

ZBIGNIEW OLSZEWSKI

Katedra Elektrotechniki Przemysłowej

DYNAMIKA HAMOWANIA AWARYJNEGO MASZINY WYCIĄGOWEJ

Streszczenie. W pracy przedstawiono schemat ideowy i blokowy napędu kopalnianej maszyny wyciągowej w otwartym układzie Leonarda w okresie hamowania awaryjnego, a następnie jego model analogowy.

Na podstawie przebiegów dynamicznych prądu, momentu i prędkości obrotowej silnika wyciągowego w czasie hamowania awaryjnego, które zdjęto w różnych warunkach ruchowych maszyny, przeprowadzono krótką analizę wpływu parametrów odzbudzenia obydwu maszyn na te przebiegi.

1. Uwagi ogólne

Znajomość stanów przejściowych w okresie hamowania awaryjnego maszyny wyciągowej dla wszystkich możliwych przypadków ruchowych jest niezbędna. Poznanie przebiegów przejściowych prądu i momentu silnika wyciągowego, oszacowanie wpływu tych parametrów na krzywą zanikania prędkości obrotowej i wyznaczenie największych chwilowych opóźnień hamowania daje możliwość, przez porównanie z granicznymi wartościami krytycznymi, oceny udziału tych wielkości w procesie hamowania awaryjnego.

Dotychczas znane metody analityczne obliczeń parametrów układu Leonarda dla stanu hamowania awaryjnego maszyny wyciągowej (metoda przybliżona, oraz metoda L. Szklarskiego i H. Góreckiego) pozwalają jedynie na orientacyjne, pośrednie oszacowanie procesów przejściowych w czasie hamowania i to tylko dla jednego, najbardziej niekorzystnego przypadku ruchowego.

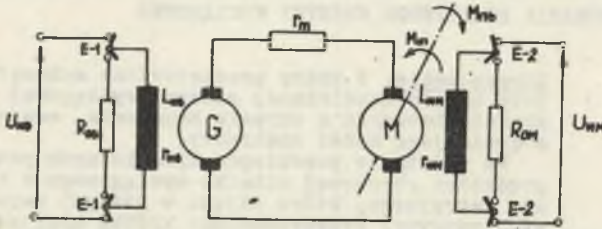
Biorąc to pod uwagę wydaje się, że najwłaściwszą metodą badania dynamiki maszyny wyciągowej w okresie hamowania awaryjnego będzie stosowanie modelowania za pomocą analogowych maszyn matematycznych.

W niniejszej pracy zastosowano metodę modelowania za pomocą charakterystyk dynamicznych poszczególnych członków, które otrzymano na podstawie równań różniczkowych rozpatrywanego układu. Badania przeprowadzono na maszynie analogowej typu MA-2 znajdującej się w Katedrze Elektrotechniki Przemysłowej Politechniki Śląskiej.

2. Analiza dynamiki procesów przejściowych w czasie hamowania awaryjnego maszyny wyciągowej

2.1. Schemat analogowy

Do badania przebiegów przejściowych hamowania awaryjnego przyjęto schemat ideowy przedstawiony na rys. 1. Jest to układ regulacji otwartej, w którym w czasie hamowania silnik i prądnica sterująca zostają jednocześnie



Rys. 1. Schemat ideowy maszyny wyciągowej w układzie Leonarda dla hamowania awaryjnego

nie odwzbudzone. W tym celu zamykają się styczniki E-1 i E-2 przez co uzwojenia wzbudzenia obu maszyn zostają przełączone na rezystancje rozładunkowe i jednocześnie odłączone od źródeł zasilania. Na podstawie schematu blokowego przedstawionego na rys. 2 oraz rozważań podanych w pracy [5] opracowano schemat analogowy maszyny wyciągowej w czasie hamowania awaryjnego (rys. 3).

W momencie zadziałania hamulca bezpieczeństwa obwody wzbudzenia prądnicy i silnika zostają pozbawione napięcia zasilania, wyłączniki W-1 i W-2 zostają otwarte, równocześnie wyłączniki W-3 i W-4 zostają zamknięte.

Jeżeli oznaczymy przez R_G i R_M sumaryczne rezystancje obwodów wzbudzenia prądnicy i silnika w czasie hamowania awaryjnego

$$R_G = R_{OG} + r_{wG} \quad (1)$$

$$R_M = R_{OM} + r_{wM} \quad (2)$$

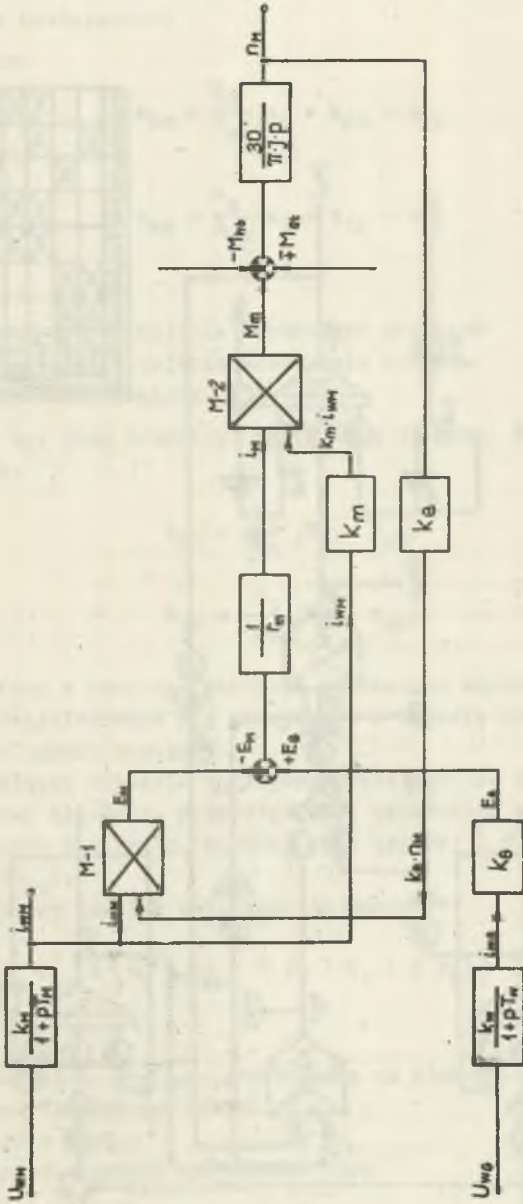
gdzie:

R_{OM} - rezystancja ochronna uzwojenia wzbudzenia silnika

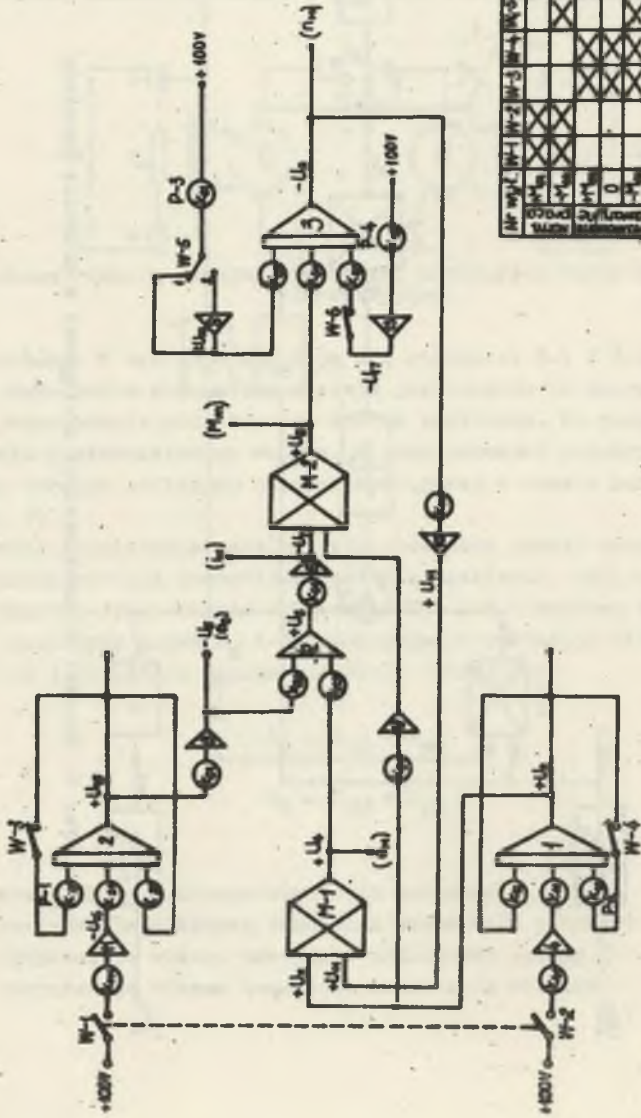
R_{OG} - rezystancja ochronna uzwojenia wzbudzenia prądnicy

r_{wG} - rezystancja własna uzwojenia wzbudzenia prądnicy

r_{wM} - rezystancja własna uzwojenia wzbudzenia silnika



Rys. 2. Schemat blokowy maszyny wyciągowej w układzie Leonarda



Rys. 3. Schemat analogowy do badania napędu maszyny wyciągowej w okresie hamowania awaryjnego

wtedy całkowity współczynnik ujemnego sprzężenia zwrotnego, decydujący o szybkości zanikania przebiegu przejściowego strumienia i prądu wzbudzenia określony jest następująco:

dla prądnicy:

$$k_{Gz} = \frac{R_G}{L_{wG}} a_t = k_{23} + k_{22} \quad (3)$$

dla silnika:

$$k_{Mz} = \frac{R_M}{L_{wM}} a_t = k_{12} + k_{13} \quad (4)$$

gdzie:

L_{wG} - indukcyjność uzwojenia wzbudzenia prądnicy

L_{wM} - indukcyjność uzwojenia wzbudzenia silnika

a_t - współczynnik skalowy

Współczynniki k_{23} (dla prądnicy) i k_{13} (dla silnika) decydują o przebiegu SEM obu maszyn.

$$k_{23} = \frac{a_t}{L_{wG}} (R_G - r_{wG}) \quad (5)$$

$$k_{13} = \frac{a_t}{L_{wM}} (R_M - r_{wM}) \quad (6)$$

Czynnikiem, który w otwartym układzie sterowania napędu maszyny wyciągowej powoduje kształtowanie się przebiegów w okresie hamowania awaryjnego jest wypadkowy moment hamujący.

W przedstawionym układzie analogowym jest możliwe badanie wpływu na procesy przejściowe hamowania poszczególnych składników tego momentu (M_{st}) dla jego wartości dodatniej, ujemnej oraz zerowej - i biernego momentu sa mego hamulca (M_{hb}).

Moment mechaniczny hamulca obliczono ze wzoru

$$M_{hb} = \left[m_r a_{3Dmin} + (Q + G_L - 2 F_R) \right] R_e \quad (7)$$

gdzie:

m_r - masa całego wyciągu zredukowana na element napędowy liny obliczona dla danego ładunku Q

$2 F_R$ - opory w szybie

R_e - promień elementu napędowego liny

Zakładając, że hamowanie awaryjne odbywa się z najmniejszym dopuszczalnym opóźnieniem $a_{3Dmin} = 0,8 \text{ m/s}^2$

$$M_{hb} = 697000 \text{ Nm}$$

Zmiany znaku momentu statycznego M_{st} uzyskano przez przełączanie łącznikiem W-5.

2.2. Współczynniki układu analogowego

Wszystkie współczynniki wzmocnienia układu analogowego, z wyjątkiem k_{13} i k_{23} , obliczono na podstawie danych prądnicy sterującej i silnika wyciągowego oraz warunków hamowania awaryjnego rozważanego wyciągu.

Współczynniki k_{23} i k_{13} dobiera się następująco:

1) współczynnik k_{23} (prądnica sterująca)

Wychodząc z warunku dopuszczalnego przebiecia w uzwojeniu wzbudzenia prądnicy dobrano rezystancję ochronną R_{OG} prądnicy i otrzymano wartość R_G , a następnie z wzoru (5) obliczono wartość szukanego współczynnika k_{23}

2) współczynnik k_{13} (silnik wyciągowy)

Współczynnik k_{13} pozostaje jako jedyny nieobliczony parametr układu analogowego. Zostaje on znaleziony na drodze doświadczalnej za pomocą maszyny analogowej, biorąc za podstawę minimalizację prądu układu dla opuszczania pełnej nadwagi ($Q = -Q_N$)

Moment statyczny układu zostaje nastawiony za pomocą potencjometru P-3, moment hamulca bezpieczeństwa za pomocą potencjometru P-4. Nastawienia układu dokonano dla ujemnego znamionowego momentu statycznego. Dla tego przypadku przez regulację potencjometru P-2 nastawiono taką wartość współczynnika k_{13} , by otrzymać możliwie jednakowe zanikanie SEM prądnicy i silnika.

Nastawiona wartość współczynnika wzmocnienia k_{13} pozwala na podstawie wzorów (4) i (6) wyznaczyć rezystancję ochronną R_{OM} silnika

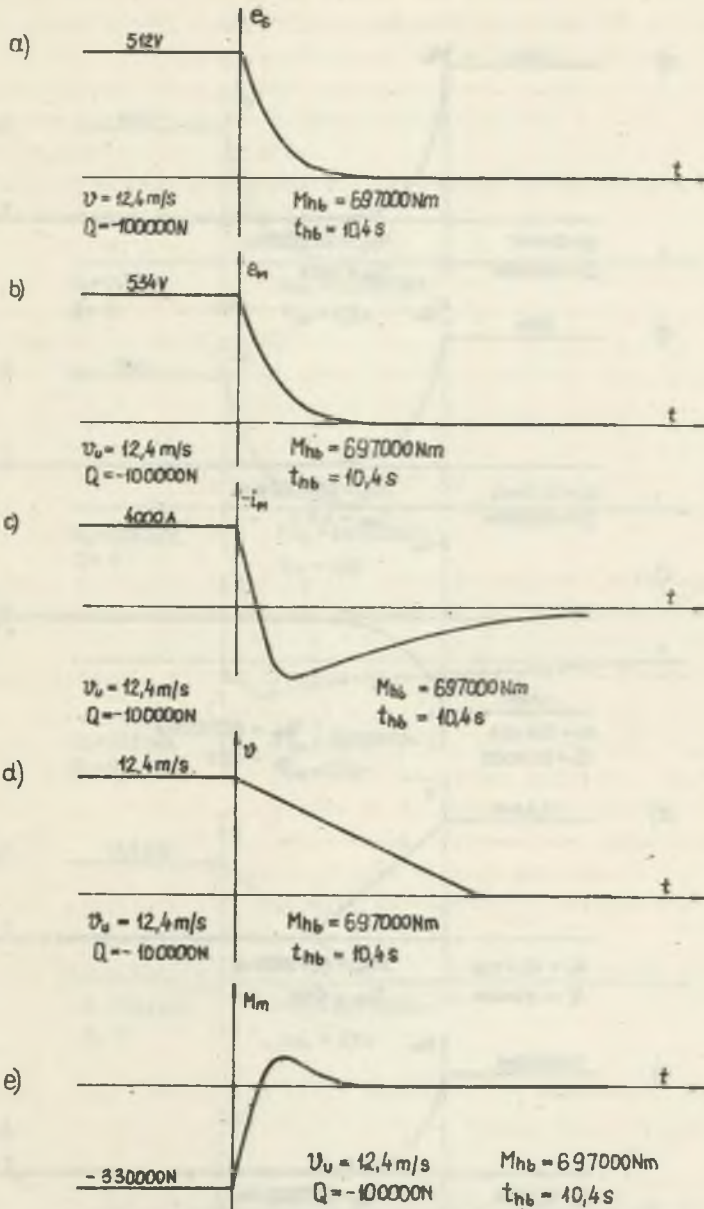
$$R_{OM} = k_{13} + k_{12} \frac{I_{wM}}{a_t} - r_{wM} = 2,8 \Omega \quad (8)$$

2.3. Wyniki pomiarów

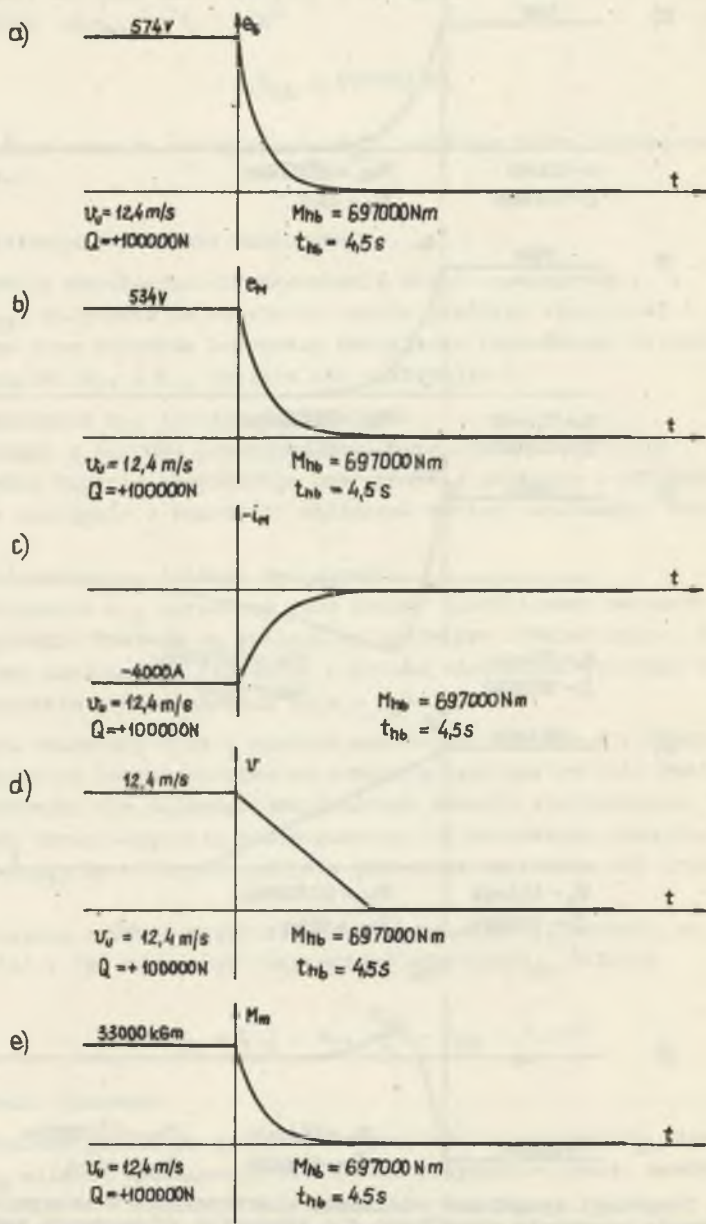
Przebadano przebiegi przejściowe prędkości obrotowej n_M , momentu M_m i prądu i_M silnika wyciągowego dla trzech przypadków pracy maszyny wyciągowej:

- a) $M_{st} = - M_{stN}$ - opuszczanie pełnej nadwagi
- b) $M_{st} = + M_{stN}$ - podnoszenie pełnej nadwagi
- c) $M_{st} = 0$ - praca przy nieobciążonym wyciągu

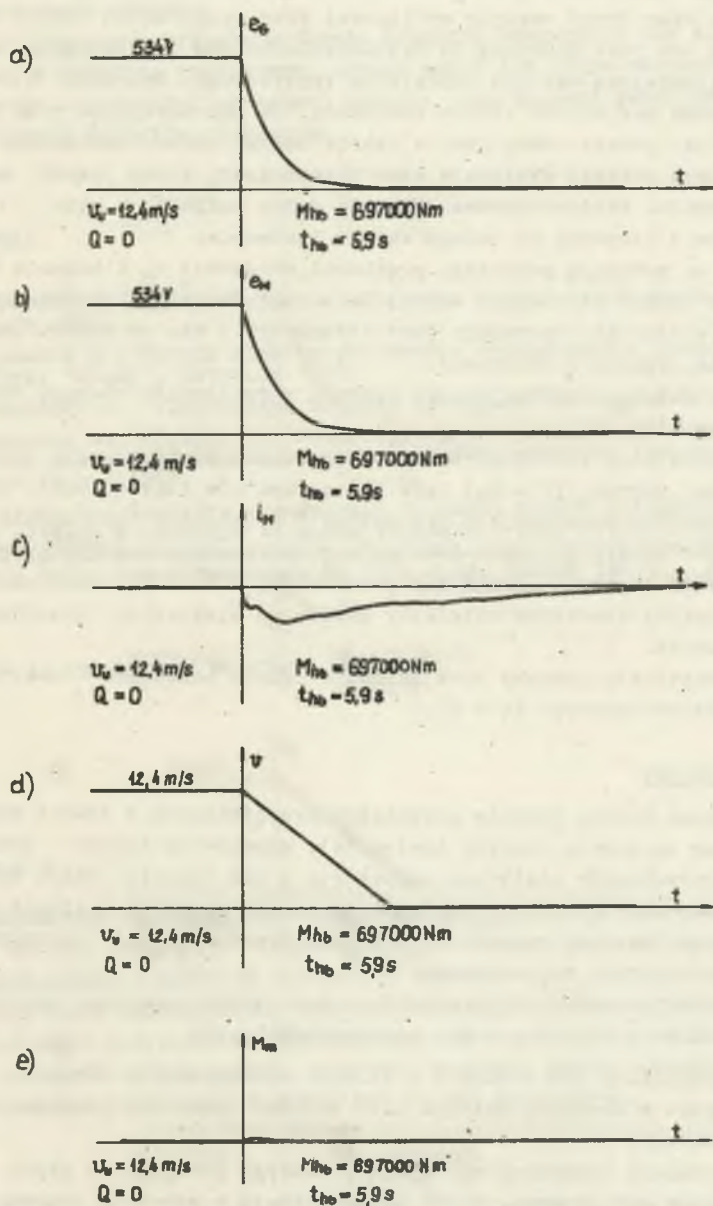
Przebiegi badanych wielkości przedstawiono na rys. 4, 5 i 6.



Rys. 4. Przebiegi dynamiczne wielkości elektrycznych w masynie wyciągowej w czasie hamowania awaryjnego dla przypadku opuszczania pełnej nadwagi



Rys. 5. Przebiegi dynamiczne wielkości elektrycznych w maszynie wyciągowej w czasie hamowania awaryjnego dla przypadku podnoszenia pełnej nadwagi



Rys. 6. Przebiegi dynamiczne wielkości elektrycznych w maszynie wyciągowej w czasie hamowania awaryjnego dla wyciągu nieobciążonego

Na rys. 4a, 4b i 4c pokazano przebiegi zanikania SEM e_G prądnicy i e_M silnika wyciągowego oraz prądu i_M w obwodzie głównym. Przebiegi te dotyczą hamowania awaryjnego maszyny wyciągowej przy opuszczaniu pełnej nadwagi. Przypadek ten jest podstawą do nastawienia układu odzwbudzenia maszyn z uwagi na najmniejszą wartość opóźnienia krytycznego. Jak widać z tych przebiegów można tak dobrać krzywe zanikania SEM obu maszyn, że prąd obwodu głównego jest prawie równy zero w czasie całego okresu hamowania. Tylko w początkowym okresie występuje stan przejściowy, który jednak zanika zanim siła hamulca bezpieczeństwa osiągnie pełną wartość, a więc w czasie pomijalnym w stosunku do całego okresu hamowania.

Rys. 4d i 4e pokazują przebiegi prędkości obrotowej n_M i momentu M_m silnika dla tego samego przypadku. Widać, że udział momentu elektromagnetycznego silnika w procesie hamowania jest nieznaczny i nie ma wpływu na przebieg zanikania prędkości obrotowej.

Prędkość obrotowa n_M zanika liniowo zgodnie z działaniem stałego momentu hamującego hamulca.

Rys. 5 przedstawia przebiegi badanych wielkości elektrycznych przy podnoszeniu pełnej nadwagi ($Q = Q_N$) lecz dla parametrów odzwbudzenia nastawionych tak jak dla poprzedniego przypadku. Z przebiegów tych wynika, że różnica SEM obu maszyn powoduje powstanie prądu i momentu silnika wyciągowego, które dość szybko zanikają nie przekraczając wartości znamionowych. Moment ten posiada charakter silnikowy powodując niewielkie przedłużenie procesu hamowania.

Rys. 6 przedstawia procesy przejściowe w czasie hamowania awaryjnego dla wyciągu nieobciążonego ($Q = 0$).

3. Wnioski końcowe

Przedstawiona metoda badania przebiegów przejściowych w czasie hamowania awaryjnego za pomocą maszyny analogowej, pozwala na bardzo dokładne odwzorowanie przebiegów elektromechanicznych w tym okresie. Dużym uproszczeniem wprowadzonym do układu jest założenie, że prądnica i silnik wyciągowy pracują na liniowej części lub w wąskim przedziale na zakrzywionej części charakterystyki magnesowania.

Na podstawie przedstawionych wyników badań układu otwartego maszyny wyciągowej w układzie Leonarda można wyciągnąć wnioski:

- 1) zgodność zanikania SEM prądnicy i silnika wyciągowego i uzyskanie minimalnego prądu w obwodzie głównym jest możliwe tylko dla jednego przypadku ruchowego;
- 2) w innych stanach ruchowych występują przebiegi przejściowe prądu i momentu silnika wyciągowego, które współdziałają w procesie hamowania;
- 3) dla dobrze zestawionego układu odzwbudzenia maszyn w obwodzie głównym układu Leonarda w najbardziej niekorzystnym przypadku ruchowym wartości chwilowe prądu i momentu silnika wyciągowego i w innych przypadkach ruchowych nie przekraczają wartości znamionowych.

Stosując przedstawioną metodę analogowego badania dynamiki hamowania awaryjnego istnieje możliwość otrzymania przebiegów przejściowych dla dowolnych parametrów układu.

Zmieniając parametry odzwzbudzenia prądnicy sterującej lub silnika wyciągowego w układzie analogowym, ocenić można ich wpływ na przebiegi prądu, momentu i prędkości obrotowej silnika oraz uzyskać przebiegi optymalne dla danych warunków ruchowych.

LITERATURA

- [1] Szklarski L. i inni: Napędy elektryczne maszyn wyciągowych II wydanie Kraków 1966
- [2] Kosonocki E.: Napędy elektryczne maszyn wyciągowych w układzie Leonarda Wyd. "Śląsk", Katowice 1957
- [3] Obrąpalski J.: Elektryczne maszyny wyciągowe PWT Katowice 1954
- [4] Szklarski L., Górecki H.: Przebiegi elektromechaniczne w napędzie Leonarda maszyny wyciągowej przy hamowaniu awaryjnym. Archiwum Górnicztwa t.II, z.4, 1957.
- [5] Wojnicki R.: Niektóre zagadnienia dynamiki maszyn wyciągowych z napędem stałego w układzie Leonarda związane z hamowaniem bezpieczeństwa. Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej, Elektryfikacja i Mechanizacja Górnicztwa i Hutnictwa Nr 185, Z.23, Kraków 1967.

Wpłynęło do redakcji w kwietniu 1971 r.

Р е з ю м е

В разработке приведено принципиальную и структурную схему подъемной машины в системе генератор - двигатель постоянного тока во время аварийного торможения, а далее её аналоговую модель.

На оснований динамического протекания тока, момента и скорости вращения подъемного двигателя во время аварийного торможения, полученных в различных условиях работы машины, проведен короткий анализ влияния параметров развозбуждения генератора и двигателя на эти протекания.

S u m m a r y

In the report are given basic circuit and block diagrams of the mine winder in the open Leonard system during the failure braking period and its analogue model.

Basing on dynamical current, torque and velocity of rotation transients of a mine winder motor during the failure braking time, taken in different work conditions, there were made short analysis of the influence of the disexcitation of these both machines on this transients.