

## ВПЛИВ ВІДХИЛЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ПРИВОДА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КОНТАКТОРІВ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ВІД ЇХ НОМІНАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ НА НАДІЙНІСТЬ РОБОТИ КОНТАКТОРІВ

Розглядається питання підвищення надійності електромагнітних контакторів електрорухомого складу.

Рассматривается вопрос повышения надежности электромагнитных контакторов электроподвижного состава.

The question of increasing the reliability of electromagnetic contactors of the electric rolling stock is examined.

В допоміжних колах та колах керування електрорухомого складу (ЕРС) залізниць застосовується значна кількість різних типів індивідуальних електромагнітних контакторів. Наприклад, на електровозах ВЛ10, ВЛ11, ВЛ8 для включення та виключення допоміжних електричних машин застосовані контактори МК-310Б, в колах опалення кабін машиністів – контактор МК15, для автоматичного закорочування пускових резисторів вентиляторів під час пуску – контактор МКП-23.

На електровозі ДЕ1 застосовано контактор МК26Д. На електропоїздах постійного струму (ЕР2, ЕР22) для ввімкнення-вимкнення допоміжних машин, опалення та передачі напруги на причіпний вагон застосовують високовольтні електромагнітні контактори КМВ-104А, КМВ-105А; для комутації кіл низької напруги з великими струмами та індуктивностями використанні контактори КМЗЕ і т.д.

Наслідком відмов вказаних контакторів може бути часткове або повне невиконання електровозом чи електропоїздом своїх функцій. Тому дослідження можливих причин відмови цих контакторів – важлива задача з точки зору збереження надійності ЕРС залізниць. Однією з таких причин є відсутність у «Правилах ремонту» та інших нормативних документах на тягову електричну апаратуру вимоги знімати після ремонту електромагнітних контакторів, який включає ремонт елементів електромагнітного приводу (котушка, осердя, блок-контакту і т.д.), характеристики: статичну  $F_c = f(\delta)$ , динамічну  $F_{дин} = f(\delta)$ , протидії  $F_{пр} = f(\delta)$ , де  $\delta$  – зазор між якорем та ярмом магнітопроводу.

Маємо на увазі електромагнітний привод клапанного типу із замкненим магнітопроводом

та поворотним якорем, який найбільш поширений в електромагнітних контакторах ЕРС.

Відповідні типові характеристики наведені на рис. 1 [1].

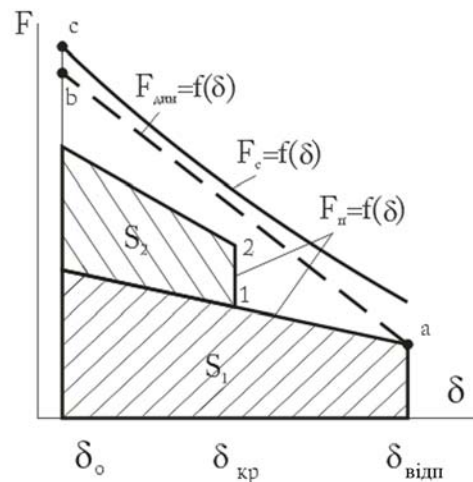


Рис. 1. Тягова та протидіюча характеристика контактора

Ці характеристики приведені до робочого зазору електромагніта. Зазор  $\delta_{відп}$  відповідає відпущеному, а зазор  $\delta_0$  – притягнутому стану якоря. Протидіюча характеристика  $F_{пр} = f(\delta)$  визначається у сукупності силою пружини повернення та вагою рухомих частин (площа  $S_1$ ) і силами пружин головних контактів (площа  $S_2$ ). При більш детальному розгляді потрібно враховувати також сили реакції від натиснення головних та блокувальних контактів.

Статична тягова характеристика, що являє собою залежність тягової сили  $F_c$  від зазору  $\delta$  при постійній магніторушійній силі (тобто при сталому струмі у котушці), повинна обо-

в'язково лежати вище характеристики протидіючих сил  $F_{\text{п}} = f(\delta)$ .

На етапі руху якоря від початкового положення до його зупинки біля нерухомого полюса індуктивність електромагніту непостійна, що викликає те, що струм у котушці при цьому не є сталим. Залежність  $F_{\text{дин}}$  за вказаної умови від зазору  $\delta$  є динамічна характеристика контактора  $F_{\text{дин}} = f(\delta)$  (точки  $\delta_{\text{відп}}$ , а, в, с).

У процесі включення електромагніта його динамічна характеристика повинна проходити нижче статичної і для певного включення потрібно, щоб динамічна характеристика лягла також вище протидіючої.

Підводячи підсумок сказаного вище, можна стверджувати, що для безумовно надійного включення контактора потрібно, щоб усі характеристики розташовувалися одна відносно іншої вищевказаним чином при найменшому допустимому струмі котушки електромагніту у всіх положеннях якоря. При цьому бажано, щоб різниця сил ( $F_{\text{дин}} - F_{\text{п}}$ ) була достатньо великою. Сила  $F_{\text{с}}$  визначається за формулою [2]:

$$F_{\text{с}} = 0,5\mu_0 S_{\delta} (F/\delta)^2, \quad (1)$$

де  $\mu_0$  – магнітна проникливість повітряного зазору;

$S_{\delta}$  – площа перерізу повітряного зазору;

$F$  – магніторушійна сила зазору.

Динамічну характеристику можна визначити за методиками, наведеними у спеціальній літературі [1, 2, 3].

До формул, які наведені у цих методиках, входять параметри електромагнітного приводу (опір котушки, площа перерізу повітряного зазору та ін.).

Пружина – обов'язковий елемент будь-якого контактного електричного апарату.

Характеристика пружини – це  $Q = f(l)$ , де  $Q$  – зовнішня сила, що діє на пружину;  $l$  – деформація пружини.

Для пружини з постійною характеристикою, що має місце в нашому випадку, [4]:

$$Q_{\text{пр}} = zl, \quad (2)$$

де  $z$  – жорсткість пружини з монотонною характеристикою, Н/м.

Із формул для визначення сил, вказаних на рис. 1, видно, що відхилення параметрів елементів приводів електромагнітних контакторів від їх номінальних альбомних значень впливають

на вид і взаємне розташування характеристик, вказаних на цьому рисунку.

Дослідження цього впливу є важливою задачею з точки зору надійності роботи електромагнітних контакторів.

Наприклад, пружина блокування контактора МК-310Б має довжину  $14,6_{-0,5}^{+1}$  мм, пружина притираюча –  $50,5 \pm 0,5$  мм [5]. Відхилення від співвідносі зменшує площу перерізу повітряного зазору, при нагріванні опір котушок збільшується та ін.

На практиці відхилення можуть перевищувати альбомні значення. Якщо в процесі збірки контактора після ремонту або виготовлення складається все так, що всі елементи електромагнітного приводу будуть мати мінімальні або максимальні відхилення, то це може значно вплинути на вид та взаємне розташування характеристик рис. 1.

Для забезпечення надійного спрацьовування контактора потрібно встановити зв'язок між випадковими відхиленнями параметрів приводу і виникаючими внаслідок цього змінами характеристик рис. 1.

Іншими словами, потрібно побудувати математичну модель впливу відхилень на характеристики контактора, щоб запропонувати на основі аналізу цієї моделі найбільш ефективні рекомендації із зменшення розходження характеристик за реальних відхилень від характеристик за номінальних значень параметрів приводу. Пропонується наступне. Будь-яку характеристику контактора записуємо у вигляді вхідної функції  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , де  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – незалежні параметри.

У процесі технології виготовлення, ремонту дійсні значення цих параметрів будуть відрізнятися від їх номінальних значень. Тому кожен із параметрів записується у вигляді алгебраїчної суми  $x_i = \bar{x}_i + \Delta x_i$ , де  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Риска над  $x_i$  означає номінальне значення даного параметра,  $\Delta x_i$  – його випадкове відхилення від  $\bar{x}_i$  внаслідок вказаних відхилень. Вважаючи  $\Delta x_i$  для сукупності досліджень нескінченно малими, вихідна функція отримає приріст:

$$df = \frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} dx_n = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} dx_i. \quad (3)$$

Далі, як перше наближення, рахуємо, що усі можливі значення  $\Delta f$  в залежності від випадкової величини  $\Delta x_i$  розподіляються за нормальним законом, що у більшості випадків підтверджується практикою, дисперсія якого

$$\sigma_f^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial \bar{x}_1}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \bar{x}_2}\right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial \bar{x}_n}\right)^2 \sigma_{x_n}^2 = \sum_1^n \left(\frac{\partial f}{\partial \bar{x}_i}\right)^2 \sigma_{x_i}^2. \quad (4)$$

Знаючи вихідну характеристику  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , знаходимо теоретично чисельні параметри її нормального розподілу: номінальне значення цієї функції у вигляді  $f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$  та її дисперсію  $\sigma_f^2$ .

Дисперсію  $\sigma_{x_i}^2$  кожного з параметрів, які входять у диференційне рівняння (4), попередньо встановлюємо або за результатами спеціальних експериментів, або на основі обробки накопичених статистичних даних у вигляді

$$\sigma_{x_i}^{2*} = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x}_i)^2}{n}, \quad (5)$$

де  $n$  – кількість даних, які характеризують параметри  $x_i$ .

Далі порівнюємо теоретичне значення дисперсії  $\sigma_f^2$  з її значенням  $\sigma_f^{2*}$ , яке знайдено на основі експериментальних даних.

При цьому:

$$\sigma_f^{2*} = \frac{\left[ \sum_1^N (f - \bar{f})^2 \right]}{N}, \quad (6)$$

де  $\bar{f} = \frac{\sum_1^N f_i}{N}$ ;  $N$  – кількість експериментальних замірів, які проведені при перевірці вихідної характеристики  $f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ , тобто цієї характеристики за номінальних значень незалежних параметрів у формулах, що описують дану характеристику. Наприклад, формула (1) для статичної тягової характеристики.

Ступінь відповідності теоретичного розподілу експериментальному знаходимо, використовуючи критерії Колмогорова або Пірсона. Відповідність вважається припустимою при довірчій імовірності 10 %. Після цього на основі аналізу рівняння (4) визначаємо найбільш суттєву складову дисперсії і розробляємо конкретні рекомендації зі зменшення її впливу на зміну вихідної характеристики.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Таев, И. С. Электрические аппараты автоматики и управления [Текст] / И. С. Таев. – М.: Высш. шк., 1975. – 223 с.
2. Тихменев, Б. Н. Подвижной состав электрифицированных железных дорог [Текст] / Б. Н. Тихменев, Л. М. Трахман. – М.: Транспорт, 1980. – 471 с.
3. Захарченко, Д. Д. Тяговые электрические аппараты [Текст] / Д. Д. Захарченко. – М.: Транспорт, 1981 – 247 с.
4. Александров, Г. Н. Теория электрических аппаратов [Текст] / Г. Н. Александров, В. В. Борисов, В. Л. Иванов. – М.: Высш. шк., 1985. – 312 с.
5. Осмотр и ремонт электромагнитных контакторов при технических обслуживаниях текущих ремонтах отечественных электровозов постоянного тока. Технологическая инструкция ТИ484 [Текст]. – М.: ПКБ главного управления локомотивного хоз. МПС, 1982. – 82 с.

Надійшла до редколегії 25.03.2009.