

Tadeusz SKOCZKOWSKI

Politechnika Śląska
Instytut Podstawowych Problemów
Elektrotechniki i Energoelektroniki

UKŁADY ZASILANIA PIECÓW DO PRODUKCJI ELEKTROD WĘGLOWYCH

Streszczenie. Przedstawiono istniejące układy zasilania pieców Achesona prądem wyprostowanym. Wskazano na szereg istotnych wad związanych z takim układem zasilania. Zaproponowano nowe rozwiązanie układu zasilania prądem zmiennym w układzie transformatora jednofazowego, współpracującego z urządzeniem symetryzującym. Podano podstawy teoretyczne symetryzowania.

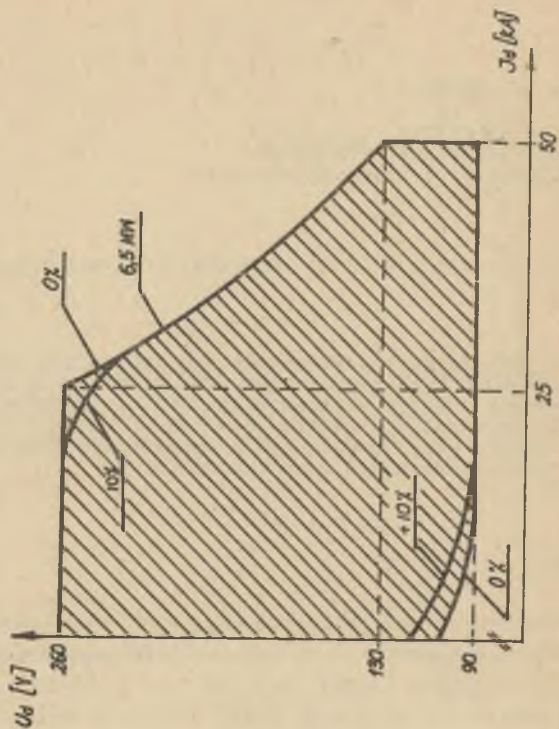
1. Wstęp

Proces produkcyjny elektrod węglowych przewiduje między innymi wypalanie w elektrycznych piecach oporowych bezpośrednich, w tzw. piecach Achesona. Pod względem technologicznym jest obojętne czy układ zasilany jest prądem stałym czy zmiennym. Układ zasilania musi zapewnić możliwość poboru prądu do około 100 kA przy napięciu regulowanym w zakresie 100 ÷ 300 V. Oprócz tego układ zasilania powinna charakteryzować wysoka sprawność, łatwość regulacji mocy dostarczonej do obciążenia oraz wysoka niezawodność. Przy braku możliwości wyróżnienia jakiegokolwiek sygnału sprzężenia zwrotnego, np. temperaturowego, zespół pracuje w otwartym układzie regulacji, a moc doprowadzana jest określana każdorazowo przez technologów.

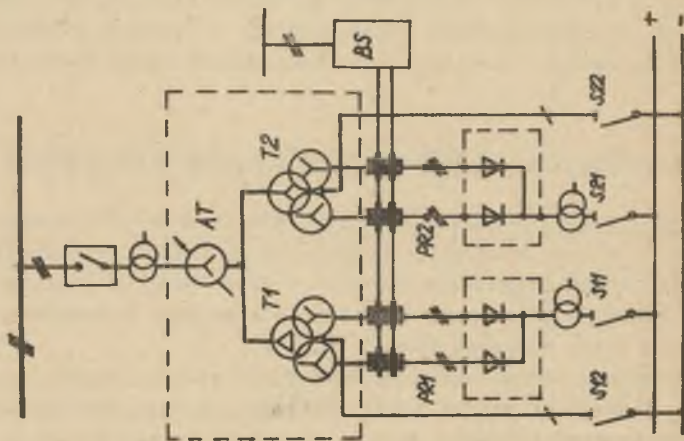
2. Istniejący, krajowy układ zasilania prądem wyprostowanym

Schemat siłowy układu zasilania prądem wyprostowanym przedstawia rys. 1. Regulacja mocy w układzie odbywa się za pomocą przełączników zaczepek pod obciążeniem (regulacja zgrubna) i transduktorów (regulacja dokładna). Zmiana napięcia grzewczego odbywać się więc musi z konieczności w sposób dyskretny (skok napięcia wynosi ok. 3 V).

Przykładową charakterystykę zewnętrzną zespołu prostowniczego pokazuje rys. 2. Z uwagi na wysoki koszt inwestycyjny oraz niekorzystny wpływ sterowania fazowego na pobór mocy biernej nie przewiduje się w najbliższej przyszłości stosowania prostowników sterowanych w układach wielkiej mocy [1, 2].



Rys. 2. Charakterystyka zewnętrzna zespołu prostowniczego



Rys. 1. Układ zasilania prądem wyprostowanym

Układ prądu wyprostowanego posiada szereg wad, np.: złożony układ siłowy, znaczne straty w transformatorze prostowniczym i prostowniku, generowanie wyższych harmonicznych prądu, konieczność kompensacji mocy biernej, wysoki koszt inwestycyjny wielokrotniony koniecznością importu części elementów, wysoka awaryjność.

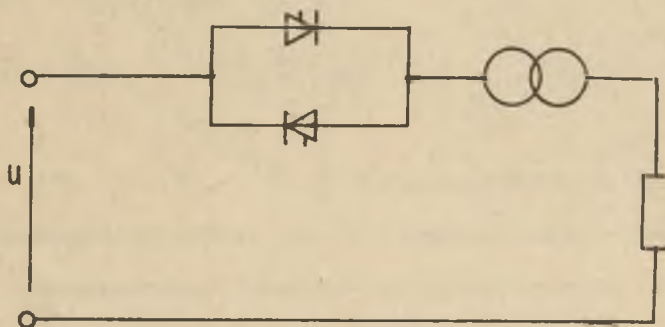
Celowe wydaje się przeanalizowanie możliwości zastąpienia istniejących układów zasilania prądem wyprostowanym prostszymi układami prądu zmiennego.

3. Wybór układu zasilania prądem zmiennym

Zasilanie prądem zmiennym mogłoby odbywać się w układzie trójfazowym, przy zastosowaniu transformatora trójfazowego lub trzech transformatorów jednofazowych skojarzonych w układ trójfazowy lub w układzie jednofazowym. Jednak zasilanie z transformatora trójfazowego jest niemożliwe z uwagi na silną asymetrię impedancji fazowych (rzędu kilkudziesięciu %) i związaną z tym konieczność pracy transformatora przy asymetrii napięć fazowych przekraczających znacznie normy podane przez wytwórcę. Układ trzech transformatorów jednofazowych może sprowadzić się w praktyce do układu jednofazowego. Prosty i tani układ zasilania jednofazowego charakteryzuje asymetryczne obciążanie sieci. Wada ta zmusza do instalowania urządzeń symetryzujących obciążenie.

Do regulacji mocy dostarczonej do odbiornika można stosować przełączniki zaczepów pod obciążeniem.

Innym rozwiązaniem jest możliwość stosowania tyrystorowych łączników prądu przemiennego (rys. 3). Sterowanie impulsowe takich łączników, możliwe do zrealizowania z uwagi na dużą stałą czasową obciążenia, zapewnia stały pobór mocy biernej mimo znacznego obniżenia współczynnika mocy układu, a stosując sterowanie synchroniczne można wyeliminować przebiegi przejściowe z układu. Wadą takiego rozwiązania jest znaczne (przy małym współ-



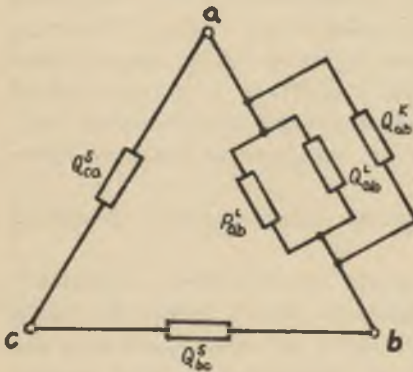
Rys. 3. Idea zastosowania tyrystorowego łącznika prądu przemiennego

czynniku wypełnienia) odkształcenie krzywej prądu, okresowe obciążanie sieci oraz zakłócenia radioelektryczne.

W układzie z transformatorem jednofazowym istnieje możliwość znacznego skrócenia toru wieloprądowego, a więc obniżenia kosztów inwestycyjnych i strat przez zastosowanie transformatora ruchomego na szynach kolejowych.

4. Sposoby zmniejszenia niesymetrii napięcia

Niesymetryczne obciążanie sieci trójfazowej nie występuje w układach prądu wyprostowanego, stanowi podstawową wadę jednofazowego układu zasilania prądem zmiennym. Niesymetrię można znacznie zmniejszyć prowadząc grafityzację jednocześnie w 3 piecach zasilanych z trzech transformatorów jednofazowych, a nawet wyeliminować przez zastosowanie urządzenia symetryzującego.



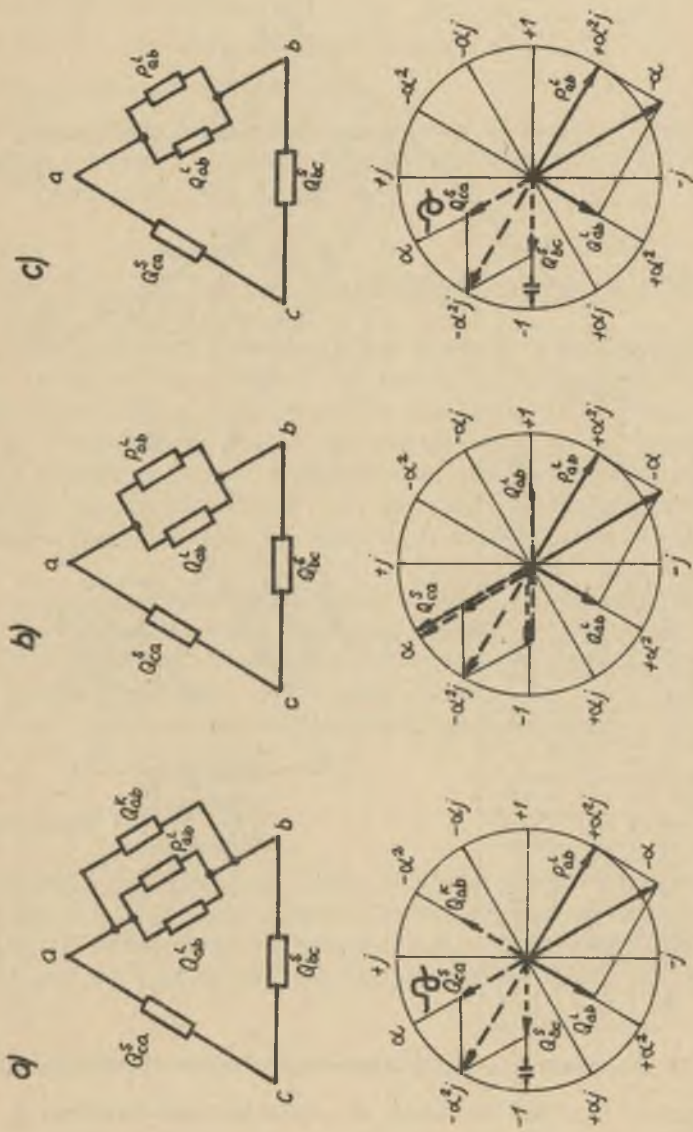
Rys. 4. Schemat niesymetryczny obciążenia sieci

Łatwo można wykazać, że asymetria obciążeń wywołuje pojawienie się mocy biernych fazowych nawet wtedy, gdy odbiornik nie zawiera elementów reaktancyjnych [3]. Dążąc do kompensacji mocy biernych wywołanych asymetrią obciążenia można zlikwidować asymetrię napięcia. Przy niesymetrycznym obciążeniu sieci (rys. 4) w układzie pojawi się moc związana ze składową przeciwną prądu o wartości [4]:

$$S = \frac{1}{3} [\alpha^2 j P_{ab}^L - (-\alpha^2 Q_{ab}^L + \alpha^2 Q_{ab}^K) + j P_{bc}^L - (Q_{bc}^L + Q_{bc}^K) + \alpha j P_{ca}^L - (-\alpha Q_{ca}^L + \alpha Q_{ca}^K) - (\pm \alpha^2 Q_{ab}^S \pm Q_{bc}^S \pm \alpha Q_{ca}^S) = S_2^0 - S_2^S] \quad (1)$$

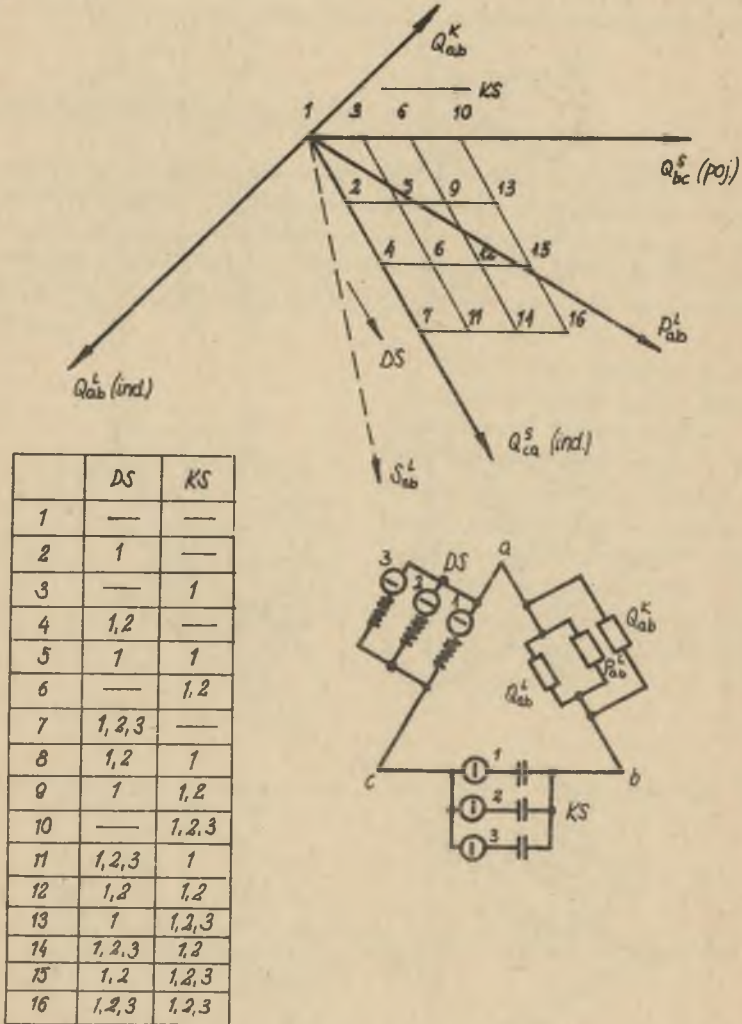
gdzie:

- S_2 - moc składowej przeciwniej,
- S_2^0 - moc wywołana impedancją pieca i reaktancją kompensatora,
- S_2^S - moc wywołana obecnością urządzenia symetryzującego,
- P^L, Q^L - moc czynna i bierna pieca,



Rys. 5. Różne sposoby symetryzowania a) symetryzacja P^I , kompensacja Q^I , b) symetryzacja P^I , c) symetryzacja P^I , Q^I

Q^K - moc bierna kompensatora,
 Q^S - moc bierna symetryzująca,
 $\alpha = e^{j120^\circ}$.



Rys. 6. Kolejność włączania elementów urządzenia symetryzującego
 Z równania (1) można wyznaczyć moc urządzeń symetryzujących

$$\begin{cases} \pm Q_{ca}^S = \frac{1}{\sqrt{3}} P_{ab}^L + Q_{ab}^L - Q_{ab}^K \\ \pm Q_{bs}^S = \frac{1}{\sqrt{3}} P_{ab}^L + Q_{ab}^L - Q_{ab}^K \end{cases} \quad (2)$$

Widać, że moc symetryzująca zależy od wielkości mocy czynnej i biernej pieca oraz od urządzenia kompensującego; znaki "+", "-" oznaczają, że moc ta może mieć charakter pojemnościowy lub indukcyjny.

Symetryzowanie można prowadzić:

- a) symetryzując P^L , kompensując Q^L ,
- b) symetryzując P^L , bez kompensacji lub symetryzowania Q^L ,
- c) symetryzując obciążenie P^L i Q^L .

Wszystkie te sposoby symetryzowania pokazano na rys. 5. Rysunek 6 pokazuje kolejność włączania elementów L, C urządzenia symetryzującego przy obciążeniu w fazie a-b.

5. Jednofazowy układ zasilania współpracujący z urządzeniem symetryzującym

Koszt budowy urządzenia symetryzującego powinien zostać zrekompensowany niższymi nakładami inwestycyjnymi na typowy transformator jednofazowy i krótki tor wieloprądowy. Straty mocy w urządzeniu symetryzującym nie przekraczają 1% mocy układu zasilania i instalowanie takich urządzeń jest ekonomicznie uzasadnione nawet w przypadkach, gdy nie zostaje przekroczona dopuszczalna asymetria napięcia [5]. Poszczególne stopnie urządzenia symetryzującego mogą dodatkowo spełniać rolę filtrów wyższych harmonicznych.

Z uwagi na prostotę konstrukcji części siłowej układu można przewidywać wysoką jego niezawodność. Zastosowanie łączników tyrystorowych do manewrowania poszczególnymi stopniami urządzenia symetryzującego pozwoli na uniknięcie groźnych przepięć, co zwiększy niezawodność pracy urządzenia symetryzującego i uwielokrotni dopuszczalną liczbę łączeń.

6. Wniosek końcowy

Zaproponowany układ zasilania prądem zmiennym stanowi wysoce konkurencyjne rozwiązanie w porównaniu z tradycyjnymi układami zasilania prądem wyprostowanym. Przewidywana rozbudowa potencjału wytwórczego elektrod grafitowych powinna być poprzedzona analizą techniczno-ekonomiczną obu układów zasilania.

LITERATURA

- [1] Bertolozzi P.L., Ferrarios: Silicon Power Rectifiers for Electrolysis FRIEM, Milano
- [2] Bertolozzi P.L., Ferrarios: Design Selection for Heavy Current Equipment, FRIEM, Milano.

- [3] Bisztyga K., Pirog S., Seńkowski J.: Pomiar i kompensacja udarowych obciążeń mocą bierną, *Gospodarka Paliwami i Energią* nr 8/9, 1975.
- [4] Skoczkowski T.: Tyristorowy układ zasilania pieca Achesona w różnych układach połączeń, *Praca dyplomowa, Politechnika Śląska, Gliwice 1977.*
- [5] Altgauzen A.B., Gitgarc A.S.: Kryteria oceny konieczności i celowości stosowania układów symetryzujących dla jednofazowych urządzeń grzejnych, *Przegląd Elektrotechniczny* nr 4, 1970.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГРАФИТИРОВОЧНЫХ ПЕЧЕЙ

Р е з ю м е

Представлены встречаемые схемы электроснабжения печей Ачесона выпрямленным током. Указан ряд существенных недостатков связанных с таким способом питания. Предложено новое решение электроснабжения переменным током, в схеме однофазного трансформатора работающего с симметризирующим устройством. Даются теоретические основы симметрирования.

FEEDING SYSTEMS FOR GRAPHITE ELECTRODE PRODUCING FURNACES

S u m m a r y

Existing d.c. feeding systems for Acheson type furnaces have been presented with typical inherent system faults. A new solution of a feeding system using a onephase transformer with a load symmetrising device has been suggested along with symmetrising fundamentals.

