Seria: ELEKTRYKA z.130

Nr kol.1184

Bogusław GRZESIK

STRUKTURA KOMUTACYJNA PRZEKSZTAŁTNIKA ENERGOELEKTRONICZNEGO Z TYRYSTORAMI DOSKONAŁYMI

Streszczenie. Przedstawia się strukturę komutacyjną przekształtnika energoelektronicznego z tyrystorami doskonałymi. Modelem tyrystora jest rezystancja kawałkami liniowa przy u,i>0 niejednoznaczna; tyrystor jest obiektem trójstanowym. Analizuje się 3¹¹ schematów zastępczych hipotetycznych. Ustala się zbiór schematów zastępczych istotnych. Wykorzystuje się teorię nierówności liniowych.

COMMUTATION STRUCTURE IN POWER ELECTRONIC CONVERTER WITH PERFECT THYRISTORS

Summary. Commutation structure in power electronic converter with perfect thyristors is presented in the paper. Piecewise-linear resistance with two values for u, i>O is a model of the thyristor; it has three states. 3^{n1} hypothetical equivalent circuits is analyzed. The set of decisive equivalent circuits is then selected. The theory of linear homogeneous inequalities is a tool used in this work.

КОММУТАЦИОННАЯ СТРУКТУРА СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЪЯ НА ПЕРФЕКТНЫХ ТИРИСТОРАХ

Резюме. Представлена коммутационнуая структура силового преобразователя на перфектных тиристорах. Модель тиристора является линейной по участкам резистанцией, которая принимает два значения при u, i>0; тиристор может находиться в трех состояниях. Анализируется множество 3ⁿ гипотетических эквивалентных схем. Определяется множество существенных эквивалентных схем. Для анализа задачи исползуется теория линейных однородных неравенств.

1. WSTEP

Teorię procesu komutacji w przekształtnikach z diodami doskonałymi przedstawiono w pracach [G2, G3, G4, G5]. Model tyrystora włączono w pracach [G6, G7]. Modelem tym jest ponożej opisany tyrystor doskonały.

Proces komutacji jest całkowicie zdefiniowany, gdy znana jest struktura komutacji. Struktura komutacji jest to zbiór 3^{nT} schematów zastępczych hipotetycznych, zbiór schematów zastępczych istotnych wraz z ich wzajemnym powiązaniem; nT jest liczbą tyrystorów.

W zbiorze schematów zastępczych istotnych wyrożnia się podzbiory schematów zastępczych osiągalnych. Każdemu konkretnemu wymuszeniu odpowiada jednoznacznie pewien zbiór schematów zastępczych osiągalnych powiązanych ze sobą tak, jak określone jest to w zbiorze schematów zastępczych istotnych.

Do opisu i algorytmu określania struktury komutacyjnej przekształtnika wykorzystano algebrę liniową [J1], geometrię analityczną [B1]. Przekształtnik energoelektroniczny-obiekt nieliniowy zdekomponowano do zbioru schematów zastępczych-obiektów liniowych.

Struktura komutacji, jako model umożliwia najogólniejsze z możliwych badanie procesu komutacyjnego oraz procesu przekształcania w przekształtniku z tyrystorami doskonałymi. Model ten może być stosowany do analizy przybliżonej przekształtników z tyrystorami idealnymi, jeżeli w tyrystorze doskonałym dobierze się odpowiednio jego rezystancję.

Opisana struktura komutacji może być wykorzystana do badania dynamiki procesu przekształcania, który opisany jest równaniami różniczkowymi o nieciągłej prawej stronie. Istnieje możliwość wykorzystania przedstawionych wyników do syntezy przekształtników energoelektronicznych oraz do badań nad energetycznym ujęciem procesu przekształcania.

2. MODEL TYRYSTORA: TYRYSTOR DOSKONALY

Model-tyrystor doskonały jest to obiekt o trzech końcówkach: A – anoda, K – katoda, G –bramka. Tyrystor ten widziany z zacisków AK jest dwójnikiem rezystancyjnym, którego rezystancja może przyjmować trzy wartości:

 $R = \begin{cases} R_{R} & - \text{ w stanie zaworowym} & (sT=sR), -u \ge 0, \\ R_{R} & - \text{ w stanie przewodzenia} & (sT=sF), & i \ge 0, \\ R_{D} & - \text{ w stanie blokowania} & (sT=sD) & u \ge 0, \end{cases}$ (2.1)

gdzie sT jest stanem tyrystora.

Wyróżnia się stan neutralny n - u=i=0.

Rezystancja pomiędzy zaciskami GK jest równa R =∞, tzn. tyrystor jest sterowany napięciem u_{ck}=g∈{0, 1}}. Przy g=1 bramka tyrystora GK jest wysterowana. .Stan tyrystora jest określony następującą funkcją:

sF:= ((g>0)and(u>0))or((iH>0)and(sF=1)); sD:= not(sF)and(u>0); sR:= not(sF)and(u<0)</pre>

gdzie iH jest określone następująco:

if(iH=0)and(i>0) then iH:=1; if(iH=1)and(i<0) then iH:=0</pre>

(2.2)

3. NIERÓWNOŚCI MODELU PRZEKSZTAŁTNIKA. ROZWIĄZANIE PODSTAWOWE

Określenie struktury komutacji przekształtnika energoelektronicznego złożonego z tyrystorów doskonałych, rezystancji, pojemności, indukcyjności oraz źródeł napięcia i prądu wymaga zastąpienia pojemności i indukcyjności odpowiednio źródłami napięcia i prądu.

Zakłada się, że tyrystor może pozostawać w trzech stanach. Oznacza to, że liczba **schematów zastępczych hipotetycznych** wynosi 3^{nT}, gdzie nT jest liczbą tyrystorów. Każdy z hipotetycznych schematów zastępczych opisany jest odpowiednim układem nierówności [G2..G5], [K1]:

 ${}^{a}_{11}{}^{x}_{1} {}^{+a}_{12}{}^{x}_{2}{}^{+} {}^{+a}_{1n}{}^{s}_{n}{}^{s}_{n}{}^{s}^{=-u_{1}} {}^{\geq 0}$ ${}^{a}_{21}{}^{x}_{1} {}^{+a}_{22}{}^{x}_{2}{}^{+} {}^{+a}_{2n}{}^{s}_{n}{}^{s}{}^{=-u_{2}} {}^{\geq 0}$ ${}^{a}_{nD-11} {}^{x}_{1} {}^{+a}_{nD-12}{}^{x}_{2}{}^{+} {}^{+a}_{n}{}^{nD-1n}{}^{s}_{n}{}^{s}{}^{s}{}^{i}_{n}{}^{D-1} {}^{\geq 0}$ ${}^{a}_{nD} {}^{x}_{1} {}^{+a}_{n}{}^{n}{}^{2}_{2}{}^{*} {}^{+} {}^{+a}{}^{n}{}^{n}{}^{n}{}^{s}{}^{n}{}^{s}{}^{s}{}^{i}_{n}{}^{n}{}^{d}{}^{s}{}^{2}{}^{0}$ (3.1)

Każdemu ze schematów zastępczych hipotetycznych odpowiada w R^{nS} stożek [G1].
Każdy stożek w R^{nS}, odpowiadający swojemu schematowi zastępczemu jest jednoznacznie określony poprzez rozwiązanie podstawowe układu nierówności (3.1) [G4]. Rozwiązanie podstawowe układu nierówności (3.1) określa również wymiar danego stożka.

Rozwiązaniem podstawowym układu nierówności (3.1) jest zbiór wektorów $X_1, X_2, \dots, X_n, \dots X_r$ (3.2)

z których każdy jest określony, jako $X_1 = (x_1, x_2, \dots, x_{nS})$, przy czym każde rozwiązanie układu (3.1) może być przedstawione, jako kombinacja liniowa wektorów rozwiązania podstawowego:

X=k₁X₁+k₂X₂+..+k₁X₁+..+k_rX_r (3.3) W zależności (3.3) k≥0 jest liczbą rzeczywistą. Liczba r jest zależna od stosunku nD/nS. Przy nD<nS liczba ta jest równa r=nS+1. Przy nD=nS r=nS. W przypadku gdy nD>nS liczba r jest wyznaczona w taki sposób aby z pośród wektorów rozwiązania podstawowego można było dobrać dla każdej z nierówności układu (3.1) nS+1 wektorów takich, z których nS spełnia daną nierówność równościowo. Pozostały nS+1-szy spełnia tę nierówność wiekszościowo.

4. SCHEMATY ZASTĘPCZE ISTOTNE/NIEISTOTNE

Zbiór schematów zastępczych istotnych jest podzbiorem zbioru schematów zastępczych hipotetycznych.

Każdemu ze schematów zastępczych hipotetycznych odpowiada pewien stożek w R^{NS}. Jeżeli dany stożek ma wymiar mniejszy od nS, to stożek ten jest stożkiem nieistotnym – odpowiadający mu schemat zastępczy jest schematem zastępczym nieistotnym.

Stożki o wymiarze nS są stożkami istotnymi i stożkom tym odpowiadają schematy zastępcze istotne.

Stożki nieistotne można pominąć w strukturze komutacji ponieważ są one identyczne ze ścianami o wymiarze d<nSw stożka o wymiarze nS. Gdy wektor wymuszenia znajduje się w obszarze stożka nieistotnego to tyrystory komutujące przy przejściu pomiędzy sąsiadującymi stożkami o wymiarze nS znajdują się w stanie neutralnym.

Rozwiązanie podstawowe pozwala ponadto określić dla stożka istotnego, które z jego nD nierówności są nierównościami istotnymi. Nierównością istotną jest nierówność należąca do minimalnego podzbioru zbioru nD nierówności wyznaczającego stożek (wypukły) o wymiarze nS.

5. WZAJEMNE POŁOZENIE STOŻKÓW W R^{DS}. NIERUCHOMOŚĆ HIPERPŁASZCZYZN KOMUTACJI

W przypadku przekształtnika energoelektronicznego zawierającego wyłącznie diody doskonałe przestrzeń R^{NS}jest podzielona przez hiperpłaszczyzny (komutacji) o wymiarze nS-1 na pewną liczbę stożków wypukłych wzajemnie zewnętrznych swymi wnętrzami. Wzajemne rozmieszczenie stożków w R^{NS} jest inne dla przekształtnika energoelektronicznego zawierającego wyłącznie tyrystory doskonałe. Nie wszystkie stożki są tu usytuowane wzajemnie zewnętrznie swymi wnętrzami. Części wspólne pewnej liczby podzbiorów stożków istotnych są niepuste i mają wymiar nS. Istnienie takich niepustych części wspólnych wynika z przyjęcia założenia o trójstanowości tyrystora doskonałego.

Załączanie jednego czy też większej liczby tyrystorów stawia wymóg aby stożek odpowiadający stanowi blokowania załączanych tyrystorów oraz stożek odpowiadający stanowi przewodzenia rozważanych tyrystorów miały część wspólną niepustą. Aby ustalić czy taka relacja zachodzi postępuje się tak jak przy ustalaniu rozwiązania podstawowego każdego z układów nierówności [G4]. W tym celu badaniu poddaje się pary zbiorów nierówności. Jeden z nich to ten, w którym tyrystory (wysterowywane i mające przejść do przewodzenia) są w stanie blokowania. Drugi zbiór nierówności odpowiada schematowi w którym rozważane tyrystory znajdują się w stanie przewodzenia. Rozwiązanie podstawowe obydwu układów nierówności daje informację o istnieniu/nieistnieniu rozważanej części wspólnej i o zbiorze nierówności istotnych wyznaczających tę część wspólną. Warunkiem istnienia omawianej części wspónej jest to, aby rząd macierzy układu nierówności złożonego z nierówności obydwu układów był równy co najmniej 1.

Jeżeli dwa stożki mają niepustą część wspólną o wymiarze nS to, przy wymuszeniu takim, które usytuowuje wektor wymuszenia X w części wspólnej danych stożków, możliwe jest (ze względu na właściwości tyrystora) przejście od stożka pierwszego do stożka drugiego. Bezpośrednie przejście w odwrotnym kierunku jest niemożliwe poprzez sterowanie bramką tyrystora (przejście dwukierunkowe możliwe jest np. przy tyrystorze GTO).

Hiperpłaszczyzny komutacji w przekształtniku z diodami doskonałymi są, dla ustalonych w nim wszystkich rezystancji, nieruchome w R^{nS}. Zmiana którejkolwiek rezystancji w przekształtniku powoduje w ogólnym przypadku zmianę położenia wszystkich hiperpłaszczyzn komutacji w R^{nS}.

Przyjęcie założenia o trójstanowości tyrystora (chociaż możliwe jest potraktowanie tyrystora jako przyrządu dwustanowego) powoduje, że hiperpłaszczyzny komutacji dla przekształtnika zawierającego, jako zawory wyłącznie tyrystory doskonałe są nieruchome w R^{NS} w przypadku, gdy tylko wszystkie rezystancje przekształtnika są niezmienne. W przykładzie opisanym poniżej pokazano, jak zmieniają się położenia hiperpłaszczyzn przy zmianie rezystancji tyrystorów.

6. KOMUTACJA W PRZEKSZTATŁTNIKU

Komutację wygodnie jest opisać, podobnie jak w przekształtnikach z diodami doskonałymi, posługując się przestrzenią R^{IIS}, gdzie nS jest liczbą niezależnych źródeł napięcia/prądu. Aby przeanalizować komutację we wszystkich możliwych wariantach należy skonkretyzować wymuszenie przyjmując takie przebiegi napięć i prądów źródeł, aby trajektoria wektora wymuszeń przebiegała przez wszystkie stożki istotne. W przypadku badania komutacji w przekształtniku dynamicznym (z pojemnościami i indukcyjnościami) wygodnie jest w pierwszej fazie analizować komutację zastępując kondensatory i indukcyjności źródłami o odpowienich przebiegach czasowych napięcia/prądu. W drugim etapie przeprowadza się pełną analizę rozwiązując układ równań różniczkowych i algebraicznych.

Różnym wymuszeniom odpowiadają różne zbiory schematów zastępczych osiągalnych.

Także w przekształtnikach z tyrystorami komutacje mogą być jedno oraz wielotyrystorowe. Istnieje możliwość przedstawienia struktury komutacyjnej jako pewien zbiór uporządkowany – daje to możliwość przedstawienia na płaszczyźnie zbioru wszystkich komutacji jedno i wielotyrystorowych, jako przejść pomiędzy zaznaczonymi tam punktami-schematami zastępczymi.

7. PRZYKŁAD: PROSTOWNIK

Prostownik przykładowy m=2 pokazany jest na rys.1. Przyjęto następujące dane tyrystorów : $R_{R} = R_{D} = 10\Omega$, $R_{F} = 1\Omega$. Pozostałe dane przekształtnika to: e1=311°sin(100pi°t), e2=311°sin(100pi°t- ϕ), R=1 Ω .

Tyrystory wyzwalane są z różnymi kątami, symetrycznie i niesymetrycznie przy dwóch różnych wektorch wymuszenia. Przyjęte rezystancje tyrystorów znacznie różnią się od odpowiednich rezystancji tyrystorów-obiektów technicznych. Parametry przykładu dobrano tak, aby możliwe było pokazanie wszystkich charakterystycznych procesów komutacyjnych przekształtnika..

Przeprowadzono analizę struktury komutacji. Liczba źródeł (napięcia) jest równa nS=2. Przekształtnik zawiera dwa tyrystory. Z tego wynika, że liczba schematów zastępczych hipotetycznych jest równa nTT=3^{nT}=3²=9. Przyjmując w w



Rys.1. Schemat prostownika m=2 Fig.1. Scheme of rectifier, m=2

oznaczenia stanów tyrystora schematy te można oznaczyć następująco – 1: RR, 2: RD, 3: RF, 4: DR, 5: DD, 6: DF, 7: FR, 8: FD, 9: FF. Przy przyjętych rezystancjach wszystkie te schematy możliwe są jednocześnie schematami istotnymi. Strukturę przestrzeni R^2 analizowanego przekształtnika pokazano na rys.2 zaznaczając tam stożki odpowiadające poszczególnym schematom zastępczym. Na rys.3 przedstawiono tę samą strukturę stożkową przestrzeni R^2 dodając trzeci wymiar w celu pokazania stożków nie nałożonych na siebie.

Dobór odpowiednich wymuszeń powoduje, że tylko niektóre z 9 stożków istotnych są stożkami osiągalnymi. Na rys.2 wraz ze strukturą stożkową przestrzeni R² zamieszczono dwie trajektorie wymuszenia nie zaznaczając katów



- Rys.2. Struktura stożkowa przestrzeni R² wraz z naniesionymi trajektoriami wymuszenia: w1: e1=E1sin(wt)=-e2, w2: e1=E2sin(wt), e2=-E2cos(wt)
- Fig. 2. Cone structure of R² with trajectories of source voltage: w1: e1=E1sin(wt)=-e2, w2: e1=E2sin(wt), e2=-E2cos(wt)



Rys.3. Struktura stożkowa przestrzeni R^2 (rozwarstwiona); wymuszenie: e1=Esinwt, e2=-Ecoswt; sterowanie: $\alpha_1=30^\circ$, $\alpha_2=116.56^\circ$ Fig.3. Cone structure of R^2 (delaminated); source voltage: e1=Esinwt, e2=-Ecoswt; control: $\alpha_1=30^\circ$, $\alpha_2=116.56^\circ$

wyzwalania tyrystorów. Przy wymuszeniu w1: e1=Elsin ω t=-e2 trajektoria jest odcinkiem prostej a przy przy wymuszeniu w2: e1=E2sin ω t, e2=-E2cos ω t trajektoria jest okręgiem. Trajektorię wymuszenia w2 naniesiono również na rys.3, gdzie tyrystor 1 jest wyzwalany z opóźnieniem α_1 =20°, a tyrystor 2 wyzwalany z opóźnieniem α_2 =116.56°. Przy wymuszeniu 1 stożkami osiągalnymi są stożki 2: RD, 3: RF, 4: DR, 7: FR i jest to niezależne od opóźnienia wywalania. Przy wymuszeniu w2 i sterowaniu takim, jak na rys.3, schematami osiągalnymi są schematy 1: RR, 7: FR, 9: FF, 3: RF. W tym przypadku zbiór schematów osiągalnych przy ustalonym wymuszeniu jest funkcją opóźnienia wyzwalania tyrystoów - np. przy opóźnieniu α_2 =135° stożkiem osiągalnym będzie stożek 8: FD. W celu zobrazowania procesu zachodzącego w omawianym prostowniku przeprowadzono symulację komputerową (Tcad4.11, [S1]). Wyniki jej zamieszczono na rys.4, 5, 6. Na rysunkach tych napiecia są oznaczone następującymi znakami: napięcie e1 - #, napięcie e2 -\$, napięcie tyrystora 1 - *, napięcie tyrystora 2 - &, napięcie wyprostowane - '.

W celu pokazania, jak zmienia się położenie prostych (ogólnie hiperpłaszczyzn) komutacji przy zmianach rezystancji przekształtnika przeanalizowano



- Rys.4. Przebiegi czasowe napięć w przekształtniku z rys.1 przy wymuszeniu 1: e1=311*sin(100pi*t)=-e2 i sterowaniu $\alpha_1 = \alpha_2 = 60^{\circ}$.
- Fig. 4. Waveforms of voltages in converter given in fig.1 for source voltages 1: e1=Esin ω t, e2=-Ecos ω t; and control of α_1 =30°, α_2 =116.56°



- Rys.5. Przebiegi czasowe napięć w przekształtniku z rys.1 przy wymuszeniu 2: $e1=311^{*}sin(100pi^{*}t)$, $e2=311^{*}sin(100pi^{*}t-pi/4)$ i sterowaniu $\alpha_{1}=30^{\circ}$, $\alpha_{2}=135^{\circ}$
- Fig.5. Waveforms of voltages in converter given in fig.1 for source voltages 2: e1=311*sin(100pi*t), e2=311*sin(100pi*t-pi/4) and control $\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 135^\circ$

strukturę komutacyjną prostownika z rys.1 przy założeniu, że rezystancje tyrystorów są bliskie rezystancjom tyrystora idealnego. Wynik tej analizy zamieszczono na rys.7.



- Rys.6. Przebiegi czasowe napięć w przekształtniku z rys.1 przy wymuszeniu 2: $e1=311^{\circ}sin(100pi^{\circ}t), e2=311^{\circ}sin(100pi^{\circ}t-pi/4)$ i sterowaniu $\alpha_1=30^{\circ}, \alpha_2=116.56^{\circ}$
- Fig. 6. Waveforms of voltages in converter given in fig.1 for source voltages 2: $e1=311^{\circ}sin(100pi^{\circ}t)$, $e2=311^{\circ}sin(100pi^{\circ}t-pi/4)$ and control $\alpha_1=30^{\circ}$, $\alpha_2=116.56^{\circ}$



- Rys.7. Struktura stożkowa przestrzeni R⁻ prostownika o schemacie z rys.1 przy tyrystorach o rezystancjach: $R_R=R_D=\infty$, $R_F=0$
- Fig.7. Cone structure of R of the rectifier given in fig.1 for thyristors with resistance of $R_R = R_n = \infty$, $R_T = 0$

Przedstawiona teoria oraz przykład pozwalają na sformułowanie następujących wniosków.

8. WNIOSKI

- Przedstawiona struktura komutacji przekształtnika energoelektronicznego z tyrystorami doskonałymi stanowi najogólniejszy z możliwych opis komutacji w tego typu przekształtniku.
 - 2. Zaprezentowany model komutacji przekształtnika jest opisem różniącym się zasadniczo od dotychczas istniejących opisów komutacji ponieważ ujmuje wszystkie możliwe schematy zastępcze i, co jest najważniejsze, ich wzajemne powiązanie.
 - 3. Do analizy struktury komutacji wykorzystano te same podstawy teoretyczne, które wykorzystano do analizy struktury komutacji przekształtnika z diodami doskonałymi; przez to możliwy staje się opis przekształtnika zawierającego zarówno diody jak i tyrystory doskonałe.
 - 4. Główną różnicą pomiędzy strukturą komutacyjną przestrzeni R^{nS} przekształtnika zawierającego wyłącznie diody doskonałe oraz strukturą komukomutacyjną przestrzeni R^{nS} przekstałtnika zawierającego wyłącznie tyrystory doskonałe jest to, że w pierwszym przypadku nie istnieją dwa stożki istotne, których część wspólna wnętrz byłaby niepusta; w drugim przypadku stożki takie istnieją.
 - 5. Należy podkreślić, że hiperpłaszczyzny komutacji w R^{nS} przy trójstanowym modelu tyrystora są nieruchome jeżeli tylko część rezystancyjna przekształtnika jest niezmienna.
 - 6. Opisany model komutacji umożliwia zdefiniowanie wyzwalania (sterowania) tyrystorów za pomocą odpowiednich hiperpłaszczyzn w R^{nS}.
 - Prezentowany model komutacji zastosowano do analizy przekształtników energoelektronicznych z diodami i tyrystorami doskonałymi opracowując odpowiedni program komputerowy [G5, G6, G8].
 - Tyrystor doskonały przy odpowiednim doborze rezystancji może stanowić dobre przybliżenie tyrystora idealnego, co daje możliwość przybliżonej analizy przekształtników idealnych.

- Istneje możliwość wykorzystania zaprezentowanej teorii do modyfikacji istniejących standardowych programów analizy komputerowej przekształtników energoelektronicznych.
- 10. Ponadto, omówiony model komutacji ma zastosowanie w syntezie przekształtników oraz w analizie dynamiki procesów przekształcania, przy jej opisie za pomocą równań różniczkowych o nieciągłej prawej stronie.

LITERATURA

- [B1] Borsuk K.: Geometria analityczna wielowymiarowa, WNT, Warszawa 1976
- [G1] Gass S.I.: Programowanie liniowe, PWN, Warszawa 1963
- [G2] Grzesik B.: Elementy zmiennotopologicznego modelu przekształtnika energoelektronicznego z diodami idealnymi, XIII Seminarium z Podstaw Elektrotechniki i Teorii Obwodów (SPETO 1990), Wisła, 23..26.05.1990, Materiały konferencyjne s. 445-454
- [G3] Grzesik B.: Model komutacji przekształtników energoelektronicznych diodowych, XIV Seminarium z Podstaw Elektrotechniki i Teorii Obwodów (SPETO 1991), Wisła, 22..25.05.1991, Materiały konferencyjne s. 257-266
- [G4] Grzesik B.: Algorytm obliczeń rozwiązania podstawowego układu nierówności istotnych modelu komutacji przekształtnika energoelektronicznego diodowego, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Elektryka, z. 124, 1991, s. 199-215
- [G5] Grzesik B., Kaczmarczyk Z.: Program komputerowej analizy przekształtników diodowych z uogólnionym badaniem struktury komutacji, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Elektryka, nr 126, 1992
- [G6] Grzesik B., Kaczmarczyk Z.: Program komputerowej analizy przekształtników z diodami i tyrystorami doskonałymi, XV Seminarium z Podstaw Elektrotechniki i Teorii Obwodów (SPETO 1992), Wisła, 20..23.05.1992, Materiały konferencyjne s. 307-317
- [G7] Grzesik B. : Komutacja w przekształtnikach energoelektronicznych z tyrystorami doskonałymi, XV Seminarium z Podstaw Elektrotechniki i Teorii Obwodów (SPETO 1992), Wisła, 20..23.05.1992, Materiały konferencyjne s. 299-306
- [G8] Grzesik B., Kaczmarczyk Z.: Program do komputerowej analizy struktury komutacyjnej przekształtników energoelektronicznych doskonałych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Elektryka nr 130
- [J1] Jefimow N.W.: Rozendorn, E.R., Algebra liniowa wraz z geometria wielowymiarową, PWN, Warszawa 1974

- [K1] Kaczmarczyk Z., Badanie stałotopologicznej metody analizy przekształtników energoelektronicznych z diodami doskonałymi, praca dyplomowa magisterska, Pol. Śląska w Gliwicach, IETiP, Gliwice 1991
- [S1] Szczęsny R., Iwan K., Tcad v. 4.11, Program komputerowej analizy układów energoelektronicznych, Politechnika Gdańska, 1991

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Mikołajuk Wpłyneło do Redakcji 4 maja 1992

Abstract

Commutation structure in power electronic converter with perfect thyristors is described in the paper. This structure consists of: the set of hypothetical equivalent circuits, the set of decisive equivalent circuits and their mutual relations. The perfect thyristor is a model of the thyristor; it is a piecewise-linear resistance which has two values for u, i>0 (2.1), (2.2) and three states. The converter, nonlinear object is decomposed into the set of 3^{nT} hypothetical equivalent circuits each of them is a linear one (3.1). A set of decisive equivalent circuits is determined by means of systematic analysis of each hypothetical equivalent circuit. It is done with the help of the theory of linear homogeneous inequalities [J1]. Presented commutation structure is an extension of the results gained for converters with perfect diodes [G4], [G5], [K1]; it enables to construct commutation structure for converters which contains perfect thyristors as well as perfect diodes [G8]. There is an analysis of the example rectifier with two thyristors, m=2 analized in the paper.