

от состояния сигнала F СУП осуществляет плавное изменение f_2 в переходных режимах электропривода и дискретное задание f_2 в установившихся режимах. Регулятор ЭДС двигателя (РЭ) и вычислитель ЭДС (ВЭ) образуют контур регулирования угла α , обеспечивающий стабилизацию магнитного потока АД во всем диапазоне частотного регулирования скорости. ВЭ формирует сигнал, пропорциональный модулю результирующего вектора ЭДС двигателя, и содержит аналоговые вычислительные устройства, моделирующие дифференциальные уравнения напряжений фаз статора АД. Эти вычислительные устройства определяют мгновенные значения фазных ЭДС на основе измерения напряжения и тока статора АД с помощью соответственно датчиков напряжения (ДН) и датчиков тока (ДТ). РЭ обеспечивает поддержание ЭДС на уровне $E \equiv f_2$, что соответствует стабилизации потока АД.

Описанная система автоматического управления асинхронным электроприводом формирует жесткие механические характеристики (абсолютное скольжение не превышает 1,5 % при моменте нагрузки в 2 раза большем номинального момента АД), при этом обеспечивается работа привода как в двигательном, так и в тормозном режимах. Отсутствие каких-либо датчиков, пристраиваемых к АД или встраиваемых в него, следует отнести к важным достоинствам этой системы. Такие системы асинхронного электропривода на основе простых НППЧЕ обладают высокими технико-экономическими показателями, просты, надежны и могут применяться в электроприводах общепромышленных механизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электроприводы комплектные частотно-регулируемые для шахтных подъемных машин ЭЧМП-1000, ЭЧМП-1250: Информ. о новой разработке, ЛК 08.46.03–85. – М., 1985. – 8 с. 2. Ф и р а г о Б.И. Теория и исследования системы тиристорный циклоконвертор – асинхронный двигатель: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Мн., 1984. – 53 с. 3. Преобразователи серии ТТС: Информ. о новой разработке, ЛК 05.70.06–84. – М., 1985. – 4 с.

УДК 621.316.5

А.И. ЛАПИДУС

ТРЕХФАЗНЫЙ ТИРИСТОРНЫЙ КОММУТАТОР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Тиристорное управление асинхронным двигателем (АД) позволяет реализовать различные режимы работы электропривода. Тиристоры при фазовом управлении выполняют функцию не только бесконтактного пускателя, но и регулятора напряжения. Многообразие схемных решений трехфазных тиристорных коммутаторов (ТТК) обусловлено характером решаемых ими задач [1]. Система ТТК–АД позволяет формировать статические и динамические характеристики двигателя, обеспечивая тем самым оптимальную диаграмму движения электропривода.

На рис. 1 представлена схема разработанного ТТК для плавного пуска и

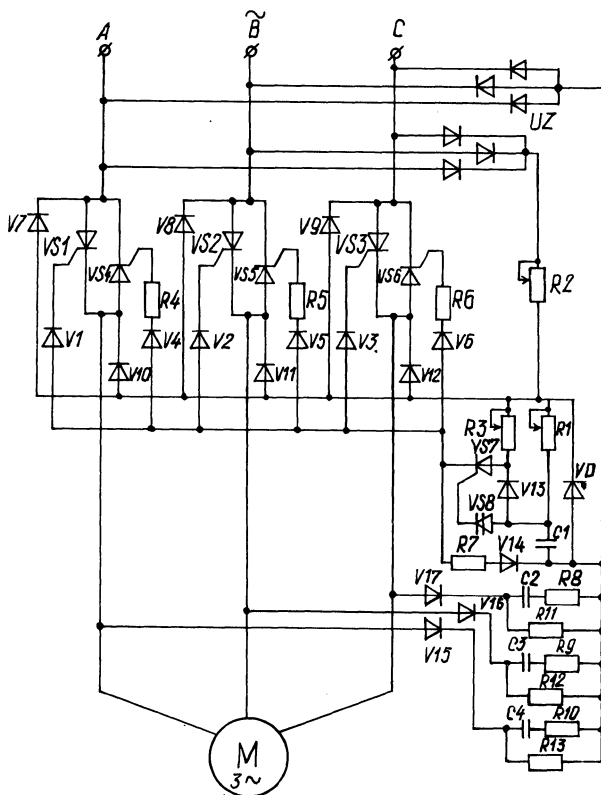


Рис. 1. Схема тиристорного коммутатора

регулирования скорости АД [2]. Коммутатор работает следующим образом. Часть напряжения сети, выпрямленного выпрямителем *UZ*, стабилизируется стабилитроном *VD*. Конденсатор *C1* заряжается от указанного источника стабилизированного напряжения через резистор *R1*. Когда напряжение на конденсаторе *C1* достигнет величины напряжения включения динистора *VS8*, происходит его пробой и ток разряда конденсатора *C1* потечет по цепи: первая обкладка конденсатора *C1* – динистор *VS8* – управляющий переход тиристора *VS7* – резистор *R7* – диод *V14* – вторая обкладка конденсатора *C1*. В результате протекания разрядного тока конденсатора *C1* открывается тиристор *VS7*. С момента включения тиристора *VS7* через него начинает идти ток, который далее разветвляется по двум цепям: через управляющий электрод одного из силовых тиристоров *VS1* – *VS3*, анод которого находится под наиболее положительным потенциалом питающей сети, и через управляющий электрод одного из тиристоров *VS4* – *VS6*, катод которого находится под наиболее отрицательным потенциалом питающей сети.

Схема выполнена так, что исключается возможность подачи управляющих импульсов на те тиристоры, которые из-за полярности питающего напряжения в этот момент не могут проводить ток. Допустим, что в какой-то момент вре-

мени фаза A имеет наибольший положительный потенциал, а фаза C – наибольший по модулю отрицательный, при этом откроются силовые тиристоры $VS1$ и $VS6$. Для силового тиристора $VS1$ управляющий ток пойдет по цепи: фаза A – диод выпрямителя UZ – резистор $R2$ – резистор $R3$ – тиристор $VS7$ – диод $V1$ – управляющий переход силового тиристора $VS1$ – диод $V15$ – конденсатор $C4$ – резистор $R10$ – диод выпрямителя UZ – фаза C . Для силового тиристора $VS6$ управляющий ток пойдет по цепи: фаза A – диод выпрямителя UZ – резистор $R2$ – резистор $R3$ – тиристор $VS7$ – диод $V6$ – резистор $R6$ – управляющий переход силового тиристора $VS6$ – фаза C . Эти управляющие токи опирают силовые тиристоры $VS1$ и $VS6$, которые удерживаются в открытом состоянии током диодов $V7$ и $V12$.

При формировании управляющего импульса для остальных силовых тиристоров рассмотренные процессы повторяются со сдвигом на 120° эл. Удержание силовых тиристоров в открытом состоянии током выпрямителя UZ и током диодов $V7$ – $V12$ является причиной обеспечения независимости длительности управляющих импульсов от характера нагрузки коммутатора. Открытый силовой тиристор вместе с диодом в его анодной цепи шунтирует цепь тиристора $VS7$, в результате чего ток через управляющий переход силового тиристора автоматически исчезает. Изменяя постоянную времени τ времязадающей RC -цепи, можно в широких пределах регулировать угол α открывания силовых тиристоров в оба полу периода питающего напряжения.

Наличие магнитной связи между обмотками фаз статора и ротора, а также влияние на эту связь скорости вращения двигателя усложняет расчет всех параметров и характеристик машины. Для определения токов и напряжений в цепях двигателя необходимо решить систему громоздких и сложных дифференциальных уравнений [3], составленных с учетом ЭДС вращения и угла проводимости тиристоров. Решение этих уравнений возможно только с помощью ЭВМ. По результатам таких расчетов [4] получены графические зависимости (рис. 2), с помощью которых могут быть построены регулировочные механические и скоростные характеристики АД.

При питании двигателя несинусоидальным напряжением можно считать, что его момент M равен алгебраической сумме составляющих от отдельных гармоник напряжения. Тогда

$$M = M_1 - M_5 + M_7 - M_{11} + \dots,$$

где M_1 , M_5 , M_7 , ... – моменты, образуемые соответственно первой, пятой, седьмой гармониками напряжения. Знак момента зависит от направления вращения поля соответствующей гармоники по отношению к вращающемуся полю первой гармоники. Значения моментов M_1 , M_5 , M_7 , ... могут быть определены, если для каждой из гармоник напряжений составить свою схему замещения.

Если пренебречь активным сопротивлением статорных цепей, критический момент для i -й гармоники $M_{\kappa i}$ можно выразить следующей зависимостью:

$$M_{\kappa i} = \frac{m}{2\omega_{ci}} \frac{U_{\text{д}i}^2}{i(x_1 + x_2')},$$

где m — число фаз статора; ω_{ci} — синхронная скорость вращения электромагнитного поля для i -й гармоники; $U_{ид}$ — действующее значение напряжения i -й гармоники; x_1, x_2 — индуктивное сопротивление статора и ротора.

Текущее значение скольжения для i -й гармоники S_i связано со скольжением двигателя S , соответствующим 1-й гармонике напряжения, соотношением $S_i = 1 \mp (1 - S)/i$. Знак "—" относится к полям прямой последовательности, совпадающим по направлению вращения с полем 1-й гармоники, а знак "+" — к полям обратной последовательности. Используя (1), можно найти соотношение для критических моментов i -й и 1-й гармоник, когда $U_{1д} = U_{д.ф}$:

$$\frac{M_{ки}}{M_k} = \frac{1}{i^2} \left(\frac{U_{ид}}{U_{1д}} \right)^2 = \frac{1}{i^2} \left(\frac{U_{ид}}{U_{д.ф}} \right)^2 = \frac{1}{i^2} v_{ид}^2,$$

где M_k — критический момент АД на естественной характеристике; $U_{д.ф}$ — действующее значение фазного напряжения, приложенного к двигателю в режиме непрерывного синусоидального тока; $v_{ид}$ — относительное значение действующего напряжения i -й гармоники: $v_{ид} = V_{ид} / V_{д.ф}$.

Исследования показали, что максимальное значение $v_{5д}$ и $v_{7д}$ даже в самых неблагоприятных случаях не превышает 0,2–0,25, а напряжение гармоник более высокого порядка ввиду их малости вообще можно не учитывать. Поэтому моменты, создаваемые высшими гармониками, пренебрежимо малы по сравнению с моментом от первой гармоники. Следовательно, с достаточной для практических расчетов точностью при определении вида регулировочных механических характеристик АД следует пользоваться формулой

$$M_p = M v_1^2, \quad (5)$$

где M_p — момент, развиваемый двигателем при питании пониженным напряжением; M — момент на естественной характеристике, рассчитанный по фор-

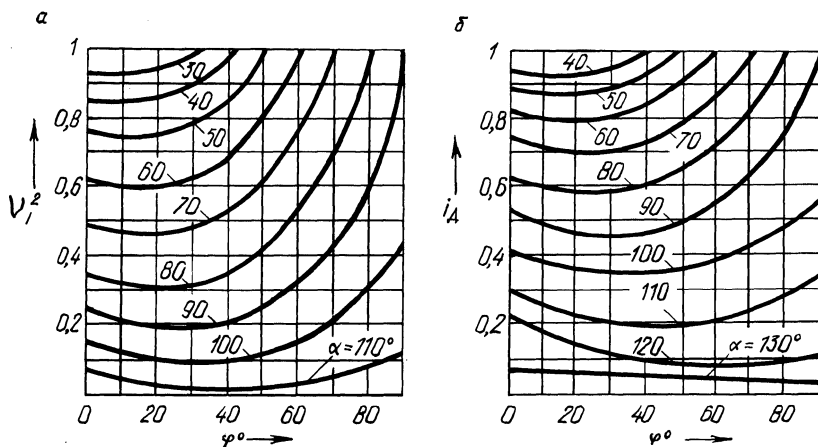


Рис. 2. Универсальные расчетные кривые для построения характеристик двигателя: а — $v_1^2 = f(\alpha, \varphi)$ — для механических характеристик; б — $i_{д} = f(\alpha, \varphi)$ — для скоростных характеристик

муле Клосса; ν_1 — относительное напряжение 1-й гармоники для выбранного значения скольжения S .

Таким образом, для построения регулировочных характеристик необходимо знать ν_1^2 для выбранных значений S , т. е. иметь функцию $\nu_1^2 = f(S)$ при фиксированных значениях угла α открывания тиристоров. Для этого воспользуемся кривыми $\nu_1^2 = f(\alpha, \varphi)$, приведенными на рис. 2, а, вычислив предварительно углы φ нагрузки для каждого значения S . Функция $\varphi = f(S)$ может быть определена различными способами (по каталожным данным, из круговой диаграммы или из схемы замещения) в предположении, что ее вид не зависит от величины приложенного к двигателю напряжения. В частности, при использовании Т-образной схемы замещения АД формула для определения φ приобретает вид [5]:

$$\varphi = \arctg(x_3/R_3) = \arctg \frac{x_1 + Z_1 \left((1/x_0) + (x'_2/z_2'^2) \right)}{r_1 + Z_1^2 r_2' / (s z_2'^2)}$$

Здесь $z_1 = \sqrt{r_1^2 + x_1^2}$; $z_2' = \sqrt{(r_2'/s)^2 + x_2'^2}$.

Зависимость $\varphi = f(s)$, найденная из схемы замещения АД по первой гармонике, справедлива, если параметры его принимаются постоянными. При переменном угле α изменяется напряжение, приложенное к двигателю, ток, протекающий по обмотке, а следовательно, и индуктивное сопротивление из-за изменения насыщения от потоков рассеяния. Однако расчеты показывают, что для инженерных исследований можно пользоваться зависимостью $\varphi = f(s)$, не учитывая изменения питающего напряжения. На рис. 3 представлены регулировочные механические характеристики электропривода в системе ТТК-АД (двигатель типа 4АХ80А4, $P_{\text{ном}} = 1,1$ кВт).

Для исследования энергетических показателей асинхронных электроприводов, работающих на регулировочных характеристиках, целесообразно знать их скоростные характеристики, т. е. зависимость $I_{\text{д}} = f(s)$, так как действующее значение тока $I_{\text{д}}$ в обмотках статора определяет нагрев двигателя. Скоростные характеристики АД при $\alpha = \text{const}$ могут быть построены с помощью универсальных кривых $i_{\text{д}} = f(\alpha, \varphi)$, приведенных на рис. 2, б, и известной за-

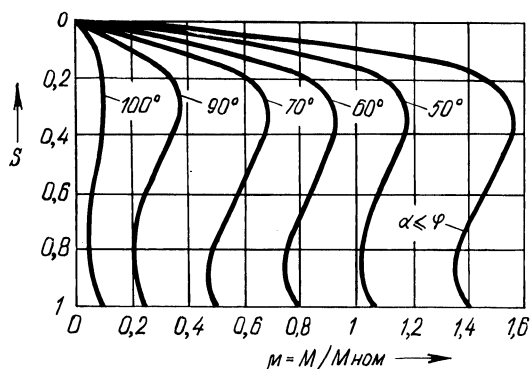


Рис. 3. Регулировочные механические характеристики двигателя типа 4АХ80А4

зависимости $\varphi = f(S)$. Методика построения скоростных характеристик аналогична рассмотренной для построения механических регулировочных характеристик. Действующее значение тока на регулировочной скоростной характеристике равно

$$I_p = I_d i_d, \quad (2)$$

где I_d — действующее значение тока статора при работе двигателя на естественной характеристике.

Из формулы (2) следует, что для отыскания зависимости $I_p = f(S)$ при фиксированных углах α нужно знать $I_d = f(S)$ и $i_d = f(s)$ при соответствующих α . Функцию $I_d = f(S)$ можно определить, пользуясь паспортно-каталожными данными, из следующего выражения [6]:

$$I_d = I_0^2 + 2(I_{\text{ном}}^2 - I_0^2) \frac{M_k S_k}{M_{\text{ном}} S_{\text{ном}}} \frac{s^2}{s^2 + s_k^2},$$

где I_0 , $I_{\text{ном}}$ — токи холостого хода и номинальный; $M_{\text{ном}}$ — номинальный момент; s_k , $s_{\text{ном}}$ — критическое и номинальное скольжение.

Разработанная схема ТТК достаточно проста и позволяет за счет фазового управления тиристорами получать различные регулировочные характеристики АД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тиристорные преобразователи напряжения асинхронного электропривода / Л.П. Петров, О.А. Андрющенко, В.И. Капинос и др. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 200 с.
2. Трехфазный тиристорный коммутатор: А. с. 1039032 СССР, МКИ³Н 03 К 17/56.
3. Асинхронный электропривод с тиристорными коммутаторами / Л.И. Петров, В.А. Ладензон, М.П. Обуховский, Р.Г. Подзолов. — М.: Энергия, 1970. — 128 с.
4. Шубенко В.А., Браславский И.Я. Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением. — М.: Энергия, 1972. — 200 с.
5. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных электродвигателей. — М.; Л.: Госэнергоиздат, 1955. — 328 с.
6. Гейлер Л.Б. Основы электропривода. — Мн.: Выш. шк., 1972. — 608 с.

УДК 621.311

В.А. ТРУСОВ

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ВОЗДУШНЫХ СЕТЯХ 10 кВ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Известно [1], что сети 6–10 кВ по протяженности в 6 раз превышают сети 35 кВ и являются, безусловно, более ответственными, чем примерно равные им по протяженности сети 0,38 кВ. Повреждаемость сетей 10 кВ в 4 раза выше, чем 35 кВ, и составляет около 60 % общего числа повреждений в сетях 0,4–35 кВ. Именно поэтому для проведения анализа повреждений в сетях с изолированной нейтралью в данной работе выбраны сети 10 кВ.

В качестве исходных материалов при анализе были использованы дан-