

УДК621.313.1

## МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПРИВОДУ ЕЛЕКТРОПОБУТОВИХ ПРИСТРОЇВ У РЕЖИМАХ ІЗ НАВАНТАЖЕННЯМ, ЩО РІЗКО ЗМІНЮЄТЬСЯ

Біла Т. Я., Стаценко В. В., Терещук П. В.

Київський національний університет технологій та дизайну

*В статті наведено результати математичного моделювання роботи двигунів постійного струму та універсальних колекторних двигунів, що використовуються у електропобутовій техніці. Проведено аналіз перехідних процесів, які виникають при зміні моменту опору на валах двигунів. Наведено результати розрахунків ефективності використання електричної енергії двигунами під час цих процесів.*

**Ключові слова:** двигун постійного струму, універсальний колекторний двигун, електропривод, побутова техніка

Сьогодні електропобутові прилади є одними з найбільш розповсюджених у світі [1]. Їх використання дозволяє отримати важливі економічні та соціальні ефекти, а саме: збільшення продуктивності праці та зменшення фізичного навантаження на користувача. Історія розвитку цих приладів налічує більше півстоліття, але навіть зараз існує ряд проблем, пов'язаних з їх експлуатацією.

Однією з таких проблем є проблема енергоспоживання.

Більшість електропобутових приладів має відносно не велику електричну потужність та працює не цілодобово, але їх кількість вимірюється мільйонами, тому поліпшення енергетичних характеристик цього обладнання є актуальним завданням, особливо з урахуванням постійно зростаючої вартості енергоносіїв.

Аналіз ефективності роботи побутового обладнання необхідно проводити з урахуванням характеру навантажень, що діють на їх робочі органи. В багатьох випадках ці навантаження мають характер, що різко змінюється. Наприклад, під час роботи пылесосу навантаження залежить від типу поверхні, що обробляється, навантаження на робочі органи блендерів, міксерів, кухонних комбайнів, електричних м'ясорубок залежать від фізико-механічних характеристик продуктів, що змішуються або подрібнюються. Тому середній коефіцієнт корисної дії двигунів в такому обладнанні може суттєво відрізнятись від максимального можливого.

### **Постановка завдання**

Метою даної роботи є визначення зміни коефіцієнтів корисної дії електричних двигунів різних типів в залежності від моменту опору на їх валах. З цією метою

розроблено математичні моделі та проаналізовано перехідні процеси у двигунах двох типів: постійного струму, та універсального колекторного, що найбільш часто використовуються в малопотужному побутовому обладнанні (блендери, міксери, кавомолки).

### Об'єкти та методи досліджень

Об'єктом дослідження є електричні двигуни постійного струму (ДПС) та універсальні колекторні двигуни (УКД). Моделювання процесів, що виникають під час їх роботи із навантаженням, що змінюється, здійснюється за допомогою математичного моделювання та програмного комплексу Simulink.

### Результати досліджень та їх обговорення

Модель двигуна постійного струму можна представити за допомогою еквівалентної електричної схеми (рис.1, а), де позначено:  $L$  – індуктивність обмоток;  $R$  – активний опір кола якоря;  $U$  – напруга живлення;  $U_e$  – протиЕРС;  $i$  – струм кола якоря.

Обертальний момент такого двигуна визначається за формулою:

$$M = \frac{k_t}{R}(U - k_v \omega) - J\omega' - \lambda\omega,$$

де  $k_b$ ,  $k_v$  – конструктивні параметри двигуна;  $J$  – момент інерції ротора;  $\lambda$  – коефіцієнт демпфування.

Еквівалентна схема універсального колекторного двигуна наведена на рис.1,б.

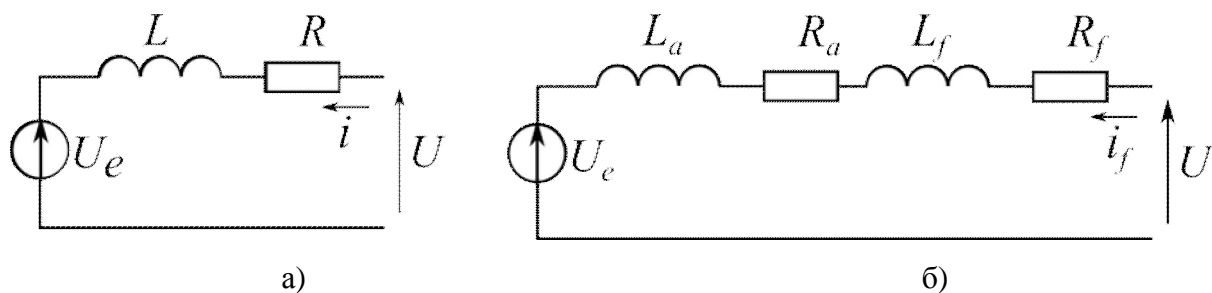


Рис. 1. Еквівалентні електричні схеми: а – двигуна постійного струму, б – універсального колекторного двигуна

До її складу входять:

$R_a$  – активний опір обмотки ротора;

$L_a$  – індуктивність обмотки ротора;

$R_f$  – активний опір обмотки збудження;

$L_f$  – індуктивність обмотки збудження.

Обертальний момент цього двигуна визначається за формулою:

$$M = L_{af} \left( \frac{U}{R_f + R_a + L_{af} \omega} \right)^2 - J\omega' - \lambda\omega,$$

де  $L_{af} = L_a + L_f$ .

Моделювання роботи двигунів здійснювалось у програмному середовищі Simulink [2] із використанням блоків, що входять до бібліотеки Simscape. Розроблена модель представлена на рис.2.

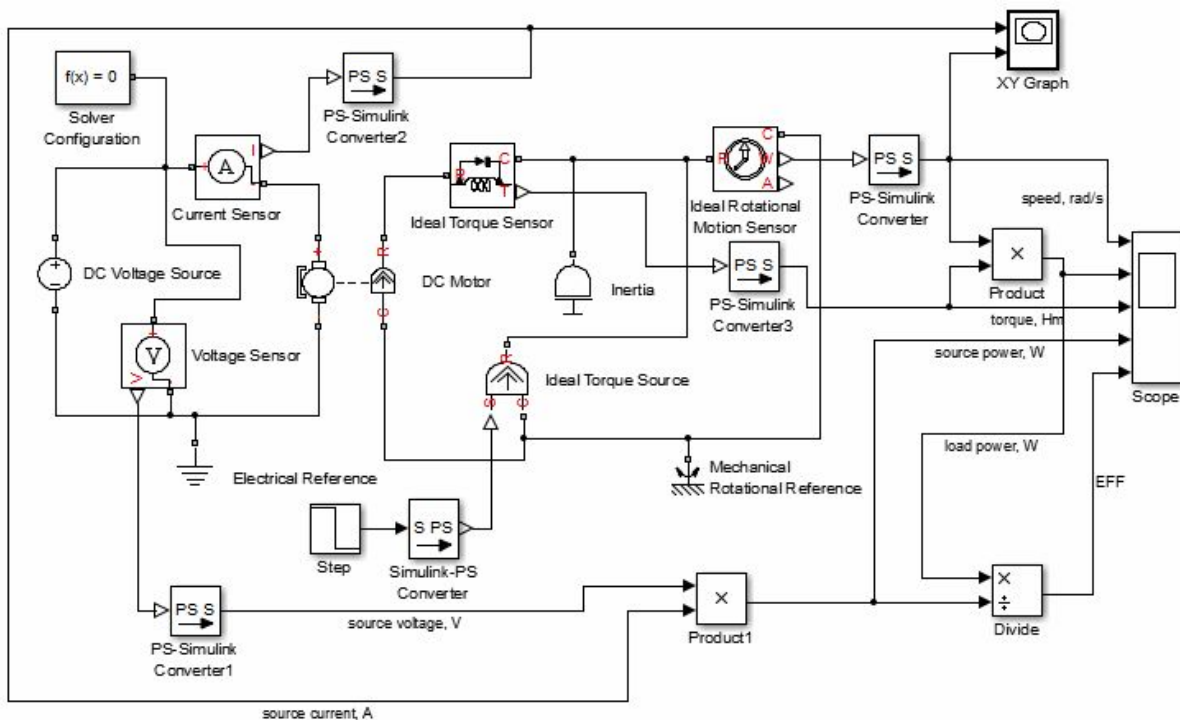


Рис. 2. Simulink-модель для розрахунку перехідних процесів в електроприводі

Її центральним елементом є двигун постійного струму (DC motor), в електричне коло якого включені: джерело постійної напруги (DC Voltage Source), амперметр (Current Sensor) та вольтметр (Voltage Sensor). Останні два елементи використовуються для визначення потужності, що споживається з мережі живлення. До механічного кола двигуна під'єднані: датчики обертального моменту (Ideal Torque Sensor) та швидкості обертання валу (Ideal Rotational Motion Sensor). Інерційний елемент (Inertia) задає момент інерції ротору двигуна. Блоки Step та Ideal Torque Source також під'єднані до механічного кола двигуна і призначені для моделювання зміни моменту навантаження. Всі вихідні сигнали, до яких відносяться: швидкість обертання ( $\omega$ ), корисна потужність ( $P_1$ ), обертальний момент ( $M$ ), потужність, що споживається з мережі живлення ( $P$ ),

коефіцієнт корисної дії (ККД), надходять на елемент Scope, що дозволяє переглядати графіки змінювання цих величин у часі. Крім того, сигнали швидкості обертання та струму в колі якоря подаються на входи блоку XY Graph, що дозволяє сформувати швидкісну характеристику електродвигуна.

Модель системи для визначення параметрів універсального колекторного двигуна відрізняється лише тим, що замість елемента DC Motor використовується Universal Motor.

Визначення зазначених характеристик здійснювалось для двигунів виробництва компанії Shenzhen Power Motor Industrial, які сьогодні широко застосовуються у побутовій техніці. Досліджувались параметри двигуна постійного струму PT5225230 та універсального колекторного двигуна PU7640220, їх паспортні характеристики наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Модель	Номінальна напруга U, В	Режим холостого ходу		Номінальний режим роботи			
		швидкість обертання n, об/хв	струм кола якоря I, А	швидкість обертання n, об/хв	струм кола якоря I, А	обертальний момент Т, мН*м	корисна потужність P <sub>1</sub> , Вт
<b>PT5225230</b>	220	9875	0,417	7266	1,749	321,4	244,5
<b>PU7640220</b>	220	18851	0,794	10582	1,71	192,2	213

Ці двигуни мають практично однакову вихідну потужність (різниця не перевищує 15%) та розраховані на використання в пристроях одного класу.

Моделювання роботи двигунів у режимах здійснювалось за рахунок стрибкової зміни моменту навантаження з 190 мН\*м до 400 мН\*м в момент часу t=5 с.

Результати моделювання наведено на рис.3. Для обох двигунів перехідні процеси мають аперіодичний характер, постійна часу менша у двигуна постійного струму.

Визначити середнє значення ККД під час перехідного процесу можна за формулою:

$$\eta = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} \eta(t) dt,$$

де  $t_0$ ,  $t_1$  – моменти початку та закінчення перехідного процесу, відповідно.

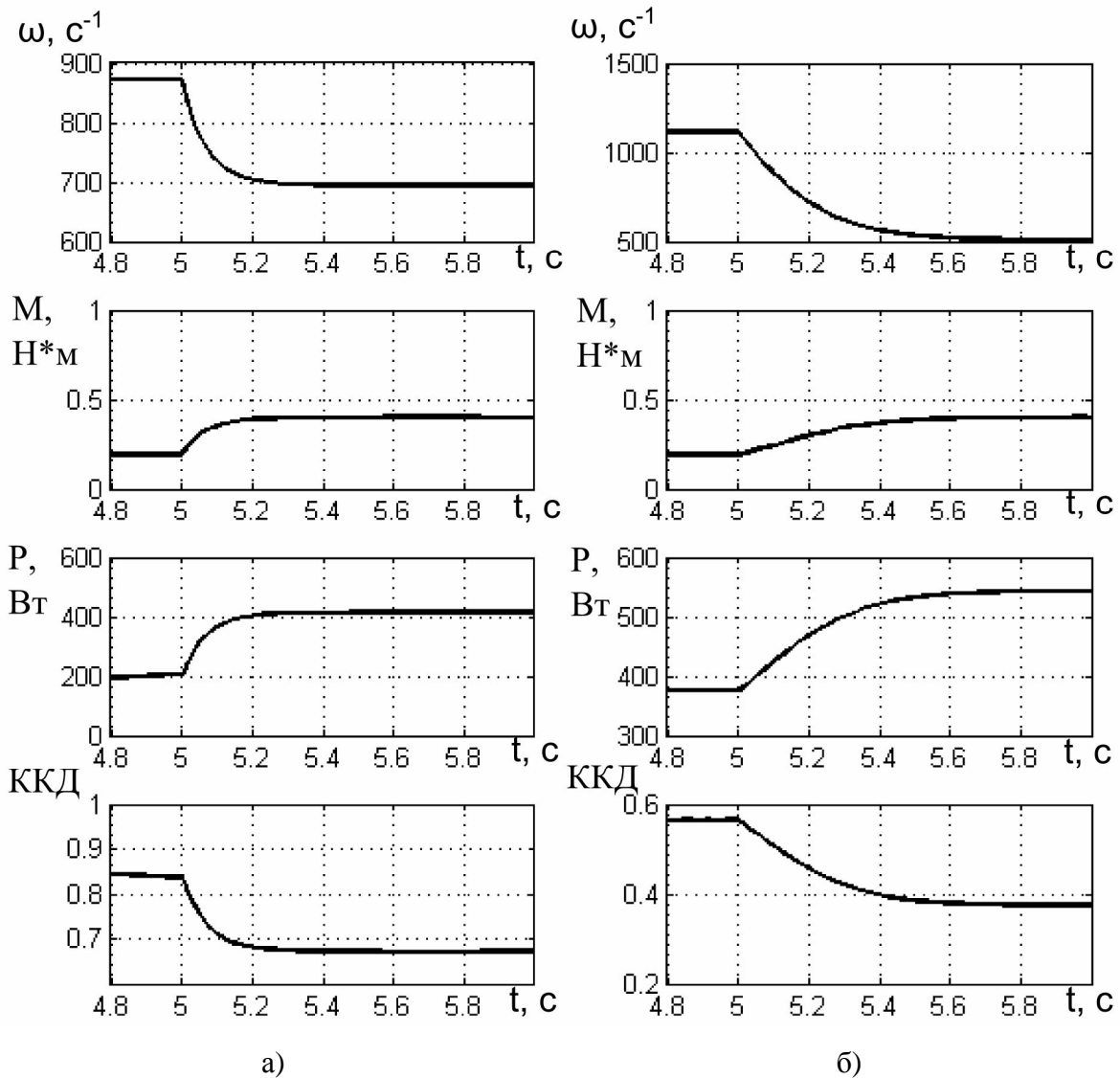


Рис. 3. Результати моделювання перебігу перехідних процесів при стрибковій зміні навантаження: а – двигун постійного струму, б – універсальний колекторний двигун

В даному випадку, двигун постійного струму має кращі динамічні характеристики, оскільки під час його використання забезпечується менша тривалість перебігу перехідного процесу та більший ККД. Водночас, необхідно враховувати, що використання двигунів постійного струму може виявитись дорожчим ніж використання універсальних колекторних двигунів, оскільки останні можуть працювати безпосередньо від мережі змінного струму, а ДПС потребує щонайменше випрямлення напруги живлення. Крім того, УКД має менший пусковий струм.

В результаті моделювання режимів пуску двигунів, що розглядаються, отримані наступні значення: ДПС – 5,7 А, УКД – 3,5 А, що суттєво збільшує привабливість УКД для використання у побутовій техніці.

### ***Висновки***

Отримані результати дають підставу для наступних висновків:

- 1) Запропоновані математичні моделі дозволяють досліджувати роботу приводу електропобутових пристроїв з урахуванням типів двигунів, їх параметрів та характеру навантаження.
- 2) Аналіз результатів моделювання роботи ДПС моделі РТ5225230 та УКД РУ7640220 показав, що ККД ДПС під час перехідного процесу змінюється з 87% до 67%, а відповідні значення для УКД – 56% та 37%. Ця інформація надає змогу оцінити витрати на експлуатацію обладнання.
- 3) Результати моделювання дозволяють кількісно оцінювати переваги тої чи іншої моделі електродвигуна у заданих умовах та виконувати синтез системи керування.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Електропобутова техніка: Навчальний підручник / [Петко І. В., Бурмістенков О. П., Кострицький В. В. та ін.]. – К.: КНУТД, 2009. – 204 с.
2. Дьяконов В. П. MATLAB 7.\* /R2006/R2007. Самоучитель / Дьяконов В. П. – ДМК Пресс, 2008. – 768 с.

**Белая Т. Я., Стаценко В. В., Терехий П. В.**

***Моделирование работы провода электробытовых устройств в режимах с резко переменной нагрузкой***

*В статье приведены результаты математического моделирования работы двигателей постоянного тока и универсальных коллекторных двигателей, которые используются в электробытовой технике. Проведен анализ переходных процессов, возникающих при изменении момента сопротивления на валах двигателей. Показаны результаты расчетов эффективности использования электрической энергии двигателями во время этих процессов.*

**Ключевые слова:** *двигатель постоянного тока, универсальный коллекторный двигатель, электропривод, бытовая техника*

**Bila T. J., Statsenko V. V., Terebiy P. V.**

***Modeling of household appliances in modes with bouncing load***

*The article presents the results of DC motors and universal commutator motors mathematical modeling, which are used in electrical engineering. The transient processes analysis that occurs when the load torque changes on engines shafts is shown. The calculations results of electric energy usage effectiveness in motors during these processes are shown.*

**Keywords:** *DC motor, universal brush motor, electrical drive, electric household appliances*