

Sergiusz BORON
Politechnika Śląska, Gliwice

WYBRANE PROBLEMY PROJEKTOWANIA INSTALACJI PRZODKOWYCH O NAPIĘCIU ZNAMIONOWYM POWYŻEJ 1 kV

Streszczenie. Wzrastające wartości mocy jednostkowych maszyn górniczych pracujących w przodkach ścianowych uzasadniają celowość podwyższenia napięcia zasilania tych maszyn. W referacie przedstawiono wybrane problemy projektowania sieci przodkowych o napięciu powyżej 1 kV. Szczególną uwagę poświęcono różnicom pomiędzy sieciami o napięciu do 1 kV i powyżej 1 kV oraz problemom występującym podczas obliczania sieci na napięcie 3,3 kV zasilających silniki przenośników ścianowych.

DESIGNING OF MEDIUM VOLTAGE MINING NETWORKS IN LONGWALL FACES – SELECTED PROBLEMS

Summary. Medium voltage is often used for supplying electrical motors in longwall faces due to increasing power of these machines. Selected problems of designing this kind of networks have been presented, especially differences between LV and MV networks and problems with installations supplying face conveyors.

1. Wprowadzenie

Dążenie zakładów górniczych do obniżenia kosztu jednostkowego wydobycia węgla wiąże się m.in. ze zmniejszaniem liczby czynnych ścian przy jednoczesnym zwiększaniu wydobycia z jednej ściany. Wynika z tego konieczność stosowania maszyn urabiających i odstawczych o zwiększonej wydajności, co z kolei skutkuje wzrostem mocy jednostkowej zainstalowanych w ścianie silników. W przypadku silników dużej mocy zasilanych napięciem 1000 V zwiększony pobór prądu, zarówno podczas pracy ustalonej, jak i podczas rozruchu, powoduje konieczność usytuowania stacji transformatorowych zasilających maszyny ścianowe w niedużej odległości od ściany (maksymalnie 250–300 m), co powoduje potrzebę

częstej ich przebudowy w ślad za postępem frontu ściany. Jednym ze sposobów poprawy warunków zasilania silników maszyn górniczych jest zwiększenie napięcia znamionowego sieci oddziaływowych. Przedsięwzięcie to jest jednak związane z koniecznością poniesienia przez zakłady górnicze dużych nakładów finansowych na zakup lub dzierżawę maszyn i urządzeń, ale na obecnym etapie technologicznym należy je uznać za najbardziej efektywne.

2. Charakterystyka sieci SN zasilających maszyny przodkowe

W polskich kopalniach pierwsze instalacje kombajnowe na napięcie ponad 1000 V zostały dopuszczone do ruchu kilkanaście lat temu. Obecnie w polskich kopalniach pracuje lub planowane jest uruchomienie kilkunastu sieci oddziaływowych zasilanych napięciem powyżej 1 kV, przy czym napięcie znamionowe tych instalacji może być równe 3,3 lub 6 kV [1].

Zastosowanie średniego napięcia do zasilania maszyn w przodkach wydobywczych niesie ze sobą wiele korzyści, z których najważniejsze to:

- mniejsza wartość prądu pobieranego przez silnik podczas pracy ustalonej i podczas rozruchu,
- zmniejszenie wartości spadków napięcia,
- zmniejszenie strat energii w sieci oddziaławowej,
- możliwość zastosowania kabli i przewodów oponowych o mniejszym przekroju żył, charakteryzujących się mniejszą masą i promieniem zgięcia,
- możliwość zwiększenia odległości pomiędzy stacją transformatorową a zasilaną maszyną (nawet do ponad 3000 m),
- ograniczenie konieczności dokonywania przebudowy stacji transformatorowych w ślad za postępem frontu ściany,
- możliwość wyeliminowania ciepła wydzielanego przez stacje transformatorowe z obiegu powietrza dochodzącego do ściany (często podnoszony argument, zwłaszcza przy eksploatacji głębokich pokładów).

Decyzja o zastosowaniu średniego napięcia do zasilania maszyn oddziaływowych powinna być jednak poprzedzona odpowiednią analizą techniczną i ekonomiczną, w której trzeba uwzględnić m.in. takie czynniki, jak:

- wysoki koszt maszyn, aparatury i przewodów na napięcie 3,3 kV lub 6 kV, uzasadniony tylko w przypadku przewidywanej dużej wydajności kompleksu ścianowego,
- odpowiednia wartość mocy zwarciowej na szynach rozdzielnicy zasilającej [5],
- możliwe negatywne skutki szybkiego postępu frontu eksploatacyjnego (zagrożenia tapaniami, zagrożenie pyłowe, szkody górnicze),
- wzrost zagrożeń elektrycznych [4, 7].

Podczas projektowania sieci elektrycznej o napięciu znamionowym powyżej 1 kV, zasilającej maszyny przodkowe, należy uwzględnić pewne specyficzne (w porównaniu do instalacji na napięcie do 1 kV) wymagania i uwarunkowania [2]:

- zaostrome kryteria doboru nastaw zabezpieczeń zwarciowych (zwiększona do 2 wartość współczynnika czułości, konieczność rezerwowania zabezpieczeń w rozrusznikach kopalnianych przez zabezpieczenie w stacji transformatorowej),
- ograniczenie maksymalnej pojemności doziemnej sieci zasilanej z jednego transformatora do $2,5 \mu\text{F}/\text{fazę}$,
- konieczność stosowania odpowiednich typów kabli i przewodów oponowych (izolacja o niskim współczynniku przenikalności elektrycznej względnej, dodatkowe wymagania dotyczące ekranowania przewodów oponowych),
- zwiększona rezystancja nastawcza zabezpieczeń upływowych centralnych i odcinkowych (blokujących),
- napięcie znamionowe strony wtórnej stosowanych transformatorów zasilających sieć o napięciu znamionowym $U_n = 3,3 \text{ kV}$ może być mniejsze od $1,05 U_n$.

Często jednym z zadań projektanta sieci jest określenie maksymalnej odległości pomiędzy stacją transformatorową a odbiornikami. Odpowiednie bowiem usytuowanie stacji (np. poza chodnikiem podścianowym) pozwala na zlikwidowanie konieczności dokonywania przebudowy stacji w trakcie eksploatacji ściany, co z kolei pozwala uniknąć wykonywania poszerzeń wyrobiska i obłożenia załogi w dni wolne od wydobywania. W praktyce, w zależności od konfiguracji sieci, czynniki ograniczające odległość stacji transformatorowej od odbiornika mogą być różne:

- spadek napięcia podczas pracy ustalonej; sytuacja mogąca wystąpić w sieciach o napięciu $U_n = 3,3 \text{ kV}$ zasilanych z transformatorów o napięciu znamionowym strony wtórnej równym U_n ,

- warunek wymaganej czułości zabezpieczenia zwarciovego odcinka zasilającego bezpośrednio maszynę przodkową (od rozrusznika do odbiornika); dobór nastawy zabezpieczenia w stacji transformatorowej w praktyce nie przysparza większych trudności,
- spadek napięcia podczas rozruchu silnika; w praktyce czynnikiem ograniczającym może być zarówno wymaganie co do odpowiedniego momentu rozruchowego silnika, jak i odpowiedniej wartości napięcia na zaciskach rozrusznika,
- warunek ograniczenia wartości pojemności doziemnej sieci do $2,5 \mu\text{F}/\text{fazę}$ (co przy typowych przekrojach żył oznacza, że z jednej stacji transformatorowej może być zasilana sieć, w której sumaryczna długość kabli i przewodów oponowych nie przekracza ok. 5 km); warunek ten może ograniczać maksymalną odległość do stacji transformatorowej w przypadku, gdy rozruszniki kopalniane mają być usytuowane nie w pobliżu czoła ściany, lecz przy stacji transformatorowej.

3. Problemy zasilania silników przenośników ścianowych

W większości eksploatowanych w polskim górnictwie instalacji przodkowych średnie napięcie jest wykorzystywane tylko do zasilania kombajnu ścianowego. Urządzenia odstawy (w tym przenośniki ścianowe) zasilane są wtedy napięciem 1000 V. Istnieją jednak instalacje, w których napięcie 3300 V wykorzystywane jest również do zasilania innych maszyn. Duże wartości mocy znamionowych silników, zwłaszcza przenośnika ścianowego, mogą sprawiać trudności z zapewnieniem wymaganej wartości współczynników czułości zabezpieczeń zwarciovych oraz wymaganej wartości napięcia na zaciskach silników podczas rozruchu (zwłaszcza przy stosowaniu tradycyjnego, czysto elektromechanicznego układu napędowego). Z tego względu, w ostatnich latach coraz częściej stosowane są rozwiązania techniczne, których zadaniem jest poprawa właściwości rozruchowych przenośników ścianowych [3, 6]. Należy tu wymienić przede wszystkim napędy z silnikami dwubiegowymi, z rozrusznikami tyrystorowymi oraz ze sprzęgłem hydrodynamicznym przepływowym. Poza niewątpliwymi zaletami z „mechanicznego” punktu widzenia (ograniczanie obciążeń dynamicznych podczas rozruchów), stosowanie tego typu układów pozwala często na spełnienie warunków wynikających z wymagań dotyczących sieci elektrycznej w sytuacjach, w których przy zastosowaniu napędu tradycyjnego, jest to niemożliwe.

3.1. Napędy z silnikami dwubiegowymi

W przypadku napędu przenośnika ścianowego za pomocą silników dwubiegowych rozruch odbywa się na pierwszym biegu, charakteryzującym się mniejszą wartością prądu rozruchowego przy większym momencie rozruchowym w porównaniu z biegiem drugim. W praktyce stosowane są silniki o stosunku mocy na obu biegach 1:3 lub 1:2, przy czym wartości znamionowych momentów obrotowych poszczególnych biegów są zbliżone. W tabelicy 1 przedstawiono dla przykładu dane techniczne silnika dwubiegowego SG3 450-8/4.

Tablica 1
Dane znamionowe silnika dwubiegowego typu SG3 450-8/4

	I bieg	II bieg
Moc znamionowa	200 kW	400 kW
Prąd znamionowy	54 A	84 A
Współczynnik mocy $\cos \varphi$	0,70	0,88
Prędkość obrotowa	740 obr/min	1483 obr/min
Moment znamionowy	2581 Nm	2576 Nm
Prąd rozruchowy	5,1 I_n	6,8 I_n
Moment rozruchowy	3,2 M_n	2,4 M_n

Z punktu widzenia projektanta sieci elektrycznej najważniejsze zalety napędu z silnikami dwubiegowymi to:

- zmniejszona wartość prądu rozruchowego na I biegu, co ułatwia spełnienie warunku wymaganej czułości zabezpieczeń zwarciovych oraz ogranicza wartości spadków napięcia podczas rozruchu,
- duża wartość znamionowego momentu rozruchowego na I biegu, pozwalająca na uruchomienie (i rozładowanie) przenośnika nawet przy jego maksymalnym załadowaniu (rzeczywista wartość momentu rozwijanego przez silnik przy rozruchu zależy od napięcia na zaciskach silnika, a dzięki mniejszemu prądowi rozruchowemu spadek napięcia jest stosunkowo niewielki).

Pełna analiza warunków rozruchowych, w tym obliczenie wartości prądu rozruchowego pobieranego przez silnik podczas przełączania biegów, wymaga jednak znajomości wzajemnego dopasowania mocy i momentów (znamionowego oraz rozruchowego) maszyny i silnika. Na etapie projektowania sieci elektrycznej trudności może przysparzać niepełna

znajomość charakterystyki mechanicznej maszyny napędzanej, a często również tylko przybliżone wartości parametrów silników (w przypadku, gdy silnik, który ma być zastosowany, nie jest jeszcze wyprodukowany). Aby w pełni wykorzystać zalety silników dwubiegowych konieczne jest zatem stosowanie układów sterowania zapewniających szybkie przełączanie biegów.

3.2. Napędy z rozrusznikami tyrystorowymi

Stosowanie rozruszników tyrystorowych, w układzie zasilania silników przenośnika ścianowego, pozwala na stopniowe zwiększanie wartości momentu rozwijanego przez silniki podczas rozruchu. Działanie stosowanych układów sterowania polega na ograniczaniu wartości prądu rozruchowego do nastawionej wartości (tzw. rozruch prądowy) lub narastaniu napięcia od wartości nastawionej (tzw. rozruch napięciowy). Zdarzają się jednak sytuacje wymagające przełączenia rozrusznika w tryb pracy z tzw. obejściem, czyli z wyeliminowaniem łagodnego rozruchu (rozruch stycznikowy). Podczas obliczania wartości współczynników czułości zabezpieczeń zwarciovych trzeba wziąć pod uwagę największą możliwą wartość prądu roboczego (w tym przypadku będzie to prąd rozruchowy podczas rozruchu stycznikowego), dlatego stosowanie rozruszników tyrystorowych w zasadzie nie ułatwia spełnienia wymagań w porównaniu z klasycznymi rozrusznikami stycznikowymi.

3.3. Napędy ze sprzęgłami hydrodynamicznymi

Układy napędowe wyposażone w nowoczesne sprzęgła hydrodynamiczne (np. firmy Voith) pozwalają na uruchamianie silników napędowych w stanie praktycznie bezobciążeniowym, a zmiana momentu przekazywanego przez sprzęgło odbywa się poprzez regulację zasilania sprzęgła w ciecz roboczą. Dzięki temu, podczas rozruchu wykorzystany może być moment napędowy silnika odpowiadający nawet wartości momentu krytycznego, co umożliwia rozruch przeładowanego przenośnika. Silniki przeznaczone do współpracy z takimi sprzęgłami charakteryzują się dużą wartością momentu krytycznego i prądu rozruchowego, przy jednoczesnej niewielkiej wartości względnego momentu rozruchowego. Dane techniczne wybranych silników na napięcie znamionowe 3300 V przeznaczonych do współpracy ze sprzęgłami hydrodynamicznymi w napędach przenośników ścianowych przedstawiono dla przykładu w tablicy 2.

Tablica 2

Dane znamionowe silników współpracujących ze sprzęgłami hydrodynamicznymi

Typ silnika	SG3 400X-4	SG3 450X-4
Moc znamionowa	400 kW	500 kW
Prąd znamionowy	84,5 A	107 A
Współczynnik mocy $\cos \varphi$	0,87	0,86
Prędkość obrotowa	1486 obr/min	1489 obr/min
Moment znamionowy	2575 Nm	3207 Nm
Prąd rozruchowy	7,8 I_n	7,2 I_n
Moment krytyczny	3,2 M_n	2,9 M_n
Moment rozruchowy	1,8 M_n	1,2 M_n

Duża wartość prądu rozruchowego powoduje powstawanie dużych spadków napięcia podczas rozruchu, przez co wartość momentu rozwijanego podczas rozruchu jest niewielka (często mniejsza od momentu znamionowego), nie wpływa to jednak na właściwości ruchowe napędu z uwagi na fakt, że silniki uruchamiane są w stanie bezobciążeniowym. Duże spadki napięcia mogą jednak powodować obniżenie napięcia na zaciskach rozruszników zasilających silniki do wartości mniejszej od wymaganej ($0,75 U_n$). Pewne problemy może też sprawiać zapewnienie wymaganej wartości współczynnika czułości zabezpieczeń zwarciovych w rozrusznikach zasilających poszczególne silniki przenośnika. Dzięki sekwencyjnemu załączaniu silników dobór nastawy zabezpieczenia zwarciovego w stacji transformatorowej nie stanowi jednak większego problemu. W przypadku jednoczesnego uruchamiania dwóch lub trzech silników zasilanych z jednego odpływu stacji, prądy rozruchowe silników sumują się, co może uniemożliwiać dobór nastawy zabezpieczenia.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych w niniejszym referacie analiz można sformułować następujące wnioski i uwagi końcowe:

- podstawowe korzyści wynikające z zastosowania napięcia powyżej 1 kV wiążą się z możliwością usytuowania stacji transformatorowej zasilającej maszyny przodkowe w większej odległości od czoła ściany,

- decyzja o wprowadzeniu średniego napięcia do zasilania instalacji przodkowej powinna uwzględniać ograniczenia wynikające z uwarunkowań technicznych, ekonomicznych i bezpieczeństwa,
- maksymalna odległość pomiędzy stacją transformatorową a zasilanymi maszynami może być ograniczona wymaganiami odnośnie do wymaganej czułości zabezpieczeń zwarciovych, spadków napięcia podczas pracy ustalonej, wymaganego momentu rozruchowego silników lub ograniczenia wartości pojemności doziemnej sieci,
- stosowanie nowoczesnych układów napędowych przenośników ścianowych prowadzi do polepszenia warunków rozruchowych silników oraz ułatwia spełnienie wymagań dotyczących sieci elektrycznej (dotyczy to zwłaszcza napędów z silnikami dwubiegowymi oraz wyposażonych w sprzęgła hydrodynamiczne),
- pełna analiza procesu rozruchu silników na etapie projektowania sieci może być utrudniona niedostateczną znajomością charakterystyki mechanicznej maszyny napędzanej, jak również rzeczywistych parametrów silników.

LITERATURA

1. PN-G-42000:1996 Górnictwo. Elektroenergetyka kopalniana. Napięcia znamionowe.
2. PN-G-42070:2000 Elektroenergetyka kopalniana. Sieci elektroenergetyczne o napięciu znamionowym powyżej 1 kV zasilające maszyny przodkowe. Wymagania.
3. Antoniak J.: Współczesne systemy napędowe wysoko wydajnych ścianowych przenośników zgrzeblowych. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, nr 6/2001.
4. Boron W.: Bezpieczeństwo eksploatacji przewodów oponowych w instalacjach ścianowych o napięciu powyżej 1 kV. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, nr 11/1996.
5. Cholewa A., Gawor P., Krasucki F.: Moc zwarciova kopalnianych sieci rozdzielczych 6 kV jako kryterium zasilania kompleksów ścianowych dużej wydajności. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, nr 1/1997.
6. Dolipski M.: Zdolności rozruchowe przenośnika zgrzeblowego. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, nr 8/1997.
7. Zapart M., Borkowski Z., Krasnowski S.: Zasilanie kompleksów ścianowych napięciem powyżej 1 kV. *Miesięcznik WUG*, nr 7/2000.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Bogdan Miedziński