

## ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АД С ТОРМОЗНЫМ УСТРОЙСТВОМ

В.В. Брель

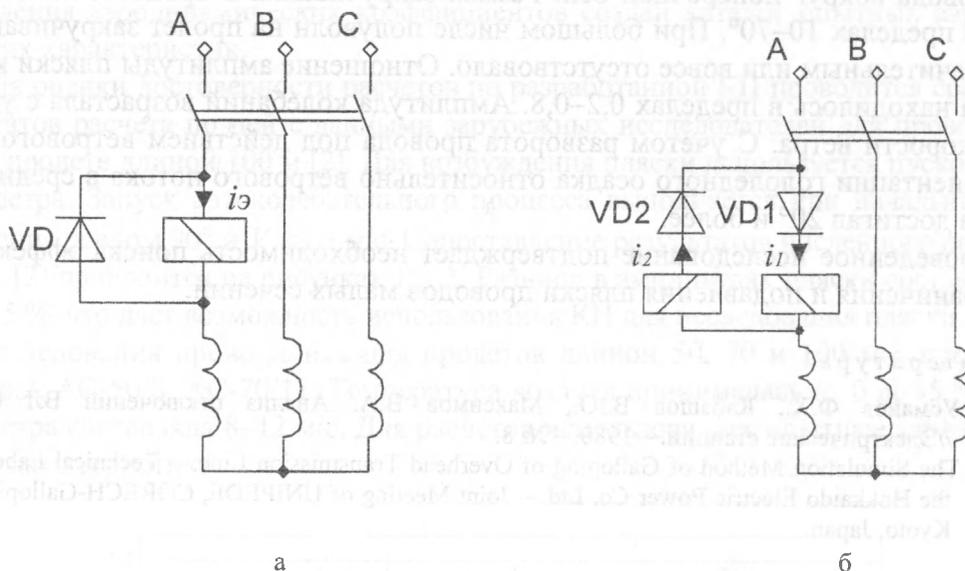
*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель В.В. Соленков

При последовательном включении растормаживающего электромагнита с выпрямителем и любой из фазных обмоток асинхронного двигателя схема управления становится несимметричной. Многочисленные недостатки, присущие несимметричным схемам управления, затрудняют их применение в отечественных тормозных электродвигателях. Тем не менее, такие схемы привлекают внимание конструкторов и разработчиков АД с электрохимическими тормозными устройствами (ЭМТУ) благодаря максимальной простоте и надежности [1, 2].

Степень влияния несимметрии на характеристики АД зависит как от конкретной схемы управления, так и от параметров растормаживающего электромагнита и может быть сравнительно высокой или низкой. В связи с этим при проектировании возникает необходимость выбора таких схем и параметров, влияние которых на работу АД с ЭМТУ было бы минимальным.

Ниже производится сравнение трех несимметричных схем управления, представленных на рисунке 1.



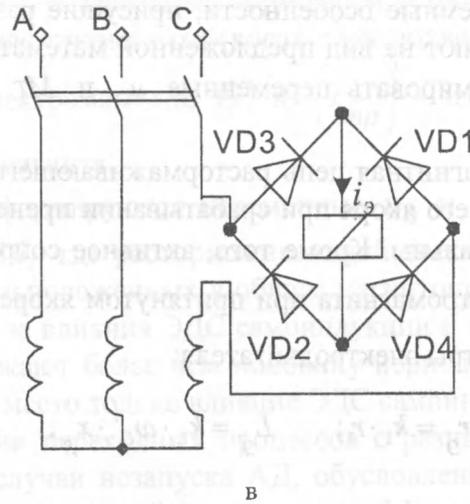


Рис. 1. Схемы включения растормаживающего электромагнита в статорную цепь базового АД: а – однополупериодная; б – двухполупериодная (двухобмоточная); в – двухполупериодная

С учетом известных допущений и базовых величин [3] процесс электромеханического преобразования энергии в АД с ЭМТУ может быть описан следующей системой дифференциальных уравнений в относительных единицах:

$$\frac{d\omega_p}{dt} = \frac{1}{J} \cdot \left[ M - (Mc + Mt) \cdot \text{sign}(\omega_p) \right], \quad (1)$$

$$M = \frac{x_m}{\sigma \cdot x_s \cdot x_r} \cdot \left( \psi_{r\alpha} \cdot \psi_{s\beta} - \psi_{s\alpha} \cdot \psi_{r\beta} \right). \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} &= u_{s\alpha} - \frac{r_1}{\sigma \cdot x_s} \cdot \psi_{s\alpha} + \frac{r_1 \cdot x_m}{\sigma \cdot x_s \cdot x_r} \cdot \psi_{r\alpha} - \frac{2}{3} \cdot u_{\text{э}}, \\ \frac{d\psi_{s\beta}}{dt} &= u_{s\beta} - \frac{r_1}{\sigma \cdot x_s} \cdot \psi_{s\beta} + \frac{r_1 \cdot x_m}{\sigma \cdot x_s \cdot x_r} \cdot \psi_{r\beta}, \\ \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} &= \frac{r_2' \cdot x_m}{\sigma \cdot x_s \cdot x_r} \cdot \psi_{s\alpha} - \frac{r_2'}{\sigma \cdot x_r} \cdot \psi_{r\alpha} - \omega_p \cdot \psi_{r\beta}, \\ \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} &= \frac{r_2' \cdot x_m}{\sigma \cdot x_s \cdot x_r} \cdot \psi_{s\beta} - \frac{r_2'}{\sigma \cdot x_r} \cdot \psi_{r\beta} + \omega_p \cdot \psi_{r\alpha}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Здесь  $u_{\text{э}}$  – напряжение на обмотке растормаживающего электромагнита, включенной последовательно с одной из фазных обмоток статора электродвигателя;  $Mt$  – тормозной момент, возникающий в результате трения фрикционных накладок тормозного устройства. Остальные обозначения в уравнениях (1) – (3) общепринятые и раскрыты, например, в [3].

Конструктивные и схемные особенности, присущие разным типам тормозных электродвигателей, не влияют на вид предложенной математической модели, но заставляют специально формировать переменные  $u_{\text{э}}$  и  $M_T$  в каждом конкретном случае.

Будем считать, что магнитная цепь растормаживающего электромагнита ненасыщенна, время движения его якоря при срабатывании пренебрежимо мало, а полупроводниковые диоды идеальны. Кроме того, активное сопротивление  $r_{\text{э}}$  и индуктивность  $L_{\text{э}}$  обмотки электромагнита при притяннутом якоре (когда тормоз разомкнут) выразим через параметры электродвигателя:

$$r_{\text{э}} = k_1 \cdot r_1; \quad L_{\text{э}} = k_2 \cdot \omega_0^{-1} \cdot x_s, \quad (4)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  – безразмерные коэффициенты;  $\omega_0$  – угловая частота сети.

Тогда в схеме включения (рис. 1а) напряжение на обмотке электромагнита в относительных единицах определяется выражением:

$$u_{\text{э}} = k_2 \cdot x_s \cdot \frac{di_{\text{э}}}{dt} + k_1 \cdot r_1 \cdot i_{\text{э}}. \quad (5)$$

В интервале времени, когда шунтирующий обмотку диод VD закрыт, ток электромагнита  $i_{\text{э}}$  равен:

$$i_{\text{э}} = i_{s\alpha} = \frac{1}{\sigma \cdot x_s} \cdot \psi_{s\alpha} - \frac{x_m}{\sigma \cdot x_s \cdot x_r} \cdot \psi_{r\alpha}. \quad (6)$$

Подставив (6) в (5) с учетом (3), окончательно можно получить:

$$u_{\text{э}} = \left( \sigma + \frac{2}{3} \cdot k_2 \right)^{-1} \cdot \left\{ k_2 \cdot u_{s\alpha} - \left[ \frac{k_2 \cdot r_2'}{\sigma} \cdot \frac{x_m^2}{x_s \cdot x_r^2} + (k_2 - k_1 \cdot \sigma) \cdot \frac{r_1}{\sigma \cdot x_s} \right] \cdot \psi_{s\alpha} + \left[ k_2 \cdot \frac{r_1 \cdot x_r + r_2' \cdot x_s}{\sigma \cdot x_s \cdot x_r} - k_1 \cdot \frac{r_1}{x_s} \right] \cdot \frac{x_m}{x_r} \cdot \psi_{r\alpha} + k_2 \cdot \frac{x_m}{x_r} \cdot \omega_p \cdot \psi_{r\beta} \right\}. \quad (7)$$

В интервале времени, когда диод открыт,  $u_{\text{э}} = 0$ , а ток  $i_{\text{э}}$  равен току контура, образуемого обмоткой электромагнита и диодом.

Характер изменения тормозного момента в процессе пуска электродвигателя со схемой включения (рис. 1а) определяется выражением:

$$M_T = M_{T0} \cdot \left( 1 - \frac{i_{\text{э}}^2}{I_{mp}^2} \right) \cdot \left[ 1(t) - 1\left( t_{mp} \right) \right], \quad (9)$$

в котором  $M_{то}$  – момент, создаваемый тормозным устройством при отсутствии напряжения на обмотке электромагнита (когда электродвигатель отключен от сети);  $I_{тр}$  – ток трогания электромагнита;  $1(t)$  и  $1\left(\frac{t}{t_{тр}}\right)$  – единичные функции;  $t_{тр}$  – время трогания электромагнита.

Несколько иначе формируются переменные  $u_э$  и  $Mт$  в случае применения схем включения (рис. 1б), где растормаживающий электромагнит состоит из двух одинаковых обмоток, расположенных в общем магнитопроводе, и двух одинаковых диодов VD1 и VD2. Из-за влияния ЭДС самоиндукции и взаимной индукции токи в каждой из обмоток протекают более чем половину периода, питающего напряжения. В схеме (рис. 1в) имеет место только влияние ЭДС самоиндукции.

При моделировании переходных процессов с разными параметрами электромагнита наблюдались случаи незапуска АД, обусловленные несимметрией статорной цепи. Явление незапуска крайне нежелательно и даже опасно, так как возникающие при нем близкие к максимальным колебания электромагнитного момента вызывают значительные механические удары, вибрацию и, в конечном счете, приводят к повреждению электрической машины. В связи с этим целесообразно проектировать электромагнит с  $x_э$  и  $r_э$  так, чтобы для схемы (рис. 1а) они не превышали значений  $x_э = 0,3 \cdot x_с$ ,  $r_э = 2 \cdot r_1$ , для схемы (рис. 1б) –  $x_э = 0,15 \cdot x_с$ ,  $r_э = r_1$  и для схемы (рис. 1в) –  $x_э = 0,24 \cdot x_с$ ,  $r_э = 3 \cdot r_1$ .

#### Литература

1. Соленков В.В., Брель В.В. Электромеханические переходные процессы в асинхронных двигателях с тормозными устройствами // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – Гомель. – 2003. – № 1. – С. 67-72.
2. Соленков В.В., Плотников Ю.А. Критериальные уравнения для проектирования электродвигателей с тормозными устройствами // Материалы третьей региональной НПК «Молодые ученые и специалисты – народному хозяйству». – Томск. – 1980. – С. 161-164.
3. Копылов И.П. Электромеханические преобразователи энергии. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.

## СИНТЕЗ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ПРУЖИН НА ОСНОВЕ ЛАД

Ю.А. Рудченко, А.В. Туренкова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В.И. Луковников

В ряде областей науки, техники и производства, где используется колебательное движение рабочего органа машины без повышенных требований к качеству колебаний, очень перспективным оказывается применение автоколебательных режимов работы электродвигателей. Это, например, испытательные стенды пружинных подвесок и других упругих элементов, дисбалансные вибраторы, станки-качалки, аппараты спортивной вибростимуляции, игрушки, рекламные качающиеся устройства и т. д.

Как известно, незатухающий автоколебательный режим возникает в консервативной паре «масса – упругость», если в процессе колебаний диссипативные силы компенсируются силами подпитки с нелинейной характеристикой.