników rtęciowych. Prostowniki te są jedynymi urządzeniami przetwórczymi wielkiej mocy, produkowanymi w kraju. Wraz z pojawieniem się w postaci zaworu krzemowego, nowego, lepszego pod względem technicznym, lecz pochodzącego obecnie jedynie z importu, źródła prądu stałego, wyłonił się problem wyboru między tymi dwoma rodzajami prostowników. W niniejszym opracowaniu przeprowadzono porównanie kosztów inwestycyjnych oraz rocznych kosztów strat energii, dla dwóch stacji 102 MW, w wykonaniu z prostownikami krzemowymi i rtęciowymi (wraz z transformatorami prostownikowymi i aparaturą pomocniczą). Koszty prostowników rtęciowych przyjęte zostały wg relacji umownej dla jednej z hut krajowych, w wysokości 700 zł/kW, prostowniki krzemowe wyceniono na podstawie ofert zagranicznych. Wynoszą one w przeliczeniu 1\$ = 44 zł, 730 zł/kW.

Wyniki przeliczeń dla obu typów urządzeń przedstawia poniższa tabela:

Rodzaj urządzenia	Moc MW	Koszt inwest 10^3 zł	ΔP MW	τ godz.	ΔA MWh	K_{en} 10^3 zł
Stacja rtęciowa	102	71500	5,9	7800	46000	15200
Stacja krzemowa	102	74500	2,4	7800	18700	6160

Koszty strat energii obliczono przy założonej cenie energii elektr. 1 kWh = 0,33 zł. Jak widać z tej tabeli, niewielka nadwyżka kosztów inwest. równa $3000 \cdot 10^3$ zł, przy rocznym zysku ze zmniejszonych strat energii równym $9040 \cdot 10^3$ zł przemawia za prostownikami krzemowymi.

LITERATURA

1. F i g u r z y ń s k i - Przekształtniki "tom I" Warszawa 1951 r.
2. K l e i s c h - Gleichstromversorgung für Betriebe mit grossen Energiebedarf (Silizium-Gleichrichter) "Elektro-Welt" 1958 r. Nr 24.
3. N i e m y s k i - Półprzewodniki w technice. Nowa technika 1960 r. Nr 33.
4. N i t s c h e i P o k o r n y - Der Siliziumgleichrichter in der Stromrichtertechnik. ETZ-A 1959 r. Nr 15.
5. P f a f f e n b e r g e r - Die technik des Silizium-Gleichrichters Siemens. Silizium - Gleichrichter.
6. Ś c i s ł o w s k i - Półprzewodniki. Warszawa 1954 r.
7. S p e n k e - Silizium als Baustoff für Leistungsgleichrichter. Siemens. Silizium-Gleichrichter.
8. Z e n n e k - Erfahrungen mit Silizium-Gleichrichtern. Siemens. Silizium-Gleichrichter .

КРЕМНИЕВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ КАК ИСТОЧНИКИ СНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

С о д е р ж а н и е

Автор описывает принцип действия кремниевых выпрямителей и дает сопоставление их особенностей по сравнению с другими установками. На этих основаниях автор дает анализ пригодности кремниевых выпрямителей для электролиза с технической и экономической точки зрения.

LES REDRESSEURS À SILICIUM COMME SOURCE D'ALIMENTATION DES ÉTABLISSEMENTS D'ÉLECTROLYSE (PREMISSES TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES)

Resumé

L'auteur décrit le principe de fonctionnement des redresseurs à silicium et leurs qualités en comparaison avec des autres dispositifs. Sur la base de cette analyse l'auteur démontre au point de vue technique et économique les avantages de l'application des redresseurs à silicium pour l'électrolyse.