

Mirosław WCIŚLIK  
Paweł STRZĄBAŁA

## ANALIZA WPŁYWU INDUKCYJNOŚCI ZASILANIA NA PRACĘ PROSTOWNIKA MOSTKOWEGO

**STRESZCZENIE** *Układ prostownika dwupołkowego mostkowego jest jednym z najczęściej stosowanych odbiorników nieliniowych. Głównym obszarem zastosowań tego układu są jednofazowe zasilacze sieciowe, które stanowią wyposażenie większości urządzeń elektronicznych. Pobór energii tego typu urządzeń nie jest duży. Jednak znaczna ich ilość jednocześnie pracująca w systemie elektroenergetycznym sprawia, że całkowity efekt negatywnych zjawisk wprowadzanych do systemu zasilania jest znaczący. W celu zbadania zjawisk w systemie, propagacji wyższych harmonicznych oraz mocy biernej, opracowano model umożliwiający symulację obwodu z prostownikiem dwu-połkowym mostkowym, zasilanym przez dodatkową indukcyjność. W pierwszym etapie obwód był modelowany w programie PSpice. Wyniki porównano z przebiegami w obwodzie rzeczywistym. Zaproponowano nieliniowy model prostownika mostkowego. W pracy przedstawiono stosowane modele obwodów z prostownikiem mostkowym oraz sposoby ich analizy. Opracowano model matematyczny analizowanego obwodu oraz przedstawiono metodykę formowania równań opisujących obwód z wykorzystaniem zmiennych bezwymiarowych. Na podstawie modelu matematycznego utworzono schemat operacyjny obwodu w programie Simulink. Przeprowadzono analizę pracy ciągłej prostownika oraz wykonano bilanse mocy czynnej oraz biernej.*

**Słowa kluczowe:** *odbiornik nieliniowy, prostownik mostkowy, praca ciągła, modelowanie*

### 1. WSTĘP

---

Prostowniki są jednym z najczęściej spotykanych typów obciążenia nieliniowego sieci zasilającej. Są to głównie prostowniki dwupołkowe mostkowe. Podstawowym trybem, znanym z literatury [1, 2] ich pracy jest praca przerywana. Występuje

---

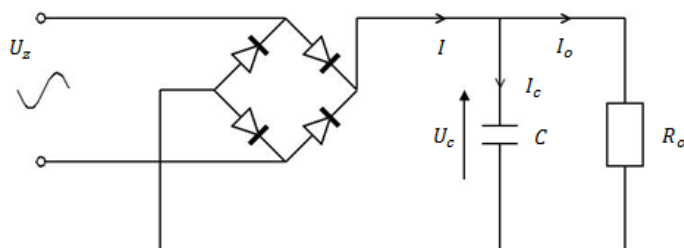
**prof. dr hab. inż. Mirosław WCIŚLIK, mgr inż. Paweł STRZĄBAŁA**  
e-mail: [m.wcislik; pstrzabala]@tu.kielce.pl

Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

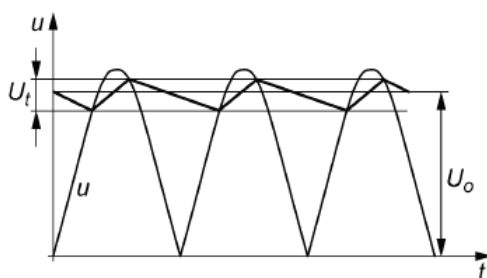
PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 272, 2016

ona, gdy kondensator filtrujący wyższe harmoniczne jest ładowany bezpośrednio przez prostownik i rozładowywany przez rezystor obciążenia. Prostownik dwupołkowy wytwarza wartość bezwzględną napięcia i doładowuje kondensator, gdy napięcie zasilania jest większe od napięcia kondensatora i podwojonego napięcia przewodzenia diod mostka prostowniczego. Gdy rozważa się jeden odbiornik z prostownikiem mostkowym to można pominąć interakcje tego obciążenia z systemem zasilania. Jednak, gdy włączymy kilkadziesiąt odbiorników takich jak lampy LED lub komputery PC z zasilaczami bez korekcji współczynnika mocy te interakcje mogą prowadzić do odkształcenia napięć zasilania w lokalnej sieci. Zjawisko to zależy od „sztywności” sieci czyli zastępczej impedancji wyjściowej źródła zasilania.

W dostępnej literaturze autorzy najczęściej koncentrują się głównie na analizie napięć wyjściowych z prostownika. Prostowniki mostkowe zasilane są najczęściej bezpośrednio z systemu zasilania lub przez dodatkowy transformator [2]. Napięcie wyjściowe prostownika powinno mieć jak najmniejszą amplitudę tętnień, dlatego na wyjściu układu stosowane są dolnoprzepustowe filtry prostownicze. W układach prostowniczych małej mocy, zastosowanie znajdują zazwyczaj filtry pojemnościowe, realizowane przy użyciu równoległego kondensatora do rezystancji obciążenia – rysunek 1. Podstawowymi wielkościami wyjściowymi układu prostującego są wartość średnia napięcia wyjściowego oraz napięcie tętnień. Wielkości te przedstawione zostały na rysunku 2.



**Rys. 1. Schemat dwupołkowego prostownika mostkowego z filtrem pojemnościowym.**  $U_z$  – napięcie zasilania,  $U_c$  – napięcie wyjściowe,  $R_o$  – rezystancja obciążenia,  $U_c$  – napięcie wyjściowe,  $I_c$ ,  $I_o$  – odpowiednio prąd kondensatora i obciążeniu,  $I$  – prąd wyjściowy za prostownikiem [2]



**Rys. 2. Przebiegi napięć w prostowniku dwupołkowym z filtrem pojemnościowym.**  $U$  – napięcie wyjściowe przed filtracją,  $U_o$  – średnia wartość napięcia wyjściowego,  $U_t$  – napięcie tętnień [2]

Napięcie wyjściowe  $U_o$  osiąga wartość stałą z określoną dokładnością, którą opisuje współczynnik tętnień. Współczynnik ten jest stosunkiem wartości skutecznej składowych zmiennych przebiegu do wartości składowej stałej. Dla obciążenia rezystancyjnego wyrażany jest następująco [2]:

$$k_t = \frac{I_{sk}}{I_o} = \frac{U_{sk}}{U_o} \quad (1)$$

gdzie:

$I_{sk}, U_{sk}$  – wartości skuteczne składowej zmiennej prądu i napięcia obciążenia,  
 $I_o, U_o$  – wartości średnie prądu i napięcia obciążenia.

Amplituda napięcia tętnień  $U_t$  wyznaczana jest z zależności [4]:

$$U_t = \frac{U_o}{fCR_o} \quad (2)$$

gdzie  $f$  oznacza częstotliwość tętnień po prostowniku.

Wartość współczynnika tętnień w prostowniku dwupołówkowym z filtrem pojemnościowym wyznaczana jest przy założeniu, że przebieg napięcia wyjściowego ma w przybliżeniu kształt trójkątny. Wartość skuteczna napięcia  $U_{sk}$  takiego przebiegu jest opisana zależnością [2]:

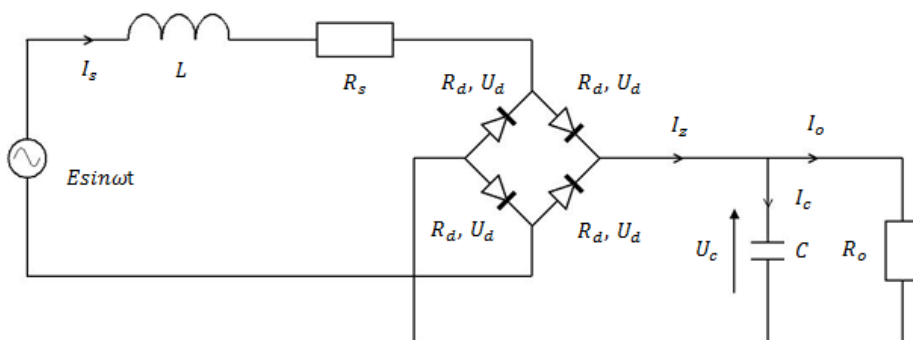
$$U_{sk} = \frac{U_t}{2\sqrt{3}} \quad (3)$$

W powyższym opisie matematycznym nie uwzględniono spadku napięcia i rezystancji diod mostka. Nic też nie wspomniano o impedancji sieci zasilającej czyli rozważany jest prostownik o sprawności 100%. Dla właściwej oceny oddziaływania należy rozważać system zasilania jako idealne źródło napięciowe, ale zasilające prostownik mostkowy przez szeregowo połączoną indukcyjność i rezystancję. Dla takiego obwodu, dla napięć wyjściowych znacznie mniejszych od amplitudy napięcia zasilania można się spodziewać pracy ciągłej prostownika. W [1] i [2] nie znaleziono rozważań takiego przypadku. Znaleziono tylko opis pracy przerywanej.

Powstaje pytanie: Jak będzie widziany prostownik mostkowy wraz z indukcyjnością z zacisków źródła zasilającego? Z [3] wynika, że obciążenie nieliniowe powoduje wzrost indukcyjności widzianej z tych zacisków, obniża współczynnik mocy oraz pogarsza efektywność energetyczną. Aby te wielkości zbadać konieczne jest opracowanie modelu obwodu zawierającego prostownik mostkowy obciążony pojemnością i rezystancją obciążenia, zasilany ze źródła napięciowego poprzez indukcyjność, modelującą impedancję zasilania.

## 2. ANALIZA OBWODU Z PROSTOWNIKIEM MOSTKOWYM I INDUKCYJNOŚCIĄ

Schemat analizowanego obwodu został przedstawiony na rysunku 3. Obwód zawiera dwu-połówkowy prostownik mostkowy obciążony kondensatorem  $C$  i rezystancją obciążenia  $R_o$ . Prostownik zasilany jest napięciem sinusoidalnym o pulsacji  $\omega$ , poprzez szeregowo połączoną indukcyjność  $L$  i rezystancję  $R_s$ , które modelują szeregową impedancję zastępczą m.in. systemu zasilania.



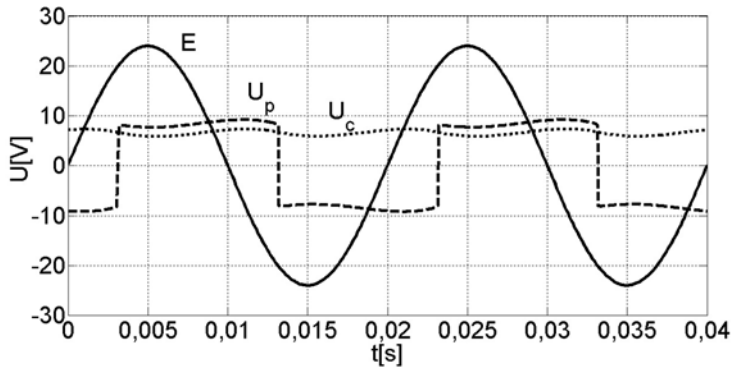
Rys. 3. Schemat analizowanego obwodu dla pracy ciągłej prostownika mostkowego

Obwód z prostownikiem mostkowym może pracować w dwu trybach: przerywanym i ciągłym. W trybie przerywanym prąd przez pewne części okresu jest równy zero. W trybie ciągłym natomiast występuje tylko „punktowe” przejście krzywej prądu przez oś odciętych. Obwód pracujący w trybie przerywanym jest rozważany w pozycji [1]. W dalszej części tej pracy analizowany jest przypadek pracy ciągłej prostownika.

### 2.1. Modelowanie obwodu w programie PSpice

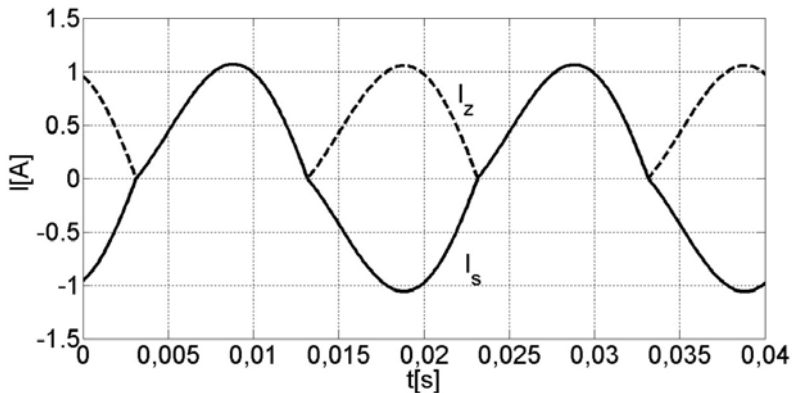
Na podstawie wstępnych analiz rozważanego obwodu przeprowadzonych w programie PSpice otrzymano przebiegi prądów i napięć charakterystyczne dla pracy w trybie ciągłym i przerywanym. Symulację takiego obwodu wykonano dla amplitudy napięcia zasilania  $E = 24$  V o pulsacji  $\omega = 314$  rad/s, indukcyjności  $L = 64$  mH, rezystancji  $R_s = 0,1$   $\Omega$ , napięcia przewodzenia diody  $U_d = 0,7$  V, rezystancji przewodzenia diody  $R_d = 0,04$   $\Omega$ , rezystancji obciążenia  $R_o = 10$   $\Omega$  i pojemności  $C = 1$  mF. Przebiegi prądów i napięć w obwodzie przedstawiają rysunki 4 i 5. Przebiegi te są charakterystyczne dla pracy ciągłej prostownika. Napięcie wyjściowe  $U_c$  jest istotnie mniejsze od amplitudy napięcia zasilania. Prąd  $I_s$  ma przeliczalną liczbę przejść przez zero. Wartość średnia napięcia wyjściowego jest równa 6,57 V, zaś wahania tego napięcia o częstotliwości

100 Hz wynoszą ok. 1,5 V. Te wielkości są ważnym parametrem wyjściowym układu prostownika. Graniczne warunki tej pracy czyli takie przy których prostownik przechodzi w tryb pracy przerywanej wynikają z dołączonego obciążenia prostownika.



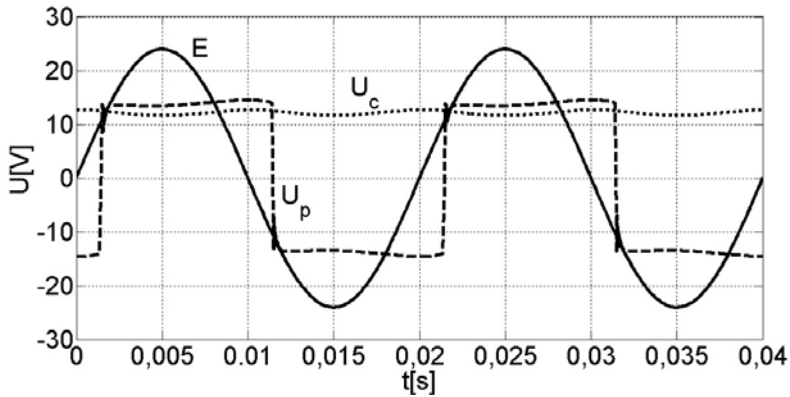
**Rys. 4. Przebiegi napięć:**

$E$  – napięcie źródła zasilania,  $U_p$  – napięcie na prostowniku widziane z zacisków źródła zasilania,  $U_c$  – napięcie wyjściowe



**Rys. 5. Przebiegi prądów  $I_s$  i  $I_z$**

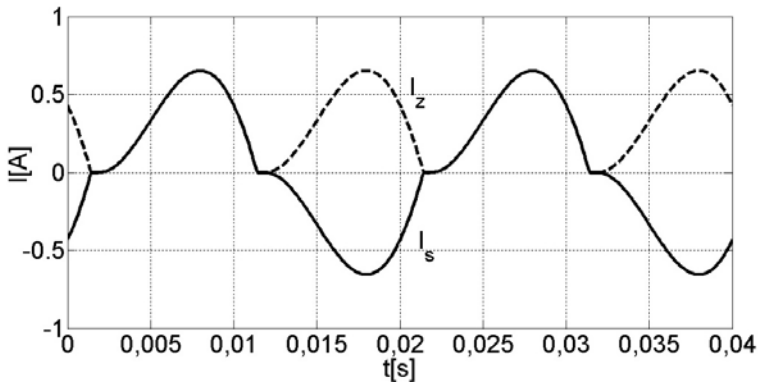
Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono przebiegi napięcia na mostku prostowniczym oraz prądu wejściowego  $I_s$  i wyjściowego  $I_z$  dla pracy przerywanej. Przebiegi te otrzymano dla rezystancji obciążenia  $R_o = 35 \Omega$ , natomiast pozostałe parametry przyjęto tak jak dla trybu pracy ciągłej prostownika.



**Rys. 6. Przebiegi napięć:**

$E$  – napięcie źródła zasilania,  $U_p$  – napięcie na prostowniku widziane z zacisków źródła zasilania,  $U_c$  – napięcie wyjściowe

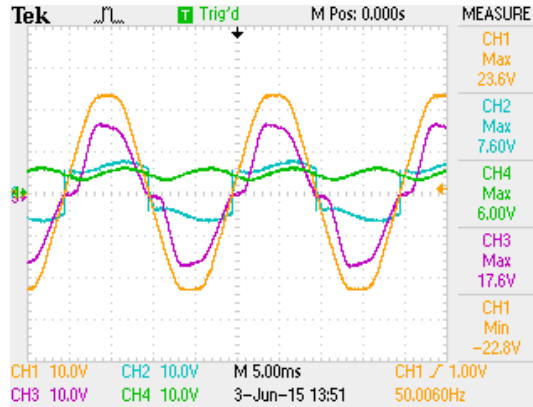
Na przebiegach tych można wyodrębnić przedziały czasu, w których wartość prądu jest równa zero. Wahania  $U_c$  napięcia wyjściowego  $U_c$  wynoszą ok. 1 V, natomiast wartość średnia ma wartość 12,37 V. Czyli dla zwiększonej rezystancji obciążenia  $R_o$  średnia wartość napięcia wyjściowego wzrasta, natomiast wahania zmniejszają się.



**Rys. 7. Przebiegi prądów  $I_s$  i  $I_z$**

## 2.2. Przykładowe przebiegi w obwodzie rzeczywistym

Wyniki wstępnych pomiarów wykonanych na modelu rzeczywistym układu prostownika zasilanym przez dodatkową indukcyjność przedstawia rysunek 8. Pomiar wykonano dla amplitudy napięcia zasilania  $E = 24$  V o pulsacji  $\omega = 314$  rad/s, induk-



**Rys. 8. Przebiegi napięć na prostowniku i prądu otrzymane dla modelu rzeczywistego.** CH1 – napięcie zasilania  $E$ , CH2 – napięcie na prostowniku  $U_p$  widziane z zacisków źródła zasilania, CH3 – prąd  $I_s$ , CH4 – napięcie wyjściowe  $U_c$

cyjności  $L = 18,2$  mH, rezystancji  $R_s = 11 \Omega$ , napięcia przewodzenia diody  $U_d = 0,8$  V, rezystancji przewodzenia diody  $R_d = 0,04 \Omega$ , rezystancji obciążenia  $R_o = 5 \Omega$  i pojemności  $C = 1$  mF.

Otrzymane przebiegi napięć i prądów są charakterystyczne dla pracy przerywanej prostownika. Prąd  $I_s$  przyjmuje w określonych przedziałach czasu wartość równą zero. Pomiary wykonano przy zwiększonej rezystancji  $R_s$ , w porównaniu do symulacji komputerowej. Napięcie na prostowniku  $U_p$  mierzone na kanale CH2 jest proporcjonalne do funkcji signum prądu  $I_s$ , natomiast współczynnikiem proporcjonalności jest suma napięcia  $U_c$  oraz spadków napięcia na dwu przewodzących diodach.

### 2.3. Model matematyczny obwodu

Na podstawie analizy przebiegów prądów i napięć w obwodzie z rysunku 3 modelowanego z wykorzystaniem programu PSpice opracowano model prostownika dla prądu przemiennego, wykorzystujący funkcję signum. Dla pracy ciągłej prostownika mostkowego rozważany obwód można opisać równaniami:

$$L \frac{dI_s}{dt} = E \cdot \sin(\omega t) - I_s \cdot (R_s + 2R_d) - (2U_d + U_c) \cdot \text{sign}(I_s) \quad (4)$$

$$C \frac{dU_c}{dt} = |I_s| - \frac{1}{R_o} \cdot U_c \quad (5)$$

gdzie  $I_s$  oznacza chwilową wartość prądu płynącą przez układ prostowniczy, indukcyjność  $L$  i rezystancję  $R_s$  układu zasilania,  $R_d$  – rezystancja szeregowo diody w stanie przewodzenia.

Prostownik mostkowy dla źródła zasilania widziany jest jako obciążenie nieliniowe, którego napięcie jest proporcjonalne do funkcji signum prądu  $I_s$ , przy czym współczynnik proporcjonalności jest napięciem, które jest sumą napięcia na pojemności  $C$  i spadków napięcia na dwu przewodzących diodach. Z prostownika mostkowego wychodzi wartość bezwzględna prądu wejściowego prostownika, filtrowana na równoległe połączone: kondensatorze  $C$  i rezystancji obciążenia  $R_o$ .

W celu uproszczenia analizy zastosowano skalowanie czasu oraz zmienne odniesienia:

$$\tau = \omega t; \quad X = \omega L; \quad I_m = \frac{E}{X}; \quad Y = \omega C \quad (6)$$

Po wykorzystaniu zmiennych bezwymiarowych:

$$i_s = \frac{I_s}{I_m}; \quad u_d = \frac{U_d}{E}; \quad u_c = \frac{U_c}{E} \quad (7)$$

$$r_z = \frac{R_s + 2R_d}{\omega L}; \quad r_o = \frac{R_o}{\omega L}; \quad y = XY = \omega^2 LC; \quad (8)$$

równania (4 i 5) można zapisać w następującej postaci:

$$\frac{di_s}{d\tau} = \sin \tau - i_s \cdot r_z - \text{sign}(i_s) \cdot (2u_d + u_c) \quad (9)$$

$$\frac{du_c}{d\tau} = \frac{1}{y \cdot r_o} (|i_s| \cdot r_o - u_c) \quad (10)$$

W ten sposób model ma o trzy parametry mniej. Jego charakterystyki łatwo odnieść dla innych wartości wejściowych.

## 2.4. Model w Simulinku

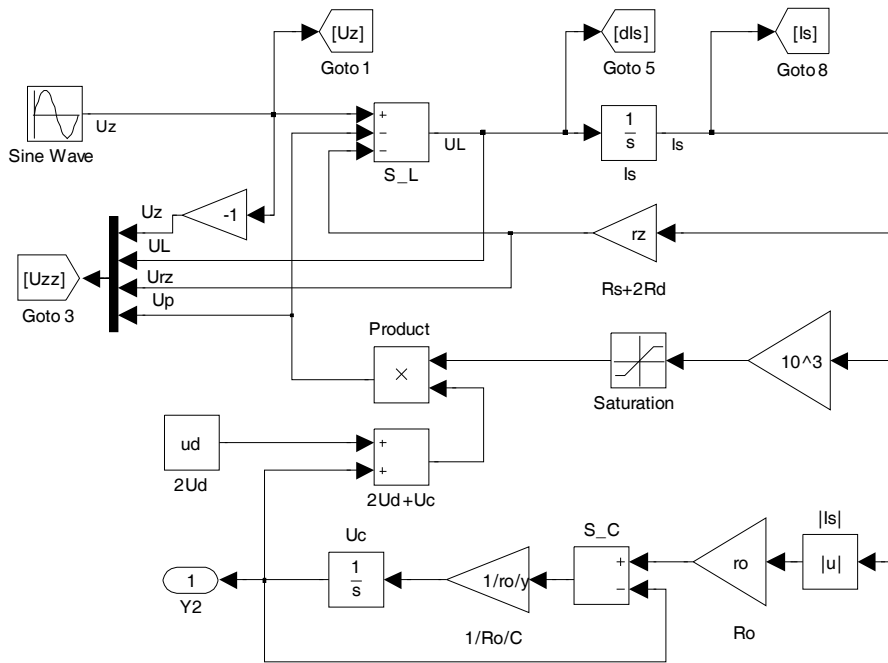
Rysunek 9 przedstawia schemat operacyjny analizowanego obwodu utworzony w programie Simulink na podstawie równań 9 i 10.

Funkcje signum zrealizowano wzmacniając sygnał tysiąc razy, a następnie zastosowano funkcje nasycenia. Portami wyjściowymi natomiast wyprowadzono wielkości napięć i prądów, które wykorzystano w analizie parametrów wyjściowych prostownika oraz do wyznaczania mocy czynnej i biernej poszczególnych elementów obwodu.

Aby sprawdzić zmiany napięcia  $U_c$  oraz wahania tego napięcia w zależności od zmian obciążenia pojemnościowego i rezystancyjnego zorganizowano oraz przeprowadzono eksperyment symulacyjny w systemie MATLAB z wykorzystaniem schematu

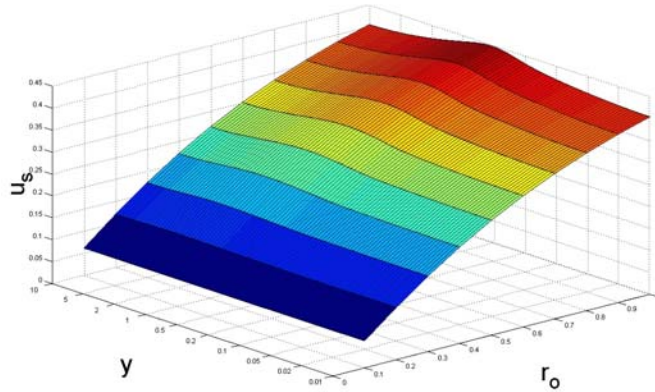


operacyjnego z rysunku 9. Eksperyment oraz analizę otrzymanych wyników wykonano z wykorzystaniem zmiennych bezwymiarowych opisanych zależnościami 7 i 8. Otrzymane wyniki symulacji uzyskano dla zmiennych wartości  $r_o$  i  $y$  oraz  $u_d = 0,06$  i  $r_z = 0,1$ .

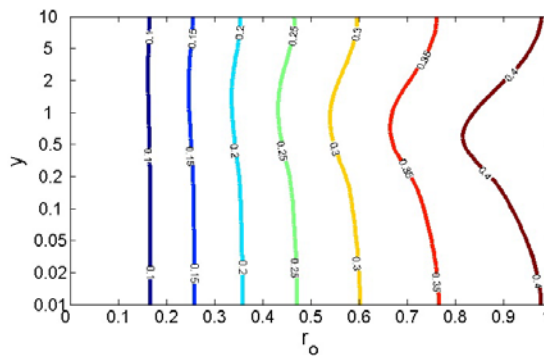


Rys. 9. Schemat operacyjny obwodu utworzony w programie Simulink

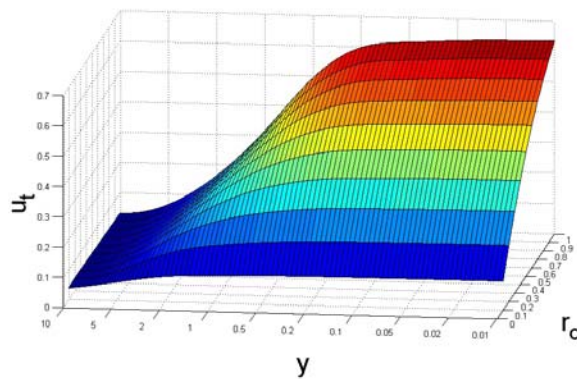
Rysunek 10 prezentuje zależność bezwymiarowej wartości średniej napięcia wyjściowego  $u_s$  jako funkcję parametrów  $r_o$  i  $y$ . Dla małych wartości  $r_o$  napięcie  $u_s$  jest mało wrażliwe na zmiany parametru  $y$ . Wartość  $u_s$  zależy głównie od stosunku obciążenia  $R_o$  do iloczynu pulsacji  $\omega$  i indukcyjności  $L$  systemu zasilania. Dla rosnących wartości  $r_o$  napięcie  $u_s$  wykazuje coraz większą wrażliwość na parametr  $y$ . W określonym zakresie zmian  $y$  napięcie to osiąga maksimum, którego wartość rośnie wraz ze wzrostem  $r_o$ . Jak wynika z rysunku 11 maksimum  $u_s$  jest funkcją wartości  $y$ . Dla małych wartości  $r_o$ , wartość średnia  $u_s$  jest niezależna od  $y$ . Dla wartości  $r_o$  większych od 0,3, zależność  $u_s(y)$  jest nieliniowa i ma maksimum. Dla przypadku, gdy stosunek rezystancji obciążenia  $R_o$  do iloczynu pulsacji  $\omega$  i indukcyjności  $L$  systemu zasilania przyjmuje wartości większe od 1, to można spodziewać się trybu pracy przerywanej prostownika.



Rys. 10. Trójwymiarowy wykres wartości średniej napięcia wyjściowego  $u_s$  w funkcji parametrów  $r_o$  i  $y$



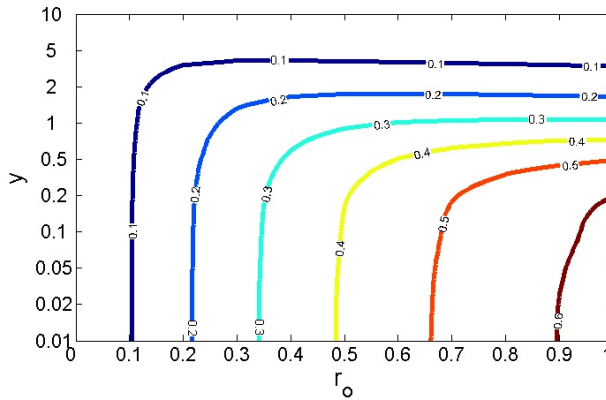
Rys. 11. Wykres konturowy zmian wartości średniej napięcia wyjściowego  $u_s$  w zależności od wartości parametrów  $r_o$  i  $y$



Rys. 12. Trójwymiarowy wykres amplitudy tętnień  $u_t$  napięcia wyjściowego w funkcji parametrów  $r_o$  i  $y$

Wykresy amplitudy tętnień  $u_t$  napięcia wyjściowego w funkcji parametrów  $r_o$  i  $y$  przedstawiono na rysunkach 12 i 13. Napięcie  $u_t$  wykazuje małą wrażliwość dla początkowych zmian wartości  $y$ , natomiast istotnie rośnie na skutek zmian parametru  $r_o$ .

Dla rosnących wartości  $y$  amplituda wahań  $u_t$  ustala się na stałym poziomie dla coraz większego zakresu zmienności parametru  $r_o$ , co wynika z wykresów konturowych przedstawionych na rysunku 13.



Rys. 13. Wykres konturowy amplitudy tętnień  $u_t$  w zależności od zmiennych parametrów  $r_o$  i  $y$

Wahania napięcia oraz wartość średnia są podstawowym parametrem wyjściowym prostownika, wartości minimalna oraz maksymalna napięcia wyjściowego są istotnymi parametrami przy doborze stabilizatora napięcia. Podstawową miarą tych wielkości jest współczynnik tętnień, który opisano zależnością:

$$k_t = \frac{u_{\max} - u_{\min}}{2u_s} \tag{11}$$

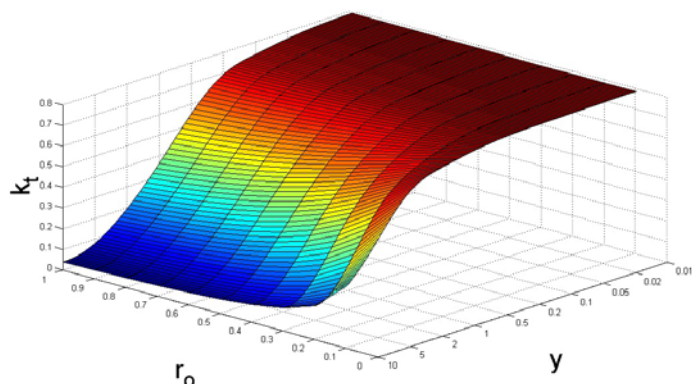
gdzie:

$u_s$  – wartość średnia napięcia wyjściowego.

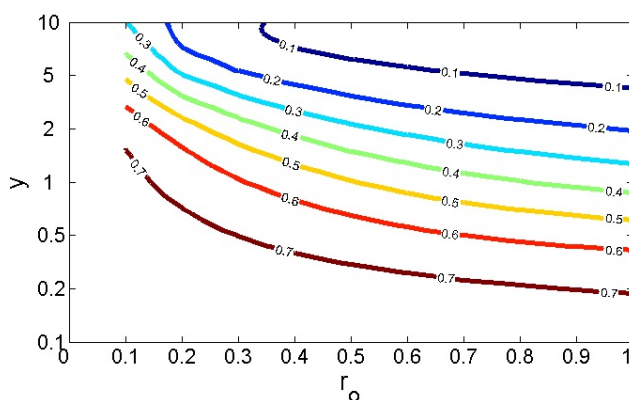
$u_{\max}$ ,  $u_{\min}$  – odpowiednio minimalna i maksymalna wartość wahań napięcia wyjściowego.

Wartość współczynnika tętnień  $k_t$  w funkcji parametrów  $r_o$  i  $y$  przedstawiono na rysunkach 14 i 15.

W przypadku, gdy  $r_o$  i  $y$  osiągają coraz większe wartości współczynnik  $k_t$  maleje. Zależność tą prezentują wykresy konturowe z rysunku 15. Wykresy te przedstawiają obszary zmienności parametrów  $r_o$  i  $y$  dla których współczynnik tętnień przyjmuje wartości maksymalne oraz minimalne.



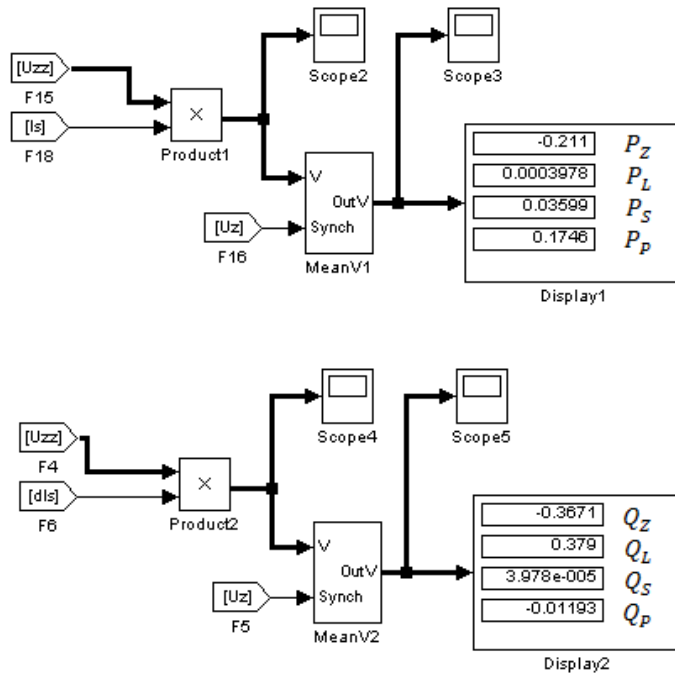
Rys. 14. Trójwymiarowy wykres przedstawiający współczynnik tętnień  $k_t$  w funkcji parametrów  $r_o$  i  $y$



Rys. 15. Wykres konturowy przedstawiający współczynnik tętnień  $k_t$  w zależności od zmiennych parametrów  $r_o$  i  $y$

## 2.5. Bilanse mocy czynnej i biernej

W celu wyznaczenia chwilowych wartości mocy czynnej i biernej na poszczególnych elementach rozważanego obwodu z rysunku 3 zastosowano układ pomiarowy zaproponowany w pozycji [5]. Schemat układu pomiarowego utworzonego w programie Simulink przedstawiono na rysunku 16. W modelu z rysunku 9 sformułowano wektory spadków napięć na poszczególnych elementach obwodu. W wyniku mnożenia tych wektorów przez prąd  $I_s$  oraz jego pochodną otrzymuje się chwilowe wartości mocy czynnych i biernych, które kolejno uśredniane są na filtrach cyfrowych MeanV1 i MeanV2 za okres i wyświetlane na wyświetlaczach Display1 i Display2. Przykładowe moce widziane na wyświetlaczach wyznaczono dla:  $r_o = 0,5$ ,  $r_z = 0,1$ ,  $u_d = 0,06$  oraz  $y = 6$ .



**Rys. 16. Schemat operacyjny układu pomiarowego mocy czynnej i mocy biernej dla modelu z rysunku 9. Gdzie:  $P_Z$ ,  $Q_Z$  – odpowiednio całkowita moc czynna i bierna,  $P_L$ ,  $Q_L$  – odpowiednio moc czynna i bierna indukcyjności  $L$ ,  $P_S$ ,  $Q_S$  – odpowiednio moc czynna i bierna rezystancji  $R_Z$ ,  $P_P$ ,  $Q_P$  – odpowiednio moc czynna i bierna pobierana przez układ prostowniczy**

Na przedstawionych wyświetlaczach łatwo można sprawdzić, że bilans mocy jest spełniony z dokładnością ok. 0,2%. Interesujące zjawisko można zaobserwować na wyświetlaczu mocy biernej. Prostownik ma moc bierną pojemnościową ujemną, tak jak źródło zasilania.

### 3. WNIOSKI

Prezentowany model układu zasilacza jest obciążeniem nieliniowym dla źródła zasilania, które można regulować za pomocą rezystancji obciążenia. Może on stanowić dobry przykład odbiornika nieliniowego do badań oddziaływań obciążenia nieliniowego na sieć zasilania i inne odbiorniki przyłączone do tej sieci. Zaproponowany opis matematyczny obwodu umożliwi analizę pracy ciągłej prostownika mostkowego oraz określenie warunków granicznych takiej pracy. Wyniki otrzymane w symulacji komputerowej dają podstawę do dokładnej analizy takiego obwodu z uwzględnieniem wpływu indukcyjności systemu zasilania na parametry pracy układu prostownika, takie jak wartość średnia napięcia wyjściowego czy amplituda wahań tego napięcia.

## LITERATURA

1. Mohan N., Undeland T. M., Robbins W. P.: Power Electronics: Converters, Applications, and Design. John Wiley & Sons, 2003.
2. Kaźmierkowski M. P., Matysik J. T.: Wprowadzenie do elektroniki i energoelektroniki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.
3. Wciślik M.: Bilanse mocy w obwodzie prądu przemiennego z odbiornikiem nieliniowym. Przegląd Elektrotechniczny, nr 2, s. 5-8, 2014.
4. Carr J. J.: Zasilacze urządzeń elektronicznych: Przewodnik dla początkujących. Wydawnictwo BTC, Warszawa, 2004.
5. Wciślik M.: Bilanse mocy w obwodzie prądu przemiennego z obciążeniem nieliniowym i kompensacją mocy biernej. Materiały z IX Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo – Technicznej PES – 9, s. 153 – 156, Kościelisko, 2014.

Przyjęto do druku dnia 14.01.2016 r.

## ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF A POWER INDUCTANCE ON THE OPERATION OF A BRIDGE RECTIFIER

Mirosław WCIŚLIK, Paweł STRZĄBAŁA

**ABSTRACT** *A full-wave bridge rectifier is one of the most often used non-linear load. A main area of its using are single-phase power suppliers which are a part of the most of electronic devices. The power consumption of these devices is not large. However a large number of them that work simultaneously in the power system may cause that the total effect of voltage disturbances in the power system is significant. For the purpose of investigation of the propagations of higher harmonics and the reactive power phenomena in the system, the model of the circuit with the full-wave rectifier bridge with an additional inductance connected in-series supplied from AC voltage source was worked out. In the first step, the circuit was modeled in PSpice system. The result were compared with the waveforms of the real circuit. The non-linear model of the bridge rectifier was proposed. The models of circuit and methods of their analysis were presented. The mathematical model of the analysed circuit was worked out. Methodology of circuit equations forming with the use of dimensionless variables was shown. On the basis of the mathematical model the operational diagram in Simulink of the circuit was created. The operation analysis of the continuous work of the rectifier was carried out. The balances of active and reactive power were performed.*

**Keywords:** *nonlinear load, bridge rectifier, continuous operation, modeling*