

Ці приклади мали на меті показати базові можливості КОМПАС-АРІ для виконання завдань, що постають при реалізації більшості проектів. Вони демонструють деяку частину того інструментарію, який стає доступним для програміста у взаємодії з САПР КОМПАС.

У результаті проведених досліджень можна відзначити широкий спектр задач, які можуть бути розв'язані за допомогою програмних бібліотек САПР КОМПАС. При цьому не накладається ніяких обмежень на складність розрахунків, а також на способи взаємодії з користувачем. КОМПАС-АРІ надає ряд функцій для роботи з документами КОМПАС, і дозволяє при цьому використовувати всі можливості сучасних мов програмування.

*1. Ткаченко В.П., Воронцов Б.С., Бочарова И.А., Павлюченко И.Н. Компьютерная графика для инженера: Учебн. пособие. — Луганск: Изд-во СЛУ им. В. Даля, 2002.—148 с. 2. КОМПАС — ГРАФИК 5. X.: Практическое руководство. Ч. 1.— АО АСКОН, 1999. —468 с. 3. КОМПАС–ГРАФИК 5. X. Руководство пользователя. Ч. 1. — АО АСКОН, 2001.— 473 с.*

УДК 621.313

**Л.В. Каша**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра ЕМА

## **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НА БАЗІ ВЕНТИЛЬНИХ РЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ**

© Каша Л.В., 2003

**Описано автоматизовану систему дослідження електроприводів на базі вентильних реактивних двигунів.**

**The automated research system of electric drives on the basis of switched reluctance motors are given in this paper.**

Високі темпи науково-технічного прогресу, а також перехід до ринкової економіки в Україні вимагають неперервного збільшення обсягу знань, якими повинні володіти спеціалісти в галузі проектування та дослідження електричних машин. На зламі тисячоліть невід'ємною частиною освіти спеціалістів стає застосування інформаційних технологій. Комп'ютерна техніка незамінна при накопиченні “баз знань”, автоматизації проектно-конструкторських розрахунків, діагностуванні електричних машин та дослідженні процесів, що проходять в них.

Вентильний реактивний двигун з буферами енергії належить до ще мало вивчених електричних машин, а тому створення досконалих схем і конструкцій, а також успішне вирішення задач його аналізу та синтезу залежать від наявності адекватних математичних моделей електромеханічних процесів в ньому.

На рис. 1 наведено принципову електричну схему вентильного реактивного двигуна з окремими послідовними буферами енергії та широтно-імпульсним регулюванням частоти обертання, яка має підвищену надійність і забезпечує рекуперацію енергії магнітного поля секції, що комутують[1].

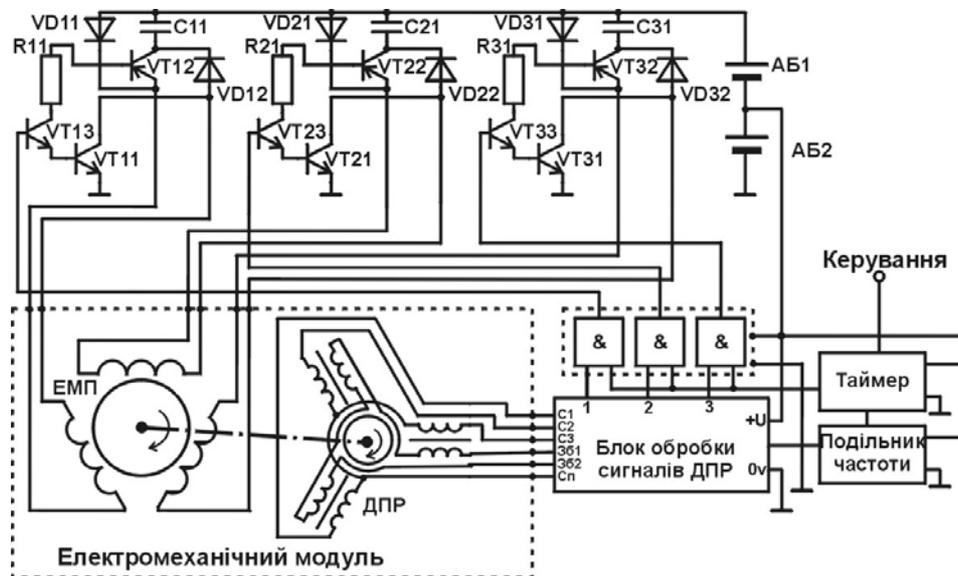


Рис. 1. Принципова електрична схема трисекційного ВРДз буферами енергії та широтно-імпульсним регулятором

Для побудови математичної моделі ВРД прийняті допущення, які, не надто спотворюючи реальні фізичні процеси, дозволили отримати прості математичні залежності, що адекватно відображають електромеханічне перетворення в ньому енергії: інвертор сполучений з джерелом напруги, внутрішній опір якого дорівнює нулю; магнітні зв'язки між секціями відсутні; силові ключі комутатора – безінерційні електронні ключі; діоди представлено математичною моделлю діода (вольт-амперну характеристику апроксимовано виразом  $i_d = I_0(e^{b \cdot \Delta U_d} - 1)$ , на основі якого спадок напруги на діоді можна записати як:

$\Delta U_d = \ln \frac{i_d + I_0}{I_0} / b$ , де  $I_0, b$  – зворотній струм діода і коефіцієнт температурного потенціалу);

параметри обмотки статора зосереджені.

Математичне дослідження електромеханічних процесів в перехідних та квазіусталених режимах роботи полягає в описі ВРД системою диференціальних рівнянь електричної і механічної рівноваг з подальшим їх вирішенням відносно струмів.

У загальному випадку електромагнітний момент електромеханічного пристрою визначається похідною магнітної коенергії за кутом переміщення, яка в свою чергу залежить від потокозчеплення збудженого контура. Отже, для обчислення електромагнітного моменту ВРД з магнітоізованими секціями необхідна і достатня наявність виразу залежності потокозчеплення секції від струму и кута взаємного положення ротора і статора.

Потокозчеплення магнітоізованої секції ВРД є однозначною нелінійною функцією, яка може бути апроксимована аналітичним виразом. При цьому необхідно, щоб спосіб апроксимації забезпечував достатньо точний збіг реальних і апроксимованих залежностей

як у функції струму, так і у функції кута, можливість інтегрування і диференціювання в аналітичній формі, не вимагав складних і громіздких розрахунків коефіцієнтів апроксимації. У [2] запропоновано такий вираз для апроксимації характеристик намагнічення ВРД:

$$\psi(\theta, i) = \left( \psi_{10} - \psi_{1t} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \right) \cdot i + \psi_y \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cdot \left( 1 - e^{-a \cdot i \cdot \sin \frac{\theta}{2}} \right), \quad (1)$$

де  $\theta$  — електричний кут між осями паза ротора і зубця статора;  $i$  — струм збудженої секції;  $\psi_{10}, \psi_{1t}, \psi_y, a$  — коефіцієнти, які визначаються з розрахункових характеристик намагнічення магнітопровода ВРД в двох крайніх положеннях: при збігу осей паза ротора і зубця статора ( $\theta = 0$ ) і при співвісних зубцях ротора і статора ( $\theta = 1$ ) (рис. 2). Коефіцієнт  $\psi_{10} = \psi_y / I_1$ . Для обчислення решти коефіцієнтів необхідно екстраполювати прямолінійну насичену ділянку кривої намагнічення ( $\theta = \pi$ ) на вісь ординат  $\psi$ .

Відповідно до теорії електромеханічного перетворення енергії з (1) отримано вираз (2) для миттєвого значення електромагнітного моменту:

$$M(\theta, i) = 0,5 \cdot z_r \cdot i \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot \psi_y \cdot \left( 1 - e^{-a \cdot i \cdot \sin \frac{\theta}{2}} \cdot \frac{\psi_{1t} \cdot i}{2 \cdot \psi_y} \right), \quad (2)$$

де  $z_r$  — кількість зубців ротора.

Змінний магнітний потік, замикаючись по сталевому осерддю, наводить в ньому електрорушійну силу, яка є причиною струмів Фуко в сталі, які зумовлюють втрати в ній. Перетин магнітопровода можна розглядати як такий, що складається з елементарних замкнутих контурів, які утворюють короткозамкнені витки, що пронизуються змінним магнітним потоком. Опір сталі струмам Фуко з достатньою для інженерної практики

точністю можна визначити за виразом  $R_s = \frac{E^2}{\Delta P_s}$ , де

$E = 4,44 \cdot f \cdot w_z \cdot B \cdot s$  і  $\Delta P_s = P_0 \cdot \gamma_s \cdot s \cdot l_m \cdot B^2 \cdot (f / f_0)^2$ , звідки

отримаємо вираз для обчислення  $R_s$  однієї секції:  $R_s = 4,9 \cdot 10^4 \cdot \frac{w_z^2 \cdot S \cdot q}{p_0 \cdot \gamma_s \cdot l_m}$ , де  $p_0, \gamma_s, S, l_m, w_z, q$  —

питомі втрати в сталі, густина матеріалу магнітопровода, довжина магнітної силової лінії, кількість витків обмотки на одному зубці, кількість зубців статора на одну секцію відповідно.

Індуктивність розсіяння контурів струмів Фуко є незначною і її величиною можна було б знехтувати. Однак для забезпечення стійкості розв'язку диференціальних рівнянь числовими методами пропонуємо значення  $L_\sigma$  приймати наступним  $L_\sigma \cong \frac{\Delta t}{12} \cdot R_s$ , де  $\Delta t$  — крок інтегрування диференціальних рівнянь.

Згідно з прийнятими допущеннями кожен із секцій  $m$ -секційного ВД можемо в електричному відношенні розглядати окремо, а зв'язувати їх тільки через створюваний ними електромагнітний момент, який діє на ротор.

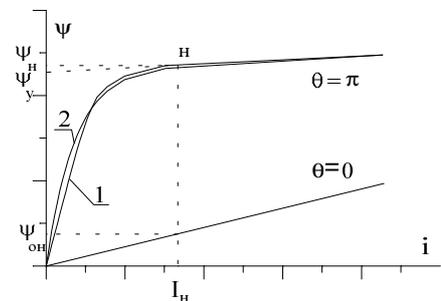


Рис. 2. Розрахункові і апроксимовані криві намагнічення

Моделювання силових транзисторних ключів здійснено за допущення, що перехідні процеси їх вмикання і вимикання відбуваються миттєво, опір закритого ключа дорівнює безмежності, вольт-амперна характеристика насиченого ключа описується виразом

$$\Delta U_T = U_{KE} = U_{KE.0} + R_{KE.нас} \cdot i,$$

де  $U_{KE.0}$  і  $R_{KE.нас}$  визначають з паспорта на транзистор.

Стан транзисторних ключів ЕК зумовлений взаємним положенням ротора й статора, тобто вони керуються сигналами давача положення ротора. Покладемо у відповідність стану цих ключів формальні коефіцієнти  $K_j$ , які набувають значення "1" — якщо ключ відкритий, і "0" — якщо ключ закритий;  $j$  — номер ключа. Значення формальних коефіцієнтів  $K_j$  залежать від положення ротора й обчислюються за такою перемикальною функцією:

$$K_j = 1 \text{ якщо } \beta + 2 \cdot (N_j - 1) \cdot \pi + (j - 1) \cdot 2 \cdot \frac{\pi}{m} < \theta \leq \beta + 2 \cdot (N_j - 1) \cdot \pi + (j - 1) \cdot 2 \cdot \frac{\pi}{m} + \gamma \quad (3)$$

$K_j = 0$  для всіх інших значень, де  $N_j = \frac{\theta + \pi + (j - 1) \cdot 2 \cdot \frac{\pi}{m}}{2 \cdot \pi} + 1$  — номер періоду для відповідної секції, але якщо  $u_c = 0$ , то і  $K_2 = 0$ .

Враховуючи вищенаведене, нелінійну систему диференціальних рівнянь (н.с.д.р.), яка описує електромеханічні процеси у ВРД з ємнісним буфером, можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{di_j}{dt} &= \left[ u_j + R \cdot i_j + \frac{A_j}{L_\sigma} \cdot (u_j - R \cdot i_j + R_s \cdot i_{sj}) - B_j \cdot \omega \right] / A_j; \\ \frac{di_{sj}}{dt} &= -(R_s \cdot i_{sj} + u_j - R \cdot i_j) / L_\sigma; \\ \frac{du_{cj}}{dt} &= (1 - K_j - K_{j+m}) \cdot \frac{i_j}{C}; \\ \frac{d\omega}{dt} &= \left\{ \sum_{j=1}^m \left[ \frac{z_r}{2} \cdot (i_j + i_{sj}) \cdot \cos \theta_{pj} \cdot \psi_y \times \left( \frac{1 - e^{-a \cdot (i_j + i_{sj}) \sin \theta_{pj}}}{-\psi_{lr} \cdot (i_j + i_{sj})} \right) - M_C \right] \cdot \frac{z_r}{J} \right\}; \\ \frac{d\theta}{dt} &= \omega; \\ \partial e \ u_j &= U \cdot K_j + u_c \cdot (K_j + K_{j+m} - 1) - \Delta U_T \cdot (K_j + K_{j+m}) - \Delta U_d \cdot (2 - K_j - K_{j+m}); \\ A_j &= \psi_{10} - \psi_{lr} \cdot \sin \theta_{pj} + \psi_- \cdot a \cdot \sin^2 \theta_{pj} \cdot e^{-a \cdot (i_j + i_{sj}) \sin \theta_{pj}}; \\ B_j &= \frac{\cos \theta_{pj}}{2} \cdot \left[ \psi_y - \psi_{lr} \cdot (i_j + i_{sj}) - \psi_y \cdot e^{-a \cdot (i_j + i_{sj}) \sin \theta_{pj}} \times (1 - a \cdot (i_j + i_{sj}) \cdot \sin \theta_{pj}) \right]; \\ \theta_{pj} &= \frac{\theta}{2} - (j - 1) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{m}; \end{aligned} \quad (4)$$

де  $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $J$  — момент інерції ротора;  $M_C$  — момент опору навантаження.

Для розв'язання н.с.д.р. застосований метод Рунге-Кутта четвертого порядку зі сталим кроком інтегрування.

Описана математична модель послужила основою для створення автоматизованої системи дослідження електроприводів на базі явнополюсних вентильних реактивних двигунів з буферами енергії, яка дозволяє здійснювати комплексні дослідження характеристик та поведінки ВРД в складі електромеханотронних систем за різноманітних режимів.

Під автоматизованою системою дослідження ВРД розумітимемо комплекс програм для обчислення миттєвих значень струмів, електромагнітного моменту, частоти обертання, кута переміщення, напруг тощо в динамічних та квазіусталених режимах роботи електроприводу з вентильним реактивним двигуном та середніх значень деяких з цих величин, а також потужностей (вхідної, вихідної, складових втрат).

При створенні системи використаний принцип модульного програмування, що дозволяє замінювати один модуль функціонально еквівалентним йому модулем й легко проводити її модернізацію.

Система складається з головного модуля, чотирьох модулів-підпрограм, файла вхідних даних та файлів збереження результатів розрахунків. Структурна схема системи наведена на рис. 3.

Система може здійснювати дослідження явнополюсних вентильних реактивних двигунів з послідовними ємнісними нагромаджувачами в кожній секції, зі спільним

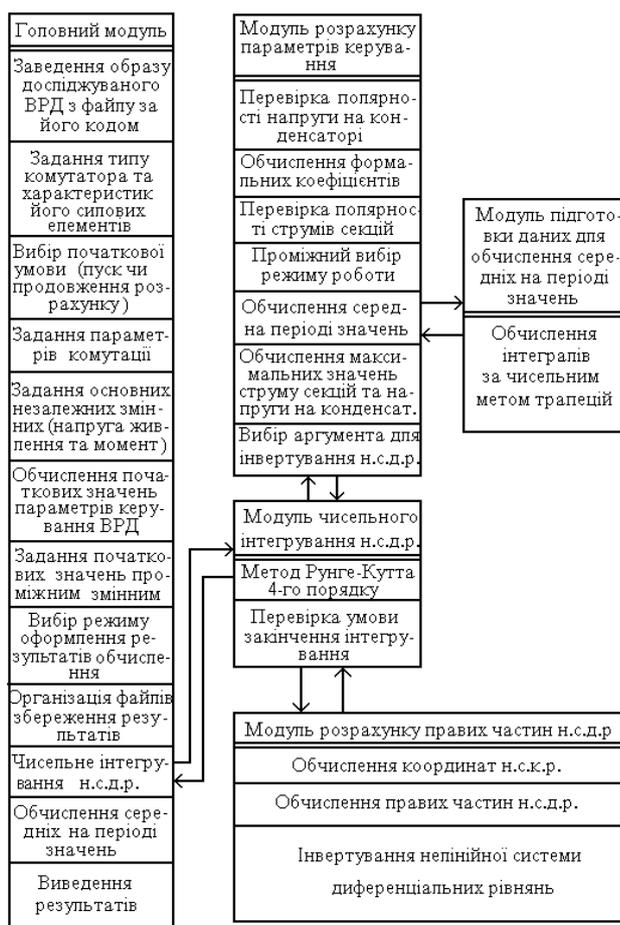


Рис. 3. Структура автоматизованої системи дослідження вентильних реактивних двигунів

нагромаджувачем й окремими підживлювальними ключами, зі спільним нагромаджувачем й спільним підживлювальним ключем, а також з паралельним ємнісним нагромаджувачем й двома останніми видами схем підживлення.

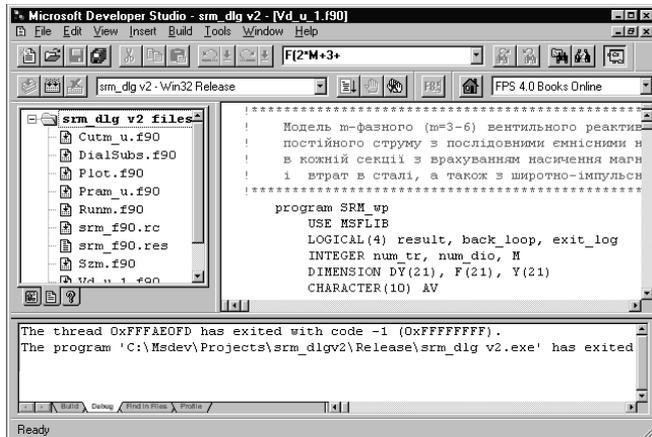
Кількість секцій досліджуваного ВРД може бути від трьох до шести.

Система реалізована у середовищі Fortran Power Station; орієнтована на користувача-електромеханіка, який не має спеціальної підготовки в галузі програмування; надає користувачу широкі допоміжні можливості роботи із вхідними даними, результатами розрахунку, а також візуалізації "осцилограм" струмів, електромагнітного моменту, частоти обертання, напруги на нагромаджувальному конденсаторі тощо.

Заведення значень необхідних параметрів здійснюється автоматично з вхідного файла, який готує автоматизована підсистема проектування вентильних реактивних двигунів [3].

Це, перш за все, коефіцієнти апроксимації кривих намагнічення ЕМП, активний опір секції, активний опір, який еквівалентує втрати в сталі, кількість секцій, момент інерції ротора, значення якого при необхідності може бути зміненим в процесі діалогу з системою.

Крім того, з цього ж файла зчитуються відомості про номінальні значення корисної потужності, частоти обертання, напруги та струму живлення досліджуваного двигуна, які використовуються для нагадування користувачу про об'єкт дослідження.

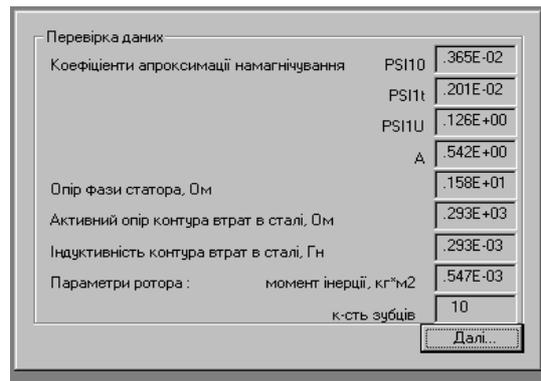
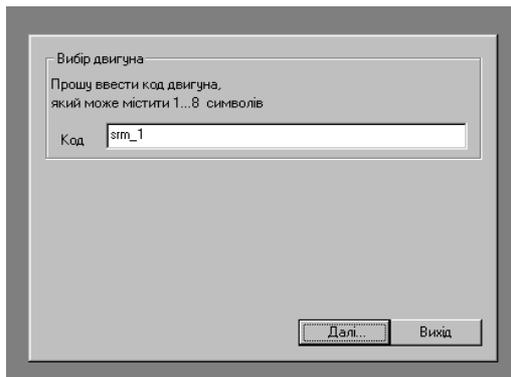


Вибір типу комутатора, кількості конденсаторів та схеми організації форсування струму секції здійснюється користувачем в діалоговому режимі роботи.

Система пропонує нульові значення початкової умови інтегрування диференціальних рівнянь, що дозволяє досліджувати перехідний процес пуску ВРД; при необхідності користувач може задати будь-які значення початкової умови.

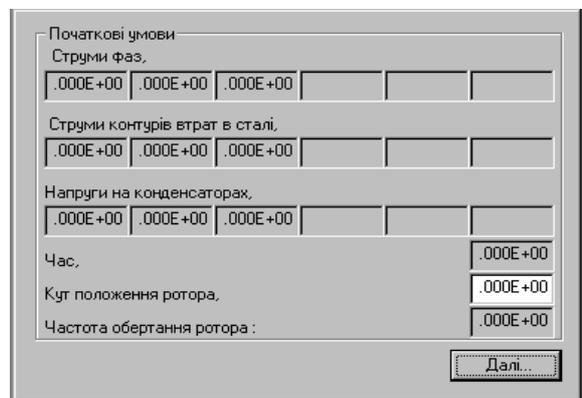
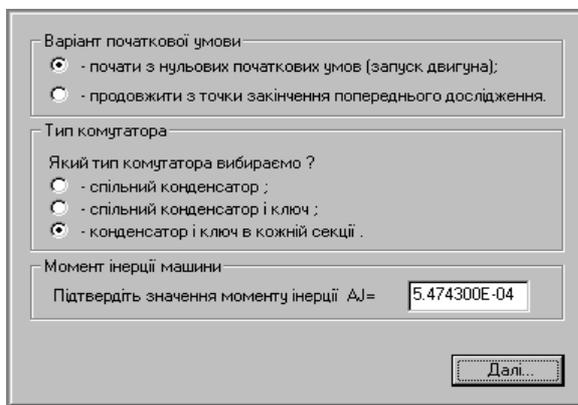
Напругу живлення, момент навантаження та крок інтегрування в часі користувач задає в діалоговому режимі.

Система містить й надає користувачу в інтерактивному режимі необхідний довідниковий матеріал, створює відповідні файли результатів розрахунку, що дозволяє



використовувати відповідні програмні пакети для візуалізації графічних залежностей з метою полегшення аналізу.

У процесі дослідження обчислюються миттєві значення струмів секцій, струмів Фуко в магнітопроводі, електромагнітного моменту, кута переміщення ротора, швидкості



обертання ротора, напруги на нагромаджувальному конденсаторі, фіксуються максимальні значення струму через силові напівпровідникові ключі й напруги на конденсаторі.

Система автоматично позначає вихід на квазіусталений режим роботи з одночасною організацією окремих файлів результатів обчислення миттєвих значень усталеного режиму роботи та обчисленням середніх за період повторення змінних значень струму секції, споживаного від мережі струму, втрат в міді, в комутаторі та в сталі, електромагнітного моменту, швидкості обертання ротора, споживаної та корисної потужностей, коефіцієнта віддачі.

Система може розраховувати статичні (робочі, механічну та регульовальну) характеристики ВРД. Для цього в ній передбачено окреме введення значення моменту статичного опору навантаження та напруги джерела живлення й можливості продовження розрахунку з будь-якої попередньо розрахованої точки. Для полегшення аналізу кожна точка статичної характеристики дописується у файл з образом машини.

Вибір силових транзисторів	
Струм секції при номінальному навантаженні	3.78 A
Напруга на накопичувальному конденсаторі	150.00 B
Тип силового транзистора	2T819
U <sub>ke,max</sub>	100 B
I <sub>k,max</sub>	15 A
Коефіцієнти апроксимації	
AT	0.055
UTO	0.1

Дал...

Вибір силових діодів	
Струм секції при номінальному навантаженні	3.78 A
Напруга на накопичувальному конденсаторі	150.00 B
Тип силового діода	D214
U <sub>ke,max</sub>	100 B
I <sub>k,max</sub>	10 A
Коефіцієнти апроксимації	
AIO	0.003
BE	8.11

Дал...

Головна програма, структура якої наведена на рис. 3, служить для:

- заведення образу електромеханічного перетворювача досліджуваного вентильного реактивного двигуна з файла, який підготовлений автоматизованою підсистемою проектування ВРД;
- задання типу комутатора (з послідовним чи паралельним ємнісним буфером обміну енергії, спільні чи окремі нагромаджувачі й підживлювальні ключі);
- вибору силових елементів комутатора й заведення їх характеристик;
- вибору режиму розрахунку (при першому сеансі дослідження — пуск з нульової початкової умови, при наступних — продовження розрахунку з попередньо розрахованої початкової умови або повторний пуск з нульової початкової умови);
- задання параметрів комутації (кут вмикання секції  $\beta$  та інтервал комутації секції  $\gamma$ );
- задання значень постійної напруги живлення та статичного моменту опору приводного механізму;
- обчислення початкових значень формальних коефіцієнтів  $K_j$  та  $K_{j+m}$ , які описують стан силових ключів комутатора;
- задання початкових значень проміжним (допоміжним) змінним, які керують режимом виведення результатів, визначають момент виходу на квазіусталений режим роботи тощо;
- вибору режиму збереження результатів обчислення;
- організації файлів збереження результатів обчислення;
- обчислення середніх на періоді значень;
- виведення та запис середніх на періоді значень.

Математична модель ВРД враховує втрати в силових елементах комутатора, для чого необхідні коефіцієнти апроксимації їх вольт-амперних характеристик. Система пропонує значення цих коефіцієнтів для сучасних, найбільш вживаних біполярних транзисторних ключів та силових напівпровідникових діодів у формі довідки на екрані дисплея.

Параметри комутатора	
Коефіцієнти апроксимації ВАХ транзисторів :	AT .700E-01
	UTO .600E+00
і діодів :	AIO .200E-03
	BE .108E+02
Ємність нагромаджуючого конденсатора :	CN .263E+02 мкФ
Параметри комутації :	BET .000E+00 ел.гр.
	GAMA .145E+03 ел.гр.

Далі...

Ці або інші значення вводяться з клавіатури комп'ютера на запит системи.

Як уже зазначалось вище, для чисельного інтегрування н. с. д. р., з огляду на характер досліджень, найбільш доцільним є метод установлення, який дає змогу виявити як максимальні значення координат, так і їх квазіусталені значення [4]. У цьому випадку відпадає необхідність пошуку таких початкових значень, які при чисельному інтегруванні на обмеженій кількості періодів дають періодичне значення. Отже, в головній

програмі передбачено задання нульових значень всіх координат при першому сеансі дослідження будь-якого взірця ВРД, тобто здійснюється його пуск шляхом вмикання постійної напруги до комутатора (можливе задання різних початкових значень кута взаємного положення ротора й статора з метою виявлення найгірших умов пуску). При наступних сеансах дослідження цього взірця можливим є продовження розрахунку з початковими значеннями координат, на яких було закінчено розрахунок в попередньому сеансі, або знову ж таки почати розрахунок з нульових значень. І в першому, і в другому випадках початкові значення координат записані у вхідному файлі й вводяться в програму автоматично.

Одним із найменш досліджених у вентильних двигунах взагалі, а у вентильних реактивних двигунах з буферами енергії особливо, є вплив кута початкового вмикання

Крок інтегрування :	.100E-05	с
Уставка виходу на квазіусталений режим :	.551E-02	
Номинальне значення напруги живлення :	.300E+02	В
Номинальне значення моменту навантаження :	.890E+00	Н*м
Задайте значення напруги живлення :	.300E+02	В
Задайте значення моменту навантаження :	.890E+00	Н*м

Далі... Спочатку Вихід

Підтвердіть величину ємності	26.30	мкФ
Підтвердіть інтервал комутації струму в секції	145.00	ел.гр.
Введіть кут випередження комутації	.00	ел.гр.
Введіть крок інтегрування за часом ( по замовчуванню dt = 1E-06)	.00E+00	с
Параметри широтно-імпульсного регулювання		
Введіть частоту імпульсів ( по замовчуванню - 10000 Гц)	.10E+05	Гц
Відносна ширина імпульса (0.05 .. 0.95)	.50	

Далі...

секції й інтервалу комутації на його енергетичні та якісні характеристики. Тому задання значень кута вмикання та інтервалу комутації секції в діалоговому режимі незалежно від інших параметрів є тим фактором, який полегшує й підвищує ефективність досліджень. У даній версії системи прийнято симетричні умови комутації, тобто для всіх секцій й зубців ротора параметри комутації ( $\beta$  й  $\gamma$ ) є однаковими, хоча дуже легко можна передбачити заведення різних значень  $\beta$  та  $\gamma$  для різних секцій і навіть зубців ротора, що дало б

можливість досліджувати вплив відхилення технології виготовлення елементів давача положення ротора на характеристики двигуна.

При створенні запропонованої математичної моделі прийнято допущення про живлення ВРД від джерела постійної напруги з нульовим внутрішнім опором. Величина напруги живлення задається користувачем в процесі діалогу і є сталою для одного сеансу дослідження.

Немає ніяких принципових перешкод для доповнення системи моделлю реального джерела живлення і, тим самим, дослідження конкретної системи електроприводу. Модель може бути реалізована у вигляді підпрограми обчислення змінної  $U$ .

Навантаження в математичній моделі представлено активним статичним моментом опору механізму  $M_c$ , який також задається користувачем на запит системи. При необхідності в рівнянні механічного руху навантаженого ротора вентильного реактивного двигуна момент навантаження може бути доповнений моментом "сухого" тертя  $M_c \cdot \text{Sign}(d\theta/dt)$ , а також моментом в'язкого тертя [5].

Для забезпечення автоматичної роботи системи необхідно контролювати входження двигуна в усталений режим роботи, вести облік кількості періодів зміни змінних для надання користувачу можливості зупинити обчислення через кожні п'ять періодів, закінчити роботу при досягненні усталеної роботи та запису результатів у призначений для цього файл. Все це здійснюється за допомогою спеціальних допоміжних змінних, початкові значення яким задає головна програма до виклику підпрограми інтегрування нелінійної системи диференціальних рівнянь.

Так, вихід на усталений режим роботи визначається за різницею між значенням струму першої секції в момент запирання її силового транзисторного ключа і таким же значенням на попередньому періоді зміни змінних. Ця різниця не перевищує значення  $\varepsilon$ , яке обчислюється як:

$$\varepsilon = 0.001 \cdot \frac{P \cdot \gamma \cdot m}{\eta \cdot U \cdot 2 \cdot \pi}, \quad (5)$$

де  $P, \gamma, m, \eta$  і  $U$  — номінальне значення вихідної потужності, інтервал комутації секції, кількість секцій, коефіцієнт віддачі та номінальне значення напруги живлення відповідно.

Залежно від значень параметрів ЕМП, ємності нагромаджувача енергії, напруги живлення та моменту навантаження вихід на усталений режим роботи буде здійснюватись протягом тривалого часу. З метою економії часу дослідження перехідних режимів роботи в системі передбачена можливість закінчення обчислень через кожні п'ять періодів за бажанням користувача.

Задані значення напруги живлення, статичного моменту навантаження, кроку інтегрування н. с. д. р., середні значення статичних характеристик ВРД та кінцеві значення координат н. с. д. р. записуються у файл, ім'я якого задає користувач у підсистемі проектування ВРД, і де зберігаються відомості про досліджуваний вентильний двигун (вхідний файл).



У цей же файл записуються середні значення основних величин, які характеризують статичний режим роботи електроприводу. Причому, якщо система працює в режимі продовження розрахунку, то відбувається накопичення даних статичних характеристик, що є зручним для їх побудови.

Для зручності проведення аналізу процесів доцільно використовувати прикладний пакет GRAPHER, який дозволяє подавати одержані результати цифрового моделювання у вигляді графічних залежностей.

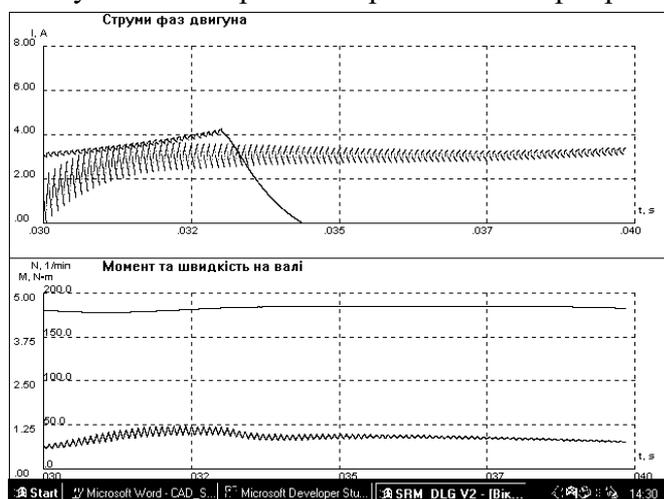
Систему можна використовувати не тільки для дослідження ВРД в миттєвих значеннях координат, а і для побудови статичних характеристик.

У цьому випадку немає необхідності в запам'ятовуванні миттєвих значень змінних, що займає значний обсяг на диску комп'ютера. На початку кожного сеансу роботи система налаштовується на бажаний режим запису результатів: записувати перехідний процес, записувати квазіусталений режим або зберігати тільки середні значення статичних характеристик електроприводу.

Для дослідження статичних режимів потрібно задати всі необхідні вхідні параметри, виконати обчислення аж до виходу на квазіусталений режим роботи, змінити один із незалежних параметрів (наприклад, величину статичного опору механізму на валі двигуна), продовжити обчислення й так далі. Необхідні для аналізу дані статичного режиму роботи будуть накопичуватись у вхідному файлі.

Система дає можливість досліджувати вплив розмаїтих схемних та конструктивних параметрів на робочі характеристики електроприводу без наявності фізичного взірця ВРД з високим ступенем адекватності.

На рис. 4 наведений приклад розрахунку миттєвих значень пускового та квазіусталеного режимів роботи електроприводу на базі трифазного ВРД з послідовним



*Рис. 4. Графіки миттєвих значень пускового та квазіусталеного режимів роботи електроприводу на базі трифазного ВРД з послідовним ємнісним буфером енергії*

ємнісним буфером енергії — струми секцій, струм, який врівноважує втрати в сталі, напруги на накопичувальних конденсаторах, електромагнітний момент та частота обертання.

В даній статті представлено автоматизовану систему дослідження ВРД, яка є завершеним комплексом, який дає змогу дослідити вплив різних факторів на динамічні та статичні характеристики, поведінку явнопольсних вентильних реактивних двигунів при їх роботі з різними схемами транзисторних комутаторів — як з послідовними, так і з паралельними ємнісними буферами енергії.

В системі обчислюються миттєві значення струмів секцій, струмів Фуко в магнітопроводі ЕМП, електромагнітного моменту, швидкості обертання ротора, кута взаємного положення зубцевих структур ротора й статора, напруг на нагромаджувальних конденсаторах, що дає можливість уже на стадії проектування без проведення високовартісних натурних експериментів правильно вибрати силові

напівпровідникові елементи комутатора, оцінити й вибрати шляхи зменшення пульсацій електромагнітного моменту.

Система обчислює також і середні на періоді зміни вектора інтегральних змінних значення координат, що дає змогу досліджувати й статичні характеристики електроприводу на базі ВРД.

Використання вхідного файлу, який створює автоматизована підсистема проектування ВРД і в якому міститься вся необхідна й достатня інформація про досліджуваний двигун (як новостворюваний, так і вже існуючий) значно спрощує, а отже, і прискорює процес дослідження.

Використання файлової системи виведення інформації дозволяє обробляти та подавати результати розрахунку у зручному для аналізу вигляді, використовуючи для цього відповідні стандартні програмні засоби.

1. Ткачук В., Осідач Ю. Транзисторні комутатори з ємнісними накопичувачами енергії // Вісн. ДУ "Львівська політехніка", 1997. — № 301. — С. 115–122. 2. Ткачук В.І., Каша Л.В. Вентильний реактивний двигун з широтно-фазовим керуванням та його математична модель. // Вісн. СНУ. – Луганськ, 2002. – № 1. 3. Ткачук В., Гайдук В., Каша Л. Автоматизована система проектування. // Вісн. СНУ. – Луганськ, 2002. – № 1. 4. Фильц Р.В. Математические основы теории электромеханического преобразования энергии. — К.: Наукова думка, 1979. — 208 с. 5. Осідач Ю.В., Ткачук В.І. Основи проектування вентильних реактивних двигунів // Праці НТК, присвяченої 100-річчю від дня народження Т.Губенка. — Львів, 1996. — с. 143-145.