

Wpływ zastosowania zmodyfikowanej ochrony typu EPS-98 na stan nagrzania złącza stykowego szyn płaskich podczas przepływu prądów zakłóceńowych

The effect of EPS-98 modified protection on the heating condition of flat bus bar joints under fault current conditions

W artykule zostały przedstawione wyniki badań nagrzewania się połączenia stykowego szyn płaskich miedzianych podczas przepływu prądów zakłóceńowych. Badaniom zostały poddane styki bez ochrony oraz z ochroną typu EPS-98 przy różnych wartościach siły ich docisku. Wyniki badań dowodzą zasadności stosowania ww. ochrony.

The article presents test results concerning the heating condition of flat copper bus bar joints during the flow of fault currents. Joints with and without EPS-98 protection have been tested at various values of contact force. The results justify the application of the above mentioned protection.

1. WPROWADZENIE

Wzrost wartości prądów i napięć znamionowych oraz prądów zwarciovych w układach zasilających i obwodach urządzeń elektrycznych, towarzyszący rozwojowi współczesnej elektroenergetyki, stawia torom prądowym i układom zestykowym coraz większe wymagania odnośnie do ich obciążalności ciągłej i zwarcioviej. Każdy bowiem aparat elektryczny pracujący w systemie elektroenergetycznym wyposażony jest w tor prądowy oraz bardziej lub mniej rozbudowany układ zestykowy.

1. INTRODUCTION

The increase in the values of rated current and voltage as well as short-circuit current in power supply systems and circuits of electrical equipment accompanies the development of modern electrical power engineering. This situation results in more and more challenging requirements laid down for current circuits and joints systems as far as their continuous current-carrying capacity and short-circuit current carrying capacity are concerned. This is due to the fact that each electrical device working in an electrical power system is equipped with a current circuit or a more or less developed system of joints.

2. ZŁĄCZA STYKOWE POŁĄCZEŃ SZYNOWYCH

Zasadniczym parametrem elektrycznym zestyku jest jego rezystancja przejścia. Jej wartość decyduje o stratach energii (obciążalności prądowej ciągłej i zwarciowej), a więc o nagrzewaniu zestyków. Dopuszczalne temperatury zestyku warunkują dopuszczalny prąd przepływający przez zestyk.

Rezystancja przejścia wynika z trzech składników:

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

Powodem wzrostu wartości rezystancji jest głównie 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 mikrowgłębi i mikrowzniesień na powierzchni styeczności, w wyniku czego rzeczywista powierzchnia styeczności, będąca sumą powierzchni zestyków punktowych, jest mniejsza od pozornej powierzchni styeczności [1].

W przypadku pracy zestyków w warunkach przepływu prądów zwarciowych występuje ich intensywne nagrzewanie się i szybciej, niż podczas przepływu prądów ciągłych, może wystąpić mięknięcie, a następnie topnienie w obszarze ich styeczności.

Warunki pracy mają wpływać na pracę wszystkich rodzajów zestyków, a więc zarówno rozłącznych, jak i nierozłącznych. Odróżniamy przy tym normalne warunki pracy – długotrwałe przewodzenie prądów obciążeniowych – oraz krótkotrwałe przewodzenie prądów zwarciowych.

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

- dostatecznie małej wartości rezystancji przejścia; można ją obniżyć poprzez 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 [1].

2. BUS BAR JOINTS

The basic electrical parameter of a joint is its transition resistance. The value of this resistance decides about the loss of energy (continuous- and short-circuit current-carrying capacity), i.e. about the joints heating. Acceptable temperatures of the joint determine the acceptable current flowing through the joint.

Transition resistance is made up of three components:

- the resistance of the material of joint contacts which form the whole joint,
- the resistance of choke-point cross section for the current flow, related to the micro-structure of the contacting surface,
- the resistance of external layers on contacting surfaces of the joints, particularly when the contact force is smaller.

The resistance value increases due to the external layer which emerges on the surface of the joint. Irrespective of the processing accuracy of contacting elements, there is a choke-point in the cross-section of the current flow. It is caused by micro-pits and micro-elevations on the contacting surface, as a result of which the real contacting surface, being the sum of contact points surfaces, is smaller than the apparent contacting surface [1].

When the joints work under short-circuit current conditions, they get heated intensively, can soften faster than under continuous current conditions, and then their contacting surfaces can melt.

The working conditions can impact the operations of all kinds of joints, both switching contacts and fixed contacts. Here it is possible to distinguish normal working conditions – long-term conduction of load currents and short-term conduction of short-circuit currents.

In order to keep the temperature of the joint on a sufficiently low level it is necessary to ensure the following:

- sufficiently low value of transition resistance; it can be lowered by the increase of the contact force, application of a certain shape of the joint, and proper maintenance of its surface,
- sufficiently high thermal and electrical conductivity of the contact material,
- sufficiently large cross-section of contacting elements,
- sufficient cooling surface [1].

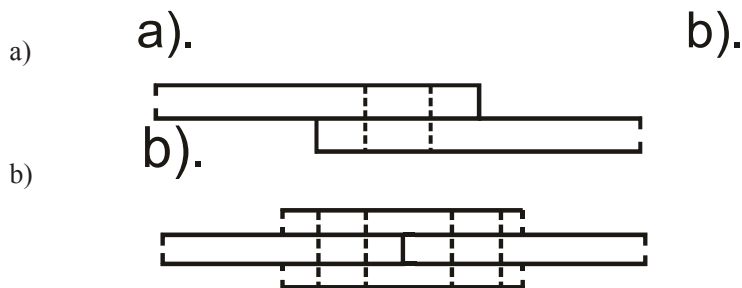
W układach stykowych o znacznych wartościach przepływającego prądu pożądanym jest stosowanie pokryć zabezpieczających o dobrej przewodności elektrycznej. Jedną z takich powłok ochronnych jest elektroprowadząca ochrona złączy EPS-98. Dla silnoprądowych złączy stałych jej skład chemiczny ustalono doświadczalnie. 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 [2].

Elektroprowadząca ochrona złączy stykowych EPS-98 zapewnia skuteczne obniżenie wartości rezystancji zestyku (od dwu- do dziesięciokrotnego) i jej stabilność w czasie eksploatacji na niskim poziomie przy temperaturach do 150°C (krótkotrwale do 250°C), bez konieczności stosowania innych kosztownych środków stabilizacji rezystancji zestyku, takich jak np. 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 [2].

3. BADANIA LABORATORYJNE

Badaniom poddane zostało połączenie „na zakładkę” dwóch szyn miedzianych o wymiarach 20×3 mm za pomocą połączenia śrubowego pojedynczego M8 w układzie pomiarowym przedstawionym na rysunku 1.

O jakości połączenia decyduje wartość siły docisku stykających się powierzchni. Moment siły docisku był regulowany w zakresie 6-25 Nm (zalecenia producentów urządzeń elektroenergetycznych dotyczące momentów siły dokręcenia śrub M8 mieszczą się w badanym zakresie [4, 5]).



Rys. 1. Łączenie szyn [3]:
a) na zakładkę, b) z nakładką

Fig. 1. Bus bars connections [3]:
a) overlapped, b) with an overlay

Joints systems with significantly high values of the flowing current demand to use protective shields with good electrical conductivity. The electrically conductive EPS-98 protection of joints is one of such shields. Its chemical composition for power joints has been determined by means of experiments. The optimal composition of an electrically conductive protection shield, with the use of copper dust, should be the following: Cu dust ~ 40-60%, thixotropic fluid ~ 5-7%, stabilizing agents ~ 2%, the rest – oil [2].

The EPS-98 electrically conductive protection of joints ensures efficient decrease of the contact resistance value (from two to ten times) and its stability during low-level exploitation at temperatures up to 150°C (short periods up to 250°C), with no necessity to use other costly methods for stabilizing the contact resistance, such as, for example, Cu-Al distance pieces, flat compression springs, metal coatings of contact surfaces, etc. EPS-98 has been designed to protect power joints – made of such materials as aluminium, copper, steel and their combinations – also against the results of multiple and long lasting current overloads [2].

3. LABORATORY TESTS

The tests were conducted on two 20×3 mm copper bus bars “overlapped” by means of a single M8 screw in the measuring system presented in Fig. 1.

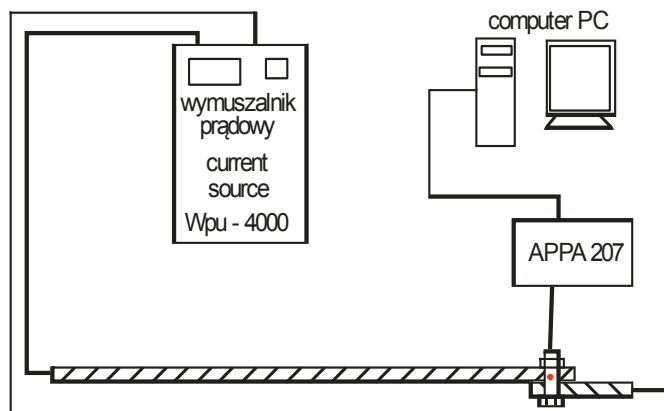
The quality of the joint depends on the value of the contact force of contacting surfaces. The moment of contact force was regulated in the range 6-25 Nm (recommendations of the manufacturers of electrical power equipment related to the moments of force of M8 screws tightening are within the tested range [4, 5]).

Badania wykonano dla dwóch rodzajów połączenia:

- z zastosowaniem ochrony stykowej typu EPS-98,
- bez stosowania środków ochronnych.

The tests were conducted for two types of joints:

- with the use of the EPS-98 protection,
- without any protection.

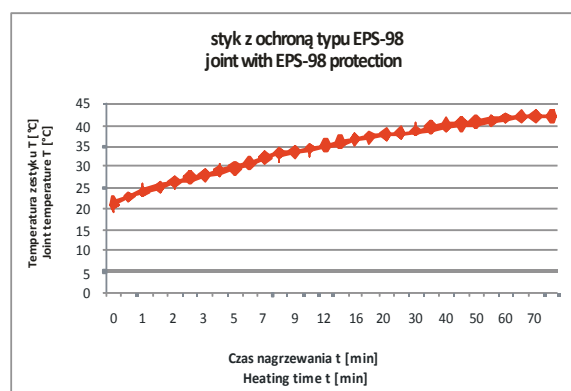
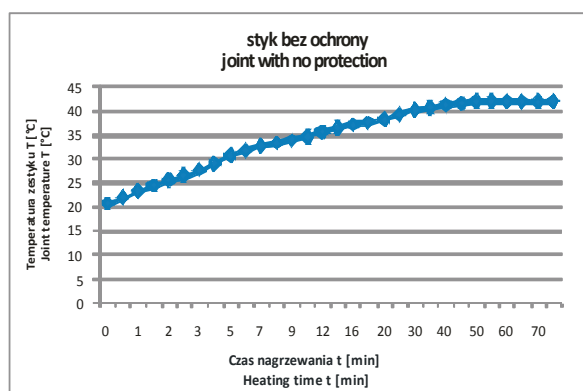


Rys. 2. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego (opracowanie własne)

Fig. 2. Diagram of a measurement stand (author's own)

W pierwszej próbie nagrzano obydwa połączenia stykowe z pojedynczą śrubą M8 (z ochroną EPS-98 i bez ochrony) skręcone z momentem siły 6 Nm. Jak widać z zależności pokazanych na rysunku 3., różnice pomiędzy krzywymi nagrzewania obydwu styków są w zasadzie niezauważalne. Sytuacja ulega diametralnej zmianie w momencie, kiedy poprzez styki przepływa prąd zakłóceńowy.

In the first test both bus bar joints with a single M8 screw (with EPS-98 and without any protection), tightened with the moment of force 6 Nm, were heated. As it can be seen from the dependencies in Fig. 3, the differences between heating curves of both joints are practically invisible. The situation changes dramatically when fault current flows through the joints.



Rys. 3. Krzywe nagrzewania styku z ochroną EPS-98 i bez ochrony prądem znamionowym

$I_n = 273 A$ przy skręceniu szyn momentem $M = 6 Nm$ (opracowanie własne)

Fig. 3. Rated current heating curves of the joint with EPS-98 and without protection

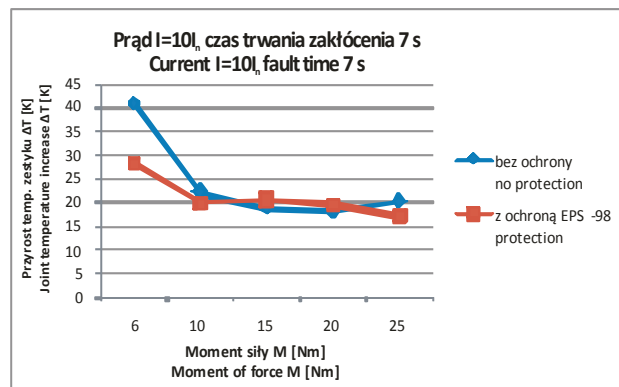
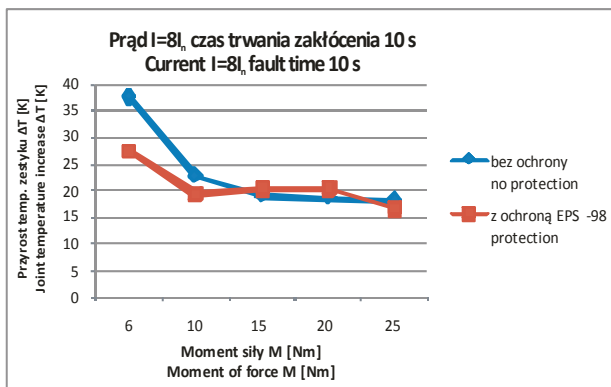
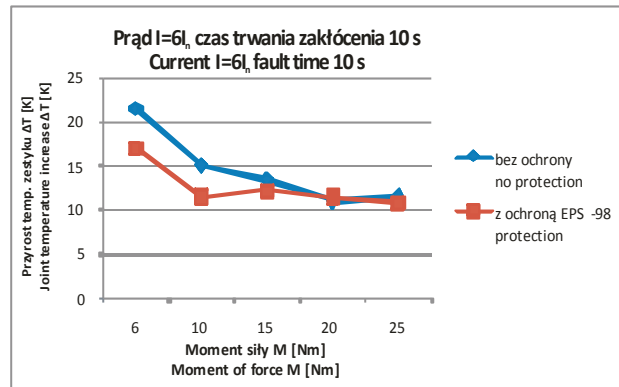
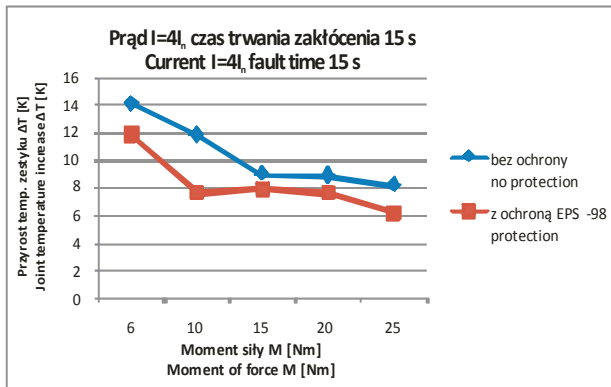
$I_n = 273 A$ at the bus bars tightening with the moment $M = 6 Nm$ (author's own)

Na rysunku 4. przedstawiono różnice, jakie wystąpiły przy zastosowaniu zmodyfikowanej ochrony stykowej typu EPS-98 w stosunku do połączenia stykowego bez ochrony elektroprowadzącej. Powierzchnie stykowe w obydwu przypadkach zostały uprzednio odtłuszczone i pozbawione jakichkolwiek mechanicznych uszkodzeń. Porównując wyniki pomiarów przyrostów temperatur dla obydwu styków,

Fig. 4 presents the differences that occurred with the use of the EPS-98 modified protection in relation to the joint without any protection. The contacting surfaces in both cases were first degreased and mechanical damages were removed. When comparing the measurement results of temperature increase for both joints, one can see the impact of the EPS-98 protection on the decrease of the joint temperature.

widać wpływ ochrony EPS-98 na obniżenie temperatury zestyku. W zasadzie przy wartości siły docisku styku odpowiadającej dokręceniu śruby M8 momentem rzędu 20-25 Nm dla styków bez zastosowania pasty elektroprzewodzącej różnice w przyrostach temperatur zanikają. Przy zastosowaniu ochrony zmodyfikowanej wyrównanie wartości przyrostów jest osiągnięte zdecydowanie wcześniej, a mianowicie przy momentach już niekiedy 10 Nm.

In principle, at the value of the contact force corresponding to the M8 screw tightening with the moment of 20-25 Nm, for the joints without an electrically conductive paste, the differences in the values of temperature increase disappear. With the use of the modified protection, the values of temperature increase get equal much earlier, i.e. sometimes already at the moments of 10 Nm.



Rys. 4. Wartości przyrostów temperatur złącza stykowego dla różnych warunków zakłócenia (opracowanie własne)

Fig. 4. Temperature increase values of a bus bar joint for different fault conditions (author's own)

Przy prawidłowym wykonaniu połączenia stykowego szyn płaskich miedzianych (powierzchnia stykowa gładka, odtłuszczona) pokrycie pastą elektroprzewodzącą w zakresie przyrostów temperatur ustalonych, wynikających z przepływu prądu znamionowego, nie przynosi wyraźnych korzyści w związku z jej zastosowaniem. W momencie jednak, kiedy wchodzi się w zakres prądów zakłóceniovych (prądy przeciążeniowe), stosowanie ochrony zmodyfikowanej typu EPS-98 staje się uzasadnione. Powoduje to przede wszystkim obniżenie wartości przyrostu temperatury zestyku nawet o 20%. W wyniku stosowania w badanym zestyku pasty elektroprze-

wodzącej

When the joint of flat copper bus bars is made properly (smooth and degreased contacting surface), the use of an electrically conductive paste, in the range of the set temperature increase resulting from the rated current flow, does not bring any significant profits. However, in the range of fault currents (overload currents), the use of the EPS-98 modified protection becomes justified, as it lowers the value of the joint temperature by as much as 20%. Due to the application of the electrically conductive paste on the tested joint, the impact of the contact force of con-

tacting surfaces on the temperature increase during the fault current flow lowers. This significantly determines the influence of the contact force on the surface temperature during the fault. In a fundamental way, it determines the quality of the connection and the possible thermal limitation of the results of the overload current flow through the joint.

4. PODSUMOWANIE

Stosowanie powłok elektroprzewodzących w zestykach silnoprądowych powoduje obniżenie temperatury zestyku nawet do 20%. Ochrona ta o odpowiednim składzie chemicznym i masowym powoduje „wypełnienie” mikroszczelin w powierzchni stykowej, co prowadzi do zwiększenia powierzchni przewodzenia dla prądu i w efekcie – zmniejszenia rezystancji przejścia.

Wpływ zastosowania zmodyfikowanej ochrony typu EPS-98 na powierzchni zestyku miedzianego szyny sztywnej jest najbardziej zauważalny podczas przepływu prądów zakłóceń.

Zastosowanie ochrony powoduje zmniejszenie wpływu docisku powierzchni stykowych zestyku na wartość przyrostu temperatury podczas zakłóceń. Prowadzi to do ograniczenia skutków nieprawidłowego połączenia szyn (np. przy docisku z momentem poniżej 10 Nm dla połączenia śrubowego pojedynczego M8).

Literatura

1. Au A.: *Budowa niskonapięciowych łączników elektrycznych*, WPW, Warszawa 1968.
2. Dzekser N., Nikolajew A., Miedziński B.: *Elektroprzewodząca ochrona złączy stykowych*, Przegląd Elektrotechniczny, R. 80(2004), nr 12, s. 1277-1279.
3. Seidel S.: *Rozdzielnice i stacje transformatorowe*, WUP, Poznań 1967.
4. *Zasady prawidłowego wykonywania rozdzielnic elektrycznych nN*, Haber Energia Hulanicki Bednarek Sp. z o.o., Chełm 2011.
5. Katalog Rittal – RiLine Sp. z o.o. Grodzisk Mazowiecki, 2006.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.

mines the quality of the joint and possible thermal limitation of the results of the overload current flow through the joint.

4. SUMMARY

The use of electrically conductive shields in power joints lowers the temperature of joints by 20%. This protection, with proper chemical and mass composition, “fills” the micro-gaps on the contacting surface which makes the current-conductive surface bigger and, as a result of that, lowers the transition resistance.

The impact of the EPS-98 modified protection on the copper bus bar joint is most visible during the flow of fault currents.

The use of the protection lowers the impact of the contacting surfaces contact force on the value of temperature increase during the fault currents flow. This limits the impact of inadequate connection of bus bars (e.g. at the contact force with the moment below 10 Nm for a single M8 screw joint).

References

1. Au A.: *Budowa niskonapięciowych łączników elektrycznych*, WPW, Warszawa 1968.
2. Dzekser N., Nikolajew A., Miedziński B.: *Elektroprzewodząca ochrona złączy stykowych*, Przegląd Elektrotechniczny, R. 80, No 12/2004, pp. 1277-1279.
3. Seidel S.: *Rozdzielnice i stacje transformatorowe*, WUP, Poznań 1967.
4. *Zasady prawidłowego wykonywania rozdzielnic elektrycznych nN*, Haber Energia Hulanicki Bednarek Sp. z o.o., Chełm 2011.
5. Katalog Rittal – RiLine Sp. z o.o. Grodzisk Mazowiecki, 2006.

The article was reviewed by two independent reviewers.

ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ ТИПА EPS-98 НА СОСТОЯНИЕ НАГРЕВА КОНТАКТНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПЛОСКИХ ШИН ВО ВРЕМЯ ПРОТЕКАНИЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

В статье представлены результаты испытаний на нагрев контактного соединения плоских медных шин при протекании токов короткого замыкания. Контакты были протестированы без защиты и с защитой типа EPS-98 при разных значениях силы их зажима. Результаты испытаний доказывают обоснованность использования вышеуказанной защиты.