

Elektroprzewodząca ochrona typu EPS-98 złącz stykowych szyn płaskich miedzianych i jej wpływ na stan cieplny zestyku przy przepływie prądów roboczych i zakłóceń

Streszczenie. Styki są jednym z najbardziej narażonych na nagrzewanie elementem systemu elektroenergetycznego. Prawidłowe zaprojektowanie a następnie wykonanie i eksploatacja decyduje w dużej mierze o stanie ich pracy. Na jakość styków i co z tym związane na prawidłową ich eksploatację ma wpływ szereg czynników. Dotyczą one zagadnień związanych z prawidłowym doбором materiału stykowego z uwzględnieniem charakteru pracy zestyku (styki robocze, styki opalne, styki wysokoprądowe itp.) jak i ze sposobem wykonania (styki rozłączne, styki nierozłączne itp.). Artykuł przedstawia wyniki badań związane z zastosowaniem dodatkowej ochrony na styki wysokoprądowe jaką jest pasta elektroprzewodząca. Dla porównania przedstawione zostały wyniki nagrzewania prądami roboczymi połączenia stykowego szyn miedzianych łączonych przez docisk w trzech wariantach wykonania styku: styk wykonany nieprawidłowo (nieodtłuszczony, zanieczyszczony cząstkami stałymi, z uszkodzeniami mechanicznymi), styk wykonany prawidłowo, styk wykonany prawidłowo pokryty pastą elektroprzewodzącą typu EPS-98. W dalszej części artykułu zostały przedstawione wyniki badań nagrzewania połączenia stykowego szyn płaskich miedzianych przy przepływie prądów zakłóceń. Badaniom zostały poddane styki wykonane prawidłowo bez oraz z ochroną typu EPS-98 przy różnych siłach docisku styków.

Abstract. The contacts are one of the most exposed to the heating element of electric power system. The correct design and execution and operation determines to a large extent on the state of their work. The quality of the contacts and the correct their operation is affected by several factors. They concern issues related to the proper selection of contact material related the nature of the contact work (working contacts, high-current contacts, etc.), as well as the method of realization (separable contacts, the contacts inseparable, etc.).

The article presents the results of research related to the application of additional protection for high-current contact which is electrically conductive paste. For comparison, we presented the results of heating of operating currents copper busbars connected by pressure in the three embodiments of contact: the contact is made incorrectly (greasy, contaminated solids, from mechanical damage), contact is made properly, contact is made properly covered electro-conductive paste type EPS-98. Later in this article are presented results of heating of the fault current of copper busbars. The study has been carried out correctly for busbar contacts with the protection of the type EPS-98 at different contact pressure forces and for contacts without protection. (Electrically conductive paste of protection EPS-98 for contact busbar copper and its impact on the thermal state at the contact for operating and fault currents working).

Słowa kluczowe: styki, nagrzewanie, ochrona złączy stykowych.

Keywords: contacts, heating, protection of contacts.

Wstęp

Wzrosty wartości prądów i napięć znamionowych oraz prądów zwarciovych w układach zasilających i obwodach urządzeń elektrycznych, towarzyszące rozwojowi współczesnej elektroenergetyki, stawiają torom prądowym i układom zestykowym coraz większe wymagania co do ich obciążalności ciągłej i zwarciowej. Każdy aparat elektryczny pracujący w systemie elektroenergetycznym ma tor prądowy oraz bardziej lub mniej rozbudowany układ zestykowy.

Ochronę złączy stykowych można zapewnić na kilka sposobów: poprzez rodzaj połączenia, zastosowane materiały czy też użycie past ochronnych. Każde z rozwiązań korzystnie wpływa na pracę zestyków, obniża stopień nagrzania się styków wywołane przepływającym prądem czy też zmniejsza straty energii elektrycznej, co ma decydujący wpływ na pracę urządzeń i elementów z nimi sąsiadujących w całym systemie elektroenergetycznym.

Analiza teoretyczna

W celu prawidłowego wykonania zestyku należy stosować się do pewnych zasad związanych z projektowaniem złącza stykowego, tak aby ograniczyć jego rezystancję. Ważnym zagadnieniem jest unikanie połączeń nieodpowiednich materiałów. Jeśli pomiędzy stykami pojawi się woda z solą lub też siarka może wytworzyć się ogniwo galwaniczne, co skutkuje elektrolizą. Napięcie na ogniwie wzrasta wraz z odległością jaka dzieli dane metale w szeregu elektrochemicznym. Elektroliza powoduje ubytek metalu o niższym potencjale i przenoszenie go do metalu o wyższym potencjale, a skutkiem tego jest zniszczenie zestyku po upływie pewnego czasu takiej pracy. Jako przykład niekorzystnych połączeń metali można podać Cu – Al czy też Ag – Al,

warto natomiast łączyć ze sobą takie metale jak Ag – Cu oraz Ni – Cd [1].

Przepływający przez rezystancję styków prąd elektryczny, a także dodatkowo przez rezystancję przejścia, powoduje wydzielanie się ciepła czego skutkiem jest wzrost temperatury zestyków. Nagrzewanie zależy od kilku czynników: od wspomnianego wcześniej doboru materiału z jakiego wykonano zestyki, stanu powierzchni styków, ukształtowania zestyków oraz warunków odbioru ciepła. Wzrost temperatury zestyku prowadzi do zwiększenia grubości warstwy nalotowej, mięknienia materiału zestykowego, a także przy większych temperaturach do jego topnienia w miejscach styczności. [2]

Połączenie dwóch szyn ze sobą na stałe stanowi zestyk nieruchomy. Takie połączenie można wykonać na 3 sposoby: spawanie, wgniatanie oraz za pomocą śrub. Łączenie zacisków aparatów z szynami można realizować tylko za pomocą ostatniej z wymienionych metod [3].

Połączenia śrubowe szyn dzielimy na dwa rodzaje [3]:

- z przewiercaniem – śruby przechodzą przez powierzchnię łączonych szyn z nakładką lub na zakładkę;
- bez przewiercania – przy użyciu nakładek oraz śrub ściskających.

W praktyce połączenie szyn na zakładkę czyni zestyk tańszym, jego rezystancja przejściowa jest mniejsza, natomiast wytrzymałość zwarciowa większa. Łączenie takie jest więc dużo lepszym rozwiązaniem niż rozwiązania z nakładkami.

Zasadniczym parametrem elektrycznym zestyku jest jego rezystancja przejścia. Decyduje ona o stratach energii (obciążalności prądowej ciągłej i zwarciowej), a więc o nagrzewaniu zestyków. Dopuszczalne temperatury

zestyku warunkują dopuszczalny prąd przepływający przez zestyk.

Rezystancja złożona jest z trzech składników:

- rezystancji materiału połączonych styków tworzących zestyk,
- rezystancji przewężenia przekroju dla przepływu prądu, związanej z mikrostrukturą powierzchni styczności,
- rezystancji warstw zewnętrznych (nalotowych) występujących na stykających się ze sobą powierzchniach styków, zwłaszcza przy mniejszej sile docisku styków.

Powodem wzrostu rezystancji jest wpływ warstwy nalotowej jaka pojawia się na powierzchni styku. Bez względu na dokładność obróbki stykających się elementów, występuje przewężenie przekroju przepływu prądu. Jest ono spowodowane istnieniem mikrowęzbień i mikrowzniesień na powierzchni styczności, w wyniku czego rzeczywista powierzchnia styczności będąca sumą powierzchni zestyków punktowych jest mniejsza od pozornej powierzchni styczności

W przypadku pracy zestyków przy przepływie prądów zwarciovych występuje ich intensywne nagrzewanie i szybciej niż przy przepływie prądów ciągłych może wystąpić ich mięknięcie, a następnie topnienie w obszarze ich styczności.

Warunki pracy dotyczą wszystkich rodzajów zestyków, a więc zarówno rozłącznych jak i nierozłącznych. Odróżniamy przy tym normalne warunki pracy – długotrwałe przewodzenie prądów obciążeniowych – oraz krótkotrwałe przewodzenie prądów zwarciovych.

W celu utrzymania temperatury zestyku na dostatecznie niskim poziomie konieczne jest zapewnienie [4]:

- dostatecznie małej wartości rezystancji przejścia; można ją obniżyć przez zwiększenie siły docisku, przyjęcie określonego kształtu zestyku oraz właściwą konserwację jego powierzchni,
- dostatecznie dużej przewodności cieplnej i elektrycznej materiału stykowego,
- dostatecznie dużego przekroju elementów stykowych,
- dostatecznej powierzchni chłodzenia.

W układach stykowych o znacznych wartościach przepływającego prądu, pożądanym jest stosowanie pokryć zabezpieczających o dobrej przewodności elektrycznej.

Jedną z takich powłok ochronnych jest elektroprowadząca ochrona złączy EPS-98. Dla silnoprądowych złączy stałych jej skład chemiczny ustalono doświadczalnie i optymalny procentowy skład masowy elektroprowadzącego pokrycia ochronnego z zastosowanym proszkiem miedzi powinien być następujący: proszek Cu ~ (40-60)%, dodatek tiksotropowy ~ (5-7)%, dodatki stabilizujące ~ 2%, reszta olej [5].

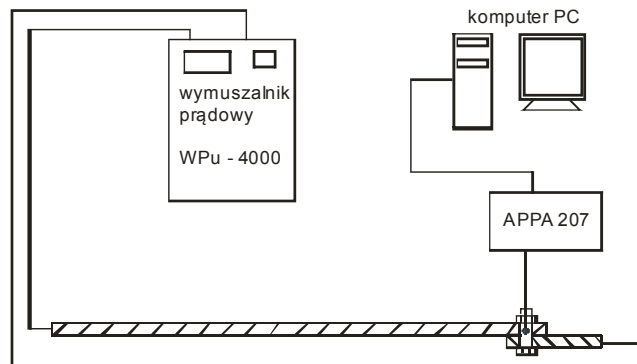
Elektroprowadząca ochrona złączy stykowych EPS-98 zapewnia skuteczne obniżenie wartości rezystancji zestyku (2 – 10 krotnie) i jej stabilność w czasie eksploatacji na niskim poziomie przy temperaturach do 150°C (krótkotrwałe do 250°C), bez konieczności stosowania innych kosztownych środków stabilizacji rezystancji zestyku takich jak na przykład przekładki Cu-Al., płaskie sprężyny dociskowe, pokrycia powierzchni stykowych innymi metalami itp. Jest przeznaczona głównie do zabezpieczania złączy silnoprądowych, wykonanych z takich materiałów jak aluminium, miedź, stal i ich kombinacje; również przed skutkami wielokrotnych i długotrwałych przeciążeń prądowych [5].

Badania laboratoryjne

Analizie poddano styki nierozłączne nieruchome na przykładzie połączenia szyn płaskich miedzianych na zakładkę. Styki tych zestyków są ze sobą na stałe związane

przez połączenie śrubowe i nie zmieniają położenia względem siebie.

Badaniom poddany został zestyk szyn płaskich miedzianych P 20x3 o prądzie obciążenia $I = 273$ A łączony poprzez zastosowanie pojedynczej śruby M8. Według producentów urządzeń elektrycznych moment siły jaki należy użyć przy dokręceniu ww. śruby aby wykonać taki zestyk waha się w granicach 18-28 Nm [6, 7].



Rys.1. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego [8]

W układzie pomiarowym przedstawionym na rysunku 1 wykonano pomiary temperatury zestyku połączenia szyn miedzianych w trzech wariantach jego wykonania:

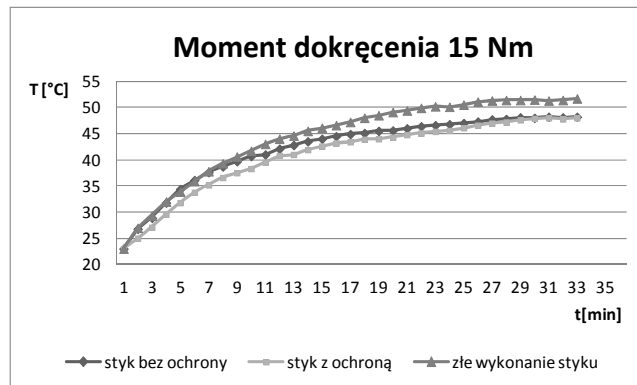
- styk wykonany prawidłowo (bez uszkodzeń mechanicznych, odtłuszczony, itp.),
- styk wykonany prawidłowo z dodatkową ochroną typu EPS-98,
- styk wykonany nieprawidłowo (z uszkodzeniami mechanicznymi, zanieczyszczony cząstkami stałymi).

Ochrona złączy stykowych za pomocą pasty elektroprowadzącej typu EPS-98 sprowadza się do naniesienia na powierzchnię styku cienkiej warstwy, a następnie połączenia obu styków z określoną wcześniej siłą (momentem siły).

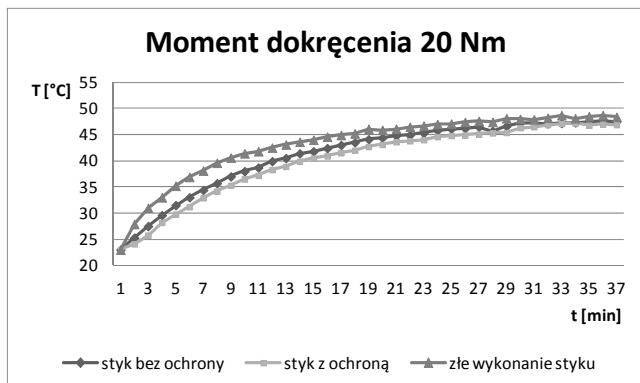
Takie pokrycie powinno spełniać kilka podstawowych wymagań [5]:

- umożliwić naniesienie cienkiej warstwy substancji na zabezpieczaną powierzchnię,
- odznaczać się odpowiednią elastycznością zapobiegającą przed pękaniem przy zmianach temperatury,
- posiadać odporność na przenikanie kwasów i zasad.

Graficzne przedstawienie wyników pomiarów temperatury zestyku przy przepływie prądów roboczych zostało przedstawione na rysunkach 2 oraz 3.



Rys.2. Krzywe nagrzewania zestyku szyn płaskich miedzianych w trzech wariantach wykonania styku: styk wykonany prawidłowo bez ochrony, styk wykonany prawidłowo z ochroną, styk wykonany nieprawidłowo przy momencie dokręcenia 15 Nm

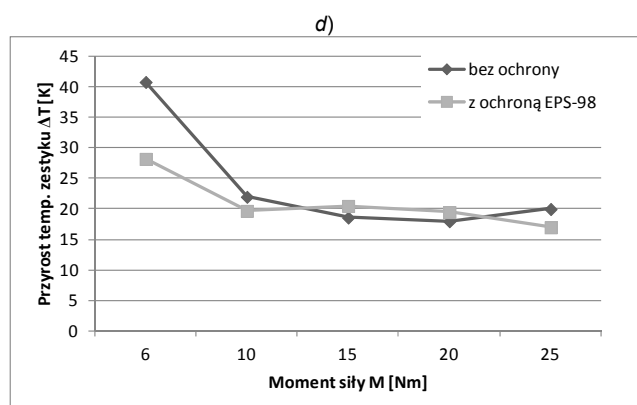
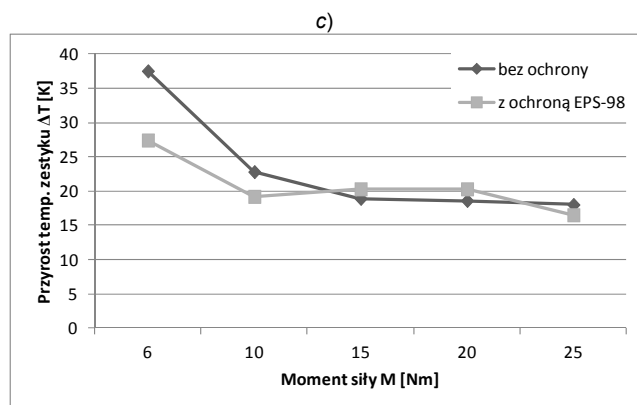
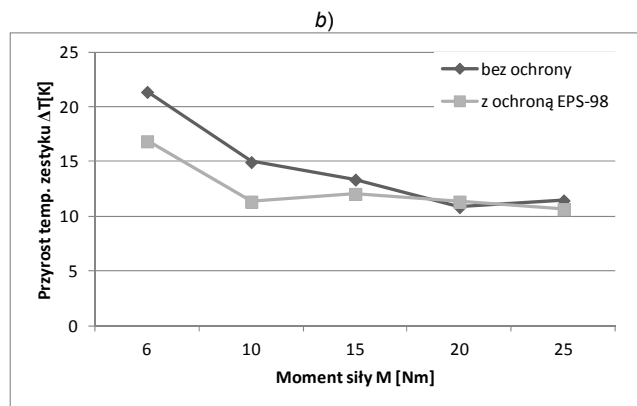
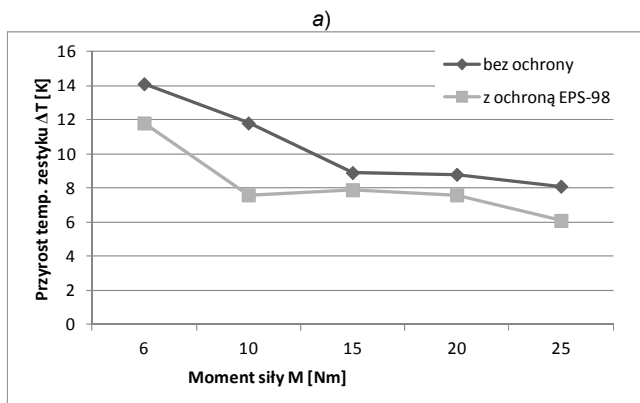


Rys.3. Krzywe nagrzewania zestyku szyn płaskich miedzianych w trzech wariantach wykonania styku: styk wykonany prawidłowo bez ochrony, styk wykonany prawidłowo z ochroną, styk wykonany nieprawidłowo przy momencie dokręcenia 20 Nm

W przypadku nieprawidłowo wykonanego styku, przyrost temperatury ustalonej jest nieco większy niż w przypadku styków wykonanych prawidłowo oraz styków pokrytych pastą elektroprzewodzącą typu EPS-98. Różnica ta maleje przy wzroście momentu dokręcenia śruby. Jest to spowodowane wzrostem ilości punktów mikrostyczości styku pracujących w zakresie odkształceń plastycznych (formowanie styku), które powodują wzrost rzeczywistej powierzchni styku i w efekcie zmniejszenie jego rezystancji oraz temperatury

Odrębnym zagadnieniem jest praca układu zestykowego w warunkach zakłóceń w tym stan pracy przeciążeniowy i zwarciowy. Badaniem został poddany układ połączeń szyn w trakcie pracy przeciążeniowej w zakresie 4-10 krotności prądu znamionowego. Czas trwania przeciążenia oscylował w przedziale $t = 7-15$ sekund. Dobór długości czasu przeciążenia był uwarunkowany uzyskaniem widocznych różnic w przyrostach temperatur.

Na rysunku 4 przedstawiono różnice jakie wystąpiły przy zastosowaniu zmodyfikowanej ochrony stykowej typu EPS-98, w stosunku do połączenia stykowego bez pasty elektroprzewodzącej. Powierzchnie stykowe w obydwu przypadkach były to powierzchnie odtłuszczone i pozbawione jakichkolwiek mechanicznych uszkodzeń. Porównując wyniki pomiarów przyrostów temperatur dla obydwu styków widać wpływ ochrony EPS-98 na obniżenie temperatury zestyku. W zasadzie przy siłach docisku styku odpowiadających dokręceniu śruby M8 momentem rzędu 20-25 Nm dla styków bez zastosowania pasty elektroprzewodzącej różnice w przyrostach temperatur zanikają, to przy zastosowaniu ochrony zmodyfikowanej wyrównanie wartości przyrostów jest osiągnięte zdecydowanie wcześniej, a mianowicie przy momentach już niekiedy 10 Nm [8].



Rys.4. Wartości przyrostów temperatur złącza stykowego dla różnych warunków zakłócenia (krotności prądu znamionowego I_n oraz czasu trwania zakłócenia t): a) $I = 4I_n, t = 15$ s; b) $I = 6I_n, t = 10$ s; b) $I = 8I_n, t = 10$ s; b) $I = 10I_n, t = 7$ s

Podsumowanie

Działanie past elektroprzewodzących jest długotrwałe i ma za zadanie ograniczyć starzenie elektryczne zestyku, a także ochronę przed czynnikami zewnętrznymi. Efekty działania pasty EPS-98 w warunkach normalnej pracy można będzie zobaczyć po kilku latach eksploatacji urządzeń z tak wykonanymi połączeniami.

Podczas nagrzewania zestyku z zastosowaniem pasty i bez stosowania pasty można zauważyć różnice w przebiegach krzywych nagrzewania. Różnice te jednak wynikają tylko z różnic pojemności cieplnych obu rodzajów zestyków i nie mają większego znaczenia przy temperaturze ustalonej. Ważne jest to, aby pasty ochronne, czy to typu EPS-98 czy inne nie traktować jako substytutu prawidłowego przygotowania styku. Nie można więc stosować past na styki uszkodzone jako wypełniacza, który obniży rezystancję zestykową. Nieprawidłowe wykonanie połączenia stykowego skutkuje bowiem wzrostem temperatur ustalonych, szczególnie przy mniejszych siłach

dociskowych. Jest to zjawisko bardzo niebezpieczne z punktu widzenia eksploatacji urządzeń elektrycznych, szczególnie w zakresie przyrostów temperatur ustalonych zbliżonych do dopuszczalnych. Zmniejszenie przyrostu temperatury styku w stanach zakłóceń w stykach wykonanych z zastosowaniem pasty elektroprzewodzącej (rys. 4) jest spowodowane wzrostem pojemności cieplnej układu stykowego i w związku z tym uzyskanie dłuższych stałych czasowych nagrzewania.

Z uwagi na fakt wzrostu pojemności cieplnej styku z zastosowaniem pasty EPS-98 w stosunku do styku bez ochrony, można zaryzykować stwierdzenie, że analogiczne różnice przyrostów temperatur uzyskano by przy przepływie prądu zwarciovego, gdzie nagrzewanie ma charakter adiabatyczny i całe ciepło wytworzone przez przepływający prąd jest spożytkowane na nagrzanie tego toru.

Taki sam efekt można zauważyć przy nagrzewaniu styku prądami roboczymi (rys. 2 i rys. 3) w początkowym etapie nagrzewania, gdzie krzywa odpowiadająca zmianie temperatury styku wykonanego bez użycia pasty jest poniżej krzywej nagrzewania styku z pastą EPS-98. Różnice te zanikają po uzyskaniu temperatury ustalonej, co dowodzi, że stosowanie pasty powoduje wzrost pojemności cieplnej układu i zmianę stałych czasowych nagrzewania bez wpływu na ustaloną temperaturę pracy układu stykowego.

LITERATURA

- [1] Markiewicz H., Urządzenia elektroenergetyczne. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001
- [2] Królikowski Cz., Technika łączenia obwodów elektroenergetycznych. PWN, Warszawa 1990
- [3] Roo H., Urządzenia elektryczne. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1969
- [4] Au A., Budowa niskonapięciowych łączników elektrycznych, Warszawa, WPW 1968
- [5] Dzekser N., Nikolajew A., Miedziński B., Elektroprzewodząca ochrona załączy stykowych, *Przegląd Elektrotechniczny* 80 (2004), n.12, 1277-1279
- [6] Katalog ABB UniSec, Instrukcja montażu, Łódź, 2012
- [7] Haber Energia Hulanicki Bednarek Sp. z o.o., Zasady prawidłowego wykonywania rozdzielnic elektrycznych nN, Chełm, 2011
- [8] Pawłot M., Wpływ zastosowania zmodyfikowanej ochrony typu EPS-98 na stan nagrzania złącza stykowego szyn płaskich podczas przepływu prądów zakłóceńowych, *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa*, (2012), n.11, 46-51

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