

**АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ СО ВСТРОЕННЫМ  
КОМБИНИРОВАННЫМ ТОРМОЗНЫМ УСТРОЙСТВОМ  
НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ТОРМОЗА  
И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МУФТЫ**

**Канд. техн. наук, доц. СОЛЕНКОВ В. В.,  
канд. техн. наук БРЕЛЬ В. В.**

*Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого*

Электродвигатели с тормозными устройствами широко используются в крановом электроприводе, конвейерах, лифтах, эскалаторах, электроприводе подачи и других электроприводах, требующих быстрой и точной остановки. При этом электромеханические тормоза является относительно простым и дешевым средством для торможения электроприводов на базе асинхронных двигателей (АД) [1–3].

Они обеспечивают:

- наиболее быстрое торможение по сравнению с другими известными способами;
- надежное затормаживание при исчезновении напряжения сети, тогда как у остальных способов торможения в этих условиях тормозное действие прекращается.

Кроме того, очевидное преимущество механического торможения – отсутствие дополнительных потерь энергии в двигателе, что позволяет значительно увеличить число торможений привода в единицу времени, хотя долговечность фрикционных накладок механического тормоза при этом снижается.

К недостаткам встроенных электромеханических тормозных устройств (ЭМТУ) следует отнести:

- износ фрикционных накладок, дисков или ленты;
- необходимость регулярного технического обслуживания их (особенно при большой частоте включений в единицу времени);
- возможность повреждения электрического оборудования абразивной пылью;
- большие токи и ударные моменты при срабатывании тормозного устройства.

Перечисленные факторы сдерживают применение электромеханических тормозов в электроприводах, требующих плавного и быстрого торможения.

Электромагнитные муфты (тормоза) скольжения также применяются для плавного торможения механизмов в электроприводах конвейеров, вентиляторных и насосных установках. Они выгодно отличаются от тормозных устройств фрикционного типа отсутствием быстроизнашивающихся элементов, возможностью плавного регулирования тормозного момента и работой с высокими частотами вращения, а также отсутствием дополнительных потерь в двигателе.

Недостатками электромагнитных муфт скольжения, в свою очередь, являются громоздкость конструкции, малый тормозной момент на низких скоростях ротора или повышенный нагрев тормоза скольжения при обеспечении требуемого тормозного момента на низких скоростях.

Из изложенного следует, что использование ЭМТУ для торможения АД перспективно в случае увеличения их износостойкости и плавности торможения. Плавностью торможения, как отмечалось, обладает электромагнитная муфта, а износостойкость (или допустимое число торможений) ЭМТУ можно увеличить, если торможение производить на пониженной скорости [4]. Естественным является стремление объединить электромагнитную муфту, которая обеспечивает большой тормозной момент и плавность торможения в диапазоне высоких скоростей, с электромеханическим тормозом, срабатывающим на пониженной скорости.

Таким образом, в электроприводах малой и средней мощности для быстрого, точного, надежного и плавного торможения следует считать перспективным встраиваемое (в асинхронный двигатель) комбинированное тормозное устройство (ВКТУ), включающее электромагнитную муфту скольжения и нормально замкнутый электромеханический тормоз.

Современное состояние разработки, исследования и применения асинхронных двигателей со встраиваемыми тормозными устройствами показывает, что промышленность нуждается в простых, надежных и долговечных конструкциях АД с ВКТУ для электроприводов с частыми пускотормозными режимами.

Функциональная схема АД с ВКТУ представлена на рис. 1.

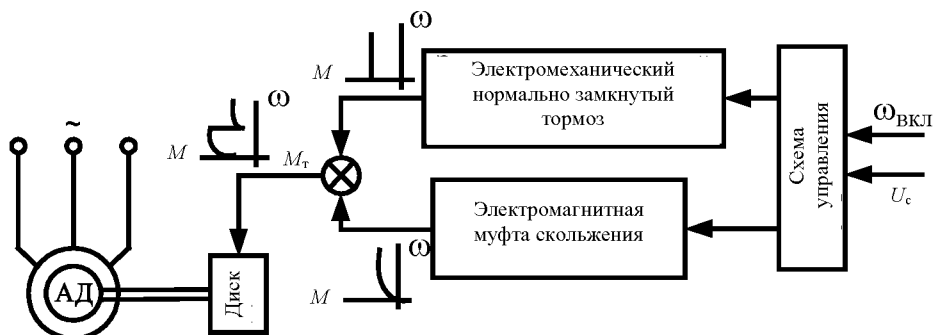


Рис. 1. Функциональная схема АД с ВКТУ

В общем случае АД с ВКТУ содержит:

- асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором;
- электромеханический нормально замкнутый тормоз;
- электромагнитную муфту скольжения;
- схему управления.

Формирование тормозной механической характеристики происходит следующим образом. После отключения двигателя от сети форсирующее напряжение подается на электромагнитную муфту скольжения. Двигатель начинает тормозиться электромагнитным полем, создаваемым вихревыми токами в тормозном диске, который жестко связан с валом двигателя. Чем больше скорость вращения вала двигателя, тем больший тормозной момент создает электромагнитная муфта. В процессе торможения скорость вала замедляется, и при достижении заданной скорости включения  $\omega_{вкл}$  схема

управления размыкает электромеханический тормоз. С этого момента на вал двигателя действует суммарный тормозной момент от муфты и электромеханического тормоза. Скорость включения  $\omega_{\text{вкл}}$  определяется необходимой тормозной механической характеристикой электропривода и задается изначально в схеме управления. Требуемая тормозная механическая характеристика для электропривода определяется в ходе исследования или экспериментально.

К достоинствам предложенной конструкции АД с ВКТУ следует отнести:

1) малый износ фрикционных накладок тормоза за счет того, что механическое торможение происходит на пониженной скорости. Допустимое число торможений обратно пропорционально квадрату изменения частоты вращения ротора в начале торможения [4], т. е. если частоту вращения ротора в начале торможения для электромеханического тормоза уменьшить в два раза (т. е.  $\omega_{\text{вкл}} = 0,5\omega_n$ ), то допустимое число торможений для фрикционной накладки увеличится в 4 раза

$$N \sim \frac{1}{\omega_{\text{вкл}}^2},$$

где  $N$  – допустимое число торможений (гарантированное число торможений новых фрикционных накладок до их полного износа);  $\omega_{\text{вкл}}$  – скорость вращения ротора в начале торможения фрикционной накладкой (или скорость, при которой происходит включение электромеханического тормоза);

2) плавность торможения за счет использования электромагнитной муфты скольжения, обладающей мягкой тормозной характеристикой. В общем случае АД с ВКТУ позволяет формировать семейство тормозных механических характеристик, подобных динамическому торможению АД с фазным ротором. Это является существенным достоинством, так как становится возможным использовать АД с короткозамкнутым ротором там, где до этого использовались АД с фазным ротором в режиме динамического торможения;

3) наличие тормозного момента при нулевой скорости (торможение на упор). Такое торможение необходимо для поддержания рабочих органов и грузов в заданном положении согласно технологическому процессу, а также в целях безопасности при отключении питающего напряжения сети. При необходимости может быть предусмотрено механическое растормаживание;

4) уменьшенные тепловые потери в самом электродвигателе по сравнению с электрическими способами торможения. Необходимый тормозной момент в АД с короткозамкнутым ротором часто может обеспечиваться лишь за счет перегрева двигателя. Данная проблема особо актуальна для цехов с повышенной температурой окружающей среды (литейно-формовочные, кузнечные, горячей прокатки и т. п.). Зачастую в летнее время при повышенной температуре окружающей среды выходит из строя коммутационная аппаратура и перегревается двигатель. Особенно это касается механизмов, работающих в повторно-кратковременном режиме;

5) возможность встраивания в базовый асинхронный двигатель (со стороны вентилятора), основанная на использовании электромагнитов посто-

янного тока с форсировкой, а также оптимизации параметров электромагнита и электромагнитной муфты скольжения [5];

б) возможность встраивания ТУ в АД в обычном электроремонтном цехе в связи с конструктивной простотой. В определенной мере АД с ВКТУ является альтернативой применению динамического торможения в АД с фазным и с короткозамкнутым ротором.

Несмотря на перечисленные достоинства конструкции АД с ВКТУ, по-прежнему остаются актуальными проблемы влияния ТУ на работу АД, увеличения срока службы тормозных накладок, уменьшения габаритных размеров ТУ, расхода активных материалов и создания схем управления [6].

В моменты пуска и торможения встраиваемое комбинированное ТУ оказывает влияние на электромеханические переходные процессы, происходящие в приводе. Наличие дополнительного тормозного момента на валу и несимметрии в статорной цепи (в случае несимметричных схем управления) обуславливают определенные различия в характере протекания процессов в АД с ВКТУ по сравнению с процессами в обычном АД. Кроме того, АД с ВКТУ предназначены в основном для повторно-кратковременных режимов работы, где значительную часть в общей длительности циклов работы составляют электромеханические переходные процессы. Поэтому также необходимо математически описать и исследовать электромеханические переходные процессы, протекающие в АД с ВКТУ.

Конструкция АД с ВКТУ состоит из электромеханического тормоза и электромагнитной муфты скольжения, которые встраиваются в базовый АД со стороны вентилятора. На рис. 2 приведены конструкция электро-механической части АД с ВКТУ и ее фотография.

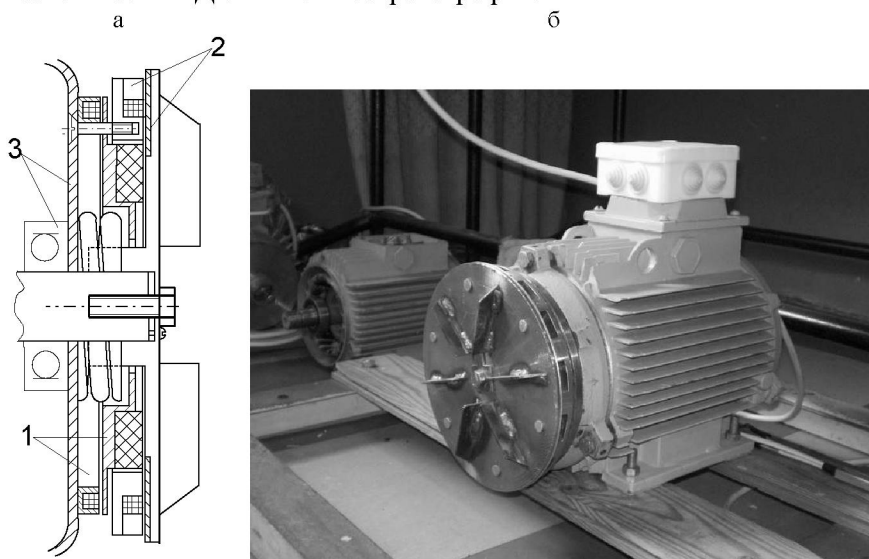


Рис. 2. Конструкция АД с ВКТУ (а) и ее фотография (б)

В момент пуска АД с короткозамкнутым ротором 3 схема управления формирует форсирующее напряжение, которое подается на электромеханический тормоз 1. Тормозные накладки размыкаются, и двигатель начинает вращаться. Через небольшой промежуток времени после срабатывания электромеханического тормоза напряжение на обмотке электромагнита снижается до напряжения удержания.

В момент начала торможения АД схема управления формирует форсирующее напряжение, которое подается на электромагнитную муфту 2. Двигатель затормаживается, и в определенный момент времени (при пониженной скорости вращения АД) схема управления обесточивает электромагнит, и тормозные накладкам, замыкаясь, создают дополнительный тормозной момент.

На рис. 3 представлена механическая характеристика спроектированной муфты скольжения для двигателя АИР90 ( $n_n = 1420$  об/мин).

На рис. 4 показана механическая характеристика АД с ВКТУ (при  $\omega_{вкл} = 0,5\omega_n$ ).

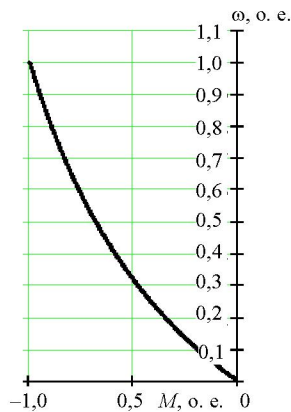


Рис. 3. Механическая характеристика муфты скольжения для двигателя АИР90

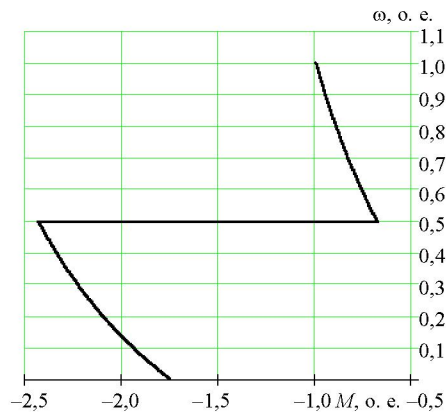


Рис. 4. Механическая характеристика АД с ВКТУ

### ВЫВОД

Разработанная конструкция АД с ВКТУ, являясь относительно простой и дешевой, обладает рядом достоинств. В лаборатории кафедры «Теоретические основы электротехники» Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого изготовлена конструкция АД с ВКТУ (рис. 2). Экспериментальные исследования АД с ВКТУ подтвердили правильность разработанных инженерных методов расчета и проектирования. Это позволило внедрить АД с ВКТУ в электропривод накопителя шасси с мостами № 101.12.24.000000 в филиале РУП «Гомсельмаш» «ГЗСК».

### ЛИТЕРАТУРА

1. Соленков, В. В. Асинхронные двигатели с электромеханическими тормозными устройствами / В. В. Соленков, В. В. Брель // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2004. – № 4. – С. 28–32.
2. Гусельников, Э. М. Самотормозящиеся электродвигатели / Э. М. Гусельников, Б. С. Цукерман. – М.: Энергия, 1971. – 96 с.
3. Karl, E. Brinkmann GmbH. Electromagnetic technology – www.keb.de. 2010. – № 8. – 52 с.
4. Александров, М. П. Тормозные устройства / М. П. Александров, А. Г. Лысяков. – М.: Машиностроение, 1985. – 312 с.
5. Соленков, В. В. Оптимизация параметров электромагнита в двигателях с тормозными устройствами / В. В. Соленков, В. В. Брель // Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого. – 2004. – № 3. – С. 33–36.