

# УДЕЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С СИНХРОННЫМ РЕАКТИВНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, К.М. Виноградов, А.Н. Горожанкин  
г. Челябинск, ЮУрГУ

Приводятся удельные показатели (массогабаритные, энергетические, стоимостные) электропривода с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения в сравнении с системой преобразователь частоты - асинхронный двигатель (ПЧ-АД).

**Введение.** Для электропривода с синхронным реактивным двигателем независимого возбуждения (СРДНВ) выполнено сравнение вариантов силовых цепей по стоимости в зависимости от мощности [1]. В [2] показано для СРДНВ преимущество квадратной формы пакета сердечника статора над круглой по эффективности использования активных материалов. Представляет интерес сопоставление удельных показателей электропривода с СРДНВ при круглой и квадратной форме пакета сердечника статора электрической машины, что и рассмотрено ниже.

## Удельные показатели электродвигателей.

На рис. 1 сопоставлены удельные массогабаритные показатели различных вариантов электродвигателей: асинхронного (кривые 1 а и 2 а), СРДНВ с круглой формой пакета сердечника статора (кривые 1 б и 2 б) и СРДНВ с квадратной формой сердечника статора (кривые 1 в и 2 в). Кривые для АД были рассчитаны на основании справочных данных [3].

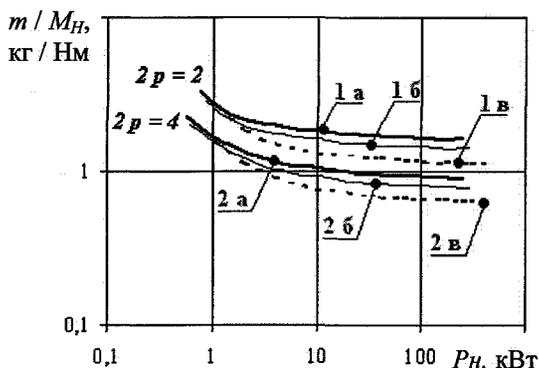


Рис. 1. Удельные массогабаритные показатели электродвигателей

Улучшение массогабаритных показателей для СРДНВ достигнуто конфигурацией обмотки на статоре (однослойная с полным шагом) и специальными законами управления токами статора. Для СРДНВ с квадратной формой сердечника статора дополнительная выгода достигнута использованием пространства в угловых частях пакета статора. На малых мощностях массогабаритные показатели различных электродвигателей близки, а при номинальной мощности двигателя 10 кВт и выше удельные показатели СРДНВ лучше, чем АД, на 15–40 %. Четырехполюсные машины в этом же диапазоне мощностей имеют удельную массу на 30–40 % меньше, чем двухполюсные.

Удельные потери в электродвигателях сопоставлялись по показателю  $P/M_n$  - отношению потерь в активных материалах только статора (меди и стали) электродвигателя к номинальному электромагнитному моменту (рис. 2). Расчет показывает снижение потерь в статоре на 15–60%. А так как в СРДНВ отсутствуют потери скольжения, то эта разница будет еще больше.

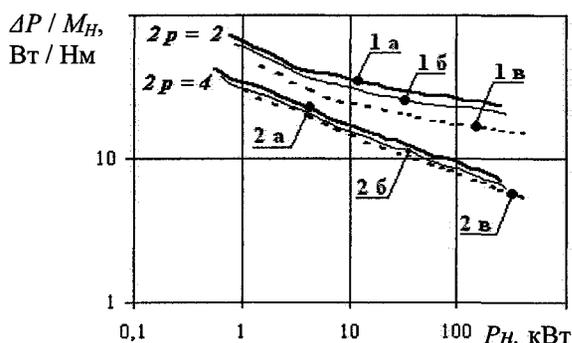


Рис. 2. Удельные потери в электродвигателях

Естественным для всех электродвигателей является снижение электрических потерь в цепях статора при переходе от  $2p = 2$  к  $2p = 4$  (до 30 %) благодаря меньшей длине лобовых частей обмоток и увеличенному электромагнитному моменту. Отсутствие потерь скольжения в роторе даёт возможность увеличить удельные нагрузки на статорные цепи, что хорошо согласуется и с результатами зарубежных авторов, занимающихся СРДНВ [4].

На рис. 3 показано, как изменяется стоимостный показатель  $\Pi / M_n$  - отношение стоимости

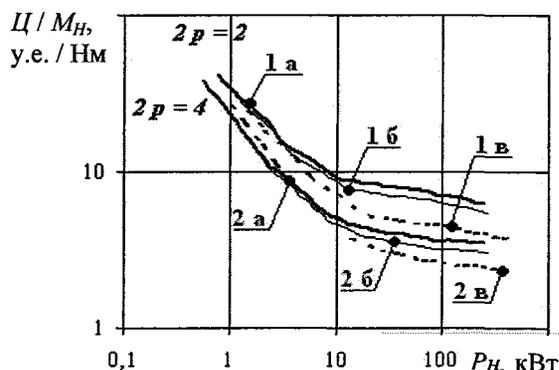


Рис. 3. Стоимостные показатели электродвигателей

электродвигателя к номинальному электромагнитному моменту в зависимости от номинальной мощности электродвигателя. При этом ошутимое снижение удельных затрат в СРДНВ (кривые 2 и 3) проявляется, начиная с мощности примерно 10 кВт, что обусловлено большими электромагнитными моментами СРДНВ при тех же затратах активных материалов. Удельные цены электродвигателей с  $2p = 2$  выше, чем с  $2p = 4$ , из-за повышенного расхода меди на более длинные лобовые части обмоток, а также из-за более низкого электромагнитного момента.

Стоимостные показатели электрических преобразователей и двигателей. На рис. 4 показаны кривые стоимости различных вариантов реализации силовых цепей в зависимости от номинального тока фазы статора в электроприводе с СРДНВ в сравнении со стоимостью силовых цепей для системы ПЧ-АД. Рассмотрены случаи питания шестифазного СРДНВ, имеющего круглую форму пакета железа сердечника статора, от индивидуальных источников тока на транзисторных полупроводниковых элементах (кривая 1) и на тиристорных элементах (кривая 2), от двух трехфазных мостовых инверторов (кривая 3), а также преобразователя частоты ПЧ для АД (кривая 4).

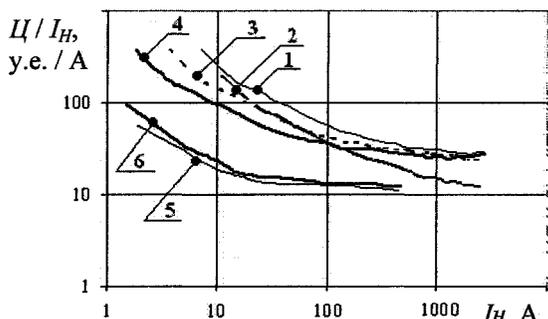


Рис. 4. Стоимостные показатели электрических преобразователей (1 – шесть ШИП; 2 – шесть НПЧ; 3 – два ПЧ; 4 – ПЧ для АД) и электродвигателей (5 – СРМНВ; 6 – АД)

Удельная стоимость СРДНВ и АД (кривые 5 и 6) близка. Стоимость вентиляльных преобразователей для СРДНВ и всей системы электропривода при малых мощностях получается выше стоимости системы ПЧ-АД из-за большего количества полупроводниковых элементов, на мощностях выше 200 кВт стоимость близка, а при питании от тиристорных элементов даже становится ниже. На рис. 5 приведены стоимостные зависимости для

электропривода с СРДНВ, имеющего квадратную форму пакета сердечника статора. Здесь удельная стоимость вентиляльных цепей для СРДНВ несколько выше (кривые 1, 2, 3, 4), так как учитывает дополнительные затраты на независимое регулирование в цепях обмотки возбуждения, расположенной в дополнительных пазах в углах пакета железа статора [2].

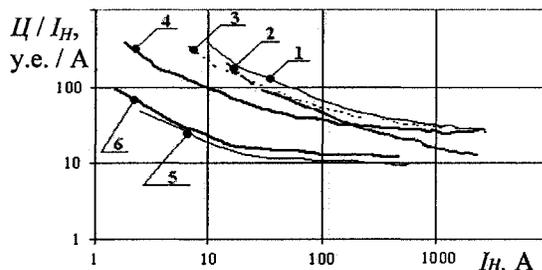


Рис. 5. Стоимостные показатели электрических преобразователей (1 – восемь ШИП; 2 – восемь НПЧ; 3 – два ПЧ и два ШИП; 4 – ПЧ для АД) и электродвигателей (5 – СРМНВ; 6 – АД)

Закключение. Электроприводы с СРДНВ превосходят электропривод с АД по массогабаритным и энергетическим показателям (от 15 % до 40-60 %). По стоимостным показателям эти электроприводы на малых мощностях уступают системе ПЧ-АД, на больших же мощностях их показатели выравниваются с системой ПЧ-АД.

#### Литература

1. Усынин, Ю.С. Электроприводы и генераторы с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения/Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, К.М. Виноградов// *Электричество*. — 2007. - № 3. - С. 21-26.
2. Усынин, Ю.С. Статор синхронного реактивного двигателя независимого возбуждения / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, К.М. Виноградов, А.Н. Горожанкин // *Электротехнические системы и комплексы: межвуз. сб. науч. тр. — Магнитогорск: МГТУ, 2007.*
3. Копылов, И.П. Справочник по электрическим машинам/ И.П. Копылов, Б.К. Клоков. - М.: Энергоатомиздат, 1988. — Т.1.- 456 с.
4. Law J.D., Chertok A., Lipo T.A. Design and Performance of Field Regulated Reluctance Machine // *IEEE Trans, on Industry Applications*. 1994. - № 5. -P. 1185-1193.

Усынин Юрий Семёнович - доктор технических наук, профессор. Работает на кафедре электропривода ЮУрГУ.

Григорьев Максим Анатольевич окончил в 2000 г. Южно-Уральский государственный университет, в 2003 г. - очную аспирантуру при кафедре электропривода. Кандидат технических наук, доцент. Работает на кафедре электропривода ЮУрГУ.

Виноградов Константин Михайлович окончил в 2002 г. Южно-Уральский государственный университет, в 2005 г. - очную аспирантуру при кафедре электропривода. Кандидат технических наук, доцент. Работает на кафедре электропривода ЮУрГУ.

Горожанкин Алексей Николаевич окончил в 2007 г. Южно-Уральский государственный университет. Аспирант кафедры электропривода ЮУрГУ.