

УДК 622.232. УДК 621.313

ЗАЩИТА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРОХОДЧЕСКИХ ЛЕБЕДОК ОТ ТЕПЛОВЫХ ПЕРЕГРУЗОК

Федоров М.М. канд. тех. наук., доц.,

Донецкий государственный технический университет

На основе исследования режима работы асинхронных двигателей проходческих лебедок предложена система их тепловой защиты и приведена методика параметров расчета ее тепловой модели.

On the base of researching the mode of work asynchronous motors for passage winches the system their thermal defense has been offered and methodic of count on the parameters its thermal model has been brung.

При проходке стволов для подъема и спуска полка применяются проходческие лебедки типа ЛПЭ и ЛПЭП [1]. Обычно продолжительность спуска-подъема полка составляет 30-60 минут, после которой следует длительный перерыв (сутки и более). Количество включений двигателя составляет 10-20 раз за время работы, из чего следует, что режим работы электродвигателей повторно-кратковременный с частыми пусками S4. Длительность одного цикла работы составляет 2-3 мин. Для лебедок типа ЛПЭ обычно применяются асинхронные двигатели (АД) с фазным ротором типа АК2, у которых в цепи обмотки ротора предусмотрено 4-5 ступеней пускорегулировочных сопротивлений. Лебедки типа ЛПЭП снабжены короткозамкнутыми АД типа АОС2 с прямым пуском. Мощность двигателей в зависимости от типа лебедок находится в пределах 20-40 кВт. Из вышеизложенного следует, что двигатели проходческих лебедок работают в тяжелых режимах и, несмотря на относительно небольшую общую длительность работы, в обмотках АД имеют место значительные тепловые перегрузки, которые зачастую приводят к выходу двигателя из строя. Практика свидетельствует, что в пусковых режимах, особенно для короткозамкнутых двигателей, возможны падения напряжения до 20% и более. При этом время пуска возрастает в 4-5 раз, что приводит к существенному возрастанию тепловых нагрузок в обмотках АД. В системах управления двигателей предусмотрены максимальное и тепловое реле. Последнее по своим характеристикам не предназначено для защиты АД, работающих в повторно-кратковременных режимах S4-S5, отличающихся постоянным изменением динамики теплового

состояния обмоток АД, поэтому для тепловой защиты таких двигателей необходимы устройства защиты, в которых бы учитывался характер тепловых переходных процессов в обмотках АД.

Для защиты электродвигателей проходческих лебедок от тепловых перегрузок рационально построить на базе устройств с косвенной оценкой температуры. Использование встроенных в обмотку датчиков температуры затруднено из-за условий эксплуатации, когда маломощный сигнал от датчика необходимо передавать к станции управления АД, находящейся на значительном удалении. В этой связи наиболее подходящим является устройство тепловой защиты типа УТНЗ-4, разработанное в ДонГТУ, по заказу электромашиностроительного завода «Динамо» (г. Москва). Структурная схема устройства приведена на рис. 1.

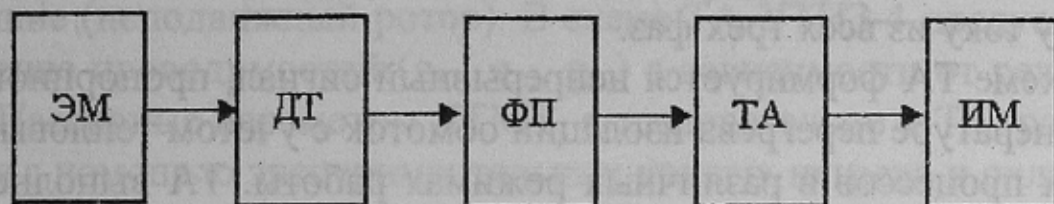


Рисунок 1 - Структурная схема УТНЗ-4

Основными ее узлами являются: ДТ - датчик тока с преобразователем на выходе которого вырабатывается сигнал напряжения пропорциональный току статора; ФП - узел на выходе которого формируется сигнал, пропорциональный греющим потерям электрической машины; ТА - тепловой аналог, который представляет собой электрическую цепь, аналогичную ДТМУ, на выходе которой формируется сигнал, пропорциональный температуре наиболее напряженной в тепловом отношении обмотке (или её части) электрической машины; ИМ - исполнительный механизм (релейного типа), дающий сигнал о превышении температуры обмотки допустимой.

Схема устройства выполнена на двух платах А1 и А2, расположенных в основном модуле. Там же размещены элементы блока питания, реле исполнительного механизма, датчик температуры окружающей среды и др. На плате А1 собрано большинство узлов устройства: усилительная схема ДТ, ФП, пороговый элемент ИМ, схема формирования сигнала, пропорционального окружающей температуре и абсолютной температуры обмотки и др. На плате А2 собрана схема ТА. При разработке платы А1 предусмотрена определенная универсальность, так чтобы устройство в целом, без существенных изменений, можно было применить для защиты различных АД. Для

этого ДТ настраивается таким образом, чтобы его выходной сигнал напряжения был постоянным при номинальной работе электрической машины в режиме S1. При этом на выходе ФП (вход ТА) был сформирован сигнал, пропорциональный допустимой температуре перегрева изоляции обмоток электрической машины над температурой окружающей среды. Сигнал на выходе ДТ пропорционален току обмотки, а на выходе ТА – установившейся температуре в режиме S1 по окончании теплового переходного процесса.

В схеме защиты трехфазных электродвигателей осуществляется контроль токов всех фаз, что позволяет контролировать несимметричный режим и выдавать аварийный сигнал при глубокой несимметрии (обрыв линейного провода и др.), не дожидаясь перегрева обмоток. При этом на выходе ДТ формируется сигнал пропорциональный наибольшему току из всех трех фаз.

В схеме ТА формируется непрерывный сигнал, пропорциональный температуре перегрева изоляции обмоток с учетом тепловых переходных процессов в различных режимах работы. ТА выполнен на базе R-C контуров и его схема представлена на рис.2.

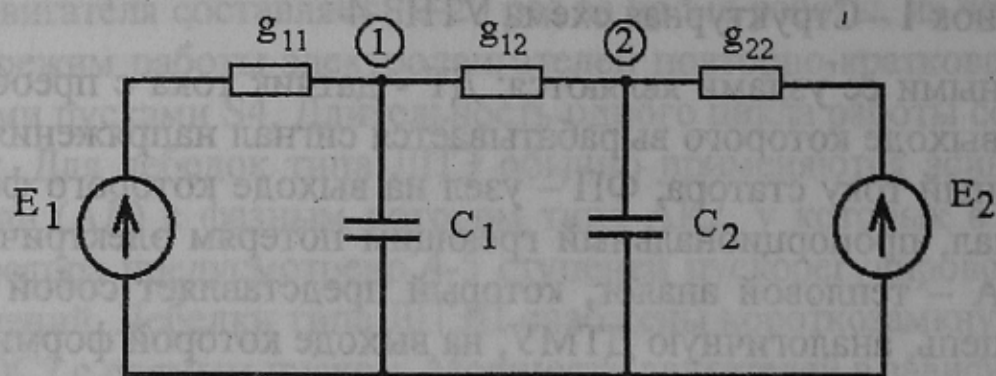


Рисунок 2 - Схема теплового аналога УТНЗ-4

Тепловой аналог является электрическим аналогом динамической тепловой модели узлов (ДТМУ), в данном случае – лобовой части обмотки статора. Напряжение источников ЭДС E_1 и E_2 пропорциональны соответственно греющим потерям P_1 в обмотках статора и суммарным потерям P_2 в остальных узлах АД. Величины E_1 и E_2 формируются в узле ФП.

Проводимости (g_{11} , g_{12} , g_{22}) и емкости (C_1 и C_2) соответствуют пропорциональным тепловым проводимостям (λ_{11} , λ_{12} , λ_{22}) и теплоемкостям ДТМУ; напряжение на C_1 пропорционально температуре лобовой части обмотки статора [2]. Разработанные в ДонГТУ ДТМУ с достаточной степенью точности позволяют моделировать динамику

тепловых процессов в заданном узле электрической машины. Для АД таким узлом является лобовая часть обмотки статора, испытывающая наибольшие тепловые нагрузки. Переходные процессы в ДТМУ описываются системой двух дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} C_1(d\theta_1/dt) + \theta_1(\lambda_{11} + \lambda_{12}) - \theta_2\lambda_{12} &= P_1 \\ C_2(d\theta_2/dt) + \theta_2(\lambda_{22} + \lambda_{12}) - \theta_1\lambda_{12} &= P_2, \end{aligned} \quad (1)$$

где θ_1 - температура перегрева в обмотке статора.

Пассивные параметры ДТМУ ($C_1, C_2, \lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{22}$) определяются массогабаритными показателями и едины для всех машин одного типоразмера. Величины теплопроводности изменяются в зависимости от режима охлаждения. Для АД с самовентиляцией имеют место два режима: включенное состояние (вращающийся ротор) и отключенное состояние (неподвижный ротор). В схеме ТА УТНЗ-4 предусмотрено изменение проводимостей (g_{11}, g_{12}, g_{22}) в зависимости от режима работы. Пассивные параметры ДТМУ, а следовательно и ТА, рассчитываются с помощью экспериментальных кривых нагрева и охлаждения для соответствующего узла АД, которые отражают динамику тепловых процессов в соответствующем режиме охлаждения.

Запишем выражения кривых нагрева $\theta_{1нг}(t)$ и охлаждения $\theta_{1ох}(t)$, полученные в результате решения дифференциальных уравнений (1):

$$\theta_{1нг}(t) = \theta_{1уст}(1 - a_{1нг}(t) \cdot \exp(-t/T_{1нг}) - a_{2нг}(-t/T_{2нг})) \quad (2)$$

$$\theta_{1ох}(t) = \theta_{1уст}(a_{1ох}(t) \cdot \exp(-t/T_{1ох}) - a_{2ох}(-t/T_{2ох})) \quad (3)$$

где: $\theta_{1уст}$ - установившаяся температура лобовой части обмотки статора,

$T_{1нг}, T_{2нг}, T_{1ох}, T_{2ох}$ - соответственно большие и малые постоянные времени экспонент в режимах нагрева и охлаждения,

$a_{1нг}, a_{2нг}, a_{1ох}, a_{2ох}$ - коэффициенты удельного веса экспонент.

Для обеспечения адекватного воспроизведения тепловых переходных процессов в схеме ТА необходимо, чтобы выражения экспериментальных кривых нагрева и охлаждения совпадали с уравнениями (2) и (3).

Используя известные методики [3], экспериментальные кривые нагрева и охлаждения аппроксимируют выражениями с двумя экспоненциальными составляющими и определяют соответственно постоянные времени экспонент и их коэффициенты удельного веса. Эти величины, а также установившиеся температуры $\theta_{1уст} = \theta_{2уст}$, при-

нимаемые равной допустимой температуре $\theta_{\text{доп}}$, являются исходными данными для расчета параметров ДТМУ, а следовательно и ТА.

При нулевых начальных условиях $\theta_1(0) = \theta_2(0)$ из уравнений (1) имеем:

$$C_1(d\theta_1(0)/dt) = P_1 \quad (4)$$

Из выражения аппроксимированной кривой нагрева при $t = 0$ имеем:

$$C_1(d\theta_1(0)/dt) = \theta_{\text{уст}}(a_{1\text{нг}}/T_{1\text{нг}} - a_{2\text{нг}}/T_{2\text{нг}}) = \theta_{\text{уст}} b_{\text{нг}}, \quad (5)$$

тогда: $C_1 = P_1 / (\theta_{\text{уст}} b_{\text{нг}}) \quad (6)$

В установившемся режиме имеет место $d\theta_1(0)/dt = 0$ и $d\theta_2(0)/dt = 0$, тогда из уравнений (1) получим:

$$\begin{aligned} \theta_{1\text{уст}}(\lambda_{11} + \lambda_{12}) - \theta_{2\text{уст}}\lambda_{12} &= P_1 \\ \theta_{2\text{уст}}(\lambda_{22} + \lambda_{12}) - \theta_{1\text{уст}}\lambda_{12} &= P_2, \end{aligned} \quad (7)$$

Принимая во внимание, что $\theta_{1\text{уст}} = \theta_{2\text{уст}} = \theta_{\text{доп}}$, имеем:

$$\lambda_{11} = P_1 / \theta_{\text{доп}}, \quad \lambda_{22} = P_2 / \theta_{\text{доп}} \quad (8)$$

Для определения λ_{12} и C_2 используем характеристическое уравнение (1):

$$\begin{vmatrix} C_1\rho + \lambda_{11} + \lambda_{12} & -\lambda_{12} \\ -\lambda_{12} & C_2\rho + \lambda_{22} + \lambda_{12} \end{vmatrix} = 0 \quad (9)$$

Корни характеристического уравнения ρ_1 и ρ_2 связаны с постоянными времени $T_{1\text{нг}}$ и $T_{2\text{нг}}$ выражениями $\rho_1 = -1/T_{1\text{нг}}$; $\rho_2 = -1/T_{2\text{нг}}$, что дает возможность определить λ_{12} и C_2 . Аналогичным образом определяются параметры ДТМУ в режиме охлаждения, при этом C_1 и C_2 неизменны во всех режимах. По полученным значениям параметров ДТМУ легко рассчитать проводимости и емкости ТА.

Из вышеизложенного следует, что при изменении типоразмера двигателя изменяются только параметры ТА и настройка ДТ, что делает УТНЗ-4 универсальным средством защиты АД. Опыт промышленной эксплуатации УТНЗ-4 подтвердил их эффективность. По своим техническим характеристикам они соответствуют условиям эксплуатации АД проходческих лебедок и могут найти практическое применение.

Список источников:

1. Руководство по монтажу, ревизии и наладке проходческого оборудования (проходческие лебедки), РД 12.18.086-89, Донецк-1989.
2. Федоров М.М. Динамические модели узлов электрических машин. Сб. трудов ДонГТУ, сер. электротехники и энергетики, Донецк-1998.
3. Федоров М.М. и др. Сб. трудов ВНИИВЭ, Донецк - 1999.