



POLITECHNIKA
LUBELSKA
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI
I INFORMATYKI



WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI
I INFORMATYKI

KATEDRA URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH
I TECHNIKI WYSOKICH NAPIĘĆ

LABORATORIUM

Stacje elektroenergetyczne

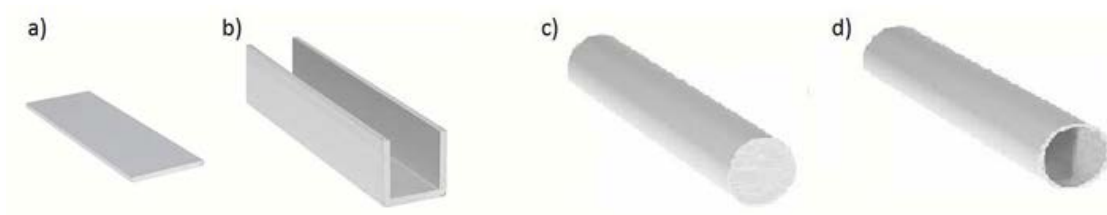
Ćwiczenie nr 7
Badania cieplne połączeń
stykowych szyn płaskich przy
przepływie prądów roboczych i
zakłóceń

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze zjawiskami dynamicznym zachodzącymi w miejscu połączeń szyn płaskich jak również na całej długości szyn. Zbadanie oddziaływania w miejscu połączenia szyn.

1.1. Wprowadzenie teoretyczne

Przewody szynowe stosujemy w urządzeniach różnych napięć, rodzajów i przeznaczeń. W zależności od rodzaju urządzeń, ich napięcia i przewidywanego natężenia prądu stosujemy szyny płaskie, okrągłe, rurowe, korytkowe



Rys. 2.1 . Odmiany szyn sztywnych: a) płaska; b) ceownikowa; c) okrągła prętowa; d) rurowa[3]

1.2. Rezystancja zestyku.

Rezystancją zestykową nazywamy dodatkowy opór powiększający rezystancję przewodnika zawierającego zestyk. Jest ona ważnym parametrem zestyku, który świadczy o jego obciążalności prądowej i zwarciowej, a także całego toru prądowego. Możemy ją sobie wyobrazić jako opór złożony z co najmniej dwóch rodzajów oporności [1]:

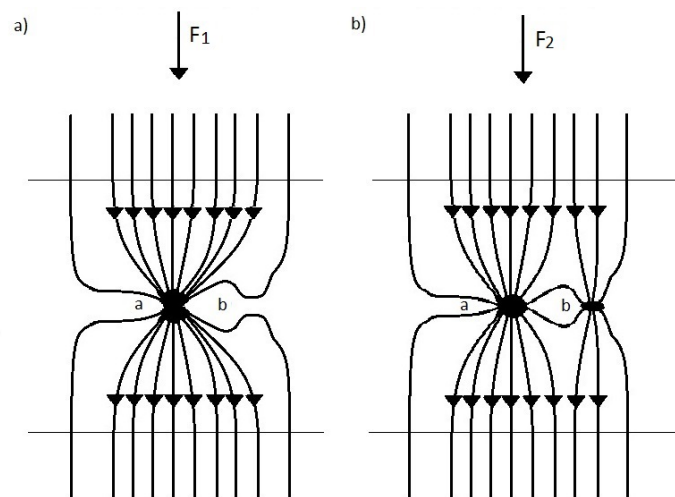
- rezystancji przewężenia
- rezystancji warstw adsorpcyjnych i nalotowych

1.3. Rezystancja kształtu.

W stanie zamkniętym zestyk składa się z dwóch lub więcej stykających się ze sobą przewodników, przez które przepływa prąd. Miejsce styczności nie jest idealnie równe. Nawet dwie bardzo dobrze oszlifowane, przyłożone do siebie, powierzchnie metalowe nie stykają się ze sobą na całej płaszczyźnie przyłożenia. Pomimo dokładnej obróbki mają one bardzo małe wzniesienia i doliny, toteż stykają się ze sobą w nielicznych punktach. W związku z tym rzeczywista powierzchnia styczności jest znacznie mniejsza od powierzchni pozornej i równa się sumie niewielkiej liczby punktów zestyku. Zależnie od wartości siły docisku obu części do siebie punkty styczności ulegają odkształceniu sprężystemu lub plastycznemu. Ze względu na wymaganą małą rezystancję przejścia

należy stosować takie dociski, żeby wystąpiło odkształcenie plastyczne wzniesień, wówczas powierzchnia styczności zestyku i rezystancja przejścia zestyku zmaleje[4].

Na rys.2.2. pokazano przykładowo powierzchnię styczności dwóch styków, które są dociskane do siebie z siłą F. Jeżeli siła F osiągnie jakąś wartość umowną np. F_1 , to wzniesienie jedno ulegnie odkształceniu i styki zetkną się ze sobą tylko płaszczyzną a. Jeżeli zwiększymy docisk do wartości $F_2 > F_1$, to np. powierzchnia styczności na wskutek dalszego odkształcania plastycznego wzrośnie, a ponadto pojawi się nowy punkt styczności b. Wówczas zestyk będzie miał w rzeczywistości dwie elementarne powierzchnie styczności a,b.



Rys. 2.2. Powierzchnie styczności dwóch styków zestyku $F_2 > F_1$ [3]

Rzeczywista powierzchnia styczności dwóch metalowych styków jest więc znacznie większa niż pozornie należałoby się spodziewać. Nie należy ona praktycznie od wymiarów styków, lecz przede wszystkim od wartości dociskającej je siły i od współczynnika plastyczności materiału przewodowego styków[3].

A zatem

$$S = \frac{F}{\sigma},$$

gdzie:

S – rzeczywista powierzchnia styczności, mm^2 ,

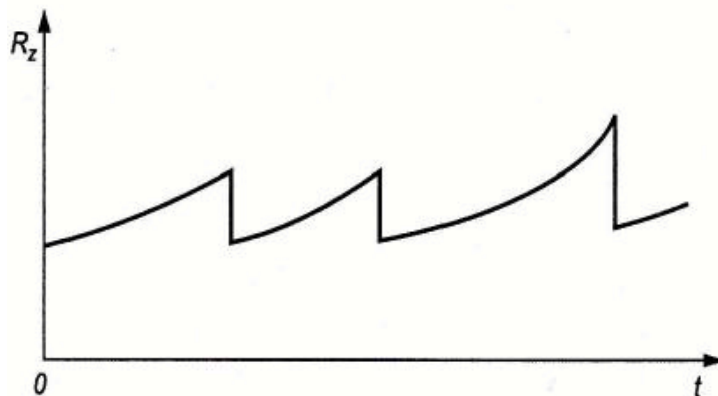
F – siła docisku, Kg,

σ – naprężenie odpowiadające granicy plastyczności przy zgniataniu, kG/mm^2 .

To samo S można otrzymać przy stykach o różnych rozmiarach zmieniając tylko F

1.4. Rezystancja warstw adsorpcyjnych i nalotowych

Rezystancja warstw nalotowych występuje na skutek korozji powierzchni styków, które w krótkim czasie pokrywają się tlenkami metali. Rezystywność metali nieszlachetnych jest większa niż metalu, na którym powstał tlenek. Warstwy nalotowe w praktyce występują przede wszystkim na powierzchniach styków zestyków pracujących z małymi siłami docisku. Warstwą adsorpcyjną nazywa się ciekłą warstwę gazów grubości co najmniej równej średnicy jednej cząsteczki. Wraz ze zwiększaniem się wartości przepływającego prądu zmniejsza się rezystancja warstwy nalotowej. W związku z utlenianiem się powierzchni styków i zwiększaniem grubości warstwy nalotowej rezystancja zestykowa nie ma stałej wartości w czasie. Przebiecie warstwy nalotowej następuje na skutek wzrostu natężenia pola elektrycznego w warstwie nalotowej i temperatury zestyku. Rezystancja zestykowa spada wtedy gwałtownie do wartości bliskiej początkowej (rys. 5.8.). W przypadku dużej grubości warstwy nalotowej i braku jej zniszczenia temperatura może osiągnąć wartość większą niż jest dopuszczalna [2].



Rys. 2.3. Uproszczony przebieg zmian rezystancji zestykowej w funkcji czasu [2]

Ze wzrostem temperatury zestyku rezystancja rośnie. Intensywność chłodzenia zestyku zależy od przewodności cieplnej metalu, z którego jest wykonany i jego wymiarów (im większe, tym lepiej). Im mniejsza jest rezystancja przejścia zestyku i im większa jego masa i wymiary, tym niższa jest temperatura zestyku przy tym samym prądzie. Powierzchnie stykności zestyków aluminiowych, miedzianych i stalowych utleniają się. Warstwa nalotowa tlenków charakteryzuje się dużą rezystancją. Szczególnie intensywne utlenianie występuje, jeśli temperatura zestyku przekroczy $70 \div 75^{\circ}\text{C}$. Wówczas powierzchnia stykności pokrywa się intensywnie warstwą nalotową tlenków, co

proceeds to a strong increase in transition resistance R_p , and as a consequence the temperature rises. Such a proceeding process can lead to damage of the contact and occurrence of a serious disturbance in the operation of the electrical circuit. The surface layer influences especially unfavorably on non-detachable contacts, because the contact surfaces of detachable contacts clean themselves from the surface layer during closing. Contacts immersed in oil oxidize much more slowly than in the atmosphere of air [2].

1.5. Rezystancja przejścia zestyku w funkcji siły docisku

Force of contact of contact surfaces has an influence on transition resistance. For this reason it is necessary to use significant contact forces in switches, especially in those with higher currents [8].

In spite of careful processing of the contact surface, the contact does not fit exactly to the contact surface. It can be said that there are only points of contact. The real contact area consists of individual contact points of the contact surface in connection with the influence on it having such properties as material of the contact and contact force. The resistance of the contact transition of a single-point contact with a force F_1 acting on it is expressed by formula (5.2) [2]:

$$R_{p1} = \frac{\rho}{2} \sqrt{\frac{(\pi\sigma_0)}{k_s}} \quad (2.1)$$

ρ – rezystywność materiału stykowego

σ_0 – naprężenie materiału stykowego odpowiadające granicy plastyczności przy zgniataniu

Transition resistance of a contact consisting of n such contacts with a force F acting on it can be described by the following dependencies [2] (5.3; 5.4):

$$R_p = \frac{R_{p1}}{n} \quad (2.2)$$

$$R_p = \frac{C}{F^d}$$

przy czym:

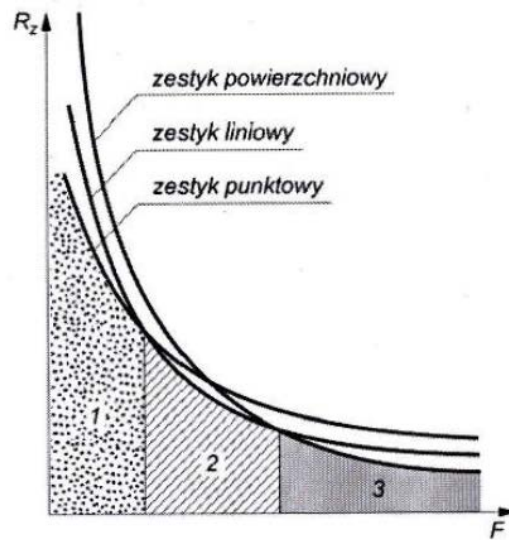
$$C = \frac{\rho}{2} \sqrt{\frac{(\pi\sigma)}{k_s}} \quad (2.3)$$

k_s – współczynnik zależny od rodzaju materiału stykowego

C – współczynnik zależny od właściwości materiału, temperatury oraz stanu powierzchni styków

d – współczynnik zależny od rodzaju zestyku (zestyk powierzchniowy $d = 1$; zestyk punktowy $d = 0,5$; zestyk liniowy $d = 0,7$)

Zależność rezystancji zestykowej R_z od siły docisku F dla różnych powierzchni stykowych przedstawia poniższy wykres.



Rys. 2.4. Zależność wartości rezystancji zestykowej R_z od siły docisku styków F ; zakresy sił docisku zestyków: 1- punktowych, 2-liniowych, 3-powierzchniowych, odpowiadające najniższym wartościom rezystancji przejścia [1]

Zestyki powierzchniowe znajdują zastosowanie w szynoprzewodach, a także w przyłączach i niektórych łącznikach wysokiego napięcia. Mała rezystancja przejścia zestyków punktowych powoduje, że bardzo korzystne jest ich zastosowanie w układach o małej sile docisku styków. Zestyki liniowe o średnim zakresie siły docisku są stosowane m.in. w rozłącznikach, wyłącznikach czy też odłącznikach [1].

1.6. Połączenia śrubowe

Przy wykonywaniu dłuższych ciągów szyn oraz przy wykonywaniu odgałęzień zachodzi potrzeba łączenia szyn. Jeśli wystarcza połączenie nierozłączalne, wykonuje je się przez spawanie gazowe. Znacznie częściej połączenia szyn wykonuje się jako rozłączalne połączenia śrubowe. Przy montażu ich należy[3]:

1. W miarę możliwości połączenia wykonywać na zakładkę, bo wtedy na drodze przepływu prądu znajduje się mniej powierzchni styczności, niż w połączeniach z nakładkami, poza tym do wykonania połączenia wystarcza wówczas mniejsza liczba śrub.

2. Liczbę, rozmiar i rozmieszczenie śrub dobiera się odpowiednio do poprzecznych wymiarów łączonych szyn, siły docisku dobiera się odpowiednio dla szyn miedzianych i aluminiowych. Szyny o większej szerokości, przekraczającej 100 mm,

przecina się wzdłużnie w miejscach połączeń, bo ułatwia to uzyskanie dużego docisku zestykowego na całej powierzchni.

3. Montaż rozpoczyna się od wytrasowania otworów na śruby, wywierceniach tych otworów oraz usunięcia zadziorów powstałych przy wierceniach, po czym powierzchnie styczności dokładnie czyści się z brudu i nalotu tlenkowego.

4. Oczyszczone powierzchnie styczności dla ochrony przed utlenianiem pokrywa się bardzo cienką warstwą wazeliny bezkwasowej (smaruje się je wazeliną, a następnie przeciera suchą szmatką). Lepsze wyniki daje pokrywanie tych powierzchni specjalnym smarem stykowym zmniejszającym rezystancję zestykową.

5. Do łączenia szyn nie należy używać śrub czarnych, gdyż nie dają się później odkręcać. Używa się tylko śrub cynkowanych lub kadmowanych. Połączenia śrubowe szyn zabezpiecza się przed rozluźnieniem zwykle za pomocą podkładek sprężystych.

6. Podkładki sprężyste nie powinny przylegać bezpośrednio do powierzchni styczności szyny aluminiowej, gdyż pod działaniem wstrząsów i drgań łatwo wrzynałyby się w miękki materiał.

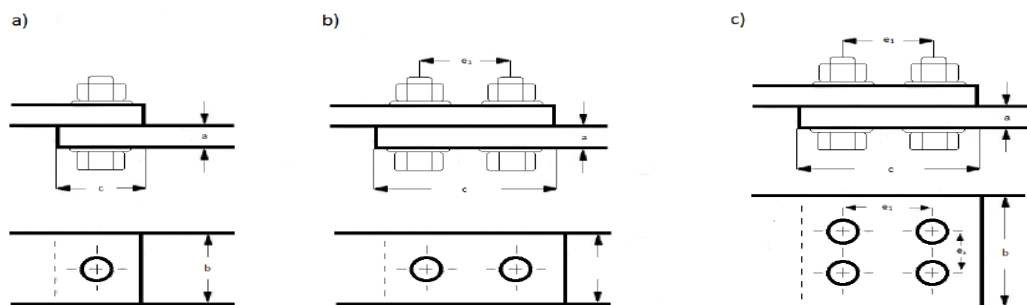
Szyny sztywne układa się u nas przeważnie jako gołe (nieizolowane) szyna izolatorach. Na całej długości, poza miejscami połączeń, maluje się je, co trochę polepsza warunki chłodzenia szyn (poprzez promieniowanie ciepłe szyn), chroni je przed korozją i umożliwia łatwe rozróżnianie poszczególnych faz lub biegunów układu oznaczonych różnymi barwami. W urządzeniach prądu przemiennego trójfazowego poszczególnym szynom odpowiadają następujące barwy[3]:

Faza R-barwa żółta,

Faza S-barwa zielona,

Faza T-barwa fioletowa,

Szyna zerowa N -barwa biała.



Rys. 2.4. Połączenia szyn płaskich: a) i b) śrubami na zakładkę, c) śrubami z nakładką[3]

1.7. Wytrzymałość elektrodynamiczna szyn

Największe siły działające na szyny występują w czasie zwarcia, ponieważ pojawiają się one nagle, mówimy o wytrzymałości elektrodynamicznej szyn. W przypadku zwarcia trójfazowego wartość siły elektrodynamicznej występującej między dwoma sąsiednimi izolatorami wsporczymi znajdującymi się w odległości l można wyznaczyć z wyrażenia:

$$F = 1,77 \cdot k_p \cdot i_u^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-2} [kG] \quad (2.4)$$

Gdzie i_u podstawiamy w kA.

Szyny sztywne mocuje się do zacisków maszyn i aparatów do prętów izolatorów przepustowych, jak również w środku odcinka (np. między dwiema wkładkami kompensacyjnymi), natomiast na wszystkich innych izolatorach wsporczych szyny są tak uchwycone, żeby umożliwiona była bezpieczna wydłużalność cieplna przy wzroście temperatury szyny. Toteż szynę traktuje się jako belkę obciążoną siłą rozłożoną równomiernie, na jednym końcu zamocowaną, natomiast luźno podpartą w pozostałych punktach. W związku z powyższym największy moment gnący obliczamy wg następujących wzorów [4]:

- dla belki wieloprzęsłowej, co zazwyczaj ma miejsce, ponieważ zwykle szyny są długie i podparte w wielu punktach

$$M \approx \frac{F \cdot l}{10} [kG \cdot cm], \quad (2.5)$$

- dla belki podpartej w trzech punktach- belka dwuprzęsłowa oraz dla belki jednoprzęsłowej

$$M \approx \frac{F \cdot l}{8} [kG \cdot cm], \quad (2.6)$$

Naprężenie gnące występujące w szynie wyznaczamy w wyrażeniu:

$$\sigma = \frac{M}{Z} \left[\frac{kG}{cm^2} \right], \quad (2.7)$$

W którym Z oznacza wskaźnik wytrzymałości przekroju w odniesieniu do osi prostopadłej do kierunku działania siły, wyrażony w cm^3 . Zależności służące do obliczania wskaźnika wytrzymałości przekroju dla różnego profilu szyny podano w tabeli. 3.3.

Jeżeli naprężenie obliczone w wyrażeniu (3.21) okaże się za duże, można je zmniejszyć następującymi sposobami:

- a) Ograniczając i_u ,
- b) Powiększając odstęp szyn,
- c) Zmniejszając l ,

d) Zwiększając W

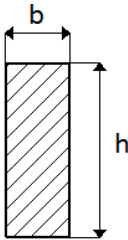

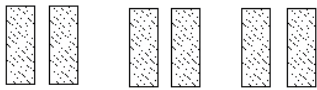
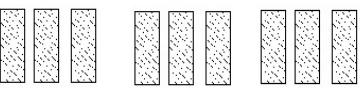
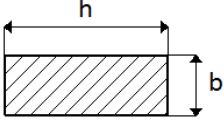


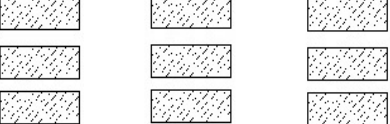
Sposób a) dotyczy nie tylko szyn, lecz całego urządzenia, toteż byłoby ekonomicznie nieuzasadnione gdybyśmy go zastosowali tylko ze względu na szyny w jednej rozdzielni.

Sposób b) często prowadzi do powiększania rozdzielni, a przez to i kosztów.

Sposób c) jest dobry. Jego wpływ jest znaczny, ponieważ $F/f(1)$ i $M/f(1)$, a zatem $\delta/f = f(I^2)$. Jedyną wadą tego sposobu jest wzrost liczby izolatorów wsporczych[4].

Dla szyn zbiorczych rozdzielni wewnętrznych przeważnie nie można zastosować tego sposobu, ponieważ odstęp między izolatorami wsporczymi jest narzucony szerokością celek[4].

Tablica 2.1 Wyrażenia do obliczania wskaźników wytrzymałości dla szyn płaskich[4].

Lp.	Oznaczenie wymiarów szyn	Układ szyn	Wskaźnik wytrzymałości [cm^3]
1		<p style="text-align: center;">a b c</p> 	$W = \frac{hb^2}{6} = 0,167hb^2$
		<p style="text-align: center;">a b c</p> 	$W = 1,44hb^2$
		<p style="text-align: center;">a b c</p> 	$W = 33hb^2$
2		<p style="text-align: center;">a b c</p> 	$W = \frac{hb^2}{6} = 0,167hb^2$
		<p style="text-align: center;">a b c</p> 	$W = 0,333h^2b$
		<p style="text-align: center;">a b c</p> 	$W = 0,5h^2b$

Wreszcie czwarty sposób pozwala zmniejszyć δ przez zmianę sztorcowego ułożenia szyn na izolatorach na ułożenie płaskie. W czasie projektowania niejednokrotnie interesuje nas największy odstęp między izolatorami wsporczymi (l_{max}), dopuszczalny z uwagi na wytrzymałość elektrodynamiczną. W tym celu najpierw decydujemy

o materiale, kształcie i wymiarach szyn, przyjmujemy dopuszczalne naprężenie σ_{dop} , przyjmujemy układ szyn, odstęp a , i określamy ich wskaźnik wytrzymałości W [4]

Ustalając wartość siły na 1 cm długości szyny

$$f = 1,77 \cdot \frac{i_u^2}{a} \cdot 10^{-2} \left[\frac{kG}{cm} \right]$$

oraz

$$M = \frac{F \cdot l_{max}}{10} = \frac{f \cdot l_{max}^2}{10} \text{ oraz } \sigma_{dop} = \frac{M}{W},$$

Otrzymamy

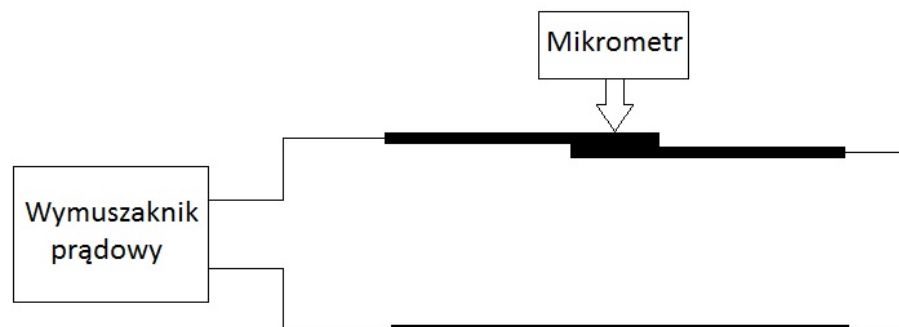
$$l_{max} = \frac{\sqrt{10 \cdot \sigma_{dop} \cdot W}}{f} \quad (2.8)$$

2. Pomiary

Zakres pracy obejmuje pomiar oddziaływań dynamicznych połączenia skręcanego za pomocą jednej śruby w odniesieniu do szyny jednolitej. Pomiar ma charakter dydaktyczny. Nie zbadamy na stanowisku dokładnej właściwości szyn z powodu małej dokładności mikromierza. W badanej szynie będzie pominięty wpływ rezystancji zestykowej, która ma wpływ na wartość prądu zakłóceniewego. Wartość prądu jest regulowana za pomocą wymuszalnika prądowego Wpu-4000.

2.1. Opis stanowiska laboratoryjnego

Stanowisko do badania oddziaływań dynamicznych połączeń szyn płaskich wyposażone jest w dwa miedziane przewody szynowe P-40x5 połączone ze sobą połączeniem śrubowym oraz dwie szyny: Miedzianą P-40x5 oraz aluminiową AP-40x5. Moment dokręcenia śruby jest regulowany kluczem dynamometrycznym. Szyny zasilane są z wymuszalnika prądowego, za pomocą którego będzie nastawiana żądana krotność prądu znamionowego szyny. Pomiar odkształcenia będzie mierzony za pomocą mikromierza.



Rys. 7.1 Schemat stanowiska pomiarowego

2.2. Pomiary

W ramach pomiarów zbadać wpływ siły docisku połączenia śrubowego szyn płaskich na odkształcenie dynamiczne. Prąd znamionowy szyny płaskiej wynosi 660A, podczas wykonywania pomiarów będziemy wymuszać wartości prądów o krotnościach od 0,5 do 2,5 prądu znamionowego oraz 1 pomiar dla maksymalnej ustawionej wartości prądu, jaką uda się osiągnąć za pomocą wymuszalnika prądowego. Do wykonania pomiaru odkształcenia połączenia skręcanego wykorzystać dwie szyny połączone śrubą M10, oraz szynę aluminiową jednolitą. Szyny ustawić są w odległości 30 cm od siebie, natomiast rozstawienie podpór wynosi 100 cm. Szyny ustawić tak, aby połączenie znajdowało się na środku stanowiska w odległości 50 cm od podpory, w tym samym miejscu ustawiamy mikromierz. Pomiary będą wykonane dla następujących momentów dokręcania śruby: 6, 10, 20, 30, 40, 50, 60 Nm. Przed każdą zmianą momentu śruba zostaje poluzowana. Dodatkowo wykonać pomiar dla szyny jednolitej dla tych samych wartości prądów. Szyny łączone zastępujemy szyną miedzianą jednolitą. W przypadku szyny jednolitej rozstaw podpór oraz odległość pozostaje taka sama, mikromierz również pozostaje umieszczony w środkowej odległości pomiędzy podporami. Pomiary odkształcenia wykonać dla takich samych wartości prądów jak dla połączenia skręcanego. Wartość prądu ustawić za pomocą wymuszalnika prądowego zgodnie z instrukcją obsługi wymuszalnika. Po każdej nastawie prądu ustawiamy tarczę mikromierza tak, aby strzałka ugięcia znajdowała się w pozycji zerowej. Następnie obciążyć układ pomiarowy nastawionym prądem i odczytać średnią ze wskazania mikromierza. Wyniki pomiarów zanotować w tabelach pomiarowych odpowiednio do momentów dokręcenia śruby oraz rodzaju szyny.

2.3. Wyniki pomiarów

Tablica 1 Wyniki pomiarów dla momentu dokręcenia śruby 6Nm.

Moment dokręcania śruby	Prąd obciążenia	Odształcenie
Nm	A	mm
6	330	
	660	
	990	
	1320	
	1650	

Tablica 2 Wyniki pomiarów dla momentu dokręcenia śruby 10Nm.

Moment dokręcania śruby	Prąd obciążenia	Odształcenie
Nm	A	mm
10	330	
	660	
	990	
	1320	
	1650	

Tablica 3 Wyniki pomiarów dla momentu dokręcenia śruby 20Nm.

Moment dokręcania śruby	Prąd obciążenia	Odształcenie
Nm	A	mm
20	330	
	660	
	990	
	1320	
	1650	

Tablica 4 Wyniki pomiarów dla momentu dokręcenia śruby 30Nm.

Moment dokręcania śruby	Prąd obciążenia	Odształcenie
Nm	A	mm
30	330	
	660	
	990	
	1320	
	1650	

Tablica 5 Wyniki pomiarów dla momentu dokręcenia śruby 40Nm.

Moment dokręcania śruby	Prąd obciążenia	Odształcenie
Nm	A	mm
40	330	
	660	
	990	
	1320	
	1650	

Tablica 6 Wyniki pomiarów dla momentu dokręcenia śruby 50Nm.

Moment dokręcania śruby	Prąd obciążenia	Odształcenie
Nm	A	mm
50	330	
	660	
	990	
	1320	
	1650	

Tablica 7 Wyniki pomiarów dla momentu dokręcenia śruby 60Nm.

Moment dokręcania śruby	Prąd obciążenia	Odkształcenie
Nm	A	mm
60	330	
	660	
	990	
	1320	
	1650	

Tablica 8 Wyniki pomiarów dla szyny jednolitej.

Prąd obciążenia	Odkształcenie
A	mm
330	
660	
990	
1320	
1650	

3. Opracowanie wyników

Wyznaczyć dla każdego momentu dokręcania śruby łączącej szyny charakterystyki oraz umieścić je na wspólnym wykresie. Wyciągnąć wnioski i spostrzeżenia z wykonanych pomiarów.

4. Literatura

- [1] Kulas S.: Tory prądowe i układy zestykowe, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008
- [2] Markiewicz H.: Urządzenia elektroenergetyczne, WNT, Warszawa 2001
- [3] Musiał E.: Urządzenia elektro-energetyczne, WSiP, Bytom 1975
- [4] Roo H.: Urządzenia elektryczne, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1969