

ИМПУЛЬСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Ю.С. Усынин, А.В. Валов

г. Челябинск, ЮУрГУ

Приводятся принцип работы, расчетные характеристики, уравнения математической модели асинхронного электропривода с импульсным управлением. Обращается внимание на его высокие энергетические и благоприятные эксплуатационные характеристики.

Введение. В промышленности эксплуатируется много рабочих механизмов (подъемно-транспортные машины, транспортеры, насосы), приводящиеся от асинхронного двигателя с фазным ротором. Как правило, регулирование скорости в них производится реостатным способом. Между тем современные средства управления позволяют заметно улучшить регулировочные характеристики этих приводов без больших затрат. Ниже рассмотрен один из таких способов.

Принципиальная схема электропривода. В электроприводе, в котором используется асинхронный двигатель с фазным ротором, регулирование скорости производится с помощью ти-

сторного преобразователя, собранного по мостовой трехфазной схеме (рис. 1а). Входные цепи преобразователя подключаются к сети через обмотки статора двигателя AX, BY, CZ . На выход выпрямленного напряжения преобразователя подключаются обмотки ротора двигателя ax, yb . Обмотка cz может подключаться параллельно или оставаться свободной.

Управление тиристорными мостами производится таким образом, что МДС, создаваемая током в обмотках статора, всегда создает вращающий момент двигателя. Сказанное подтверждают пространственные векторные диаграммы МДС двигателя (рис. 2).

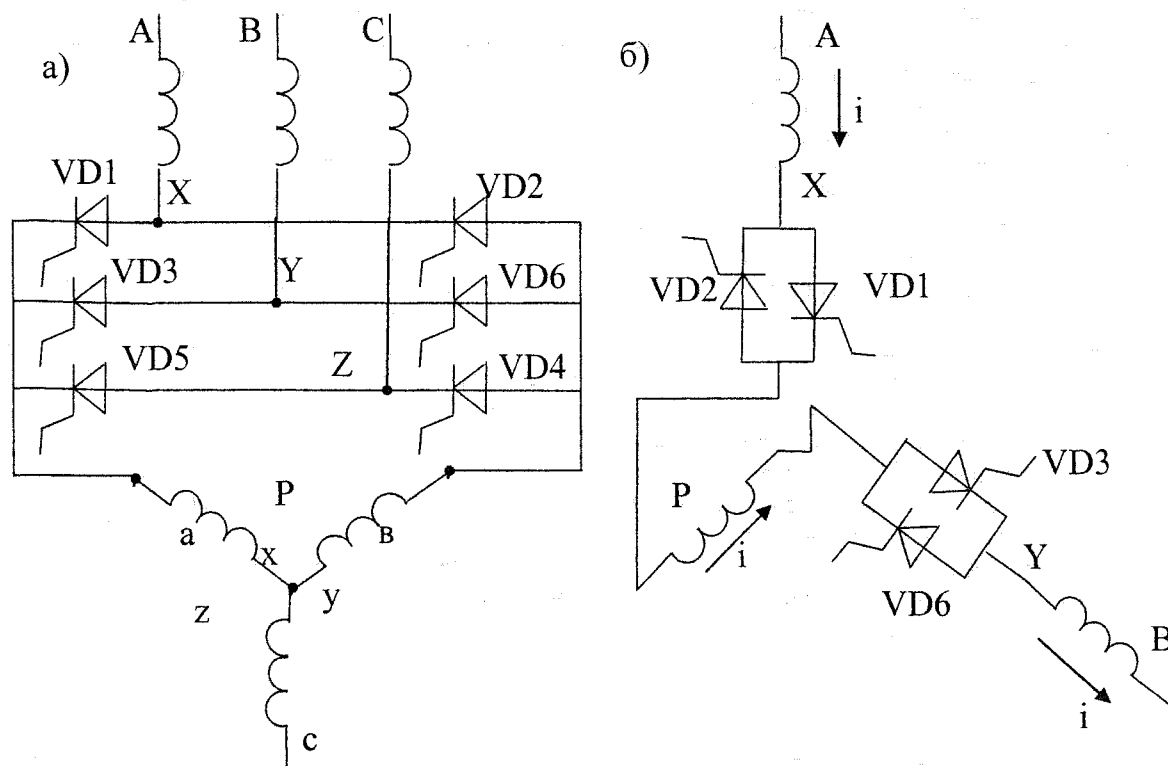


Рис. 1. Схема функциональная электропривода: а) общая схема силовых цепей; б) схема подключения обмоток фаз А и В

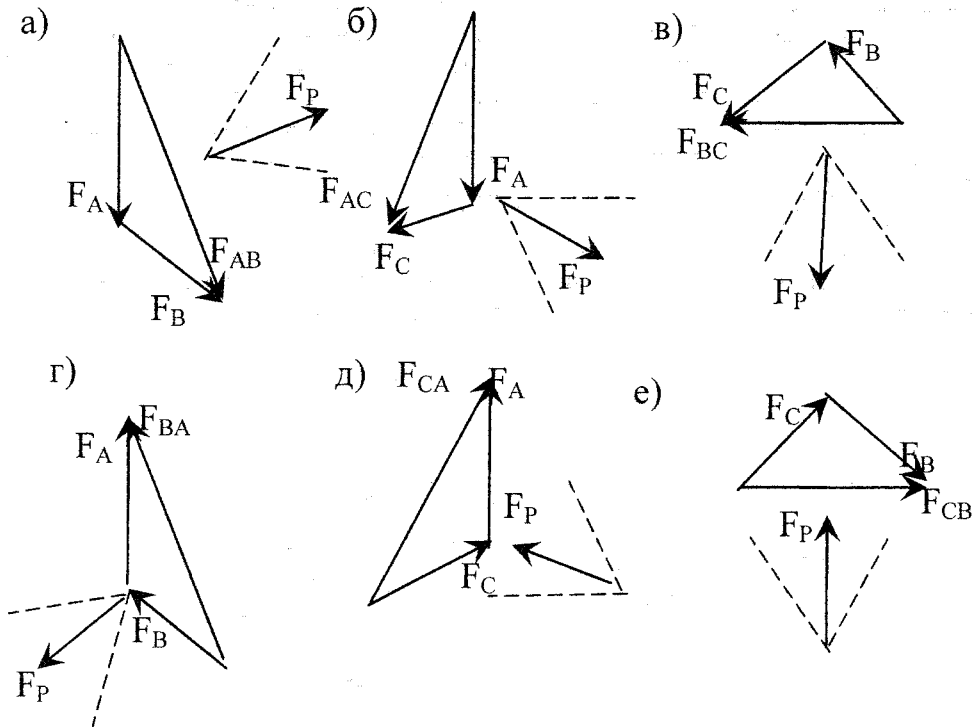


Рис. 2. Пространственные векторные диаграммы электродвигателя при различных положениях ротора:
а) $\alpha = 240^\circ$; б) $\alpha = 300^\circ$; в) $\alpha = 0^\circ$; г) $\alpha = 60^\circ$; д) $\alpha = 120^\circ$; е) $\alpha = 180^\circ$

Переключая тиристоры моста, токами в обмотках статора в последовательности, указанной на рис. 2, создают МДС статора, вращающуюся дискретно с шагом 60° . Эти переключения производят тогда, когда ориентация векторов МДС обмоток статора и ротора соответствует двигателю моменту.

Уравнения состояния электропривода. Математическая модель электропривода составлена на основании схемы (рис. 1б). Здесь принят ряд допущений: не учитывается рассеяние потока в зазоре электродвигателя, тиристоры считаем идеальными ключами, взаимные индуктивности между фазами статора и ротора изменяются по синусоидальному закону.

Ток i , протекающий через обмотки, рассчитывается на основании уравнения:

$$U_{AB} = 2 \cdot i \cdot (r_1 + r_2) + \frac{d\Psi_A}{dt} + \frac{d\Psi_B}{dt} + \frac{d\Psi_P}{dt},$$

где r_1, r_2 – активные сопротивления статора и ротора; Ψ_A, Ψ_B, Ψ_P – потокоцепления фазы А, В и ротора.

$$\Psi_A = L_{AA} \cdot i + L_{AB} \cdot i + L_{AP} \cdot i;$$

$$\Psi_B = L_{BB} \cdot i + L_{AB} \cdot i + L_{BP} \cdot i;$$

$$\Psi_P = L_P \cdot i + L_{AP} \cdot i + L_{BP} \cdot i,$$

где L_{AA}, L_{BB}, L_P – собственные индуктивности фаз А и В и ротора; L_{AP}, L_{BP} – взаимные индуктивности между ротором и фазами; L_{AB} – взаимная индуктивность между обмотками фазы А и В.

При этом взаимные индуктивности равны:

$$L_{AP} = L_M \cdot \cos(\alpha);$$

$$L_{BP} = L_M \cdot \cos(\alpha + 60^\circ),$$

где L_M – максимум взаимных индуктивностей; α – угол поворота вала.

За начальный угол возьмем угол, когда потокоцепления обмоток фазы А статора и ротора направлены в одну сторону.

Из полученных выражений можно вычислить производную тока, а по ней любым численным методом определить и значение самого тока:

$$\frac{di}{dt} = \frac{U_{AB} - 2 \cdot i \cdot (r_1 + r_2) + 2 \cdot L_M \cdot i \cdot n \cdot (\sin(\alpha) + \sin(\alpha + 60^\circ))}{L_{AA} + 2 \cdot L_{AB} + L_{BB} + L_P + 2 \cdot L_M \cdot (\cos(\alpha) + \cos(\alpha + 60^\circ))},$$

где $n = \frac{d\alpha}{dt}$ – скорость вращения вала.

Для вычисления момента воспользуемся уравнением:

$$M = \frac{dW}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha} \left(\sum_{i=1}^3 L_i \cdot i^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^3 L_{ij} \cdot i_j^2 \right) =$$

$$= -L_M \cdot i^2 \cdot [\sin(\alpha) + \sin(\alpha + 60^\circ)].$$

Наконец, запишем уравнения движения вала ротора:

$$n = \int \frac{M - Mc}{J} dt;$$

$$\alpha = \int n dt,$$

где Mc – статический момент; J – момент инерции.

Результаты расчета. Расчет проводился для двигателя МТФ111-6 ($P_H = 3.5$ кВт; $U_H = 380$ В, $I_{1H} = 10.4$ А; $M_H = 40$ Нм; $n_H = 895$ об/мин; $I_{2H} = 15$ А; $\eta = 70\%$; $J = 0.05$ кг·м²) который имеет следующие параметры электрической схемы: $L_{AA} = L_{BB} = L_{CC} = 0.116$ Гн, $L_p = 0.027$ Гн, $L_M = 0.098$ Гн, $f = 50$ Гц – частота сети, $L_{AB} = L_{AC} = L_{CB} = -0.045$ Гн, $M_C = 0$, $J = 1$ кг·м², $r_1 = 2.1$ Ом, $r_2 = 0.6$ Ом.

За прототип были приняты естественная механическая и электромеханическая характеристики электропривода (кривые 1 на рис. 3 а, б).

с постоянным моментом статической нагрузки, близким к номинальному моменту (кривые 3), это отношение остается близким к единице. При малых нагрузках относительное значение тока возрастает, т.к. относительно большая доля приходится на намагничивающую составляющую. Так, при $M_C = 0.1$ величина тока статора увеличивается до 0.6...0.7 от номинального значения. Наоборот, в зоне пониженных скоростей электропривод способен развивать момент, больше критического. При этом приращение моментов опережает прираще-

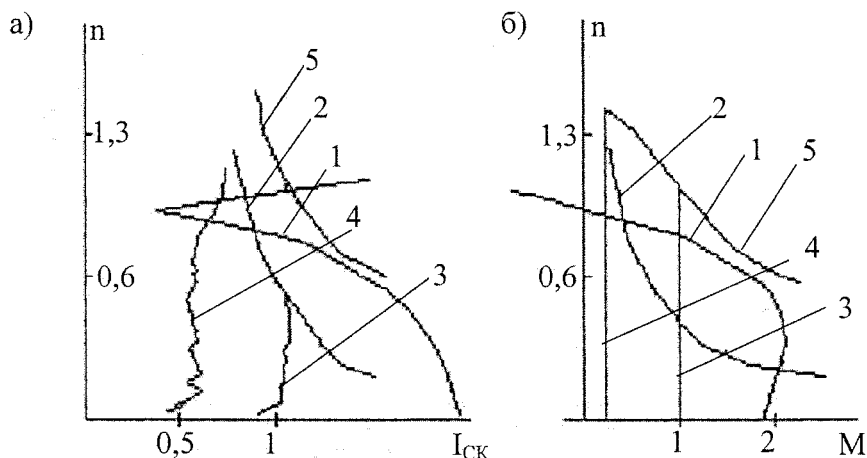


Рис. 3. Электромеханические (а) и механические (б) характеристики

Для удобства расчета все величины на рис. 3 представлены в относительных единицах: за базовое значение скорости принята синхронная скорость двигателя, за базовое значение тока статора – их номинальные значения.

Предельные механическая и электромеханическая характеристики при импульсном регулировании соответствует максимально возможным импульсам напряжения, подаваемым на статор (кривые 2 на рис. 3 а, б). Величины предельных тока и момента снижаются по мере увеличения скорости из-за влияния ЭДС вращения двигателя. Возможен разгон двигателя до скорости выше синхронной, правда, при этом существенно снижается величина момента, развиваемого электродвигателем. Обращает на себя внимание малая величина отношения тока статора к моменту (при номинальном моменте это отношение $I_1/M \approx 1.1$), что следует объяснить близкой к ортогональной взаимной пространственной ориентации векторов МДС обмоток статора и ротора в схеме импульсного регулирования. При регулировании скорости

ние токов статора: например, при $M = 2.5$ наблюдаем $I \approx 1.5$. В районе средних скоростей кривые 2 располагаются ниже, чем 1. Это следовало предвидеть: к сети 380 В подключаются две последовательно соединенные обмотки вместо одной, как в естественной схеме. Характеристики 2 поднимаются вверх, если статорные цепи двигателя вместо $U_C = 380$ В подключить к сети 660 В (кривые 5).

Заключение. Несмотря на импульсный характер регулирования, необходимо отметить хорошие энергетические характеристики электропривода, о чем свидетельствуют малые величины отношения I/M . Наибольшую выгоду следует ожидать в электроприводе механизмов с тяжелыми условиями пуска и малыми затратами на обслуживание. В качестве примера можно указать на электропривод ленточных транспортеров, у которых в зимнее время резко увеличивается момент трогания, а часто требуется прокрутка механизма на пониженной скорости, чтобы предотвратить смерзание смазки в подшипниках рабочего механизма.

Усынин Юрий Семёнович в 1959 г. окончил Челябинский политехнический институт, в 1964 г. – очную аспирантуру при кафедре электропривода Московского энергетического института. Профессиональные интересы: металлургический, общепромышленный, автономный, следящий электроприводы. Доктор технических наук, профессор. Работает на кафедре электропривода ЮУрГУ.

Валов Артем Владимирович – студент 5 курса Южно-Уральского государственного университета.