

УДК 677.052:621.34

**МНОГОФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
ДЛЯ КОЛЬЦЕПРЯДИЛЬНЫХ МАШИН**

А.Н. ГОЛУБЕВ, С.В. ИГНАТЕНКО, П.Н. ЛОПАТИН

**(Ивановский государственный энергетический университет,
Ивановская государственная текстильная академия)**

Как показывают проведенные авторами исследования, одним из способов оптимизации показателей асинхронного ЭП [1...3] является подход к числу его фаз как к вариативному параметру.

Рассмотрим подробнее влияние числа m фаз на характеристики ЭП.

Увеличение числа фаз расширяет диапазон реализуемых мощностей ЭП при ограниченных пропускных возможностях силовых коммутаторов ПЧ. Действительно, при заданной мощности АД и фазном напряжении $U_{\phi} = \text{const}$ согласно соотношению между фазными токами 3-фазной $I_{\phi 3}$ и

многофазной $I_{\phi m}$ машин $\frac{I_{\phi 3}}{I_{\phi m}} \sim \frac{m}{3}$ переход

на многофазный вариант построения ЭП позволяет уменьшить токовую нагрузку на силовой коммутатор. Это упрощает его реализацию, расширяет диапазон мощностей ЭП при заданной номенклатуре силовой полупроводниковой техники и дает возможность осуществить стоимостную, а также массогабаритную оптимизацию силовой части ПЧ.

Увеличение числа фаз АД является эффективным средством улучшения гармонического состава магнитного поля в воздушном зазоре АД [4]. Анализ показывает, что в спектре результирующего потока m -фазного АД присутствуют пространственные гармоники n , образованные временными гармониками $\mu(I)$ токов статора (ротора), только с порядковыми номерами

$$n = \mu(I) \pm bmQ, \quad (1)$$

где $b=1;2$ (в зависимости от схемы питания); $Q = 0;1;2;\dots$.

Поскольку угловая частота вращения n -й гармоники поля определяется через частоту вращения ω_{11} основной гармонической соотношением

$$\omega_{\mu(I)n} = \frac{\omega_{11}\mu(I)}{n}, \quad (2)$$

на основании (1) можно сделать важный вывод: увеличение числа фаз обуславливает разрежение спектра поля в направлении устранения из его состава асинхронных гармонических при относительном возрастании энергетического веса гармоник, вращающихся с синхронной скоростью ω_{11} ($\mu(I)=n$) и создающих в силу этого дополнительные постоянные составляющие электромагнитного момента, достигающие в сумме (в зависимости от режима работы АД) до 10% от его результирующей постоянной составляющей.

Таким образом, увеличение m определяет прямо пропорциональное возрастание частоты пульсаций f_m электромагнитного момента ($f_m = bmSf_1$, где S – ряд натуральных чисел (1;2;3;...); f_1 – частота питающего напряжения) при снижении их амплитуд по закону, близкому к экспоненциальному. Это позволяет без формирования токов по специальным (в частности, синусоидальному) законам обеспечить

требуемый диапазон плавного регулирования скорости за счет выбора соответствующего значения m , что упрощает алгоритм управления ПЧ.

Увеличение числа фаз обуславливает общее улучшение энергетических характеристик АД и соответственно ЭП. Данные показатели у многофазных ($m > 3$) АД выше, чем у 3-фазного при любой одинаковой форме напряжения [4]. При синусоидальном питании возрастание m приводит к увеличению КПД в пределах 0,2...1%, а коэффициента мощности – до 1...2%. При этом за счет увеличения обмоточных коэффициентов перегрузочная способность возрастает в 1,2...1,5 раз.

При переходе на питание напряжением несинусоидальной формы, практически рациональное для многофазной системы ПЧ–АД, относительное снижение энергетических характеристик (по сравнению со случаем синусоидального питания) при увеличении числа фаз существенно меньше, чем у 3-фазных аналогов. При этом важным преимуществом увеличения числа фаз является относительно небольшой рост потерь в обмотке ротора – почти на порядок меньший, чем у 3-фазного АД. Начиная с $m=9$ энергетические характеристики многофазного ЭП при несинусоидальном питании практически не уступают показателям 3-фазного при синусоидальном, превосходя их при нагрузках, превышающих номинальную.

Переход на многофазный вариант построения ЭП обуславливает снижение критичности к различного рода несимметрии по питанию и повышение надежности ЭП. К наиболее характерным несиммет-

ричным режимам следует отнести несимметрию по амплитуде, связанную с соизмеримостью фазного напряжения с его падением в силовом коммутаторе (использование ПЧ с управляемым выпрямителем или питание от низковольтного источника), а также обрыв или аварийное отключение одной или группы фаз.

Анализ несимметрии по амплитуде в системе фазных напряжений позволяет сделать вывод, что с увеличением числа фаз вероятность появления значительных величин несимметрии снижается, а самого несимметричного режима работы – увеличивается; при этом кривая вероятностей смещается в область меньших значений коэффициента несимметрии годографа вектора напряжения. Исследования показывают, что в режимах, связанных с асимметрией по амплитуде (в пределах паспортного разброса параметров), по уровню пульсаций момента многофазный АД не уступает, а в целом превосходит 3-фазный в симметричном режиме.

Принципиальная возможность работы многофазного ЭП при неполном числе фаз (при обрыве или аварийном отключении одной или даже нескольких фаз в АД продолжает создаваться вращающееся поле) является его уникальным свойством. С этих позиций некоторое количество фаз можно считать (в соответствии с методом резервирования) нагруженным резервом, что повышает надежность системы ПЧ–АД в целом.

В табл.1 представлены расчетные значения вероятности безотказной работы m -фазного инвертора.

Таблица 1

m	3	6	9	12		15		18		
1-h	0	1	2	2	3	3	4	3	4	5
P_c	0,625	0,788	0,869	0,793	0,917	0,821	0,929	0,741	0,892	0,963

Примечание. Поток отказов силового коммутатора $\lambda_0 = 0,3136 \cdot 10^{-4} \text{c}^{-1}$; (1-h) – нагруженный резерв.

При этом необходимо оговориться, что при определении реального резерва следует исходить из условий обеспечения предъявляемых к ЭП технологических требований. Говоря о повышении надежности показателей электромеханической

системы с ростом m , необходимо отметить, что переход на многофазный вариант построения ЭП приводит, как показывают исследования, к сохранению его принципиальной работоспособности при коротком замыкании фазы на нейтральную точ-

ку (частный случай межвиткового замыкания), а также к снижению критичности к замыканию на полнос источника питания.

Важнейшее значение при разработке ЭП имеет вопрос о его электромагнитной совместимости с источником питания. Анализ гармонического состава тока i_n на входе инвертора показывает, что его постоянная составляющая определяется однопорядковыми гармониками тока статора μ и коммутационной функции k , а разнорядковые гармонические, удовлетворяющие соотношению

$$\mu = k + 2mS, \quad (3)$$

определяют переменную составляющую тока i_n с $2mS$ – кратной частотой выходного напряжения инвертора.

С ростом числа фаз в соответствии с (3) происходит разрежение спектра гармоник тока i_n в направлении устранения из него гармонических μ , не равных k . В результате при указанном повышении частоты пульсаций i_n их амплитуда снижается по закону, близкому к экспоненциальному. Таким образом, увеличение числа фаз, повышая показатели электромагнитной совместимости, позволяет значительно улучшить массогабаритные и энергетические характеристики фильтра в звене постоянного тока ПЧ. При этом зависимость указанных характеристик от числа фаз усиливается при использовании схем выпрямления с большей пульсностью.

Так, при использовании АД серии 4А и наиболее распространенной 6-пульсной схемы выпрямления при $f=50$ Гц увеличение числа фаз приводит к снижению массы фильтра до 20%, объема – до 30%, энергоемкости – до 90% по сравнению с 3-фазным аналогом [5]. Увеличение числа фаз электромеханической системы обуславливает снижение инерционности фильтра в звене постоянного тока. Уменьшение постоянной времени фильтра составляет 20...70% и более.

ЭП на базе многофазного АД по сравнению с 3-фазным обладает лучшими (вследствие разрежения спектра асинхронных гармоник магнитного поля и сниже-

ния их амплитуды) виброшумовыми показателями как при синусоидальном, так и несинусоидальном питающих напряжениях.

Анализ показывает, что при $m \rightarrow \infty$, несинусоидальном напряжении и соединении фаз статора в одну группу результирующая намагничивающая сила стремится по форме к меандру с постоянной амплитудой, что обуславливает отсутствие в радиальной силе, действующей между статором и ротором, переменной составляющей, вызывающей вибрацию. Эта тенденция имеет место и при конечном числе фаз. Так, уже при $m=9$ практически полностью устраняются радиальные силы первого порядка, а снижение амплитуды основной гармоники радиальной вибровозмущающей силы доходит до 60%.

Применение многофазного варианта построения ЭП приводит к повышению конструктивной гибкости его элементов: изменяются число силовых ключей, массогабаритные показатели фильтра ПЧ, исполнение статорной обмотки АД и т.д. Эти факторы сложным образом влияют на стоимость как элементов, так и ЭП в целом. Проведенные исследования дают основание утверждать, что использование многофазного варианта построения ЭП позволяет оптимизировать стоимостные показатели элементов ЭП. При этом в случае относительно высоковольтного варианта его исполнения увеличение числа фаз наиболее целесообразно для ЭП средней и большой мощности. Понижение напряжения питания расширяет диапазон мощностей АД, для которых повышение m позволяет достичь уменьшения стоимости электромеханической системы.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрение числа фаз исполнительного ЭП как вариативного параметра позволяет оптимизировать целый спектр характеристик электромеханической системы.

2. Переход на многофазный вариант построения ЭП является эффективным пу-

тем повышения конкурентоспособности системы ПЧ–АД и делает его в технико-экономическом плане перспективным для широкого использования в машинах прядильного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Закорюкин Ю.В.* Теоретические и экспериментальные исследования поточных линий текстильной промышленности, оснащенных асинхронным многодвигательным регулируемым приводом: Дис.... докт. техн. наук. – Иваново, 1975.

2. *Быстров А.М. и др.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1970, № 5. С.3...8.

3. *Быстров А.М., Быков А.Н., Филичев В.Т.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1969, № 2. С. 112...114.

4. *Бабаев М.Б., Голубев А.Н., Королев А.Н.* // Электричество. – 1991, № 11. С. 57...61.

5. *Голубев А.Н., Игнатенко С.В.* // Электротехника. – 1999, № 7. С. 42...46.

Рекомендована кафедрой теоретических основ электротехники и электрических измерений ИГЭУ.
Поступила 14.11.01.
