

Piotr GAWOR
Politechnika Śląska, Gliwice

PROGNOZOWANIE MOŻLIWOŚCI ZASILANIA WYSOKO WYDAJNYCH KOMPLEKSÓW ŚCIANOWYCH Z ISTNIEJĄCEJ SIECI RODZIELCZEJ ZAKŁADU GÓRNICZEGO

Streszczenie. W artykule przeprowadzono analizę warunków zasilania wysoko wydajnych kompleksów ścianowych. Przedstawiono sposób oceny możliwości zasilania takich kompleksów z istniejącej sieci rozdzielczej zakładów górniczych.

PROGNOSIS OF POSSIBILITIES OF FEEDING THE HIGH-EFFICIENCY WALL COMPLEXES IN THE EXISTING DISTRIBUTION NETWORK OF COAL-MINE

Summary. In the paper there are analysed conditions of feeding for the high-efficiency wall complexes. The valuation of possibilities of feeding such complexes in the existing distribution net of coal-mines is presented.

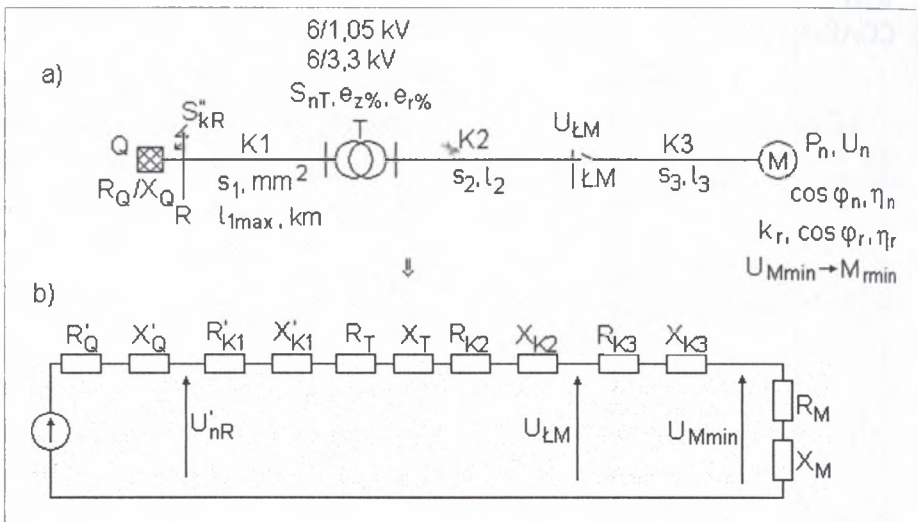
1. Wprowadzenie

Silniki elektryczne maszyn górniczych stosowanych w wysoko wydajnych kompleksach ścianowych charakteryzują się stosunkowo dużymi wartościami mocy znamionowej (200 do 800 kW), co powoduje, że łączna moc zapotrzebowana w takich kompleksach osiągać może wartość kilku megawatów. Odbiory o tak dużej mocy powinny być zasilane z sieci charakteryzującej się możliwie małą impedancją zastępczą (z tzw. sieci sztywnej), pozwalającej zapewnić odpowiednio duże wartości napięć roboczych w stanie pracy ustalonej i podczas rozruchu silników. Nie wszystkie istniejące sieci rozdzielcze SN w zakładach górniczych mogą sprostać tym wymaganiom. Należy zatem przed podjęciem decyzji o zastosowaniu wysoko wydajnego kompleksu ścianowego przeprowadzić analizę istniejącej sieci rozdzielczej pod

kątem możliwości przyłączenia do niej tak specyficznego odbioru. Przedstawiona w artykule uproszczona analiza wzajemnej współpracy sieci rozdzielczej z siecią kompleksu ścianowego i jego maszynami pozwala ocenić największe moce znamionowe tych maszyn i największe dopuszczalne długości kabli SN zasilających transformatory przodkowe od istniejących rozdzielnic średniego napięcia o określonej mocy zwarciowej.

2. Uproszczony układ zasilania maszyn wysoko wydajnego kompleksu ścianowego

Silniki maszyn kompleksu ścianowego zasilane są obecnie głównie napięciem 1000 V, a w przypadku maszyn o szczególnie dużej wydajności, napięciem 3300 V. Możliwe jest również zastosowanie silników na napięcie znamionowe 6 kV (zwłaszcza w odniesieniu do kombajnów). W każdym z tych przypadków zastosowana jest przewoźna stacja transformatorowa zasilana z sieci rozdzielczej SN. Na rys. 1a przedstawiono schemat uproszczonego układu zasilania silnika M wybranej maszyny kompleksu ścianowego.



Rys. 1. Przyjęty uproszczony sposób zasilania urządzeń kompleksu przodkowego (P_{MP}). a) schemat sieci zasilającej urządzenia kompleksu, b) schemat zastępczy toru zasilającego maszynę podlegającą rozruchowi

Fig. 1. Accepted simplified way of feeding the heading complex devices (P_{MP}). a) scheme of the feeding network of complex devices, b) equivalent scheme of the track feeding the starting machine

W układzie tym wyróżnić można następujące ważniejsze elementy:

- sieć elektroenergetyczną Q zasilającą rozdzielnicę średniego napięcia R , z której przewidyje się zasilac kompleks ścianowy; właściwości tej sieci scharakteryzowane są wartością mocy zwarciowej S_{KR} ''
- kabel K1 zasilający przewoźną stację transformatorową T ,
- przewoźną stację transformatorową T obniżającą napięcie rozdzielcze 6 kV do 1000 V lub 3300 V (a w przypadku zasilania kombajnu napięciem 6 kV – separującą sieć rozdzielczą od sieci przodkowej),
- sieć zasilającą maszynę roboczą, na którą składa się zwykle kabel K2 i przewód oponowy K3.

Zdolność sieci do zasilania przodków eksploatacyjnych określona może być dwiema najważniejszymi własnościami:

- a) odpowiednim poziomem napięcia w określonych punktach sieci odbiorczej, zwłaszcza podczas rozruchów silników maszyn górniczych,
- b) zgodną z wymaganiami przepisów czułością zabezpieczeń zwarciowych.

W obydwu przypadkach istotną rolę odgrywa wartość mocy zwarciowej na szynach rozdzielnic, z których przewiduje się zasilanie przodków eksploatacyjnych. Duża liczba i różnorodność czynników wiążących minimalne napięcie na zaciskach ruszającego silnika maszyny przodkowej z wartością mocy zwarciowej na szynach rozdzielnicy średniego napięcia, szczególnie, jeśli dotyczy to sytuacji prognozowanej, sprawia, że w analizie niezbędne są założenia upraszczające. Przyjmując takie założenia wyprowadzić można [1] następujący wzór pozwalający przewidywać wzajemne związki między mocą zwarciową w sieci 6 kV (S_{KR}^*), mocą czynną znamionową największego silnika kompleksu przodkowego (P_n) oraz siecią zasilającą poszczególne urządzenia kompleksu:

$$S_{KR}^* = \frac{1,1 \cdot U_{nR}^2 \cdot \beta}{\Theta^2 \cdot \sqrt{k_s^2 + 1} \cdot \left[\frac{U_n^2 \cdot (U_{LM} - U_{Mmin})}{c \cdot U_{Mmin} \cdot P_n} \cdot 10^3 - \alpha \right]} \quad (1)$$

gdzie

U_n – napięcie znamionowe silnika, kV,

U_{nR} – napięcie nominalne sieci rozdzielczej, kV,

U_{LM} – napięcie robocze na szynach zestawu rozdzielczego (łącników manewrowych) przed włączeniem silnika, kV,

- U_{Mmin} – minimalne dopuszczalne napięcie na zaciskach silnika ze względu na poprawny jego rozruch (uzyskanie właściwego momentu rozruchowego), kV,
 P_n – moc czynna znamionowa największego silnika kompleksu przodkowego, kW,
 $k_s = R_Q/X_Q$ – stosunek rezystancji zastępczej do reaktancji zastępczej sieci zasilającej rozdzielnicę SN,
 Θ – przekładnia znamionowa transformatora zasilającego maszyny kompleksu, równa stosunkowi napięcia znamionowego pierwotnego do wtórnego,
 c, β – współczynniki charakteryzujące właściwości silnika podczas rozruchu i sieci zasilającej kompleks, równe:

$$c = \frac{k_r \cdot I_n}{I_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} \quad \beta = k_s \cdot \cos \varphi_r + \sin \varphi_r$$

przy czym

k_r – krotność prądu rozruchowego silnika ($k_r = I_r/I_n$),

I_n, I_r – prądy: znamionowy i rozruchowy silnika,

$\cos \varphi_n, \cos \varphi_r$ – współczynniki mocy silnika: znamionowy i podczas rozruchu,

η_n – sprawność znamionowa silnika,

α – współczynnik charakteryzujący sieć zasilającą i właściwości rozruchowe silnika, równy:

$$\alpha = (R'_{K1} + R_T + R_{K2} + R_{K3}) \cdot \cos \varphi_r + (X'_{K1} + X_T + X_{K2} + X_{K3}) \cdot \sin \varphi_r$$

K1, T, K2, K3, – elementy sieci zasilającej poszczególne urządzenia kompleksu (rys. 1); parametry kabla K1 i transformatora przeliczone są na stronę dolnego napięcia.

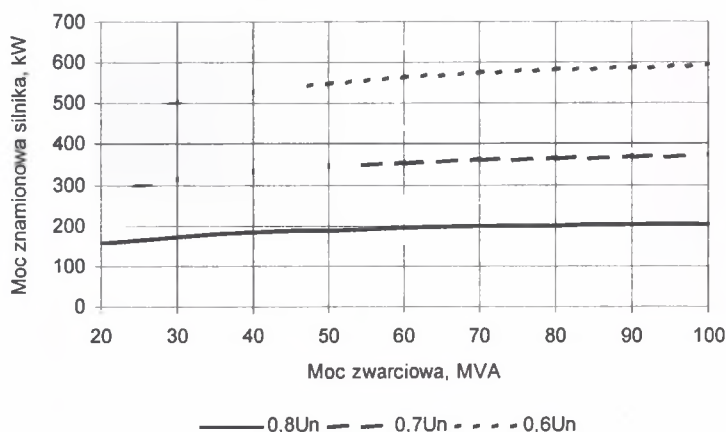
Wzór ten umożliwia przeprowadzanie wstępnych obliczeń wartości wielkości charakteryzujących wybrany element układu zasilania maszyny przy założonych parametrach pozostałych elementów. Pozwala to dokonać wstępnej prognozy możliwości przyłączenia określonego kompleksu ścianowego do istniejącej sieci lub oceny możliwości rozbudowy tej sieci w celu zasilania przodków w odległych rejonach eksploatacyjnych.

3. Określenie największych dopuszczalnych mocy znamionowych maszyn kompleksu

Przyjmując określone wielkości charakteryzujące sieć zasilającą (elementy Q, K1, K2, K3), transformator (T) i silnik (M), wyznaczyć można maksymalną wartość mocy znamiono-

wej tego silnika, przy której napięcie na jego zaciskach podczas rozruchu będzie miało wartość zapewniającą uzyskanie momentu rozruchowego wystarczającego do uruchomienia maszyny. Wartość napięcia U_{Mmin} , niezbędna do uzyskania odpowiedniego momentu rozruchowego M_{min} , zależna będzie ponadto od zastosowanych środków ułatwiających rozruch maszyny, tzn. rodzaju sprzęgła, ew. urządzenia łagodnego rozruchu, zastosowania silników dwubiegowych. Na rys. 2 przedstawiono zależność maksymalnej mocy znamionowej silnika, którego rozruch będzie możliwy, od mocy zwarciowej na szynach rozdzielnicy SN, z której zasilany będzie kompleks przodkowy dla trzech wartości napięcia niezbędnego do uzyskania odpowiedniego momentu rozruchowego: $U_{Mmin} = 0,8 U_n$, $U_{Mmin} = 0,7 U_n$, $U_{Mmin} = 0,6 U_n$.

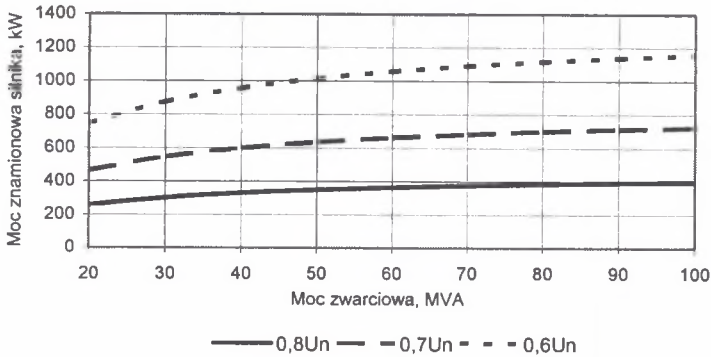
Z rys. 2 wynika, że największych ograniczeń należy się spodziewać w przypadku, gdy stosowany jest rozruch bezpośredni silników maszyn kompleksu przodkowego, wymagający odpowiednio dużej wartości napięcia zasilającego (np. $0,8 U_n$). Poprawny rozruch silnika o mocy ok. 200 kW możliwy jest w sieci zasilanej z rozdzielnicy 6 kV o mocy zwarciowej przekraczającej ok. 60 MVA. Jest to stosunkowo wysoka wartość mocy zwarciowej, nie zawsze w warunkach kopalnianych łatwa do osiągnięcia. W przypadku jednak zastosowania urządzeń łagodnego rozruchu lub sprzęgieł hydrokinetycznych (Voitha), gdy dopuszcza się większe spadki napięcia w sieci ($U_{Mmin} = 0,7 U_n$ do $0,6 U_n$), możliwy byłby rozruch silników o mocach przekraczających 300 do 500 kilowatów.



Rys. 2. Zależność maksymalnej mocy znamionowej silnika o napięciu znamionowym 1000 V, którego rozruch będzie możliwy, od mocy zwarciowej na szynach rozdzielnicy SN, z której zasilany ma być kompleks przodkowy

Fig. 2. Dependence of maximal power rating of the engine with voltage rating 1000 V, which start will be possible, on short-circuit power on the SN distributor's track, which is going to feed the heading complex

Na rys. 3 przedstawiono podobne zależności dotyczące zasilania maszyn przodkowych napięciem 3,3 kV.



Rys. 3. Zależność maksymalnej mocy znamionowej silnika o napięciu znamionowym 3300 V, którego rozruch będzie możliwy, od mocy zwarciovej na szynach rozdzielnic SN, z której zasilany ma być kompleks przodkowy

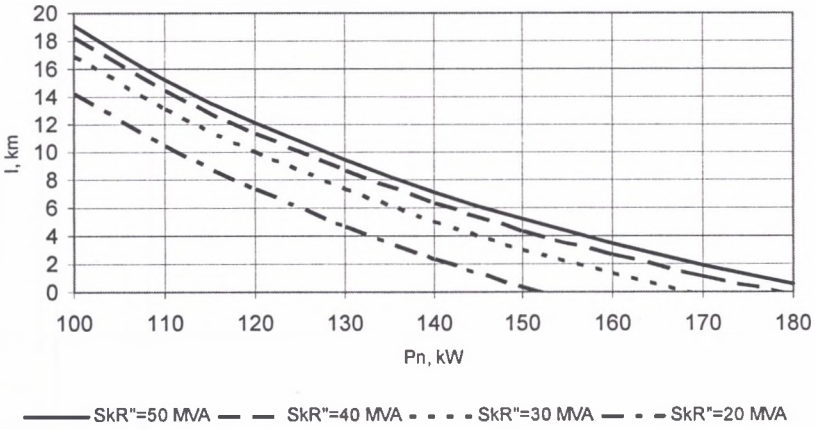
Fig. 3. Dependence of maximal power rating of the engine with voltage rating 3300 V, which start will be possible, on short-circuit power on the SN distributor's track, which is going to feed the heading complex

4. Określenie największych dopuszczalnych odległości transformatora zasilającego maszyny przodkowe od rozdzielnic SN

Jednym z ważniejszych elementów zasilania Kompleksu przodkowego jest kabel zasilający przewoźną stację transformatorową (kabel K1 na rys. 1a). Przy określonej lokalizacji rozdzielnic SN decyduje on o możliwości zasilania oddalonych od rozdzielnic rejonów eksploatacyjnych. Wzór (1) umożliwia przeprowadzenie wstępnej analizy wpływu parametrów tego kabla na jakość zasilania maszyn kompleksów przodkowych.

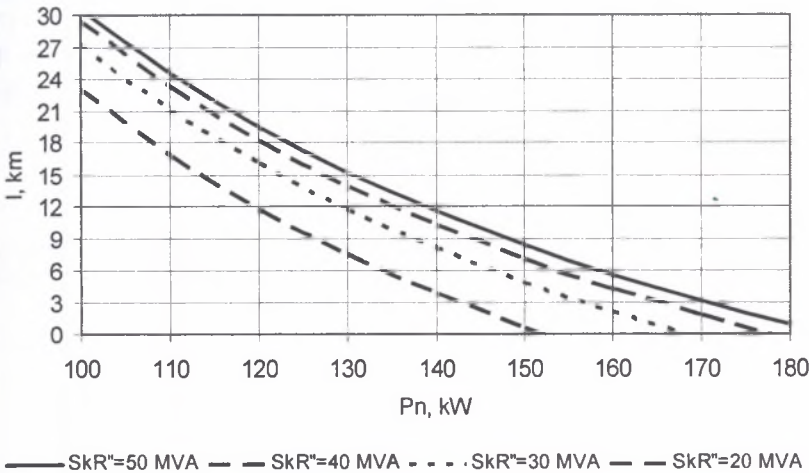
Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono obliczeniowe długości kabla K1, przy których spełnione będą warunki niezbędne do zapewnienia przeprowadzenia rozruchu silników kompleksu, tzn. odpowiedni poziom napięcia na zaciskach tych silników. W obliczeniach przyjęto następujące założenia (por. rys. 1a):

- kabel K2: 120 mm^2 ; 500 m; 1 kV,
- przewód oponowy K3: 95 mm^2 ; 200 m; 1 kV,
- transformator T: 6 kV/1,05 kV; $S_{nT} = 1000 \text{ kVA}$; $e_{2\%} = 4\%$; $e_{0,6\%} = 0,6\%$,
- silnik M: $\cos\varphi_n = 0,8$; $\eta_n = 0,93$ $\cos\varphi_r = 0,4$; $k_r = 5$.



Rys. 4. Zależność maksymalnej długości kabla K1 o przekroju żył roboczych 50 mm² (6 kV), przy której zapewniony będzie odpowiedni poziom napięcia ($U_{Amin} = 0,8 U_n$) na zaciskach ruszających silników kompleksu przodkowego o mocy znamionowej P_n , i napięciu znamionowym 1000 V przy różnych mocach zwarciovych SkR'' na szynach rozdzielnicy SN, z której zasilany ma być kompleks

Fig. 4. Dependence of maximal length of the K1 cable with strand section 50 mm² (6 kV), which warrants suitable voltage level ($U_{Amin} = 0,8 U_n$) on the connectors of starting engines of heading complex with power rating P_n and voltage rating 1000 V by different short-circuit powers SkR'' on the SN distributor's tracks, which is going to feed the complex



Rys. 5. Zależność maksymalnej długości kabla K1 o przekroju żył roboczych 120 mm² (6 kV), przy której zapewniony będzie odpowiedni poziom napięcia ($U_{Amin} = 0,8 U_n$) na zaciskach ruszających silników kompleksu przodkowego o mocy znamionowej P_n , i napięciu znamionowym 1000 V przy różnych mocach zwarciovych SkR'' na szynach rozdzielnicy SN, z której zasilany jest kompleks (kablem K1).

Fig. 5. Dependence of maximal length of the K1 cable with strand section 120 mm² (6 kV), which warrants suitable voltage level ($U_{Amin} = 0,8 U_n$) on the connectors of starting engines of heading complex with power rating P_n and voltage rating 1000 V by different short-circuit powers SkR'' on the SN distributor's tracks, which is going to feed the complex (with K1 cable)

5. Wnioski

1. Możliwość zasilania wysoko wydajnych kompleksów ścianowych z istniejących sieci rozdzielczych uzależniona jest przede wszystkim od:
 - wartości mocy zwarciowej na szynach rozdzielnic, z których mają być zasilane kompleksy,
 - przewidywanego sposobu przeprowadzania rozruchu największych silników maszyn kompleksu.
2. Rozdzielnice, z których przewiduje się zasilanie wysoko wydajnych kompleksów ścianowych, powinny się charakteryzować mocami zwarciovymi o wartościach nie mniejszych niż 60 MVA; w przypadku mniejszych mocy zwarciovych (nie mniej jednak niż ok. 40 MVA) celowe jest zastosowanie urządzeń zapewniających łagodny rozruch silników maszyn.
3. Przy niewielkich mocach zwarciovych na szynach rozdzielnic, z których przewiduje się zasilanie wysoko wydajnych kompleksów ścianowych, istotne znaczenie dla zapewnienia właściwych warunków ich zasilania ma przekrój kabla zasilającego przewoźną stację transformatorową; szczególnie dotyczy to sytuacji, gdy kompleks ścianowy eksploatowany ma być w rejonach odległych od rozdzielnicy średniego napięcia.

LITERATURA

1. Cholewa A., Gawor P., Krasucki F.: Moc zwarciowa kopalnianych sieci rozdzielczych 6 kV jako kryterium zasilania kompleksów ścianowych dużej wydajności. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* nr 1, 1997 r.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Bogdan Miedziński