

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В СЛЕДЯЩИХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ РЕЛЕЙНОГО ДЕЙСТВИЯ

В. А. БЕЙНАРОВИЧ

(Рекомендовано научным семинаром электромеханического факультета)

Значительное упрощение и удешевление следящих электроприводов релейного действия при одновременном повышении их быстродействия можно обеспечить путем использования двигателей последовательного возбуждения вместо шунтовых и асинхронных двигателей. В таких системах отпадает необходимость наличия устройств питания обмотки возбуждения, а значительно большая перегрузочная способность серийных двигателей (5—6 раз) по сравнению с шунтовыми и асинхронными (2—3 раза) позволяет получить большее ускорение и сократить время отработки.

В качестве релейных бесконтактных элементов в релейных следящих электроприводах с питанием от сети переменного тока можно применять тиристоры или тиратроны, которые в таком случае выполняют роль выпрямителя и регулятора.

Для реверсирования двигателя последовательного возбуждения необходимо четыре комплекта релейных элементов, включаемых по мостовой схеме. В следящих приводах небольшой мощности следует применять двигатели универсального питания с расщепленной обмоткой возбуждения. Это позволяет сократить число комплектов релейных элементов до двух. Кроме того, универсальный коллекторный двигатель рассчитан на питание переменным током и магнитная система его выполняется обычно ненасыщенной [1]. Первое обстоятельство позволяет не принимать мер к снижению пульсаций тока, второе — получить квадратичную зависимость момента от тока, т. е. наибольший максимальный момент.

Несмотря на отмеченные положительные свойства универсальных двигателей, последние еще недостаточно широко используются в следящих электроприводах. Одной из причин такого положения является малая изученность вентильных систем электропривода с двигателями последовательного возбуждения.

При создании следящих приводов релейного действия небольшой мощности с питанием от сети переменного тока следует рекомендовать схему однофазного выпрямления (рис. 1), имеющую минимальное число управляемых вентилей. Ток двигателя в этой системе имеет

импульсный характер. Релейное управляющее устройство РУУ обеспечивает работу вентилях  $T_1$  и  $T_2$  в режиме ключа «открыт—закрыт». В результате двигатель работает в режиме переключений на основных механических характеристиках «вперед» или «назад» (при отсутствии зоны нечувствительности РУУ), либо питание двигателя отключается в положении согласования следящего привода (при наличии зоны нечувствительности РУУ).

В настоящей статье рассматриваются токовые режимы и предлагается методика выбора универсальных двигателей для релейных следящих электроприводов, работающих по схеме рис. 1. Основными величинами для выбора двигателя являются среднее и действующее значения импульсного тока.

Для приближенного определения этих величин представим цепь двигателя схемой замещения (рис. 2) и введем допущения: индуктив-

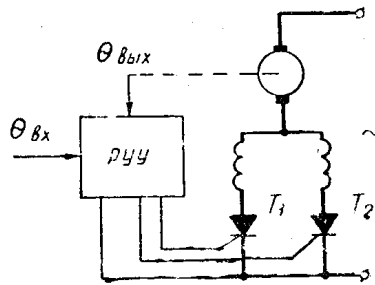


Рис. 1.

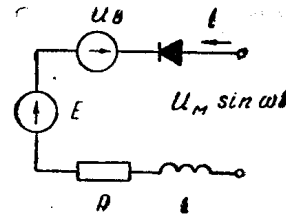


Рис. 2.

ность  $L$  и омическое сопротивление  $R$  — постоянны, противоЭДС  $E$  пропорциональна произведению тока  $i$  и скорости  $n$ , процесс коммутации вентилях происходит мгновенно, падение напряжения  $U_B$  на открытом вентиле постоянно.

Введем обозначения безразмерных величин:

$$\Delta = \frac{U_B}{U_M}; \quad \varepsilon = \frac{E}{U_M}; \quad T = \frac{L}{R}; \quad I_M = \frac{U_M}{R}, \quad (1)$$

где  $U_M$  — амплитуда питающего напряжения.

Уравнение электрического равновесия в системе относительных единиц при питании синусоидальным напряжением запишется

$$\sin(\omega t + \varphi) = \Delta + \varepsilon + \iota + T \frac{d\iota}{dt}; \quad (2)$$

$$\varphi = \arcsin \Delta; \quad (3)$$

где  $\omega$  — угловая частота питающего напряжения;

$\varphi$  — угол открытия вентиля;

$\iota = \frac{i}{I_M}$  — мгновенное значение тока в относительных единицах.

Поскольку  $E = k_1 i n$  или с учетом (1)

$$\varepsilon = k_2 \iota n, \quad (4)$$

уравнение (2) запишется:

$$\sin(\omega t + \varphi) = \Delta + \iota(k_2 n + 1) + T \frac{d\iota}{dt}. \quad (5)$$

Решение уравнения (5) для области  $\iota > 0$  имеет вид

$$i = \frac{\alpha \sin(\omega t + \varphi) - \omega T \cos(\omega t + \varphi)}{\alpha^2 + \omega^2 T^2} + A e^{-\frac{\alpha}{T} t} - \frac{\Delta}{\alpha}; \quad (6)$$

где

$$\alpha = k_2 n + 1, \quad (7)$$

$$A = \frac{\Delta}{\alpha} - \frac{\alpha \sin \varphi - \omega T \cos \varphi}{\alpha^2 + \omega^2 T^2}. \quad (8)$$

Форму импульсов тока его среднее и действующее значения можно рассчитать на основании (6, 7, 8). Однако эти выражения можно упростить, если принять во внимание, что падение напряжения на открытом венти́ле ничтожно мало по сравнению с амплитудным значением питающего напряжения, то есть  $\Delta \approx 0$ . Это вполне справедливо при использовании тиристоров и вносит определенную погрешность в расчет тиристорной системы. Ток при  $\Delta=0$  из (3), (6), (7), (8) определится

$$i = \frac{\alpha \sin \omega t - \omega T \cos \omega t + \omega T e^{-\frac{\alpha}{T} t}}{\alpha^2 + \omega^2 T^2}. \quad (9)$$

Для нахождения среднего и действующего значений тока определим продолжительность импульса тока  $t_n$ , приравняв нулю выражение (9):

$$\frac{\alpha}{\omega T} \sin \omega t_n - \cos \omega t_n + e^{-\frac{\alpha}{T} t_n} = 0. \quad (10)$$

Уравнение (10) трансцендентно и разрешимо численными или графическими методами.

На рис. 3 представлены диаграммы, характеризующие зависимость относительной продолжительности импульса  $i = \omega t_n$  от параметра нагрузки  $\omega T$  и скоростного коэффициента  $\alpha$  для серийного двигателя, рассчитанные по (10).

Среднее значение тока двигателя за время периода питающего напряжения с учетом (9) определится:

$$i_{ср} = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{t_n} i dt = \frac{1}{2\pi(\alpha^2 + \omega^2 T^2)} \times \left[ \alpha(1 - \cos \lambda) - \omega T \sin \lambda + \frac{\omega^2 T^2}{\alpha} \left( 1 - e^{-\frac{\alpha \lambda}{\omega T}} \right) \right]. \quad (11)$$

На рис. 4 представлены диаграммы зависимости среднего тока серийного двигателя от скоростного коэффициента  $\alpha$  и параметра  $\omega T$ , построенные по (11) и (10). По среднему току может быть определена механическая характеристика привода при включенном релейном элементе для конкретной системы, которая в дальнейшем используется в расчетах динамических характеристик следящей системы [2].

Для оценки нагрева двигателя необходимо знать среднеквадратичный ток при включенном релейном элементе, зависящий от скорости и параметров привода и временную циклограмму работы привода, определяемую в расчетах динамики следящей системы. Среднеквадратич-

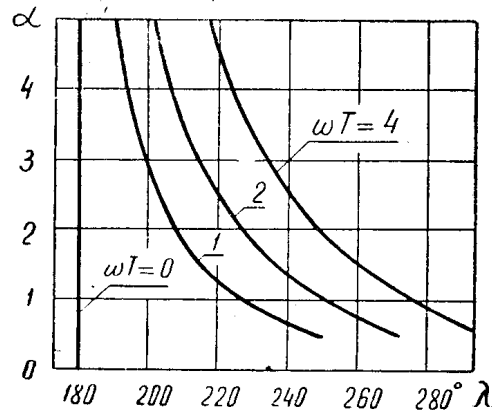


Рис. 3.

ный ток при включенном релейном элементе может быть определен с учетом (9)

$$i_{\text{ск}}^2 = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{t_{\text{н}}} i^2 dt = \frac{1}{2} \left( \frac{\lambda}{2} - \frac{\sin 2\lambda}{4} - \frac{2\omega^2 T^2 e^{-\frac{\alpha\lambda}{\omega T}} \sin \lambda}{\alpha^2 + \omega^2 T^2} \right) + \frac{\omega^3 T^3 \left( 1 - e^{-\frac{2\alpha}{\omega T} \lambda} \right)}{4\pi\alpha (\alpha^2 + \omega^2 T^2)} - \frac{\omega T \sin^2 \lambda}{2\pi (\alpha^2 + \omega^2 T^2)} \quad (12)$$

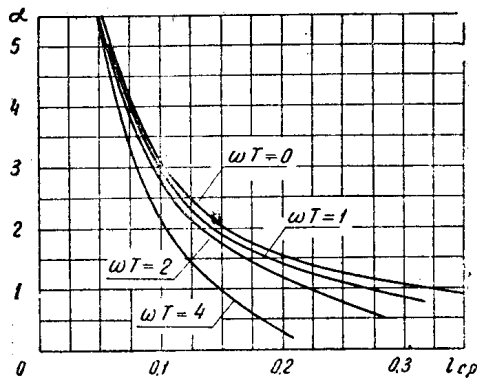


Рис. 4.

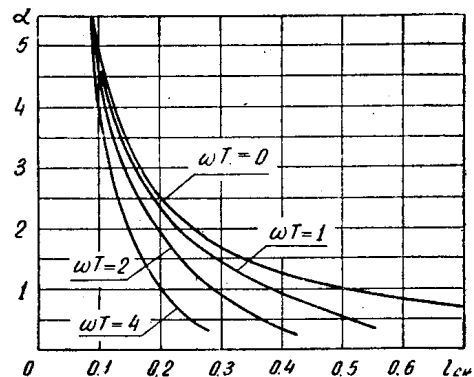


Рис. 5.

На рис. 5 приведены диаграммы среднеквадратичного тока двигателя последовательного возбуждения, в зависимости от скоростного коэффициента  $\alpha$  и параметра  $\omega T$ , построенные по (12) и (10).

Имея возможность расчета среднего и действующего значений импульсного тока, можно предложить следующую инженерную методику выбора универсальных двигателей для электроприводов релейного регулирования с применением управляемых клапанов:

- 1) производится предварительный выбор двигателя (по максимальной мощности, скорости, нагрузке или другим соображениям);
- 2) определяются параметры цепи двигателя, выбирается частота и величина питающего напряжения;
- 3) с помощью диаграмм рис. 4 определяется зависимость среднего значения тока от скорости и строится механическая характеристика привода;
- 4) с использованием механической характеристики и характеристик релейной системы [2] строится временная циклограмма работы двигателя (ток и скорость в функции времени);
- 5) по циклограмме и диаграммам рис. 5 строится график среднеквадратичного тока во времени, рассчитывается эквивалентный по нагреву ток по которому и проверяется выбранный двигатель [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Электрические машины малой мощности, под редакцией Д. А. Завалишина, ГЭИ, 1963.
2. Я. З. Цыпкин. «Теория релейных систем автоматического регулирования», ГИТТЛ, 1955.
3. В. П. Андреев, Ю. А. Сабинин. Основы электропривода, ГЭИ, 1956.