

Для устранения сильных обратных связей преобразуем первые три уравнения системы (1) к виду:

$$\psi_a = \frac{u_a}{p} - \frac{R}{p} i_a - \frac{R_n}{3p} i_n; \quad \psi_b = \frac{u_b}{p} - \frac{R}{p} i_b - \frac{R_n}{3p} i_n,$$
$$\psi_c = \frac{u_c}{p} - \frac{R}{p} i_c - \frac{R_n}{3p} i_n.$$

Эти соотношения используем при построении графа рис. 2, в. Лишь три обратные ветви имеют коэффициенты  $-1$ , но они не ухудшают устойчивость расчета, так как входят в контуры, коэффициенты передач ветвей которых содержат оператор интегрирования. Все остальные обратные передачи осуществляются с использованием операторов  $1/p$ . Приведенная ниже графа (рис. 2, в) характеристика итерационного процесса показывает, что процесс устанавливается быстро, три приближения дают достаточно точное решение.

Выполненные исследования показали, что наиболее рациональная расчетная схема обеспечивается при следующих особенностях структуры графа: 1) обратные связи графа отрицательны и содержат оператор интегрирования; 2) обратные связи без операторов интегрирования входят в контур, ветви которого имеют передачи с оператором интегрирования; 3) коэффициенты передач ветвей графа не содержат операторов дифференцирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. О р е О. Теория графов. — М.: Наука, 1968. — 352 с. 2. Р о з у м Т.Т. Исследования переходных процессов в двухконтурной феррорезонансной цепи с помощью направленных графов // Науч. и прикл. пробл. энергетики. Мн.: Выш. шк. — 1983. — Вып. 10. — С. 112–118.

УДК 62.83:621.313.333

Б.И. ФИРАГО, А.А. СЕМЧЕНКО,  
С.Ю. ДОЛЖНИКОВ, Н.М. УЛАШИК

### ПРИМЕНЕНИЕ НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ

Достоинства асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором (АД) обусловили их широкое применение в самых различных механизмах. Особенно сильно выросла в последнее время область применения частотно-регулируемого асинхронного электропривода, что, несомненно, связано с интенсивным развитием преобразовательной техники. Весьма перспективно применение в массовом электроприводе общепромышленных механизмов непосредственных полупроводниковых преобразователей частоты с естественной коммутацией (НППЧЕ). Эти преобразователи просты, надежны, обладают вы-

сокими массогабаритными показателями и малыми собственными потерями энергии.

В настоящее время промышленность осваивает производство асинхронных электроприводов на основе НППЧЕ различных типов. Например, для шахтных подъемных установок разработаны такие электроприводы большой мощности (1000 и 1250 кВт) [1]. В области малых и средних мощностей (до 100 кВт), на наш взгляд, особенно перспективно использование трехфазно-трехфазных тиристорных НППЧЕ без нулевого провода, силовые блоки которых выполнены по лучевым схемам. Выбор той или иной схемы силового блока обуславливается мощностью, диапазоном частотного регулирования скорости электропривода и зависимостью момента нагрузки от частоты вращения ротора АД. Следует выделить два основных режима работы НППЧЕ с лучевыми схемами силовых блоков: режим преобразования частоты и режим коммутатора. В последнем режиме осуществляется прямое подключение АД к питающей сети, при этом двигатель работает на естественной механической характеристике. В режиме преобразования частоты импульсы управления тиристорами НППЧЕ модулируют сигналами, частота и форма которых определяет частоту и форму выходного напряжения преобразователя. Асинхронные электроприводы малой и средней мощности с относительно небольшим диапазоном регулирования частоты вращения АД (до 20:1) целесообразно строить на основе НППЧЕ с прямоугольной модуляцией выходного напряжения [2]. Системы управления такими преобразователями относительно просты и надежны.

Силовой блок простейшего маловентильного НППЧЕ содержит 6 тириستоров, а в случае необходимости реверсивного управления электроприводом может быть дополнен еще четырьмя тиристорами или контакторным реверсом. Частотное управление АД с помощью такого преобразователя, часто называемое квазичастотным или частотноимпульсным управлением, целесообразно использовать при малых мощностях (до 10–15 кВт) и невысоких требованиях к ограничению пульсаций момента и скорости привода. Разработанная в Белорусском политехническом институте система управления маловентильным НППЧЕ при постоянном моменте нагрузки (подъемно-транспортные механизмы) обеспечивает формирование установившихся режимов работы электропривода при ступенчатом задании выходной частоты преобразователя в диапазоне скоростей  $0 < \omega \leq 0,5 \omega_n$  ( $\omega_n$  – номинальная частота вращения АД) и плавное частотное регулирование скорости привода в переходных режимах. При вентиляторном моменте нагрузки диапазон частотного регулирования скорости привода может быть расширен до  $(0,7–0,8) \omega_n$ , при этом потери в двигателе не превышают номинальных (гораздо меньше, чем при фазовом управлении).

Для управления АД средней мощности (до 100 кВт) целесообразно применять трехфазно-трехфазные 18-тиристорные НППЧЕ без нулевого провода (силовой блок выполнен по лучевой схеме). В переходных режимах работы такого электропривода диапазон частотного регулирования скорости даже при постоянном (максимальном) моменте нагрузки может быть расширен почти до номинальной скорости АД (до  $0,8–0,9 \omega_n$ ). Высокие энергетические показатели в установившихся режимах работы электроприводов с НППЧЕ (как с 18-, так и с 6-тиристорными) достигаются при дискретном задании выходной

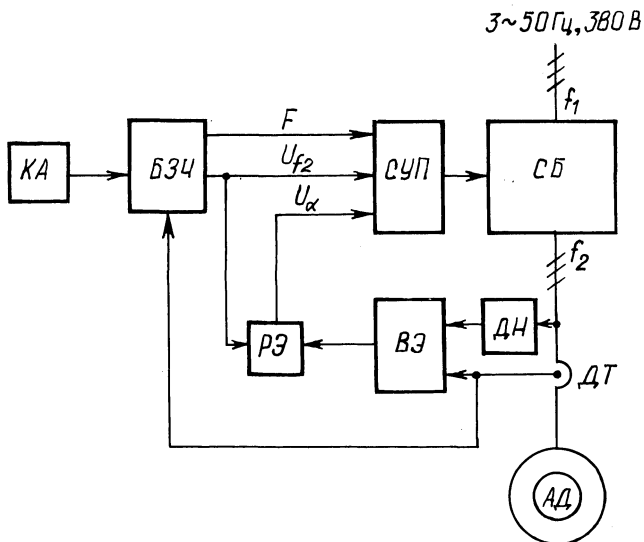


Рис. 1. Функциональная схема системы управления асинхронным электроприводом

частоты  $f_2$  преобразователя [2]. При этом частоту модулирующих сигналов синхронизируют с частотой  $f_1$  напряжения питающей сети. В Белорусском политехническом институте совместно с НИИ завода "Электровыпрямитель" (г. Саранск) разработана система управления 18-тиристорного НППЧЕ серии ТТС мощностью до  $100 \text{ кВ} \cdot \text{А}$  [3]. Выпуск этого преобразователя, рассчитанного на применение в электроприводах подъемно-транспортных механизмов, планируется на заводе "Электровыпрямитель".

Следует отметить целесообразность применения НППЧЕ (особенно маловентильных) для частотного пуска асинхронных электроприводов центробежных механизмов, характеризующихся значительными моментами инерции. На основе маловентильных преобразователей могут быть построены электроприводы мощностью до 30–40 кВт. В этом случае с помощью преобразователя формируется частотный пуск АД до  $(0,6-0,7) \omega_n$ , а затем двигатель подключается непосредственно к питающей сети (например, с помощью контактора).

Структура системы автоматического управления, разработанная для асинхронных электроприводов подъемно-транспортных механизмов с 18- и 6-вентильными НППЧЕ, представлена на рис. 1. Командоаппарат (КА) осуществляет ступенчатое или плавное задание скорости электропривода. Блок задания частоты (БЗЧ) формирует плавное, с заданным темпом, изменение сигнала  $U_{f_2}$  при произвольном изменении выходного сигнала командоаппарата, обеспечивает снижение выходной частоты преобразователя в случае превышения током статора АД допустимого значения, а также формирует сигнал  $F$ , определяющий способ задания выходной частоты преобразователя (плавное или дискретное задание). Система управления преобразователем (СУП) формирует импульсы управления тиристорами силового блока (СБ) в соответствии с  $U_{f_2}$ ,  $F$  и с сигналом  $U_\alpha$  задания угла  $\alpha$  открытия тиристорov. В зависимости

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  $\alpha$ , 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, встраиваемых 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