

СПОСОБЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЯКОРЯХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Розглянуто питання експериментального дослідження теплових процесів в якорях електродвигунів постійного струму стрілочних електроприводів. Запропоновано визначати температуру ізоляції якоря обмотки за величиною її ємності. Цей метод дозволяє підвищити надійність та точність діагностування електричних двигунів постійного струму.

Рассмотрены вопросы экспериментального исследования тепловых процессов в якорях электродвигателей постоянного тока стрелочных электроприводов. Предложено определять температуру изоляции якоря обмотки по величине ее емкости. Этот метод позволяет увеличивать надежность и точность диагностирования электродвигателей постоянного тока.

The article considers issues of experimental research of thermal processes in the anchors of d. c. electrical motors in electrical drives of railway switching points. It has been proposed to determine the temperature of winding anchor insulation by the value of its capacity. This method allows to increase reliability and accuracy of d.c. electrical motors diagnostics.

Существует проблема определения состояния нагрева изоляции якорей электродвигателей стрелочных приводов, которая состоит в том, что применяемые методы не позволяют получить достоверную информацию. Необходимость такой информации основывается на опыте эксплуатации стрелочных переводов. В тяжелых условиях перевода стрелки (снег, спаренность, наличие пружинности острияков) в два раза возрастает ток, потребляемый стрелочным электродвигателем, что приводит к изменению тепловых процессов эксплуатации их якорей, и, как следствие, выходу их из строя.

Целью данной работы является анализ существующих способов исследования тепловых процессов в якорях электродвигателей и разработка нового способа, позволяющего повысить точность измерений.

Существующие способы определения перегрева якоря электродвигателя стрелочного электропривода предусматривают применение вмонтированных термометров или температурных индикаторов и измерительных мостов. Однако точность получаемых результатов при использовании данных методов замера температуры различна [1]. Самым простым является метод измерения температуры узлов двигателя с помощью термометра. Он основан на непосредственном контакте термометра с исследуемой точкой и измерении температуры узла. Способ требует полной остановки, отключения и разборки электродвигателя. По сравнению с другими из-за теплового обмена с внешней средой дает заниженное значение температуры обмоток якоря.

Способ замера истинных значений температуры заложением термодпары в исследуемые места электродвигателя, хотя и более точен по сравнению с методом термометра, но применяется крайне редко ввиду его сложности.

Известен способ исследования тепловых процессов в якорях электродвигателей, который предусматривает нанесение на наружный слой обмотки якоря специального термоиндикатора, оптически согласованного со светочувствительным датчиком. Помимо постоянной регистрации температуры способ также предусматривает наличие порогового устройства со световой индикацией, которое срабатывает при достижении предельной температуры обмотки. Устройство, реализующее этот способ, является сложным и дорогостоящим [2].

Наиболее распространенным является способ непосредственного измерения сопротивления обмотки якоря. При измерении текущих значений сопротивления обмотки электрической машины она отключается после ее полной остановки и производится отсчет сопротивления. Для измерения используется мостовой метод измерения сопротивления, в одно из плеч которого включают якорь электропривода стрелочного перевода [3].

При использовании этого метода необходимо учитывать температурный коэффициент стабильности проводника (ТКС), который определяется по формуле:

$$TKC = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{R_2 - R_1}{T_2 - T_1}, \quad (1)$$

где R_1 – начальное сопротивление проводника, Ом; R_2 – конечное значение сопротивления проводника, Ом; T_1 – начальная температура, °С; T_2 – конечная температура, °С.

Отсюда абсолютная температура с учетом перегрева определяется по формулам:

$$v_{\text{гор}} = \frac{1}{TKC} \cdot \frac{R_{\text{гор}} - R_{\text{хол}}}{R_{\text{хол}}} + 20^\circ, \quad (2)$$

$$\tau = \frac{1}{TKC} \cdot \frac{R_{\text{гор}} - R_{\text{хол}}}{R_{\text{хол}}} + 20^\circ - v_0,$$

$$\tau = v_{\text{гор}} - v_0, \quad (3)$$

где $v_{\text{гор}}$ – абсолютная температура проводника, °С; TKC – температурный коэффициент стабильности; $R_{\text{гор}}$ – сопротивление нагретого проводника, Ом; $R_{\text{хол}}$ – сопротивление холодного проводника, Ом; v_0 – начальная температура, °С; τ – перегрев проводника, °С.

При измерениях мостовым методом якорь электродвигателя рассматривается как идеальное однородное тело, все токи которого имеют одинаковую температуру. Вместе с тем реальные якоря имеют большую неоднородность меди проводника, изоляции обмотки и стали якоря, что приводит к погрешности измерений. Поэтому для уменьшения погрешности тепловой поток и перегрев температуры по толщине изоляции Θ_β определяются по формулам:

$$Q = \alpha S \tau, \quad (4)$$

$$\Theta_\beta = \frac{\beta}{\pi S}, \quad (5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи; β – толщина изоляции, м; τ – текущий перегрев изоляции, °С; Θ_β – перепад температуры по толщине изоляции, °С; π – теплопроводность изоляции, Вт/(м·К); Q – тепловой поток, Дж; S – площадь теплоотдачи, м².

Приграничные слои «медь проводника – изоляция» будут иметь более высокую температуру, чем приграничные слои «изоляция обмотки – сталь якоря», поскольку температура этих слоев зависит от теплопроводности изоляции.

Разные типы изоляции имеют неодинаковую теплопроводность, а описанный выше метод их уравнивает, внося погрешности. Отсюда следует, что рассматриваемый способ не обеспечивает высокую точность в измерении истинной температуры. Фактически, таким методом будет получена температура меди и динамика ее изменения, а не температура изоляции обмотки. Искажение показателей снижает надежность работы электродвигателей, что может привести к аварийной ситуации. Электротехнические элементы электродвигателя, в частности его якорь, являются элементами с распределенными параметрами. Их схема замещения включает активную, индуктивную и емкостную составляющие. Собственная емкость якоря может быть представлена в виде конденсатора, одной из пластин которого является обмотка якоря, а второй – сталь якоря.

На рис. 1 и 2 изображены поперечный разрез паза якоря электродвигателя и схема замещения паза емкостями: 1 – обмотка якоря, 2 – сталь якоря, 3 – изоляция обмотки, 4 – конденсатор C_1 , определяющий емкость перехода «левая сторона – паз», изоляция и обмотка якоря, 5 – конденсатор C_2 , емкость которого определяется сталью дна паза, изоляцией и обмоткой якоря, 6 – конденсатор C_3 , определяющий емкость перехода «правая сторона – паз», изоляция и обмотка якоря.

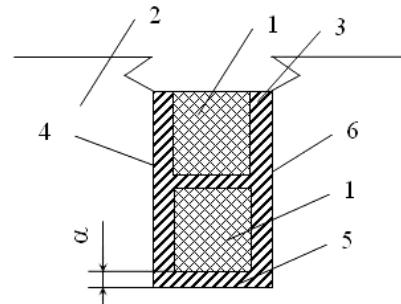


Рис. 1. Поперечный разрез паза якоря электродвигателя

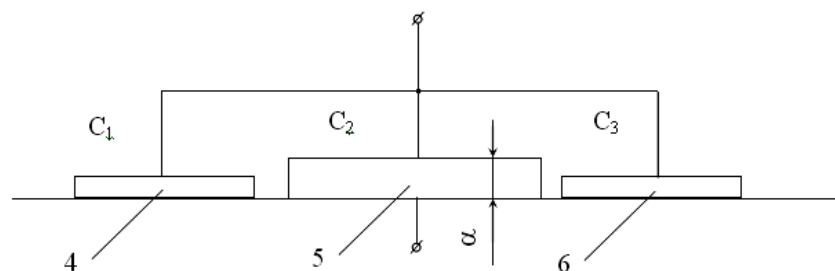


Рис. 2. Схема замещения паза двигателя постоянного тока емкостями

Видно, что емкость одного паза якоря складывается из трех элементарных емкостей сторон паза электрической машины C_1 , C_2 и C_3 (см. рис. 2). Емкость всего якоря складывается из емкостей всех пазов.

Электрическая схема замещения якоря изображена на рис. 3 и содержит: активное сопротивление щетки 7; собственную емкость якоря 8; индуктивность якорной обмотки 9; активное сопротивление якорной обмотки 10; активное сопротивление второй щетки и емкости обмотки возбуждения 12. Как и всякий реальный

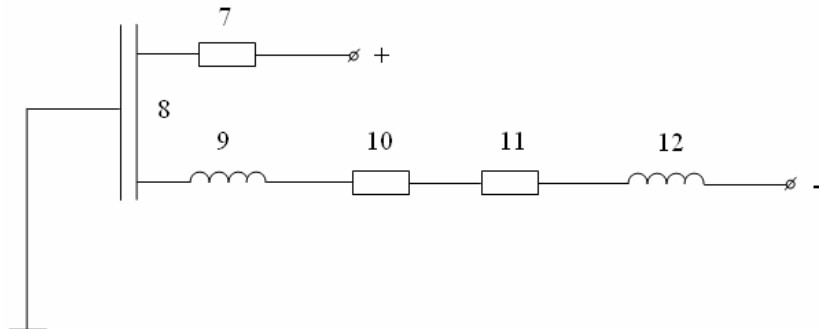


Рис. 3. Электрическая схема замещения якоря двигателя постоянного тока

Из (6) следует, что

$$C_2 = [1 + TKC_C (T_2 - T_1)] C_1. \quad (7)$$

С учетом температурного коэффициента стабильности определяется абсолютная температура и перегрев изоляции обмотки якоря

$$v_{гор} = \frac{1}{TKC_C} \cdot \frac{C_{гор} - C_{хол}}{C_{хол}} + 20^\circ, \quad (8)$$

или

конденсатор, емкость якоря электродвигателя имеет температурный коэффициент стабильности TKC_C , поскольку она зависит от температуры в определенном диапазоне. С учетом этого коэффициент TKC_C равен

$$TKC_C = \frac{1}{C_1} \cdot \frac{C_2 - C_1}{T_2 - T_1}, \quad (6)$$

где C_1 – начальная емкость якоря, Ф; C_2 – конечная емкость якоря, Ф; T_1 – начальная температура, °С; T_2 – конечная температура, °С.

$$\tau = \frac{1}{TKC_C} \cdot \frac{C_{гор} - C_{хол}}{C_{хол}} + 20^\circ - v_0, \quad (9)$$

где $v_{гор}$ – абсолютная температура изоляции, °С; $C_{гор}$ – емкость нагретого якоря, Ф; $C_{хол}$ – емкость холодного якоря, Ф; v_0 – начальная температура, °С; τ – перегрев изоляции, °С.

На рис. 4 изображен экспериментальный график изменения емкости якоря от температуры, построенный по конечным точкам разогрева.

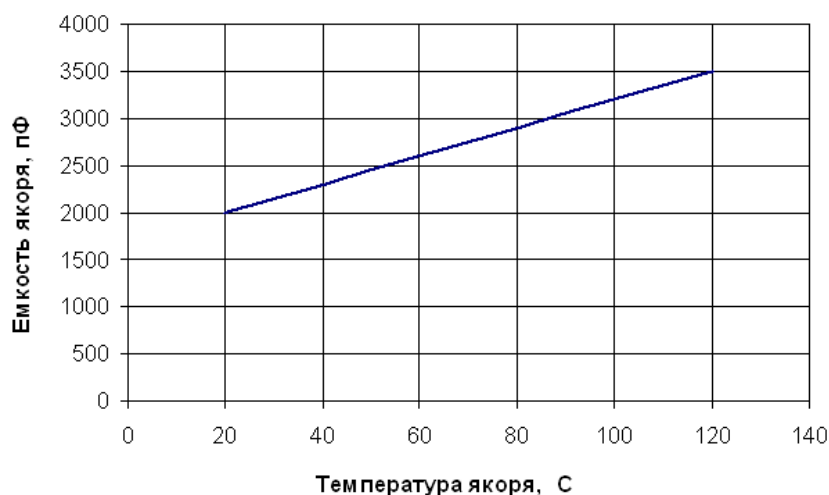


Рис. 4. Зависимость емкости якоря от температуры

Как видно из графика и формулы (7), емкость обмотки якоря при нагреве изменяется линейно. Емкость якоря определяется по формуле

$$C = \frac{0,884S\varepsilon}{\alpha}, \quad (10)$$

где C – емкость якоря, Ф; S – площадь пластин конденсатора, м²; α – расстояние между пластинами конденсатора, м; ε – диэлектрическая проницаемость изоляции.

Изоляция обмотки якоря в основном состоит из неполярных диэлектриков, для которых зависимость $\varepsilon(t^\circ)$ имеет тенденцию к уменьшению с увеличением температуры. Изоляция обмоток является сжатой с обеих сторон медью и сталью, которые расширяются при нагревании. При сжатии у диэлектрика повышается плотность, а следовательно, и ε , при чем также линейно. Диэлектрическая проницаемость ε является функцией двух изменяющихся величин температуры и плотности. При повышении температуры ε уменьшается, а при увеличении плотности – растет. Так как эти две величины линейные, то и их результирующая кривая будет линейной [3].

Поскольку геометрические размеры и диэлектрическая проницаемость изменяются линейно, то и вся емкость якоря и меди будет изменяться линейно (см. рис. 4).

Изоляция обмотки якоря, представленная в виде диэлектрика конденсатора, позволяет рассмотреть процессы, происходящие в ней. Изменение емкости якоря вызывается нагревом и сжатием изоляции. Следовательно, изменение емкости в процессе изменения температуры отражает реальную динамику изменения изоляции при изменении температуры и служит объективной величиной для определения истинных значений температуры и перегрева изоляции.

По результатам измерения емкости и сопротивления якоря строятся графики кривых нагрева и его охлаждения (рис. 5, 6).

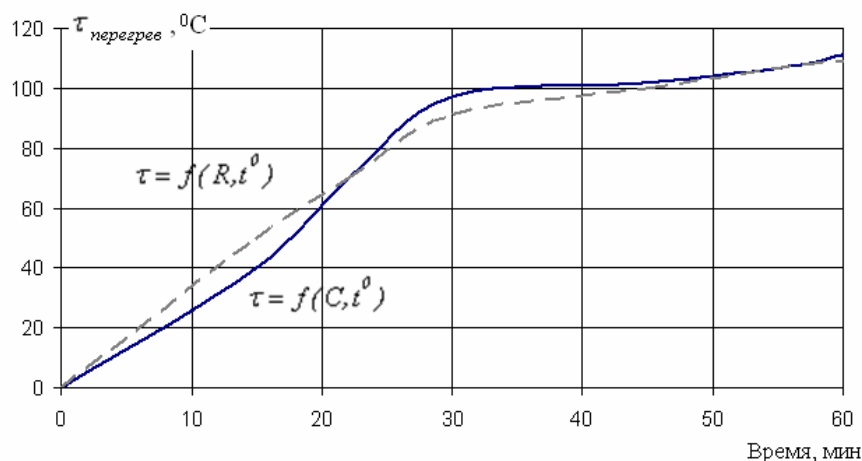


Рис. 5. Кривая нагрева якоря, вызванная изменением емкости и сопротивления

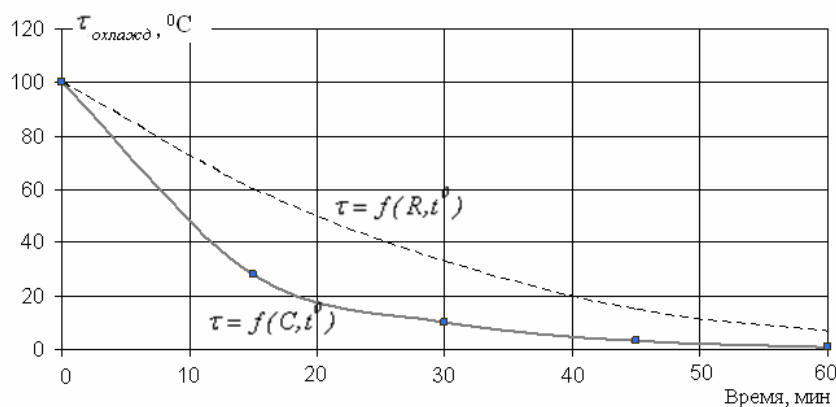


Рис. 6. Кривая охлаждения якоря, вызванная изменением емкости и сопротивления

Как видно из рис. 5, 6, кривая нагревания $\tau = f(C, t^0)$ в начальный период отстает от кривой $\tau = f(R, t^0)$, что обусловлено неравномерностью нагрева меди и изоляции из-за различных коэффициентов теплопроводности и теплоотдачи. При увеличении температуры от 30 °C и выше

кривые практически совпадают. Кривая охлаждения $\tau = f(C, t)$ имеет более крутопадающий характер по сравнению с $\tau = f(R, t)$, что также обусловлено неоднородностью материала и различными коэффициентами теплопроводности и теплоотдачи.

Определение истинной температуры и перегрева изоляции электродвигателя методом измерения собственной емкости якоря позволяет решить дополнительную задачу диагностики электродвигателя. Так как емкость измеряется током частотой 1 000 Гц, то появляется возможность измерить температуру и перегрев изоляции электродвигателя, находящегося под напряжением и нагрузкой, якорь которого вращается (в процессе эксплуатации). В этом случае возможно разделение высокочастотного измерительного напряжения и силовой цепи постоянного и выпрямленного пульсирующего тока.

Предложенный способ измерения температуры изоляции якоря электродвигателя позволяет своевременно выявить перегрев обмотки при работе двигателя на фрикцию, и при снижении сопротивления изоляции электродвигателей стрелочных приводов.

Измерение истинной температуры и перегрева рассматриваемым методом позволит существенно повысить точность измерения и реализовать диагностику на базе ПЭВМ. Все это позволяет повысить качество технического обслуживания и надежность электродвигателей стрелочных электроприводов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шрамков Е. Г. Электрические измерения. – М.: Высш. шк., 1972.
2. А.с. СССР № 142397 А1. Устройство для определения технического состояния коллекторной электрической машины.
3. Тареев В. М. Физика диэлектрических материалов. – М.: Энергоатомиздат, 1982.

Поступила в редколлегию 27.07.2006.