

## Łączniki nowe i eksploatowane – porównanie charakterystycznych czasów działania

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono porównanie charakterystycznych czasów działania łączników elektromagnetycznych fabrycznie nowych i będących w wieloletniej eksploatacji. Analizie poddano takie parametry łączników jak czas załączania wyłączenia, niejednoczesność zamykania oraz porównano ilość występujących odskoków przy zamykaniu. W wyniku wieloletniej eksploatacji łączników oprócz zmian ich parametrów cieplnych zmieniają parametry wynikające ze zużycia mechanicznego łącznika w stosunku do fabrycznie nowego.

**Abstract.** The article presents a comparative analysis of the operating time parameters concerning brand new switches and the ones that have been in use for many years. Such parameters as making and breaking times, anticoincidence of the closures, and the number of rebounds at the closing have been analyzed. As compared to brand new switches, switches that have been used for many years, aside with changes in their thermal parameters, exhibit parameter changes resulting from the mechanical wear. (**New and used electrical switches - comparative analysis of their characteristic operating time parameters**).

**Słowa kluczowe:** łączniki elektromagnetyczne, rezystancja zestykowa.

**Keywords:** electromagnetic switches, contact resistance.

doi:10.12915/pe.2014.03.46

### Wstęp

Ciągły rozwój elektroenergetyki związany jest z ciągłym wzrostem wartości prądów znamionowych jak również stale rośnie liczba punktów rozdziału i przetwarzania energii elektrycznej. W związku z tym wzrasta również znaczenie ciągłości zasilania co pociąga za sobą wymagania dotyczące jakości produkcji i niezawodności pracy łączników. Od niezawodności łączników elektromagnetycznych zależy przebieg eksploatacji wielu urządzeń i systemów, dlatego konieczny jest ciągły rozwój badań nad niezawodnością łączników, metodami oceny żywotności łączników, sposobami podtrzymania w możliwie długiej eksploatacji oraz kształtowania na właściwym poziomie procesu projektowania i wytwarzania nowych łączników. Badania, analiza i ocena wyników umożliwiają poznanie zależności między uszkodzeniami, a przyczynami je wywołującymi oraz tworzenie modelu niezawodnościowego, który jest niezbędny do trafnego projektowania łączników oraz użytkowania łączników zapewniającego optymalne pod względem technicznym i ekonomicznym osiągnięcia łącznika elektrycznego.

Parametry, które określają łączniki elektryczne w normalnych i zakłóceńowych warunkach pracy to [1]:

- napięcie znamionowe izolacji  $U_n$  – jest to wartość skuteczna napięcia międzyfazowego sieci, na którą izolacja łącznika została zbudowana i oznaczona.
- prąd znamionowy ciągły (cieplny)  $I_n$  – największa wartość skuteczna prądu, który może płynąć przez łącznik w określonym czasie, temperaturze i warunkach.
- zdolność wyłączenia - wartość spodziewanego prądu, którą łącznik może przerwać określoną liczbę razy, w ustalonych warunkach i z ustalonym szeregiem łączeniowym, pozostając przydatnym do dalszej pracy.
- trwałość mechaniczna - największa liczba cykli łączeniowych, którą nie obciążony prądem łącznik może wykonać bez naprawy ani wymiany części, pozostając przydatnym do wykonywania czynności łączeniowych.
- znamionowa częstość łączeń - największa liczba cykli łączeniowych w określonym czasie kiedy łącznik prawidłowo spełnia swoją funkcję, a jego trwałość łączeniowa nie jest mniejsza od trwałości znamionowej.
- trwałość łączeniowa – liczba cykli łączeniowych jaka może zostać wykonana łącznikiem w określonym układzie pobierczym przy znamionowej częstości

łączeń, znamionowym prądzie i napięciu do wartości 110% napięcia znamionowego.

Łącznik stycznikowy jest przeznaczony do manewrowania z dużą częstością łączeń silnikami elektrycznymi oraz innymi odbiornikami energii elektrycznej, w szczególności gdy występuje konieczność zdalnego załączania i wyłączania urządzeń. Inne właściwości styczników to bardzo duża trwałość mechaniczna i łączeniowa. Sprawiają one że styczniki są powszechnie stosowane z złożonych układach napędowych oraz układach automatyki. Wadą styczników jest mniejsza siła i szybkość otwierania styków niż w przypadku wyłączników.

Do przestawienia styków ruchomych stycznika ze stanu spoczynkowego do stanu wymuszenia służy napęd stycznika, który również utrzymuje go w stanie wymuszonym, natomiast do powrotu do stanu spoczynkowego stycznika stosowane są sprężyny zwrotne.

Zjawiska oraz procesy elektryczne, mechaniczne i cieplne mają zasadniczy wpływ na pracę styczników elektromagnetycznych. W głównej mierze należą do nich:

- występowanie rezystancji zestykowej a co za tym idzie nagrzewanie styków, ich zużycie elektryczne, powstawanie warstw nalotowych
- procesy mechaniczne występujące w trakcie wykonywania przez stycznik czynności łączeniowych przede wszystkim drgania i odskoki styków
- zjawisko łuku elektrycznego w procesach łączeniowych.

Te zjawiska i procesy oddziałują na siebie nawzajem i mimo możliwości ich modelowania i obliczania okazują się na tyle złożone, że niezbędna staje się weryfikacja doświadczalna uzyskiwanych właściwości i parametrów styczników.

Rozróżnia się następujące typowe rozwiązania konstrukcyjne zestyków [2]:

- zestyki szczękowe - są stosowane w łącznikach niskiego napięcia (łączniki ręczne, bezpieczniki stacyjne) jak również w łącznikach wysokiego napięcia (odłączniki, bezpieczniki).
- zestyki czołowe - wykorzystuje się je w łącznikach mechanicznych niskiego napięcia oraz w wyłącznikach pneumatycznych i z sześciofluorkiem siarki.
- zestyki wieńcowe - stosowane głównie w wyłącznikach wysokiego napięcia.

### Odskoki w łącznikach elektromagnetycznych

Podczas zamykania zestyku zmniejsza się odległość między stykami i kiedy jest już dostatecznie mała dochodzi do jej przebicia i wyładowania łukowego. Dalsze zbliżanie się styków prowadzi do zetknięcia się nierówności powierzchni stykowych i zgaszenia łuku. Bardzo duże gęstości prądów w elementarnych zestykach podczas początkowego procesu załączania powodują powstanie sił elektrodynamicznych odrzutu styków, gwałtowne parowanie utworzonych połączeń i ponowny zapłon łuku. Cykl ten może się powtórzyć kilkakrotnie.

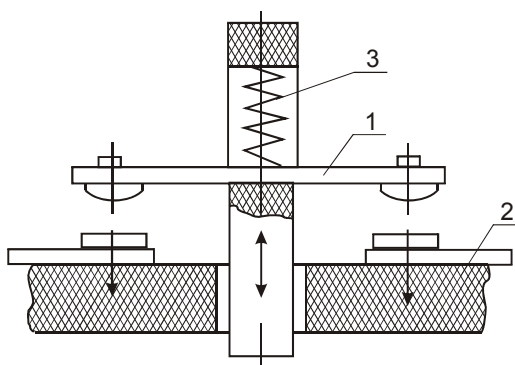
W wyniku zbyt długiego czasu zamykania (otwierania) łącznika oraz duża ilość odskoków może doprowadzić do zużycia elektrycznego zestyku a co za tym idzie do wzrostu rezystancji zestykowej i temperatury pracy zestyku [3]

### Badania

Styczniki IDX 31 firmy EAW DDR, o prądzie znamionowym  $I=90A$ , które zostały poddane badaniu produkowane są w kategorii użytkowania AC3. Są więc przede wszystkim przeznaczone do załączania silników indukcyjnych zwartych (klatkowych).

Styki w badanych stycznikach są dwuprzerwowe (rys. 1) posiadają styki stałe przymocowane do podstawy oraz ruchomy styk mostkowy, który łączy ze sobą rozmieszczone skrajnie styki stałe, wszystko otoczone jest powietrzem, które jest czynnikiem gaszącym powstającego przy załączaniu i rozłączaniu łuku elektrycznego. Zestyki w badanych stycznikach to zestyki punktowe wykonane z miedzi elektrolitycznej, natomiast sam zestyk (część robocza) pokryta jest warstwą srebra. Mechanizmem napędowym jest cewka i rdzeń elektromagnetyczny. Cewka jest przystosowana na napięcie 220V, 50Hz. Do rozłączania zestyku służą sprężyny zwrotne. Oprócz trzech styków głównych, styczniki wyposażone zostały w cztery styki pomocnicze po dwa z każdej strony jeden zwierny i jeden rozwierny. Obudowa, która pełni także funkcję podstawy jest wykonana z ebonitu.

W badaniach porównawczych wykorzystano dwa identyczne styczniki z tej samej serii produkcyjnej. Jeden ze styczników był fabrycznie nowy, tzn. nigdy nie był eksploatowany. Stycznik drugi, był to stycznik, który pracował w układzie zgodnie ze swoimi parametrami. W momencie demontażu był więc stycznikiem sprawnym, w którym nie wykryto skutków zużycia elektrycznego ani mechanicznego. Wymiana jego nastąpiła na skutek modernizacji układu. W związku z tym badaniom laboratoryjnym poddane zostały dwa w zasadzie „sprawne” styczniki.

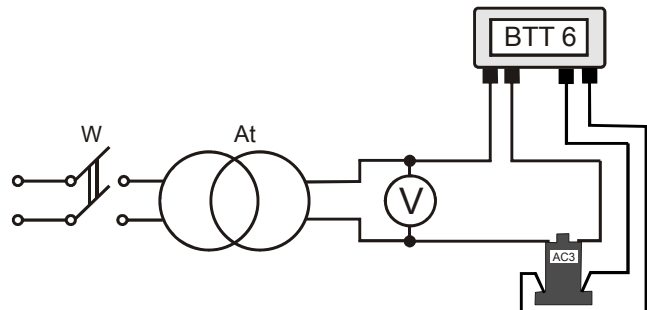


Rys.1. Zestyki punktowe w styczniku dwuprzerwowym [4]: 1 - styk ruchomy, 2 - styk nieruchomy, 3 - sprężyna dociskowa

Badania przeprowadzono na stanowisku pomiarowym składającym się z układu zasilania cewek sterujących łączników za pomocą autotransformatora z możliwością regulacji napięcia zasilającego w zakresie  $0,85 - 1,1 U_n$

oraz miernika czasów własnych łącznika. W badaniach zastosowano miernik EL-JET BTT 6. Jest to miernik czasów stosowany do pomiaru jednoczesności załączania i rozłączania, oraz czasów własnych, styków przekaźników, styczników, rozłączników oraz wyłączników niskiego, średniego i wysokiego napięcia a także do badania czasów zadziałania zabezpieczeń oraz innych urządzeń wymagających badania reakcji na zadany impuls.

Schemat ideowy układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 2.



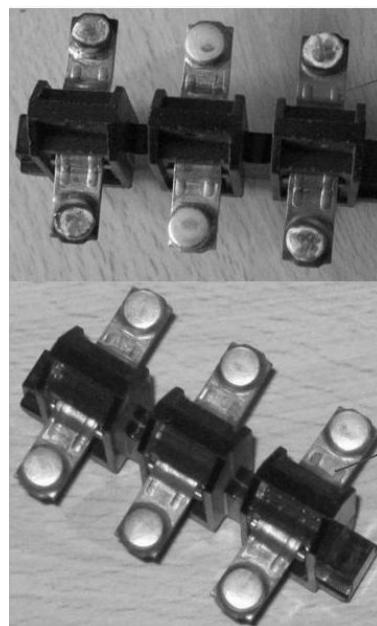
Rys.2. Schemat ideowy stanowiska pomiarowego

Badania przeprowadzono w zakresie napięć cewki sterującej stycznika  $0,85 - 1,1 U_n$  (wartości napięcia zasilania) Wartości napięć określone są dla prawidłowego działania cewek łączników elektromagnetycznych czyli w zakresie napięć sterujących od 85 do 110% wartości napięcia zasilającego.

Zgodnie z normą PN-EN 60947-5-1 „Aparaty i łączniki sterownicze - Elektromechaniczne aparaty sterownicze” podaje się następujące charakterystyczne czasy działania:

- Czas zamykania łącznika
- Czas otwierania łącznika
- Czas niejednoczesności zamykania łącznika
- Czas niejednoczesności otwierania łącznika
- Czas odskoków styków łącznika
- Czas występowania odskoków

W badaniach skupiono się na trzech parametrach czasowych łączników tj.: czasie zamykania, czasie otwierania oraz czasie odskoków.



Rys.3. Wygląd rzeczywisty mostka stykowego łącznika [3]: a) eksploatowanego, b) nowego

Wyniki porównawcze wartości czasów działania przy manewrowaniu stycznikiem przedstawiono w tabelach 1 oraz 2. Ilustracja graficzna wyników badań charakterystycznych czasów działania przedstawiono na rysunku 4.

Czas działania łącznika charakteryzuje jego szybkość wyłączenia lub załączania urządzenia. Odpowiednio krótki czas działania łącznika ogranicza działanie wyładowania łukowego na jego stykach, w związku z tym ogranicza degradację powierzchni stykowej a więc rezystancji zestykowej. Czas odskoków jest to potencjalny czas zapalania się i gaśnięcia łuku elektrycznego. W celu

ograniczenia odskoków stosuje się między innymi zwiększenie początkowego docisku zestykowego oraz ograniczenie prędkości styku ruchomego podczas zamykania.

W wyniku badań stwierdzono wydłużenie charakterystycznych czasów działania stycznika eksploatowanego w stosunku do czasów działania stycznika fabrycznie nowego. Największe różnice można zaobserwować w dolnej części przedziału napięciowego ( $0,85 U_n$ ) przy zamykaniu, natomiast przy otwieraniu różnice są porównywalne w całym zakresie zmian napięcia zasilającej cewki elektromagnesu łącznika.

Tabela 1. Zestawienie charakterystycznych czasów działania styczników: nowego i będącego w wieloletniej eksploatacji

Styki	$U = 0,85 U_n$		$U = U_n$		$U = 1,1 U_n$	
	nowy	eksploatowany	nowy	eksploatowany	nowy	eksploatowany
Czas zamykania [ms]						
A	19,4	35,2	11,8	42,7	17,3	15,7
B	26,2	18,6	18,6	15,4	20,3	11,6
C	40,5	99,4	19,8	17,9	19,6	22,9
Czas otwierania [ms]						
A	8,7	12,8	11,7	13,4	9,8	16,2
B	8,6	12,8	11,4	13,7	9,6	16,2
C	8,8	12,9	11,5	13,7	9,7	16,1
Czas odskoków [ms]						
A	0,5	19,8	0	28,0	0,3	4,8
B	7,0	2,3	6,8	1,1	2,3	1,6
C	21,4	83,6	11,9	3,8	4,1	12,8

Tabela 2. Całkowite czasy zamknięcia i otwarcia łącznika elektromagnetycznego nowego i będącego w wieloletniej eksploatacji

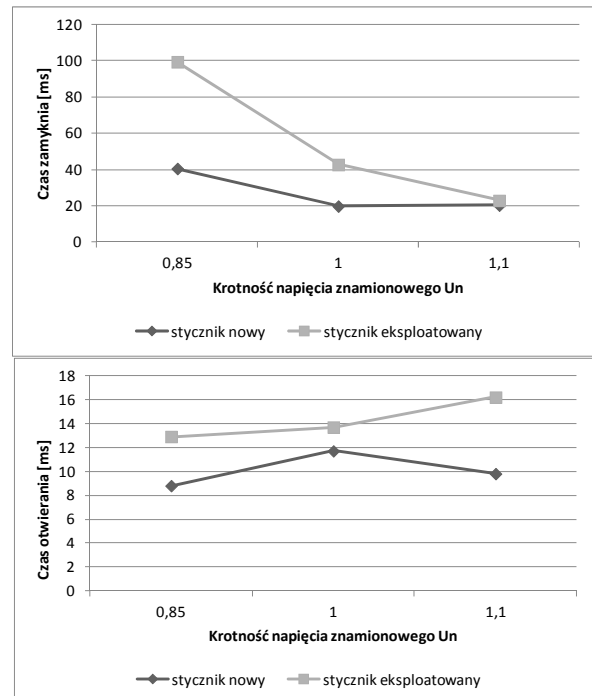
Napięcie zasilania cewki napędowej stycznika	Czas zamykania [ms]		Czas otwierania [ms]	
	Stycznik nowy	Stycznik eksploatowany	Stycznik nowy	Stycznik eksploatowany
$U = 0,85 U_n$	40,5	99,4	8,8	12,9
$U = U_n$	19,8	42,7	11,7	13,7
$U = 1,1 U_n$	20,3	22,9	9,8	16,2

Czas działania łącznika charakteryzuje jego szybkość wyłączenia lub załączania urządzenia. Odpowiednio krótki czas działania łącznika ogranicza działanie wyładowania łukowego na jego stykach, w związku z tym ogranicza degradację powierzchni stykowej a więc rezystancji zestykowej. Czas odskoków jest to potencjalny czas zapalania się i gaśnięcia łuku elektrycznego. W celu ograniczenia odskoków stosuje się między innymi zwiększenie początkowego docisku zestykowego oraz ograniczenie prędkości styku ruchomego podczas zamykania.

W wyniku badań stwierdzono wydłużenie charakterystycznych czasów działania stycznika eksploatowanego w stosunku do czasów działania stycznika fabrycznie nowego. Największe różnice można zaobserwować w dolnej części przedziału napięciowego ( $0,85 U_n$ ) przy zamykaniu, natomiast przy otwieraniu różnice są porównywalne w całym zakresie zmian napięcia zasilającej cewki elektromagnesu łącznika.

Rozpatrując czasy odskoków na poszczególnych stykach (tabela 1) można także stwierdzić wzrost tych czasów.

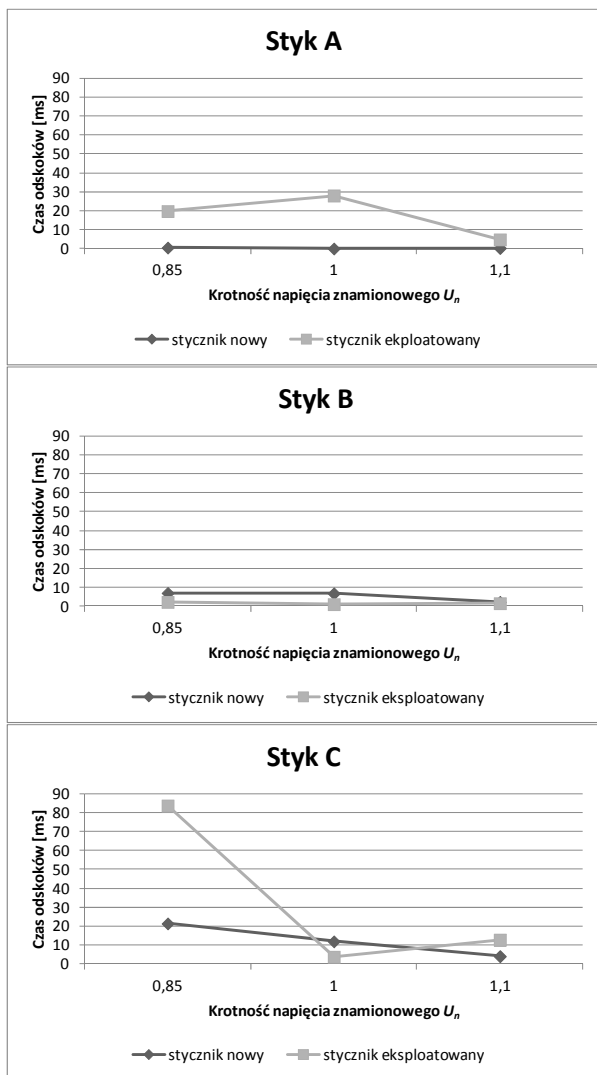
Czasy odskoków na poszczególnych stykach stycznika różnią się pomiędzy sobą w przypadku stycznika nowego i będącego w wieloletniej eksploatacji. Czasy odskoków są znacznie dłuższe dla stycznika eksploatowanego. Jedyna zauważalna nieprawidłowość występuje dla styku B - tutaj stycznik nowy charakteryzuje się dłuższymi czasami odskoków. Jednakże różnice pomiędzy obydwoa stycznikami (dla styku B) nie są znaczne: są rzędu 5ms (dla porównania różnice dla styków A oraz C to odpowiednio 28ms i 70ms).



Rys.4. Porównanie charakterystycznych czasów działania styczników elektromagnetycznych

Jest to spowodowane charakterem pracy stycznika eksploatowanego: styk B (środkowy - patrz rysunek 3) nie pracował pod obciążeniem prądowym. W związku z tym nie nastąpiła degradacja jego powierzchni stykowej, a więc styk

B jest odpowiednikiem dla styku łącznika fabrycznie nowego. Interpretację graficzną czasów odskoków dla poszczególnych styków łączników przedstawiono na rysunku 5.



Rys.5. Czasy odskoków poszczególnych styków łączników

Reasumując, na skutek długotrwałej pracy łączników przy wykonywaniu przez nie czynności łączeniowych wydłużają się ich charakterystyczne czasy działania oraz następuje degradacja powierzchni stykowej co przyczynia się do wzrostu rezystancji zestykowej, a co za tym idzie do wzrostu temperatury styków.

Skutkuje to zwiększeniem ryzyka uszkodzenia samego łącznika a także urządzeń z nim współpracujących.

### Wnioski

W wyniku wieloletniej pracy łącznika następuje jego "zużycie". Jest to efekt określenia jego wytrzymałości łączeniowej. W efekcie długotrwałej pracy pogorszyły się właściwości cieplne stycznika co związane jest z degradacją powierzchni stykowej zestyku. Zmieniły się także charakterystyczne czasy działania stycznika a więc czas załączania oraz czas wyłączenia a także czasy odskoków. Czasy te różnią się między sobą jeśli chodzi o poszczególne styki, ale całkowity czas manewrowania łącznikiem (załącz – wyłącz) uległ znacznemu wydłużeniu. Parametry czasowe stycznika zostały zbadane w zakresie napięć odpowiadającym rzeczywistym napięciom pracy łącznika: 0,85 – 1.1  $U_n$ .

Z przeprowadzonych badań wynika, że długość czasu eksploatacji łączników elektrycznych ma znaczący wpływ na ich właściwości cieplne jak również mechaniczne, co przekłada się na niezawodność pracy, funkcjonalność zasilanych za pomocą nich urządzeń, oraz bezpieczeństwo ludzi znajdujących się w ich sąsiedztwie. Konieczna jest zatem cykliczna kontrola pracy i parametrów łączników.

### LITERATURA

- [1] Markiewicz H., *Urządzenia elektroenergetyczne* WNT Warszawa 2008
- [2] Praca zbiorowa, *Poradnik inżyniera elektryka. Tom 2*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne WNT, Warszawa 1995-1997
- [3] Pawłot M., *Porównanie cieplne łączników elektroenergetycznych nowych i eksploatawanych*, Przegląd Elektrotechniczny, 88 n.7a (2012), 309-311
- [4] Markiewicz H., *Instalacje elektryczne* WNT Warszawa 2005

### Autor:

dr inż. Mirosław Pawłot, Politechnika Lubelska, Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: [m.pawlot@pollub.pl](mailto:m.pawlot@pollub.pl)