

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.314

**О. Н. Парфенович, канд. техн. наук, доц., А. С. Третьяков, И. В. Соколов,  
О. А. Капитонов**

### НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ АСИНХРОННЫХ С КРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В статье предлагаются четыре новые модели энергоресурсосберегающих регулируемых асинхронных с короткозамкнутым ротором электродвигателей в электромехатронном исполнении, которые специально предназначены для работы в системе электропривода с тиристорным регулятором напряжения (ТРН), приводятся расчетные технические характеристики; анализируется работа современных электроприводов на базе асинхронных электродвигателей с преобразователями частоты (ПЧ); указывается на их положительные и отрицательные стороны; отмечается, что при использовании новых электродвигателей в электроприводах с ТРН последние могут быть не менее эффективными, чем частотные, при этом устраняется ряд недостатков, присущих частотным электроприводам.

#### *Введение*

В настоящее время 67 % электроэнергии, вырабатываемой различными энергоисточниками, потребляется электродвигателями. В Республике Беларусь находящиеся в производстве и эксплуатации электродвигатели на 95 % нерегулируемые, по этой причине энергозатратные и ненадежные. Они потребляют из сети так называемую реактивную мощность в номинальном режиме до 80 % по отношению к полезной и до 1000 % – в режиме холостого хода. Указанные электродвигатели работают не более 3...4 лет, хотя по стандартам должны работать не менее 17...20 лет. В других промышленно развитых странах нерегулируемых электродвигателей – не более 40...50 %; тенденция – использовать только регулируемые, так называемые интеллектуальные, электродвигатели, что в целом уже сейчас дает этим странам свыше 10...15 % экономии электроэнергии.

В нашей стране не менее 40 % электроэнергии потребляют различного рода нагнетатели (насосы, вентиляторы и пр.), и они приводятся в движение, за

редким исключением, нерегулируемыми электродвигателями. Установка же в нагнетателях вместо дросселирования регулируемых электродвигателей дает экономию электроэнергии до 40...50 %, воды – до 15...20 %, тепла – до 20 %. Весьма эффективно использование регулируемых энергосберегающих электродвигателей и в машиностроении: в этой отрасли, по данным зарубежных источников, экономится до 15...20 % электроэнергии и до 10...15 % электродвигателей.

Западноевропейские электротехнические концерны АВВ, «Сименс», «Данфосс», японские «Хитачи», «Тошиба», американский «Аналог Дивайсес» и др. постоянно работают над проблемами энергосберегающих электродвигателей и в последние годы совершили в этой области резкий технологический прорыв. В настоящее время инофирмы охватили дилерской сетью по сбыту и сервису энергосберегающих электродвигателей и преобразователей практически все промышленно развитые регионы мирового рынка. Ряд российских и украинских фирм также на-

чали производить преобразователи по импортной технологии и элементной базе. Весьма осторожные шаги в этом направлении делаются в Беларуси (заводы «Измеритель» в Новополоцке и «Зенит» в Могилеве, частные фирмы в Бресте и Минске): стоимость такой техники достаточно высока.

Так, стоимость 1 кВт установленной мощности электромеханических преобразователей – электродвигателей находится в пределах 50...60 долл. США, стоимость же 1 кВт установленной мощности производимых указанными фирмами для этих электродвигателей вентильных преобразователей, изготовленных по импортной технологии, – 200...300 долл. США.

Зарубежные фирмы решают задачу энергосбережения при эксплуатации электродвигателей в двух направлениях:

– завышение массогабаритных параметров электродвигателей (электро-

технической стали, меди) в среднем на 30...40 %;

– установка частотных регуляторов, которые дороже самих электродвигателей в 4...5 раз.

Авторами предлагается для решения задач энергосбережения в стандартных электродвигателях использовать регуляторы напряжения, которые могут быть в 3...4 раза дешевле частотных, а для расширения функциональных возможностей электродвигателей (регулирование частоты вращения, пуска, торможения и пр.), снижения на единицу мощности их массогабаритных характеристик (стали, меди) – электродвигатели, выполненные по конструктивной схеме ДАС [1] и специально предназначенные для работы в системе тиристорный регулятор напряжения–асинхронный электродвигатель (система ЭП-ТРН-АД) (рис. 1).

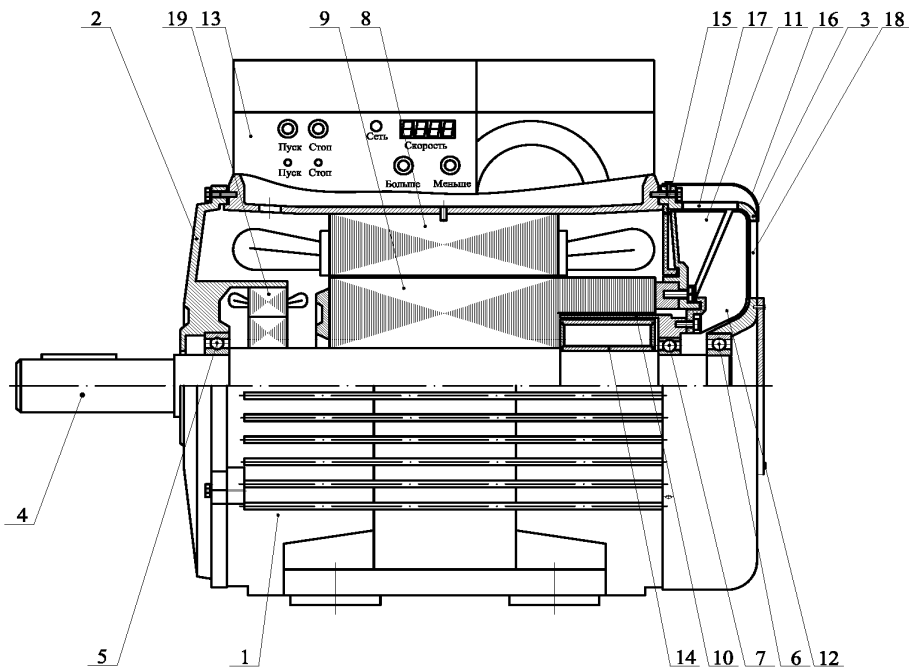


Рис. 1. Особенности конструкции асинхронного электродвигателя по конструктивной схеме ДАС с двухроторной электромеханикой (ДАС-12): 1 – станина электродвигателя; 2, 3 – подшипниковые щиты; 4 – вал силового ротора; 5, 6 – подшипники силового ротора; 7 – подшипник малого ротора; 8 – магнитопровод статора с обмоткой; 9 – удлиненный магнитопровод силового ротора со стержневой обмоткой; 10 – малый ротор вентилятора; 11 – вентилятор-теплорассеиватель, закрепленный на силовом роторе; 12 – вентилятор, закрепленный на малом роторе; 13 – клеммная коробка со встроенным электронным блоком регулирования; 14 – магнитопровод малого ротора вентилятора; 15 – кольцевая перегородка; 16 – кожух; 17 – осевые отверстия подшипникового щита для вывода охлаждающего воздуха из электродвигателя; 18 – радиальные отверстия подшипникового щита для ввода охлаждающего воздуха в электродвигатель; 19 – датчик скорости

Электродвигатель с двухроторной электромеханикой выполнен на базе стандартного – АИРС100S4. Отличительной особенностью данного электродвигателя является то, что тепловые потери в стержневой обмотке силового ротора 9 выносятся за кольцевую перегородку 15 в зону интенсивного охлаждения радиатором-вентилятором 11 и

вентилятором 12, вращающимся с постоянной подсинхронной скоростью, независимой от скорости вращения силового ротора.

В электродвигателе также изменены формы пазов статора и ротора.

Расчетные параметры технических характеристик этого электродвигателя приведены в табл. 1.

Табл. 1. Характеристики асинхронных электродвигателей

Параметры	АИРС 100S4	ДАС – 12 с электронным регулятором напряжения	СМ300/400 с электронным регулятором частоты (Сименс, ФРГ)
Мощность, Вт	2300	3500	3000
Напряжение, В	380	380	380
Ток, А	5,76	7,8	6,92
Частота, Гц	50	50	50
Скольжение	4,8	4,5	5,7
Частота вращения, об/мин	1428	1433	1415
Момент номинальный, Н·м	15,4	23,4	20,2
Ток холостого хода, А	4,3	0,5	0,5
КПД номинальный, %	78	82	81,5
Cos(f) номинальный	0,78	0,83	0,81
Кратность пускового тока $I_n/I_n$	6,2	3,5	6
Кратность пускового момента $M_n/M_n$	2,8	2,55	2,8
Кратность максимального момента $M_{max}/M_n$	3,1	2,6	3
Кратность минимального момента $M_{min}/M_n$	2,27	2,5	2,2
Момент, допустимый по условиям нагрева при $n = 0$ , Н·м	0,5	6,0	8,4
Диапазон регулирования напряжением при вентиляторной нагрузке	1,5	10	1000 (частотное регулирование)
Допустимая частота пускотормозных циклов при $J = 6J_{дв}$	До 80	До 400	До 120
Габариты, мм	360×245×240	366×270×240	360×289×240
Масса, кг	27,9	28,8	28

На рис. 2 представлен асинхронный регулируемый электродвигатель с трехроторной электромеханикой (ДАС-14) [2], выполненной на базе стандартного АИРС100S4. Отличительная особенность этого электродвигателя – тепловые потери ротора и отчасти статора выносятся в осевом направлении в зону

интенсивного охлаждения по обе стороны статора и ротора. Предусматривается параметрический датчик частоты вращения силового ротора.

В табл. 2 приведены расчеты параметров технических характеристик этого электродвигателя.

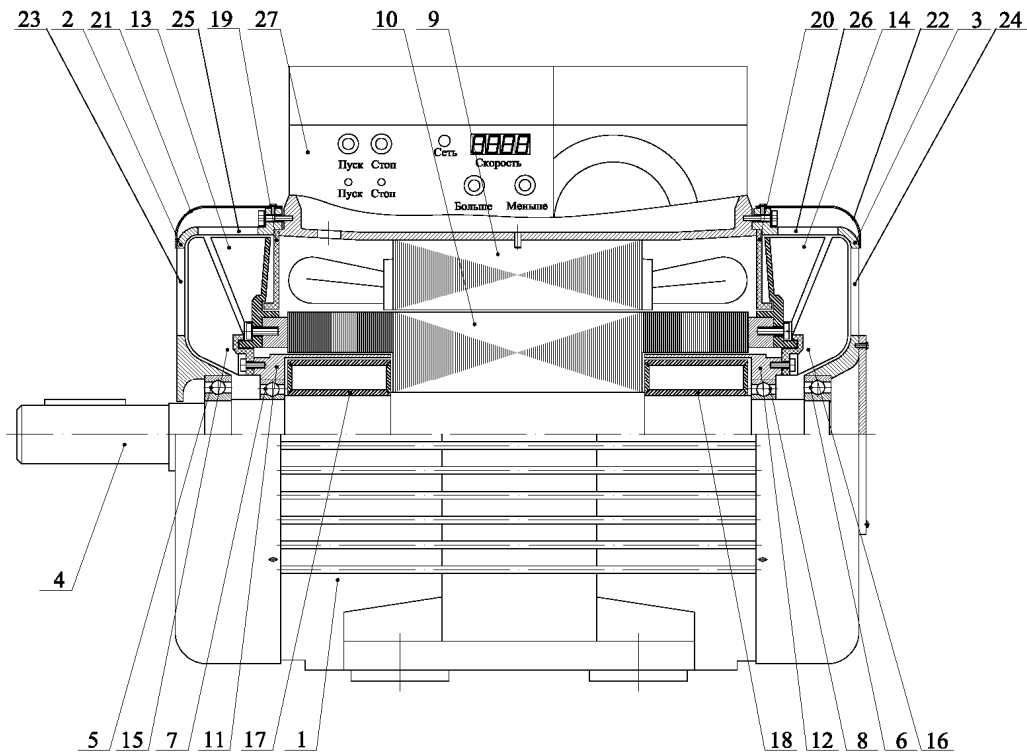


Рис. 2. Особенности конструкции асинхронного электродвигателя по конструктивной схеме ДАС с трехроторной электромеханикой (ДАС-14): 1 – станина электродвигателя; 2, 3 – подшипниковые щиты; 4 – вал силового ротора; 5, 6 – подшипники силового ротора; 7, 8 – подшипники малых роторов вентиляторов; 9 – магнитопровод статора с обмоткой; 10 – удлиненный магнитопровод силового ротора со стержневой обмоткой; 11, 12 – малые роторы вентиляторов; 13, 14 – лопасти вентиляторов – теплорассеивателей силового ротора; 15, 16 – вентиляторы, закрепленные на малых роторах; 17, 18 – магнитопроводы малых роторов вентиляторов; 19, 20 – кольцевые перегородки; 21, 22 – кожухи; 23, 24 – радиальные отверстия подшипниковых щитов; 25, 26 – осевые отверстия подшипниковых щитов; 27 – клеммная коробка со встроенным электронным блоком регулирования

Табл. 2. Характеристики асинхронных электродвигателей

Параметры	АИРС 100S4	ДАС-14 с электронным регулятором напряжения	СМ300/400 с электронным регулятором частоты (Сименс, ФРГ)
Мощность, Вт	2300	3800	3000
Напряжение, В	380	380	380
Ток, А	5,76	8,56	6,92
Частота вращения, об/мин	1428	1428	1415
Ток холостого хода, А	4,3	0,5	0,5
КПД номинальный, %	78	81	81,5
Cos(f) номинальный	0,78	0,83	0,81
Кратность пускового тока $I_n/I_H$	6,2	3,2	6
Кратность пускового момента $M_n/M_H$	2,8	2,50	2,8
Кратность максимального момента $M_{max}/M_H$	3,1	2,55	3
Кратность минимального момента $M_{min}/M_H$	2,27	2,4	2,2
Момент, допустимый по условиям нагрева при $p = 0$ , Н·м	0,5	8,0	8,4
Габариты, мм	360×245×240	366×270×240	360×289×240
Масса, кг	27,9	29,8	28

Авторами также рассматривалась возможность улучшения условий охлаждения многополюсных, с пониженной частотой вращения силового ротора, асинхронных электродвигателей, работающих в системе ЭП–ТРН–АД. В частности, была предложена конструктивная схема электродвигателя с формированием трехфазной двухполюсной системы токов в выступающей за пакет статора части ротора, в полую часть которой, как и у электродвигателей (см. рис. 1 и 2), установлен ротор вентилятора [4]. При этом частота вращения вентилятора постоянная; она близка к синхронной

(3000 об/мин) и не зависит от частоты вращения силового ротора.

В качестве альтернативы нерегулируемым энергосберегающим электродвигателям (например, электродвигателям Super-E и Metric-E+ компании «Балдор», работающей на мировом рынке около 90 лет [5]) предлагается конструкция соответствующих по мощности электродвигателей, но имеющих меньшие массогабаритные характеристики и, естественно, меньшую стоимость. На рис. 3 представлен такой электродвигатель (DAC-13) [6].

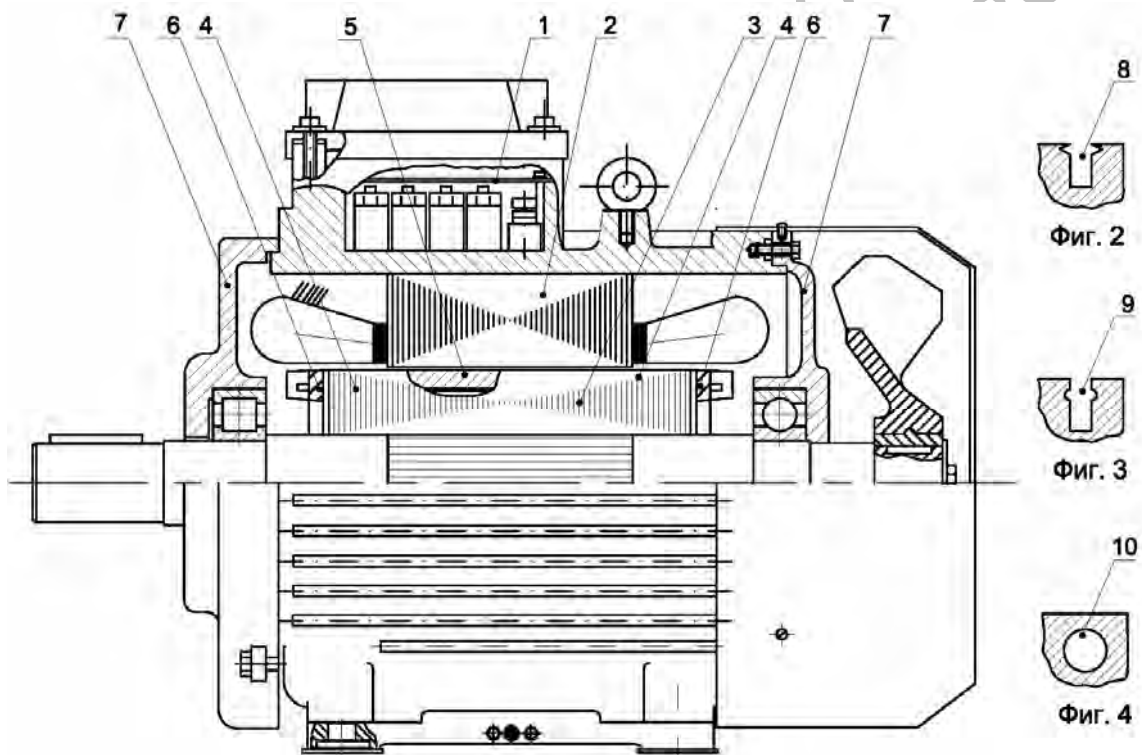


Рис. 3. Особенности конструкции асинхронного электродвигателя (DAC-13): 1 – регулятор напряжения; 2 – статор с сердечником; 3 – ротор с удлиненным сердечником и выступающими за пакет статора частями 4; 5 – стержневая обмотка с короткозамкнутыми кольцами 6 на торцах ротора; 7 – подшипниковые щиты; активная часть сердечника статора имеет открытые пазы 8 по форме (фиг. 2); активная часть сердечника ротора имеет открытые пазы 9 по форме (фиг. 3); выступающие за пакет статора части пакета ротора имеют закрытые пазы круглой формы 10 (фиг. 4)

В этом электродвигателе за счет применения открытых пазов в активной части пакетов статора и ротора снижаются потери рассеяния, увеличивается потокосцепление между соответствующими обмотками, тем самым

снижается ток холостого хода электродвигателя, повышается его КПД и  $\cos \varphi$ , максимальные и пусковые моменты. При этом снижение влияния пространственных и временных гармоник на соответствующие харак-

теристики электродвигателя будет обеспечиваться эффективным действием противо-ЭДС гармонических порядков, проявляющихся в выступающих за пакет статора частях стержней обмотки ротора. Электронный регулятор напряжения, по определению также предназначенный для обеспечения режима энергосбережения, может использоваться для регулирования скорости, управляемого пуска и торможения электродвигателя.

Предлагаемое конструктивное решение может быть применено в электродвигателях общепромышленного назначения и в электродвигателях, предназначенных для регулирования частоты вращения как частотными преобразователями, так и регуляторами напряжения.

Расчетные параметры технических характеристик такого электродвигателя в сравнении с соответствующими по мощности электродвигателями компаний «Балдор» и АИР приведены в табл. 3.

Табл. 3. Характеристики асинхронных электродвигателей

Техническая характеристика	ДАС-13	АИР	«Балдор»
Мощность, Вт	3	3	3
Напряжение, В	380/220	380/220	380/220
Ток, А	6,5	7,4	6,4
Частота, Гц	50	50	50
Скольжение, %	4	5	5
Частота вращения, об/мин	960	950	950
КПД, %	84	81	86,9
Cos φ	0,83	0,758	0,81
Потребляемая полная мощность, кВт	4,30	6,13	4,26
Масса, кг	36	35	55
Габариты	112МА6	112МА6	132М

В настоящее время практически все многочисленные дилерские структуры в Республике Беларусь, представляющие те или иные зарубежные электротехнические компании, предлагают использовать в качестве энергосберегающих импортные частотные электроприводы (система ЭП-ПЧ-АД) [7]. Новые разработки последних лет, исходя из рекламных данных фирм производителей и мнения отдельных потребителей этой продукции, весьма эффективны в эксплуатации. Частотные электроприводы конкурентоспособны с электроприводами постоянного тока и электроприводами на базе тиристорных регуляторов напряжения со стандартными

асинхронными электродвигателями. К их основным достоинствам относятся сверхширокий диапазон регулирования частоты вращения электродвигателя (до 10000), многофункциональность (до 240 технологических операций), относительная бесшумность работы, отсутствие особых ограничений в применении.

На рис. 4 представлена функциональная схема современного частотного электропривода серии L300P Hitachi [6].

Однако такие электроприводы имеют ряд недостатков. Прежде всего – это высокая стоимость преобразователя частоты (ПЧ). Из существенных, кроме того, можно выделить следующие.

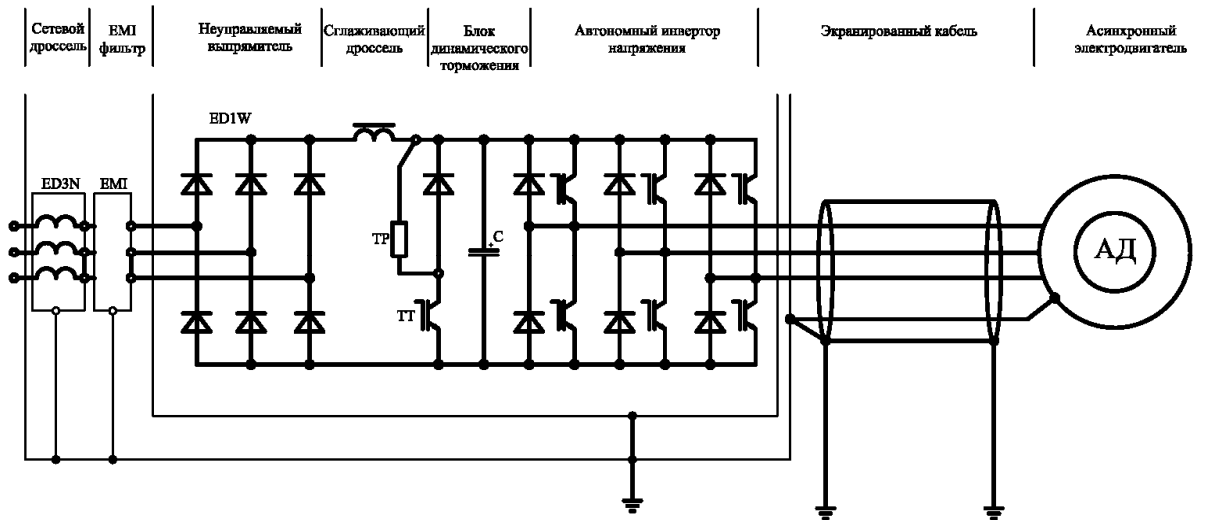


Рис. 4. Функциональная схема современного частотного электропривода серии L300P Hitachi

1 Двукратное преобразование силовой энергии в преобразователе (снижает КПД преобразователя).

2 Высокочастотная (до 15 кГц) модуляция силового тока в транзисторном инверторе (увеличивает потери в транзисторах, снижает КПД и надежность).

3 Наличие цепей сквозного короткого замыкания в транзисторном инверторе (снижает надежность силового блока преобразователя).

4 Высокочастотная составляющая модулируемого силового тока (до 15 кГц) (в определенной степени ускоряет разрушение изоляции статорной обмотки электродвигателя (снижается надежность электродвигателя). По этой же причине фирмы ограничивают использование приводного электродвигателя по среднему току (моменту) коэффициентом  $K_c = 0,85$ . Это ограничение указывает на снижение КПД электродвигателя при его работе от ПЧ даже на естественной характеристике [8]).

5 Наличие трех каналов управления инвертором ПЧ: частотой, напряжением и формой тока (снижает надежность преобразователя).

6 Отсутствие в данной системе

возможности рекуперации электроэнергии.

7 Отсутствие вентилятора-наездника в управляемом от ПЧ электродвигателе (приводит к тому, что допустимый по условиям нагрева момент на нулевой частоте вращения ротора снижается до  $0,4 M_n$ , с вентилятором – до  $0,7 M_n$ ).

8 Электромагнитная совместимость. Как указывается в [7], «неуправляемый выпрямитель для сети электропитания является нелинейной нагрузкой и потребляет из сети, помимо основной гармоники тока (50 Гц), высшие гармоники: пятую (250 Гц), седьмую (350 Гц), одиннадцатую (550 Гц) и выше, что приводит к засорению сети электропитания высшими гармониками, которые, протекая по линиям электропередач, трансформаторам, электродвигателям, батареям статических конденсаторов, создают дополнительные потери мощности и приводят к сокращению срока службы электрооборудования. Кроме того, ухудшаются экономические показатели системы ПЧ–АД: снижается ее коэффициент мощности. Это приводит к повышению потребления системой ПЧ–АД реактивной мощности, что снижает энергосберегающий эффект

от внедрения ПЧ и, как следствие, увеличивает срок окупаемости ПЧ. Для подавления высших гармоник используется сетевая дроссель или дроссель в звене постоянного тока. Сетевые дроссели защищают ПЧ от всплесков напряжения и перекося фаз напряжения на его входе. В случае, если в комплект поставки ПЧ входит дроссель постоянного тока, нет основания для отказа от применения дополнительного сетевого дросселя.

Транзисторы автономного инвертора переключаются с высокой частотой, генерируя широкий спектр помех. Помехи следует разделять на помехи, распространяемые по проводам, и помехи, распространяемые по эфиру.

Помехи, распространяемые по проводам, лежат в частотном диапазоне от 150 кГц до 30 МГц. Для борьбы с этим видом помех применяется полное экранирование и оснащение схемы фильтром радиопомех – ЕМІ-фильтром. Корпус преобразователя частоты, экран кабеля двигателя, корпус двигателя должны составлять единое целое. Каждый элемент схемы должен иметь хорошее высокочастотное соединение с другими, обра-

зую так называемую «клетку Фарадея». Экран должен быть соединен с фильтром радиопомех (ЕМІ).

Помехи, распространяемые по эфиру, лежат в диапазоне от 30 МГц до 1 ГГц. Предотвращение проникновения электромагнитных помех должно осуществляться экранированием всех элементов схемы, где используется ПЧ.

Необходимо отметить, что до настоящего времени не исследовано влияние мощного электромагнитного излучения электроприводов с ПЧ, работающих на модулируемой частоте силовых токов 4...15 кГц, на окружающую среду, в частности, на обслуживающий персонал, что может со временем оказаться определяющим фактором, резко ограничивающим применение электроприводов подобного типа.

Авторами предлагается альтернатива электроприводам с ПЧ – электроприводы с разработанными электродвигателями, специально предназначенными для работы с тиристорными регуляторами напряжения (рис. 5) и не имеющими многих приведенных выше недостатков (система ЭП–ТРН–АД).

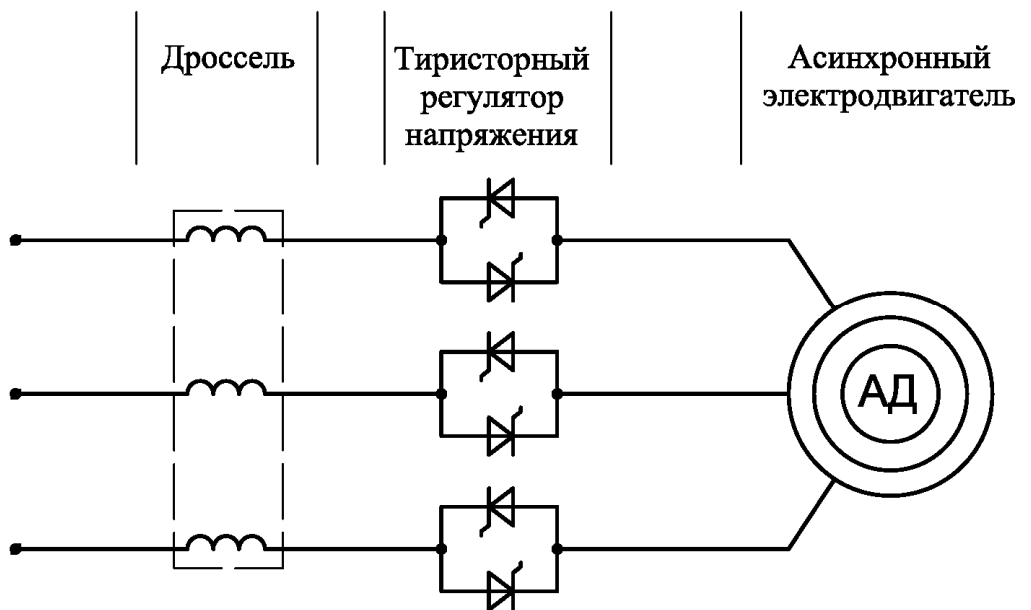


Рис. 5. Типовая схема системы ЭП ТРН – АД



Вероятно, единственный недостаток данной системы ЭП – это повышенные, пропорционально скольжению, потери в электродвигателе на регулировочных характеристиках.

Предлагаемая система ЭП–ТРН–АД обеспечивает пять основных функциональных режимов работы электродвигателя:

- 1) управляемый пуск;
- 2) управляемое торможение;
- 3) регулирование частоты вращения

в диапазоне 10;

4) режим энергосбережения;

5) момент электродвигателя по условиям нагрева в заторможенном режиме ротора  $M_d = (0,3...0,4)M_n$ .

Указанные режимы работы достаточны для 90...95 % электродвигателей, используемых в народно-хозяйственном комплексе страны.

В табл. 4 приведены сравнительные характеристики электроприводов по системам ЭП–ТРН–АД и ЭП–ПЧ–АД.

Табл. 4. Характеристики электроприводов по системам ЭП–ТРН–АД и ЭП–ПЧ–АД

Технические характеристики	Система ЭП–ТРН–АД	Система ЭП–ПЧ–АД
1 Допустимый по условиям нагрева электродвигателя момент нагрузки при $n = n_{ном}$ , Н·м	26,7	26,7
2 Потребляемая полная мощность электропривода при $n = n_{ном}$ , ВА	5673	6779
3 КПД системы при $n = n_{ном}$	0,84	0,72
4 Cos φ системы при $n = n_{ном}$	0,84	0,82
5 Допустимый по условиям нагрева электродвигателя момент нагрузки при $n_2 = 0$ , Н·м	8	10,6
6 Диапазон регулирования	10	10000
7 Пуск	Управляемый	Управляемый
8 Торможение	Управляемое	Управляемое
9 Габариты электродвигателя	100S4	100L4
10 Габариты преобразователя (без фильтров), мм	Встроен в электродвигатель	369×125×212
11 Масса электродвигателя, кг	28,8	33,4
12 Масса преобразователя, кг	1	6,2
13 Цена преобразователя, у. е.	200...300	1000...1200
14 Энергосбережение при работе электродвигателя 15 кВт на насосы системы водоснабжения (эксперимент), %	20...30	30...35

### Заключение

Еще в середине 90-х гг. XX в. в лаборатории «Электропривод» МГИ «Мосгортепло» (Москва) были проведены испытания насосов с регулируемыми электроприводами мощностью 15 кВт (параметрический электропривод отечественного производства (система ЭП–ТРН–АД) и частотный преобразователь американской фирмы «Ален Бредли» (система ЭП–ПЧ–АД)). Испы-

тания показали высокую надежность обоих решений, стабильное поддержание заданного давления на выходе, сокращение расхода воды на 10...12 % и сокращение расхода электроэнергии у параметрического электропривода на 20...30 %, а у частотного преобразователя – на 30...35 % [9]. Но в данном случае применялись стандартные электродвигатели. При использовании в системах ЭП–ТРН–АД разработанных нами специальных электродвигателей, пара-

метры энергосбережения должны быть, предположительно, несколько выше. Учитывая значительно более низкую цену предлагаемой системы электропривода, ее более высокую надежность и электромагнитную совместимость, система ЭП–ТРН–АД в перспективе может стать преимущественной альтернативой современным частотным электроприводам во многих отраслях хозяйственного комплекса страны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 4647 РБ, Н О2 К 9 / 06. Асинхронный электродвигатель, регулируемый, Парфеновича / О. Н. Парфенович ; заявитель и патентообладатель Могилев. машиностр. ин-т. – № 2474 ; заявл. 10.10.94 ; опубл. 25.04.06 ; Бюл. № 5.
2. Пат. 12180 РБ, МПК (2006) Н О2 К9 / 04. Асинхронный электродвигатель для регулируемого электропривода машин и механизмов / О. Н. Парфенович, А. С. Третьяков; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № 20071410 ; заявл. 21.11.07 ; опубл. 30.06.09 ; Бюл. № 12 (II ч). – 8 с.
3. Парфенович, О. Н. Элементы теории тепловых процессов электродвигателя по конст-

руктивной схеме ДАС с трёхроторной электромеханикой / О. Н. Парфенович, А. С. Третьяков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 2. – С. 179–187.

4. Пат. 4646 РБ, Н О2 К9 / 06. Асинхронный электродвигатель, регулируемый / О. Н. Парфенович ; заявитель и патентообладатель Могилев. машиностр. ин-т. – № 950068 ; заявл. 13.02.95 ; опубл. 29.04.96 ; Бюл. № 5.

5. Двигатели, приводы, генераторы / Рекламный каталог ф. BALDOR. – Минск : Вольна, 2008. – 4 с.

6. Пат. 11861 РБ, МПК (2006) Н О2 К 17 / 02. Асинхронный электродвигатель энергосберегающий / О. Н. Парфенович, И. В. Соколов ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № 20071284 ; заявл. 24.10.07 ; опубл. Бюл. № 10.

7. Морозов, И. М. Энергосберегающие преобразователи частоты серии L300P HITACHI / И. М. Морозов // Электромагазин. – 2006. – № 9. – С. 29–31.

8. Комплектные регулируемые электроприводы переменного тока мощностью от 0,25 до 315 кВт / Рекламный каталог ф. АBB. – М. : Стремберг, 2008. – С. 2–15.

9. Ильин, В. К. Энергосберегающий электропривод насосов и вентиляторов в промышленности и коммунальном хозяйстве / В. К. Ильин // Материалы НТС. – М. : ВНИИЭ, 1995. – 30 с. : ил.

Белорусско-Российский университет  
Материал поступил 23.11.2010

**O. N. Parfenovich, A. S. Tretiakov,  
I. V. Sokolov, O. A. Kapitonov**  
**New design decisions for energy-saving  
squirrel-cage adjustable induction motors**

Four new models of energy-saving squirrel-cage adjustable induction motors in the electro-mechatronic version are presented in the paper, which are specifically designed for the operation in the system of the electric drive with a thyristor voltage regulator (TVR). Rated specifications are given, and the operation of modern electric drives on the basis of asynchronous electric motors with frequency converters (FC) is analyzed, their advantages and disadvantages being given. The paper states that when new electric engines are used in electric drives with TVR, the latter may be not less effective than the frequency ones, with a number of disadvantages inherent to frequency electric drives being, however, eliminated.