

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МОДЕРНІЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА З СИСТЕМОЮ МОДАЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА СПОСТЕРІГАЧЕМ СТАНУ**

*Представив д-р техн. наук, професор А.П. Фалендиш*

Автоматичне регулювання являє собою найбільш ефективний принцип автоматики при частковій автоматизації, коли технічні засоби автоматики здійснюють лише прості функції керування, з вимірюванням, аналізом, контролем різних фізичних величин відпрацьовування рішень, прийнятих оператором у вигляді установок, програм або інших сигналів керування.

Принцип зворотного зв'язку широко використовується в техніці. Він полягає в тому, що бажане оптимальне поведіння об'єкта (двигуна, електровоза) порівнюється з дійсним поведінням і помилка, що виявляється при цьому, використовується для коригування. Принцип дії будь-якої САР полягає в тому, щоб виявити відхилення регульованих величин, що характеризують роботу машини, або протікання процесу від необхідного режиму і при цьому впливати на машину або процес так, щоб усунути відхилення, що з'явилося. Автоматичне визначення необхідного режиму у вигляді законів зміни або деяких постійних значень регульованих величин з урахуванням мети керування не входить до завдання САР і виробляється не при частковій автоматизації, а на стадії комплексної автоматизації наступними рівнями САУ, для яких системи регулювання відіграють роль підсилювачів керуючих сигналів, сформованих у верхніх рівнях.

Критерієм ефективності керування багатьма виробничими агрегатами

сучасних технологій є швидкодія та точність роботи автоматизованих електромеханічних систем (ЕМС), тому що покращення цих показників забезпечує використання резервів збільшення якості продукції, що виробляються, їхньої продуктивності й призводить до зменшення капітальних витрат.

Найпоширенішими електроприводами (ЕП) постійного струму є ЕМС із послідовною корекцією. Їхній синтез ґрунтується на модульному й симетричному критеріях оптимального настроювання. Ці ЕМС одержали назву систем підлеглого регулювання (СПР).

Широко розвиваються в останні роки ЕМС, засновані на методах паралельної корекції, які одержали назву систем модального керування. Особливість цих систем полягає в тому, що вони будуються як одноконтурні системи зі зворотним зв'язком по вектору стану. При цьому їхня швидкодія задається величиною середньгеометричного кореня, що лежить в основі синтезу коефіцієнтів модального зворотного зв'язку шляхом прирівнювання характеристичного полінома проектованої системи до стандартного нормованого розподілу.

Важливо зазначити, що застосування методів модального керування відбувається у випадку синтезу системи за керуючим сигналом. Передбачається, що керуючий сигнал або не впливає на алгоритм роботи системи управління, або відхилення координат системи при дії збурюючих

факторів незначні порівняно з динамічними показниками при зміні керуючого сигналу.

Передаючі функції замкнутих систем за керуючим сигналом відрізняються від передаючих функцій за керуванням тим, що в їх чисельнику замість постійного коефіцієнта отримується поліном, який характеризується декількома нулями. Тому різні варіанти розподілу коренів характеристичного рівняння, що забезпечують синтез систем із заданими якостями за керуванням, не дозволяють синтезувати системи за керуючим впливом з необхідними показниками: припустимим динамічним просіданням швидкості, часом досягнення її максимуму й часом відновлення швидкості. Електроприводи з системою модального управління (СМУ) є статичними до впливу, що збурює, тобто мають статичну помилку.

Зазначимо, що одним з основних недоліків СМУ є необхідність в інформації про повний вектор керованих координат. У випадку неможливості одержання цієї інформації застосовують ідентифікатори стану або, як їх ще називають, спостерігачі стану. Спостерігачі стану (СС) повного порядку являють собою лінійну систему того самого порядку, що й ЕП із системою керування. Для збільшення швидкості та точності роботи ЕМС цими методами необхідна розширена інформація про поведінку координат системи регулювання та діючого на неї впливу, що забезпечить відчутний ефект збільшення якості функціонування ЕП.

Подоланню в СПР, зазначеному вище, протиріччя між точністю роботи й швидкістю допомагає сучасна теорія й техніка керування. Зокрема, досить корисним для вдосконалення ЕП виявляється використання методу простору стану, фундаментальних понять керованість та спостережуваність, керування за вектором стану та застосування спостерігачів стану. Останні

відкривають можливість вирішення завдань ідентифікації неспостережуваних координат об'єкта, ідентифікації основного збурювання, що діє на ЕП із впливом в'язкого тертя будь-якого знака в механізмі, а також, що є головним, сприяють доданню системі нових динамічних властивостей.

Відсутність широкого впровадження СС пов'язано, головним чином, із труднощами їхньої реалізації, що обумовлена такими факторами:

1. Відносна ускладненість структури СС повного порядку, починаючи з третього.

2. Значна величина коефіцієнтів коригувального модального зв'язку в спостерігачі, реалізація яких на сучасній мікросхематичній базі є важкою задачею.

3. Імовірність при великих вхідних впливах насичення операційних підсилювачів з резисторно-ємнісними зв'язками, що становлять основу СС, реалізованих в аналоговому варіанті.

4. Захист від перешкод, що при більших коефіцієнтах корекції знижується, але зростає при збільшенні порядку спостерігача в силу підвищення його фільтруючої дії.

Для синтезу модального регулювання зі спостерігачем стану використовується програмне забезпечення: Matlab 6.5. На рис. 1 наведена математична модель синтезованої системи.

Розрахунок параметрів моделі.

Обираємо вектор стану

$$X = \begin{bmatrix} f \\ M \\ w \end{bmatrix}$$

та вектор управління  $U = |U_z|$ .

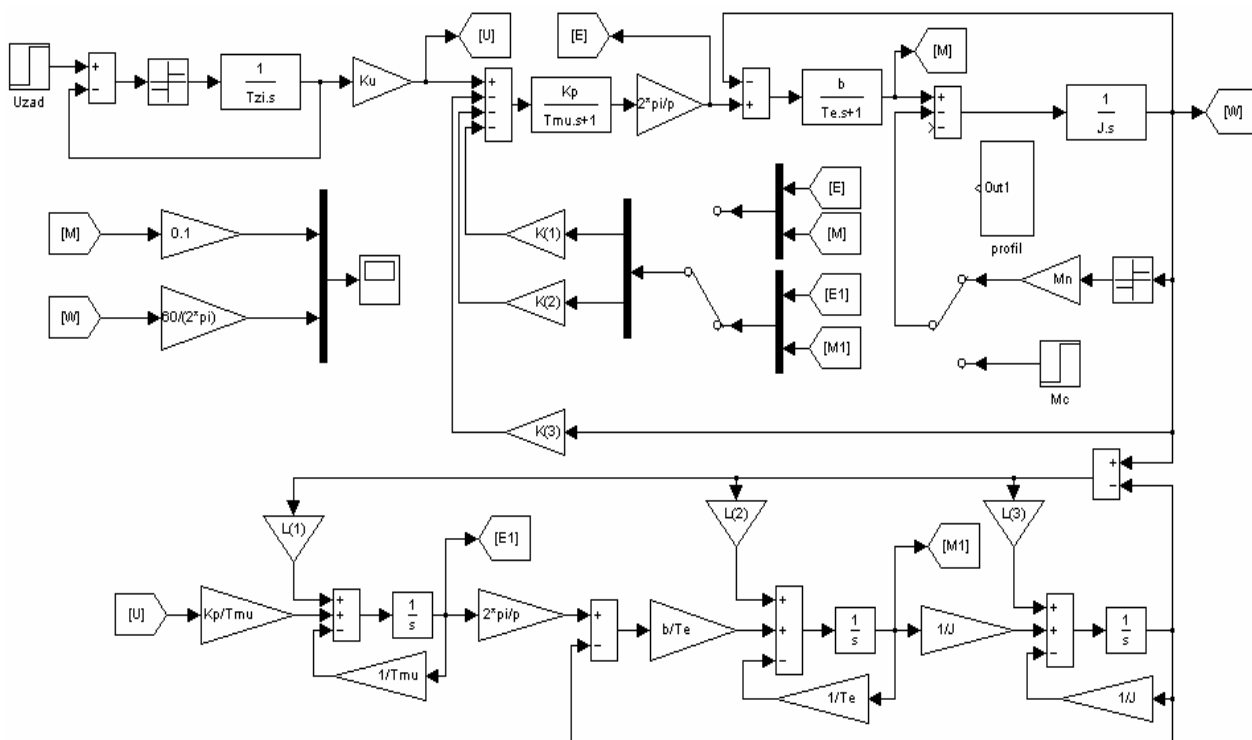


Рис. 1. Загальний вид моделі асинхронного двигуна з модальним регулятором та спостерігачем стану

З моделі знаходимо рівняння для складання системи диференціальних рівнянь:

$$1. T\mu \frac{df}{dt} + f = Kp \cdot Uz. \quad (1)$$

$$2. Te \frac{dM}{dt} + M = (w_0 - w)\beta. \quad (2)$$

$$3. J \frac{dw}{dt} = M. \quad (3)$$

Складаємо систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{df}{dt} = \left[ -\frac{1}{T\mu} f + 0M + 0w \right] \\ \frac{dM}{dt} = \left[ \frac{2 \cdot \pi \cdot \beta}{p \cdot Te} f - \frac{1}{Te} M - \frac{\beta}{Te} w \right] \\ \frac{dw}{dt} = \left[ 0f + \frac{1}{J} M + 0w \right] \end{cases} + \begin{cases} \left[ \frac{Kp}{T\mu} Uz \right] \\ \left[ 0 Uz \right] \\ \left[ 0 Uz \right] \end{cases}. \quad (4)$$

Векторно-матрична система рівняння

$$\begin{cases} \dot{X} = AX + BU \\ Y = CX + DU \end{cases}, \quad (5)$$

де A – матриця станів; B – матриця управління; C – матриця виходу; D – матриця безінерційних зв'язків; A' та C' – обернені матриці.

$$A = \begin{vmatrix} -\frac{1}{T\mu} & 0 & 0 \\ \frac{2 \cdot \pi \cdot \beta}{p \cdot T_e} & -\frac{1}{T_e} & -\frac{\beta}{T_e} \\ 0 & \frac{1}{J} & 0 \end{vmatrix} \text{ та } B = \begin{vmatrix} \frac{K_p}{T\mu} \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}. \quad (6)$$

Передавальна функція модального регулятора має вигляд фільтра Батерворта:

$$W(p) = \frac{1}{1p^3 + 2p^2 + 2p + 1}. \quad (7)$$

Коренем рівняння для модального регулятора буде  $\Omega_{0mp}=100$  рад/с, а для спостерігача стану  $\Omega_{0cc}=3 \cdot \Omega_{0mp}=300$  рад/с.

При розробленні моделі спочатку вводимо вихідні дані для розроблення

математичної моделі асинхронного двигуна з модальним регулятором та спостерігачем стану. Нижче наведений блок введення вихідних даних:

```

%Введення початкових даних моделювання:
p=6;
f1=55.9;
Pn=1200000;
U1=1080;
r1=0.0338;
r2=0.0221;
x1=0.2276;
x2=0.2138;
wn=pi.*1138/30;
J=107.5;
Tzi=0.1;
Tmu=0.004;
Ku=70;

%Розрахунок додаткових даних моделювання:
xk=x1+x2;
Mn=Pn./wn;
w0=2.*pi.*f1./p;
Kp=f1./10;
b=abs(-Mn./(w0-wn));
sk=r2./sqrt(r1.^2+xk.^2);
Te=1./(w0.*sk);
    
```

Розрахунок матриць, які використовуються при визначенні коефіцієнтів підсилення модального регулятора (K1, K2, K3) та коефіцієнтів спостерігача стану (L1, L2, L3):

```

%Розрахунок матриць стану:
A=[-1./Tmu 0 0; (2.*pi.*b)/(p.*Te) -1./Te -b./Te; 0 1./J 0];
B=[Kp./Tmu; 0; 0];
C=[0 0 1];
D=[0];
    
```

## Електричний транспорт

```
%Розрахунок коефіцієнтів модального регулювання:  
P1=100  
F1=[1*P1^0 2*P1^1 2*P1^2 1*P1^3]  
K=place(A,B,roots(F1))  
%Розрахунок коефіцієнта корекції спостерігача:  
P2=300  
F2=[1*P2^0 2*P2^1 2*P2^2 1*P2^3]  
L=place(A',C',roots(F2))
```

Розрахунок здійснюється за допомогою функції Place. Після підключення підсистеми формування шляху, яка була описана вище, отримуємо частоту

обертання та момент двигуни (рис. 2) і швидкість електровоза з вантажним поїздом вагою 4500 т, яка показана на рис. 3.

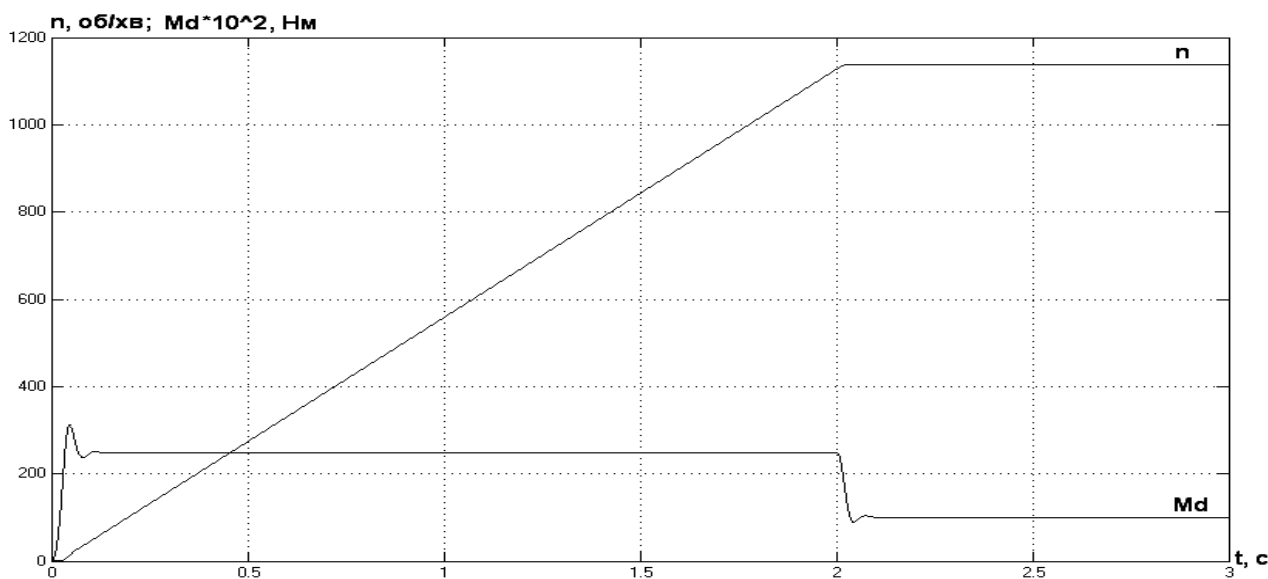


Рис. 2. Осцилограма прямого пуску двигуна

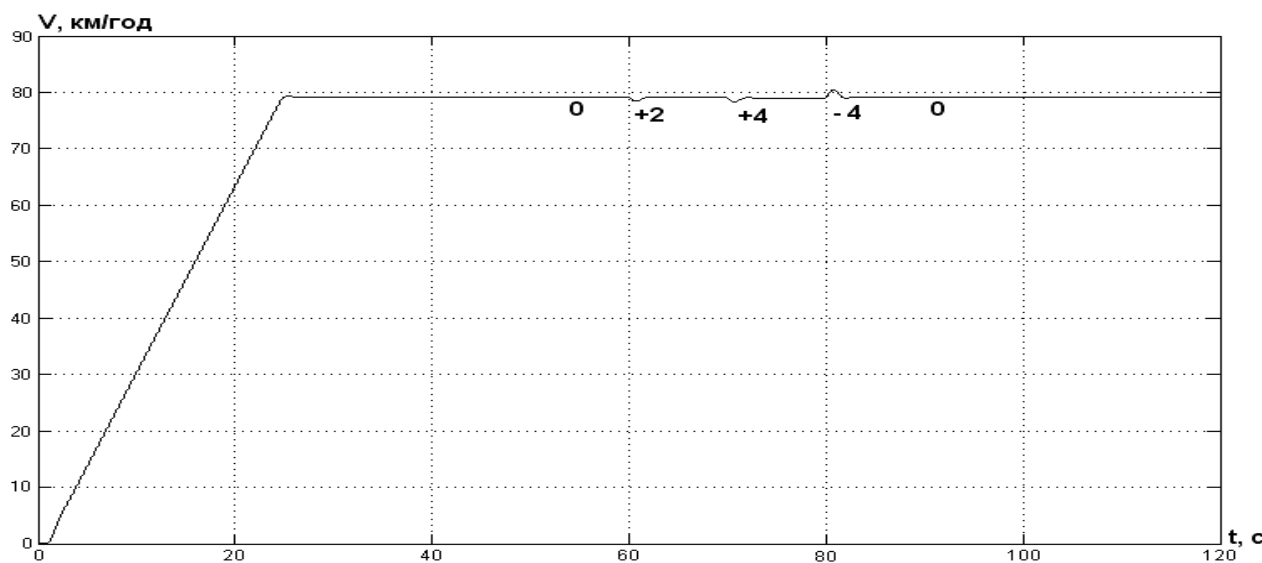


Рис. 3. Осцилограма лінійної швидкості модернізованого електровоза з модальним регулятором та спостерігачем стану на профілі (0 +2 +4 -4 0)

### Список літератури

1. Герман-Галкин, С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем [Текст] / С.Г. Герман-Галкин, принт, 2007. – 320 с.
2. Концепція та Програма реструктуризації на залізничному транспорті України [Текст]. – К.: НАБЛА, 1998. – 145 с.
3. Чиликин, М.Г. Основы автоматизованого електропривода [Текст] / М.Г. Чиликин [и др.]. – М.: Энергия, 1974. – 567 с.
4. Ключев, В.И. Теория электропривода [Текст]: учеб. для вузов / В.И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
5. Розенфельд, В.Е. Теория электрической тяги [Текст] / В.Е. Розенфельд. – М.: Транспорт, 1983. – 328 с.
6. Гусевскій, Ю.І. Тягові статичні перетворювачі [Текст]: метод. вказівки / Ю.І. Гусевскій, А.В. Бондаренко. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – 32 с.
7. Коновалов, Є.В. Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до побудови, викладення та оформлення [Текст]: навч. посібник / Є.В. Коновалов, Л.М. Козар. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – 36 с.

**Ключові слова:** модальний регулятор, спостерігач стану, електромеханічна система, електропривід, система корекції, математична модель.

### Анотації

Використання модального регулятора зі спостерігачем стану замість традиційної системи підпорядкованого регулювання забезпечує більшу швидкодію та точність, а також покращує динамічні характеристики об'єкта керування.

Впровадження систем з модальним регулятором і спостерігачем стану значно підвищує надійність роботи системи керування асинхронним ТЕД електрорухомого складу та забезпечує економію електроенергії на тягу.

Систему керування необхідно реалізовувати в формі інтегральних схем з мікроконтролерним регулятором.

Использование модального регулятора с наблюдателем состояния вместо традиционной системы подчиненного регулирования обеспечивает большее быстродействие и точность, а также улучшает динамические характеристики объекта управления.

Внедрение систем с модальным регулятором и наблюдателем состояния значительно повышает надежность работы системы управления асинхронным ТЭД электроподвижного состава и обеспечивает экономию электроэнергии на тягу.

Систему управления необходимо реализовывать в виде интегральных схем с микроконтроллерным регулятором.

The use of modal regulator with the observer of the state instead of the traditional system of the inferior adjusting provides a greater fast-acting and exactness, and also improves dynamic descriptions of management object.

Introduction of the systems with a modal regulator and observer of the state considerably promotes reliability of work of control system asynchronous hauling electric motor of electromovable composition and provides the economy of electric power on traction.

Control system must be realized as the integrated circuits with microcontrol regulator.