

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С МНОГОФАЗНЫМ СТЕРЖНЕВЫМ СТАТОРОМ И ТРАНСФОРМАТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧИСЛА ФАЗ

Современные задачи освоения космоса и глубин мирового океана, а также энергоресурсосбережения, требуют комплексных и нетрадиционных подходов к разработке электромеханических устройств и систем [1].

Задачу длительной и надежной защиты изолированных витков и катушек обмотки асинхронного двигателя (АД) от агрессивной среды можно решать двумя способами. Согласно первому способу статор в герметичном корпусе отделяется от зазора и ротора сплошной металлической перегородкой, а по второму способу применяется статор с безвитковой стержневой многофазной обмоткой, соединенной электрически через гермовводы с трансформаторным преобразователем (ТП) числа фаз в герметичной оболочке [2]. Использование каждого способа обуславливает существенное ухудшение массогабаритных и энергетических показателей, однако, применение АД с многофазным стержневым статором и ТП более предпочтительно при толщине перегородки между статором и ротором, превышающей 0,5...0,7 мм [2].

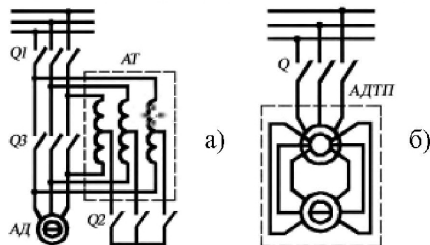


Рис. 1. Варианты систем ограничения пускового тока: посредством автотрансформаторного пускателя (а); асинхронной системы с трансформаторным преобразованием числа фаз (б)

Известным решением задачи ограничения пускового тока АД мощностью более 200 кВт является использование системы пуска [3] посредством реактора или автотрансформатора АТ (рис.1, а). Однако, система (рис.1, а) усложнена схемой автоматизации пуска и несколькими силовыми аппаратами $Q_1 - Q_3$ коммутации фаз АД и АТ, а автотрансформатор не используется в режиме нагрузки. Расширение технических возможностей использования индукционного ограничения пускового тока в электромеханических системах различной мощности с повышенной надежностью, а также в погружном и герметичном электроприводе, возможно блочным объединением (рис.1, б) АД со стержневым статором и ТП в систему АДТП [2].

Система АДТП представляет каскадное соединение [2] многофазного АД и ТП числа фаз в соответствии со схемой замещения (рис. 2, а) и обеспечивает повышение надежности, а также снижение массы и материалоемкости АД на основе замены трехфазной ($m = 3$) многовитковой обмотки статора на многофазную стержневую обмотку по типу короткозамкнутого ротора. Стержни статора такого АД соединены с вторичной стержневой обмоткой ТП с вращающимся магнитным полем (МП). ТП также содержит первичную трехфазную многовитковую обмотку (рис.2, б). Соединение фаз АД и ТП может быть непосредственным или через линию связи ЛС (рис. 2, а), например в виде гермовводов.

Известной особенностью соединенной в z -фазную «звезду» обмотки с фазами в виде пазовых стержней является структура магнитодвижущей силы (МДС), содержащая основную гармонику с числом пар полюсов двигателя p_d и высшие зубцовые гармоники [3]. Поэтому для снижения амплитуд высших гармоник МП статор АДТП выполняется с числом пазов z , соответствующим числу пазов АД классической конструкции (АДК). Другой особенностью АДТП является равенство числа фаз вторичной обмотки ТП числу фаз статора АД.

В соответствии с отмеченными выше особенностями, у исходных конструкций АДТП [2] количество пазов, фаз и стержней обмотки статора АД и вторичной ТП одинаково. Также в АД и ТП совпадает число полюсов. Это обуславливает значительную трудоемкость изготовления магнитопровода трансформатора с большим числом пазов $z_T = z$ для укладки секций распределенной первичной обмотки и z -фазной стержневой вторичной обмотки. В целом наличие в системе (рис. 2) ТП увеличивает массогабаритные и снижает энергетические показатели АДТП относительно АДК. Ухудшение массогабаритных показателей при соединении фаз АД и ТП частично компенсируется снижением массы статора с z -фазной стержневой обмоткой относительно статора АДК с трехфазной многовитковой обмоткой. Поэтому массогабаритные и стоимостные показатели, а также надежность двухполюсного АДТП могут превосходить аналогичные показатели традиционной системы АД с пускателем (рис. 1, а) или АД с герметизированным статором, который содержит в рабочем зазоре перегородку из немагнитной стали [2]. Дополнительным преимуществом АДТП (рис. 2, б) является возможность замены меди стержневых фаз на алюминий, что исключено в многовитковых распределенных обмотках. Однако в случае $2p_d \geq 4$ массогабаритные показатели многополюсного ТП возрастают относительно ТП с числом пар полюсов $p_T = 1$, что снижает конкурентоспособность системы (рис. 1, б) относительно системы с АДК (рис. 1, а).

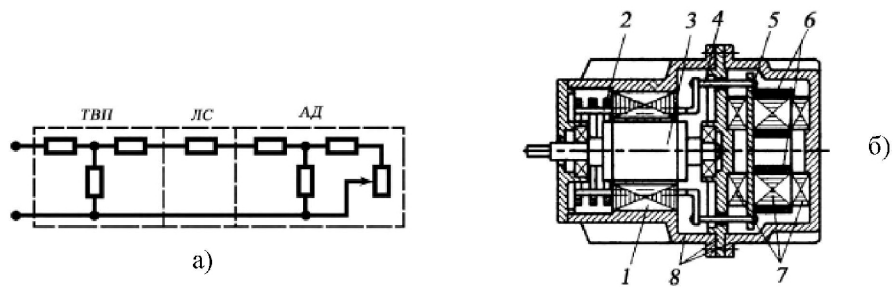


Рис. 2. Схема замещения (а) и конструктивная схема (б) асинхронной системы с трансформаторным преобразованием числа фаз: 1 - статор; 2 – стержень фазы статора; 3 – ротор; 4 – линия связи; 5 – стержень вторичной обмотки; 6 – первичная обмотка; 7 – магнитопровод трансформатора; 8 – корпус.

Исходя из изложенного, можно сформулировать направления решения комплексной задачи усовершенствования АДТП на основе нетрадиционных технических решений. Указанные направления заключаются: в снижении числа фаз АД и ТП при сохранении удовлетворительной структуры МП статора, в минимизации средней длины витка и вылета лобовых частей первичной обмотки ТП, а также в обеспечении питания многополюсного статора АД от двухполюсного ТП.

Уменьшение фазности АД, обуславливающее снижение трудоемкости производства магнитопровода и обмотки ТП, ограничено минимальными числами пазов на полюс и фазу $q = 1$ и пазов магнитопровода $z_1 = z$. При $m = 3$ и $p_1 = 1$ число $z_1 = 2p_1mq = 6$. В этом случае для улучшения гармонического состава МП статора с числом фаз $m_d = m_1 = z_1$ каждый фазный вывод разделяется на долевые части (стержни), которые размещаются в отдельных пазах статора (рис. 3).

В связи с успехами электроники и преобразовательной техники, на основе [4], можно предположить, что снижение числа вводов и исходных фаз АД до $m_d = 6$ или $m_d = 4$ создает возможность разработки взамен ТП соответственно шести-фазного или четырехфазного полупроводникового преобразователя с импульсным и частоторегулируемым питанием статора со стержневой обмоткой.

Снижение числа фаз АД до $m_d = z_1 = 6$ также способствует снижению длины вылета l_b и средней длины витка и сводит к минимуму число фазных пересечений витковых секций первичной обмотки ТП с $m_d = 3$ и $q = 1$ (рис. 4).

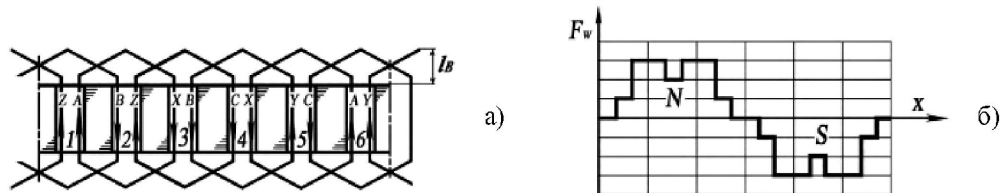


Рис. 4. Линейная развертка трех фаз (а) и форма магнитодвижущей силы (б) первичной двухслойной обмотки трансформаторного преобразователя с числом пазов на полюс и фазу $q = 1$

Однако минимумы длины вылета и средней длины витков, а также максимальное повышение надежности АДТП, достигаются использованием первичной обмотки ТП с секциями, которые соответствуют сосредоточенным катушкам с плоской формой контуров всех витков без фазных пересечений в лобовых частях. Например, в аксиальной конструктивной схеме ТП (рис. 2, б), такие катушки могут быть установлены в магнитопроводе со смежными пазами, сдвинутыми к внешним торцовым поверхностям, в частности в магнитопроводе из двух идентичных секционных модулей (рис. 5).

Каждый из модулей (рис. 5) содержит по три фазные сосредоточенные секции AX , BY и CZ с шагом, соответствующем $2/3$ полюсного деления τ и по три фазных стержня, соединенных электрически на центральной оси. При сборке активной части ТП модули (рис. 5) смещаются тангенциально на 60° (рис. 6 а и б), а их первичные полуобмотки создают распределения МДС F'_w и F''_w (представлены на рис. 6, в и г, аналогично распределению F_w на рис. 4, б, при максимуме тока в фазе A).

Смещение и электрическое соединение фазных секций в соответствии с рис. 6, а и б создает результирующую МДС первичной обмотки ТП, которая определяется геометрической суммой распределений F'_w и F''_w и соответствует симметричному распределению F_w (рис. 4, б). Секции фазных стержней модулей (рис. 5) соединены электрически, поэтому двухполюсная вращающаяся МДС (рис. 4, б) обеспечивает симметричное шести-фазное напряжение питания фазных модулей (рис. 3).

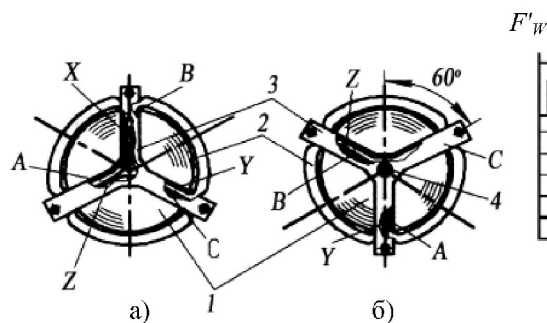


Рис. 5. Секционные модули полуобмоток (а и б) трансформаторного преобразователя числа фаз: 1 – секция магнитопровода; 2 – секция первичной полуобмотки; 3 – фазный стержень вторичной полуобмотки; 4 – соединительный элемент.

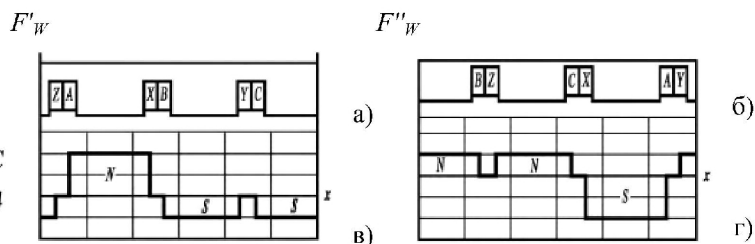


Рис. 6. Развертки активной части (а и б) и распределения магнитодвижущих сил (в и г) первичных полуобмоток секционного трансформаторного преобразователя числа фаз

Задача усовершенствования АДТП с $p_d \geq 2$ (линейная развертка на рис. 7, а, б и в) решается посредством установки в ЛС (рис. 2, а) фазного распределителя. В этом случае возможно питание статора АД с числом полюсов $2p_d \geq 4$ от ТП с $2p_T = 2$, что дополнительно к повышению надежности обеспечивает существенный выигрыш в массе и габаритных размерах системы (рис.1, б) относительно системы (рис.1, а).

Фазный распределитель представляет схему (рис. 7, б) распределения фазных токов на систему параллельных токов фазных модулей и фазных стержней (рис. 7, в), которая обеспечивает заданное число p_d с заданной степенью приближения распределения МДС F_{wd} (рис. 7, г) к синусоиде.

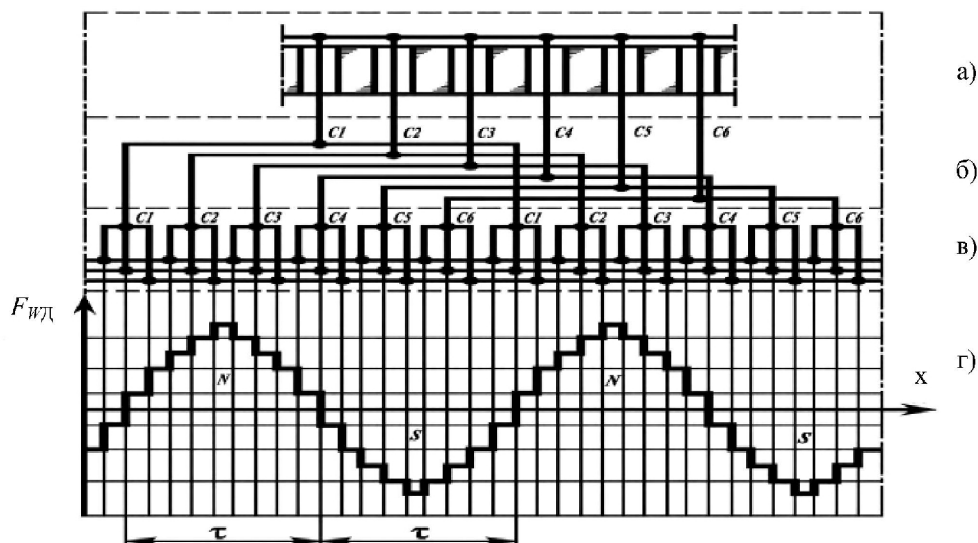


Рис. 7. Линейная развертка вторичных фаз трансформатора с числом пар полюсов $p_T = 1$ (а), фазный распределитель (б), линейная развертка стержней обмотки статора (в) и волна магнитодвижущей силы (г) статора с числом пар полюсов $p_d = 2$.

Представляется, что развитие предложенных в работе технических решений позволит создать, в дополнение к традиционным индукционным и вентильным, новые типы асинхронных индукционных каскадных и электро-механотронных преобразователей.

Список литературы:

1. Ставинский А.А. Проблема и направления дальнейшей эволюции устройств электромеханики // Электротехника и электромеханика. – 2004. - №1. – с. 57 – 61.
2. Анализ электромеханических преобразователей для герметичного электропривода / А.А. Ставинский, И.Г. Забора, О.Ю. Кимстач и др. // Электротехника. – 2002. - №3 – с. 48 – 53.
3. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.
4. Лоренц Л. Состояние и направления дальнейшего развития в сфере разработки, производства и применения силовых полупроводниковых приборов // Электротехника. – 2002. – №3. – с.2 – 16.