

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Л. Х. МАШИՆՅԱՆ

МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЦВМ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ТИРИСТОРАМИ В ЦЕПИ СТАТОРА

С внедрением тиристоров регулируемый асинхронный электропривод с фазным управлением получил широкое распространение на практике. Рассмотрим только схемы с тиристорами в цепи питания асинхронного двигателя (АД), позволяющие регулировать эффективное значение подводимого к зажимам статора напряжения. Воздействие на двигатель осуществляется за счет изменения угла открывания тиристорov, что представляет собой разновидность параметрического (амплитудного) регулирования.

Математическое моделирование асинхронных машин, в том числе и двигателей с тиристорами в цепи статора, вообще, базируется на представлении реальной машины некоторой идеализированной моделью, называемой «обобщенной машиной» [1]. При выводе дифференциальных уравнений асинхронной машины вводятся следующие допущения: не учитываются насыщение магнитопровода, потери в стали, влияние пазов, а также высшие пространственные гармоники магнитного поля (считается, что поле каждой обмотки распределено синусоидально по окружности рашочки статора). Обычно принимается, что параметры ротора приведены к цепи статора.

Для записи дифференциальных уравнений асинхронной машины использована неподвижная относительно статора система координат. При этом целесообразно оперировать с реальными токами статора, что особенно важно при наличии нелинейных элементов в цепи статора. Обмотку ротора можно преобразовать в эквивалентную двухфазную. Таким образом, при соединении обмоток статора в звезду с изолированной нейтралью уравнения асинхронного двигателя запишутся так:

$$\left. \begin{aligned} U_{sa} &= r_s i_{sa} + L_s \frac{di_{sa}}{dt} + L_m \frac{di_{ra}}{dt}, \\ U_{sb} &= r_s i_{sb} + L_s \frac{di_{sb}}{dt} + L_m \left(-\frac{1}{2} \frac{di_{ra}}{dt} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{di_{rs}}{dt} \right), \\ U_{sc} &= r_s i_{sc} + L_s \frac{di_{sc}}{dt} + L_m \left(-\frac{1}{2} \frac{di_{ra}}{dt} - \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{di_{rs}}{dt} \right), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 &= r_s i_{rs} + L_s \frac{di_{rs}}{dt} + \omega_r L_r i_{rs} + \omega_r \frac{L_m}{\sqrt{3}} (i_{sb} - i_{sc}) + L_m \frac{di_{sa}}{dt} \\ 0 &= r_r i_{rs} + L_r \frac{di_{rs}}{dt} - \omega_r L_r i_{rs} - \omega_r L_m i_{sa} + \frac{L_m}{\sqrt{3}} \frac{d(i_{sb} - i_{sc})}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$m = \frac{2}{3} p L_m \left[i_{rs} \frac{(i_{sb} - i_{sc})}{\sqrt{3}} - i_{rs} i_{sa} \right]; \quad (3)$$

$$I \frac{d\omega_r}{dt} = p(m \pm m_c). \quad (4)$$

Здесь L_m — взаимная индуктивность от главного магнитного поля; L_s — синхронная индуктивность обмотки статора, равная $L_s = L_m + L_{s1}$; L_r — синхронная индуктивность обмотки ротора, равная $L_r = L_m + L_{r2}$; r_s, r_r — активные сопротивления обмоток статора и ротора; i_{sa}, i_{sb}, i_{sc} — токи фаз статора; i_{rs}, i_{rb}, i_{rc} — преобразованные токи ротора в осях α, β ; m — электромагнитный момент; m_c — момент статической нагрузки; ω_r — электрическая угловая скорость ротора; I — момент инерции; p — число пар полюсов.

При разработке математической модели расчета на ЦВМ была поставлена задача максимально приблизить ее структуру к реальным схемам исследуемых электроприводов. Для получения гибкой универсальной модели расчета выведены уравнения, позволяющие рассчитывать моменты подачи управляющих импульсов при любом законе изменения угла регулирования α ; разработан специальный логический блок, имитирующий работу тиристоров. В схемах с естественной коммутацией работе тиристора соответствует логическая операция $X \wedge Y \vee Z$, где функция X соответствует напряжению на тиристоре, функция Y — сигналу управления вентиля, функция Z — току через вентиль. Функции X, Y равны 1, если соответствующие напряжения положительны, и равны нулю, если они отрицательны. Кроме этого, логический блок учитывает особенности работы вентиля на трехфазную нагрузку с изолированной нейтралью [2].

Важной особенностью модели тиристорного регулятора напряжения (ТРН) является то, что каждому тиристору соответствует свой аналог — логическая функция. Такое построение логического блока дает широкие возможности для моделирования различных схем соединения тиристоров (рис. 1), а также позволяет осуществить как симметричное, так и несимметричное управление вентилями. При алгоритмировании предполагается произвольная форма линейных напряжений сети.

Тиристорное управление асинхронным двигателем приводит (в зависимости от угла регулирования α и динамического угла нагрузки γ) к чередованию участков: симметричного токового (СТ) режима, который характеризуется наличием тока во всех фазах, несимметричного токового (НТ), когда ток в одной из фаз отсутствует, и бестокового режима (БТ), когда токи всех фаз равны нулю.

1. СТ режим. Открыты ТЭ всех фаз статора (ТЭ—пара встречно-параллельно включенных тиристоров)

$$U_{sa} = \frac{U_{AH} + U_{AC}}{3}, \quad U_{sb} = \frac{U_{BC} + U_{BA}}{3}, \quad U_{sc} = \frac{U_{CA} + U_{CB}}{3}.$$

Последнее уравнение системы (1) можно исключить, учитывая, что

$$i_{sc} = -(i_{sa} + i_{sb}).$$

2. ИТ режим. а) Открыты тиристоры в ТЭ фаз *B* и *C*: $i_{sa} = 0$, $\frac{di_{sa}}{dt} = 0$.

Напряжение на отключенной от сети фазе *A*, наведенное токами ротора,

$$U_{sa} = e_{ra} - l_m \frac{di_{ra}}{dt}.$$

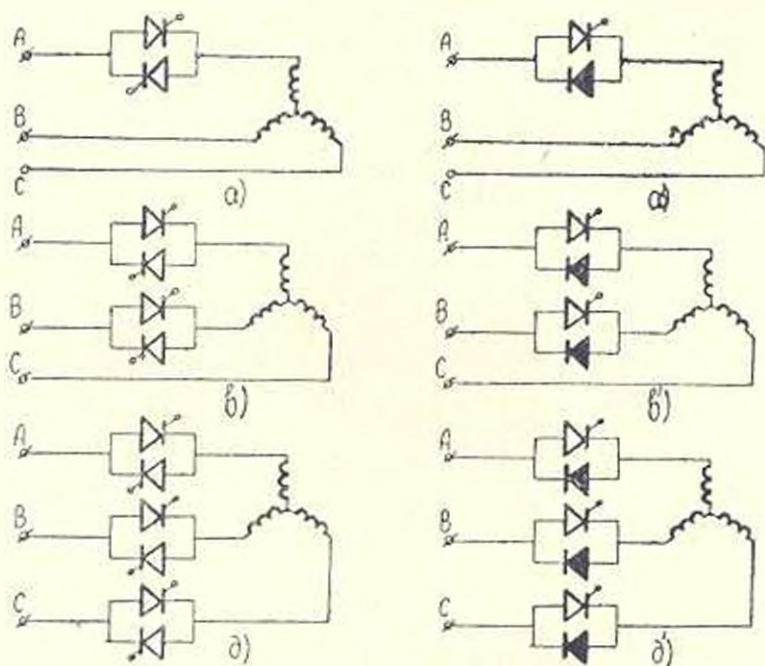


Рис. 1. Схемы трехфазных тиристорных регуляторов напряжения

Третье уравнение системы (1) можно исключить, учитывая, что $i_{sc} = -i_{sb}$. Напряжение фазы *B* статора равно: $U_{sb} = \frac{U_{BC} - U_{sa}}{2}$.

б) Открыты тиристоры в ТЭ фаз *A* и *C*: $i_{sb} = 0$, $\frac{di_{sb}}{dt} = 0$.

Напряжение на отключенной от сети фазе *B* статора, наведенное токами ротора,

$$U_{sb} = e_{rb} = -\frac{1}{2} I_m \frac{di_{ra}}{dt} - \frac{\sqrt{3}}{2} I_m \frac{di_{rc}}{dt}$$

Третье уравнение системы (1) можно исключить, учитывая, что $i_{ra} = -i_{sa}$. Напряжение фазы А статора равно: $U_{sa} = \frac{U_{ac} - U_{sb}}{2}$.

в) Открыты тиристоры в ТЭ фаз А и В: $i_{ra} = 0$, $\frac{di_{rc}}{dt} = 0$.

Напряжение на отключенной от сети фазе С статора, наведенное токами ротора,

$$U_{sc} = e_{rc} = -\frac{1}{2} I_m \frac{di_{ra}}{dt} - \frac{\sqrt{3}}{2} I_m \frac{di_{rb}}{dt}$$

Второе уравнение системы (1) можно исключить, учитывая, что $i_{sb} = -i_{sa}$. Напряжение фазы а статора равно: $U_{sa} = \frac{U_{ab} - U_{sc}}{2}$.

3. БТ режим. Закрыты все тиристорные элементы фаз. В обмотках статора будут наводиться э. д. с. вращения от токов ротора e_{ra} , e_{rb} , e_{rc} . При этом все уравнения системы (1) можно исключить, так как $i_{ra} = i_{sb} = i_{sc} = 0$. В уравнениях роторных обмоток (2) следует подставить $\frac{di_{sa}}{dt} = \frac{di_{sb}}{dt} = \frac{di_{sc}}{dt} = i_{sa} = i_{sb} = 0$.

Программа расчета универсальной математической модели составлена на ЦВМ БЭСМ-6. В качестве иллюстрации приводится расчетная осциллограмма динамических характеристик пуска двигателя (рис. 2).

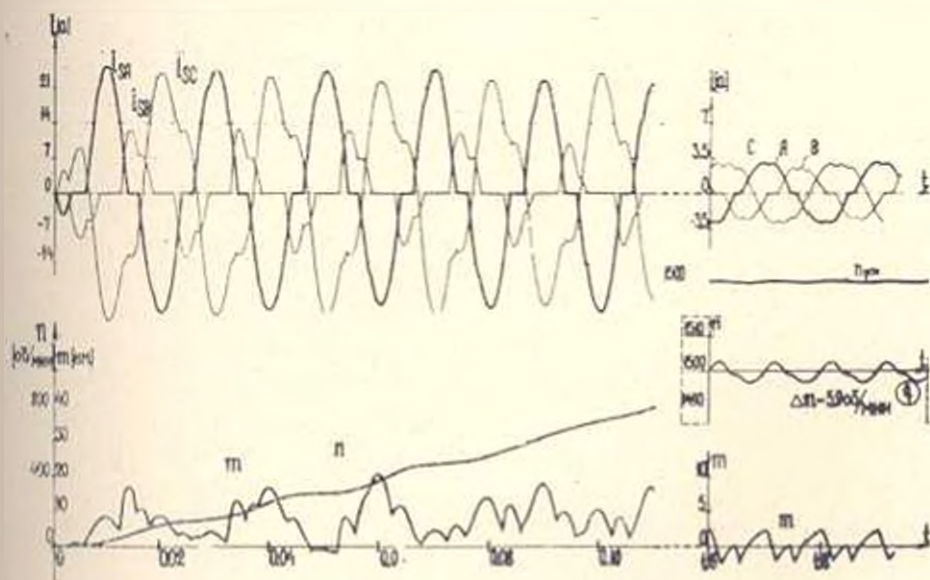


Рис. 2. Расчетная осциллограмма пуска двигателя АО2-31-1 при $\alpha = 105^\circ$ по схеме а' (рис. 1). $m_c = 0.1$ н.м.

По разработанной блок-схеме рассчитаны переходные и установившиеся процессы большого числа двигателей различных серий. Для машин различных серий получены экспериментальные характеристики, расхождения которых от аналогичных, рассчитанных на ЦВМ, находятся в пределах, соответствующих принятым допущениям.

ЕрПН им. К. Маркса

Поступило 26.IV.1974

Լ. Խ. ՄԱՇԻՆՅԱՆ

ՍՏԱՆՈՐԻ ՇՂԹԱՅՈՒՄ ՏԻՐԻՍՏՈՐՆԵՐ ՈՒՆԵՑՈՂ ԱՊԱՌԱՐԿՐՈՆ ՇԱՐԻՔԻ
ՄՈՒԿԱՎՈՐՈՒՄԸ ԹՎԱՅԻՆ ՀԱՇՎԻՉ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ՎՐԱ

Ա Վ Ո Ր Ո Ր Ո Ր

Հաշվածք նվիրված է ստատորի շղթայում տրիստորներ ունեցող ապա-
սինիսրոն էլեկտրաշարժիչի ստատիկական ու դինամիկական բևեռագրերը
էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենաների վրա հաշվարկելու մաթեմատիկական
մոդելի մշակման հարցերին:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Конач К. П., Рач Н. Переходные процессы в машинах переменного тока. Госэнер-
гоиздат, М.—Л., 1963.
2. Петров Л. Н., Тадензон В. А., Обуховский М. П., Подолов Р. Г. Асинхронный
электропривод с тиристорными коммутаторами. Изд. «Энергия», М., 1970.