

нала  $u_{\beta s}$  в (2). В амплитудном модуляторе 6, на вход которого подается усиленный сигнал рассогласованная по положению нейтрали периодических движений, создается напряжение  $u_{m3}(t)$ , равное второму слагаемому в (2), поскольку опорным напряжением модулятора является напряжение сети, сдвинутое по фазе на  $90^\circ$  фазосдвигающим устройством 7. После суммирования  $u_{m2}(t)$  и  $u_{m3}(t)$  и усиления по мощности в усилителе 13 на вторую обмотку АД подается напряжение  $u_{\beta s}$ , поддерживающее синусоидальные периодические движения вала с заданными амплитудой, частотой и положением нейтрали. Введя в контур регулирования схемы рис. 2 измеритель фазы, можно построить схему замкнутого асинхронного электропривода периодического движения с линейной фазовой модуляцией напряжений на обмотках статора АД, которая позволяет регулировать еще и фазу периодических движений

$$u_{\alpha s} = U_{m2} \cos[\omega t + (\Omega t + \alpha_1)] + U_{m3} \sin(\omega t + \beta_1), \quad u_{\beta s} = U_{m1} \cos(\omega t + \beta_1). \quad (3)$$

Путем изменения  $U_{m1}$ ,  $\Omega$  и  $U_{m3}$  регулируются амплитуда  $\varphi_m$ , частота  $f_{nep}$  и положение нейтрали  $\varphi_0$ , а путем воздействия на  $\alpha_1$  – фаза периодических движений  $\beta$  (относительно сети  $\beta_1$ ).

Таким образом, приведенные в данной работе схемы многоконтурных замкнутых безредукторных электроприводов позволяют регулировать все параметры периодических движений.

#### *Литература*

1. Петров Л.П. и др. Асинхронный электропривод с тиристорными коммутаторами. – М.: Энергия, 1979. – 128с.

## ПРИНЦИПЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

**В. В. Тодарев, Л. В. Веппер**

*Гомельский государственный технический университет  
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Использование безредукторных электроприводов специального (шагового, колебательного и т.п.) движения с применением серийных общепромышленных электродвигателей является перспективным направлением совершенствования механизмов и машин.

Как показывают результаты исследований, проведенных в Томском политехническом институте и Гомельском техническом университете, асинхронные двигатели серии 4А в колебательном режиме имеют низкие энергетические характеристики [1,2]. Одной из причин этого является несовершенство известных способов возбуждения колебательного движения, в частности, линейной фазовой модуляции (ЛФМ) [1], когда в воздушном зазоре машины создается качающееся электромагнитное поле, характер которого изменяется от пульсирующего в момент времени  $t_1 = \pi(\omega_1 - \omega_2)^{-1}k$ , где  $\omega_1, \omega_2$  – угловая частота питающих напряжений,  $k=1,2,3, \dots$  – натуральный ряд чисел, до кругового при  $t_2 = 0,5\pi(\omega_1 - \omega_2)^{-1}(1 + 2k)$ . При этом скорость вращения электромагнитного поля переменна и содержит высокочастотные (по отношению к частоте колебаний) составляющие, амплитуда которых возрастает к моменту смены направления вращения и которые проявляются в электромагнитном моменте и механической мощности. Эллиптичность качающегося электромагнитного поля ведет к снижению механической мощности и увеличению потерь мощности в электродвигателе за счет составляющих обратной последовательности. Появление высокочастотных составляющих механической мощности сопровождается дополнительными потерями мощности в двигателе на их передачу.

Другой причиной низких энергетических показателей является то, что параметры электродвигателей серии 4А, оптимизированные для режима S1, не будут таковыми в динамическом колебательном режиме.

В соответствии со сказанным работы по улучшению энергетических характеристик АД колебательного режима целесообразно вести по нескольким направлениям.

Первое направление – создание электроприводов, реализующих возбуждение колебательного режима с круговым качающимся электромагнитным полем, например, за счет балансной амплитудной модуляции фазовых напряжений (БАМКП) [3], при которой в воздушном зазоре электродвигателя создается круговое качающееся поле, значительно снижена амплитуда высокочастотных составляющих, а наиболее интенсивное преобразование энергии происходит в благоприятный период – при малом скольжении, когда потребляемый ток мал, а электромагнитный момент велик в силу малого значения индуктивной составляющей тока ротора. Как показано в работе [2], возможно повышение полного КПД и его составляющих [1] в этом случае в (1,5 – 1,8) раза по сравнению с ЛФМ при снижении потерь мощности до уровня номинальных.

Второе направление – создание автоколебательных электроприводов с импульсным питанием [4], в которых значительно снижены потери мощности, поскольку электромагнитный момент создается при наибольшей скорости вращения вала, когда составляющие обратной последовательности минимальны.

Третье направление – использование АД, параметры которых в идеальном случае будут оптимальны для любого момента колебательного движения, т.е. являются функциями скольжения. К таким электродвигателям можно отнести асинхронные электродвигатели с массивным и, особенно, с двухслойным ротором (АДДР), обладающие как показано в [5] высокими энергетическими показателями при пуске и в длительных режимах.

С целью реализации высказанных предложений, на базе электродвигателя 4А71А2У3 был изготовлен электродвигатель с двухслойным ротором АДДР71А2У3, железомедная гильза ротора которого выполнена из сплава СМ–19.

Сравнительный анализ характеристик двигателей 4А и АДДР, расчетных [6] и экспериментальных, в колебательном режиме работы показывает, что в последнем случае снижена амплитуда высокочастотных составляющих в кривых скорости поля, электромагнитного момента и механической мощности. Энергетические показатели базового двигателя выше на большей части рабочего интервала нагрузок колебательного электропривода. Однако с ростом скольжения, что характерно для больших нагрузки и частоты колебаний, потери мощности в базовом двигателе превышают потери в АДДР. Соответственно, выше в указанных областях количественные и качественные критерии преобразования электроэнергии в АДДР. Очевидно, что после оптимизации параметров границы этой области могут быть существенно расширены.

Изложенное свидетельствует о том, что соответствующим образом технически реализованные колебательные электроприводы с асинхронными электродвигателями серии 4А и разработанными на их базе двигателями с двухслойными и многослойными роторами могут иметь вполне приемлемые энергетические показатели.

#### *Литература*

1. Луковников В.И., Серeda В.П. Динамические режимы работы асинхронного электропривода. – М.: ВЗПИ, 1990. – 210 с.
2. Тодарев В.В. Энергетические характеристики асинхронного электродвигателя в составе электропривода: Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Минск, 1990. – 22 с.
3. А.С. N 1415400. Способ управления асинхронным двигателем в режиме колебательного движения /В.И. Луковников, В.В. Тодарев, С.А.Грачев; (СССР) Оpubл. в Б.И., 1988, N29.

4. А.С. N1631689. Способ управления колебательным электроприводом с асинхронным электродвигателем / В.И. Луковников, В.В.Тодарев, М.Н.Погуляев; (СССР) Оpubл.в Б.И., 1991, N8.
5. Могильников В.С. и др. Асинхронные электродвигатели с двухслойным ротором и их применение. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
6. Луковников В.И., Серeda В.П., Тодарев В.В. Моделирование периодических режимов асинхронных электродвигателей безредукторного привода // Электричество. – 1992. – N5. – С. 31–35

### ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ СОЗДАНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Л. В. Веппер, А. Е. Спорик, А. В. Бескровный  
*Гомельский государственный технический университет  
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Ввиду сложности и многомерности математической модели обобщенного электромеханического преобразователя периодического движения (ЭМП ПД) эффективный анализ ее может быть произведен только с помощью средств компьютерного моделирования. Появившиеся в последнее время новые способы создания периодического движения, возросший уровень математического моделирования, расширившиеся возможности компьютерной техники позволяют решать эту серьезную научную проблему на новом, более высоком уровне.

В работах [1–3] был решен ряд частных вопросов энергетики АД в периодическом движении, были сделаны первые попытки создания математического и программного обеспечения анализа энергообмена.

В настоящее время нами разработано новое программное обеспечение для анализа и синтеза ЭМП ПД, позволяющее производить численный анализ наиболее употребимых способов создания периодического движения (автоколебания при однофазном и трехфазном включении в обычную сеть, периодическая импульсная подпитка, возбуждение качающегося магнитного поля за счет фазной линейной модуляции и балансно–амплитудной модуляции напряжений электропитания...).

Программа разработана для работы в системе Windows 95–2000, NT и представляет собой графическое приложение визуализации рассчитанных данных. Таким образом, проведенный расчет можно представить либо в табличном виде, либо в виде набора графиков, причем количество одновременно выводимых графиков неограничено. В программе предусмотрено разложение в ряд Фурье любой рассчитанной переменной, которое выводится в отдельном окне в виде набора графиков соответствующих гармоник. Данная функция особенно удобна для нахождения амплитуды колебаний. В программе имеются развитые средства работы с файлами (данные для модели хранятся в файлах для их последующего использования), предусмотрены средства для печати графиков и таблиц, а также экспорта графиков в графические пакеты для последующей доработки. Следует отметить, что программа самостоятельно рассчитывает необходимые коэффициенты для системы уравнений, то есть пользователю достаточно ввести лишь исходные данные электродвигателя, которые легко доступны из справочников, а также отмеченные выше параметры, специфичные для колебательных режимов. Программа удобна в использовании и не требует каких-то специализированных навыков для работы с ней.

С помощью этой программы был произведен численный анализ вышеперечисленных способов для асинхронного электродвигателя (АД) типа АИР71Ф6У3. Указанный электродвигатель исследовался при следующих параметрах:

- масса  $G$  и длина  $l$  маятника  $G \cdot l = 2 \dots 32 \text{ Нм}$ ;
- момент инерции  $J = 0,003 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;
- жидкостное трение  $H \leq 0.2 \text{ Н мс}$ ;