

Koncepcja jednofazowego łącznika hybrydowego do zastosowań energetycznych

Streszczenie. W artykule autorzy prezentują koncepcję budowy hybrydowego jednofazowego łącznika energetycznego za pomocą którego istnieje możliwość załączenia i wyłączenia obwodów prądu przemiennego przy nieznacznej rezystancji zestykowej układu stykowego w stanie załączenia. Dodatkowo opisywana konstrukcja pozwala uzyskać widoczną przerwę izolacyjną w stanie wyłączenia. Zaproponowano konstrukcję bipolarną umożliwiającą włączenie obwodu zarówno przy dodatniej jak i ujemnej półfali napięcia oraz unipolarną załączaną tylko dodatnią częścią półfali. Przeprowadzono badania symulacyjne zaproponowanego układu w środowisku Tcad.

Abstract. The authors present the concept of the hybrid single-phase power switch in this paper. The proposed solution allows you to turn on and off circuits with very low contact resistance in draft mode. Additionally disclosed design allows for visible isolation in the off state. Have been proposed two structures connector, bipolar and unipolar respectively. The first one allows the circuit to enable both positive and negative half-wave voltage. Second only positive half-waves voltage. Simulation tests of power switch performed in the Tcad. (**Conception a single – phase hybrid switch for power applications**).

Słowa kluczowe: łącznik energetyczny, łącznik hybrydowy.

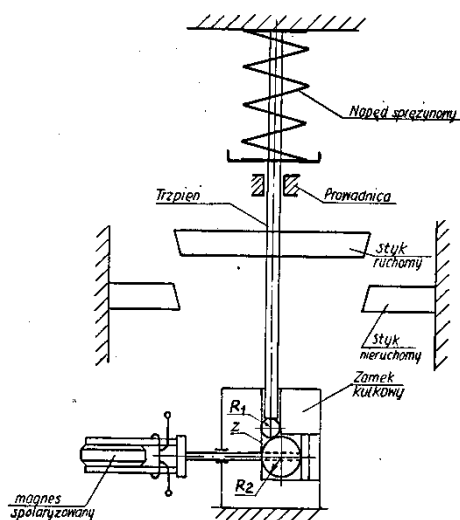
Keywords: power switch, hybrid coupler.

Wstęp

Łącznikiem elektrycznym nazywamy aparat elektryczny służący do załączania lub wyłączania prądu w jednym lub większej liczbie obwodów elektrycznych. Jednym z kryteriów podziału tego urządzenia jest sposób załączania i wyłączania zasilanych obwodów. W ramach tego podziału wyróżnimy łączniki hybrydowe, które łączą w sobie elementy mechanizmowe i półprzewodnikowe.

Szybki łącznik zestykowy stanowi podstawowy zespół łącznika hybrydowego prądu przemiennego. Powinien charakteryzować się małą rezystancją zestykową oraz widoczną przerwą izolacyjną w stanie otwartym, aby umożliwiać załączanie prądu przez łącznik hybrydowy w wybranej fazie napięcia zasilania. Dodatkowo łącznik zestykowy powinien charakteryzować się również:

- odpowiednią do wartości napięcia zasilającego prędkością zamykania styków,
- małym rozrzutem czasów własnych,
- dużą trwałością łączeniową.



Rys. 1. Schemat ideowy załącznika zwarciovego [1]

Zasadniczymi podzespołami łącznika zestykowego (rys. 1) są tor prądowy, zawierający styki ruchome

i nieruchome, układ napędowy do otwierania i zamykania styków oraz zamek kulkowy z magnesem spolaryzowanym.

Otwieranie łącznika możliwe jest przy pomocy napędu elektromagnetycznego albo pneumatycznego i napędu ręcznego. W czasie otwierania łącznika następuje zbliżanie zwory magnesu spolaryzowanego aż do jej przytrzymania przez magnes oraz ustawienie zamka w położeniu zaporowym. Zamykanie łącznika następuje w wyniku krótkotrwałego przepływu prądu przez uzwojenie wyzwalające magnesu spolaryzowanego. Wykonanie procesu zamykania łącznika w odpowiedniej fazie napięcia zasilania będzie możliwe za pomocą odpowiedniego układu elektronicznego.

Z procesem otwierania i zamykania łączników elektroenergetycznych ściśle związane są czasy własne łączników. Czasy te charakteryzują ilościowo cały przebieg procesu otwierania czy zamykania łącznika. Pozwalają między innymi na ocenę pracy urządzeń wyzwalających, zamków, jednoczesności ruchu styków ruchomych w poszczególnych biegunach łącznika itp. Od wartości czasów własnych i ich rozrzutów zależy przeznaczenie łączników [4].

W dynamice ruchu styków ruchomych łącznika szybkiego zestykowego siły oporu zamka oraz przewodnic odgrywają znaczącą rolę. Opory te powodują wydłużanie czasu zamykania styków. Przebieg zmienności tych sił może być przyczyną dodatkowych rozrzutów czasów własnych łączników, co jest szczególnie niepożądane dla załączników zwarciovych i wyłączników synchronizowanych. Ogólne równanie ruchu styków ruchomych wzdłuż osi y , można zapisać w postaci:

$$(1) \quad m \frac{d^2 y_s}{dt^2} + c y_s + F_{spr} = F_a + mg$$

gdzie: m – masa sprowadzona układu ruchomego styków, c – sztywność sprężyny napędowej, F_{spr} – siła sprowadzona oporu zamka, będąca funkcją położenia styków podczas ich ruchu, F_a – wartość siły początkowej siłownika napędzającego układ ruchomy, g – przyspieszenie ziemskie.

W obliczeniach dynamiki ruchu styków, w układzie jak na rysunku 2, z uwagi na znacznie większy skok styków w stosunku do zakresu działania siły F_{spr} , udział oporów

zamka w dynamice ruchu styków, został pominięty. Celem tej analizy obliczeniowej było ustalenie związków, które istnieją między skokiem styków ruchomych y_0 , siłami zewnętrznymi F_a , masą sprowadzoną m oraz natężeniem pola E_{kr} i kątem α styczności styków. Równanie ruchu takiego układu, przy założeniu wymuszenia liniowego w funkcji położenia styków, można wyrazić zależnością:

$$(2) \quad m \frac{d^2 y_s}{dt^2} = F_a + mg - cy_s$$

Przyjmując warunki początkowe zerowe, tzn. dla $t = 0$, zarówno $y_s = 0$ jak i prędkość $v_y(0) = 0$, rozwiązanie równania przedstawia się następująco:

$$(3) \quad y_s = \frac{F_a + mg}{c} (1 - \cos \omega t)$$

gdzie: ω jest pulsacją układu ruchomego.

$$(4) \quad \omega = \sqrt{\frac{c}{m}}$$

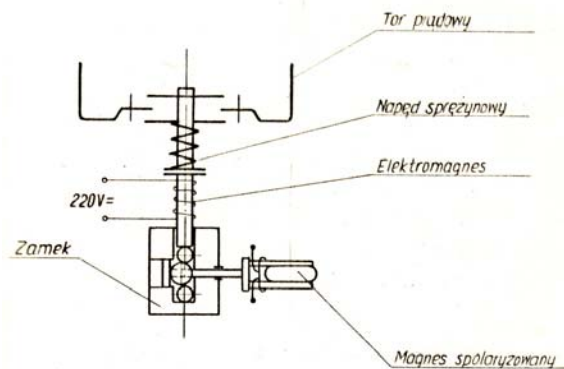
Natomiast przebieg prędkości styków v_y w funkcji czasu wyraża się wzorem:

$$(5) \quad v_y = \frac{F_a + mg}{c} \omega \sin \omega t$$

W układach stykowych stożkowych, w których sprężyna napędowa pełni również funkcję dociskania styków, wartość początkowa tej siły sprężyny F_a jest ściśle związana z obciążalnością ciągłą i graniczną wartością prądu szczytowego układu stykowego.

Opracowanie konstrukcji modelu szybkiego łącznika zestykowego niskiego napięcia

W łącznikach elektrycznych przemieszczenie się styków ruchomych odbywa się z użyciem mniej lub bardziej rozbudowanego mechanizmu napędowego i mechanizmu zamka łącznika (rys. 2). Istotne jest przy tym, uzyskanie przez styki ruchome odpowiedniej prędkości w chwili zetknięcia się styków.

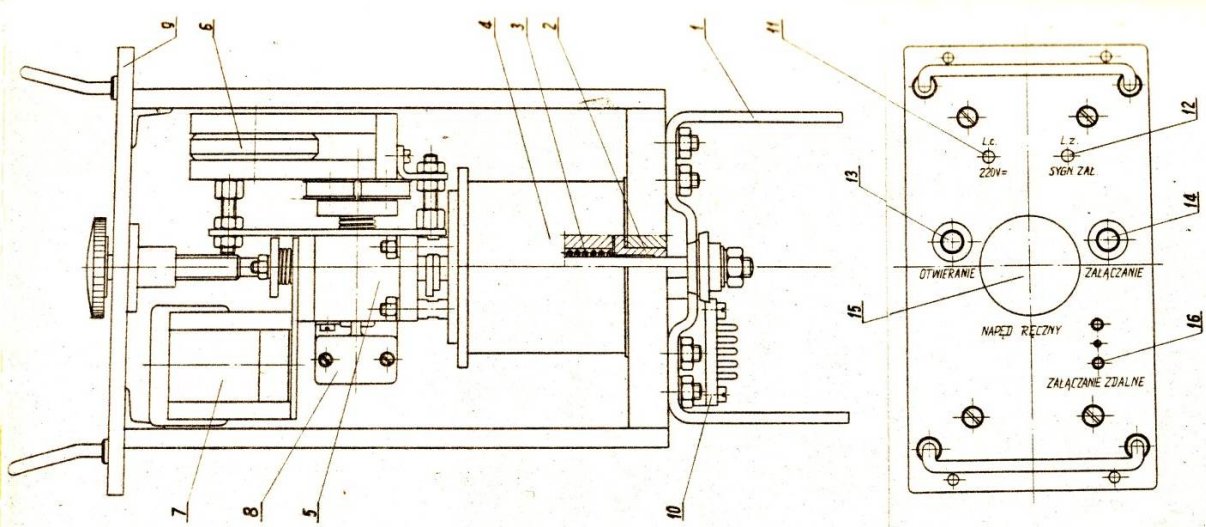


Rys. 2. Schemat ideowy łącznika zwarcowego [2]

Dla danej prędkości styku ruchomego v_y , definiowanej jako prędkość osiowego przemieszczania się styku ruchomego, prędkość v_s schodzenia się (zbliżania się) styków jest zależna przede wszystkim od kąta α skosu końcówki styku ruchomego (styczności styków). Ważny jest też związek jaki istnieje między prędkością styku, kątem styczności styków, skokiem styku ruchomego i parametrami układów stykowego i napędowego. W trakcie przemieszczania się styków ruchomych rozpatrywanych układów stykowych, oprócz siły układu napędowego, pojawiają się siły bezwładności styków ruchomych, siły tarcia w przewodnicach styku ruchomego oraz siły oporu zamka. Wszystkie te czynniki, decydujące o dynamice ruchu styków, wzięto pod uwagę przy opracowaniu koncepcji łącznika szybkiego zestykowego.

Zasadniczymi podzespołami jednobiegunowego łącznika szybkiego niskiego napięcia (rys. 3) są:

- tor prądowy – 1,
- układ prowadzenia styków ruchomych – 2,
- napęd sprężynowy – 3,
- elektromagnes – 4,
- zamek – 5,
- magnes spolaryzowany – 6,
- łączniki pomocnicze – 8,
- płyta czołowa – 9.



Rys. 3. Ogólny widok modelu łącznika szybkiego n.n. [3]

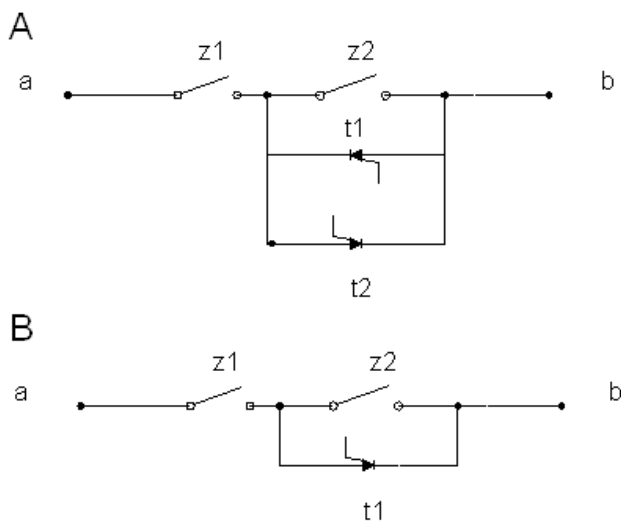
Tor prądowy składa się z dwóch zestyków rozłącznych, tworzących dwie powietrzne, widoczne przerwy izolacyjne w stanie otwartym łącznika i dwóch szyn przyłączowych.

Styki ruchome mają kształt stożka. Styki nieruchome są dzielone, posiadają powierzchnie styczności ukształtowane tak jak styki ruchome. Układ prowadzenia styków

ruchomych zapewnia osiowe prowadzenie tych styków, przesuujących się pod działaniem napędu sprężynowego. Otwieranie (zbrojenie) łącznika szybkiego umożliwia elektromagnes lub napęd ręczny, który powoduje otwieranie styków ruchomych oraz ściskanie sprężyny zamykającej (napędowej). Otwierające się styki ruchome łącznika, umożliwiając pośrednio przesuwanie się zwory magnesu aż do momentu przytrzymania jej przez magnes spolaryzowany, zajęcie przez kulki zamka położenia zaporowego oraz przełączenie styków pomocniczych w obwodzie sterowania. Załączenie łącznika szybkiego następuje w wyniku krótkotrwałego przepływu prądu przez uzwojenie wyzwajające magnes spolaryzowanego. Płyta czołowa łącznika wyposażona jest we wskaźniki sygnalizacyjne, przyciski i gniazdo sterownicze oraz napęd ręczny. Przedstawiony model łącznika szybkiego zestykowego będzie stanowił istotny zespół opracowywanego hybrydowego łącznika jednofazowego.

Hybrydowy łącznik prądu przemiennego

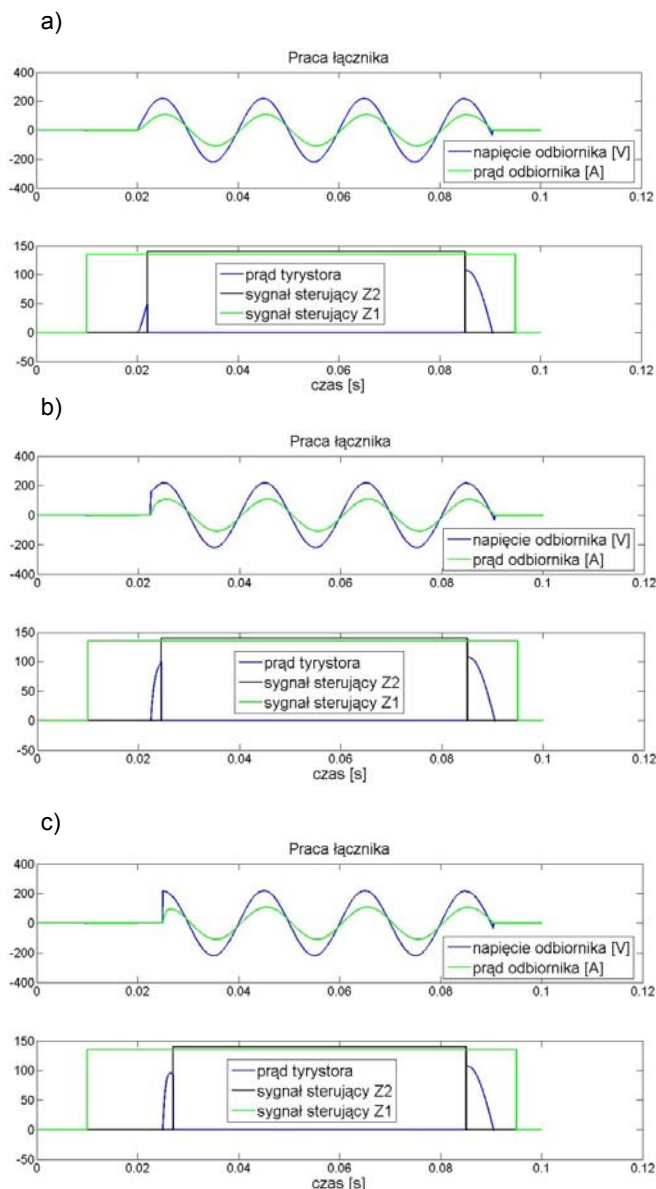
Na rysunku 4 przedstawione zostały schematy ideowe proponowanych konstrukcji łączników hybrydowych. Jednofazowy łącznik hybrydowy zbudowany jest z mechanicznego łącznika szybkiego oraz półprzewodnikowych łączników mocy. Zestyk łącznika szybkiego $z1$ pełni rolę zestyku izolacyjnego natomiast zestyk $z2$ zestyku głównego. Zestyk główny zbcznikowany jest dwoma tyrystorami połączonymi odwrotnie równolegle schemat A. Taka konstrukcja umożliwia włączenie łącznika przy dodatniej i ujemnej polaryzacji napięcia chwilowego występującego na zaciskach a - b. Natomiast schemat B przedstawia uproszczoną wersję łącznika, którego włączenie możliwe jest tylko przy dodatniej półfali napięcia zasilania.



Rys. 4. Schemat ideowy hybrydowego łącznika prądu przemiennego

Opisywany łącznik prądu przemiennego posiada właściwości zbliżone do łącznika idealnego, zapewnia on bezłukowe załączenie i wyłączenie obwodów prądu przemiennego przy nieznacznej rezystancji styku w stanie załączenia oraz pozwala uzyskać widoczną przerwę izolacyjną w stanie wyłączenia. Dodatkowo umożliwia jego włączenie w określonej chwili napięcia sieci. Proces wyłączenia łącznika następuje przy zerowej wartości prądu w obwodzie. Szybkości włączenia i wyłączenia łącznika zależą od właściwości łącznika mechanicznego. Podstawowym czynnikiem wpływającym na trwałość łączeniową układu stykowo-gaszeniowego łącznika jest łuk

elektryczny zapalający się między stykami przy wyłączaniu prądu obwodu oraz przy jego załączeniu podczas odskoków łukowych. Wydzielona w tym czasie energia powoduje erozję styków i niszczenie komory gaszeniowej zmniejszając trwałość łączeniową łącznika. Aby ograniczyć do minimum to niekorzystne zjawisko i przedłużyć okres eksploatacji łączników należy maksymalnie ograniczyć energię łuku łączeniowego w zestyku. Poprawę właściwości łącznika można uzyskać boczniując łącznik główny łącznikiem półprzewodnikowym. W chwili obecnej prowadzone są badania materiałowe mające na celu wybór odpowiedniej struktury materiału półprzewodnikowego który znalazłby zastosowanie w łącznikach hybrydowych [5].



Rys. 5. Przebiegi obrazujące pracę jednofazowego łącznika hybrydowego dla różnych kątów opóźnienia załączenia: a) 0° , b) 45° i c) 90° .

Proces włączenia można podzielić na kilka etapów i przebiega on w następujący sposób. W pierwszym etapie następuje zamknięcie styku $z1$. Ta operacja powoduje dorowadzenie napięcia do typrystorów $t1$ i $t2$. Zastosowanie łączników sterowanych fazowo w strukturze łącznika pozwala na wybranie chwili ich załączenia, umożliwia to na sterowanie pracą obwodów wymagających sterowania synchronicznego. W kolejnym kroku zostaje podany sygnał

sterujący na bramki tyrystorów przy wybranej polaryzacji i fazie napięcia zasilającego. Proces łączenia kończy zamknięcie styku z2. Stan włączenia łącznika hybrydowego charakteryzuje się małą rezystancją przejścia ponieważ zwarte są styki z1 i z2.

Podczas wyłączenia łącznika w pierwszej kolejności jest otwierany łącznik z2. W tym czasie prąd przewodzi tyristor. Po kilku mili sekundach odłącza się sygnały sterujące pracą tyrystorów. Tyristor przestaje przewodzić przy przejściu prądu przez zero, powodując wyłączenie łącznika. Zanik napięcia na zacisku b łącznika jest sygnałem do otwarcia styku z1 co zapewnia przerwę izolacyjną w stanie wyłączenia.

Prezentowany łącznik został zamodelowany w programie symulacyjnym Tcad. Celem przeprowadzonych badań symulacyjnych było ustalenie czasów uruchamiania kolejnych elementów łącznika. Załączane łącznikiem różne odbiory tj. baterie kondensatorów, piece indukcyjne, zgrzewarki, mogą być źródłem wielu zaburzeń sieci zasilającej. Aby zminimalizować negatywne skutki związane z procesami łączenia poszczególnych odbiorów należy poznać procesy fizyczne im towarzyszące. Jednym ze sposobów minimalizacji zakłóceń związanych z procesami łączeniowymi jest czas włączenia poszczególnych odbiorów do sieci. Na rysunku 5 zaprezentowano przebiegi czasowe obrazujące pracę łącznika załączanego w dodatniej półfali napięcia sieci. Symulacje przeprowadzone zostały dla różnych kątów opóźnienia wysterowania tyristora.

Podsumowanie

W artykule opisano konstrukcję jednofazowego hybrydowego łącznika prądu przemiennego. Proponowane rozwiązanie jest połączeniem powszechnie stosowanego szybkiego łącznika zestykowego z układem elektronicznym. Prezentowana konstrukcja łącznika hybrydowego umożliwia dokonywanie w danym obwodzie elektrycznym czynności łączeniowych, w wybranej fazie napięcia zasilania. Z tego powodu, łączniki hybrydowe znalazły zastosowanie do załączania transformatorów, urządzeń zgrzewających i spawalniczych. Opisywana konstrukcja niezbędna jest to załączania do sieci pojemnościowych kompensatorów statycznych. W przypadku konstrukcji bipolarnej istnieje

możliwość repolaryzacji baterii kondensatorów. Jedną z zalet proponowanej konstrukcji jest zapewnienie wyłączenia obwodu przy przejściu prądu przez zero. Dodatkowo łączniki tego typu zapewniają widoczną przerwę izolacyjną podczas wyłączenia, co jest niezbędnym wymaganiem w eksploatacji wielu urządzeń elektroenergetycznych.

Kolejnym etapem prac będzie budowa prototypu łącznika hybrydowego. Następnie przeprowadzone zostaną badania współpracy proponowanego rozwiązania z siecią energetyczną.

Autorzy: prof. dr hab. inż. Stanisław Kulas, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Systemów Elektronicznych, ul. Kaliskiego 2, 00 – 908 Warszawa 49, E-mail:skulas@wat.edu.pl; prof. dr hab. inż. Henryk Supronowicz, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Systemów Elektronicznych, ul. Kaliskiego 2, 00 – 908 Warszawa 49, E-mail:hsupronowicz@wat.edu.pl; dr inż. Marek Suproniuk, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Systemów Elektronicznych, ul. Kaliskiego 2, 00 – 908 Warszawa 49, E-mail:m-suproniuk@wat.edu.pl; mgr inż. Katarzyna Michta, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Systemów Elektronicznych, ul. Kaliskiego 2, 00 – 908 Warszawa 49, E-mail:kmichta@wat.edu.pl

LITERATURA

- [1] Kolimas Ł., Kulas S., Piskala M., Zgliński K.: Laboratorium obciążalności torów wielkopiędowych i zestyków, OWPW, Warszawa 2014.
- [2] Kulas S.: Podstawy konstrukcji elektromechanicznych, OWPW, Warszawa 2012.
- [3] Kulas S., Kolimas Ł.: Badania symulacyjne wielkopiędowego układu stykowego załącznika zwarciovego. Przegląd Elektrotechniczny – Konferencje, nr 3, Warszawa 2007, s. 137-140.
- [4] Kulas S. J., Supronowicz H.: Analiza procesu załączania prądu łącznikami elektrycznymi zestykowymi w układach kompensacji mocy biernej; Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa; Czasopismo Naukowo-Techniczne, PL ISSN 0208-7448, Katowice 2013, nr 12, str. 38 – 42.
- [5] Suproniuk M., Kamiński P., Kozłowski R., Pawłowski M.: Effect of deep-level defects on transient photoconductivity of semi-insulating 4H-SiC, Acta Physica Polonica A, Warsaw, 125, 4(II), 2014, s.1042-1048, ISSN 0587-4246.