

# ТЕХНОЛОГИИ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В КОНДИЦИОНЕРАХ И БЫТОВОЙ ТЕХНИКЕ

**Mamoru Kawakubo, Masaaki Yabe.**

Mitsubishi Electric Corporation, Living Environment Systems Laboratory

Бытовая техника, включая кондиционеры и холодильники, все чаще оснащается инверторами. В инверторах применяются технологии силовой электроники, которые обеспечивают экономию потребляемой электроэнергии, а также уменьшают материалоемкость производства. В данной статье рассматриваются подобные технологии на примере бесконтактных электродвигателей постоянного тока и инверторных приводов этих двигателей.

## Повышение эффективности инверторов, используемых в компрессорах.

Инверторные приводы, используемые в кондиционерах и холодильниках, эффективно управляют бесконтактным двигателем постоянного тока, установленным в компрессор. Высокое давление и высокая температура, создаваемые внутри компрессора, затрудняют размещение там датчиков положения, которые определяют магнитные полюса роторов. Это ведет к необходимости создать метод управления без использования датчиков положения. Обычные бесконтактные двигатели постоянного тока управляются инвертором с сигналом прямоугольной формы. Это облегчает управление, однако возникающие высшие гармоники тока компрессора приводят к потерям на перемагничивание металла сердечника и существенной пульсации крутящего момента. Чтобы устранить эту проблему, мы разработали инвертор с синусоидальной формой управляющего сигнала.

Установленный инвертор имеет векторное управление, при этом двигатель управляется синхронно. На рисунке 1 показана блок-схема управления. Этот способ управления, в котором реализована частотная компенсация, поддерживает постоянную частоту вращения независимо от флуктуаций нагрузки, снижая тем самым вычислительную нагрузку системы управления. Инвертор должен управлять компрессором в широком диапазоне скоростей от самой низкой до самой высокой. Особые требования к эффективности предъявляются в зоне средних и низких скоростей, на которую приходится основное время работы компрессора. Чтобы соответствовать этим требованиям, мы предложили схему перемодуляции. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) в режиме перемодуляции увеличивает амплитуду первой гармоники выходного сигнала за счет управления частью от полного заполнения периода. Увеличив выходной сигнал на 10%, можно управлять высоко-

вольтными двигателями, которые рассчитаны на более низкие токи, чем низковольтные двигатели. Соответственно, потери в обмотках двигателя и стальном сердечнике снижаются, что повышает эффективность работы двигателя и инвертора.

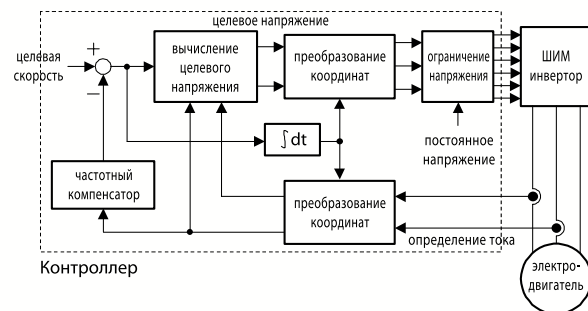


Рис. 1. Блок-схема управления

Рабочий ток компрессора существенно увеличивается при повышении нагрузки, что приводит к значительным потерям. На рисунке 2 (а) показана форма токового сигнала, содержащего пики. Нами разработан метод, который обеспечивает постоянный крутящий момент определенной величины. В этом методе величина напряжения и частота выходного сигнала инвертора управляются таким образом, чтобы поддерживать крутящий момент постоянным. На рисунке 2 (б) показана форма сигнала, получаемого при управлении пиками тока. Как видно из рисунка, пиковые значения тока снижены почти в два раза. Этот метод, при применении в холодильниках, которые оснащаются поршневыми компрессорами, дает увеличение эффективности работы при низких скоростях вращения на 4% по сравнению с обычными методами управления. Для кондиционеров, в которых используются ротационные компрессоры, эффективность работы также возросла.

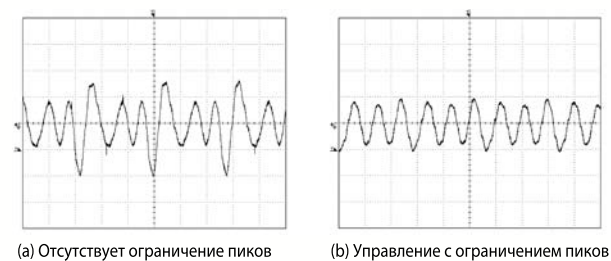


Рис. 2. Ток электродвигателя

Эффективность зависит от величины крутящего момента и характеристик двигателя. Мы предлагаем способ управления, который обеспечивает максимальную эффективность в любом диапазоне значений крутящего момента и для различных двигателей. В этом способе выходной сигнал регулируется таким образом, чтобы минимизировать ток, исходя из параметров электродвигателя. При этом эффективность работы полупромышленных кондиционеров при низкой скорости вращения компрессора возрастает на 6%.

## Повышение эффективности бесконтактных двигателей постоянного тока в приводах компрессоров.

Для того, чтобы повысить эффективность работы двигателей и снизить материалоемкость их производства, необходимо уменьшить потери в обмотках и сердечнике, а также сделать двигатели более компактными. Обычно бесконтактные двигатели постоянного тока оснащаются роторами с внутренним постоянным магнитом (IPM – Interior Permanent Magnet) для достижения производительности и технологичности. Электромагнитный крутящий момент бесконтактного двигателя определяется уравнением 1, представленным ниже. Первый член справа в этом уравнении представляет собой основную составляющую магнитного момента, тогда как второй член – реактивную составляющую момента.

$$T_m = P_m \{ \Phi_f \cdot i_q + (L_d - L_q) \cdot i_d \cdot i_q \}, (1)$$

где  $T_m$  – электромагнитный момент,  $i_d$  и  $i_q$  – ток двигателя по продольной и поперечной осям соответственно,  $L_d$  и  $L_q$  – индуктивности по продольной и поперечной осям соответственно,  $\Phi_f$  – магнитный поток ротора,  $P_m$  – количество пар полюсов.

Разработанные нами новые бесконтактные двигатели постоянного тока имеют постоянную плотность магнитного потока, обусловленную оптимальным размещением магнитов из редкоземельных металлов, а количество полюсов увеличено с 4 до 6. Такой подход позволяет уменьшить толщину статора. Статора характеризуется использованием обмотки сосредоточенного типа, а также специальной структуры сердечника, называемой «Poki Poki Core». Такая обмотка может быть уложена на сердечник в развернутом состоянии. Длина обмотки снижается, приводя к уменьшению ее сопротивления, при высоком коэффициенте заполнения обмотки. Новый способ изготовления двигателей существенно улучшает эффективность. На рисунке 3 изображены элементы электродвигателей, использующих магниты из редкоземельных металлов и из ферритов.



Рис. 3. Элементы электродвигателей

На рисунке 4 можно сравнить их основные характеристики. Новый электродвигатель всего на 1% эффективнее традиционной модели, но на 40% компактнее и на 35% процентов легче, что означает уменьшение его материалоемкости.

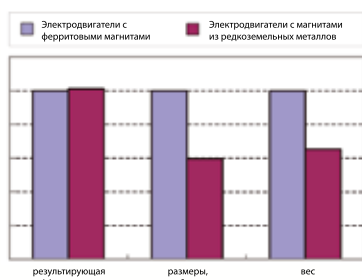


Рис. 4. Сравнение электродвигателей

## Двигатели постоянного тока для привода вентиляторов

Для уменьшения электропотребления во внутренние и наружные блоки кондиционеров устанавливаются высокоэффективные бесконтактные двигатели постоянного тока для привода вентиляторов. Ротор такого двигателя имеет внешний постоянный магнит (SPM – Surface Permanent Magnet), расположенный на поверхности ротора. В этом случае вращающий момент двигателя соответствует основной составляющей магнитного момента, а реактивный момент, обуславливающий шум и вибрацию, отсутствует. Для уменьшения шума в двигателе ротор изготавливается из пластикового магнита (неметаллический магнит, изготовленный из органического полимера\*), который хорошо формуются. Для улучшения характеристик двигателя разработана специальная структура статора, называемая «Poki Poki Core», с сосредоточенным типом расположения обмотки. На рисунке 5 изображены бесконтактные двигатели постоянного тока, используемые соответственно во внутреннем и наружном блоке кондиционера.



Рис. 5. Бесконтактные электродвигатели постоянного тока для вентиляторов

Двигатель вентилятора, предназначенный для установки во внутренний блок кондиционера, должен быть компактным для уменьшения габаритных размеров блока. Поэтому модуль инвертора, состоящий

из миниатюрных электронных компонентов, встраивается непосредственно в электродвигатель. Модуль закрепляется на статор через теплопроводящий материал. Это позволяет рассеивать через статор тепло выходного силового каскада инвертора, без применения специального пластинчатого теплоотвода.

Двигатели вентилятора наружного блока кондиционера должны работать эффективно и бесшумно во всем диапазоне скоростей вращения, а также при изменяющейся внешней ветровой нагрузке. Поэтому такие двигатели оснащаются датчиками положения ротора. Параметры выходного сигнала инвертора корректируются в соответствии с информацией от датчиков положения, что позволяет оптимизировать управление.

Компактные и экономичные компрессоры, бесконтактные электродвигатели вентиляторов и инверторные модули находят применение в различных приборах и системах. По-прежнему существует высокий спрос на энергоэффективные решения в кондиционерах воздуха и бытовой технике. Поэтому мы намерены продолжать разработки и исследования в этой области для удовлетворения существующего спроса.

\* Примечание переводчика.

Ежеквартальный специализированный журнал «ФОРМУЛА ЖИЗНИ»  
Зарегистрирован Комитетом РФ по печати.  
Регистрационный номер: ПИ №77-5008 от 17.07.2000. Тираж: 1800 экз.  
Главный редактор: Екатерина Пронина. Дизайн, верстка: Дмитрий Зябров  
Распространение: Бесплатная рассылка по России,  
странам СНГ и Балтии: коммерческие и проектные организации.

**MITSUBISHI**  
**ELECTRIC**  
СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО МИЦУБИСИ ЭЛЕКТРИК В МОСКВЕ  
Факс: (095) 721 20 71. E-mail: [aircon@mitsubishi-electric.ru](mailto:aircon@mitsubishi-electric.ru)  
[www.mitsubishi-aircon.ru](http://www.mitsubishi-aircon.ru)