

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И СХЕМЫ ЕГО ВКЛЮЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ТОЧНОГО ПОДДЕРЖАНИЯ СКОРОСТИ

Ю. М. АЧКАСОВ, Б. А. ЗАХАРОВ

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Прецизионное машиностроение и приборостроение, новые разработки геофизической, сейсмической, видеозвукозаписывающей аппаратуры предъявляют жесткие требования к точности поддержания скорости вращения исполнительных электродвигателей. В системах точного поддержания скорости (ТПС) переменного тока применяются различные типы синхронных электродвигателей. Благодаря астатическому саморегулированию, скорость вращения их определяется только частотой питающего тока, что позволяет получить точность поддержания средней скорости $(0,01 \div 0,001) \%$.

К электродвигателям систем ТПС магнитофонов, например, предъявляются следующие требования [1]:

нестабильность скорости вращения ротора должна находиться в пределах $(10^{-3} \div 10^{-4})$;

возможность переключения скоростей в диапазоне 2:1; 4:1;

возможность питания от однофазной цепи переменного тока;

малый коэффициент шума и вибрации, минимальное поле рассеяния;

нагрев не более 80°C по отношению к окружающей среде.

В системах ТПС, где необходим точный останов для режима торможения, предъявляются такие требования:

минимальное время торможения и растормаживания;

постоянство тормозного момента при эксплуатации;

возможность регулировки тормозных моментов;

надежность в работе.

Такие требования характерны для большинства маломощных систем ТПС со ступенчатым регулированием скорости.

Согласно [2] наибольшей равномерностью скорости вращения ротора обладают синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ) и асинхронным пуском. Гистерезисные двигатели (ГД) имеют худшие показатели равномерности вращения, чем СДПМ. Из-за отсутствия короткозамкнутой обмотки на роторе они имеют большие качания ротора при изменении нагрузки. Синхронные реактивные двигатели (СРД) по равномерности вращения ротора уступают СДПМ и ГД, что обуславливается сложным спектральным составом поля в зазоре машины. Однако СДПМ и СД выпускаются на мощности не выше десятков ватт, имеют низкие энергетические показатели, сложную технологию изготовления и требуют применения дорогостоящих материалов. Усовершенствованные СРД малой мощности имеют энергети-

ческие показатели, близкие к асинхронным двигателям одинакового габарита [3]. Кроме того, СРД имеют простую технологию изготовления и дешевле других типов синхронных двигателей.

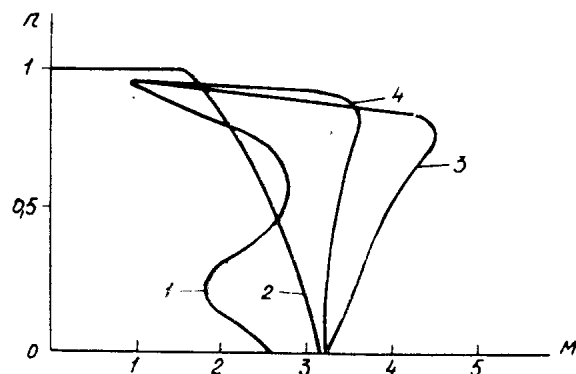


Рис. 1. Пусковые механические характеристики синхронных электродвигателей.

Сравним пусковые характеристики рассматриваемых двигателей, приведенные на рис. 1. В пусковой характеристике СДПМ (кривая 1, рис. 1) имеется провал, обусловленный тормозным моментом от действия постоянных магнитов и возможно размагничивание их при пуске. Кроме того, СДСМ имеют высокую кратность пускового тока. Пусковой момент гистерезисного двигателя (кривая 2, рис. 1) уменьшается в процессе пуска, что увеличивает время разгона. Достоинством ГД является большой входной момент и плавность входа в синхронизм, однако ГД имеют большой разброс характеристик. Трехфазные СРД

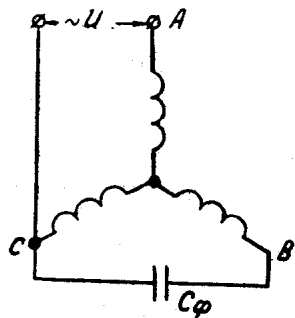


Рис. 2. Схема включения ОК СРД на однофазную сеть.

имеют пусковую характеристику (кривая 3, рис. 1), подобную асинхронному двигателю. Из-за наличия критического момента происходит резкий вход в синхронизм СРД, что приводит к перерегулированию скорости. Характеристика СРД типа (ДРС150М), включенного по схеме конденсаторного (рис. 2), показана на рис. 1 кривая 4. Пуск осуществляется с постоянной пусковой емкостью, которая отключается в момент входа двигателя в синхронизм. Характерным является разгон двигателя с постоянным пусковым моментом и наличие достаточно момента входа в синхронизм, что обеспечивает минимальное время пуска.

В системах ТПС, как правило, используются трехфазные СРД с питанием от вентильных преобразователей частоты (ВПЧ) [4]. Блок-схема такой системы приведена на рис. 3, а. СРД получает питание от трехфазного управляемого выпрямителя (УВ) через фильтр (Ф) и трехфазный инвертор (А, В, С). Устройство управления выпрямителем (УУВ) и устройство управления инвертором обеспечивают необходимую величину и форму выходного напряжения.

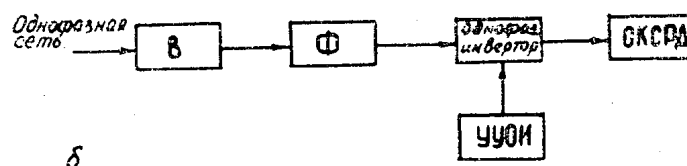
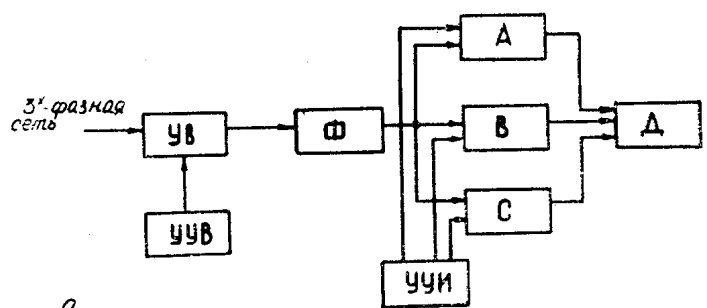


Рис. 3. Блок схемы систем частотного регулирования скорости.

В системах ТПС часто требуется иметь два-три уровня стабильных скоростей с плавностью регулирования 1:2. В этом случае упрощение и удешевление системы с одновременным повышением ее надежности достигается включением однофазного конденсаторного СРД на однофазный преобразователь частоты (ОПЧ), согласно рис. 3, б.

Однофазный конденсаторный синхронный реактивный двигатель (ОК СРД) получает питание через выпрямитель, фильтр и однофазный инвертор, управляемый от устройства управления однофазным инвертором (УУО И). При этом число силовых элементов уменьшается на две третьих, и существенно упрощается схема управления.

Необходимо выбирать автономный однофазный инвертор с широтным способом стабилизации выходного напряжения и трансформаторным выходом, который кроме основной функции преобразования частоты выполняет роль регулятора напряжения. В случае применения обратных связей в такой системе сглаживающий фильтр не входит в контур регулирования, что повышает быстродействие системы.

Так как в системах ТПС чаще всего двигатель работает с постоянной нагрузкой на валу и с большими маховыми массами, то применение конденсаторного СРД при правильно выбранной емкости обеспечит равномерность вращения ротора не хуже, чем в трехфазном режиме.

Наиболее целесообразно применять конденсаторные СРД с трехфазными обмотками статора, так как у них, как и у асинхронных [3], коэффициент использования габарита равен 1, а полные затраты на изготовление меньше, чем у однофазных с двухфазными несимметричными обмотками статора, у которых коэффициент использования 0,5÷0,7. Кроме того, у последних в 1,5÷2 раза выше кратность пускового тока.

Из всего многообразия схем включения трехфазных двигателей с конденсаторами на однофазную сеть для СРД приемлемой является только одна схема — обмотки статора соединены звездой с последовательной фазосдвигающей емкостью (рис. 2). В такой схеме отсутствуют токи нулевой последовательности и токи третьих и кратных трем

гармонических, что повышает энергетические показатели машины по сравнению со схемой соединения обмоток треугольником. Кроме того, при соединении треугольником необходимая фазосдвигающая емкость в 1,7 раза больше, чем при соединении звездой [5].

При отключении работающего двигателя от источника питания (рис. 2) происходит автоматическое несимметричное конденсаторное торможение СРД (емкость подключена на две фазы). Исследования двигателя ДРС-150М показали, что при одновременном подключении пусковой емкости начальный тормозной момент достигает 8—10-кратного значения от номинального. Поскольку конденсаторы ОК СРД составляют неотъемлемую часть, то необходимость в специальных тормозных емкостях отпадает.

Как показывает эксперимент при питании ОК СРД синусоидальным напряжением двигатель отдает 100% мощности трехфазного режима без перегрева, при этом несколько снижается перегрузочная способность двигателя.

Однако перегрузочная способность двигателя может быть увеличена по сравнению с трехфазным режимом применением перегрузочной ступени емкости, подключаемой на время перегрузки двигателя.

При питании от ОПЧ с прямоугольной формой выходного напряжения ток двигателя увеличивается на 6%, энергетический коэффициент полезного действия понижается на 9% по сравнению с симметричным трехфазным режимом.

Если линейное напряжение с выхода ОПЧ имеет длительность полуколебания 120 электрических градусов, то в таком напряжении отсутствуют третья и ей кратные гармонические. С учетом фильтрующего действия фазосдвигающей емкости форма фазных напряжений улучшается, поэтому снижение энергетического к.п.д. составляет 3—5%. Для получения симметричного режима работы двигателя при постоянной нагрузке на валу необходимо выбирать величину емкостного сопротивления или емкости по зависимостям [6]:

$$X_c = \frac{2\sqrt{3}(R_1 + x_1)}{1 + \sqrt{3}}; \quad C = \frac{10^6(1 + \sqrt{3})}{4\sqrt{3}\pi f(R_1 + x_1)},$$

где

R_1 ; x_1 — эквивалентные активное и индуктивное сопротивления схемы замещения ОК СРД для прямой последовательности.

Большим преимуществом ОК СРД, как и конденсаторного асинхронного, является высокий коэффициент мощности, который практически может быть принят равным единице [7]. Следовательно, двигатель потребляет из сети ток, пропорциональный только активной мощности, так как источником реактивной мощности для него является конденсатор. Это имеет немаловажное значение при питании от промышленной сети и особенно от ВПЧ, так как снимается проблема возврата реактивной энергии от двигателя в источник питания.

Таким образом, использование серийно-выпускаемых трехфазных СРД малой мощности в качестве однофазных конденсаторных позволяет создать простую и экономичную систему ТПС. Выбранная схема включения ОК СРД отвечает требованиям, предъявляемым к исполнительным двигателям систем ТПС и рекомендуется для практического применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. К. Качан и др. Диспетчерские магнитофоны гражданской авиации, М., «Транспорт», 1972.

2. Э. А. Лодочников, Ф. М. Юферов. Микроэлектродвигатели для систем автоматики. М., «Энергия», 1969.

3. В. В. Ралле. Исследование методики расчета синхронных реактивных двигателей. Сб. «Бесконтактные электрические машины». Ч. 1. Синхронные машины. Рига, «Знание», 1966.

4. В. Н. Шарахин. Меры по ограничению колебаний мгновенной скорости СРД. Труды ЛПИ, 1969, № 303.

5. А. И. Адаменко, В. И. Кисленко. Преобразование однофазного тока в многофазный. Киев, «Техника», 1971.

6. Ю. М. Ачкасов, Б. А. Захаров. Условие получения симметрии намагничивающих сил трехфазного СРД, работающего в режиме однофазного конденсаторного. Доклады VII научно-технической конференции. «Статические преобразователи в автоматике и электроприводе». Томск, изд-во ТГУ, 1971.

7. Н. Д. Торопцев. Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором. М., «Энергия», 1970.
