

System wzmacniający sieć powrotną linii metra

Paulina BIELSKA¹

Streszczenie

Pierwsza część artykułu zawiera opis procesu zasilania linii metra w systemie 750 V DC, poczynając od miejskiej sieci energetycznej, przez rejonowe punkty zasilania oraz podstacje trakcyjne do pojazdów metra i kończąc na podstacjach, jako obwodzie powrotnym. Opisano sieć powrotną jako część składową systemu zasilania pojazdów szynowych linii metra. Przedstawiono również niepożądane zjawiska towarzyszące procesowi zasilania, jakimi są na przykład prądy błędzące. Zaprezentowano rozwiązanie systemu wzmacniającego sieć powrotną oraz poprawiającego jakość zasilania linii metra. Przedstawiono wykonanie systemu, jego elementy składowe, miejsce i sposób montażu oraz wpływ na proces zasilania i wynikające z tego korzyści. W ostatniej części artykułu scharakteryzowano badania, systemu wzmacniającego sieć powrotną linii metra, przeprowadzone w Zakładzie Elektroenergetyki Instytutu Kolejnictwa. Wyniki badań przedstawiono w postaci graficznej oraz interpretacji słownej.

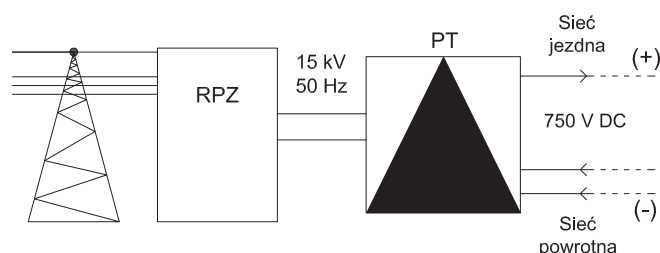
Słowa kluczowe: linia metra, sieć powrotna, system wzmacniający, prądy błędzące

1. Wprowadzenie

Zasilanie linii metra jest realizowane z miejskiej sieci energetycznej. Energia elektryczna jest dostarczana do Rejonowych Punktów Zasilania (RPZ), z których dwiema liniami o napięciu 15 kV i częstotliwości 50 Hz jest przesyłana do Podstacji Trakcyjnych (PT). Na PT, za pomocą transformatorów prostownikowych i prostowników trakcyjnych, następuje przekształcenie napięcia prądu przemiennego na napięcie stałe o wartości 750 V. Napięcie to jest docelowym napięciem zasilającym linię metra. Z podstacji trakcyjnej jest zasilana sieć trakcyjna metra, składająca się z sieci jezdnej oraz sieci powrotnej. Sieć jezdnią stanowi tzw. trzecia szyna (sztywna szyna prądowa), czyli biegun dodatni (+) obwodu zasilania. Sieć powrotną stanowi zespół szyn jezdnych, czyli biegun ujemny (-) obwodu zasilania, połączonych elektrycznie kablami i przewodami połączeniowymi, będącymi obwodem powrotnym prądów trakcyjnych. System zasilania linii metra zaprezentowano na poglądowym rysunku 1.

Istotnym czynnikiem towarzyszącym zasilaniu linii metra jest generacja prądów błędzących. Występowanie prądów błędzących jest zjawiskiem szkodliwym i niepożądanym. Jest to nieodłączny problem związany z siecią powrotną, szczególnie w przypadku systemów zasilania prądem stałym. Wartość prądów błędzących wzrasta proporcjonalnie do wzrostu prądów obciążeniowych. Z powodu dużego obciążenia

prądem trakcyjnym, szczególną uwagę należy zwrócić na wypadkową rezystancję sieci powrotnej. Jako element wzmacniający sieć powrotną linii metra można zastosować bocznikujące szyny jezdne, kable lub dodatkową aluminiową albo miedzianą szynę wpiętą równoległe do szyn jezdnych. Taka szyna była przedmiotem badań w laboratorium Zakładu Elektroenergetyki Instytutu Kolejnictwa.



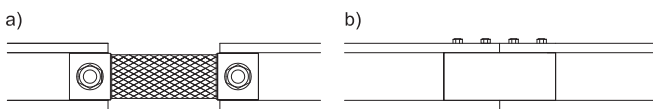
Rys. 1. System zasilania linii metra: RPZ – rejonowy punkt zasilania, PT – podstacja trakcyjna [opracowanie własne]

Wprowadzenie badanej szyny do układu zasilania metra prowadzi do zwiększenia elektrycznego przekroju poprzecznego sieci, a zarazem zmniejszenia rezystancji sieci powrotnej. Zmniejszenie rezystancji sieci powrotnej ogranicza ryzyko występowania prądów błędzących, obniża obciążalność szyn jezdnych, dzięki czemu redukuje straty ciepłne, a dodatkowo zwiększa bezpieczeństwo przeciwporażeniowe.

¹ Inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Elektroenergetyki; e-mail: pbielska@ikolej.pl.

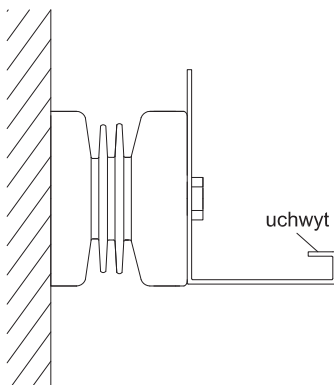
2. System wzmacniający sieć powrotną linii metra

Przedmiotem badań była szyna aluminiowa (wraz z systemem mocowań i dylatacji) o kształcie litery U i przekroju odpowiednim do obciążenia w sieci powrotnej metra warszawskiego. Szyna ta ma stanowić element wzmacniający (bocznikujący) szynową sieć powrotną linii metra. Badana szyna posiadała dwa rodzaje łączników: elastyczne (dylatacyjne) oraz sztywne. Zastosowane rodzaje łączników przedstawione zostały na rysunku 2. Badania obejmowały po kilka egzemplarzy z obu rodzajów łączników o różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych. Różniły się one od siebie długościami, przekrojami poprzecznymi oraz sposobem przytwierdzenia do szyny.

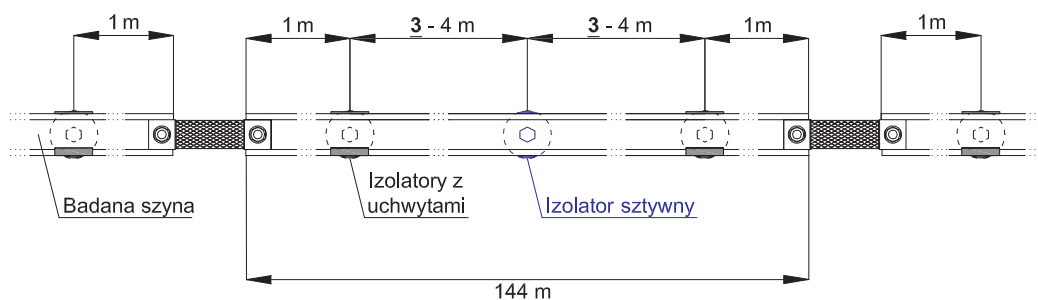


Rys. 2. Zastosowane rodzaje łączników: a) łącznik elastyczny, b) łącznik sztywny [opracowanie własne]

System mocowań szyny stanowiły izolatory wraz z uchwytami mocującymi szynę wzmacniającą. Dodatkowo, jako system mocowań, zastosowano również uchwyty na izolatorach, umożliwiające ruch szyny. Rysunek 3 przedstawia taki uchwyt przymocowany do izolatora widziany z boku. Badany obiekt miał być zastosowany jako zamiennik kabla wzmacniającego w II linii metra warszawskiego.



Rys. 3. Uchwyt umożliwiający ruch szyny [opracowanie własne]



Rys. 4. Umieszczenie elementów składowych szyny wzmacniającej [opracowanie własne]

3. Miejsce oraz sposób montażu systemu

Szyna wzmacniająca docelowo będzie umiejscowiona na ścianie bocznej tunelu linii metra za pośrednictwem izolatorów wsporczych. Będzie prowadzona równoległe do linii torów jezdnych. Z powodu przemieszczenia szyny, spowodowanego rozszerzalnością cieplną, należy mocować ją za pomocą uchwytów na izolatorach, umożliwiających ruch pod wpływem zmian temperatury. Brak takiego uchwytu może doprowadzić do uszkodzenia izolatorów. Docelowo planuje się montowanie łączników elastycznych co 144 m. Zaleca się, aby w środku pomiędzy nimi szyna była przymocowana na sztywnym izolatorze o wzmocnionej konstrukcji. Do pozostałych izolatorów należy mocować uchwyty umożliwiające ruch szyny wzmacniającej przy izolatorze. Izolatory należy rozmieścić maksymalnie, co 3÷4 m (zalecane co 3 m), niezależnie od tego, w którym miejscu wypada łącznik sztywny. W przypadku łącznika elastycznego, z powodu opadania szyny w wyniku braku pobliskiego mocowania zaleca się, aby uchwyt wraz z izolatorem był montowany w odległości nie większej niż 1 m od łącznika. Na rysunku 4 przedstawiono umiejscowienie poszczególnych elementów składowych na badanej szynie wzmacniającej.

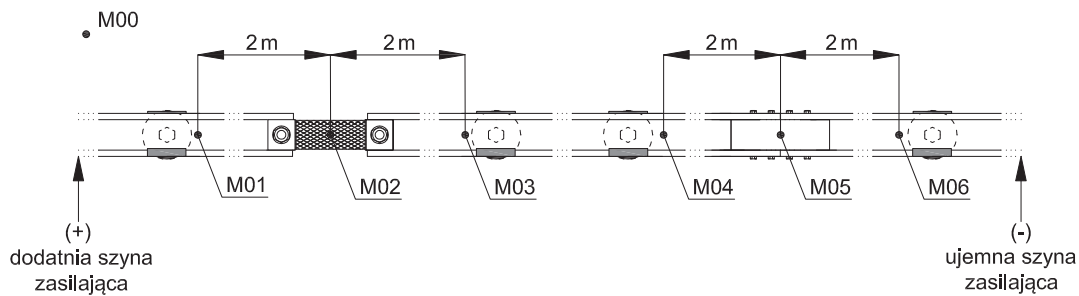
4. Badania systemu wzmacniającego sieć powrotną linii metra

Badania zostały przeprowadzone w laboratorium Zakładu Elektroenergetyki Instytutu Kolejnictwa. Podczas badań szyna wzmacniająca została przytwierdzona do ściany w sposób odzwierciedlający docelowe warunki pracy badanej szyny. Badania systemu obejmowały sprawdzenie pracy sieci powrotnej w zakresie:

- wyznaczenia rezystancji obiektu,
- pomiaru przyrostu temperatury,
- sprawdzenia własności dielektrycznych systemu mocowań.

4.1. Wyznaczenie rezystancji obiektu

Pomiar rezystancji szyny wzmacniającej wykonano na jednym metrze każdego z elementów składowych z osobna oraz na każdym z jego wariantów wykonania, czyli:



Rys. 5. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych całego systemu wzmacniającego [opracowanie własne]

- pomiar rezystancji 1 m szyny bez łączników,
- pomiar rezystancji 1 m szyny wraz z łącznikami elastycznymi,
- pomiar rezystancji 1 m szyny wraz z łącznikami sztywnymi.

Pomiar rezystancji wykonano przed próbą oraz po próbie nagrzewania. Badania były wykonywane w temperaturze otoczenia innej niż 20°C. Otrzymane wyniki należało przeliczyć na temperaturę 20°C [2] według wzoru:

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad (1)$$

gdzie:

- R – rezystancja w temperaturze $T = 20^\circ\text{C}$ [Ω],
- R_0 – rezystancja zmierzona w temperaturze otoczenia T_0 [Ω],
- α – temperaturowy współczynnik rezystancji [$^\circ\text{C}^{-1}$],
- ΔT – zmiana temperatury równa $T - T_0$ [$^\circ\text{C}$].

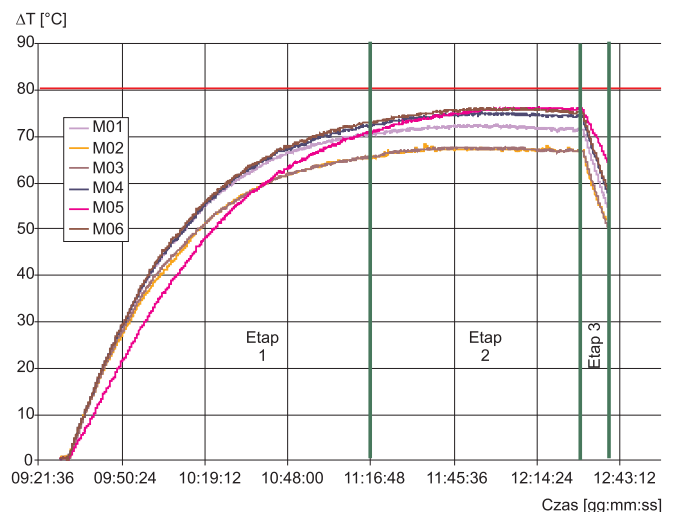
Za pozytywny wynik badania należało uznać wartość rezystancji, która byłaby mniejsza lub porównywalna do rezystancji uzyskanej w kablu wzmacniającym zastosowanym w drugiej linii metra.

4.2. Pomiar przyrostu temperatury

Podczas badań, szyna wzmacniająca była zasilana ze źródła prądu stałego o wartości 2000 A. Prąd ten został odpowiednio dobrany na podstawie wcześniejszych badań rozprężenia prądów w prototypowym układzie sieci powrotnej metra. Wykonano próbę nagrzewania systemu prądem probierczym oraz pomiar temperatury na badanych elementach sieci powrotnej. Próbę nagrzewania należy wykonywać aż do ustabilizowania się temperatury lub do osiągnięcia niedopuszczalnej wartości temperatury, której przyrost dla miedzianych łączników wynosi 110°C, a dla łączników aluminiowych 80°C. Najlepiej jest wykonać najpierw osobne pomiary dla łączników elastycznych i sztywnych, a po dobraniu odpowiedniego rozwiązania geometrycznego łączników wykonać pomiar końcowy całego systemu. Pomiar końcowy przyrostów temperatury całego systemu, dla łączników spełniających stawiane im wymagania wykonano w następujących punktach pomiarowych:

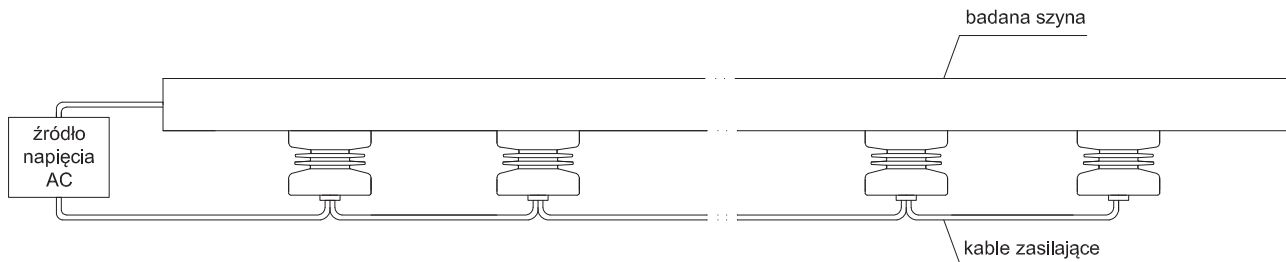
- M00 – otoczenie,
- M01 – szyna wzmacniająca, 2 m przed łącznikiem elastycznym,
- M02 – bezpośrednio na łączniku elastycznym,
- M03 – szyna wzmacniająca, 2 m za łącznikiem elastycznym,
- M04 – szyna wzmacniająca, 2 m przed łącznikiem sztywnym,
- M05 – bezpośrednio na łączniku sztywnym,
- M06 – szyna wzmacniająca, 2 m za łącznikiem sztywnym.

Schemat rozmieszczenia termopar przedstawiono na rysunku 5, wyniki pomiaru temperatury zaś przedstawiono na rysunku 6. Dodatkowo, przed próbą zaznaczono punkty umiejscowienia szyny względem nowych uchwytów. Po próbie nagrzewania zmierzono ich przemieszczenie, które nastąpiło pod wpływem zmian temperatury szyny. Wartości przemieszczeń okazały się znaczne, co dowodzi słuszności zastosowania ruchomych uchwytów mocowania szyny w celu uniknięcia uszkodzenia izolatorów wsporczych.



Rys. 6. Przebieg przyrostu temperatury podczas próby nagrzewania [1]

Temperatura otoczenia podczas badania wynosiła około 13°C. Jako wynik końcowy podczas próby nagrzewania uzyskuje się przyrost temperatury w badanych punktach pomiarowych względem temperatury otoczenia. Jak wynika z otrzymanego wykresu, żaden z punktów pomiarowych nie osiągnął nawet 80°C (czerwona linia na rysunku 6) przyrostu temperatury, czyli granicznej wartości temperatury



Rys. 7. Schemat połączeń do sprawdzenia własności dielektrycznych systemu mocowań [opracowanie własne]

dla łączników aluminiowych. Wykres z osiągniętymi temperaturami można podzielić na trzy etapy wyznaczone na rysunku 6 zielonymi liniami.

Etap 1

W pierwszym etapie następował szybki wzrost temperatury badanych elementów. Przez pierwsze dwadzieścia minut temperatura większości punktów pomiarowych wzrosła o prawie 30°C. Cały etap trwał niecałe dwie godziny i po tym czasie punkty pomiarowe osiągnęły wartość od 65,5 do 73°C.

Etap 2

W drugim etapie następowała powolna stabilizacja temperatury punktów pomiarowych. Ten etap trwał około godziny. Po tym czasie nastąpiła całkowita stabilizacja temperatur wszystkich punktów pomiarowych. Zakres osiągniętych temperatur wynosił od 66,6 do 75,3°C.

Etap 3

Trzeci etap pokazuje koniec pomiaru, czyli odłączenie zasilania od badanego układu, a w konsekwencji szybki spadek temperatury wszystkich punktów pomiarowych.

Cały proces nagrzewania trwał około trzech godzin. Miejsca pomiarowe na / lub przy łączniku sztywnym nagrzewały się nieco szybciej niż miało to miejsce w przypadku punktów pomiarowych na / lub w pobliżu łącznika elastycznego. Dzięki swojej konstrukcji, łącznik elastyczny lepiej oddawał ciepło do otoczenia.

4.3. Sprawdzenie właściwości dielektrycznych

Badanie wytrzymałości dielektrycznej ma na celu sprawdzenie właściwego doboru izolatorów systemu mocowań do zapewnienia bezawaryjnej pracy układu. Warunkiem koniecznym do spełnienia jest wykazanie odpowiedniej wytrzymałości napięciowej podczas podania napięcia probierczego. Sprawdzenie systemu mocowań szyny doko-

nano napięciem wynoszącym 10 kV, o częstotliwości sieciowej $f = 50$ Hz. Napięcie należy podać pomiędzy szynę i połączone elektrycznie wszystkie izolatory, co zobrazowano na rysunku 7 (szyna widziana od góry). Pomiar należy wykonać również na pojedynczym izolatorze. W każdym przypadku napięcie należy utrzymywać przez 1 minutę, a każdy pomiar powtórzyć co najmniej trzykrotnie. Jeżeli w trakcie badań nie nastąpiło przebicie dielektryczne systemu mocowań szyny, to wynik badań uznaje się za pozytywny.

5. Podsumowanie

Niniejszy artykuł wykazuje słuszność wykorzystywania systemów wzmacniających sieć powrotną linii metra w postaci szyn lub kabli, bocznikujących tory jezdne. Dzięki takim układom dąży się do zmniejszenia rezystancji wypadkowej sieci powrotnej, a z tym faktem wiąże się wiele korzyści związanych zarówno z poprawą jakości zasilania linii metra, jak również mających na celu zwiększenie bezpieczeństwa człowieka podczas pracy z urządzeniami zasilanymi elektrycznie. Należy jednak pamiętać o zastosowaniu odpowiedniej konstrukcji montażowej, na przykład zapobiegającej ewentualnym uszkodzeniom izolatorów wsporczych (uchwyty umożliwiające ruch szyny).

Bibliografia

1. Bielska P.: *Badania systemu wzmacniającego sieć powrotną linii Metra*, Instytut Kolejnictwa, Praca nr 5789/12, Warszawa, 2017.
2. Lisica A., Ostrowski B., Ziewiec W.: *Laboratorium Materiałoznawstwa*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom, 2009.