

**INTERNATIONAL SEMINAR ON MODERNIZATION OF HOISTING
MACHINES - RELIABILITY AND WORK SAFETY.****Zdzisław DUDA****Biuro Studiów i Projektów Górniczych Gliwice****MODERNIZACJA NAPĘDÓW ELEKTRYCZNYCH MASZYN
WYCIĄGOWYCH WEDŁUG ROZWIĄZAŃ BSIPG GLIWICE**

Streszczenie. W referacie omówiono kryteria wyboru i przegląd rozwiązań modernizacji napędów elektrycznych maszyn wyciągowych, projektowanych przez Biuro Studiów i Projektów Górniczych w Gliwicach. Przedstawione rozwiązania dotyczą przede wszystkim maszyn wyciągowych o dużej i średniej mocy, instalowanych na głównych szybach wydobywczych i zjazdowych kopalń.

1. WPROWADZENIE.

Zastosowane w wielu czynnych maszynach wyciągowych starszej generacji rozwiązania napędów elektrycznych charakteryzują się dużą energochłonnością i niedoskonałością systemów regulacji prędkości. Przestarzałe rozwiązania techniczne, konieczność ograniczenia zużycia energii elektrycznej, brak części zamiennych oraz nakaz wdrażania rozwiązań, wynikających ze zmiany przepisów i dopuszczeń Wyższego Urzędu Górniczego to główne czynniki wymuszające modernizację napędów elektrycznych i systemów zasilania czynnych maszyn wyciągowych. Wstrzymanie przez krajowy przemysł elektrotechniczny produkcji niektórych urządzeń jak np. wzmacniacze magnetyczne, amplidydy, sterowniki i brak odpowiedników aktualnie produkowanych zmusza do stosowania aparatów o odmiennych parametrach, co wiąże się na ogół z koniecznością wprowadzania zmian układowych.

Szybki postęp techniczny w dziedzinie napędu elektrycznego energoelektroniki i systemów sterowania w technice mikroprocesorowej stwarza duże możliwości dla projektantów modernizacji maszyn wyciągowych.

2. WYBÓR OPTIMALNEGO ROZWIĄZANIA I ZAKRESU MODERNIZACJI NAPĘDU

Czynnikiem decydującym o podjęciu modernizacji jest najczęściej wynikająca z zastosowania bardziej energooszczędnych rozwiązań napędu maszyny wyciągowej możliwość uzyskania dużych oszczędności energii elektrycznej.

W niektórych przypadkach o potrzebie modernizacji starszych napędów decyduje zużycie aparatury sterowniczej i brak części zamiennych. Na wybór projektowanego rozwiązania i zakresu mają wpływ również takie czynniki jak możliwości finansowe inwestora, parametry istniejącej sieci zasilającej, wymagany czas realizacji, możliwość ~~okresowego~~ okresowego wyłączenia maszyny wyciągowej z eksploatacji lub zapewnienia możliwości prowadzenia prac montażowych i rozruchowych przy czynnym urządzeniu wyciągowym, dostateczna ilość miejsca w budynku na ustawienie doprojektowanych urządzeń itp. Projekt techniczny modernizacji jest z reguły poprzedzony projektem wstępnym zawierającym analizę techniczno-ekonomiczną, koncepcję rozwiązań w kilku wariantach oraz przewidywany harmonogram realizacji inwestycji.

Z opracowanych przez BSiPG Gliwice rozwiązań energooszczędnych napędów maszyn wyciągowych można wymienić napęd przekształtnikowy prądu stałego, stosowany do modernizacji istniejących układów Leonarda oraz napęd z tyrysterową kaskadą podsynchroniczną, stosowany do modernizacji przekładniowych maszyn wyciągowych napędzanych pierścieniowymi silnikami asynchronicznymi.

Na życzenie inwestorów mogą być również zaprojektowane i zrealizowane napędy synchroniczne z zasilaniem cyklokonwerterowym. Wymaga to jednak wymiany silnika wyciągowego na nowy silnik wolnoobrotowy synchroniczny, ale uzyskane oszczędności energii elektrycznej będą większe od oszczędności uzyskanych w przypadku zastosowania napędu przekształtnikowego prądu stałego.

Projektowane przez BSiPG Gliwice rozwiązania napędów maszyn wyciągowych omówiono w [1].

Jednym z możliwych wariantów modernizacji i poprawy sprawności energetycznej maszyn wyciągowych z napędem przekładniowym jest eliminacja przekładni zębatej i zastosowanie wolnoobrotowego silnika napędowego prądu stałego lub zmiennego, zasilanego z przekształtnika tyrystorowego. Rozwiązanie takie wymaga dłuższego postoju urządzenia wyciągowego, związanego z przeróbką fundamentu. Produkowane od kilkunastu lat w kraju silniki wyciągowe prądu stałego serii PW-100 mają blachowany obwód magnetyczny i są przystosowane do zasilania tyrystorowego. Zainstalowane w czynnych maszynach wyciągowych silniki wyciągowe starszej generacji nie są na ogół przystosowane do zasilania z przekształtników. W takich przypadkach konieczne jest każdorazowo uzyskanie oświadczenia producenta odnośnie do możliwości zasilania silnika z przekształtnika lub wykonanie ekspertyzy i pomiarów do określenia dopuszczalnych parametrów silnika przy zasilaniu tyrystorowym. Modernizacja czynnych maszyn wyciągowych z napędem w układzie Leonarda z zastosowaniem tyrystorowego zasilania istniejącego silnika wyciągowego może być zrealizowana według różnych wariantów. Jednym z możliwych rozwiązań jest zastosowanie całkowicie nowych układów sterowniczych oraz zasilających i demontaż urządzeń starego układu. Przykładem takiego wariantu jest będąca w trakcie realizacji modernizacja maszyny wyciągowej firmy SSW typu BB-5500/920, zainstalowanej na szybie "Edward" KWK Nowisz. Najbardziej dogodnym rozwiązaniem jest zaplanowanie takiego harmonogramu realizacji inwestycji, aby prace montażowe i rozruchowe nowego układu tyrystorowego mogły być przeprowadzone w okresie planowanego dłuższego postoju urządzenia wyciągowego związanego np. z przebudową szybu. W takim przypadku możliwe jest przed rozpoczęciem montażu nowych urządzeń zdemontowanie zbędnych urządzeń istniejących i wykorzystanie zwolnionej powierzchni w budynku oraz uwolnionych pól odpływowych w rozdzielniach. Według takiego wariantu została zrealizowana w latach 1986-88 modernizacja napędu maszyny wyciągowej firmy AEG, zainstalowanej na szybie K1 KWK Kazimierz-Juliusz. W modernizowanych maszynach wyciągowych nowszej generacji, dla których doprojektowuje się zasilanie tyrystorowe silnika wyciągowego, mogą być wykorzystywane istniejące układy sterowania i rozdzielnia zasilające po ich odpowiedniej rozbudowie.

W takim przypadku istniejące prądnice sterujące i wzbudnice układu Leonarda pozostawia się jako układ rezerwowy. Rozwiązanie tego rodzaju zostało przewidziane w dokumentacjach modernizacji napędów kilku maszyn wyciągowych - m.in. dwóch maszyn szybu I przedz. zachodni i wschodni KWK Staszio i w maszynie szybu Chrobry przedz. skipowy kopalni Olkusz. Opisane powyżej różne warianty modernizacji czynnych maszyn wyciągowych z napędami prądu stałego w układzie Leonarda mogą być zastosowane również do modernizacji napędów asynchronicznych przekładniowych maszyn wyciągowych z zastosowaniem tyrystorowych kaskad podsynchronicznych.

Modernizacja napędów maszyn wyciągowych w układzie Leonarda polegająca na zastąpieniu wzbudnic wirujących wzbudnicami tyrystorowymi jest stosowana zwykle tam, gdzie z uwagi na słabe zasilanie napęd przekształtnikowy nie może być zastosowany. Zmodernizowany napęd w układzie Leonarda z wzbudnicami tyrystorowymi ma porównywalne z napędem przekształtnikowym parametry jakościowe układu regulacyjnego, natomiast uzyskane oszczędności energii elektrycznej, wynikające z wyeliminowania zespołów wzbudnic wirujących, są niewielkie.

W zależności od stopnia zużycia istniejącej aparatury sterowniczej i wzbudnic wirujących oraz od możliwości finansowych inwestora projektuje się wymianę wszystkich lub tylko niektórych wzbudnic na wzbudnice tyrystorowe. Jeżeli kopalnia posiada przetwornicę rezerwową lub w układach Leonarda z większą liczbą prądnic sterujących możliwe jest prowadzenie montażu wzbudnic tyrystorowych silników synchronicznych przy czynnej maszynie wyciągowej, wyłączając kolejno z pracy modernizowane przetwornice. Do realizacji koniecznych do sterowania i zabezpieczeń maszyny wyciągowej funkcji logicznych stosuje się tradycyjne układy stykowe lub sterowniki programowalne PLC.

Tradycyjne, zrealizowane w technice stykowej oraz w technice cyfrowej TTL systemy sygnalizacji optyczno-akustycznej zadziałania zabezpieczeń i tachografy są stopniowo zastępowane przez komputerowe systemy monitoringu i rejestracji zakłóceń.

W projektowanych aktualnie przez BSiPG Gliwice modernizacjach napędów maszyn wyciągowych są stosowane nadal sprawdzone w eksploatacji i produkowane seryjnie przez FIAT "Elta" - Łódź urządzenia przekształtnikowe, wykorzystujące analogowe układy elektroniczne systemu JANTAR-80. Aktualnie trwają prace nad wdrożeniem do produkcji seryjnej w FIAT "Elta" urządzeń tyrystorowo-diodowych kaskad podsynchronicznych do napędów maszyn wyciągowych i innych urządzeń kopalnianych. Urządzenia te będą wyposażone w układy regulacyjno-sterownicze, zrealizowane z wykorzystaniem identycznych jak w napędach przekształtnikowych prądu stałego oraz w napędach cyklokonwertorowych podzespołów elektronicznych systemu JANTAR-80, włączony i regulowany automatycznie system hamowania dynamicznego oraz nowoczesne układy sterownicze zrealizowane w technice PLC. W przypadku starych maszyn wyciągowych, zainstalowanych na szybach o zanikającym wydobyciu, modernizacja ich napędów elektrycznych z zastosowaniem urządzeń tyrystorowych jest nieopłacalna, z uwagi na przewidywaną w bliskiej perspektywie likwidację. Przeprowadza się wówczas modernizację wybranych fragmentów napędu w ograniczonym zakresie, w celu zastąpienia brakujących części zamiennych oraz doprowadzenia maszyny do zgodności z obowiązującymi aktualnie przepisami i dopuszczeniami WUG. Przykładem może być tutaj zrealizowana w 1984 r. modernizacja dwóch maszyn wyciągowych zainstalowanych na szybie 1 KWK Anna.

3. EFEKTY TECHNICZNO-EKONOMICZNE I NAKŁADY INWESTYCYJNE

Modernizacja przestarzałych i energochłonnych napędów elektrycznych maszyn wyciągowych z zastosowaniem nowoczesnych, energooszczędnych napędów przekształtnikowych prądu stałego i zmiennego umożliwia uzyskanie następujących efektów techniczno-ekonomicznych:

- oszczędność energii elektrycznej,
- wysoką jakość systemów regulacji prędkości,
- zwiększenie niezawodności i pewności ruchowej,
- zmniejszenie nakładów na obsługę i konserwację urządzeń,
- niewielkie zwiększenie wydajności wyciągu dzięki optymalnemu odwzorowaniu zadanego wykresu jazdy,

- możliwość zasilania silnika z jednego mostka tyrystorowego, po wyłączeniu z pracy drugiego mostka, szeregowego,
- możliwość wykorzystania silników synchronicznych przetwornic układów Leonarda jako automatycznych kompensatorów[mocy biernej.

Uzyskiwane w wyniku zastosowania napędu przekształtnikowego prądu stałego lub zmiennego dobowe i roczne oszczędności energii elektrycznej zależą od mocy maszyny wyciągowej, głębokości ciągnięcia, stosowanej technologii pracy wyciągu oraz od stopnia wykorzystania maszyny w ciągu doby i roku. W pracy [2] określono sprawność energetyczną maszyn wyciągowych z napędem w układzie Leonarda w cyklu wydobywania uróbku w granicach 60 % - 74,2 %, natomiast sprawność napędów przekształtnikowych prądu stałego w analogicznych warunkach pracy zawiera się w granicach 76,8 % - 87,6 %.

Roczne oszczędności energii elektrycznej wg [2] wynoszą od 1 mln kWh /w maszynach klatkowych o mniejszej mocy/ do 3,85 mln kWh /w maszynach skipowych o dużej mocy/. Wykonywane przez BSiPG z zastosowaniem mikrokomputerów obliczenia oszczędności energii elektrycznej dla wielu modernizowanych maszyn wyciągowych potwierdzają informacje podane w pracy [2]. Obliczone w [3] roczne oszczędności energii w maszynie skipowej z napędem w układzie Leonarda typu 4L-4250/2x2400 szybu "Wanda I" KWK Pokój wyniosą około 2,8 mln kWh, a analogiczne oszczędności w maszynie skipowo-klatkowej przedziału "Wanda II" typu 4L-4000/2900 będą równe około 2,2 mln kWh. Nakłady poniesione na realizację modernizacji [wv. maszyn, polegającej na zastosowaniu zasilania tyrystorowego ich silników napędowych zwrócą się po około 4-5 latach.

W pracy [4] obliczono oszczędności energii elektrycznej w maszynie wyciągowej przekładniowej, napędzanej pierścieniowym silnikiem asynchronicznym o mocy 660 kW, zainstalowanej na szybie 4 KWK Śląsk. Roczne oszczędności energii po zainstalowaniu tyrystorowej kaskady podsynchronicznej wyniosą około 300.000 kWh, a nakłady inwestycyjne na modernizację zwrócą się po około 9 latach.

Szybko rosnące w ostatnich latach ceny energii elektrycznej i utrzymująca się tendencja ich wzrostu powodują, że nakłady poniesione na instalację energooszczędnych napędów zwracają się stosunkowo szybko.

W przypadkach, w których jest konieczne zastosowanie urządzeń do kompensacji mocy biernej i filtrów wyższych harmonicznych, sumaryczne nakłady inwestycyjne na modernizację maszyny wyciągowej są większe o koszty zakupu i instalacji ww. urządzeń.

4. WPLYW NAPIĘDÓW PRZEKSZTAŁNIKOWYCH NA SIEĆ ZASILAJĄCĄ I GOSPODARKĘ MOCĄ BIERNĄ KOPALNI

Napędy przekształtnikowe prądu stałego i zmiennego powodują następujące zjawiska, oddziałujące negatywnie na sieć zasilającą:

- załamanie komutacyjne sinusoidy napięcia,
- wahania napięcia,
- generację wyższych harmonicznych prądu i odkształcenie napięcia sieci od sinusoidy,
- pogorszenie gospodarki mocą bierną kopalni z uwagi na stosunkowo niski średni współczynnik mocy

Obowiązujące odbiorców przemysłowych procentowe wskaźniki dopuszczalne w zakładach dla sieci średnich napięć 6-20 kV są określone przez energetykę. Podstawowym parametrem ograniczającym negatywne oddziaływanie napędów przekształtnikowych dużej mocy na sieć jest odpowiednio wysoka moc zwarcia na szynach rozdzielni, z której są zasilane transformatory przekształtnikowe.

W przypadku zasilania z jednego źródła dwóch lub więcej napędów przekształtnikowych następuje sumowanie zakłóceń. Wielkość załamania komutacyjnego fali napięcia, która zależy od stosunku wypadkowej impedancji transformatorów przekształtnikowych oraz impedancji sieci, można ograniczyć praktycznie tylko poprzez zwiększenie mocy zwarcia sieci. Wahania napięcia, wywoływane udarowym poborem mocy biernej z sieci, można ograniczyć przez dobór optymalnego sposobu sterowania przekształtników lub przez zastosowanie urządzeń kompensacyjnych.

Spektrum i wartości skuteczne generowanych wyższych harmonicznych prądu zależą od liczby taktów dobranego przekształtnika tyrystorowego oraz prądu obciążenia silnika wyciągowego. Generowane przez napęd wyższe harmoniczne powodują odkształcenie napięcia od sinusoidy, które nie powinno przekraczać 5 %.

Jeżeli do sieci, z której będą zasilane przekształtniki tyrystorowe, są przyłączone baterie kondensatorów statycznych do kompensacji mocy biernej, może wystąpić zjawisko rezonansu dla harmonicznych określonego rzędu, mogące doprowadzić do przeciążenia i uszkodzenia ww. baterii. Napędy przekształtnikowe mają stosunkowo niski średni współczynnik mocy. Zastosowanie przekształtników tyrystorowych do zasilania silników wyciągowych czynnych maszyn w układzie Leonarda eliminuje źródła mocy biernej, jakimi są silniki synchroniczne napędzające przetwornice. Powoduje to zwiększenie deficytu mocy biernej i pogorszenie gospodarki mocą bierną kopalni. Przed podjęciem decyzji o modernizacji maszyny wyciągowej powinna być przeprowadzona kompleksowa analiza oddziaływania projektowanego napędu przekształtnikowego na sieć zasilającą i gospodarkę mocą bierną kopalni, z podaniem środków ograniczających ww. oddziaływanie. Analizy takie oraz projekty techniczne układów do kompensacji mocy biernej i filtrów wyższych harmonicznych wykonuje BSiPG Gliwice.

5. ZESTAWIENIE MODERNIZOWANYCH NAPĘDÓW MASZYN WYCIĄGOWYCH

W tabelicy 1 podano wykaz zaprojektowanych przez BSiPG Gliwice modernizacji napędów elektrycznych maszyn wyciągowych w układzie Leonarda. Z tabelicy tej wynika, że większość spośród zrealizowanych do chwili obecnej lub będących w trakcie montażu modernizacji to napędy przekształtnikowe prądu stałego /7 szt./, które umożliwiły uzyskanie dużych oszczędności energii elektrycznej. Niezależnie od wykonanych projektów technicznych modernizacji, zestawionych w tabelicy 1, BSiPG Gliwice opracowało 8 projektów koncepcyjnych i analiz techniczno-ekonomicznych dla następnych maszyn wyciągowych przewidzianych do modernizacji. Są to maszyny z napędem elektrycznym zarówno w układzie Leonarda, jak i z przekładniowym napędem asynchronicznym, z czego 5 projektów ma duże szanse realizacji. Głównym czynnikiem ograniczającym aktualnie wprowadzanie energooszczędnych napędów przekształtnikowych do czynnych maszyn wyciągowych są wysokie koszty urządzeń i usług montażowych i brak środków na sfinansowanie inwestycji.

TABLICA 1

Zostawienie modernizacji maszyn wyciągowych, zaprojektowanych przez BSiPG Gliwice

Lp.	Kopalnia, szyb/ przedział	Typ maszyny	Typ na- pędu po moder- nizacji	Rok opracowania dokumentacji	Rok uruchomie- nia napędu
1.	Staszio sz.I - zach.	4L-4000/3000	T+L	1972	1974
2.	Staszio sz.I - wsoh.	4L-4000/3000	T+L	1976	1981
3.	Knurów sz.III - wsoh.	1MK4x4 /ZSRR/	T	1982	1987
4.	Kazimierz - Juliusz sz.KI	IK-6000/11001 /ABG/	T	1986	1988
5.	Anna sz.I-wsoh.	IK-6000/2x 585 /SSW/	L	1983	1984
6.	Anna sz.I-zach.	IK-6000/18001 /BBC/	L	1983	1984
7.	Bobrek sz. "Józef"	K-7000/22001 /SKODA/	LT	1985	1986
8.	Jowisz sz. I "Edward"	BB-5500/920 /SSW/	T	1987	w montażu
9.	Olkusz sz. I "Chrobry"-skip	BB-4500/ 1600	T+L	1988	w montażu
10.	Kłodawa I sz. "Barbara"	IK-6500/24001	LT	1987	w montażu
11.	Wieliozka I sz. "Kinga"	1BB-3200	T	1988	w montażu
12.	Sońnica sz.IV I- ptn.	4L-4250/2x 1x 2400	LT	1985	niezrealiz.
13.	Sońnica sz.IV I ptd.	4L-4250/2x 1x 2400	LT	1985	-"
14.	Pniówek sz.II I- wsoh.	IK-6000/16001	LT	1985	-"
15.	Chwałowiec I sz. II-A	ABG/860+ +680	LT	1979	-"
16.	Szozygłowice I sz. II-A	IK-6500/24001	LT	1984	-"
17.	Wujek I sz. "Krakus" - Zach.	IK-7000/14001	LT	1982	niezrealiz.

T - napęd przekształtnikowy prądu stałego,

LT - napęd w układzie Leonarda z wzbudzonościami tyrystorowymi,

T+L - napęd przekształtnikowy z możliwością przełączenia na układ Leonarda,

L - napęd w układzie Leonarda z wzbudzonościami maszynowymi.

6. WNIOSKI

- a/ Biuro Studiów i Projektów Górniczych Gliwice oferuje szeroką gamę rozwiązań modernizacyjnych maszyn wyciągowych z wykorzystaniem produkowanych seryjnie i sprawdzonych w eksploatacji urządzeń energoelektronicznych.
- b/ Najbardziej zalecanym wariantem modernizacji maszyn wyciągowych jest zastosowanie energooszczędnych napędów prądu stałego i zmiennego, umożliwiających uzyskanie dużych oszczędności energii elektrycznej i stosunkowo szybki zwrot nakładów inwestycyjnych.
- c/ Decyzja o podjęciu modernizacji maszyny wyciągowej powinna być poprzedzona kompleksową analizą oddziaływania projektowanego napędu przekształtnikowego na sieć zasilającą i gospodarkę mocą bierną kopalni.
- d/ Podstawowym czynnikiem ograniczającym aktualnie wdrażanie energooszczędnych rozwiązań napędów w czynnych maszynach wyciągowych są wysokie ceny urządzeń i usług montażowych oraz brak środków na sfinansowanie inwestycji.

LITERATURA

- [1] Nowoczesne napędy elektryczne górniczych maszyn wyciągowych - teksty referatów z Konferencji Naukowo-Technicznej "NAPĘDY 85".
- [2] Analiza techniczno-ekonomiczna stosowania tyrystorowych układów sterowania maszynami wyciągowymi w kopalniach PW. Praca EMAG - Katowice 1979 r.
- [3] Analiza techniczno-ekonomiczna i koncepcja modernizacji napędów maszyn wyciągowych szybu "Wanda" KWK Pokój nr proj. 91-0068. Praca BSIPG Gliwice 1991 r.
- [4] Koncepcja i analiza T-E modernizacji napędu maszyny wyciągowej K-4000/660 szybu IV KWK Śląsk - nr proj. 91-0126 Praca BSIPG Gliwice 1991 r.

Recenzent: Doc.dr inż. Jerzy Hickiewicz

Wpłynęło do Redakcji w maju 1992 r.

BSIPG - GLIWICE APPROACH TO MODERNIZATION
OF WINDER ELECTRIC DRIVES

S u m m a r y

The paper deals with selection criteria and review of modernization methods of winder electric drives designed by BSIPG - Gliwice. The presented methods concern chiefly big and medium size winders installed in main shafts (mineral transport, man riding).

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ
ПО РЕШЕНИЯМ БСИПГ В ГЛИВИЦАХ

Р е з ю м е

В работе обсуждаются критерии выбора и просмотр решений по модернизации электрических приводов подъемных устройств, запроектированных в Конструкторском бюро горной промышленности (BSIPG) в Гливицах. Представленные решения относятся прежде всего ко всем подъемным устройствам большой и средней мощности, установленным в главных грузовых стволах и стволах для подъема людей в шахтах.