

Зміни у виробничо-торговельних процесах неминучі в будь-якій організації, вони можуть бути викликані внесенням змін у нормативні документи, заміною нового обладнання, що часто призводить до внесення змін у технологічні процеси або прийняття рішень на основі аналізу інформації. Ретельність контролю за внесенням змін має важливе значення, оскільки помилки, викликані використанням неправильної документації, можуть мати серйозні фінансові наслідки, а також стати причиною прийняття неправильного рішення чи виконання дій.

Під час організації системи контролю керівництву необхідно враховувати рівень компетентності та спроможність виконання завдань, передбачених контролем, а тому необхідно:

- 1 визначити рівень компетентності персоналу;
- 2 забезпечити обізнаність персоналу щодо доцільності контролю і щодо свого внеску в забезпечення та покращання якості послуг;
- 3 відповідно до посадових інструкцій, дотримуючись рівномірності навантаження, провести розподіл обов'язків;
- 4 забезпечити виконавців контролю відповідними нормативними документами, методиками та засобами вимірювання.

Виконання вищеперелічених позицій не лише сприятиме ефективності виконання запланованих заходів, а й уможливить сформулювати чітку прослідковуваність виконання обов'язків.

Висновок. Запропонована модель організаційної структури системи контролю є універсальним інструментарієм системного, комплексного та безперервного контролю діяльності організації, незалежно від типу та класу. Послідовно і детально визначена сукупність етапів контролю дає змогу здійснювати перевірку стабільності і рівень виконання усіх процесів, а це усуває можливість надання неякісних послуг споживачеві.

1. ДСТУ ISO 9000-2001. Системи управління якістю. Основні положення та словник.
2. Бичківський Р.В., Столярчук П.Г., Гамула П.Р. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація. – Львів, 2002. – С. 175.
3. Сусол Н. Ресторанні послуги: структура факторів якості // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2005. – №4. – С. 63.
4. СанНін 42-123-5777-919. Санітарні правила для підприємств громадського харчування, включаючи кондитерські цехи та підприємства, що виробляють м'яке морозиво (додатки 2, 3).
5. Правила роботи підприємств громадського харчування. Затверджено Наказом Міністерства зовнішніх економічних зв'язків України від 03.07.1995 р. №129.
6. Правила користування засобами вимірювальної техніки у сфері торгівлі. Затверджено в Міністерстві юстиції України 30.09.1996 р. № 561/1586.

УДК 621.314

В.В. Самотий, У.Ю. Дзелендзяк
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматики та телемеханіки

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ НЕСИМЕТРИЧНОЇ СХЕМИ ВИПРЯМЛЕННЯ З ПОДВОЄННЯМ НАПРУГИ, ЩО ОПИСУЄТЬСЯ ЖОРСТКИМИ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИМИ РІВНЯННЯМИ

© Самотий В.В., Дзелендзяк У.Ю., 2006

Наведено математичну модель несиметричної схеми випрямлення з подвоєнням напруги, орієнтовану на неявні методи числового інтегрування, а також запропоновано методику аналізу перехідних і усталених режимів її роботи.

Mathematical model of asymmetric rectifier with voltage doubling directed on implicit methods is submitted and method for transient and steady-state analysis of it operational modes

is suggested.

Вступ. Якщо нас цікавить поведінка об'єкта в динаміці, то насамперед необхідно вивести його диференціальні рівняння. Такі рівняння можна отримати, лише наклавши певні допущення, в протилежному разі ми матимемо рівняння, які не можна розв'язати. Крім того, допущення дають змогу знехтувати другорядними процесами і виділити основні. Це спрощує задачу, робить її доступною для розв'язування. Об'єкт наших досліджень – несиметрична схема випрямлення з подвоєнням напруги, яка є найпростішим прикладом помножувачів напруги. Основним питанням під час виведення рівнянь динаміки в цьому об'єкті є врахування нелінійних характеристик його елементів. Тут наявні два типи нелінійностей – крива намагнечування трансформатора та вольт-амперні характеристики вентилів.

Маючи систему диференціальних рівнянь, що описують досліджуваний об'єкт, можна розв'язати дві основні задачі математичного моделювання – аналіз перехідних та періодичних режимів. Задавши початкові умови вектору змінних стану та інтегруючи рівняння динаміки одним з числових методів, отримаємо розрахунок перехідного режиму. За тривалого інтегрування перехідний режим закінчується і настає періодичний режим, який характеризується повторюваністю. Проте його можна отримати і в обхід перехідного режиму, для цього необхідно визначити початкові умови, що задовольняють умові періодичності.

Розроблено метод аналізу перехідних і ustalених режимів роботи електромагнетних вентильних перетворювачів, які описуються жорсткими диференціальними рівняннями. Цей підхід враховує основні нелінійні характеристики таких об'єктів та описує їх мінімізованою системою рівнянь стану. Для демонстрації запропонованого методу ми обрали несиметричну схему випрямлення з подвоєнням напруги. Враховуючи широке застосування вентильних перетворювачів, ця робота є актуальною і має практичне значення.

Аналіз публікацій. З теоретичного погляду несиметричну схему випрямлення з подвоєнням напруги можна розглядати як електромагнетне коло, електрична частина якого містить напівпровідникові вентиля. Тому доцільно зробити огляд праць, де висвітлені питання побудови математичних моделей нелінійних електромагнетних кіл, а також напівпровідникових вентилів. Окремо слід зупинитись на питаннях аналізу періодичних режимів.

Вперше вдалу математичну модель електромагнетного кола запропонував Р. Silvester в [9]. Він вперше для аналізу нелінійних електромагнетних контурів запровадив поняття диференціальних індуктивностей. На той час це було значним кроком у розвитку математичного моделювання нелінійних електромагнетних кіл. Проте навіть в достатньо простій задачі тут виникала проблема визначення великої кількості диференціальних параметрів. Наприклад, якщо ми маємо один магнетний контур і декілька обмоток, то тут необхідно визначити диференціальні індуктивності кожної обмотки та ще й взаємно індуктивні зв'язки між ними.

Прогресивніша методика аналізу режимів роботи нелінійних електромагнетних кіл була викладена в [4]. Тут вперше запроваджується поняття диференціальних магнетних опорів, які є функціями магнетних потоків віток. Визначення таких диференціальних параметрів не становить жодної проблеми, оскільки вони залежать від кривих намагнечування магнетних віток. Проте такий підхід був орієнтований на явні методи числового інтегрування нелінійних диференціальних рівнянь.

Що стосується моделей напівпровідникових вентилів, то тут спостерігаємо значну кількість публікацій і підходів. Умовно їх можна поділити на дві великі групи – польові і з зосередженими параметрами. На польових моделях ми не будемо зупинятися, бо вони орієнтовані на інші завдання – дослідження польових процесів в самому вентилі. Якщо розглядати таку задачу, як наша, то колова модель є більш прийнятною, оскільки є доволі простою і відображає вплив параметрів вентилів на роботу схеми. Колові моделі теж можна поділити на дві категорії. Перша, коли вентиль замінюють електричною ланкою зі змінними параметрами [1], а друга – модель ідеального ключа [3]. Перша модель є універсальнішою, бо не змінює структури електричного кола, а лише вносить в нього нелінійні елементи. Проте за частих комутацій призводить до порушення закону збереження енергії.

Друга модель приваблива своєю простотою, але вона приводить до змінної структури електричного кола. Це означає, що об'єкт описуватиметься декількома системами диференціальних рівнянь. Тобто кожна система відповідає фіксованій структурі. Ця обставина істотно ускладнює алгоритм аналізу перехідних процесів кіл з напівпровідниковими вентилями.

Інтегруючи рівняння динаміки до усталення процесу, можна отримати періодичний режим. Проте за тривалих перехідних процесів, такий шлях призводить до накопичення похибок числового інтегрування та непродуктивних витрат машинного часу. Існують методи аналізу періодичних режимів, які позбавлені цих недоліків. До них належать частотний, зокрема, метод гармонічного балансу [2], екстраполяційний [5, 7] і метод Ейприла–Трика [6], який був поширений на електромагнетні кола в роботі [8]. Проте ця робота спрямована на використання виключно явних методів числового інтегрування, що істотно звужує клас вирішуваних задач.

З вищесказаного можна зробити такий висновок. Для виведення рівнянь динаміки несиметричної схеми випрямлення з подвоєнням напруги слід скористатися підходами, викладеними в [8], адаптувавши їх до неявних методів числового інтегрування. Аналіз періодичних режимів доцільно виконувати екстраполяційним методом [5, 7], оскільки він є простішим від методу Ейприла–Трика [6], а досліджувана схема завжди працює за межами резонансних режимів.

Виведення рівнянь динаміки. Несиметрична схема випрямляча з подвоєнням напруги показана на рис. 1. Вона містить трансформатор, два напівпровідникові вентиля D_1, D_2 , два конденсатори C_1, C_2 і навантаження. У цій схемі можливі три комбінації відкритих і закритих вентилів, а саме: 1. D_1 – відкритий, D_2 – закритий. 2. D_1 – закритий, D_2 – відкритий. 3. D_1, D_2 – закриті. Для запису рівнянь динаміки необхідно записати рівняння кожної комбінації, а потім звести їх до єдиної системи шляхом введення додаткових логічних змінних, які будуть визначати стан вентилів.

Розглянемо рівняння динаміки для першого випадку. Розрахункова схема вторинної сторони трансформатора показана на рис. 2, а магнетного кола – на рис. 3. Згідно з цими схемами можна записати такі рівняння:

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= \alpha_1(\Psi_1 - \psi), \\ i_2 &= \alpha_2(\Psi_2 - \psi), \\ i_1 + i_2 &= \varphi(\psi), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Psi_1}{dt} &= u_1 - r_1 i_1, & \frac{d\Psi_2}{dt} &= -u_{C1} - r_2 i_2, \\ \frac{du_{C1}}{dt} &= i_2 / C_1, & \frac{du_{C2}}{dt} &= -\frac{u_{C2}}{R_H C_2}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де u_{C1}, u_{C2} – напруги конденсаторів C_1 і C_2 відповідно; r_1, r_2 – активні опори первинної і вторинної обвиток відповідно; R_H – опір навантаження; Ψ_1, Ψ_2 – повні потокозчеплення обвиток; ψ – робоче потокозчеплення осердя трансформатора.

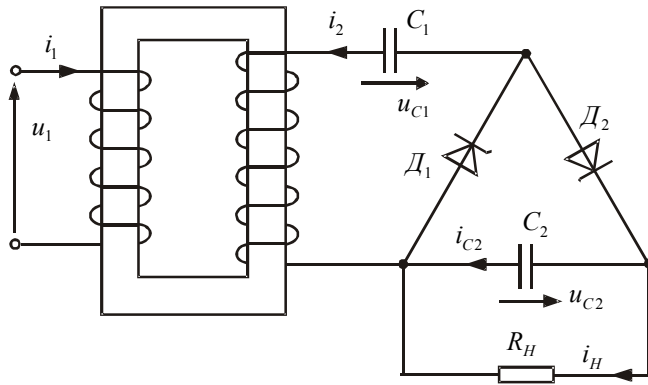


Рис. 1. Принципова схема

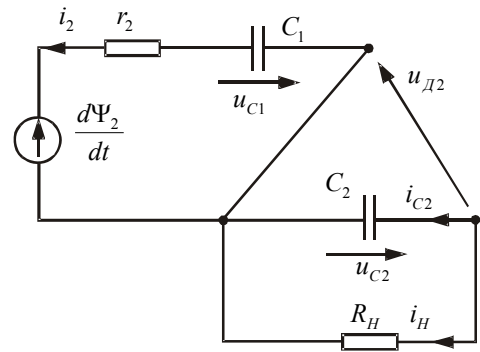


Рис. 2. Розрахункова схема вторинної сторони трансформатора першої комбінації

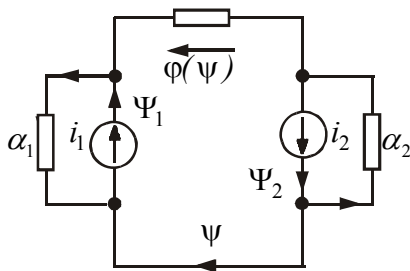


Рис. 3. Розрахункова схема магнетного кола

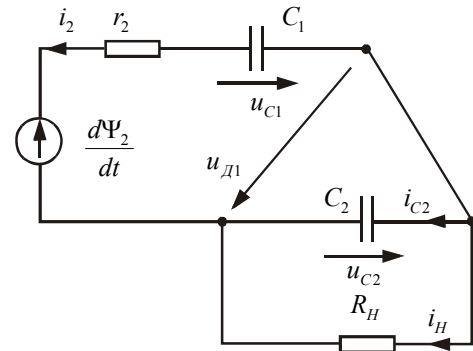


Рис. 4. Розрахункова схема вторинної сторони трансформатора другої комбінації

Для розв'язування диференціальних рівнянь застосуємо неявний метод трапецій:

$$y_{m+1} = y_m + \left(\frac{dy_{m+1}}{dt} + \frac{dy_m}{dt} \right) \Delta t / 2 \quad (3)$$

Введемо нові позначення $y_0 = y_m$, $y = y_{m+1}$, $\Delta t_1 = \Delta t / 2$. Розкладемо рівняння (2) за формулою трапецій (3):

$$\left. \begin{aligned} \Psi_1 &= \Psi_{10} + (u_1 - r_1 i_1) \Delta t_1 + (u_{10} - r_1 i_{10}) \Delta t_1, \\ \Psi_2 &= \Psi_{20} + (-u_{C1} - r_2 i_2) \Delta t_1 + (-u_{C10} - r_2 i_{20}) \Delta t_1, \\ u_{C1} &= u_{C10} + (i_2 + i_{20}) \Delta t_1 / C_1, \\ u_{C2} &= u_{C20} - (u_{C2} + u_{C20}) \Delta t_1 / (R_H C_2). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

В результаті отримаємо систему алгебричних рівнянь (1) і (4), яку необхідно розв'язати. Виключивши з системи (4) згідно з рівнянням (1) струми обвиток трансформатора i_1 , i_2 , отримаємо нову систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_1 &= a_1 + (u_1 - r_1 \alpha_1 (\Psi_1 - \psi)) \Delta t_1, \\ \Psi_2 &= a_2 - (u_{C1} + r_2 \alpha_2 (\Psi_2 - \psi)) \Delta t_1, \\ u_{C1} &= b_1 + \alpha_2 (\Psi_2 - \psi) \Delta t_1 / C_1, \\ u_{C2} &= b_2 - u_{C2} \Delta t_1 / (R_H C_2), \\ \alpha_1 (\Psi_1 - \psi) + \alpha_2 (\Psi_2 - \psi) &= \varphi(\psi), \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \Psi_{10} + (u_{10} - r_1 \alpha_1 (\Psi_{10} - \psi_0)) \Delta t_1, \\ a_2 &= \Psi_{20} - (u_{C10} + r_2 \alpha_2 (\Psi_{20} - \psi_0)) \Delta t_1, \\ b_1 &= u_{C10} + \alpha_2 (\Psi_{20} - \psi_0) \Delta t_1 / C_1, \\ b_2 &= u_{C20} - u_{C20} \Delta t_1 / (R_H C_2). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Виключивши в системі рівнянь (5) змінні Ψ_1 , Ψ_2 , u_{C1} , u_{C2} , отримаємо одне нелінійне рівняння стосовно Ψ :

$$\alpha'(\psi)\psi + A\psi + B = 0, \quad \alpha'(\psi) = \varphi(\psi)/\psi, \quad (7)$$

де

$$\left. \begin{aligned} A &= \alpha_1 (a_{11} - 1) + \alpha_2 (a_{12} - 1), \quad B = \alpha_1 a_9 + \alpha_2 a_{10}, \\ a_{12} &= a_8 / a_4, \quad a_{11} = a_7 / a_3, \quad a_{10} = a_6 / a_4, \\ a_9 &= a_5 / a_3, \quad a_8 = \alpha_2 (\Delta t_1 / C_1 + r_2) \Delta t_1, \\ a_7 &= r_1 \alpha_1 \Delta t_1, \quad a_6 = a_2 - b_1 \Delta t_1, \quad a_5 = a_1 + u_1 \Delta t_1, \\ a_4 &= 1 + \alpha_2 (\Delta t_1 / C_1 + r_2) \Delta t_1, \quad a_3 = 1 + r_1 \alpha_1 \Delta t_1. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Проміжним результатом цих перетворень є вирази для напруг конденсаторів:

$$u_{C1} = b_1 + \alpha_2 (\Psi_2 - \psi) \frac{\Delta t_1}{C_1}, \quad u_{C2} = a_{17}, \quad (9)$$

де $a_{16} = (1 + \Delta t_1 / R_H C_2)$, $a_{17} = b_2 / a_{16}$.

Розглянемо рівняння динаміки для другого випадку. Тут обидва конденсатори будуть ввімкненими в контур вторинного кола трансформатора (рис. 4). Рівняння (1) не зміняться, а рівняння (2) матимуть такий вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Psi_1}{dt} &= u_1 - r_1 i_1, & \frac{d\Psi_2}{dt} &= u_{C2} - u_{C1} - r_2 i_2, \\ \frac{du_{C1}}{dt} &= i_2 / C_1, & \frac{du_{C2}}{dt} &= -(i_2 + \frac{u_{C2}}{R_H}) / C_2. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

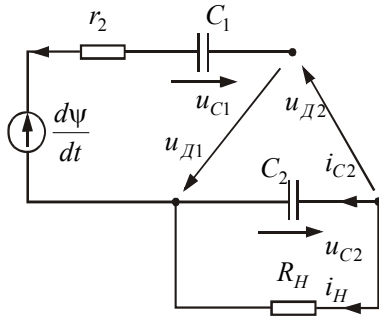


Рис. 5. Розрахункова схема вторинної сторони трансформатора третьої комбінації

Виконавши такі ж перетворення, як у першому випадку, отримаємо знову рівняння (7), де

$$\left. \begin{aligned}
 A &= \alpha_1(a_{11} - 1) + \alpha_2(a_{12} - 1), \quad B = \alpha_1 a_9 + \alpha_2 a_{10}, \\
 i_{10} &= \alpha_1(\Psi_{10} - \Psi_0), \quad i_{20} = \alpha_2(\Psi_{20} - \Psi_0), \\
 a_{12} &= \frac{a_8}{a_4}, \quad a_{11} = \frac{a_7}{a_3}, \quad a_{10} = \frac{a_6}{a_4}, \quad a_7 = r_1 \alpha_1 \Delta t_1, \\
 a_9 &= \frac{a_5}{a_3}, \quad a_8 = \alpha_2 \Delta t_1 (\Delta t_1 / a_{16} C_2 + \Delta t_1 / C_1 + r_2), \\
 a_6 &= a_2 + (a_{17} - b_1) \Delta t_1, \quad a_5 = a_1 + u_1 \Delta t_1, \\
 a_4 &= 1 + \alpha_2 \Delta t_1 (\Delta t_1 / a_{16} C_2 + \Delta t_1 / C_1 + r_2), \\
 a_3 &= 1 + r_1 \alpha_1 \Delta t_1, \quad a_1 = \Psi_{10} + (u_{10} - r_1 i_{10}) \Delta t_1, \\
 a_2 &= \Psi_{20} - (u_{C10} - u_{C20} + r_2 i_{20}) \Delta t_1, \\
 b_1 &= u_{C10} + \alpha_2 (\Psi_{20} - \Psi_0) \frac{\Delta t_1}{C_1}, \\
 b_2 &= u_{C20} - (i_{20} + u_{C20} / R_H) \frac{\Delta t_1}{C_2}.
 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Напруги на конденсаторах визначатимуться такими виразами:

$$\left. \begin{aligned}
 u_{C1} &= b_1 + \alpha_2 (\Psi_2 - \Psi) \frac{\Delta t_1}{C_1}, \\
 u_{C2} &= a_{17} - (\Psi_2 - \Psi) \frac{\alpha_2 \Delta t_1}{a_{16} C_2}.
 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Розглянемо рівняння динаміки для третьої комбінації, коли обидва вентиля закриті. Це відповідає режиму неробочого ходу трансформатора (рис. 5). Рівняння (1) матимуть вигляд

$$\left. \begin{aligned}
 i_1 &= \alpha_1 (\Psi_1 - \Psi), \quad i_2 = 0, \\
 \Psi_2 &= \Psi, \quad i_1 = \varphi(\Psi).
 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

а рівняння (2) запишуться так:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Psi_1}{dt} &= u_1 - r_1 i_1, & \frac{d\Psi_2}{dt} &= \frac{d\psi}{dt}, \\ \frac{du_{C1}}{dt} &= 0, & \frac{du_{C2}}{dt} &= -\frac{u_{C2}}{R_H C_2}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Розклавши (14) за формулою (3) і розв'язавши алгебричну систему рівнянь, отримаємо вираз, аналогічний до (7), де

$$\left. \begin{aligned} A &= \alpha_1(a_{11} - 1), & B &= \alpha_1 a_9, \\ i_{10} &= \alpha_1(\Psi_{10} - \psi_0), \\ a_{12} &= a_8/a_4, & a_{11} &= a_7/a_3, & a_{10} &= a_6/a_4, \\ a_9 &= a_5/a_3, & a_8 &= 1, & a_7 &= r_1 \alpha_1 \Delta t_1, \\ a_5 &= a_1 + u_1 \Delta t_1, & a_4 &= 1, & a_3 &= 1 + r_1 \alpha_1 \Delta t_1, \\ a_1 &= \Psi_{10} + (u_{10} - r_1 i_{10}) \Delta t_1, \\ a_2 &= a_6 = 0, & b_1 &= u_{C10}, \\ b_2 &= u_{C20} - u_{C20} \Delta t_1 / (R_H C_2). \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Напруги на конденсаторах будуть дорівнювати:

$$u_{C1} = u_{C10}, \quad u_{C2} = a_{17}. \quad (16)$$

Порівнявши вирази (8), (11) і (15), зрозуміло, що їх можна узагальнити. Для цього введемо додаткові логічні змінні k_1 і k_2 , які набувають значень 0, 1. Причому 0 відповідає закритому стану вентиля, а 1 – відкритому. Тоді узагальнені вирази коефіцієнтів рівнянь матимуть такий вигляд:

$$\left. \begin{aligned} A &= \alpha_1(a_{11} - 1) + k_{12} \alpha_2(a_{12} - 1), \\ B &= \alpha_1 a_9 + k_{12} \alpha_2 a_{10}, & k_{12} &= k_1 + k_2, \\ i_{10} &= \alpha_1(\Psi_{10} - \psi_0), & i_{20} &= \alpha_2(\Psi_{20} - \psi_0), \\ a_1 &= \Psi_{10} + (u_{10} - r_1 i_{10}) \Delta t_1, \\ a_2 &= k_{12}(\Psi_{20} - (u_{C10} - k_2 u_{C20} + r_2 i_{20}) \Delta t_1), \\ a_3 &= 1 + r_1 \alpha_1 \Delta t_1, & a_5 &= a_1 + u_1 \Delta t_1, & a_7 &= r_1 \alpha_1 \Delta t_1, \\ a_4 &= 1 + k_2 \alpha_2 \frac{\Delta t_1^2}{a_{16} C_2} + k_{12} (\Delta t_1 / C_1 + r_2) \alpha_2 \Delta t_1, \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

$$\left. \begin{aligned}
 a_6 &= k_{12}(a_2 - b_1 \Delta t_1 + k_2 a_{17} \Delta t_1), \\
 a_8 &= (1 - k_{12}) + \alpha_2 \Delta t_1 \left(\frac{k_2 \Delta t_1}{a_{16} C_2} + \frac{\Delta t_1}{C_1} + r_2 \right), \\
 a_9 &= a_5 / a_3, \quad a_{10} = a_6 / a_4, \quad a_{11} = a_7 / a_3, \\
 a_{12} &= a_8 / a_4, \quad a_{16} = 1 + \frac{\Delta t_1}{R_H C_2}, \quad a_{17} = b_2 / a_{16}, \\
 b_1 &= u_{C10} + k_{12} i_{20} \frac{\Delta t_1}{C_1}, \\
 b_2 &= u_{C20} - \left(k_2 i_{20} + \frac{u_{C20}}{R_H} \right) \frac{\Delta t_1}{C_2}.
 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Якщо підставити в (17), (18) значення $k_1 = 1$, $k_2 = 0$, то отримаємо вирази (6), (8) для першої комбінації; $k_1 = 0$, $k_2 = 1$ – вираз (11) для другої комбінації, $k_1 = 0$, $k_2 = 0$ – вираз (15) для третьої комбінації.

Рівняння (7) запишемо у вигляді нелінійного рівняння

$$F(\psi) = \alpha'(\psi)\psi + A\psi + B = 0, \quad (19)$$

яке розв'язуємо ітераційним методом Ньютона:

$$\psi^{(k+1)} = \psi^{(k)} - (F'(\psi^{(k)}))^{-1} F(\psi^{(k)}). \quad (20)$$

Маючи робоче потокозчеплення, визначаємо решта змінних:

$$\left. \begin{aligned}
 u_{C1} &= b_1 + (k_1 + k_2) \alpha_2 (\Psi_2 - \psi) \frac{\Delta t_1}{C_1}, \\
 u_{C2} &= a_{17} - k_2 \alpha_2 (\Psi_2 - \psi) \frac{\Delta t_1}{a_{16} C_2}, \\
 \Psi_1 &= a_9 + \alpha_{11} \psi, \quad \Psi_2 = a_{10} + \alpha_{12} \psi, \\
 i_1 &= \alpha_1 (\Psi_1 - \psi), \quad i_2 = \alpha_2 (\Psi_2 - \psi).
 \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Змінюючи поточний час та розв'язуючи (19) за формулою (20), отримаємо розрахунок перехідного процесу. Умови відкриття і закривання вентилів визначаються так:

а) якщо обидва вентиля закриті, то ventиль D_1 відкривається за виконання умови

$$-d\psi/dt - u_{C1} \geq 0, \quad (22)$$

а ventиль D_2 – за виконання умови

$$d\psi/dt + u_{C1} - u_{C1} \geq 0, \quad (23)$$

б) якщо ventиль D_1 відкритий, а D_2 – закритий, то умовою закривання ventиля D_1 буде

$$i_2 = 0, \quad di_2/dt < 0; \quad (24)$$

в) якщо ventиль D_1 закритий, а D_2 – відкритий, то ventиль D_2 закриється за умови

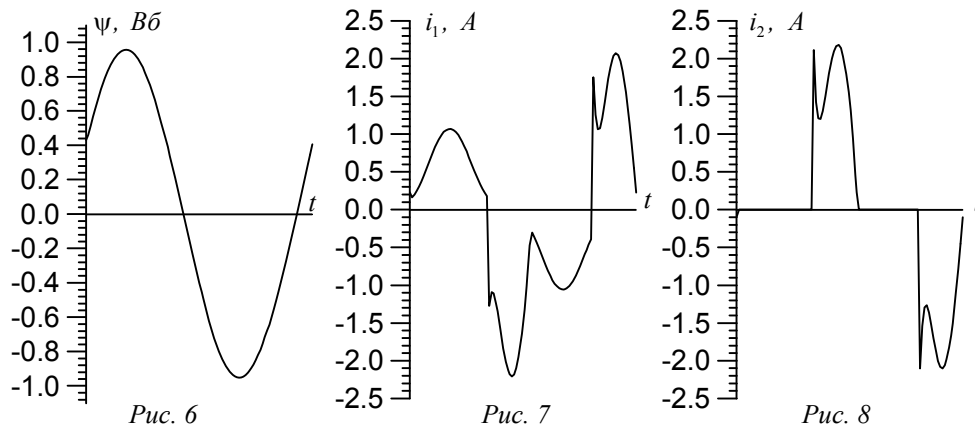
$$i_2 = 0, \quad di_2/dt < 0$$

Вимушений періодичний режим можна отримати інтегруванням рівнянь динаміки до усталення

процесу. Проте накопичення похибок числового інтегрування та відсутність критерію завершення перехідного режиму привели до появи методів прискореного пошуку періодичних режимів. Найбільшого поширення набули два методи – це модель чутливостей до початкових умов [8] та екстраполяційний ε -алгоритм [5, 7]. Для цього прикладу віддамо перевагу останньому, оскільки він є значно простіший в алгоритмічному відношенні.

Результати числового аналізу. На рис. 6–11 показано результати комп'ютерного симулювання усталеного режиму несиметричної схеми випрямлення з подвоєнням напруги. У розрахунках використано такі вхідні дані: $r_1 = r_2 = 10 \text{ Ом}$; $R_H = 1700 \text{ Ом}$; $\alpha_1 = \alpha_2 = 200 \text{ Гн}^{-1}$; $C_1 = 0.7 \text{ мФ}$; $C_2 = 0.07 \text{ мФ}$. Крива намагнечування апроксимована кубічним сплайном.

На рис. 6 показано криву робочого потокозчеплення трансформатора Ψ в усталеному режимі. Результат був отриманий за три ітерації. На кожній ітерації рівняння динаміки інтегрувалися на інтервалі 9 періодів, тобто для отримання усталеного режиму необхідно було проінтегрувати 28 періодів. Якщо йти шляхом розрахунку перехідного процесу до усталення режиму, то тут необхідно було проінтегрувати 85 періодів. Виграш машинного часу більший, ніж утричі. Ця різниця буде тим істотною, чим тривалішим буде перехідний процес.



На рис. 7 показано криву струму живлення первинної обвитки трансформатора i_1 в усталеному режимі. Її несинусоїдна форма пояснюється двома обставинами: перемиканням напівпровідникових вентилів та нелінійністю кривої намагнечення трансформатора. На

рис. 8 показано криву струму вторинної обвитки i_2 . Як бачимо, на графіку є ділянки, де цей струм дорівнює нулю. Це відповідає режиму неробочого ходу трансформатора, коли обидва вентиля закриті. Зауважимо, що навіть така форма струму i_2 практично не викликає спотворень в потокозчепленні (рис. 6), останнє повторяє форму напруги живлення.

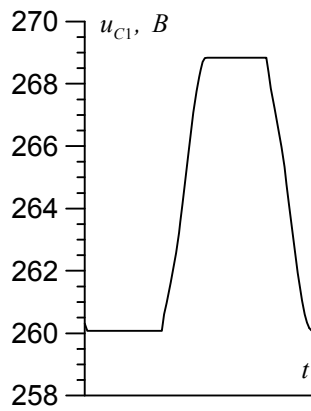


Рис. 9

Рис. 9

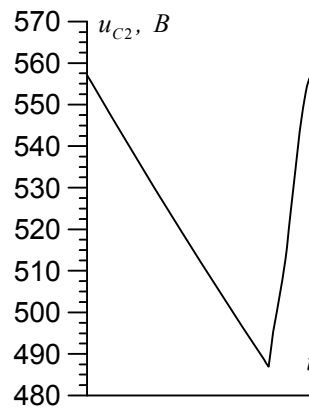


Рис.10

Рис. 10

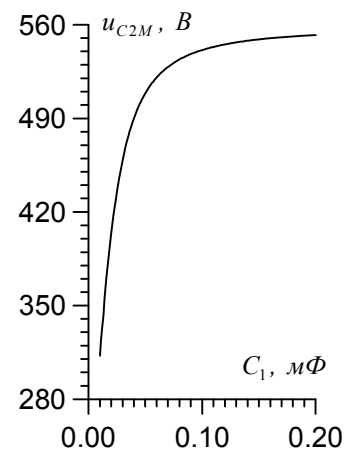


Рис.11

Рис. 11

На рис. 9 показано криву напруги першого конденсатора u_{C1} . Постійна складова напруги наближено дорівнює 265 В, а амплітуда змінної складової – 9 В. На рис. 10 показано криву напруги навантаження u_{C2} . Її постійна складова дорівнює 525 В, а амплітуда змінної складової – 70 В. Це означає, що за цих параметрів пульсації напруги навантаження не перевищують 15 % амплітуди постійної складової.

Було також виконано розрахунок залежності амплітуди напруги навантаження u_{C2M} від ємності конденсатора C_1 (рис. 11). Аналіз проведено для 190 дискретних значень ємності C_1 , що потребувало 145 с машинного часу. Згідно з отриманими результатами (рис. 11) амплітуда напруги навантаження істотно змінюється до 0.1 мФ, а далі асимптотично наближається до максимального значення. Аналогічно можна виконати дослідження будь-якого іншого параметра подвоювача напруги.

Висновок. Запропоновано алгоритм аналізу режимів роботи несиметричної схеми випрямлення з подвоєнням напруги, орієнтований на неявні методи числового інтегрування. Характерною ознакою запропонованого алгоритму є моделювання напівпровідникових вентилів за схемою ідеального ключа. В рівняннях динаміки робота вентилів відображена додатковими логічними змінними, що набувають значень 0, 1. Це значно спрощує алгоритм аналізу та зменшує обсяг обчислень. Так, в нашому прикладі на кожному кроці інтегрування ми розв'язуємо лише одне нелінійне рівняння (19), решта рівнянь є лінійними. За моделювання вентилів RLC-ланками зі змінними параметрами отримаємо додаткові нелінійні диференціальні рівняння, які необхідно розв'язати. Отже, запропонований алгоритм не містить надлишкових обчислювальних операцій, а використання неявних методів числового інтегрування робить його універсальним.

1. Бондаренко В.М., Абидов С.Т., Калиев В.К. Дискретные модели нелинейных трансформаторов и их программная реализация на ЭВМ. – К., 1987. (Препринт/АН УССР. Ин-т электродинамики. – № 518. – 87 с. 2. Глухивский Л.И. Расчет периодических процессов электротехнических устройств. – Львов, 1984. 3. Кутковецкий В.Я. Теория переходных процессов в силовых вентилях преобразователях. – Николаев, 1982. 4. Чабан В.И. Основы теории переходных процессов электромашиных систем. – Львов, 1980. 5. Чабан В.И., Самотый В.В. Применение экстраполяционного метода в задачах ускоренного поиска стационарных процессов электромагнитных устройств // Изв. вузов. Электромеханика. – 1987. – № 8. – С. 13–17. 6. Aprille T.I., Triek T.N. A computer algorithm to determine the steady-state response of non-linear oscillator. – IEEE Trans. Circuit Theory, 1972, vol. ct-19, pp. 354-360. 7. McLeod. A note on the ϵ -algorithm // Computing

(*Arch. Electron. Rechnen*). – 1971. – V. 7. – P. 17 – 24. 8. Samotyj V., Shakya S. *Mathematical Model of Frequency Multiplier "Symmetric Scheme of Rectification with Voltage Doubling – Bridge Parallel Thyristor Chopper"* // *Technology (Journal of Engineering)*. – Kathmandu, 2000. – V. 9. – P. 58 – 62.
9. Silvester P. *Energy Conversion by Nonlinear slip-Ring Electric Machines*. – *IEEE Trans. Power App. and Syst.*, PAS-84, 1965.

УДК 621.865.8

В.А. Кирилович, І.Ю. Черепанська

Житомирський державний технологічний університет

ФОРМАЛІЗОВАНИЙ ОПИС ОРІЄНТУЮЧИХ РУХІВ ОБ'ЄКТІВ РОБОТИЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ КВАТЕРНІОНІВ

© Кирилович В.А., Черепанська І.Ю., 2006

Запропоновано формалізований опис орієнтуючих рухів об'єктів роботизації під час вторинного орієнтування з використанням теорії кватерніонів. Наведено порівняльний аналіз відомих та запропонованого методів, відзначено переваги останнього.

The formalized description of mechanassembly robotic objects orientation movements while secondary orientating on basis of quaternion theory is proposed. The comparative analysis of the known and proposed methods is given, the advantages of the proposed method are considered..

Постановка проблеми. Під час моделювання системи орієнтації об'єктів виробництва (СООВ), що складається з об'єктів виробництва (ОВ) – деталей, складальних одиниць, комплектуючих виробів, з якими взаємодіють пристрої орієнтування (ПО) [9, 15, 16, 17], виникають проблеми, які полягають у невідповідності між конструкторсько-технологічними ознаками ОВ, що орієнтуються, та функціональними можливостями ПО. Ці проблеми є наслідком технічної складності процесу орієнтування, великого різноманіття технологічних процесів та існуючих конструкцій ПО. Для часткового та успішного вирішення означених проблем необхідно здійснити формалізований опис СООВ, зокрема орієнтуючих рухів ОВ, які формують одну із найскладніших допоміжних технологічних операцій вторинного орієнтування, наприклад, для реалізації складального процесу [20] та яка являє собою ряд лінійних та кутових орієнтуючих рухів [18] та більш складно технічно реалізується порівняно з операцією первинного орієнтування, в зв'язку з чим вимагає ефективних та універсальних аналітичних методів формалізованого опису кутових орієнтуючих рухів з перспективою моделювання СООВ загалом. Формалізований опис орієнтуючих рухів ОВ, зокрема вторинного, є однією з найважливіших задач моделювання СООВ.

Мета дослідження. На основі аналізу існуючих методів формалізованого опису орієнтуючих рухів ОВ та процесу орієнтування запропоновано варіант формалізованого опису кутових орієнтуючих рухів ОВ за вторинного орієнтування з використанням теорії гіперкомплексних чисел, а саме – теорії кватерніонів.

Аналіз попередніх розробок та існуючих літературних джерел показав, що питання формалізованого опису орієнтуючих рухів ОВ під час моделювання СООВ як однієї із складових перспективного напрямку проектування гнучких виробничих систем (ГВС), що реалізуються під час їх функціонування, виділилось в окремий та актуальний напрямок досліджень в галузі автоматизованого синтезу роботизованих механоскладальних технологій [1, 2, 3, 6, 8, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19]. Зокрема питання формалізованого опису орієнтуючих рухів ОВ за вторинного орієнтуванні, які являють собою ряд лінійних та кутових переміщень [18]. Однією із задач, що при цьому розв'язується, щодо формалізованого опису орієнтуючих рухів ОВ, накопичений значний досвід [1, 2, 3, 6, 8, 11, 13, 14, 18, 19] та розроблені різні методи їх опису під час переведення ОВ з