

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Анализ методов моделирования частотно-управляемых электроприводов [1, 2] приводит к выводу, что повышение точности расчета и более полное совпадение результатов моделирования и экспериментальных данных может быть обеспечено моделью привода с переменной структурой.

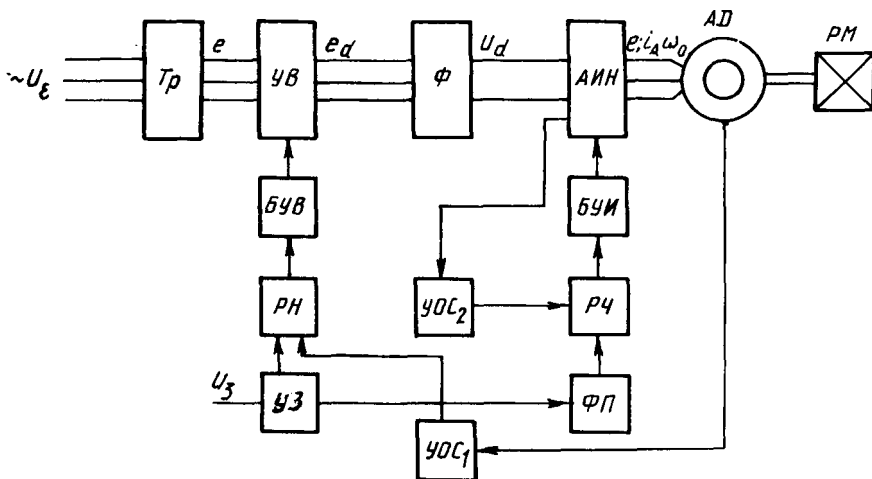


Рис. 1. Структурная схема модели статического образователя частоты.

Модель статического преобразователя частоты представлена на рис. 1 структурной схемой, содержащей следующие звенья: управляемый выпрямитель (УВ), силовой фильтр (СФ), автономный инвертор напряжения (АИН), асинхронный двигатель (АД), рабочий механизм (РМ), устройство заданий (УЗ), регулятор напряжения (РН), блок управления выпрямителем (БУВ), функциональный преобразователь (ФП), регулятор частоты (РЧ), блок управления инвертором (БУИ), устройства обратных связей (УОС1, УОС2). Моделирование системы управления не представляет принципиальных трудностей [1, 2]. При моделировании силовой части в большинстве случаев используются коммутационные функции, что не позволяет учитывать дискретность инвертора и наличие проводимостей в цепях прямого и возвратного токов.

Известно, что в автономном инверторе напряжения, работающем с углом проводимости  $\gamma = 180^\circ$ , существует 6 сочетаний включения тиристоров. Кроме того, в течение каждого интервала проводимости из-за наличия диодов воз-

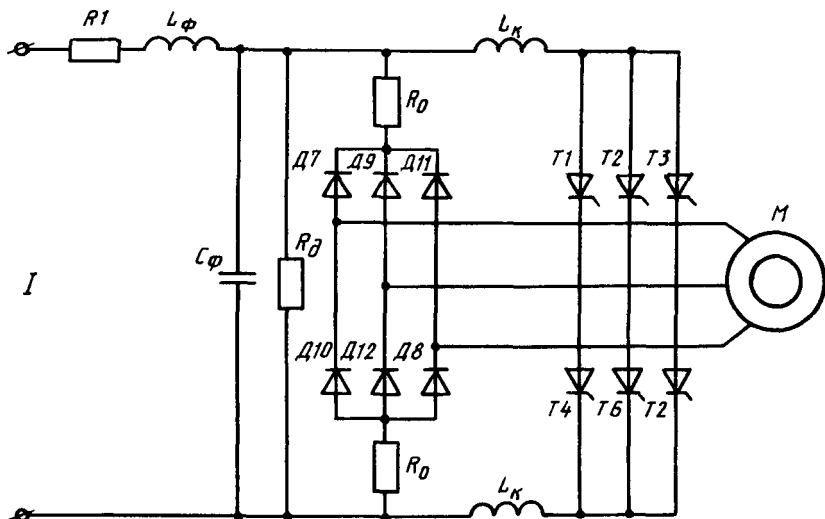


Рис. 2. Схема главных цепей АИН с АД.

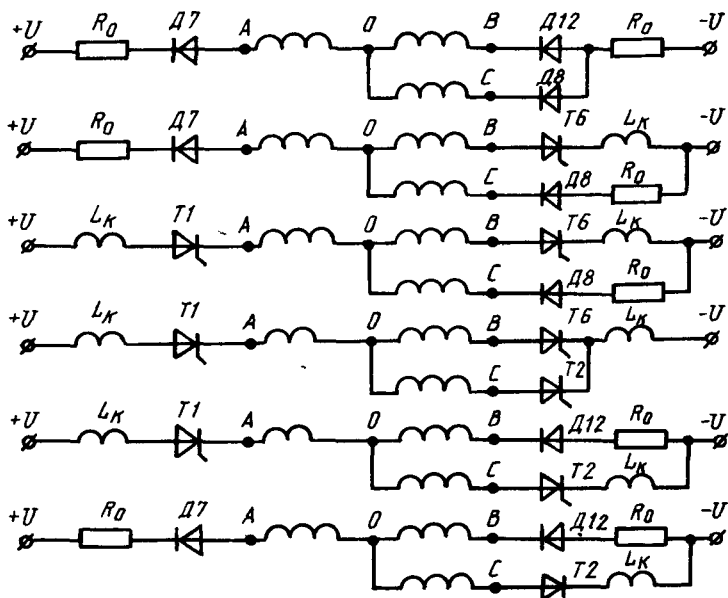


Рис. 3. Схемы переключения АД.

вратного моста возможно 6 вариантов подключений фаз двигателя на напряжение силового фильтра  $U_{\phi}$ . Схема главных цепей АИН с АД приведена на рис. 2.

Схемы подключения двигателя имеют один и тот же вид из-за симметрии цепей фаз для каждого интервала дискретности. Схемы переключения АД при открытых тиристорах 1, 2, 6 в зависимости от мгновенных значений фазовых токов приведены на рис. 3.

Для других интервалов дискретности в приведенных схемах изменится лишь порядок фаз АД. При записи уравнений АД согласно [3] в случае модели без учета дискретности АИН коэффициенты  $A_{ij}$ ,  $B_{ij}$ ,  $C_k$  будут представлять собой функции параметров схемы замещения АД, а в случае учета дискретности АИН к ним добавляются функции параметров цепей инвертора.

Проведен анализ указанных математических моделей структуры, изображенной на рис. 1, намечены области их применимости для исследования электромагнитных и электромеханических процессов, происходящих в статических преобразователях частоты (СПЧ).

На рис. 4 приведены временные диаграммы скорости, момента и напряжения на фильтре для процессов частотного торможения. На рисунке  $\omega_s$  означает частоту статора;  $\omega_r$ ,  $M_3$ ,  $U_{\phi}$  — соответственно угловую частоту ротора, электромагнитный момент и напряжение на фильтре для модели без учета дискретности АД;  $\omega'_r$ ,  $M'_3$ ,  $U'_{\phi}$  — для модели с учетом дискретности.

Из рассмотрения временных диаграмм видно, что в первом случае наблюдаются значительные колебания  $U_{\phi}$  и электромагнитного момента, что не согласуется с экспериментом. В то же время модель дает удовлетворительную сходимость результатов при расчетах установившихся процессов в электроприводе.

Модель с переменной структурой является предпочтительной с точки зрения точности, особенно при исследовании переходных процессов пуска и торможения. В частности имеется возможность определить загрузку по току тиристоров и диодов возвратного моста, определить потери мощности в сопротивлении  $R_0$ , коммутационные перенапряжения в индуктивностях и т.д.

Рассмотрим анализ влияния сопротивления в цепи возвратного моста ( $R_0$ ) на характер пуска и торможения (табл. 1).

Таблица 1

Параметры процессов пуска и торможения

Статический момент $M_c$	Относительное сопротивление $R_0/R_{\text{он}}$	Пуск			Торможение		
		Время пуска $t_p, c$	Напряжение $U_{\phi \text{max}}, B$	Относительный момент $M_3/M_n$	Время торможения $t_T, c$	Напряжение $U_{\phi \text{max}}, B$	Относительный момент $M_3/M_n$
$M_n$	0	0,547	640	3,3	0,06	580	10
$M_n$	1/2	0,381	543	2,6	0,06	540	8,1
$M_n$	1	0,357	480	2,2	0,06	530	7,4
0	0	0,420	670	3,1	0,077	780	8,9
0	2	0,322	480	2,1	0,6	510	6,7

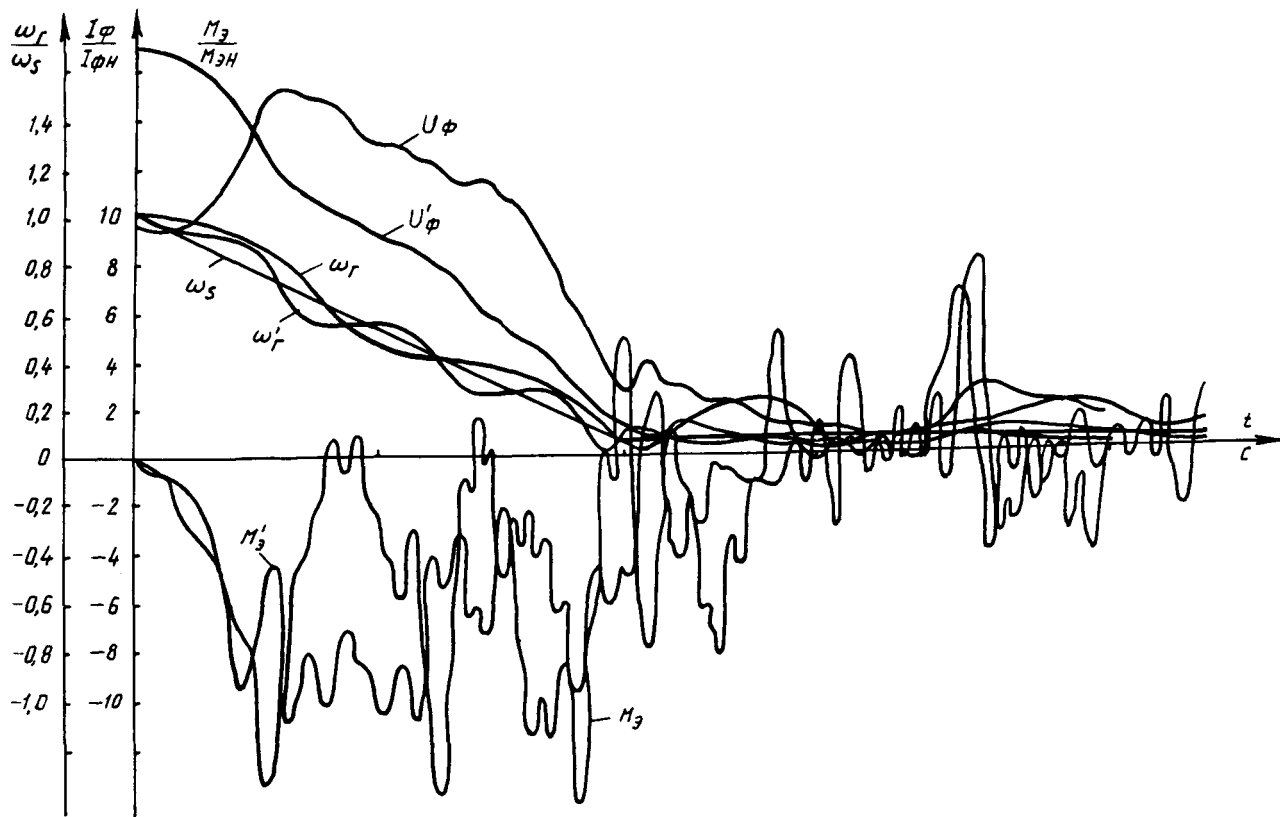


Рис. 4. Временные диаграммы процессов частотного торможения.

Из табл. 1 видно, что с увеличением  $R_0$  в пределах  $0 \leq R_0 \leq R_{0н}$  (для исследуемого типа преобразователя  $R_{0н} = 0,75 \text{ Ом}$ ) уменьшается колебательность процессов, снижаются броски пусковых и тормозных моментов. В то же время за счет более плавного характера изменения  $M_э$  (увеличение его среднего значения) сокращается время пуска и торможения электропривода.

В расчетах использованы каталожные данные Т-образной схемы замещения АД 4А180М4У3:  $R_s = 0,132 \text{ Ом}$ ;  $R_r = 0,0690 \text{ Ом}$ ;  $L_s = 0,045 \text{ Гн}$ ;  $L_r = 0,04563 \text{ Гн}$ ;  $L_m = 0,04423 \text{ Гн}$ ; суммарный момент инерции привода составляет 1,5 момента инерции двигателя. Для расчетов были также использованы данные серийно выпускаемого преобразователя ЭКТ.

Применение математической модели инвертора переменной структуры позволяет учитывать характер электромагнитных процессов в элементах инвертора, что особенно важно в переходных режимах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Структуры систем управления автоматизированными электроприводами/О.П.Ильин, В.И.Панасюк, Ю.Н.Петренко, В.П.Беляев. – Минск, 1978. – 367 с. 2. Ильин О.П., Петренко Ю.Н., Панфилов В.Н. Построение цифровой модели частотного электропривода. – В кн.: Электротехническая промышленность. Электропривод. М., 1981, № 5, с. 1–4. 3. Василевский А.М., Петренко Ю.Н. Исследование на ЦВМ пуско-тормозных режимов частотного электропривода. – В кн.: Научные и прикладные проблемы энергетики. Минск, вып. 11, 1984, с. 96–99.

УДК 62.83.621.9

Л.С.ПИСАРИК, канд.техн.наук,  
М.Б.СИЯЗОВ, БРИКИ СМАИН (БПИ)

#### СХЕМЫ ВЗАИМНОЙ НАГРУЗКИ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

При испытаниях электродвигателя по методу взаимной нагрузки он механически соединяется с нагружающей машиной, составляя с ней двухмашинный агрегат. Якорные цепи машин подключаются к источнику питания, причем схемы подключения могут быть различными.

Произведем сравнительный анализ этих схем. Для общности будем оперировать относительными единицами, приняв за базовые номинальные значения параметров двигателя  $U_n$ ,  $I_n$ ,  $\Phi_n$ ,  $\omega_0$  (для двигателей независимого и смешанного возбуждения),  $\omega_n$  значение, граничное для двигателей последовательного возбуждения. Параметры агрегата во всех рассматриваемых далее схемах постоянны: сопротивление якорной цепи каждой машины  $\rho = 0,051$ , момент собственных потерь агрегата  $\mu_0 = 2 \cdot 0,085 = 0,17$ . Эти значения являются усредненными для машин независимого возбуждения серии П четырехполюсного исполнения в диапазоне мощностей 11–100 кВт. В агрегате с машинами последовательного возбуждения сопротивление якоря равно половине сопротивления якорной цепи.

При параллельном подключении агрегата к источнику (рис.1) статика схемы описывается следующими уравнениями (записаны для агрегата из двух