

EDMUND POTOK

Huta Łaziska

ADAM SIKOCINSKI

Elektroprojekt Gliwice

KOMPENSACJA MOCY BIERNEJ PIECÓW ŁUKOWO OPOROWYCH
(Doświadczenia projektowe i eksploatacyjne)

Streszczenie. W pracy omówiono krótko problem zużycia energii elektrycznej czynnej i biernej oraz ważniejsze zagadnienia występujące przy projektowaniu urządzeń kompensacyjnych pieców łukowo-oporowych. Scharakteryzowano trudności przy montażu baterii kondensatorów, wyniki wstępnej eksploatacji oraz efekty ekonomiczne przeprowadzonej modernizacji.

I. Problematyka zagadnienia

Problem racjonalnej gospodarki energią bierną, nie stanowi zagadnienia nowego. Z punktu widzenia dostawcy energii stawiany on jest na równi z problematyką racjonalnej gospodarki energią czynną. Istota nie wymaga komentarzy. Energia bierna obciąża generatory, transformatory, linie przemysłowe, nie dając żadnych korzyści, ograniczając jednocześnie przepływ energii czynnej. Szczególnego znaczenia problem nabiera w energochłonnych gałęziach przemysłu.

Do jednej z takich gałęzi należy przemysł, w którym odbiornikami energii elektrycznej są piece elektryczne łukowo-oporowe i łukowe. W piecach tych następuje wytapianie stali lub bardziej skomplikowany proces produkcji żelazostopów i karbidu.

Moc pieców waha się od kilku do kilkudziesięciu MVA (mowa o mocy transformatora zasilającego). Przyjmując, że piec jest konstrukcyjnie dostosowany do transformatora zasilającego, mamy do czynienia z kolosalnym poborem mocy i energii czynnej oraz biernej.

Na zagadnienie wzajemnego dostosowania transformatora i samego pieca kładzie się obecnie duży nacisk.

Nowoczesne konstrukcje pieców oparte są na rozważaniach i obliczeniach teoretycznych. Główną rolę odgrywa tu ustalenie charakterystyki agregatu, mające na celu zagwarantowanie osiągnięcia maksimum tzw. mocy czynnej łuku (użytecznej).

Z teorii pieców łukowych wynika, że maksimum to nie jest równoznaczne z maksimum mocy czynnej pobranej z sieci. Ta ostatnia wartość ma miejsce przy założeniu równości oporności czynnej i indukcyjnej obwodu pieca ($x = R$) i wynosi:

$$P_{\max} = \frac{U^2}{2x},$$

co zachodzi przy $\operatorname{tg} \varphi = 1$, $\cos \varphi = 0,707$.

Nowoczesne konstrukcje starają się osiągnąć jak najmniejszą wartość oporności indukcyjnej.

Źródłem indukcyjności w piecu łukowym są w zasadzie transformator i tor wielkoprądowy.

Obniżenie indukcyjności transformatora ograniczone jest koniecznością zagwarantowania odpowiedniej wartości napięcia zwarcia, umożliwiającej wytrzymanie uderzeń prądowych tzw. zwarć technologicznych, dlatego też napięcie zwarcia transformatora piecowego nie schodzi w zasadzie poniżej 11% przy najwyższym zaczepie napięciowym.

Obniżenie indukcyjności toru, wielkoprądowego stanowi w obecnych czasach problem bardzo trudny, rozwiązywany przez obliczanie i modelowanie.

Do środków obniżających indukcyjność toru wielkoprądowego należą m.in. jak najdalej idące skrócenie jego długości, odpowiednie przeplecenie poszczególnych szyn wiodących prąd i odpowiedni kształt toru np. tzw. bifilarny układ toru (polegający na prowadzeniu obok siebie prądów o jednakowych wartościach, lecz przeciwnie skierowanych), odpowiednia symetria układu elektrod w piecach itd.

Łuk elektryczny stanowi obciążenie czynne, tam więc gdzie jest on ze względu na wymogi procesu technologicznego otwarty i stosunkowo długi, udział jego w ogólnym spadku napię-

cia w obwodzie pieca jest duży. Powoduje to, że kosztem niewielkiego odchylenia mocy czynnej urządzenia łukowego od wartości maksymalnej osiągnąć można stosunkowo dużą wartość współczynnika mocy, co jest ekonomicznie opłacalne. Dlatego też takie piece, do których należą piece stalownicze oraz piece w których produkuje się tzw. żelazostopy szlachetne np. żelazochrom, żelazomangan (przy produkcji których łuk musi być jak najdłuższy dla uniknięcia niebezpieczeństwa nawęglania od elektrody) posiadają współczynnik mocy mierzony na zasilaniu, tzn. przed transformatorem - rzędu 0-9 - 0,92 i dalsza jego poprawa ze względów ekonomicznych, jak i wytrzymałości na zwarcia technologiczne nie jest ani wskazana ani wymagana.

Na odwrót, jak wiadomo w piecach stalowniczych w okresach tzw. roztopiania wprowadza się jeszcze w obwód dodatkową indukcyjność (dławik), dla zmniejszenia uderzeń prądów zwarc technologicznych; w następnych okresach procesu technologicznego dławik jest zwierany. Nieco inaczej ma się sprawa z piecami tzw. łukowo-oporowymi służącymi do produkcji żelazostopów otrzymywanych w procesie ciągłym oraz karbidu. Piece te stanowiące zazwyczaj jednostki o bardzo wielkiej mocy rzędu 8 - 40 MVA, pracują przy łuku przykrytym materiałem wsadowym i udział oporności łuku w ogólnym spadku napięcia w obwodzie pieca jest mniejszy.

W związku z tym, piece te w optymalnych warunkach pracy charakteryzują się współczynnikiem mocy zbliżonym do wartości odpowiadającej $R = X$ czyli $\text{tg}\varphi = 1$, a więc około 0,74 - 0,75.

Istniejące w kraju piece do produkcji żelazokrzemu, z punktu widzenia konstrukcji stanowią jednostki przestarzałe. Posiadają asymetryczny układ elektrod i prymitywne rozwiązania toru wielkoprądowego.

Wskaźniki techniczno ekonomiczne przy istniejących warunkach pracy (oparte o własne doświadczenia jednej z Krajowych Hut Żelazostopów) do których w 1-ym rzędzie należą wydajność i jednostkowe zużycie energii elektrycznej czynnej na 1 t. produkcji, do 1959 r. odbiegały w wysokim stopniu od osiągniętych przeciętnych wskaźników za granicą. Sytuację pogarszał fakt braku jakiegokolwiek mechanizacji załadunku materiałów wsadowych oraz odlewania gotowego stopu, oraz automatyzacji napędu elektrod, co jest podstawowym warunkiem prowadzenia optymalnego biegu elektrycznego agregatu.

Przeprowadzone pod koniec 1958 r. konsultacje i porównania z pracą pieców w Hucie żelazostopów w Zaporozżu (Ukraińska SRR)

wykazały nieprawidłowość biegu elektrycznego pieców krajowych, polegającą na zbyt małym obciążeniu prądowym - piec nie był wykorzystany w sposób optymalny. Wykazały to zresztą zdjęte charakterystyki biegu.

Podjęta decyzja zwiększenia obciążenia agregatów o ok. 20% przy jednoczesnym doładowaniu pieców materiałami wsadowymi, poprzedzona ustabilizowaniem pracy transformatorów piecowych przy asymetrii napięć na poszczególnych fazach dla uzyskania symetrii napięć na elektrodach (likwidacja szkodliwego zjawiska tzw. martwej fazy) i zagwarantowanie dostatecznego chłodzenia oleju w obiegu wodnym, dała rewelacyjne wyniki.

Wydażność średnia pieca wzrosła o ok. 30%, a jednostkowe zużycie energii zmalało o ok. 14%, co przedstawia poniższa tabela:

Wydażność	Jednostkowe zużycie energii elektrycznej	
0,7 t/h	11 800 kWh/t	Przed intensyfikacją
0,9 t/h	10 200 "	Po intensyfikacji

Niestety, zwiększenie obciążenia prądowego doprowadzające pracę pieców do warunków optymalnych, pociągnęło za sobą, jak to było zresztą do przewidzenia, pogorszenie współczynnika mocy i poważne zwiększenie poboru energii biernej z sieci.

Pogorszenie współczynnika mocy wytworzyło niekorzystną sytuację związaną z obniżeniem napięcia, co przy stosowanej technologii daje ujemne skutki, oraz z trudnościami na odcińku przesyłu zwiększonej mocy, z uwagi na ograniczoną moc przesyłową istniejącej w Hucie przetwórni wysokiego napięcia, nie mówiąc już o ekonomicznych skutkach wynikających z istniejącej taryfy cen energii elektrycznej.

Współczynnik mocy ogólnozakładowy obniżył się z 0,84 do 0,78-0,79. W tym stanie rzeczy zaszła konieczność poważnego pojęcia do tego zagadnienia biorąc pod uwagę następujące warianty:

a) utrzymanie współczynnika mocy w przyzwoitych granicach przy świadomym założeniu niepełnego wykorzystania zainstalowanych jednostek piecowych,

b) przeprowadzenie opisanej wyżej, technicznie i ekonomicznie uzasadnionej, intensyfikacji biegu pieców i uzyskanie

optymalnych wskaźników techniczno-ekonomicznych przy jednoczesnej sztucznej kompensacji mocy biernej.

Rzecz jasna, że tylko rozwiązanie zagadnienia wg wariantu b) było ze wszystkich względów słuszne. Tak właśnie rozwiązano omawiany problem w radzieckich hutach żelazostopów.

Wprowadzenie sztucznej kompensacji mocy biernej związane jest materialnie z jednorazowym stosunkowo dużym nakładem inwestycyjnym. Nakład ten zwraca się jednakże w bardzo krótkim czasie, gdyż inwestycja należy przy obecnych wszystkich wariantach układów taryfowych do inwestycji szybko rentujących się. Fakt ten nie podlega dyskusji, z uwagi na to, że w Energetyce zawodowej zachodzi proces stałego powiększania deficytu energii biernej.

Podjęcie decyzji wprowadzenia w omawianej hucie żelazostopów sztucznej kompensacji mocy biernej było zapoczątkowaniem poważnej pracy koncepcyjnej, badawczej, projektowej, montażowej i rozruchowej, przy zaangażowaniu poważnych środków inwestycyjnych. Po 3-ach latach praca ta uwieńczona została sukcesem. W obecnej chwili w hucie pracuje urządzenie do kompensacji mocy biernej o łącznej mocy ok. 12 MVar na napięciu 6 kV. Dzięki jego wprowadzeniu ogólnozakładowy współczynnik mocy, który po wprowadzeniu omawianej wyżej intensyfikacji biegu pieców wynosił 0,78 - 0,79 osiągnął w obecnej chwili wielkość ok. 0,89.

Podstawowym problemem było ustalenie wielkości mocy biernej do skompensowania oraz napięcie, na którym kompensacja miała mieć miejsce. Biorąc pod uwagę rozptył mocy na terenie zakładu, przyjęto zasadnicze napięcie rozdzielcze zasilania wszystkich pieców tj. 6 kV.

Ustalenia mocy kompensatora dokonano w oparciu o znane metody, biorąc pod uwagę średni pobór mocy czynnej oraz biernej przez zakład jako całość, a także przez poszczególne piece przy uwzględnieniu różnych współczynników mocy poszczególnych egregatów.

W wyniku tych rozważań przyjęto ostateczną moc do skompensowania w wysokości 12 MVar. Z kolei konieczne okazało się ustalenie sposobu kompensacji. W grę wchodziły naturalnie kondensatory statyczne lub kompensator synchroniczny. Oba warianty posiadają swoje dobre i złe strony. Przyjęcie któregośkolwiek wymagało szczegółowej analizy.

Radzieckie huty żelazostopów wyposażone są w sztuczną kompensację obu wariantów. Podczas zwiedzania radzieckich hut żelazostopów i zapoznawania się z ich urządzeniami stwierdzono, że oba rozwiązania spełniają swe zadanie.

Kompensatory synchroniczne pozwalają na płynną regulację mocy biernej, co stanowi dużą zaletę. Z drugiej strony są to urządzenia kosztowne, istnieje problem rozruchu silnika synchronicznego, wymagają one specjalnej konserwacji, a co najważniejsze - kompensatory synchroniczne posiadają znaczne straty biegu jałowego i obciążenia, a więc zachodzi problem stosunkowo dużego zużycia dodatkowej energii czynnej a więc moc bierna, wytwarzana przez nie, jest droższa.

Kondensatory statyczne są urządzeniem tańszym, posiadają minimalne straty własne, nie wymagają konserwacji.

Niebezpieczne są dla nich jednak zwwyżki napięcia powyżej 10% a co najważniejsze, bardzo szkodliwa jest dla nich obecność harmonicznych w sieci.

Szereg rozważań doprowadził do przyjęcia koncepcji kondensatorów statycznych, pod warunkiem, przeprowadzenia analizy harmonicznycch sieci 6 kV huty.

Trzeba pamiętać o tym, że piece łukowe są źródłem harmonicznycch osiagajacych częstokroć duże wartości.

Piece żelazostopowe są piecami łukowo - oporowymi, łuk stanowi w ich obwodzie 30 - 70% całkowitego spadku napięcia. Z tego też względu harmoniczne występują w mniejszym stopniu niż w piecach np. stalowniczych. Przeprowadzona przez Katedrę Sieci Elektrycznych Politechniki Warszawskiej analiza harmonicznycch w sieci zasilania pieców żelazokrzemowych oraz całej sieci hutniczej wykazała minimalną ich ilość. Największą wartość, jak podano niżej, osiągnęła 5-ta harmoniczna. Ten wynik przesądził o decyzji przyjęcia koncepcji zastosowania kondensatorów statycznych.

Dla umożliwienia wprowadzenia nowoczesnych sposobów zabezpieczeń, a mianowicie zabezpieczenia różnicowego baterii, wymagającego gwiazdowego układu połączeń, przyjęto kondensatory na napięcie 3,64 kV z izolacją rzędu 9,09 kV, ze względu na zapylenie i ze względów bezpieczeństwa oraz konstrukcyjnych (p. niżej) - 2 izolatorowe.

Z uwagi na to, że rozdzielnia główna Zakładowa składa się z 3-ch sekcji składających się na jeden system szyn oraz tzw. szyny transferowej, stanowiącej właściwie 4-tą sekcję, jak również ze względu na stosunkowo dużą moc baterii i brak doświadczenia pracy takiej baterii w warunkach ruchowych, przyjęto koncepcję 5-cio członowej baterii.

Przy omawianiu szeregu wariantów lokalizacji przyjęto koncepcję wybudowania budynku mogącego uwzględnić wszystkie wymagania przepisów budowy urządzeń elektrycznych oraz przepisów p. pożarowych.

II. Projektowanie i opis baterii

1. Wstęp

Projekt zespołu baterii opracowała Gliwicka Ekspozytura BPPUE "Elektroprojekt".
Wyniki ekspertyzy Politechniki Warszawskiej wykazały następujące procentowe zawartości harmonicznych w napięciu:

Lp.	Harmoniczna	Zawartość %
1	2	0,89
2	3	0,99
3	5	1,47
4	7	0,47
5	9	0,25
6	11	0,29
7	13	0,16
8	15	0,07
9	21	0,09
10	25	0,06

Okazało się więc, że wartości te nie są groźne.

2. Schemat elektryczny baterii

2.1. Schemat "wewnętrzny" (rys.1).

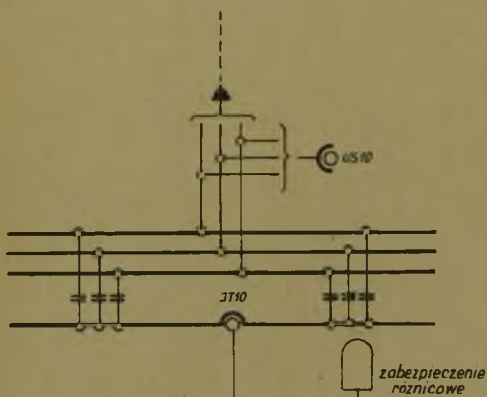
Zdecydowano się na baterie w układzie podwójnej gwiazdy z zabezpieczeniem różnicowym. Taki układ jest w naszych warunkach korzystniejszy od tradycyjnego układu "w trójkąt" z bezpiecznikami.

Korzyści są następujące:

- a) zabezpieczenie różnicowo - prądowe między zerami obu gwiazd jest bardziej od bezpieczników czułe na małe uszkodzenia wewnątrz jednostek,
- b) kubatury pomieszczeń baterii wypadają mniejsze,

- c) przypadkowe połączenie dwóch biegunów jednostki nie oznacza zwarcia na pełną moc w systemie,
- d) jednostki można budować na napięcia fazowe, a nie przewodowe.

Powyżej zaznaczono, że układ podwójnej gwiazdy jest korzystny "w naszych warunkach".



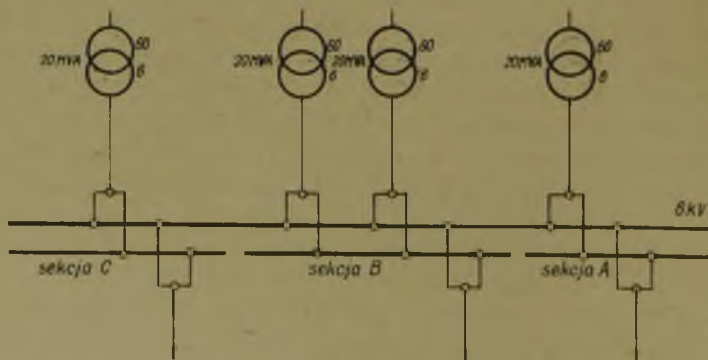
Rys.1. Schemat wewnętrzny baterii

W jakich warunkach może być inaczej? Sytuacja taka jest np. w USA, gdzie produkuje się jednostki kondensatorowe z bezpiecznikiem umieszczonym w izolatorze przepustowym. W takich warunkach układ trójfazowy nie jest gabarytowo duży i upraszcza eksploatację. Łatwiej wtedy znaleźć uszkodzoną jednostkę.

Niestety w kraju oprócz się trzeba było na kondensatorach własnej produkcji.

2.2. Schemat "zewnątrzny" baterii

Schemat głównej rozdzielni 6 kV huty pokazano na rys.2, a schemat baterii na rys.3. Sekcję A wyposażono w jedną ba-



Rys.2. Schemat uproszczony rozdzielni głównej 6 kV

zdecydowano się na większy dławik przy jednej tylko baterii (w każdej parze baterii łączonej równolegle).
 Sekcję C wyposażono w dwie baterie po 1,5 MVAR.
 Rozbicia tego wymagały znaczne wahania obciążenia tej sekcji. Przyjęto dławiki 6% - 400 A dla obu układów; są to dławiki produkcji krajowej, konstrukcji betonowej.

3. Obliczenia uderów prądowych

Udary przyłączeniu baterii do pracy równoległej określono ze wzoru:

$$I_z = I_n + I_{z1} + I_{z2}$$

gdzie:

$$I_n = \frac{Q_b}{\sqrt{3} \cdot U}$$

$$I_{z1} = I_n \sqrt{\frac{P_{zw}}{Q_b}}$$

$$I_{z2} = \frac{U_{max} \cdot 10^3}{\sqrt{3}(X_{c1} + X_{c2})} \sqrt{\frac{X_{c1} + X_{c2}}{X_2}}$$

gdzie:

X_{c1}, X_{c2} - oporności baterii

X_2 - oporność połączeń między bateriami łączonymi do pracy równoległej.

Określony w ten sposób I_z nie powinien wg zaleceń niemieckich przepisów VDE przekroczyć $15 I_n$. Musi więc zachodzić warunek

$$I_z \leq 15 I_n \text{ baterii}$$

4. Możliwości wystąpienia rezonansu harmonicznego

Rezonans harmonicznego podstawowej występuje, gdyż:

$$X_c = X \text{ sieci}$$

czyli

$$\frac{U^2}{Q_c} = \frac{U^2}{S_z}$$

a dla n-tej harmonicznego, gdy:

$$\frac{U^2}{n \cdot Q_c} = \frac{U^2 \cdot n}{S_z}$$

Początkowo moce baterii miały być rozdzielone następująco:

Sekcja A - 3 MVar

Sekcja B - 2 x 3 MVar

Sekcja C - 2 x 1,5 MVar

Z obliczeń jednak wynikało, że sekcja B jest zagrożona rezonansem jednej z harmonicznego i dlatego moc dla niej zwiększono do 2 x 3,3 MVar, a baterię sekcji A zmniejszono do 2,4 MVar.

Wynikło to z tabeli podanej niżej, w której zestawiono obliczeniowe rzędy harmonicznego rezonansu. Dla mocy 6 MVar na sekcji B $n = 7,03$. tzn. występuje duże prawdopodobieństwo rezonansu siódmej harmonicznego. Po zwiększeniu mocy baterii tej sekcji do 6,6 MVar oddalono zagrożenie rezonansem:

$n = 6,7$

Lp	sekcja	S _z MVA	Q _c MVar			
			3	3,3	6	6,6
1	A	280	9,21	8,64	6,52	6,1
2	B	325	9,93	9,64	7,03	6,7
3	C	292	9,42	8,98	6,75	6,35

Amplitudy harmonicznego były w okresie pomiarów nieduże, lecz po zainstalowaniu baterii niewątpliwie wzrosły, co też było prawdopodobnie przyczyną zjawisk omawianych w dalszej części referatu.

5. Zabezpieczenia przekaźnikowe

Baterie zabezpieczono przekaźnikami:

5.1. Zabezpieczenie przed przeciążeniem

Przyjęto przekaźniki termiczne typu R J - 2 (ponieważ człon cieplny reaguje na przeciążenia prądami odkształconymi).

5.2. Zabezpieczenie różnicowe

Przyjęto przekaźniki typu - R I 802 + RT.

Wyposażono je w przekaźniki zwłóczne, by zabezpieczenie nie działało na przepływy w stanach nieustalonych związanych z załączaniem i innych.

5.3. Zabezpieczenie nadnapięciowe zostało zastosowane z uwagi na pracę z dławikami. możliwość rezonansów.

Przyjęto przekaźniki typu REN - 4, działające na sygnał.

5.4. Zabezpieczenie ziemnozwarciowe

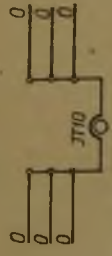
Przewidziano przekładniki Ferrantiego. Jednakże, w dalszej realizacji, w wyniku dodatkowej analizy, zabezpieczenia Ferrantiego nie zastosowano, gdyż zastępuje go zabezpieczenie różnicowe. Zabezpieczenia nadnapięciowego można nie dawać, jeżeli baterie pracują bez dławików i jeżeli nie zagrażają im rezonanse.

6. Konstrukcje

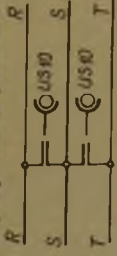
Z uwagi na ciasnotę pomieszczeń baterie ustawiono w trzech kondygnacjach odpowiadających fazom. Przy takim rozwiązaniu konieczne było zastosowanie jednostek z dwoma izolatorami, by konstrukcja nie wypadła zbyt wysoka.

Gdyby zastosowano jednostki z jednym izolatorem, trzeba by izolować całą konstrukcję nośną, co jest raczej stosowane przy bateriach napowietrznych. Rozwiązania takie nie nadają się do baterii wewnętrznych, gdyż powiększają niepotrzebnie kubaturę budynku.

Schemat przyłączenia przekładnika prądowego



Schemat przyłączenia przekładników napięciowych

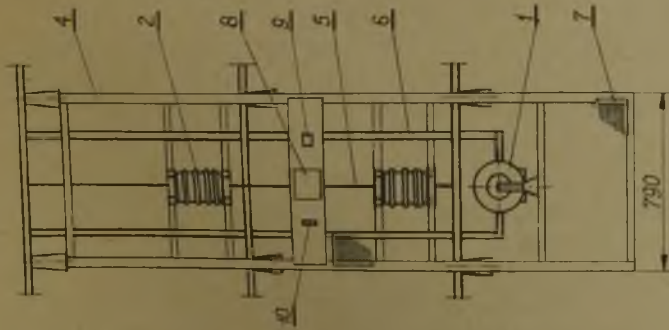


1. Przekładnik prądowy
2. Przekładnik napięciowy
3. Izolator wsporczy
4. Konstrukcja nośna
5. Pręt aluminiowa
6. Szyna aluminiowa
7. Ostoja stalowa
8. Woltomierz elektromagnetyczny
9. Przycisk wyłączający pojedynczy
10. Termometr kontaktowy

Widok z boku



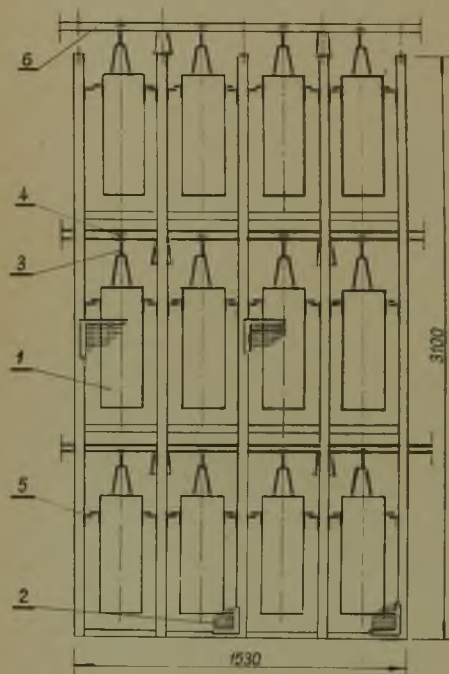
Widok z przodu



Rys. 4. Człon przekładnikowy

Zaprojektowane baterie składają się z następujących prefabrykowanych członów każda:

- a) przekładnikowego - rys.4,
- b) kondensatorowych - rys.5,
(istnieją takie człony 2,3 i 4 kolumnowe),
- c) zasilającego - rys.6,

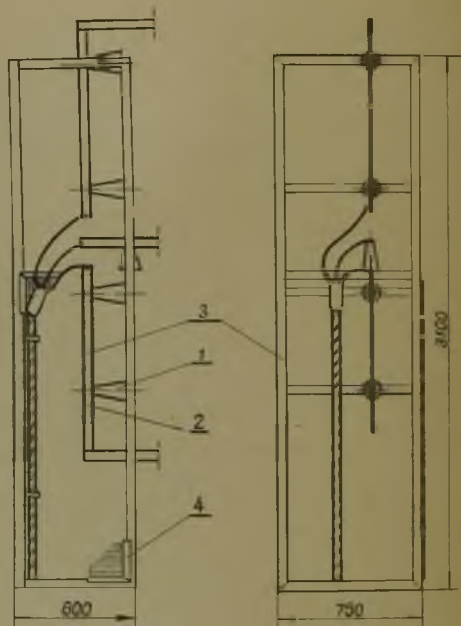


Rys.5. Człon kondensatorowy
4 - kolumnowy

- 1. Kondensator statyczny
- 2. Osłona siatkowa, 3. Przewód aluminiowy wielodrutowy
- 4. Końcówka kablowa, 5. Konstrukcja człona kondensat.,
- 6. Szyna zbiorcza

Widok z przodu

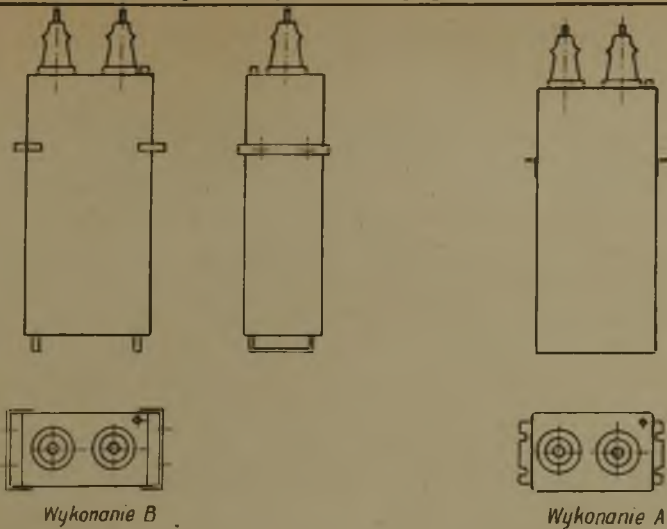
Widok z boku



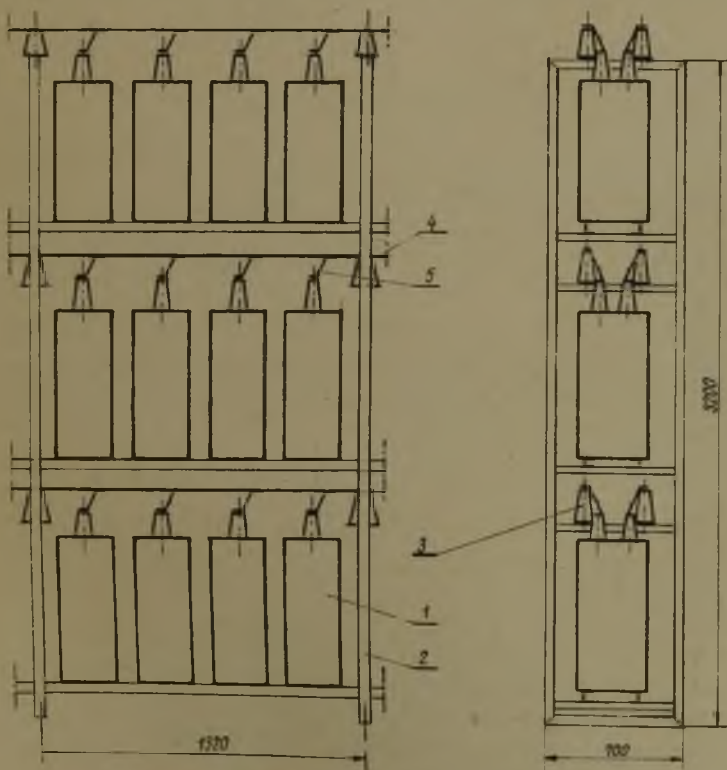
Rys.6. Człon zasilający

- 1. Izolator wsporczy,
- 2. Szyna aluminiowa, 3. Konstrukcja nośna, 4. Osłona siatkowa

Człony zestawia się w kolejności: człon zasilający, człon kondensatorowe jednej gwiazdy, człon przekładnikowy, człon kondensatorowe drugiej gwiazdy. Konstrukcja nośna członów jest zagęszczona.



Rys.7. Kondensatory Typu KSTA-1



Rys.8. Oszczędniejsze rozwiązanie konstrukcji

- kondensator, 2 - konstrukcja nośna, 3 - izolator wsporczy
- 4 - szyna płaska 80 x 10, 5 - szyna płaska 40 x 3

Rozwiązanie takie narzucił typ jednostek zakupionych już wcześniej (rys.7, wyk. A.). Gdyby zastosowano jednostki inne (rys.7, wyk. B.) można by uniknąć takiego zagęszczenia konstrukcji, stosując rozwiązanie zbliżone do rys.8.

W tym przypadku trzeba by zastosować profile o większych przekrojach. Konstrukcja wykonana w ten sposób byłaby lżejsza od rozwiązania jak na rys.5 o około 30%.

Na rysunku 8 warto zwrócić uwagę na ułożenie szyn. Projektant przy pierwszym opracowaniu popełnił błąd, stosując dla szyn obliczenia jak dla układu płaskiego. Jest to niewłaściwe, gdyż jedna z dwu szyn ma potencjał zera i ewentualne zwarcie powoduje tylko podskok napięcia na pozostałych fazach i działanie zabezpieczeń.

Szyny należało tu ułożyć nie jak pokazuje rys.8 lecz "pionowo" i liczyć w układzie poziomym, nie płaskim. Tak też zrobiono. Izolatory i szyny wypadły mniejsze.

III. Montaż i wstępna eksploatacja

Montażu baterii podjęło się i wykonało Przedsiębiorstwo "Elektromontaż II" w Katowicach.

Podczas budowy baterii napotymano na szereg trudności wymagających operatywnych decyzji i wprowadzenia zmian w stosunku do projektu.

Do najważniejszych z nich należały:

1. Rezygnacja z zabezpieczenia ziemnozwarciowego, z uwagi na pełne zastąpienie jego funkcji przez zabezpieczenie różnicowe.
2. Zamiana pewnej ilości przekładników cieplnych typu RIZc2 zagranicznymi przekładnikami typu ST.
3. Zastosowanie wyłączników na prąd znamionowy 2000 A w miejsce projektowanych 600 A.

Sam problem doboru wyłączników również był szeroko omawiany. Przyjęto w końcu koncepcję zastosowania wyłączników powietrznych typu CP-605 jako najpewniejszych i najmniej narażonych na przepięcia występujące częstokroć w eksploatacji baterii kondensatorów.

4. Zmiany konstrukcji oszynowania jak wyżej.

Poszczególne człony baterii oddawane były do eksploatacji sukcesywnie. Rozruch baterii poprzedzony był całą serią pomiarów kontrolnych i badań wykonanych przez specjalną grupę rozruchową "Elektromontażu" i huty. Należały do nich:

1. Badanie stanu izolacji układu zasilającego,
2. Badanie stanu izolacji poszczególnych kondensatorów oraz baterii jako całość.
3. Badanie pojemności baterii.
4. Próba napięciowa układu.
5. Próba równoczesności pracy poszczególnych faz wyłączników.
6. Sprawdzenie obwodów wtórnych, sterowania, pomiaru i sygnalizacji.
7. Nastawienie zabezpieczeń.

Nastawienie zabezpieczenia różnicowego wymagało bardzo dokładnego doboru jednostek kondensatorowych, składających się na poszczególne układy gwiazdowe.

Wynikało to z faktu, że poszczególne kondensatory wykonywane są z tolerancją mocy (i pojemności) $\pm 10\%$, co mogło w poważnym stopniu rzutować na sprawność działania zabezpieczenia różnicowego.

W trakcie prac okazało się m.in., że w charakterze kryterium doboru kondensatorów nie należy kierować się mocami, a wyłącznie pomiarem pojemności, gdyż oparcie się na znamionowych mocach prowadziło do znacznych nawet błędów.

Pozytywne wyniki pomiarów kontrolnych pozwoliły na sukcesywne przekazywanie poszczególnych członów baterii do eksploatacji.

Jednakże w okresie rozruchu stwierdzono szereg zjawisk - wymagających omówienia w niniejszym referacie, ze względu na ich nietypowość i konieczność walki z nimi jako anormalnymi przy eksploatacji następnym baterii kondensatorów.

1. Usterka zasadnicza, to stosunkowo słaba jakość kondensatorów, szczególnie z dostawy z przed 1 - 1,5 roku. Duża ilość jednostek wykazuje przecieki oleju spod izolatorów. Kilka jednostek podczas pomiarów wykazała zanik pojemności i słaby stan izolacji. Na podkreślenie zasługuje pozytywne ustosunkowanie się kierownictwa Zakładów Wytwórczych Kondensatorów Telpod, które przyjęło zwrot uszkodzonych jednostek, zobowią-

zując się do szybkiej ich naprawy. W związku z tym jednak niektóre człony nie zostały uruchomione na pełną moc projektowaną, a mniejszą. Po uruchomieniu pewna ilość jednostek uległa wybrzuszeniu.

Wykazujące największe wybrzuszenia kondensatory również odłączono i przekazano do naprawy, pozostałe natomiast w porozumieniu z Zakładem "Telpod" pozostawiono pod obserwacją.

Jest charakterystyczne, że dalsze ich wybrzuszenie dotychczas nie wystąpiło.

Należy podkreślić, że kondensatory z dostawy IV kwartału 1961 r. wykazują o wiele lepszą jakość i pracują jak dotychczas bez zaburzeń.

2. Jak poprzednio nadmieniono, człon I baterii pracuje w układzie równoległym z członem II. Oba posiadają moc znamionową 3,3 MVAR. Wobec braku kondensatorów spowodowanego przyczyną wymienioną w 1) uruchomiono oba człony na niepełną moc po 2,4 MVAR.

Przy równoległym połączeniu obu członów wystąpiła poważna asymetria prądów obciążenia poszczególnych faz rzędu 25% (320 A, 270 A, 240 A), co stworzyło niebezpieczeństwo przeciążenia niektórych kondensatorów. Jednocześnie miało miejsce głośne buczenie dławika.

Przy próbie odjęcia pewnej ilości jednostek zjawisko zanikało. Zanikło również przy pojedynczym obciążeniu baterii I ze zwartym dławikiem.

Wspólna konsultacja przedstawicieli wytwórcy, projektanta i użytkownika przyjęła prawdopodobieństwo istnienia rezonansu nieprzewidzianego obliczeniami projektowymi.

Pełne skompletowanie członu I po otrzymaniu dodatkowych kondensatorów wyeliminowało rzeczywiście omówione zjawisko. Nawet, mimo faktu, iż człony I i II nie posiadają w tej chwili jednakowych mocy, gdyż człon II jest niepełny z braku kondensatorów przekazanych do naprawy.

3. Oparcie się na doborze kondensatorów wg mocy znamionowej podanej na tabliczce znamionowej, jak już wspomniano, nie daje dobrych wyników.

Praca tak dobranej baterii nie daje pełnej symetrii prądów w gwiazdach połączonych ze sobą dla zabezpieczenia różnicowego, w związku z czym wielkość prądu w

przewodzie łączącym była zbyt wielka i powodowała częste działanie zabezpieczenia.

Próbne skompletowanie członu I, w oparciu o zmierzone na miejscu montażu pojemności, przeprowadzone przez przedstawicieli "Telpodu" przy pomocy specjalnie skonstruowanego przyrządu pozwoliło na uzyskanie prawie że idealnej symetrii.

W obecnej chwili zainstalowany dla obserwacji w przewodzie zerowym miliamperomierz wykazuje prąd zerowy rzędu 8,6 - 1,5 mA, co przy istniejącej przekładni przekładnika 15 - daje prąd rzeczywisty rzędu 9-22,5 mA. W podobny sposób zmieniono kompletację pozostałych członów baterii uzyskując prawidłowe działanie zabezpieczenia, tzw. tylko w przypadku rzeczywistego uszkodzenia jednego z kondensatorów.

4. Pewne trudności nasuwa odnalezienie uszkodzonego kondensatora w członie. Dotychczas stwierdzenie uszkodzonej jednostki odbywa się na podstawie oględzin całego członu i eliminowanie jednostek wybrzuszonych lub zbyt mocno nagranych.

Nie jest to naturalnie, metoda racjonalna.

W obecnej chwili w przygotowaniu są próby pokrywania kondensatorów termokolorami.

Mimo przytoczonych wyżej trudności okresu rozruchu, należy z całym naciskiem podkreślić, że bateria spełnia zgodnie z przewidywaniami swe zadanie.

Współczynnik mocy ogólnozakładowy osiągnął już w obecnej chwili wartość 0,89 mimo, jak wyżej wspomniano, braku pewnej ilości kondensatorów do 12 MVAR. Efekty ekonomiczne z zastosowania baterii wystąpiły natychmiast, przez zmniejszenie dopłat z tytułu ponadnormatywnego poboru energii biernej.

Napięcie na systemach 6 kV huty uległo podniesieniu do wartości 6,2 - 6,3 kV, co z punktu widzenia pracy pieców było zjawiskiem ze wszech miar pozytywnym. Nadmiernego wzrostu napięcia nie zaobserwowano, zakładając jednakże, że przy pracy buforowej pieców odpowiedni człon baterii zostanie wyłączony.

Od momentu rozpoczęcia eksploatacji nie zanotowano ani jednego wypadku zadziałania sygnalizacji zabezpieczenia nadnapięciowego. W obecnej chwili, można uważać okres wstępnego rozruchu za zakończony.

Bateria została przekazana wraz z kompletem dokumentacji techniczno-ruchowej, do której wchodziły oprócz zaktualizowa-

wanego projektu, również protokoły nadzoru i grupy rozruchowej, a tak, że co najważniejsze - szczegółowa instrukcja czynnościowa eksploatacji.

W ten sposób przemysł krajowy wzbogacił się o 1 -ną wielkiej mocy baterię kondensatorów, dzięki czemu zmniejszono zarysowujący się coraz głębszy deficyt mocy biernej.

Efekt ekonomiczny dla zakładu przedstawia się następująco: Przy mocy zainstalowanej 12 MVar produkcja przeliczeniowej energii biernej wynosi średnio 56000 MVarh rocznie, co przy taryfowej cenie ponadnormatywnej energii biernej 0,15 zł/kVarh daje ok. 8.5 mln zł na rok.

Przeliczeniową energią bierną nazywamy energię braną pod uwagę przy rozliczeniach taryfowych, tzn. w godzinach strefy II - w miesiącach letnich od godz. 6,00 rano do momentu rozpoczęcia szczytu wieczornego w miesiącach zimowych - pomiędzy zakończeniem szczytu rannego a rozpoczęciem szczytu wieczornego.

Biorąc pod uwagę, że całkowity koszt inwestycji wyniósł ca 5500 tys. zł jasnym się staje, że zainwestowana kwota amortyzuje się w ciągu niespełna roku.

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ (ПРОЕКТНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ)

Содержание

Работа дает краткий очерк проблемы потребления активной и реактивной электроэнергии и представляет важнейшие вопросы проектирования установок для компенсации печей. Намечены трудности монтажа конденсаторных батарей, результаты первоначальной эксплуатации и экономические эффекты модернизации.

LA COMPENSATION DE LA PUISSANCE RÉACTIVE DES FOURS À L'ARC-RESISTANCE (EXPERIENCES DES PROJETEREURS ET EXPLOITATEURS)

Resumé

Le travail donne un rappel succinct du problème de la consommation de la puissance active et réactive par les fours et les problèmes primordiales dans les travaux des projecteurs des dispositifs de compensation de phase. Il mentionne les difficultés de montage des condensateurs, les résultats du début d'exploitation et les effets économiques du modernisation.