

Piotr Osa, Jerzy Wojciechowski, Marek Wójtowicz, Nikolai Osmolovskii

Modelowanie pracy rezerwowego źródła energii elektrycznej urządzeń sterowania ruchem kolejowym

JEL: L92 DOI: 10.24136/atest.2018.456

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z problemem modelowania pracy rezerwowego źródła energii elektrycznej dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Nakreślono problematykę urządzeń srk oraz budowy i koncepcji zasilania ich w energię elektryczną. W części zasadniczej przedstawiono model symulacyjny pracy agregatu prądowórczego, wykorzystywanego jako rezerwowe źródło zasilania elektrycznego. Pokazano modyfikacje modelu do pracy w najważniejszych stanach eksploatacyjnych. Zaprezentowano wyniki obliczeń symulacyjnych.

Słowa kluczowe: agregat prądowórczy, rezerwowe źródło energii elektrycznej, urządzenia srk, obliczenia symulacyjne.

Wstęp

Systemy sterowania ruchem kolejowym (srk) to jedne z najistotniejszych układów zapewniających planowy i bezpieczny ruch pojazdów trakcyjnych [1,2,5,6,10]. Ich znaczenie ma swoje odzwierciedlenie między innymi w stopniu gwarantowania bezprzerwowego zasilania w energię elektryczną. Tak więc poza standardowym układem zasilania w energię elektryczną urządzenia srk posiadają dodatkowe, rezerwowe źródła [7,14]. Dla urządzeń wymagających podtrzymania zasilania od kilku do kilkunastu godzin dedykowane są agregaty prądowórcze. Rozwiązanie tego problemu klasycznymi zasilaczami UPS jest opłacalne, ze względów technicznych oraz ekonomicznych, tylko dla czasów podtrzymania do około 2 godzin. Równoległe zastosowanie agregatu prądowórczego i zasilacza awaryjnego UPS, przystosowanych do wzajemnej współpracy, gwarantuje optymalny układ zasilania awaryjnego, który łączy zalety obu urządzeń pracujących samodzielnie. UPS o krótkim czasie podtrzymania (maksymalnie do 1 minuty) zabezpiecza bezprzerwowe zasilanie bezpośrednio od zaniku napięcia do momentu, gdy agregat prądowórczy rozpocznie dostarczanie energii elektrycznej i czas ten przedłuży do kilku godzin.

Agregaty prądowórcze stosuje się w trzech wariantach:

- samodzielny agregat – dla urządzeń nie wymagających bezprzerwowego zasilania lub jako źródło autonomiczne,
- agregat + UPS – moc agregatu wymiarowana na wszystkie urządzenia, a UPS o mniejszej mocy podtrzymuje tylko urządzenia wymagające bezprzerwowego zasilania,
- agregat + UPS – moc agregatu jest dobrana do mocy UPSu, który zasila wszystkie urządzenia.

Sterowanie ruchem kolejowym jest procesem złożonym i odpowiedzialnym. Obecnie wykorzystywane są do tego elektroniczne systemy komputerowe, które sterują urządzeniami wykonawczymi, takimi jak: zwrotnice, sygnalizatory, urządzenia detekcji. Wszystkie te urządzenia potrzebują zasilania energią elektryczną, które z powodu awarii sieci elektroenergetycznej może zostać przerwane. W tych warunkach gwarancją ciągłości zasilania są zespoły prądowórcze [4,8,11,12,17].

1 Agregaty prądowórcze w układach zasilania urządzeń srk

Współczesne spalinowe agregaty prądowórcze dość często są wykorzystywane w zabezpieczeniu przed zanikiem napięcia w publicznej sieci elektroenergetycznej i do długotrwałego zasilania odbiorów energii elektrycznej o określonych parametrach. Mogą one zasilать obiekty użyteczności publicznej, szpitale, zakłady przemysłowe, obiekty sportowe, budynki mieszkalne wysokościowe (zasilanie wind i urządzeń przeciwpożarowych), wielkopowierzchniowe obiekty handlowe, farmy hodowlane, place budów lub wybrane instalacje.

Agregaty prądowórcze są to generatory napędzane silnikami wysokoprężnymi, benzynowymi, rzadziej turbiną gazową. Agregaty prądowórcze przystosowane są do pracy ciągłej, lub długotrwałej w czasie od kilku godzin do kilku dni. Moce oferowanych agregatów wynoszą od kilku kVA nawet do kilku MVA. Największe jednostki mogą pełnić rolę tymczasowych elektrowni w regionach, w których występuje deficyt mocy w systemie elektroenergetycznym lub w przypadku zaniku zasilania największych odbiorców. Są one wyposażone w samoczynne regulatory prędkości obrotowej i synchronizacji z siecią zewnętrzną lub z innymi agregatami prądowórczymi, układ wzbudzenia generatora, układ rozruchu silnika napędowego, regulatory napięcia generatora i jego sterowania oraz aparaturę łączeniową. Maksymalną liczbę współpracujących jednostek określa wytwórca i nie może być ona w żadnym przypadku, bez jego zgody, przekroczona. Agregaty prądowórcze są przeważnie przystosowane do pracy równoległej.

Agregaty prądowórcze można podzielić pod wieloma względami, a są to klasy wymagań które informują o parametrach wytwarzanego napięcia: częstotliwości, amplitudzie, kształcie, ich dokładnej wartości oraz stabilności, decydują one jaką grupę odbiorników agregat może zasilать. Im wyższa jest klasa wymagań, tym jakość wytwarzanej energii jest wyższa i agregat może zasilать bardziej wymagające odbiorniki. Dzielone są także z uwagi na rodzaj silnika napędowego, rodzaj mocy, rodzaj obudowy, rodzaj prądnic (generatora), a także rodzaj sterowania.

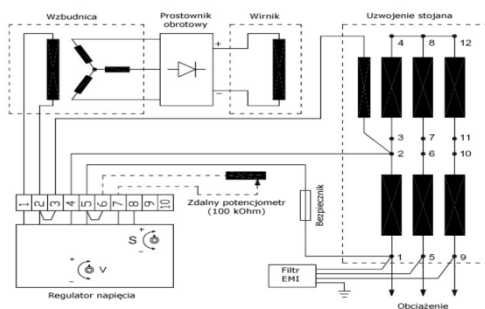
Podczas doboru agregatu stosuje się kryterium, określające czy agregat ma pracować jako główne źródło zasilania (zamiast sieci elektroenergetycznej), czy jako rezerwowe źródło zasilania (źródło awaryjne). W zależności od tego kryterium należy posługiwać się wartością mocy ciągłej lub mocy maksymalnej. Przy doborze jednofazowego agregatu prądowórczego w zależności od liczby i rodzaju zasilanych urządzeń oraz okresowych pomiarów energii elektrycznej trzeba określić tzw. współczynniki niejednoczesności. Współczynnik niejednoczesności pozwala na określenie rzeczywistego zapotrzebowania mocy w stosunku do mocy zainstalowanej odbiorników i tym samym pośrednio na oszacowanie mocy agregatu prądowórczego. Takie zestawienie mocy odbiorników jednofazowych można sporządzić bez pomiaru obciążenia. W praktyce pokazano, że moc agregatu prądowórczego powinna być około 70% większa od zestawienia mocy znamionowych odbiorników.

Gdy chodzi o dobór agregatu prądowłórczego trójfazowego za podstawę doboru mocy przyjmuje się wartość mocy czynnej zapotrzebowanej oraz wartość mocy bierniej odbiorników, które mają być objęte zasilaniem awaryjnym (ciągłym) [13,15,16].

Agregaty prądowłórcze w wersjach podstawowych dzieli się na następujące główne podzespoły:

- systemy doprowadzenia powietrza,
- systemy wydechowe,
- systemy paliwowo olejowe,
- systemy chłodzenia silnika,
- systemy smarowania silnika,
- silniki wysokoprężne,
- prądnice synchroniczne jedno lub trójfazowe z gniazdami sieciowymi,
- systemy automatycznego rozruchu.

Zastosowane w agregatach prądowłórczych prądnice prądu przemiennego są synchronicznymi maszynami, trój lub jednofazowymi, bezszczotkowymi (jedno lub trójfazowe) lub szczotkowymi (trójfazowe), z wewnętrznymi samowzbudnymi regulatorami napięcia. Schemat elektryczny przykładowej bezszczotkowej prądnicy trójfazowej przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat elektryczny prądnicy E1XE z elektronicznym regulatorem napięcia (AVR) [9]

Prądnice jednofazowe posiadają systemy samoregulacji napięcia, zapewnionej przez wewnętrzne uzwojenie sprzężone w układzie z kondensatorem [3]. Powoduje on utrzymanie napięcia na poziomie 10%, przy równomiernym obciążeniu. Prądnice trójfazowe posiadają compoundacyjny system samoregulacji napięcia, które zapewniają utrzymanie napięcia na poziomie 6% przy równomiernym obciążeniu. Prądnice trójfazowe w wersjach specjalnych są wyposażone w elektroniczne regulatory napięcia. W prądnicach trójfazowych dopuszcza się nierównomierność obciążenia faz do 30% znamionowej mocy, natomiast z gniazd jednofazowych prądnic trójfazowych nie można odebrać więcej niż 40% mocy znamionowej agregatu. W przypadku przekroczenia tych wartości nastąpić może pogorszenie parametrów elektrycznych prądnicy, głównie napięcia, a także może nastąpić przegrzanie uzwojeń i ich spalanie.

Praca prądnicy przy zmiennym obciążeniu może powodować krótkotrwałe spadki napięcia dochodzące do 10% napięcia znamionowego. Po czasie nie dłuższym niż 0,1 sekundy następuje samoczynnie powrót do napięcia znamionowego. W prądnicach trój i jednofazowych dopuszcza się chwilowe 10% przeciążenie ponad znamionową moc, ale na każde 3 godziny pracy zespołu nie dłużej niż 5 minut. Zawartość harmoniczných (THD) dla wszystkich prądnic w ustalonych warunkach mieści się poniżej 7%, mimo to na chwilowe wahania napięcia zasilającego przy zasilaniu wrażliwych urządzeń kwalifikuje się je do pracy poprzez urządzenia UPS typu true on-line.

2 Modelowanie pracy agregatu prądowłórczego urządzeń srk

2.1 Budowa modelowanego agregatu prądowłórczego

Modelowany agregat prądowłórczy zasilający urządzenia srk składa się z następujących, podstawowych elementów:

- silnik typu SW 256 E7:
 - chłodzenie cieczowe,
 - moc 37 [kW],
 - obroty 1500 [obr/min],
- prądnica synchroniczna trójfazowa GCkL94M4ML/20:
 - moc 37,5 [kVA],
 - napięcie 3x400/230 [V],
 - prąd nominalny 54 [A],
 - obroty 1500 [obr/min],
 - częstotliwość znamionowa 50 [Hz],
 - współczynnik mocy $\cos\phi$ 0,8,
 - prądzie wzbudzenia 1,7 [A],
- zestaw tablic kontrolnych, rozdzielczych i sterujących.

Silnik agregatu prądowłórczego chłodzony jest cieczą. Chłodnica z silnikiem i prądnicą połączone są na stalowej ramie, umocowanej w fundamencie agregatu. Zbiornik paliwa umiejscowiony jest na prądnicy. Obok agregatu prądowłórczego są ustawione baterie akumulatorów do rozruchu silnika. Układ odprowadzenia spalin wykonany jest ze stalowych, amortyzujących rur i wyprowadzony przez ścianę agregatowi na zewnątrz budynku. Widok wszystkich wymienionych elementów przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Osadzenie na fundamencie ramy agregatu: silnika, prądnicy, chłodnicy, zbiornika paliwa oraz baterii akumulatorów rozruchowych

Na agregacie prądowłórczym zamontowane są wskaźniki pracy układu silnikowego wraz ze stacyjką ręcznego uruchomienia agregatu. Tablica kontrolna agregatu posiada mierniki zasilania sieci elektroenergetycznej oraz przełączniki do ustawienia układu pracy agregatu w stan automatyczny lub ręczny rozruch. Załączenie agregatu powoduje na tablicy kontrolnej zmianę wartości napięć i prądów. Wnętrze tablicy kontrolnej pokazano na rys. 3.



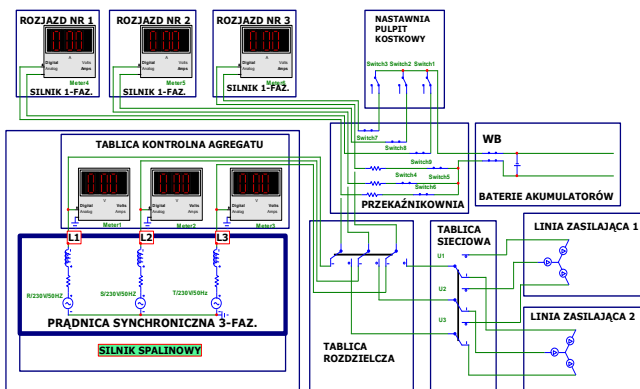
Rys. 3. Wnętrze tablicy kontrolnej agregatu prądowłórczego

Agregat prądowłórczy na analizowanej stacji kolejowej jest wykorzystywany głównie do zasilania następujących awaryjnych obwodów urządzeń srk:

- a) pulpit kostkowy urządzeń przekaźnikowych,
- b) przekaźnikownia - zawierająca:
 - transformatory obwodów zasilania świateł,
 - obwody zasilania napędów zwrotnicowych,
 - obwody odcinków izolowanych,
 - prostowniki do pracy buforowej z bateriami akumulatorów,
 - przetwornice obwodów sygnałowych,
- c) nastawnia wykonawcza.

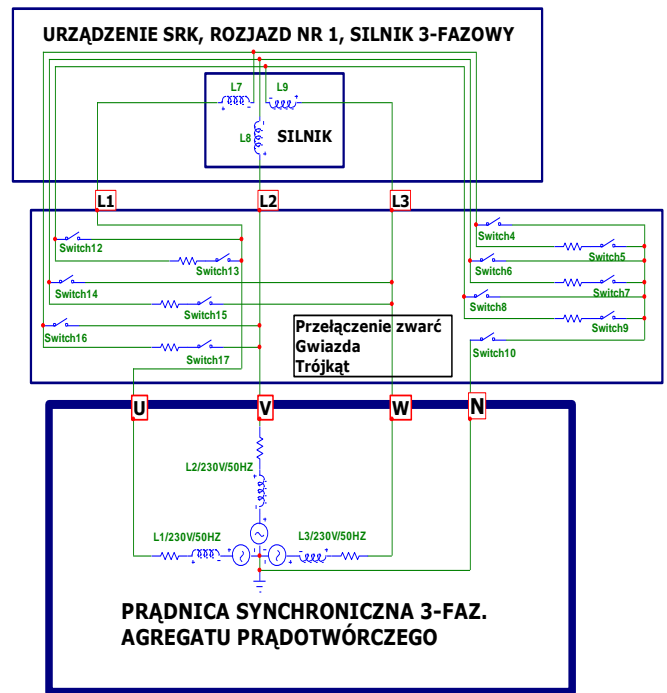
2.2 Model analityczny agregatu prądowłórczego

Autorzy opracowali model części elektrycznej agregatu prądowłórczego, wykorzystując oprogramowanie Micro-Cap. W artykule zostały przeanalizowane zakłócenia w systemie awaryjnego zasilania dla źródła napięcia agregatu prądowłórczego i podłączenie zamodelowanego odbiornika z załączanymi rezystorami. Przeprowadzono analizę modelu prądnicy synchronicznej trójfazowej z silnikiem urządzeń srk. Symulacja została przeprowadzona dla trzech faz, a analiza obejmowała poszczególne elementy układu, w różnych stanach pracy. Zastosowanie programu Micro-cap umożliwia wprowadzenie rozpatrywanych elementów układu zasilania, o określonej strukturze, z żądanymi parametrami źródła prądnicy synchronicznej i modelu odbiornika. Przykładowy schemat blokowy modelu agregatu prądowłórczego z urządzeniami srk pokazano na poniższym rysunku (Rys. 4).



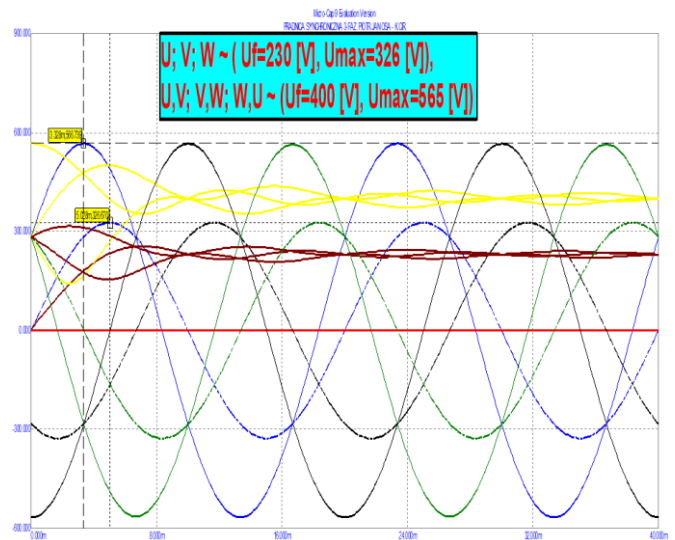
Rys. 4. Przykładowy schemat blokowy agregatu prądowłórczego wraz z systemem zasilającym urządzenia sterowania ruchem kolejowym (Micro-Cap)

Podczas wykonywania symulacji, rozpatrywano i porównywano charakterystyki w określonych punktach układu U, V, W, N, L1, L2, L3, pokazanych na rysunku poniższym (Rys. 5).



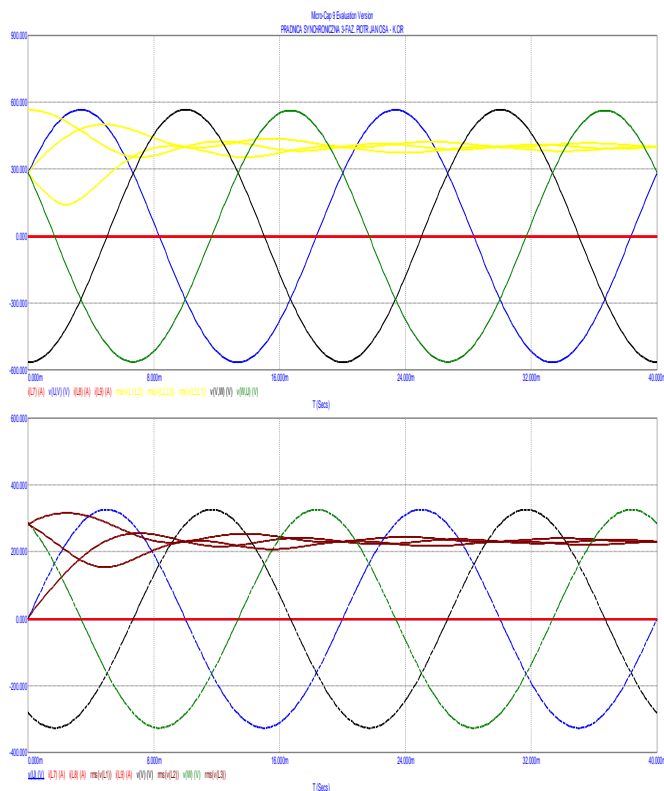
Rys. 5. Schemat 3-fazowej prądnicy synchronicznej agregatu prądowłórczego z silnikiem oraz modelem do symulacji stanów zwarć (Micro Cap)

Analizie podlegały wartości napięcia i prądu w różnych stanach pracy oraz stanach zwarć prądnicy z silnikiem synchronicznym, połączonym w gwiazdę oraz trójkąt. Program umożliwia kontrolę wpływu wartości elementów indukcyjnych i rezystancyjnych na analizowane wielkości (Rys. 6).



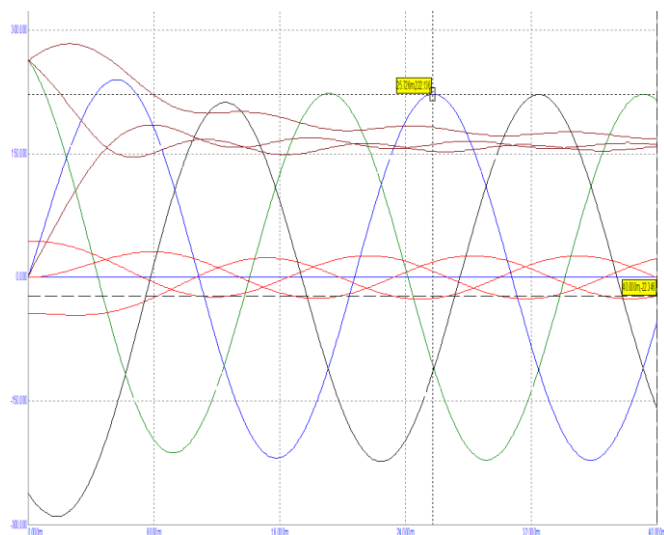
Rys. 6. Przebieg sinusoidalny kilku napięć prądnicy pracującej w stanie jałowym

Różnorodność poleceń programu pozwala na swobodne jego działanie. Może to być zastosowanie elementów pasywnych i aktywnych oraz możliwość każdorazowego przedstawienia obwodu elektrycznego, przy zmianie któregośkolwiek z elementów. Program ułatwia dokonanie analizy zabudowanych elementów oraz umożliwia przedstawienie różnych parametrów na jednym wykresie lub wielu wykresach (Rys. 7).



Rys. 7. Przebiegi napięć prądnicy agregatu prądotwórczego bez podłączonego obciążenia zewnętrznego

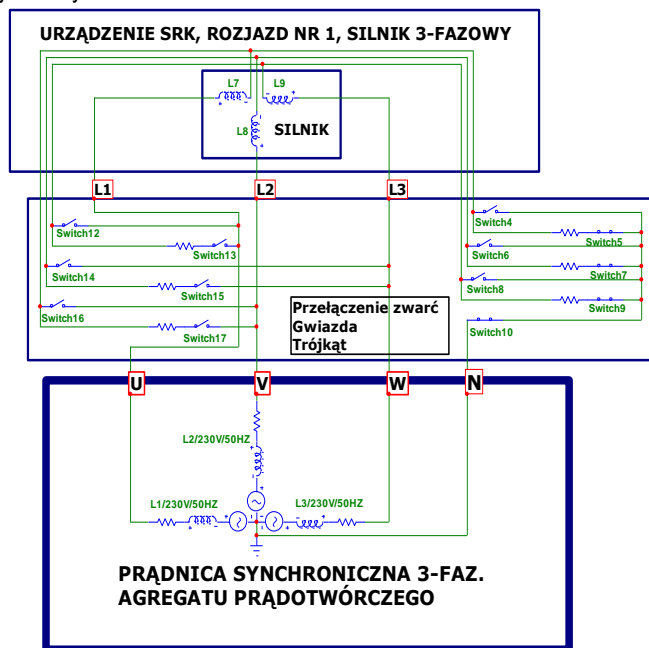
Na poniższych rysunkach (Rys. 8, Rys. 11, Rys. 13) przedstawiono przebiegi prądów i napięć prądnicy agregatu prądotwórczego podczas pracy z zakłóceniami (załączenie i wyłączenie zwarć międzyfazowych).



Rys. 8. Przebiegi prądów i napięć prądnicy agregatu prądotwórczego po załączeniu synchronicznego obciążenia

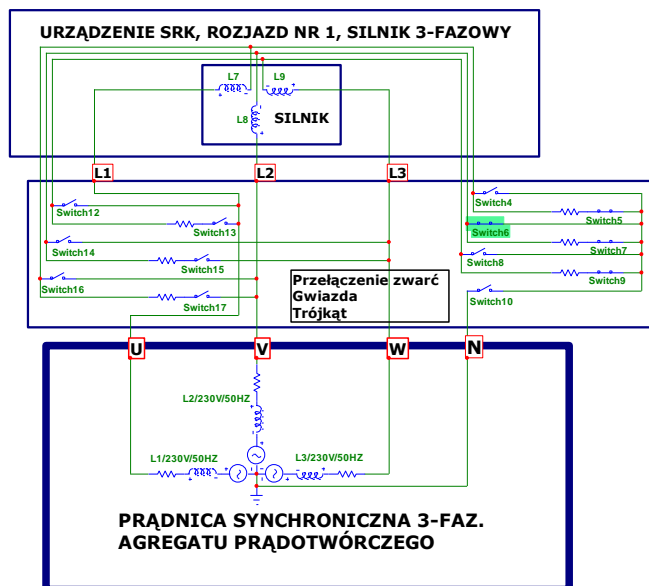
Na przebiegu z rys. 8 łatwo zaobserwować spadek wartości napięcia do 222V, przy jednoczesnym wzroście wartości prądu do 22A.

Stan taki towarzyszy podłączeniu silnika synchronicznego połączonego w gwiazdę, zasymulowanego układu w programie Micro-Cap, jak na rys. 9.

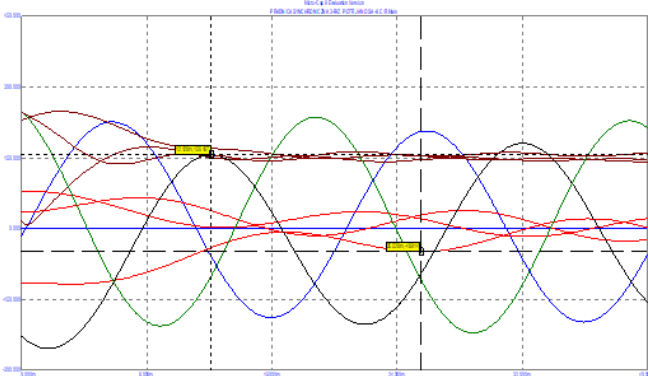


Rys. 9. Schemat modelu symulacyjnego prądnicy synchronicznej podłączonej w gwiazdę z załączonymi zestawkami nr 5, 7, 9 i 10

Kolejnym stanem analizy pracy agregatu prądotwórczego w zasilaniu urządzeń sterowania ruchem kolejowym było zasymulowanie stanu zwarcia silnika oraz oszacowanie wartości prądów i napięć na zaciskach prądnicy synchronicznej oraz w obwodzie cewki silnika. Schemat modelu układu połączonego w gwiazdę, do analizy zwarcia przedstawiono na rys. 10, wykres przebiegu napięcia i prądu stanu zwarcia przedstawiono na rys. 11.

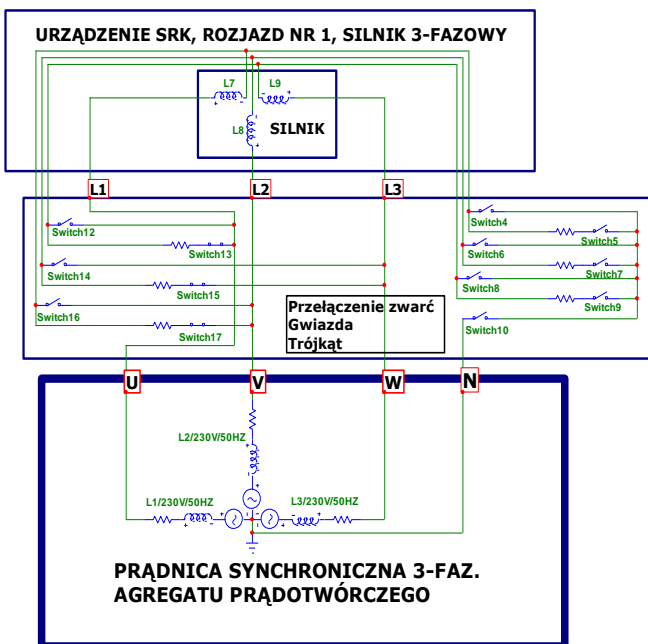


Rys. 10. Schemat modelu symulacyjnego układu gwiazdy do analizy zwarcia prądnicy agregatu prądotwórczego



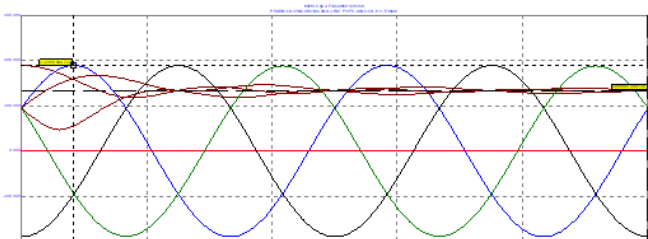
Rys. 11. Przebiegi prądów i napięć podczas zwarcia dla prądnicy synchronicznej agregatu prądotwórczego

W przebiegu przedstawionym na rysunku powyżej (Rys. 11) łatwo jest zauważyć, że podczas wystąpienia zwarcia w silniku wartość napięcia dla prądnicy na zacisku V zmalała do 156V, natomiast prąd wzrósł do 48,9A. Efekt zmiany symulacji osiągnięto poprzez zwarcie zestyku numer 6 w modelu zwarciovym, przedstawionym na poprzednim rysunku (Rys. 10). Pracę prądnicy agregatu prądotwórczego z silnikiem synchronicznym podłączonym w trójkąt przedstawiono na rysunku rys. 12.

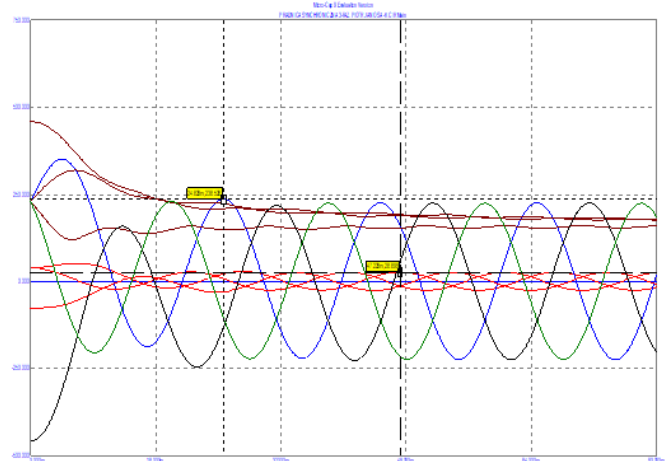


Rys. 12. Schemat podłączenia prądnicy agregatu prądotwórczego z silnikiem synchronicznym połączonym w trójkąt

Do stworzenia modelu symulacji prądnicy połączonej z silnikiem synchronicznym w układzie trójkąta zastosowano zwarcie zestyków numer 13, 15, 17, łączących obwody wyjścia U, V, W. Wyniki symulacji przedstawiono na rysunkach poniżej (Rys. 13 i Rys. 14).

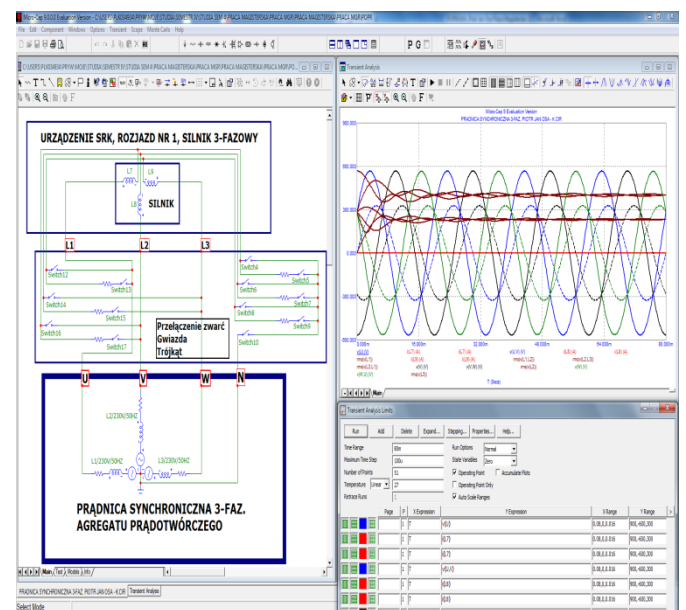


Rys.13. Przebiegi napięć prądnicy agregatu prądotwórczego przed załączeniem urządzeń sterowania ruchem kolejowym



Rys. 14. Przebiegi sinusoidalne napięć prądnicy agregatu prądotwórczego po załączeniu urządzeń sterowania ruchem kolejowym

Przebieg z rys. 13 wyraźnie pokazuje spadki napięć do 236V na prądnicy synchronicznej agregatu prądotwórczego, powodowane załączeniem przykładowych urządzeń sterowania ruchem kolejowym i poborem prądu rzędu 26,6A. Zauważalna jest także niestabilność prądów i napięć fazy początkowej załączenia obciążenia.



Rys. 15. Widok ogólny schematu programu Micro-Cap użytego do symulacji pracy agregatu prądotwórczego w układzie zasilaniu urządzeń sterowania ruchem kolejowym

Rys. 15 przedstawia różnorodne funkcje oraz okna programu Micro-Cap, dzięki którym samo projektowanie analizy staje się dość przejrzyste i zrozumiałe. Wiąże się to z łatwością obsługi oraz ciekawymi rozwiązaniami, mogącymi lepiej zobrazować rzeczywiste działania urządzeń elektrycznych, a zwłaszcza bezpieczne analizy stanów napięciowych i prądowych agregatów prądotwórczych zasilających urządzenia sterowania ruchem kolejowym.

Podsumowanie

Agregaty prądotwórcze bardzo często stosowane są do zasilania rezerwowego w przypadku zaniku napięcia w elektroenergetycznej sieci zasilającej. W takim przypadku następuje przełączenie zasilania z sieci elektroenergetyki zawodowej na zasilanie z agregatu prądo-

twórczego (samoczynne lub ręczne). Przełączenie samoczynne realizowane jest za pomocą układu „samoczynnego załączania rezerwy” SZR. Przełączenie odbywa się samoczynnie i posiada blokadę mechaniczną i elektryczną, bez możliwości jednoczesnego połączenia z siecią elektroenergetyczną. W momencie załączania zasilania awaryjnego istotny jest także czas przerwy w zasilaniu. Jest to ogólny cykl działania zasilania awaryjnego, stosowany także w przypadku zasilania systemów sterowania ruchem kolejowym. Zasilanie urządzeń srk jest bardzo ważnym elementem poprawnego funkcjonowania całego systemu. Z tego powodu należy przewidzieć zachowanie się urządzeń w wybranych sytuacjach pracy normalnej oraz awaryjnej. Idealnym narzędziem do tego zadań jest prowadzenie symulacji funkcjonowania systemu. Takie zadanie zostało wykonane przez autorów publikacji. Wykonane modele symulacyjne pozwalają na przeprowadzenie wnikliwej analizy pracy agregatów prądotwórczych w różnych warunkach faktycznego ich funkcjonowania.

Bibliografia:

1. Dyduch J., Kornaszewski M., Pniewski R., Rozwój infrastruktury badawczej UTH Radom o nowe urządzenia automatyki kolejowej „Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 6.
2. Dyduch J., Kornaszewski M., Systemy sterowania ruchem kolejowym, Wydawnictwo Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu, Radom 2013.
3. ELMECO, Instrukcja użytkownika - Jedno i trójfazowe spalinowe zespoły prądotwórcze z silnikami wysokoprężnymi.
4. Kaska J., Łukasik Z., Nowakowski W., Wojciechowski J., Nowoczesny układ sterowania asynchronicznego napędu trakcyjnego, „Logistyka” 2014, nr 6.
5. Kornaszewski M., Analiza stanu technicznego urządzeń sterowania ruchem kolejowym eksploatowanych na kolejach polskich, „Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2018, nr 6.
6. Kornaszewski M., Dyduch J., Nowe systemy w zarządzaniu ruchem kolejowym w Polsce, „Przegląd Komunikacyjny” 2017, nr 10.
7. Kornaszewski M., Łukasik Z., Sadowski P., Wojciechowski J., Wybrane problemy zasilania urządzeń srk w krajowym transporcie kolejowym „Logistyka” 2008, nr 6.
8. Kuśmińska-Fijałkowska A., Łukasik Z., Information and Communication Technologies in the Area with a Complex Spatial Structure, Information, Communication and Environment, 2015.
9. Linz Electric - LE E1X- LUGILO 2004 (REV.0), Instrukcja użytkownika i obsługi bez szczotkowych prądnic trójfazowych serii E1X.
10. Ciszewski T., Nowakowski W., Wojciechowski J., Symulator pulpitu maszynisty, „Logistyka” 2015, nr 4.
11. Łukasik Z., Nowakowski W., Kuśmińska-Fijałkowska A., Zarządzanie bezpieczeństwem infrastruktury krytycznej, „Logistyka” 2014, nr 4.
12. Łukasik Z., Nowakowski W., Wojciechowski J., Wyposażenie laboratorium systemów sterowania i diagnostyki pojazdów szynowych w symulator pulpitu maszynisty, „Logistyka” 2014, nr 6.
13. Mikulski A., Tajer T., Maszyny i urządzenia elektryczne w automatyce srk, tom II, WKŁ, Warszawa 1989.
14. Olczykowski Z., Kozyra J., Wojciechowski J., Awarie systemu elektroenergetycznego zagrożeniem dla sprawnego funkcjonowania transportu samochodowego, „Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 6.
15. PN-ISO 8528-1. Zespoły prądotwórcze prądu przemiennego napędzane silnikami spalinowymi tłokowymi. Zastosowania kwalifikacje i wymagania eksploatacyjne.
16. Wiatr J., Zespoły prądotwórcze w układach awaryjnego zasilania obiektów budowlanych, wyd. II, D.W. Medium, Warszawa 2009.
17. Wojciechowski J., Lorek K., Nowakowski W., An Influence of a Complex Modernization of the DC Traction Power Supply on the Quality Parameters of the Electrical System's Electrical Energy. MATEC Web of Conferences, vol. 180 (2018), 13th International Conference Modern Electrified Transport – MET'2017, Warsaw, Poland.

Modeling of the operation of the reserve source of electric energy of railway traffic control devices

The article presents issues related to the problem of modeling the work of a reserve source of electric energy for railway traffic control devices. The problems of srk devices and the construction and concept of powering them into electricity were outlined. The basic part presents a simulation model of the operation of a generator set, used as a reserve power source. Modifications of the model to work in the most important operating conditions are shown. The results of simulation calculations are presented.

Keywords: power generator, reserve electric power source, srk devices, simulation calculations.

Autorzy:

mgr inż. **Piotr Osa** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu.

dr inż. **Jerzy Wojciechowski** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu.

dr **Marek Wójtowicz** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu.

prof. dr hab. **Nikolai Osmolovskii** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu.