

Bolesław STOKOWY

Instytut Elektryfikacji
i Automatyzacji Górnictwa

WPLYW SPOSOBU STEROWANIA FALOWNIKA KASKADY TYRYSTOROWEJ NA WARTOŚĆ POBIERANEJ MOCY BIERNEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono wpływ sposobu sterowania falownika tyrystorowej kaskady podsynchronicznej, stanowiącej napęd głównego wentylatora kopalnianego, na wartość pobieranej przez układ mocy biernej, oraz propozycje zmierzające do poprawy podstawowych wskaźników energetycznych stacji wentylatorowej.

1. Wstęp

W górnictwie węgla kamiennego istnieje trwała tendencja przechodzenia do eksploatacji pokładów zalegających na coraz większych głębokościach, dochodzących do 1200 m [2]. Projektowane kopalnie rud żelaza, miedzi czy soli osiągną głębokości jeszcze większe [1]. Związany z tym wzrost zagrożenia metanowego i rosnąca temperatura górotworu pociągają za sobą konieczność zwiększania wydajności systemów wentylacyjnych kopalń. Rosnąca moc znamionowa silników wentylatorów głównych sprawia, że istotną sprawą dla gospodarki energetycznej kopalń staje się ograniczenie energochłonności wentylatorów głównych, co związane jest ze sprawnością i współczynnikiem mocy stacji wentylatorowej w danym punkcie pracy. Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej i poprawę wskaźników energetycznych stacji wentylatorowej, można uzyskać poprzez zastosowanie układów umożliwiających płynną regulację prędkości obrotowej wentylatora.

Zagadnienie to zostało przedstawione w [4], gdzie wykazano zmniejszenie zużycia energii elektrycznej przy regulacji wydajności przez zmianę prędkości obrotowej w stosunku do regulacji wydajności poprzez dławienie przepływu zasuwą. Regulacja wydajności poprzez zmianę prędkości obrotowej daje również znaczne zmniejszenie zużycia energii elektrycznej w stosunku do istniejących aerodynamicznych możliwości regulacji wydajności, tj. poprzez zmianę kąta ustawienia łopatek wirnika w przypadku wentylatorów osiowych lub zmianę kąta ustawienia łopatek kierowniczo napływowych w przypadku wentylatorów promieniowych. Wykazano to w [6] oraz w [7] na podstawie przeprowadzonych pomiarów na stacji wentylatorowej z wentylatorem typu WOK-4j i silnikiem napędowym o mocy 100 kW, pracującym w układzie tyrystorowej kaskady podsynchronicznej.

4. Wpływ sposobu sterowania falownika na wartość pobieranej przez falownik mocy biernej

Przy projektowaniu kaskad, sprawą szczególnie istotną są problemy związane z wartością mocy znamionowej transformatora dopasowującego, dławika wygładzającego, układu połączeń i sposobu sterowania tyrystorami falownika oraz wartość pobieranej mocy biernej przez układ. Cechą szczególną kaskady jest pobór mocy biernej nie tylko przez silnik, ale również falownik. Moc bierna pobierana przez silnik nie zależy od sposobu połączeń i sterowania falownika i jest tylko funkcją jego obciążenia. Moc bierna pobierana przez falownik zależy w decydujący sposób od układu połączeń i sposobu sterowania kątem zapłonu jego tyrystorów. W przypadku gdy falownik jest pojedynczym mostkiem trójfazowym, można wyróżnić dwa sposoby sterowania kątem zapłonu:

- a) sterowanie symetryczne,
- b) sterowanie rozdzielne.

Przy sterowaniu symetrycznym kąty zapłonu tyrystorów w obydwu grupach są sobie równe $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ i zmieniają się w przedziale

$$\frac{\pi}{2} < \alpha < \pi - b,$$

gdzie

b - minimalny kąt wyprzedzenia zapłonu tyrystorów.

Przy sterowaniu rozdzielnym zmienia się tylko kąt zapłonu tyrystorów grupy anodowej α_1 , dla grupy katodowej kąt zapłonu jest stały i równy minimalnemu kątowi wyprzedzenia zapłonu $\alpha_2 = \gamma_{\min}$.

Moc bierną pobieraną przez falownik przy wentylatorowej charakterystyce obciążenia silnika i symetrycznym sterowaniu można obliczyć z zależności według [3].

$$Q_{\text{bia}} = U_T \cdot I_{\text{dN}} \cdot \frac{(1-s)^2}{(1-s_{\min})^2} \cdot \sin \alpha,$$

gdzie:

- U_T - napięcie fazowe strony wtórnej transformatora dopasowującego,
- I_{dN} - wartość prądu w obwodzie pośredniczącym, odpowiadająca znamionowemu obciążeniu silnika,
- s - poślizg w danym punkcie pracy,
- s_{\min} - minimalny poślizg, jaki może być osiągnięty w układzie,
- α - kąt zapłonu tyrystorów.

Przy sterowaniu rozdzielnym, wyrażenie na moc bierną pobieraną przez falownik przyjmuje postać

$$Q_{1R} = U_T I_{dN} \frac{(1-s)^2}{(1-s_{\min})^2} \cdot \frac{1}{2} (\sin \alpha_1 + \sin \beta),$$

gdzie:

α_1 - kąt zapłonu tyrystorów grupy anodowej - $\beta < \alpha_1 < \pi/2$

Zakładając stałość charakterystyki obciążenia oraz zadając wartości poślizgów w celu uzyskania tych samych warunków pracy można obliczyć kąty występowania tyrystorów przy jednym i drugim sposobie sterowania, a następnie wartość pobieranej mocy biernej. Przy sterowaniu symetrycznym, poślizg związany jest z kątem występowania zależnością

$$s = \frac{U_T}{E_{20}} \cdot \cos (180^\circ - \alpha).$$

Zaś przy sterowaniu rozdzielnym

$$s = \frac{1}{2} \frac{U_T}{E_{20}} (\cos \beta - \cos \alpha_1),$$

gdzie:

E_{20} - napięcie fazowe wirnika przy $s = 1$.

W tabeli 1 przedstawiono obliczone wartości mocy biernej pobieranej przez falownik w jednym i w drugim przypadku dla następujących danych:

Typ silnika SZU₀ 1580.

Napięcie znamionowe 500 V

Moc znamionowa 100 kW

Znamionowy prąd wirnika 206 A

Napięcie między pierścieniami przy $s = 1$ - 296 V

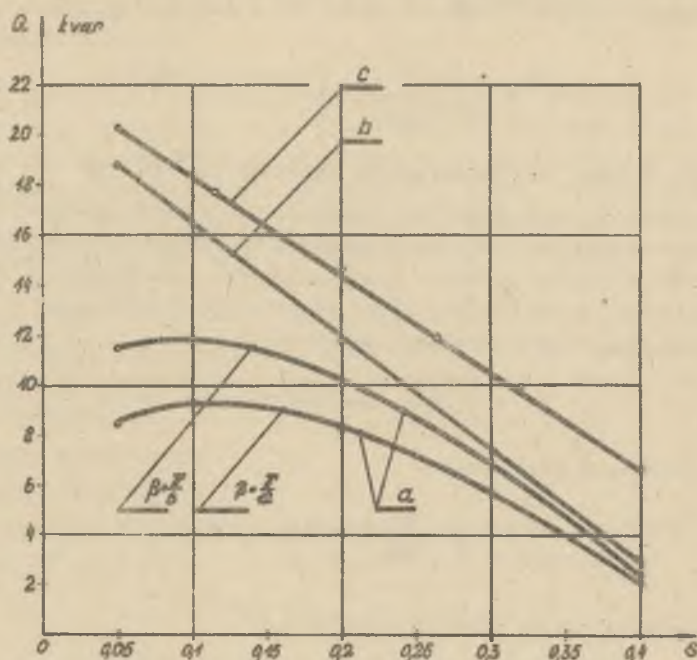
$s_{\min} = 0,04$.

U_T - znamionowe napięcie strony wtórnej transformatora - 127 V.

Tabela 1

S	Sterowanie symetr.		Sterowanie rozdz. $\beta = \frac{\pi}{6}$		Sterowanie rozdz. $\beta = \frac{\pi}{12}$	
	α°	Q1 kvar	α°	Q1 kvar	α°	Q1 kvar
0,05	93	18,8	50	11,8	42	8,8
0,1	104	16,5	66	12,0	60	9,5
0,2	118	11,9	86	10,0	88	8,4
0,3	135	7,4	122	6,9	115	5,9
0,4	159	1,8	176	2,2	154	2,2

Wyniki obliczeń przedstawiono graficznie na rys. 1.



Rys. 1. Przebieg mocy biernej pobieranej przez falownik w zależności od poślizgu

1 - mostek pojedynczy, sterowanie rozdzielne, b - mostek pojedynczy, sterowanie symetryczne, c - dwa mostki połączone szeregowo, sterowanie symetryczne

Z przeprowadzonej analizy i obliczeń wynika, że dla każdego z możliwych poślizgów w rozpatrywanym układzie, moc bierna pobierana przez falownik przy sterowaniu rozdzielnym jest mniejsza od mocy biernej pobieranej przez falownik przy sterowaniu symetrycznym, jak również inny jest charakter przebiegu poboru mocy biernej w obydwu przypadkach w zależności od poślizgu.

W pracy [7] dokonano pomiaru mocy biernej pobieranej z sieci (rys. 1 - krzywa o) w rzeczywistym układzie o danych znamionowych jak poprzednie, w którym z sieci zasilającej poprzez transformator trójzwojowy o mocy 50 kVA i grupie połączeń D(d)y, zasilane są dwa szeregowo połączone mostki trójfazowe o sterowaniu symetrycznym, z których jeden pracuje jako falownik, a drugi jako prostownik, a wypadkowo pracują jako falownik. Równolegle do zacisków strony pierwotnej transformatora dołączona jest bateria kondensatorów o mocy 50 kvar.

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że charakter zmienności poboru mocy biernej w przypadku szeregowego połączenia dwóch mostków sterowanych symetrycznie jest taki sam, jak dla mostka pojedynczego sterowanego symetry-

oznie, tzn. największy pobór mocy biernej występuje przy największej możliwej w danym układzie prędkości obrotowej.

Jeżeli chodzi o odkształcenie prądu pobieranego z sieci, to w przypadku tym, przy zastosowaniu pojedynczego mostka o sterowaniu rozdzielnym, oprócz harmonicznych nieparzystych występują również harmoniczne parzyste, nie będące wielokrotnością liczby 3. Stopień odkształcenia prądu nieznacznie wzrośnie ze względu na udział drugiej i czwartej harmonicznej, przy jednoczesnym zmniejszeniu udziału harmonicznej piątej i siódmej [6].

Jak wykazano w pracy [6] dla silnika typu AM-6-126-6 o mocy 155 kW pracującego w układzie kaskady podsynchronicznej z pojedynczym mostkiem tyrystorowym, zastosowanie rozdzielnego sterowania spowodowało zmniejszenie maksymalnej mocy biernej 2,74 razy i wzrost współczynnika mocy z 0,56 do 0,74.

Oprócz zmniejszenia poboru mocy biernej, przy sterowaniu rozdzielnym, uzyskuje się zmniejszenie mocy znamionowej transformatora dopasowującego, dławika wygładzającego i urządzeń kompensujących moc bierną, przy niezmiennym zakresie regulacji prędkości obrotowej [3]. Zmniejszony pobór mocy biernej, tylko dzięki nieznacznej zmianie układu sterującego, bez poniesienia jakiegokolwiek dodatkowych kosztów inwestycyjnych, będzie szczególnie wyczuwalny, w stacjach z wentylatorami o mocy znacznie większej niż w przytoczonym przykładzie.

3. Podsumowanie

Zastosowanie rozdzielnego sterowania grupami tyrystorów inwertera kaskady podsynchronicznej przy wentylatorowej charakterystyce obciążenia, pozwala osiągnąć najmniejsze wartości mocy znamionowej transformatora dopasowującego, dławika wygładzającego i urządzeń kompensujących moc bierną, co prowadzi do zmniejszenia nakładów inwestycyjnych i przyczynia się do zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych związanych z użytkowaniem układu regulacji prędkości obrotowej wentylatora kopalnianego. Dla układów o mocy powyżej 1 MW należy stosować układy złożone w postaci szeregowego połączenia dwóch mostków, lecz również o rozdzielnym sterowaniu kątem zapłonu tyrystorów.

LITERATURA

- [1] Frączek R., Kolosa K.: Możliwości wykorzystania w polskim przemyśle wydobywczym czechosłowackich doświadczeń w zakresie zwalczania zagrożeń klimatycznych. Wiadomości Górnicze 1979 r. nr 4.
- [2] Frycz A., Frączek R.: Czynniki klimatyzacji i wentylacji w koncepcyjnym projektowaniu kopalń. Przegląd Górniczy 1978 r., nr 8.

- [3] Kanevskij B.B., Radkin O.I., Cermalnych B.M.: Opriedielenije optimalnych parametrov elektrooborudowanija asinohronno-ventilnogo priwoda mechanizmow s ventilatornym momentom soprotiwlenija. Elektriciziestwo 1971 r, nr 1.
- [4] Kocurek J., Lasok H., Piesiur J., Szpilka S.: Regulacja wydajności wentylatorów głównych przez zmianę liczby obrotów. Symposium Sekcji Cybernetyki w Górnictwie PAN, 1974 r.
- [5] Koczara Wł.: Kaskadowe układy napędowe z przekształtnikami tyrystorowymi. WNT Warszawa 1978 r.
- [6] Rodkin O.J., Kanawskij B.B., Bogopolskij B.CH., Pikowski S.A.: Ob energetičeskich pokazateljach szachtnych ventiljatornych ustanowok s riegulirujemym prirodom po schlenie asinohronnowentilnogo kaskada. Promyszlennaja Energetika 1972 r. nr 9.
- [7] Sprawozdanie z obozu naukowo-badawczego na KWK "MURCKI" od 2.07.79 r. do 28.07.1979 r. Ocena efektów techniczno-ekonomicznych zastosowania tyrystorowej kaskady w szybie peryferyjnym oraz zbadanie możliwości pełniejszego jej wykorzystania w stacjach wentylatorowych o dużej zmienności parametrów wentylacyjnych. Praca nie publikowana.

Wpłynęło do Redakcji 20.02.80 r.

Recenzent:

Prof. dr hab. inż. Władysław Paszek

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕРТОМ ТИРИСТОРНОГО КАСКАДА
НА ЗНАЧЕНИЕ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Р е з ю м е

В статье представлены влияние способа управления инвертором тиристорного подсинхронного каскада, являющегося главным приводом шахтного вентилятора, на значение потребляемой системой реактивной мощности, а также предложения, направленные к улучшению основных энергетических показателей станции вентиляторов.

THE EFFECT OF THE THYRISTOR CASCADE INVERTER CONTROL METHOD
ON THE VALUE OF THE INPUT REACTIVE POWER

S u m m a r y

The paper describes the effect of the subsynchronized thyristor cascade inverter control method being the drive of the main coalliery ventilator, on the value of the power absorbed by the reactive power system. Suggestions to improve the basic power factors of the ventilator station are also given.