ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: GÓRNICTWO z. 133 Nr kol. 834

Jan BŁAŻ
Florian KRASUCKI

Instytut Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

OPTYMALIZACJA DOBORU NAPIĘĆ DODAWCZYCH SIECI ODDZIAŁÓW WYDOBYWCZYCH METODĄ SYMULACJI CYFROWEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono sposób wykorzystania symulacji cyfrowej przebiegów przypadkowych do doboru napięć dodawczych w sieciach oddziałów wydobywczych. Podano przykład zastosowania metody optymalizacji dla układu zasilania kombajnu węglowego.

1. WSTĘP

Odchylenia napięcia, która występują w elektroenergetycznych sieciach górniczych mogą być przyczyną znacznego obniżenia wydajności i trwałości maszyn i urządzeń elektrycznych zainstalowanych w oddziałach wydobywczych. Powodują one niewłaściwą ich pracę objawiającą się np. zmniejszaniem momentów obrotowych i rozruchowych, nadmiernym wzrostem temperatury uzwojeń oraz obniżaniem siły rozwijanej przez elektromagnesy styczników i przekaźników.

Wartości odchyleń napięcia w sieciach oddziałowych zmieniają się w stosunkowo dużych granicach [1, 2, 3] i osiągają szczególnie duże wartości podczas rozruchu maszyn przodkowych. Jak wykazują wyniki pomiarów [1], ujemne odchylenia napięcia w sieciach zasilających kombajny węglowe w wielu przypadkach osiągają wartości 0,12 U_n w czasie pracy kombajnów oraz 0,35 U_n podczas ich rozruchów. Prawdopodobieństwo pojawienia się wartości napięcia niższego niż 0,75 U_n na zaciskach styczników w czasie rozruchu kombajnu wynosi często 0,25. Oznacza to, że praktycznie podczas co czwartego rozruchu kombajnu wartości napięcia na cewce stycznika nie spełniają wymagań normy PN-74/E-06152 [4].

Jednym z właściwych rozwiązań, umożliwiającym poprawę warunków zasilania maszyn przodkowych, może być zastosowanie układu regulacji napięcia z tyrystorowym przełącznikiem zaczepów [1]. Tyrystorowy przełącznik zaczepów umożliwia szybką reakcję układu na zmiany wartości napięcia w sieci i zapewnia przełączanie zaczepów w okresie rozruchu silników asynchronicznych klatkowych. Rozwiązanie takie pozwala na zapewnienie właściwych warunków zasilania maszyn górniczych zarówno w czasie ich rozruchu, jak i podczas ich pracy ustalonej.

Aby układ regulacji napięcia spełniał poprawnie swoje zadanie, konieczny jest dobór optymalnych dla danego układu zasilania wartości napięć dodawczych, które należy wprowadzić do sieci. W referacie przedstawiono sposób doboru wartości napięć dodawczych z wykorzystaniem modelowania cyfrowego, uwzględniający probabilistyczny charakter zmian napięcie w sieciach oddziałowych [2].

2. MODELOWANIE PROCESÓW ZMIAN NAPIĘCIA

Zmiany napięcia w sieciach oddziałowych ze względu na losowo zmienne obciążenie maszyn górniczych, jak i losowe zmiany napięcia w sieci kopalnianej wysokiego napięcia mają charakter przypadkowy. Z tych względów dogodnym modelem matematycznym do opisu zmian napięcia w tych sieciach są procesy stochastyczne.

Wyniki przeprowadzonych badań [1] wykazują, że zmiany napięcia w sieciach górniczych mają cechy procesów niestacjonarnych. Jednak w okresie doby można wyróżnic przedziały czasowe, w których zmiany te mają cechy procesów stacjonarnych przy jednoczesnej zgodności rozkładów odchyleń napięcia z rozkładem normalnym. Oszacowania funkcji autokowariancji takich procesów można aproksymować wyrażeniami o postaci:

$$C_1(\tau) = \exp(-\alpha|\tau|) \tag{1}$$

lub

$$C_2(\tau) = \exp(-\alpha|\tau|).\cos\beta\tau \tag{2}$$

$$\alpha > 0; \quad \tau = t - s$$

Do modelowania procesów zmian napięcia za pomocą EMC wykorzystano metodę przedstawioną w pracy [5]. Metoda ta umożliwia generowanie realizacji procesów stochastycznych gaussowskich, które mają funkcję autokowariancji o ogólnej postaci:

$$C(t,s) = \sum_{i=1}^{r} f_i(t) \, . \, f_i(s) \tag{3}$$

gdzie:

f_i - funkcja rzeczywista.

Dla szczególnego przypadku procesów zmian napięcia o funkcji autokowariancji postaci (1) generowanie realizacji procesu polega na losowaniu zmiennej losowej o rozkładzie prawdopodobieństwa:

$$f_{t_N}(U_N) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,.\,\sqrt{1-a^2}}\,.\,\exp\left(-\frac{1}{2}\,\frac{(U_N-U_{N-1}.a)^2}{1-a^2}\right), \tag{4}$$

gdzie:

$a = \exp(-\alpha.h)$,

h - odległość pomiędzy chwilami czasu t_k i t_{k+1}, w których określone są wartości realizacji, $k = 1,2,\ldots,N$

o wartości oczekiwanej:

$$m = U_{N-1}.\exp(-\alpha h) \tag{5}$$

i wariancji:

$$\sigma^2 = 1 - \exp(-2\alpha h). \tag{6}$$

W pierwszym kroku generowania procesu zostaje wylosowana wartość U_0 zmiennej losowej o rozkładzie $N(0,1)$. W kolejnym k-tym kroku następuje losowanie wartości U_k zmiennej losowej o rozkładzie $N(m,\sigma)$.

Dla procesów zmian napięcia o funkcji autokowariancji (2) generuje się proces:

$$\left\{U(t)\right\} = \left\{U_1(t)\right\}\,.\,\sin\beta t + \left\{U_2(t)\right\}\,.\,\cos\beta t, \tag{7}$$

gdzie:

$\left\{U_1(t)\right\}$, $\left\{U_2(t)\right\}$ - niezależne procesy zmian napięcia o funkcji autokowariancji (1) oraz wartości oczekiwanej $E\left[U_1(t)\right] \equiv 0$.

Generowanie realizacji procesu (7) sprowadza się do generowania realizacji procesu o funkcji autokowariancji (1), ponieważ:

$$E\left[U(t).U(s)\right] = E\left[U_1(t).U_1(s)\right].\sin\beta t\,.\,\sin\beta s + E\left[U_2(t).U_2(s)\right].\cos\beta t\,.\cos\beta s = C_1(t-s).\cos\beta(t-s) \tag{8}$$

3. MODEL MATEMATYCZNY REGULATORA NAPIĘCIA

Działanie układu regulacji napięcia z tyrystorowym przełącznikiem zaczepów, przy założeniu że pracuje on w układzie regulacji trójpołożeniowej, można opisać za pomocą równania określającego $i[k+1]$ położenie przełącznika zaczepów w zależności od aktualnie występującej w sieci wartości napięcia $U(t)$ oraz od poprzedniego położenia przełącznika $i[k]$. Równanie to można zapisać w postaci ogólnej:

$$i[k+1] = F\left\{U(t);\ i[k]\right\}. \tag{9}$$

przy czym wartości funkcji F dla odpowiednich par $(U(t); i[k])$ jej argumentów podano w tabeli:

$i[k+1]$	$U(t)$	$i[k]$
0 1 1	$0 \leq U(t) \leq U_u - U_d$	-1 0 1
-1 0 1	$U_u - U_d < U(t) < U_u + U_d$	-1 0 1
-1 -1 0	$U_u + U_d \leq U(t)$	-1 0 1

gdzie:

$i[k]$ - położenie przełącznika zaczepów w k-tym kroku,

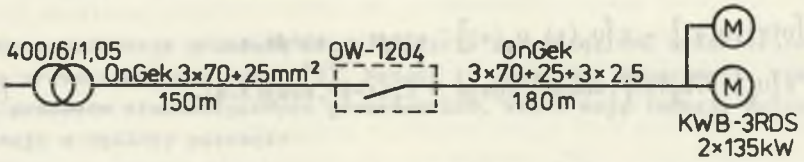
U_d - wartość napięcia dodawczego,

U_k - zadana wartość napięcia, która ma być utrzymywana w danym punkcie sieci.

4. PRZYKŁAD DOBORU WARTOŚCI NAPIĘCIA DODAWCZEGO

Przyjmując jako kryterium optymalizacji Q minimum wariancji napięcia na wyjściu regulatora:

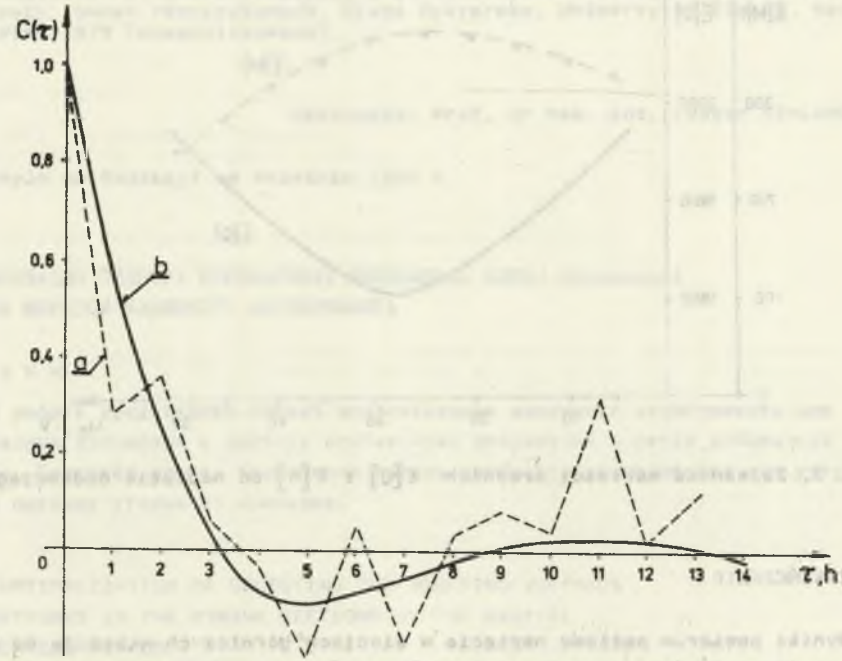
$$Q = \frac{1}{T}\int_0^T \left[U(t) - U_u\right]^2 dt \tag{10}$$



Rys. 1. Przykładowy schemat ideowy układu zasilania kombajnu

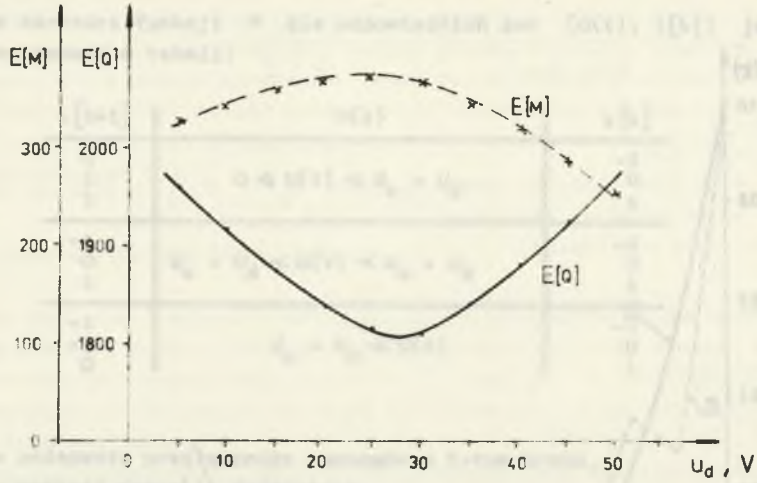
dobrano wartości napięcia dodawczego, jakie należy wprowadzić do sieci oddziałowej zasilającej kombajn węglowy KWB-3RDS (rys. 1). Przeprowadzone w tym układzie zasilania kombajnu pomiary zmian napięcia pozwoliły na oszacowanie funkcji autokowariancji procesu zmian napięcia (rys. 2) wyrażeniem [2]:

$$\rho = \exp(-0{,}39\tau) \cdot \cos 0{,}59\tau \tag{11}$$



Rys. 2. Funkcje autokowariancji procesu zmian napięcia w sieci 1000 V: a) uzyskana na podstawie pomiarów, b) aproksymująca

Wykorzystując przedstawioną metodę modelowania procesów zmian napięcia generowano za pomocą EMC 100 realizacji o długości 600τ każda. Następnie dla każdej realizacji modelowano działanie regulatora napięcia przyjmując różne wartości napięcia dodawczego U_d. Jako wartość zadaną U_u przyjmowano wartość średnią procesu zmian napięcia uzyskaną na podstawie pomiarów. Dla każdej wygenerowanej realizacji i przyjętej wartości napięcia dodawczego U_d obliczano wartości kryterium Q i liczby zadziałań przełącznika zaczepów M. Na podstawie otrzymanych wyników dla każdej wartości napięcia dodawczego U_d obliczono wartości średnie $E[Q]$ i $E[M]$. Zależność tych wartości średnich od napięcia dodawczego U_d dla rozpatrywanego układu zasilania kombajnu przedstawiono na rys. 3. Wynika z nich, że aby uzyskać minimalne zmiany napięcia względem wartości zadanej, należałoby w tym przykładowym układzie zasilania wprowadzić napięcia dodawcze o wartości U_d = 30 V.



Rys. 3. Zależność wartości średnich E[Q] i E[M] od napięcia dodawczego U_d

5. ZAKOŃCZENIE

Wyniki pomiarów poziomu napięcia w sieciach górniczych wskazują na konieczność zwrócenia znacznie większej uwagi na warunki zasilania maszyn przodkowych oraz celowość zastosowania układów regulacji napięcia.

Modelowanie zmian napięcia zachodzących w sieciach górniczych za pomocą procesów losowych umożliwia ich odwzorowanie z uwzględnieniem wszystkich czynników mających istotny wpływ na występowanie odchyleń napięcia oraz pozwala na odtwarzania tych zmian za pomocą EMC. Zastosowanie tyrystorowych przełączników zaczepów z odpowiednio dobranymi napięciami dodawczymi (zaczepami) pozwoli na właściwą stabilizację napięcia roboczego silników napędzających maszyny górnicze w różnych stanach ich pracy. Optymalizację doboru napięć dodawczych umożliwia metoda, której zasady przedstawiono w niniejszym artykule.

LITERATURA

[1] Błaż J.: Badania zmian napięcia i opracowanie modelu układu automatycznej regulacji napięcia zasilania maszyn przodkowych. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1983 (niepublikowana).

[2] Błaż J., Krasucki F.: Probabilistyczne charakterystyki zmian napięcia w sieciach oddziałów wydobywczych. Archiwum Górnictwa z. 2, 1984.

[3] Krasucki F., Błaż J., Gruszczyński P.: Odchylenia napięcia w sieciach oddziałowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Gliwice 1977, Górnictwo z. 82.

[4] PN-73/E-06152. Styczniki niskonapięciowe. Ogólne wymagania i badania.

[5] Wojtylak M.: Charakterystyki probabilistyczne rozwiązań stochastycznych równań różniczkowych. Praca doktorska, Uniwersytet Śląski, Katowice 1978 (niepublikowana).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ludger SZKLARSKI

Wpłynęło do Redakcji we wrześniu 1984 r.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДБОРА ПРИБАВОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СЕТЕЙ ДОБЫВАЮЩИХ ЦЕХОВ МЕТОДОМ МАШИННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Р е з ю м е

В работе представлен способ использования машинного эксперимента для случайных процессов к подбору прибавочных напряжений в сетях добывающих цехов. Приведён пример применения метода машинного эксперимента для устройства питания угольного комбайна.

THE OPTIMALIZATION OF SELECTING THE BOOSTING VOLTAGES OF NETWORKS IN THE MINING SECTIONS BY THE DIGITAL SIMULATION METHOD

S u m m a r y

In the paper is presented a method of using digital simulation of transient for the selection of boosting voltages in the networks of the mining sections. An example of the use of the optimalization method for the feed system of a mechanical coal miner is given.