

mgr inż. KATARZYNA KRALEWSKA
prof. zw. dr hab. inż. BOGDAN MIEDZIŃSKI
Politechnika Wrocławska
prof. VADIM N. SHOFFA
Moskovskij Energetičeskij Institut Rosja

Model matematyczny jednofazowego synchronicznego łącznika kontaktronowego wykorzystującego prąd obciążenia w układzie napędzania

W artykule przedstawiono i omówiono opracowany model matematyczny jednofazowego synchronicznego łącznika kontaktronowego umożliwiający analizę dynamiki działania tego łącznika w stanach przejściowych. W szczególności skoncentrowano się na uwzględnieniu wpływu prądu obciążenia zestyku na pracę łącznika. W wyniku przeprowadzonych analiz symulacyjnych określono teoretyczne przebiegi ruchu styczek (zależne od parametrów elektrycznych i mechanicznych łącznika kontaktronowego) oraz przebiegi zmiany wartości prądu w cewce – tak napędowej, załączającej, jak i wyłączającej. W celu weryfikacji wyników otrzymanych na podstawie przeprowadzonych analiz teoretycznych porównano je z przykładowymi przebiegami prezentowanymi przez autorów w literaturze (dla modelu fizycznego).

1. WSTĘP

Jednym z podstawowych problemów eksploatacji łączników stykowych jest zapewnienie ich maksymalnej trwałości łączeniowej, zbliżonej do poziomu bliskiego trwałości mechanicznej. Ze znanych aparatów elektrycznych najwyższą trwałość mechaniczną wykazują jak dotychczas aparaty mechaniczne z zastosowaniem kontaktronów. Łączniki kontaktronowe charakteryzują się jednak niewielką zdolnością łączeniową oraz niewielką trwałością elektryczną w warunkach zwiększonych wartości prądów obciążenia, zwłaszcza o charakterze indukcyjnym, co związane jest z ich budową i zasadą działania. Ma to istotny wpływ na zmianę dynamiki działania kontaktronu (szczególnie w stanach przejściowych jego zamykania i otwierania się), powodując szybkie jego uszkodzenie.

W celu zwiększenia zdolności łączeniowej i trwałości mechanicznej w warunkach łączeniowych prądu przemiennego można wykorzystać zasadę

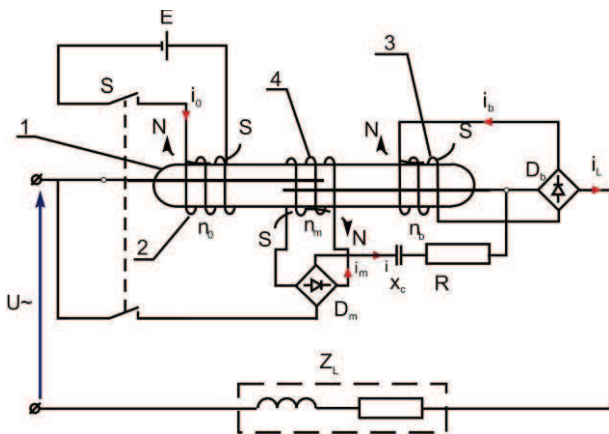
tzw. komutacji synchronicznej. Zasada ta jest powszechnie znana – polega na załączaniu i wyłączaniu przemiennego prądu obciążenia zestyku kontaktronu przy chwilowych wartościach tego prądu równych bądź bliskich zeru, jednak niższych od wartości prądu powodującego palenie się łuku elektrycznego. Dzięki jej działaniu liczba łączy, pod obciążeniem, może osiągnąć maksymalną trwałość łączeniową równą trwałości mechanicznej kontaktronu. W tym przypadku erozja styków jest praktycznie niezauważalna, zaś prąd łączeniowy można zwiększyć do wartości odpowiadającej prądowi dopuszczalnemu długotrwale dla danego typu łącznika.

W kontaktronach z uwagi na równoczesną realizację funkcji elektrycznego elementu zestykowego z funkcją przewodzenia napędowego pola magnetycznego, jak również ze względu na dużą szybkość działania (w porównaniu z innymi aparatami łączeniowymi), możliwe jest uzyskanie, w stosunkowo prosty sposób, synchronicznego łącznika kontaktronowego o dobrych parametrach eksploatacyjnych.

W artykule przedstawiono opracowany model matematyczny łącznika kontaktronowego umożliwiającego analizę jego pracy w warunkach łączenia synchronicznego prądu przemiennego o częstotliwości 50 Hz wraz z przykładowymi wynikami obliczeń symulacyjnych, pozwalających na sprawdzenie możliwości pracy takiego typu łącznika dla różnych warunków obciążeń prądowych zestyku. W celu weryfikacji wyników z przeprowadzonych badań symulacyjnych porównano je z wybranymi wynikami badań na modelu fizycznym łącznika synchronicznego, zaprezentowanymi przez autorów w literaturze.

2. STRUKTURA SYNCHRONICZNEGO ŁĄCZNIKA KONTAKTRONOWEGO

W literaturze spotkać można różne propozycje rozwiązań struktur łączników kontaktronowych, realizujących funkcję synchronicznego załączania i wyłączania [1, 3]. Najprostszym do praktycznej realizacji wydaje się być jednofazowy synchroniczny łącznik opracowany w MEI w Moskwie, który wykorzystano do badania wpływu zmian wartości prądu obciążenia zestyku na dynamikę działania łącznika kontaktronowego (rys. 1).



Rys. 1. Układ połączeń jednofazowego łącznika kontaktronowego [1]

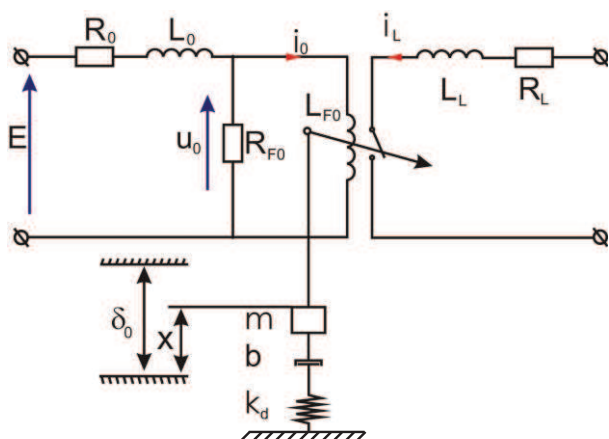
- (1 – kontaktron; 2 – cewka napędowa;
3 – cewka wyłączająca; 4 – cewka załączająca;
D, D₁ – prostowniki dwupółkowne;
Z_L – impedancja obciążenia; S – wyłącznik;
R – rezystor ograniczający; i_L – prąd obciążenia;
i₀ – prąd płynący w cewce sterującej;
i_b – prąd płynący w cewce wyłączającej;
i_m – prąd płynący w cewce załączającej;
n₀, n_m, n_b – liczba zwojów cewki napędowej,
załączającej i wyłączającej odpowiednio;
R, X_c – rezystancja oraz reaktancja dopasowująca)

Należy zauważyć, że do napędzania łączników kontaktronowych można stosować pole magnetyczne wytworzone bądź w cewce napędowej, bądź magnesem trwałym. Można też wykorzystać ruchome elementy wykonane z materiału magnetycznie miękkiego w połączeniu z nieruchomym napędowym magnesem trwałym.

W analizowanym przypadku napędzanie kontaktronu odbywa się za pomocą cewki i można realizować tutaj bądź efekt synchronicznego załączania, bądź wyłączania – w zależności od potrzeb. Układ synchronicznego załączania łącznika kontaktronowego umożliwi synchroniczne łączenie obwodu elektrycznego w chwili przejścia płynącego w układzie prądu przez zero. Synchroniczne załączanie wymaga w tym przypadku zastosowania dwóch cewek: napędowej o liczbie zwojów n_0 i załączającej o liczbie zwojów n_m (rys. 1). Cewka załączająca jest zasilana z prostownika D_m prądem i_m proporcjonalnym do prądu obciążenia kontaktronu i_L . W uzwojeniu tym wytwarza się strumień magnetyczny skierowany przeciwnie do strumienia wytworzonego w uzwojeniu napędowym. Zatem w chwili załączenia kontaktronu (uzwojenie n_0) strumień wytworzony w uzwojeniu załączającym nie pozwala na zamknięcie zestyku kontaktronu, jeśli chwilowa wartość prądu obciążenia i_L jest odpowiednio duża. Zamknięcie kontaktronu jest możliwe dopiero po odpowiednim obniżeniu się chwilowej wartości tego prądu np. do minimalnej wartości prądu powodującego palenie się łuku elektrycznego dla danego zastosowanego materiału stykowego. Po zamknięciu zestyku kontaktronu układ synchronicznego załączania zostaje zobocznikowany i praktycznie nie oddziałuje na dalszą pracę kontaktronu. Wyłączenie synchroniczne kontaktronu następuje w podobny sposób, jak jego załączenie, z tym wyjątkiem, że udział tu biorą dwie cewki: napędowa i wyłączająca. Cewka wyłączająca o liczbie zwojów n_b zasilana jest z prostownika D_b prądem obciążenia zestyku kontaktronu po jego wyprostowaniu pełnokresowym. Strumienie wytworzone w cewkach napędowej i wyłączającej wzmacniają się wzajemnie, gdyż mają taki sam zwrot. Tak więc pomimo odłączenia, w chwili t_b , cewki napędowej od źródła napięcia sterującego i powolnym zaniku przepływu napędowego zestyk kontaktronu nadal jest utrzymywany w stanie zamkniętym z uwagi na oddziaływanie pola magnetycznego cewki wyłączającej. Kontaktron otwiera się dopiero w momencie obniżenia się chwilowej wartości wyprostowanego prądu i_b do wartości odpowiadającej SMM odpadania Θ_r kontaktronu. Zapewniając więc odpowiedni dobór liczby zwojów cewki n_b , można uzyskać przerywanie prądu obciążenia i_L obwodu dla żądanych chwilowych wartości tego prądu [1].

3. ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNYCH KONTAKTRONÓW

Dynamika kontaktronu może ulegać znacznym zmianom w zależności od wpływu różnych czynników, takich jak np.: prąd obciążenia zestyku, pozostałość magnetyczna materiału stycek czy nawet temperatura otoczenia [2]. Dotychczas analizowano i badano głównie zakłócenia wywołane przepływem zwłaszcza dużych wartości prądu obciążenia zestyku. Generowane wówczas odskoki styków znacząco zmniejszają zdolność łączeniową łącznika kontaktronowego. Z dynamiką łącznika kontaktronowego związane są jednak również zjawiska wyładowań elektrycznych między stykami. Zbyt wolne prędkości ruchu stycek, zarówno podczas zamykania, jak i otwierania się łącznika, jak również zbyt długo trwające drgania stycek, mogą sprzyjać paleniu się łuku elektrycznego, wpływając tym samym na obniżenie się niezawodności pracy łącznika. Wzięty pod uwagę układ jednofazowego synchronicznego łącznika kontaktronowego umożliwia nie tylko łączenie w chwili przejścia prądu przez zero, ale również skutecznie tłumi odskoki. W najprostszym przypadku dynamikę działania łącznika kontaktronowego można analizować w oparciu o odwzorowanie kontaktronu jednomasowym układem drgającym o jednym stopniu swobody w osi x . Kontaktron napędzany jest polem magnetycznym wytworzonym w cewce (rys. 2).



Rys. 2. Schemat modelu dynamicznego łącznika kontaktronowego symetrycznego [2]
 (m – masa stycki; k_d – współczynnik sprężystości stycki; b – współczynniki tłumienia stycki; δ_0 – szczelina stykowa w ustalonym stanie otwartym zestyku; x – przemieszczenie stycki; E – SEM cewki napędowej; R_{F0} – rezystancja zastępcza dla prądów wirowych w styckach; L_{F0} – indukcyjność związana z przepływem strumienia użytecznego; u_0 – chwilowa wartość napięcia indukowanego w cewce łącznika)

Model ten jest adekwatny dla kontaktronu symetrycznego, a więc zakłada identyczność fizycznych parametrów obu stycek. Zetknięcie się stycek kontaktronu (zamknięcie zestyku) zachodzi więc w tym przypadku w połowie długości szczeliny stykowej δ_0 . Zaznaczony na rysunku bufor bezmasowy, o wartościach współczynników sprężystości k_d i tłumienia b , odwzorowuje właściwości mechaniczne samego zestyku. Zakładając, iż jest to obwód drgający z jednym stopniem swobody oraz zachodzi w nim viskozne tłumienie ruchu stycek, otrzymujemy równania opisujące dynamikę łącznika kontaktronowego – równania (1), (2), (3) i (4), zgodnie z rysunkiem 2. Pierwsze trzy równania są równaniami obwodu elektrycznego:

$$E = \left(R_0 + L_0 \frac{d}{dt} \right) \left(i_0 + \frac{u_0}{R_{F0}} \right) + u_0 \quad (1)$$

$$u_0 = \frac{d}{dt} (L_{F0} i_0 \cos \alpha_0) \quad (2)$$

$$i = I_m \left[1 - e^{-\frac{R_L t}{L_L}} \right] \quad (3)$$

natomiast równanie (4) związane jest z ruchem stycki w kontaktronie:

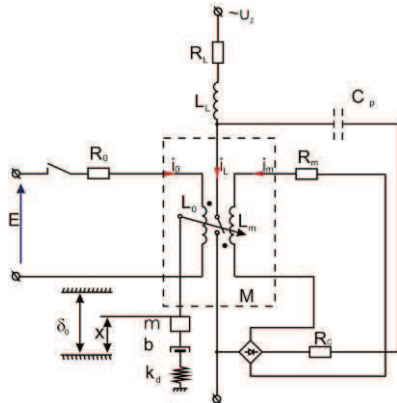
$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + k_d x = \frac{1}{2} i_0^2 \cos^2 \alpha_0 \frac{\partial L_{F0}}{\partial x} \quad (4)$$

gdzie pierwszy wyraz po lewej stronie wyraża siłę bezwładności, drugi związany jest ze współczynnikiem określającym opór środowiska na jednostkę prędkości, trzeci zaś jest siłą sprężystości związaną z odchyleniem stycek od położenia w stanie otwartym. Prawa strona równania określa siłę elektromagnetycznego przyciągania się stycek.

4. OPRACOWANY MODEL MATEMATYCZNY SYNCHRONICZNEGO ŁĄCZNIKA KONTAKTRONOWEGO

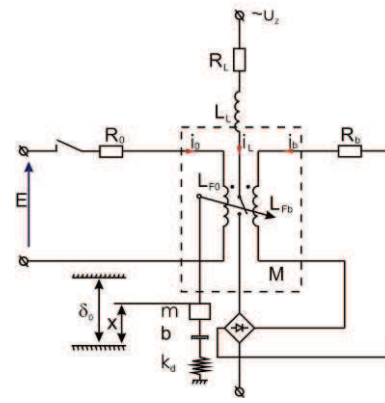
Do analizy przyjęto model uproszczony, który umożliwia odwzorowanie zachowania się łącznika kontaktronowego w stanach przejściowych jego działania. Oczywiście nie uwzględnia on wpływu wielu czynników (takich jak np. niesymetryczność stycek, wpływ zewnętrznych uderzeń mechanicznych itp.), mogących w znaczący sposób zakłócić pracę łącznika. Należy jednak pamiętać, że opracowanie wiernego modelu matematycznego nie jest sprawą łatwą.

Ponadto model ten powinien być przydatny w praktyce, oczywiście przy zapewnieniu wymaganej dokładności odwzorowań. Przy założeniu bowiem jak największej zgodności wyników symulacyjnych z wynikami rzeczywistymi wzrasta złożoność modelu, czyniąc go mniej przydatnym z praktycznego punktu widzenia. Model matematyczny opracowany dla celów analizy dynamiki pracy łącznika synchronicznego pozwala na odwzorowanie przebiegu ruchu stycek (zależnie od parametrów elektrycznych



Rys. 3. Model dynamiczny łącznika kontaktronowego dla warunków synchronicznego załączania; opracowanie własne na podstawie [2]

i mechanicznych łącznika kontaktronowego) oraz przebiegu zmian prądu we wszystkich zastosowanych cewkach (tak napędowej, jak i załączającej i wyłączającej), przy uwzględnieniu charakteru i wartości prądu obciążenia zestyku. Dla układu połączeń jednofazowego synchronicznego łącznika kontaktronowego (rys. 1) opracowano schemat modelu dynamicznego łącznika kontaktronowego z zastosowanym układem synchronicznego załączania (rys. 3) i wyłączania (rys. 4).



Rys. 4. Model dynamiczny łącznika kontaktronowego dla warunków synchronicznego wyłączania; opracowanie własne na podstawie [2]

(E – SEM cewki napędowej; u_z – wartość chwilowa napięcia zasilającego obwód obciążenia kontaktronu; R_0 , L_0 – rezystancja i indukcyjność rozproszenia cewki napędowej; R_m , L_m , R_b , L_b – rezystancja i indukcyjność odpowiednio cewki załączającej i wyłączającej; R_c – rezystor ograniczający; C_p – kondensator korygujący; R_L , L_L – rezystancja i indukcyjność obwodu łączeniowego; m – zastępcza masa stycki; k_d – współczynnik sprężystości; b – współczynnik tłumienia; x – przemieszczanie stycki od stanu otwartego; δ_0 – szczelina stykowa w ustalonym stanie otwartym zestyku)

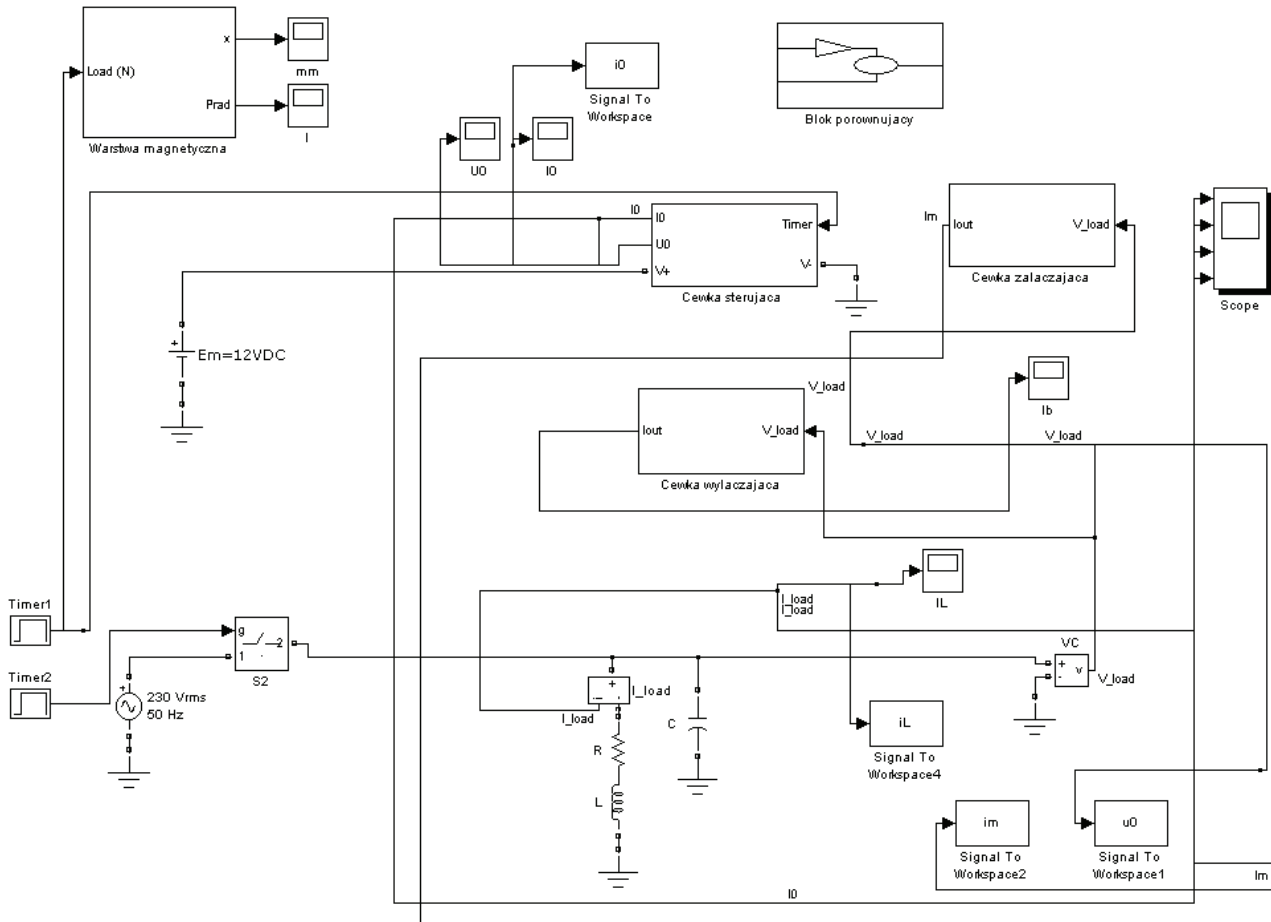
4.1. Sposób symulacji komputerowej

Uwzględniając wszystkie niezbędne zależności uzyskane z wstępnych analiz teoretycznych, obliczenia na modelu matematycznym przeprowadzono w środowisku programu MATLAB/SIMULINK. Bazując na modelach dynamicznych przedstawionych na rysunkach 3. i 4., opracowano schemat blokowy modelu symulacyjnego synchronicznego łącznika kontaktronowego (rys. 5).

Poprzez odpowiedni dobór parametrów cewek (liczba zwojów, indukcyjność, rezystancja) uzyskuje się synchroniczne działanie kontaktronu zarówno podczas procesu załączania, jak i wyłączania prądu obciążenia zestyku. Zgodnie z teoretycznymi założeniami pracy synchronicznego łącznika kontaktronowego jego sposób działania opiera się na dodawaniu lub odejmowaniu się strumieni magnetycznych wytworzonych w cewkach napędowej, załączającej i wyłączającej w zależności od funkcji i przeznaczenia. Obliczenia wykonano dla następujących wartości parametrów:

$L_0=0,125$ H – indukcyjność własna cewki napędowej,
 $L_m=0,5$ H – indukcyjność własna cewki załączającej,
 $L_b=0,2$ H – indukcyjność własna cewki wyłączającej,
 $L_L=0,01$ H – indukcyjność obciążenia,
 $E=12$ V – źródło napięcia stałego zasilającego obwód cewki napędowej,
 $U=230$ V – źródło napięcia przemiennego,
 $R_0=100$ Ω – rezystancja uzwojenia cewki napędowej,
 $R_m=30$ Ω – rezystancja uzwojenia cewki załączającej,
 $R_b=20$ Ω – rezystancja uzwojenia cewki wyłączającej,
 $R_L=74$ Ω ; 110 Ω ; 220 Ω – rezystancja obciążenia,
 $\Theta_{op}=40$ A – wartość przepływu zadziałania kontaktronu,
 $\Theta_r=20$ A – wartość przepływu odpadania kontaktronu.

W układzie tym obciążenie stanowi obwód rezystancyjno-indukcyjny o wartościach parametrów przedstawionych powyżej, zasilany ze źródła napięcia przemiennego 50 Hz o wartości 230 V i wartości prądu obciążenia zestyku kontaktronu wynoszącej od $i_L=1$ A do $i_L=3$ A. Dla wyższych bowiem wartości prądu obciążenia zestyku, zwłaszcza próżniowe standardowe kontaktrony zwierne, otwierają się samo-



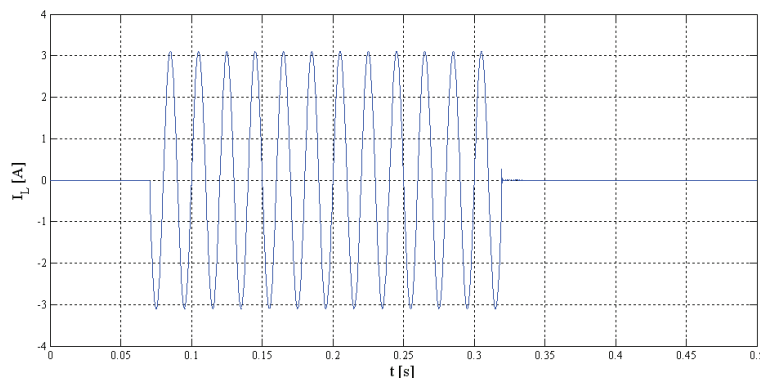
Rys. 5. Schemat blokowy modelu jednofazowego synchronicznego łącznika kontaktowego (opracowanie własne)

czynnie wskutek efektu ciepłego prądu obciążenia zestyku. Styczki kontaktoru tracą swoje właściwości magnetyczne po nagraniu do znacznej temperatury powyżej punktu Curie [2].

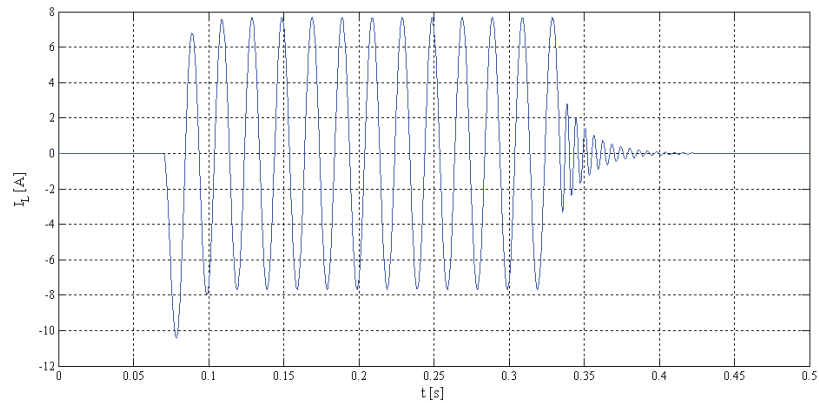
4.2. Wybrane wyniki analiz symulacyjnych

W oparciu o opracowany model matematyczny synchronicznego łącznika kontaktowego przeprowadzono szereg symulacji komputerowych dotyczą-

cych głównie wpływu prądu obciążenia zestyku. Na rysunku 6. przedstawiono przykładowy przebieg procesu synchronicznego załączenia i wyłączenia prądu przemiennego o wartości $i_L=3$ A. Widać tutaj, że zarówno załączenie, jak i wyłączenie zestyku ma miejsce prawie dokładnie w chwili przejścia prądu przez zero. Zauważyć można również, że dla prądów obciążenia nieprzekraczających zdolności wyłączalnej kontaktoru nie występują drgania elektromagnetyczne.



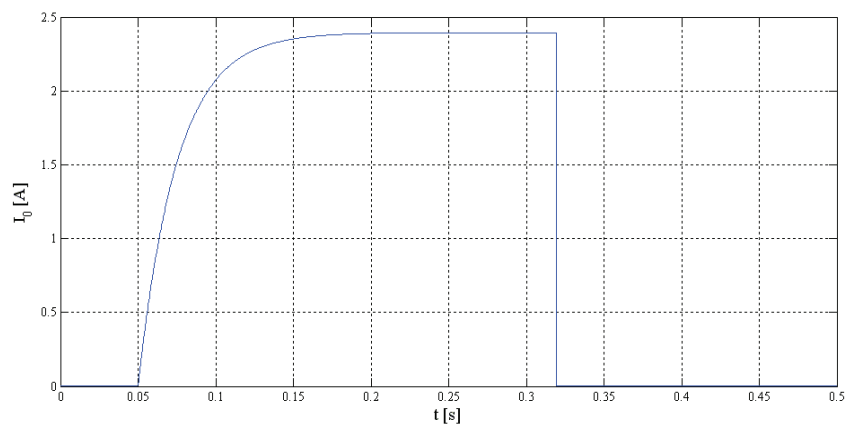
Rys. 6. Przebiegi chwilowej wartości prądu obciążenia $i_L=3$ A podczas procesu jego załączenia i wyłączenia ($L_0=0,125$ H; $L_m=0,5$ H; $L_b=0,2$ H; $L_L=0,01$ H; $R_0=100$ Ω ; $R_M=30$ Ω ; $R_b=20$ Ω ; $R_L=74$ Ω) (opracowanie własne)



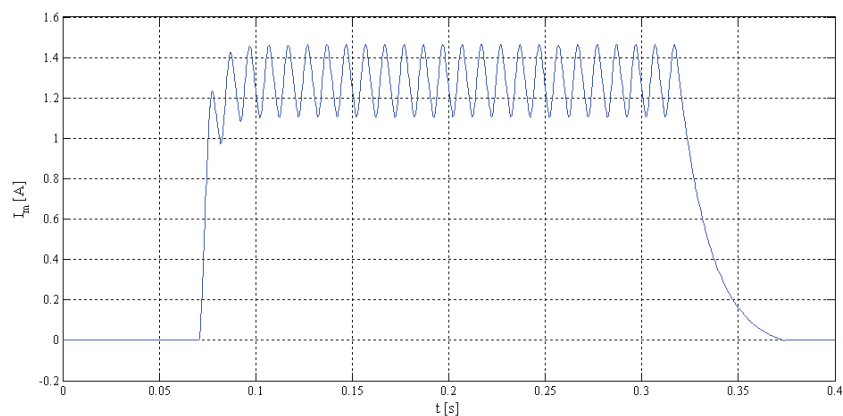
Rys. 7. Przebiegi chwilowej wartości prądu obciążenia $i_L=7,5$ A podczas procesu załączania i wyłączenia ($L_0=0,125$ H; $L_m=0,5$ H; $L_b=0,2$ H; $L_L=0,09$ H; $R_0=100$ Ω ; $R_M=30$ Ω ; $R_b=20$ Ω ; $R_L=10$ Ω) (opracowanie własne)

Dla porównania przeanalizowano również wpływ wyższych wartości prądu obciążenia na proces synchronicznego łączenia. Widoczne na rysunku 7. oscylacje prądu obciążenia ($i_L=7,5$ A), zachodzące podczas otwierania styków łącznika kontaktornowego, wynikają z faktu nieprzerwywania prądu w momencie

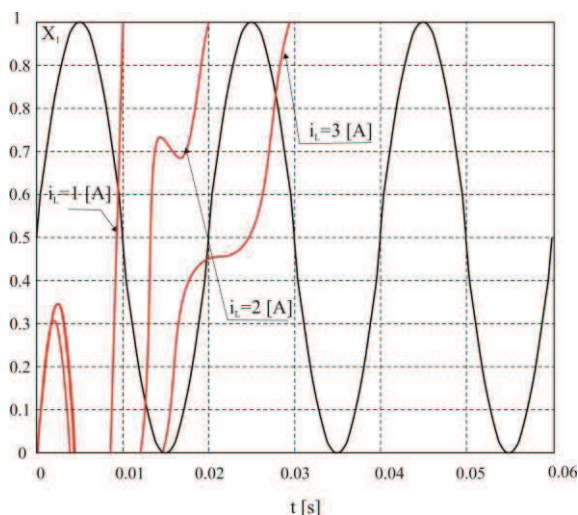
jego przechodzenia przez zero i z konieczności rozładowania energii obwodu probierczego w układzie LC. Przebiegi zmiany prądu płynącego w cewce napędowej i_0 i cewce załączającej i_m w chwili załączenia i wyłączenia łącznika kontaktornowego pokazano dla przykładu na rysunkach 8. i 9.



Rys. 8. Przebieg prądu i_0 cewki napędowej w funkcji czasu podczas procesu synchronicznego załączania i wyłączenia (opracowanie własne)



Rys. 9. Przebieg prądu i_m cewki załączającej w funkcji czasu podczas procesu synchronicznego załączania i wyłączenia (opracowanie własne)



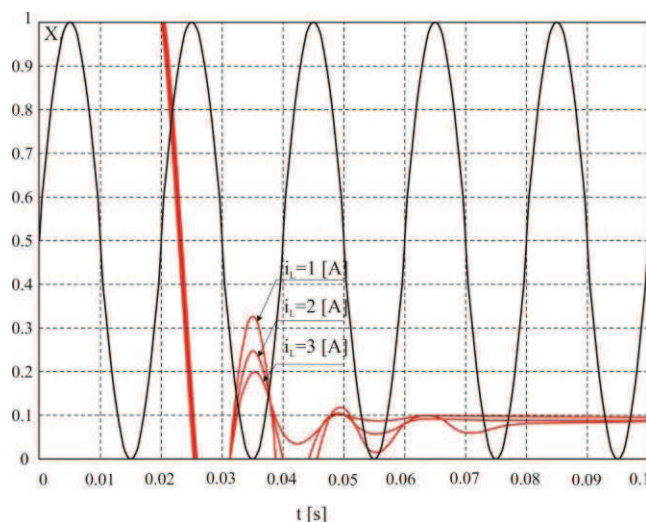
Rys. 10. Ruch styczki w procesie załączania łącznika kontaktorowego w funkcji czasu dla różnych wartości prądu obciążenia $i_L = 1; 2; 3$ [A] [3]

Zbadano również wpływ oddziaływania prądu obciążenia zestyku na dynamikę łącznika kontaktorowego w stanach przejściowych jego działania. Prąd zaczyna płynąć przez kontaktor, gdy krzywa X_1 (określająca względną długość szczeliny stykowej i odpowiadająca zamknięciu zestyku) przekroczy wartość 1, co ma miejsce w momencie, kiedy prąd obciążenia przechodzi przez zero. Odpowiada to przesunięciu się styczki o odległość równą maksymalnemu przemieszczeniu się od stanu otwartego do stanu zamkniętego [2]. Symulację wykonano na modelu łącznika kontaktorowego zaprojektowanego dla prądu obciążenia wynoszącego odpowiednio $i_L = 1; 2; 3$ A. Po wykonaniu symulacji ruchu styczki oraz odpowiedniej korekty parametrów otrzymano wyniki przedstawione dla przykładu na rysunkach 10. i 11.

Analizując otrzymane przebiegi, można zauważyć, że synchroniczne załączenie nie występuje tylko dla wartości prądu obciążenia, dla którego dany łącznik został zaprojektowany, ale również dla mniejszych wartości prądu obciążenia. Oznacza to, że projektując łącznik, należy kierować się przede wszystkim górną granicą wartości prądu obciążenia i_L , jaką dany łącznik kontaktorowy powinien załączać i/lub wyłączać.

5. WERYFIKACJA WYNIKÓW

W celu weryfikacji wyników otrzymanych na podstawie przeprowadzonych analiz teoretycznych przedstawiono przykładowe przebiegi dotychczas prezentowane w literaturze [4]. Dla porównania wykorzystano gazowane standardowe kontaktry zwierne z zastosowanym złotem jako materiałem



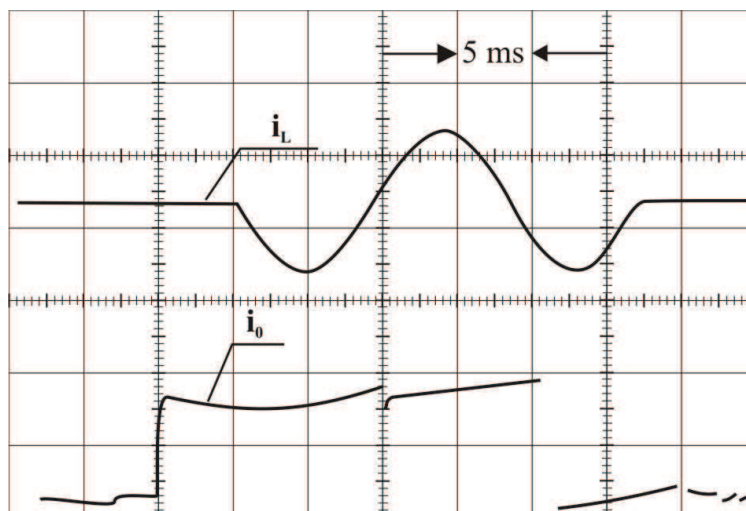
Rys. 11. Ruch styczki w procesie wyłączania łącznika kontaktorowego w funkcji czasu dla różnych wartości prądu obciążenia $i_L = 1; 2; 3$ [A] [3]

stykowym. Cewka napędowa sterowana była z generatora impulsów prostokątnych o częstotliwości regulowanej do 6 Hz. W układzie tym obciążenie stanowił obwód rezystancyjny o niewielkiej wartości indukcyjności zasilany ze źródła napięcia przemiennego 50 Hz o wartościach 127 V – 220 V i wartości skutecznej prądu obciążenia $i_L = 5$ A. Przedstawione wyniki badań eksperymentalnych w pełni potwierdziły przydatność kontaktorów do pracy w układach jednofazowych łączników synchronicznych.

Otrzymany w wyniku symulacji kształt przebiegu prądu obciążenia zestyku i_L (rys. 6) oraz prądu cewki napędowej i_θ (rys. 8) są zgodne z przebiegami rzeczywistymi prezentowanymi w literaturze (rys. 12). We wszystkich analizowanych przypadkach załączenie i wyłączenie łącznika kontaktorowego odbyło się synchronicznie w chwili przejścia prądu przez zero. Tym samym można potwierdzić prawidłowość działania wykonanego modelu matematycznego jednofazowego synchronicznego łącznika kontaktorowego.

6. WNIOSKI

Obecne oraz przyszłe zastosowanie łączników kontaktorowych wydaje się w pełni uzasadnione, gdyż pod wieloma względami są one doskonalsze od konwencjonalnych przekładników. Prosta konstrukcja, brak regulacji, większa czułość, krótkie czasy przełączania oraz duża niezawodność w trudnych warunkach pracy i otoczenia przemawiają za ich zastosowaniem w szczególności w systemach o zastrzonych wymaganiach.



Rys. 12. Oscylogram z pracy łącznika synchronicznego podczas załączania i wyłączania prądu obciążenia i_L o wartości skutecznej 5 A kontaktronem standardowym zwiernym ze złożonym pokryciem styków ($\Theta_{op}=80$ A; $\Theta_r=50$ A; $n_b=180$; $nm=n_0=3000$) [4]

Poprzez odpowiedni dobór parametrów cewek (liczba zwojów, indukcyjność, rezystancja) oraz wartości dodatkowej rezystancji i pojemności dopasowującej (do ograniczenia wartości i regulacji kąta przesunięcia fazowego) uzyskuje się synchroniczne działanie kontaktronu zarówno podczas procesu załączania, jak i wyłączania prądu obciążenia zestyku.

Opracowany model matematyczny ułatwia analizę działania i projektowanie łączników kontaktronowych bez konieczności przeprowadzania dodatkowych badań, tak aby zapewnić jego poprawną pracę. Wymaga to odpowiedniego doboru optymalnego sposobu napędzania oraz parametrów magnetycznych, mechanicznych i elektrycznych, dzięki którym możliwe jest zapewnienie odpowiedniej dynamiki działania łącznika kontaktronowego (minimalizacji odskoków styków oraz ich drgań w stanach przejściowych). Wprawdzie analiza ruchu wykonana przy założeniu jednomasowego układu drgającego nie prowadzi do dokładnego odwzorowania rzeczywistego przebiegu odskoków kontaktronów, pozwala jednak na oszacowanie dynamiki łącznika kontaktronowego z zadowalającą w praktyce dokładnością.

Uzyskanie skutecznego działania dla małych wartości prądu obciążenia zestyku potwierdza efektywne działanie synchronicznego łącznika kontaktronowego.

Literatura

1. Miedziński B., Fjałkowski Z., Shoffa V.: *Jednofazowy synchroniczny łącznik kontaktronowy*, Przegląd Elektrotechniczny, R. LXXIX (2003), nr 3, s. 167-171.
2. Miedziński B.: *Dynamika kontaktronu pracującego w układach automatyki elektroenergetycznej*, Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, Nr 73 (1987), Seria Monografie, Nr 18.
3. Grzesiak R.: *Praca kontaktronowego łącznika synchronicznego w warunkach zmiennych obciążeń prądowych*, Praca magisterska, Politechnika Wrocławska, Instytut Energoelektryki, Wrocław 2004.
4. Shoffa V., Miedziński B., Wiśniewski G.: *Synchronous Switching by a Reed*, *Proceedings 49th Int. Relay Conference*, Oak Brook, Illinois (2001), s. 17.1-17.8.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów