

УДК 681.584 (045)

Ю.Т. Гуз, канд. техн. наук, доц.
 С.В. Єнчев, канд. техн. наук, доц.
 А.О. Сильнягін, канд. техн. наук, доц.
 І.В. Прохоренко, асп.
 Т.А. Мазур, асп.

ПРИСТРІЙ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МЕХАНІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СИСТЕМ

Розроблено метод та структурну схему пристрою ідентифікації механічної характеристики реле постійного струму з ненасиченою магнітною системою.

It's developed a method that structural the scheme of the identification device the mechanical characteristic of the relay of a direct current with no saturated magnetic system.

Постановка проблеми

Постійні ускладнення технічних об'єктів авіаційного обладнання та підвищення рівня автоматизації деяких процесів керування ставлять на перший план проблему оптимальної організації експлуатації електромагнітних систем (ЕМС). Важливу роль у цьому напрямі приділяють визначенню технічного стану (ТС) ЕМС, параметри яких унаслідок впливу зовнішніх та внутрішніх факторів змінюються з часом [1]. Відсутність автоматизованих засобів контролю (АЗК) та автоматизованого діагностування електромагнітного комутаційного обладнання зумовлюють економічні та технічні ускладнення у процесі їх експлуатації і ремонті. Таким чином, створення АЗК з підвищенням вірогідності процесів діагностування ЕМС повітряних кораблів (ПК) є актуальним завданням [2].

Аналіз останніх досліджень

Аналіз останніх досліджень і публікацій [1; 3] вказує на те, що відомі засоби та методи діагностування ЕМС не достатньо автоматизовані і дозволяють досліджувати лише окремі складові процесу керування ТС ЕМС (струм, частоту напружень спрацювань пружини тощо) для конкретного типорозміру ЕМС та невиправдану громіздкість, оцінювання елементів ЕМС здійснюється в обов'язковому порядку виробу. Точність, продуктивність та оцінювання ТС ЕМС таких процесів характеризуються низьким рівнем, завдяки чому знижується показник надійності експлуатації ЕМС. Існуючі технології процесу діагностування ЕМС не мають змоги повно оцінювати діагностичні параметри за допомогою параметрів динамічних властивостей струму та забезпечувати експлуатацію авіаційного обладнання прогресивними формами обслуговування та підвищення рівня безпеки польотів ПК [2].

Формулювання мети статті

У межах проблеми мету роботи сформулюємо як розроблення методу та структурної схеми пристрою з ідентифікації механічної характеристики реле постійного струму з ненасиченою магнітною системою на базі аналізу динамічних властивостей струму в обмотці під час перехідних процесів.

Основні аспекти проблеми

Пристрій ідентифікації механічної характеристики ЕМС належить до діагностичного обладнання комутаційної апаратури, а точніше – до пристроїв ідентифікації (визначення параметрів) механічної характеристики реле постійного струму як з поворотним (клапанного типу), так і з поступально рухомим якорями, у яких магнітна система ненасичена, тобто для ідентифікації механічної характеристики реле з лінійною ЕМС.

Наведемо далі теоретичне обґрунтування методу ідентифікації механічної характеристики реле постійного струму.

Рівняння динаміки електромагнітів клапанного типу (з поворотним якорем) у разі лінійної (ненасиченої) ЕМС та вмиканні реле на постійну напругу мають вигляд [2; 4]:

$$U = iR + \frac{d\psi}{dt}; \quad (1)$$

$$\psi^2 = C \frac{i}{\varphi_0 - \varphi}; \quad (2)$$

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} + Q \frac{d\varphi}{dt} + M_{\text{пр}}(t) = \frac{\varphi^2}{2C}, \quad (3)$$

де U – значення напруги джерела живлення;

i – миттєве значення струму в обмотці реле;

R – активний опір обмотки реле;

ψ – магнітне потокозчеплення;

C – конструктивний коефіцієнт реле [3];

φ – кут повороту якоря реле клапанного типу;
 J – момент інерції якоря;
 Q – коефіцієнт лінійного тертя, у лінійному випадку що залежить від i і φ :
 $Q = 2\varepsilon J$;
 $\varepsilon = 0,6K_{з.зр}^2$;

$K_{з.зр}$ – коефіцієнт запасу за струмом зрушення;
 $M_{пр}(\varphi)$ – протидіючий момент як функція кута повороту;
 $\frac{\Psi^2}{2C} = M_e$ – електромагнітний обертовий момент у реле [4].

Для реле з поступально рухомим якорем кут координата φ замінюється на лінійну координату x .

Розв'язок рівняння (3) стосовно $M_{пр}(t)$ має вигляд [2]:

$$M_{пр}(t) = \frac{\Psi^2}{2C} - J \frac{d^2\varphi}{dt^2} - Q \frac{d\varphi}{dt}. \quad (4)$$

Для визначення $M_{пр}(t)$ потрібно мати в своєму розпорядженні залежності:

$$\psi(t); \quad \frac{d^2\varphi}{dt^2}; \quad \frac{d\varphi}{dt}.$$

Розв'язуючи рівняння (1) щодо потокозчеплення ψ , отримуємо

$$\psi = \int (U - iR) dt. \quad (5)$$

З рівняння (2) випливає

$$\varphi = \varphi_0 - \frac{Ci}{\Psi} = \varphi_0 - \frac{Ci}{\int (U - iR) dt}. \quad (6)$$

Знайдемо першу та другу похідні кута повороту якоря за часом

$$\frac{d\varphi}{dt} = - \frac{C \frac{di}{dt} \int (U - iR) dt - i(U - iR)}{\left[\int (U - iR) dt \right]^2}; \quad (7)$$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{2C[(U - iR)^2(U - iR) \frac{di}{dt} - (U - iR)^2 i \int (U - iR) dt]}{\left[\int (U - iR) dt \right]^4} - \frac{C \left\{ \frac{d^2i}{dt^2} \left[\int (U - iR) dt \right]^3 + iR \frac{di}{dt} \left[\int (U - iR) dt \right]^2 \right\}}{\left[\int (U - iR) dt \right]^4}. \quad (8)$$

Електромагнітний момент M_e з урахуванням виразу (5) має вигляд

$$M_e = \frac{\left[\int (U - iR) dt \right]^2}{2C}. \quad (9)$$

Оскільки зрушення якоря реле відбувається в період $t_{зр} \dots t_{уд}$ ($t_{зр}$ – час зрушення, $t_{уд}$ – час удару), то невизначений інтеграл треба замінити на визначений з межами інтегрування $t_{зр} \dots t_{уд}$.

Підставляючи в рівняння (4) вирази (7)–(9), отримуємо алгоритм обчислення залежності протидіючого моменту від часу у вигляді

$$M_{пр}(t) = \frac{\left[\int_{t_{зр}}^{t_{уд}} (U - iR) dt \right]^2}{2C} + \frac{QC \frac{di}{dt} \int_{t_{зр}}^{t_{уд}} (U - iR) dt - i(U - iR)}{\left[\int_{t_{зр}}^{t_{уд}} (U - iR) dt \right]^2} - 2JC \frac{\left\{ \left[\int_{t_{зр}}^{t_{уд}} (U - iR) dt \right]^2 (U - iR) \left[\frac{di}{dt} - i \int_{t_{зр}}^{t_{уд}} (U - iR) dt \right] \right\}}{\left[\int_{t_{зр}}^{t_{уд}} (U - iR) dt \right]^4} - 2JC \frac{\frac{d^2i}{dt^2} \left[\int_{t_{зр}}^{t_{уд}} (U - iR) dt \right]^3 + iR \frac{di}{dt} \left[\int_{t_{зр}}^{t_{уд}} (U - iR) dt \right]^2}{\left[\int_{t_{зр}}^{t_{уд}} (U - iR) dt \right]^4}. \quad (10)$$

Аналогічно залежність кута повороту від часу (6) набуває вигляду

$$\varphi = \varphi_0 - \frac{Ci}{\int_{t_{зр}}^{t_{уд}} (U - iR) dt}, \quad (11)$$

отримуємо алгоритм (11) обчислення кута повороту якоря реле від часу.

Таким чином, маючи залежність струму від часу в обмотці реле в проміжку від моменту зрушення до моменту удару, за постійної U , відомих C, J, Q з виразів (10) і (11) можемо побудувати залежності протидіючого моменту і кута повороту якоря від часу.

Механічна характеристика – це залежність протидіючого моменту від кута повороту якоря $M_{пр}(\varphi)$. Її можна отримати, виключивши час t як параметр з рівнянь (10) і (11). Зробити це аналітичним шляхом досить складно. Зручніше розв'язати цю задачу з використанням числового методу.

Для цього необхідно діапазон зміни кута φ розбити на n рівних інтервалів (рис. 1, крива 2).

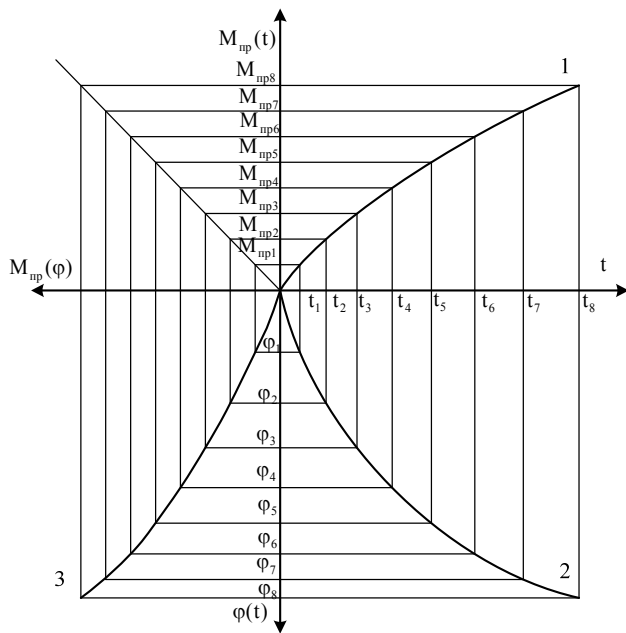


Рис. 1. Визначення механічної характеристики реле постійного струму:

- 1 – крива зміни протидіючого моменту від часу;
- 2 – залежність кута повороту від часу;
- 3 – механічна характеристика

У цьому випадку $n = 8$.

Потім визначити моменти часу $t_0...t_8$, що відповідають значенням $\varphi_0... \varphi_8$ та визначити значення $M_{пр}(t_0)...M_{пр}(t_8)$ (рис. 1, крива 1).

По осі абсцис у відповідному масштабі відкладаються значення $\varphi_0... \varphi_8$, а по осі ординат – $M_{пр}(t_0)...M_{пр}(t_8)$.

Перетин перпендикулярів до осей з точок φ_i і $M_{пр}(t_i)$ дає 8 точок на графіку шуканої залежності $M_{пр}(\varphi)$ (рис. 1, крива 3).

Блок-схему пристрою показано на рис. 2.

Стабілізоване джерело живлення постійної напруги U своїм сигнальним виходом сполучено з першим входом двовходового суматора.

Силовий вихід джерела 2 з'єднано з послідовно сполученими обмоткою випробуваного реле 8 (R – активний опір обмотки реле) і прецизійним опором r . Напруга, що знімається з опору r пропорційна струму i

$$U = ir.$$

Напруга U прикладається на вхід масштабувальної ланки 9 з коефіцієнтом передачі $\frac{R}{r}$ так, що на його виході напруга

$$U_M = ir \frac{R}{r} = iR.$$

Тобто напруга на виході масштабувальної ланки дорівнює падінню напруги на активному опорі обмотки випробуваного реле. Ця напруга iR прикладається до другого входу суматора 6.

На суматорі виконується операція віднімання і результатом на його виході є напруга $U - iR$. Цей сигнал надходить на сигнальний вхід інтегратора 3, вихід якого сполучений з входом обчислювача заданого алгоритму для залежності протидіючого моменту від часу 13.

Вихід масштабувальної ланки 9 сполучений з входом першого диференціатора 4, вихід якого сполучений з входом другого диференціатора 5, 12, обчислювачів 12, 13. Вихід диференціатора 5 сполучений з входом обчислювача 13. Вихід масштабувальної ланки 9 сполучений також з входом обчислювача 13 і входом обчислювача 12 заданого алгоритму залежності кута повороту якоря від часу. Вихід суматора 2 сполучений з другим входом обчислювача 13. Вихід масштабувальної ланки 9 також сполучений з входом пристрою 7 визначення моменту зрушення якоря, вихід якого сполучений з пусковими входами інтегратора 3, першого 4 і другого 5 диференціаторів. Також вихід масштабувальної ланки 9 поданий на вхід пристрою 10 визначення моменту удару якоря в обмежувач, вихід якого зв'язаний зі стоповими входами інтегратора 3, першого 4 і другого 5 диференціаторів.

Конструктивні параметри реле зберігаються в блоці задання конструктивних коефіцієнтів 11, що відповідними виходами сполучений з входами обчислювачів 12, 13, виходи яких сполучені відповідно з входами обчислювача 14 залежності протидіючого моменту від кута повороту якоря. Вихід обчислювача сполучений з входом пристрою 15 відображення результатів ідентифікації. Пристрій ідентифікації механічної характеристики реле працює таким чином.

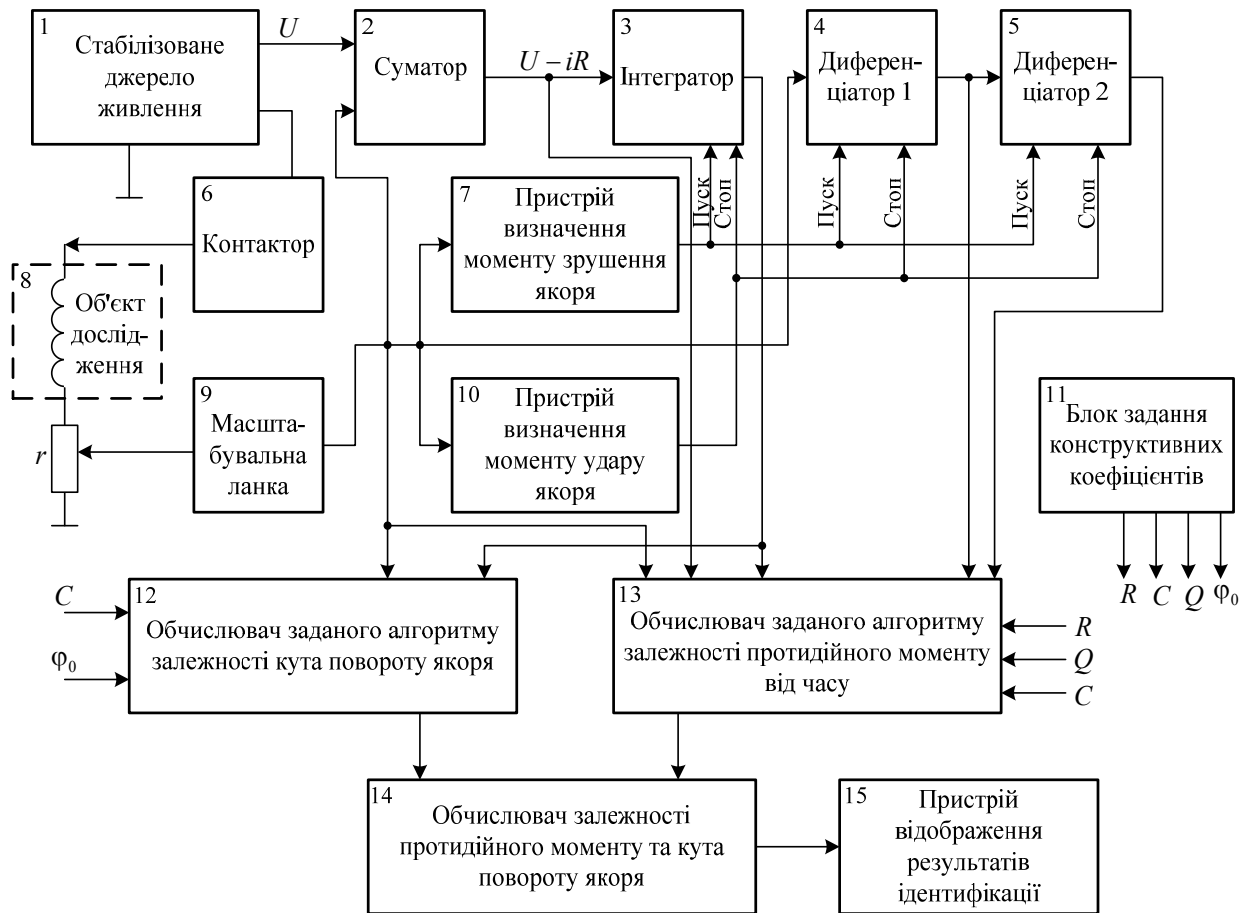


Рис. 2. Структурна схема пристрою ідентифікації механічної характеристики реле

Сигнальний вихід джерела живлення 1 подає на перший вхід суматора 2 напругу U .

Після вмикання контактора 6 по обмотці випробуваного реле 8 і прецизійному опорі r протікає перехідний струм i .

З потенціометра r знімається напруга ir , що пропорційна миттєвому значенню перехідного струму i в обмотці реле.

У масштабувальній ланці 9 з коефіцієнтом передачі R/r цей сигнал посилюється в R/r разів.

Сигнал iR надходить на входи всіх елементів згідно зі схемою на рис. 2.

На виході суматора 2 існує сигнал $U - iR$ (виконується умова $R \gg r$). При цьому до моменту $t_{зр}$ інтегратор 3 і обидва диференціатори перебувають у режимі «очікування» пускових сигналів від пристрою 7.

У момент зрушення якоря $t_{зр}$ спрацьовує пристрій 7 і видає пусковий сигнал на роботу інтегратора і диференціаторів.

Операції інтегрування і диференціювання виконуються доти, доки якір не удариться в обмежувач і

пристрій 10 не видасть сигнал на припинення операцій інтегрування і диференціювання.

На виході інтегратора 3 у проміжку часу $t_{зр} \dots t_{уд}$

сигнал визначається виразом $\int_{t_{зр}}^{t_{уд}} (U - iR) dt$. На

виході диференціатора 4 наявний сигнал $\frac{di}{dt}$, а на

виході диференціатора 5 – сигнал $\frac{d^2i}{dt^2}$.

Таким чином, всі сигнали, що потрібні для обчислення $M_{пр}(t)$ відповідно до алгоритму (10): i ,

$\frac{di}{dt}$, $\frac{d^2i}{dt^2}$, $(U - iR)$, R , C , Q , $\int_{t_{зр}}^{t_{уд}} (U - iR) dt$ над-

ходять на входи обчислювача 13.

Сигнали, що потрібні для обчислення $\varphi(t)$ відпо-

відно до алгоритму (11): φ_0 , C , i , $\int_{t_{зр}}^{t_{уд}} (U - iR) dt$

надходять на входи обчислювача 12.

На виходах обчислювачів 12, 13 з'являються сигнали, пропорційні відповідно куту повороту якоря і моменту протидії в функції часу.

Пристрій обчислювача 14 виконує побудову залежності моменту протидії від кута повороту якоря $M_{пр}(\varphi)$. Ця залежність $M_{пр}(\varphi)$ відображається пристроєм відображення результатів ідентифікації 15.

Якщо суматор 2, інтегратор 3, диференціатори 4, 5 можна реалізувати як на аналоговій, так і на цифровій техніці (у цьому випадку реалізація i в період $t_{зр...уд}$ має бути занесена в пам'ять ЕОМ у вигляді числового ряду), то обчислювачі 12, 13, 14 повинні бути реалізовані на цифровій техніці, зокрема на мікропроцесорах.

Пристрій відображення інформації 15 – це або телевізійний дисплей, або графопобудовник.

Пристрої 7, 10 можуть бути виконані у вигляді елементів зняття імпульсів з обмотки реле. Ці імпульси виникають у момент зрушення якоря і у момент удару якоря в обмежувач.

Блок 11 задання конструктивних коефіцієнтів реле виконано у вигляді таблиці цифр, розміщених в пам'яті ЕОМ.

Висновки

Корисність пристрою полягає в тому, що він дає змогу, не розкриваючи корпус реле, тільки за перехідним струмом визначити залежність протидійного моменту від кута повороту якоря. Ця залежність, у свою чергу, однозначно характеризує

зусилля натискання ввімкнутих і вимкнутих контактів, а також зворотної пружини. Ці параметри є діагностичними, тобто за ними можна визначити технічний стан реле.

Упровадження пристрою дозволить підвищити точність визначення механічної характеристики реле. Причому реле не знімається з об'єкта, корпус його не розгерметизується.

Таким чином, значно зменшується трудомісткість контролю технічного стану контактнорухомої системи, що дає значний економічний зиск.

Література

1. Гуз Ю.Т. Систематизація типів і видів відмов електромагнітних систем авіаційного обладнання і визначення пружних властивостей елементів контактнорухомої системи // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури: Зб. наук. пр. – К.: НТУ, 2001. – Вип.6. – С. 145–150.
2. Гуз Ю.Т. Створення математичної моделі та методики з визначенням технічного стану електромагнітних систем // Вісн. Національного транспортного університету та транспортної академії України: – К.: НТУ, 2001. – Вип.6. – С. 315–319.
3. Гуз Ю.Т. Диагностика технических состояний магнитных контактно-подвижных и электрических подсистем в электромагнитных системах // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – К.: НАН Украины, ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, МА "Сварка", 2001. – №4. – С. 53–54.
4. Бронфельбо Г.Б. Расчет электромагнитных реле. – Л.: Энергия, 1975. – 291с.

Стаття надійшла до редакції 06.12.07.

