

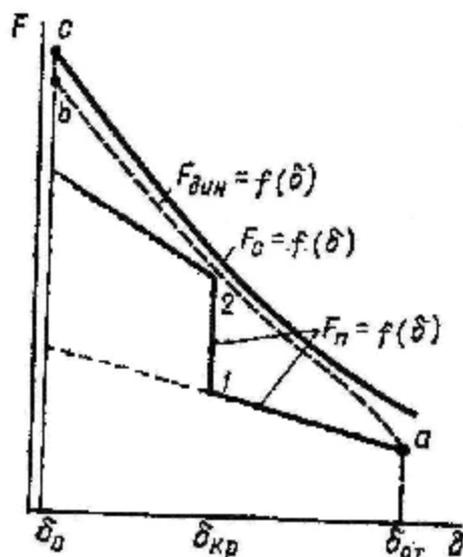
А. А. Маренич

(Украина, Днепрпетровск, Днепрпетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна)

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОНТАКТОРОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Электромагнитные контакторы, которые применяются в схемах подвижного состава, должны обладать определенной надежностью.

Способность контактора выполнять свои функции, сохраняя параметры в установленных пределах в течение заданного времени, является его надежностью. В значительной степени надежность контактора определяется взаимным расположением характеристик (тяговой, противодействия). Рассмотрим работоспособность электромагнитных устройств подвижного состава на примере электромагнитных контакторов электровозов постоянного тока. На рисунке качественно показаны тяговая $F_C = f(d)$ и противодействующая $F_{II} = f(d)$ характеристики электромагнитного контактора.



Характеристики электромагнитного контактора

Зазор $d_{от}$ между якорем и сердечником включающей катушки соответствует отпущенному, а d_0 — притянутому состоянию якоря, $d_{кр}$ соответствует моменту касания главных контактов (критический зазор). Очевидно, что необходимым условием работоспособности контактора будет выполнение неравенства $F_{II} < F_C$ в интервале от d_0 до $d_{от}$.

Существует оптимальное соотношение между характеристиками $F_C = f(d)$ и $F_{II} = f(d)$ контактора. В процессе его проектирования и эксплуатации установлено, что при критическом зазоре величина коэффициента запаса $K_{зан}$ колеблется в пределах от 1,2 до 1,5 [1].

$$K_{зан} = \frac{(IW)_y}{(IW)_{сраб}}, \quad (1)$$

где $(IW)_y$ – магнитодвижущая сила включающей катушки при установившемся токе; $(IW)_{сраб}$ – магнитодвижущая сила (МДС) включающей катушки при токе срабатывания.

По уравнению Максвелла сила магнитного притяжения F_C, H между сердечником включающей катушки и якорем [2]

$$F_C = \frac{\Phi_d^2}{2m_0 S_d}, \quad (2)$$

где S_d – площадь поперечного сечения воздушного зазора, м²; $m_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$ Гн/м; Φ_d – магнитный поток в воздушном зазоре, Вб.

Точно определить площадь S_d трудно, так как она зависит не только от конструкции аппарата, но и от его расположения. Ориентировочно

$$S_d \approx S_T \left(1 + \frac{2d}{\sqrt{S_T}} \right), \quad (3)$$

где S_T – площадь поверхности торца сердечника, м².

$$\Phi_d = B_d S_T, \quad (4)$$

где B_d – индукция в полюсе сердечника, Тл.

Значение B_d выбираем так, чтобы при наибольших МДС включающей катушки сталь магнитопровода электромагнитного привода контактора не насыщалась. Принимаем $B_d = 0,07$ Тл [2].

При этом условии контактор работает на прямолинейном участке магнитной характеристики $\Phi_d = f(q)$ магнитопроводов. $q = IW$ – МДС включающей катушки, где I – ток в катушке.

Таким образом, в нашем случае $\Phi_d \sim B_d \sim I$, так как число витков катушки $W = const$.

$$I = \frac{U_{упр}}{R_{кат}}, \quad (5)$$

где $U_{упр}$ – номинальное напряжение цепей управления; $R_{кат}$ – сопротивление включающей катушки контактора, Ом.

Следовательно,

$$F_c = \frac{\Phi_d^2}{2m_0 S_d} = \frac{B_d^2 S_T^2}{2m_0 \left(S_T \left(1 + \frac{2d}{\sqrt{S_T}} \right) \right)}. \quad (6)$$

По формуле (6) можно построить статическую тяговую характеристику контактора $F_c = f(d)$, приняв $B_d = 0,07$ Тл [2].

Рассмотрим соотношения для построения динамической тяговой характеристики $F_{дин} = f(d)$.

При подаче напряжения U_{ynp} на включающую катушку, ток в ней и магнитный поток нарастают от нуля до таких величин, при которых электромагнитная сила $F_{дин}$ станет равной противодействующей F_{II} .

При этом ток в катушке – это ток трогания I_{TP} , а магнитный поток, создаваемый при этом, – это поток трогания Φ_{TP} . На рисунке моменту трогания соответствует точка «а». Если электромагнитную силу $F_{дин}$ в точке «а» выразить формулой Максвелла, аналогично формуле (6), то

$$F_{дин} = \frac{\Phi_{TP}^2}{2m_0 \cdot S_d} = \frac{\Phi_{TP}^2}{2m_0 \left(S_T \left(1 + \frac{2d_{OT}}{\sqrt{S_T}} \right) \right)} = F_{II}. \quad (7)$$

Откуда

$$\Phi_{TP} = \sqrt{2m_0 \left(S_T \left(1 + \frac{2d_{OT}}{\sqrt{S_T}} \right) \right)} \cdot F_{II}. \quad (8)$$

Уравнение баланса напряжений на включающей катушке контактора

$$U_{ynp} = iR_{кат} + w \frac{dj}{dt}, \quad (9)$$

где $R_{кат}$, w – активное сопротивление и число витков катушки.

Принимая во внимание малость произведения $iR_{кат} \approx 0$ и учитывая, что в начале процесса движения якоря поток $\Phi = \Phi_{TP}$ (8), из уравнения (9) находим:

$$\Phi = \Phi_{TP} + \frac{U_{ynp}}{w} t. \quad (10)$$

Согласно выражению (7) и с учетом уравнения (10) зависимость динамической силы от времени

$$F_{дин}(t) = \frac{1}{2m_0 \left(S_T \left(1 + \frac{2d_{OT}}{\sqrt{S_T}} \right) \right)} \left(\Phi_{TP} + \frac{U_{ynp}}{w} t \right)^2. \quad (11)$$

Уравнение движения якоря

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_{дин} - F_{II}, \quad (12)$$

где m – масса якоря; x – путь якоря.

Допустим, что на участке движения якоря противодействующая сила (сила включающей пружины) постоянна ($F_{II} = const$), а электромагнитная динамическая сила $F_{дин}$ определяется по выражению (6), заменив в нем F_c на $F_{дин}$.

Тогда с учетом (10) уравнение (12) приобретает следующий вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{\Phi_{TP}^2}{2m_0 S_d} + \frac{\Phi_{TP} U_{ynp}}{m_0 w S_d} + \frac{U_{ynp}^2}{2w^2 m_0 S_d} t^2 - F_{II}. \quad (13)$$

Сокращая в соответствии с (7) первый и последний члены в правой части уравнения (13), получим

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{U_{ynp}^2}{2mw^2 m_0 S_d} t^2 + \frac{\Phi_{TP} U_{ynp}}{mw m_0 S_d} t. \quad (14)$$

Решение этого уравнения при начальных условиях $t=0$; $\frac{dx}{dt}=0$ и $x=0$ дает зависимость пути якоря x от времени t :

$$x = \frac{U_{ynp} \Phi_{TP}}{6m_0 m S_d w} t^3 + \frac{U_{ynp}^2}{24m_0 m S_d w^2} t^3. \quad (15)$$

С учетом выражения (3)

$$x = \frac{U_{ynp} \Phi_{TP}}{6m_0 m w} \cdot \frac{1}{S_T \left(1 + \frac{2d}{\sqrt{S_T}} \right)} t^3 + \frac{U_{ynp}^2}{24m_0 m w^2} \cdot \frac{1}{S_T \left(1 + \frac{2d}{\sqrt{S_T}} \right)} t^4. \quad (16)$$

Зависимость величины воздушного зазора от времени при притягивании якоря к сердечнику катушки контактора следующая:

$$d(t) = d_{OT\Pi} - x(t), \quad (17)$$

где $x(t)$ вычисляется по уравнению (16).

Построив зависимости $F_{дин}(t)$ по формуле (12) и $d(t)$ по формуле (17) и найдя для моментов времени $t_1, t_2 \dots t_n$ соответствующие им значения $F_{дин}$ и d , можно получить зависимость $F_{дин} = f(d)$.

При этом нужно учесть:

- $U_{уп_{min}} = 30\text{В}$;
- допуски на параметры элементов контактора, влияющие на сближение $F_{дин} = f(d)$ и $F_{II} = f(d)$.

При указанных условиях для обеспечения надежной работы контактора должно выполняться неравенство: $F_{дин} > F_{II}$ в любой точке в интервале от d_0 до d_{OT} , $k_{зан} \geq 1,2$ при критическом зазоре.

Список литературы

1. Таев И.С. Электрические аппараты автоматики и управления. – М.: Высш.шк., 1975. – 224 с.
2. Захарченко Д.Д. Тяговые электрические аппараты. – М.: Транспорт, 1991. – 247с.