

## РОБОТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КОНТАКТОРІВ ПРИ МІНІМАЛЬНОМУ ЗНАЧЕННІ НАПРУГИ КІЛ КЕРУВАННЯ РУХОМИМ СКЛАДОМ ЗАЛІЗНИЦЬ

Розроблено рекомендації із забезпечення нормованих розхилів головних контактів та їх натиснення при мінімальній напрузі кіл керування, яка допускається в експлуатації.

Разработаны рекомендации по обеспечению нормированных растворов главных контактов и их нажатия при минимальном напряжении в цепях управления, которое допускается в эксплуатации.

The recommendations on securing of the main contacts with normalized opening and their pressing under minimal voltage (allowed in operation) in the control circuits have been developed.

Номінальні значення напруг кіл керування електровозами, тепловозами та іншим рухомих складом (РС) залізниць України, як правило, дорівнюють 50 або 110 В. Мінімальні значення цих напруг, які допускаються в експлуатації, є, відповідно, 35 та 77 В [1]. Всі електромагнітні пристрої кіл керування РС повинні бути працездатними при вказаних мінімальних значеннях напруг  $U_{\min}$ .

Працездатність – це стан виробу, при якому він спроможний виконувати задані функції з параметрами, які встановлені вимогами технічної документації [2]. Автор вважає, що для забезпечення працездатності контактора після ремонту із розбиранням повинні бути узгодженні між собою його тягова та протидіючі характеристики. Доцільність цього узгодження обумовлена наступним: при збиранні контактора після ремонту (поточний ремонт третій, заводські ремонти) сполучення його деталей носить випадковий характер. Активні опори котушок, жорсткість пружин та параметри інших деталей згідно технічної документації мають суттєві відхилення від їх середніх значень. Випадковий збіг, коли, наприклад, опір котушки буде мати максимальне значення при певному положенні протидіючої характеристики може привести до того, що не при всіх значеннях повітряного зазору між осердям котушки та якорем тягова сила буде більшою за силу протидії, що не забезпечить нормальну роботу контактора. Внаслідок цього виникає необхідність корегувати одну або навіть обидві характеристики – узгоджувати їх. Характеристики контакторів РС можна змінювати наступними способами:

- а) збільшувати або зменшувати значення тягової сили;
- б) змінювати початкове стиснення пружин (вимикальної, контактної).

У загальному випадку (для загальнопромислових контакторів) узгодження характеристик електромагнітних контакторів полягає у наступному (рис. 1) [6]:

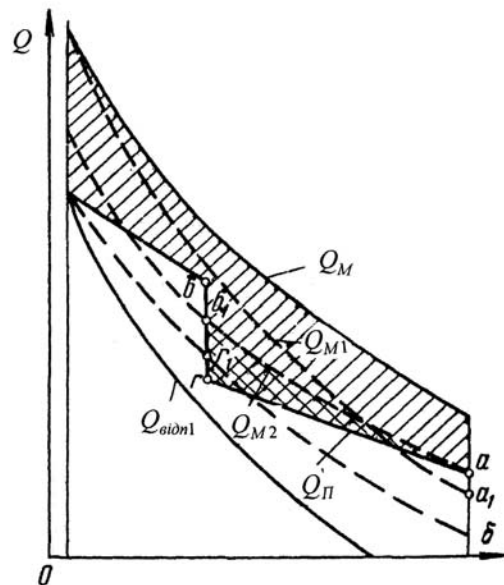


Рис. 1. Узгодження характеристик тягової та протидіючої електромагнітного контактора в загальному випадку

1. Тягова сила  $Q$  повинна бути більшою, ніж протидіюча  $Q_{\text{п}}$ . При характеристиці  $Q_{M1}$  контактор не ввімкнеться внаслідок того, що при відпущеному якорі точка « $a_1$ » знаходиться нижче точки  $a$ ; при характеристиці  $Q_{M2}$  у момент дотикання контактів відбудеться затримка руху (точка « $b_1$ » лежить нижче точки « $b$ ») і контакти можуть зваритися. Якщо рухомі частини контактора будуть мати достатній запас кінетичної енергії, яка показана на рисунку подвійно заштрихованою площиною, розташованою між характеристиками тяговою та проти-

діючою, то після деякої затримки контактор повністю ввімкнеться. При цьому потрібно мати на увазі, що динамічна тягова характеристика лежить нижче статичної, що зменшує вказану площу.

2. Різниця значень сил тягової та протидії у момент дотикання контактів (точка «б») не повинна бути надмірною, а повинна бути тільки достатньою для отримання потрібної швидкості руху якоря (з міркувань дугогасіння, вібрації контактів та ін.). Якщо у точці «б» тягова сила буде мати надмірний запас у відношенні до сили протидії, то у момент замикання якоря буде сильний удар. Наприклад, на рис. 1 заштрихована площа не повинна бути надмірною при максимальній допустимій напрузі кіл керування.

3. При зниженні тягової сили у процесі відключення контактора потрібно, наприклад, щоб характеристика відпадання якоря  $Q_{\text{відп1}}$  проходила нижче точки «з» протидіючої характеристики  $Q_{\text{П}}$ .

Якщо характеристика відпадання буде перетинати протидіючу характеристику у точці «z1», то розмикання контактів не відбудеться, а внаслідок малого значення сили їх натиснення вони можуть приваритися.

Відмітимо, що для тягових електромагнітних контакторів третій пункт не діє, бо командою на їх відключення є повне зняття напруги з котушки, а конструктивно приймаються заходи із зменшення дії залишкового магнітного потоку. Тому у наших дослідженнях робота контактора за третьою умови не досліджується.

Статистика показує, що не всі електромагнітні контактори РС вмикаються при  $U_{\text{min}}$ . У той самий час у переліку робіт з регулювання контакторів після ремонту відсутня вимога перевіряти основну умову безумовного увімкнення контакторів: тягова характеристика  $Q_M = f(\delta)$  повинна лежати вище протидіючої (механічної) характеристики  $Q_{\text{П}} = f(\delta)$  у будь-якій точці інтервалу  $\delta_0 < \delta < \delta_{\text{відп}}$ , де  $Q_M$  – сила притягання електромагніту привода контактора;  $Q_{\text{П}}$  – результуюча сила опору (протидіюча сила), яка складається із приведених до плеча сили  $Q_M$  відносно осі повороту якоря сукупності сил вимикальної  $Q_{\text{В}}$  та контактної (притираючої)  $Q_{\text{К}}$  пружин, ваги рухомої системи; силами тертя нехтуємо.  $\delta_{\text{відп}}$ ,  $\delta_0$ ,  $\delta$  – відповідно зазор між осердям та якорем електромагніту у відпущеному, притягнутому та проміжному стані якоря.

При Г-подібній формі якоря електромагніту із зовнішнім обертальним якорем, наприклад,

як у контактора типу МК-310Б, що широко застосовується у схемах РС залізниць, обидві полиці якоря мають однакову вагу. Тому відносно вісі повороту ваги кожної полиці створюють приблизно однакові за значенням, але протилежно спрямовані моменти. У цьому випадку при визначенні  $Q_{\text{П}}$  можна не враховувати складову сили опору, що створюється вагою якоря (рис. 2). На рис. 3 статична характеристика  $Q_M = f(\delta)$  відкладена із зворотним знаком порівняно з її фактичним положенням.

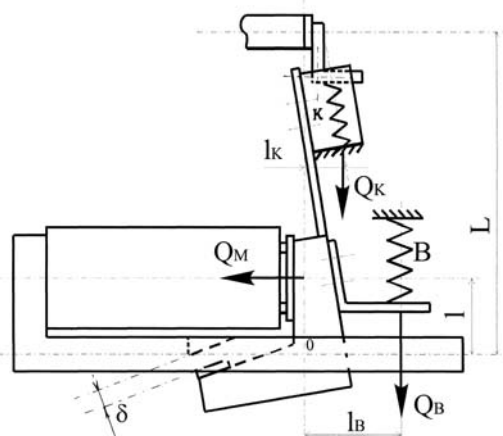


Рис. 2. Кінематична схема контактора МК-310Б

Крім того, для безумовного увімкнення контактора при  $U_{\text{min}}$  потрібно, щоб сила тяги  $Q_M$  при  $\delta_{\text{кр}}$  (зазор, за якого головні контакти починають дотикатись), перевищувала силу протидії  $Q_{\text{П}\delta_{\text{кр}}}$  у межах 1,2...1,5 [4].

Розглядаємо контактор без блокувальних контактів. Тому на рис. 3 відсутня сила натиснення цих контактів.

У зв'язку із вищевикладеним пропонується перелік робіт при регулюванні контактора після ремонту із розбиранням доповнити вимогою побудови характеристик  $Q_M = f(\delta)$  та  $Q_{\text{П}} = f(\delta)$  при  $U_{\text{min}}$  з метою забезпечення умов безумовного увімкнення контактора при мінімальній напрузі на котушці електромагніту, яка допускається в експлуатації. Для вирішення поставленої задачі потрібно знайти раціональне співвідношення між значеннями повітряного зазору та натисненням пружин.

Пропонується наступний алгоритм вирішення поставленої задачі.

1. Визначаємо різницю  $(\delta_{\text{відп}} - \delta_{\text{кр}})_{\text{min}}$  за формулою [5]

$$(\delta_{\text{відп}} - \delta_{\text{кр}})_{\text{min}} = \frac{p_{\text{min}} \cdot l}{L}, \quad (1)$$

де  $p_{\min}$  – мінімальний нормований розхил головних контактів;

$l$  – плече дії сили  $Q_M$  відносно вісі повороту якоря (рис. 2);

$L$  – відстань між віссю повороту якоря та точкою дотику головних контактів.

Значення  $\delta_0$  та інтервалу  $(\delta_0 \dots \delta_{кр})$  визначається із досвіду експлуатації контактора конкретного типу.

Тоді:

$$\delta_{\text{відп}} = \delta_0 + (\delta_0 \dots \delta_{кр}) + (\delta_{\text{відп}} - \delta_{кр})_{\min}$$

2. Визначаємо  $Q_M$  при  $\delta_{\text{відп}}, \delta_{кр}, \delta_0$  [5]:

$$Q_M = 0,5\mu_0 S_{\delta_i} \left( \frac{F}{\delta_i} \right)^2, \quad (2)$$

де  $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-7}$  (за умови, що сила вимірюється в ньютонах) – магнітна стала [7];

$S_{\delta_i}$  – площа перерізу повітряного зазору між якорем та осердям,  $\text{м}^2$  [6]:

$$S_{\delta_i} = S_T \left( 1 + \frac{2\delta_i}{\sqrt{S_T}} \right), \quad (3)$$

де  $S_T$  – площа поверхні полюсного наконечника осердя,  $\text{м}^2$ ;

$$F = IW, \quad (4)$$

де  $F$  – магніторухійна сила;

$$I = \frac{U_{\min}}{R_{K_{\max}}} \text{ – струм у котушці електромагніт-}$$

ту, А;

$R_{K_{\max}}$  – максимально можливий опір котушки;

$W$  – кількість витків у котушці електромагніту.

3. Аналізуємо взаємне розташування  $Q_M = f(\delta)$  та  $Q_{\Pi} = f(\delta)$  з розробкою відповідних рекомендацій щодо стиснення пружин.

Для прикладу застосуємо запропонований алгоритм у відношенні до контактору МК-310Б при  $U_{\min} = 35$  В та максимальному опорі котушки  $R_{K_{\max}}$  (рис. 3). Контактори МК-310Б застосовуються на електровозах ВЛ23, ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11, електропоїздах ЕР2.

$$2.1. (\delta_{\text{відп}} - \delta_{кр})_{\min} = \frac{30 \cdot 63}{250} = 7,56 \text{ мм,}$$

де  $30 \text{ мм} = p_{\min}$ ;  $63 \text{ мм} = l$ ;  $250 \text{ мм} = L$  [3].

$$\delta_0 = 0,5 \text{ мм; } (\delta_0 \dots \delta_{кр}) = 3,3 \text{ мм;}$$

$$\delta_{\text{відп}} = 3,8 + 7,56 = 11,36 \text{ мм} = 0,01136 \text{ м.}$$

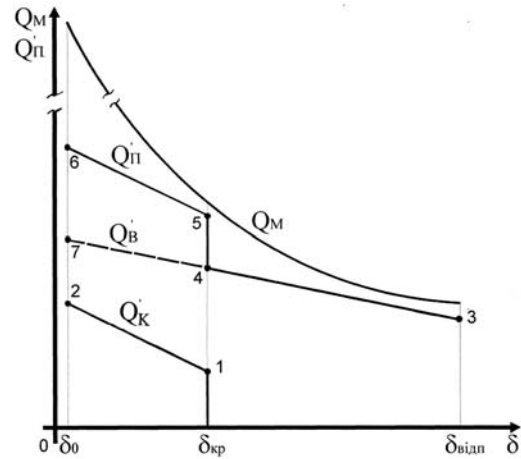


Рис. 3. Тягова та протидіюча характеристики електромагнітного контактора в схемах РС

$$2.2. S_T = 0,00112 \text{ м}^2, I = \frac{35}{65,8} = 0,532 \text{ А.}$$

$$R_{K_{\max}} = 65,8 \text{ Ом; } W = 4840; S_T = 0,00112 \text{ м}^2 [3];$$

$$F = 0,532 \cdot 4840 = 2574,88 \text{ А;}$$

$$S_{\delta_{\text{відп}}} = 0,00112 \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,01136}{\sqrt{0,00112}} \right) = 188 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

$$Q_{M\delta_{\text{відп}}} = 0,5 \cdot 1,256 \cdot 10^{-7} \cdot 188 \cdot 10^{-5} \left( \frac{2574,88}{0,01136} \right)^2 = 6,1 \text{ Н.}$$

Приймаємо силу протидії вимикальної пружини  $Q_{B\delta_{\text{відп}}} = Q_{M\delta_{\text{відп}}} = 6,1 \text{ Н.}$

Вимикальна пружина має монотонну характеристику із жорсткістю  $Z_B = 1 \text{ Н/мм}$  [3].

Значення  $Q'_{B\delta_{\text{відп}}}$  знаходимо із співвідношення [5]:

$$Q_{M\delta_{\text{відп}}} \cdot l = Q'_{B\delta_{\text{відп}}} \cdot l_B, \quad (5)$$

де  $l_B = 73 \text{ мм}$  – плече дії сили  $Q'_{B\delta_{\text{відп}}}$  (рис. 2);

$$l = 63 \text{ мм} [3].$$

$$Q'_{B\delta_{\text{відп}}} = \frac{6,1 \cdot 63}{73} = 5,26 \text{ Н.}$$

Початкове стиснення вимикальної пружини

$$\left( \frac{Q_{B\delta_{\text{відп}}}}{Z_B} \right) = \frac{6,1 \text{ Н}}{1 \text{ Н/мм}} = 6,1 \text{ мм.}$$

При зменшенні зазору до  $\delta_{кр}$  вимикальна пружина додатково стискається на  $7,56 \cdot \frac{73}{63} = 8,76 \text{ мм}$ , де  $l_B = 73 \text{ мм}$  – відстань між віссю обертання якоря та точкою прикладання  $Q_B$  [3].

Тоді приведена сила у точці 4 (рис. 3):

$$Q'_{B_4} = Q'_{П_4} = \frac{(Q_{B_{\delta_{\text{вип}}}} + Z_B \cdot 8,76) \cdot 73}{63} = \frac{(6,1 + 1 \cdot 8,76) \cdot 73}{63} = 17,2 \text{ Н};$$

$$\delta_{\text{кр}} = \delta_0 + (\delta_0 \dots \delta_{\text{кр}}) = 0,5 + 3,3 = 3,8 \text{ мм} = 0,0038 \text{ м};$$

$$S_{\delta_{\text{кр}}} = 0,00112 \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,0038}{\sqrt{0,00112}} \right) = 137 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

$$Q_{M_{\delta_{\text{кр}}}} = 0,5 \cdot 1,256 \cdot 10^{-7} \cdot 137 \cdot 10^{-5} \left( \frac{2574,88}{0,0038} \right)^2 = 39,5 \text{ Н};$$

$$Q'_{П_5} = Q'_{П_{\delta_{\text{кр}}}} = Q'_{П_4} + Q_{K_1} \cdot \frac{l_K}{l} = 17,2 + 13 \cdot \frac{26}{63} = 22,56 \text{ Н}.$$

Приймаємо початкове натиснення силових контактів (визначається силою натиснення контактної пружини):

$$Q_{K_1} = 13 \text{ Н [3];}$$

$$l_K = 26 \text{ мм} - \text{плече дії сили } Q_K \text{ [3];}$$

$$Q'_{K_5} = Q'_{K_1} = Q_K \cdot \frac{l_K}{l} = 13 \cdot \frac{26}{63} = 5,36 \text{ Н};$$

$$Q_{П_5} = Q_{П_{\delta_{\text{кр}}}} = Q_{П_4} + Q_{K_1} = 14,84 + 13 = 27,84 \text{ Н};$$

$$Q_{П_4} = \frac{Q'_{П_4} \cdot l}{l_B} = \frac{17,2 \cdot 63}{73} = 14,84 \text{ Н};$$

$$Z_K = 3,24 \text{ Н/мм [3].}$$

Кінцеве натиснення силових контактів:

$$Q_{K_6} = Q_{K_2} = Q_{K_1} + Z_K (\delta_0 \dots \delta_{\text{кр}}) = 13 + 3,24 \cdot 3,8 = 25,3 \text{ Н};$$

$$Q'_{K_6} = Q_{K_6} \cdot \frac{l_K}{l} = 25,3 \cdot \frac{26}{63} = 10,44 \text{ Н}.$$

$$Q_{M_{\delta_0}} = 0,5 \cdot 1,256 \cdot 10^{-7} \cdot 115 \cdot 10^{-5} \left( \frac{2574,88}{0,0005} \right)^2 \approx 1915 \text{ Н};$$

$$S_{\delta_0} = 0,00112 \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,0005}{\sqrt{0,00112}} \right) = 115 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Відмітимо, що  $Q_{M_{\delta_0}}$  визначено для поповнення інформації. Для вирішення поставленої задачі досить знати  $Q_{M_{\delta_{\text{вип}}}}$  та  $Q_{M_{\delta_{\text{кр}}}}$ .

Нормоване кінцеве натиснення силових контактів дорівнює 18...27 Н [3].

Початкове стиснення контактної пружини:

$$\frac{Q_K}{Z_K} = \frac{13}{3,24} = 4,01 \approx 4 \text{ мм}.$$

Кінцеве стиснення контактної пружини:

$$\frac{Q_{K_6}}{Z_K} = \frac{25,3}{3,24} = 7,8 \text{ мм}.$$

При отриманих параметрах контактора при  $U_{\text{min}}$ :

- забезпечено мінімальне нормоване значення розхилу силових контактів  $p_{\text{min}} = 30 \text{ мм}$ ;

- забезпечено значення початкового (13 Н) та кінцевого (25,3 Н) натиснення силових контактів в межах норм.

При цьому:

$$- \left( \frac{Q_{M_{\delta_{\text{кр}}}}}{Q_{П_5}} \right) = \left( \frac{39,5}{27,84} \right) = 1,42,$$

що відповідає умові:  $\left( \frac{Q_{M_{\delta_{\text{кр}}}}}{Q_{П_{\delta_{\text{кр}}}}} \right) = 1,2 \dots 1,5$ .

## ВИСНОВКИ

З метою забезпечення безумовної працездатності електромагнітних контакторів при мінімальній напрузі кіл керування РС залізниць пропонується у перелік робіт з регулювання контакторів після ремонту з розбиранням ввести отримання тягової статичної характеристики та характеристики протидії з відповідним аналізом їх взаємного розташування.

## БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДСТУ 2773-94. Апарати електричні тягові. Загальні технічні умови. [Текст]: Держстандарт України. – К., 1996. – 75 с.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения [Текст]: Государственный стандарт Союза ССР. – М., 1990.
3. Осмотр и ремонт электромагнитных контакторов при технических обслуживаниях и текущих ремонтах отечественных электровозов постоянного тока [Текст]: технологическая инструкция ТИ 484. – М., 1982.
4. Таев, И. С. Электрические аппараты автоматики и управления [Текст] / И. С. Таев. – М.: Высш. шк., 1975. – 223 с.
5. Тихменев, Б. Н. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. Теория работы электрооборудования. Электрические схемы и аппараты [Текст] / Б. Н. Тихменев, Л. М. Трахтман. – М.: Транспорт, 1980. – 471 с.
6. Сахаров, П. В. Проектирование электрических аппаратов. Общие вопросы проектирования. [Текст] / П. В. Сахаров. – М.: Энергия, 1971. – 560 с.
7. Электротехнический справочник [Текст]. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 488 с.

Надійшла до редколегії 11.01.2010.

Прийнята до друку 21.01.2010.