

части ротора – вале. При работе ВРД в шаговом режиме данная мощность тепловыделений составляет порядка 6-7 Вт.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Качура А.В. Математическая модель индукционного реостата с учетом насыщения магнитной системы / Качура А.В., Сьянов А.М., Сторожко В.С. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2002. – С.376-378.
2. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления / Кенио Т.; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 200с.: ил.
3. Качура А.В. Проектирование электроприводов на основе совместного анализа цепевых и полевых моделей / Качура А.В., Колычев С.В., Сьянов А.М. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Вип. 3/2006 (38)41. – С.17-19.

Поступила в редколлегию 06.10.2014.

УДК 621.313.33

ЦАБЕНКО М.В., ассистент  
СТОРОЖКО С.П., к.т.н., доцент  
КЛЮЕВ О.В., к.т.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТИРИСТОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

**Введение.** Силовой электропривод (ЭП) является основным потребителем электроэнергии и его энергетические показатели служат основным критерием оценки эффективности работы энергосистемы в целом. Расчёт и исследование электромеханических систем методом математического моделирования значительно ускоряются применением прикладных пакетов компьютерных программ, которые позволяют на разных этапах решать сложную проблему всестороннего анализа режимов работы систем электропривода.

**Постановка задачи.** Задачей работы является исследование процессов преобразования энергии в в системе электропривода тиристорный регулятор напряжения (ТРН) – асинхронный двигатель.

**Результаты работы.** Математическая модель (рис.1) состоит из трёхфазного источника питания, схемы трёхфазного тиристорного регулятора напряжения, асинхронной машины, системы импульсно-фазового управления тиристорами, регулятора скорости с задатчиком интенсивности и блока измерителя переменных состояния асинхронной машины (АМ).

Система управления тиристорами находится в блоке SIFU, который синхронизируется с сетью через вход  $U_{abc}$  с измерением напряжений относительно земли. В измерителе токов и напряжений на выходе ТРН фиксируются линейные напряжения. Схема СИФУ представлена на рис.2.

Сигнал управления в блок СИФУ поступает с выхода регулятора скорости. Питание обмоток статора от ТРН осуществляется таким образом, что при скольжениях ротора, отличных от нуля, магнитный поток, создаваемый токами ротора, вращается с синхронной скоростью и, таким образом, неподвижен относительно магнитного потока статора. После преобразований, которые состоят в замене потокосцеплений токами, и

решении уравнений относительно первых производных токов, система уравнений АМ в осях  $\alpha, \beta$  примет следующий вид:

$$p i_{r\alpha} = -\frac{L_m}{L_s L_r - L_m^2} u_{s\alpha} - \frac{R_r L_s}{L_s L_r - L_m^2} i_{r\alpha} + \frac{R_s L_m}{L_s L_r - L_m^2} i_{s\alpha} - \frac{L_s L_r}{L_s L_r - L_m^2} \omega i_{r\beta} - \frac{L_s L_m}{L_s L_r - L_m^2} \omega i_{s\beta}$$

$$p i_{s\beta} = \frac{L_r}{L_s L_r - L_m^2} u_{s\beta} - \frac{R_s L_r}{L_s L_r - L_m^2} i_{s\beta} + \frac{R_r L_m}{L_s L_r - L_m^2} i_{r\beta} - \frac{L_r L_m}{L_s L_r - L_m^2} \omega i_{r\alpha} - \frac{L_m^2}{L_s L_r - L_m^2} \omega i_{s\alpha}$$

$$p i_{r\beta} = -\frac{L_m}{L_s L_r - L_m^2} u_{s\beta} - \frac{R_r L_s}{L_s L_r - L_m^2} i_{r\beta} + \frac{R_s L_m}{L_s L_r - L_m^2} i_{s\beta} + \frac{L_s L_r}{L_s L_r - L_m^2} \omega i_{r\alpha} + \frac{L_s L_m}{L_s L_r - L_m^2} \omega i_{s\alpha}$$

$$M = \frac{3}{2} L_m N (i_{s\beta} i_{r\alpha} - i_{s\alpha} i_{r\beta}); \quad \frac{J}{N} p \omega = M \pm M_c.$$

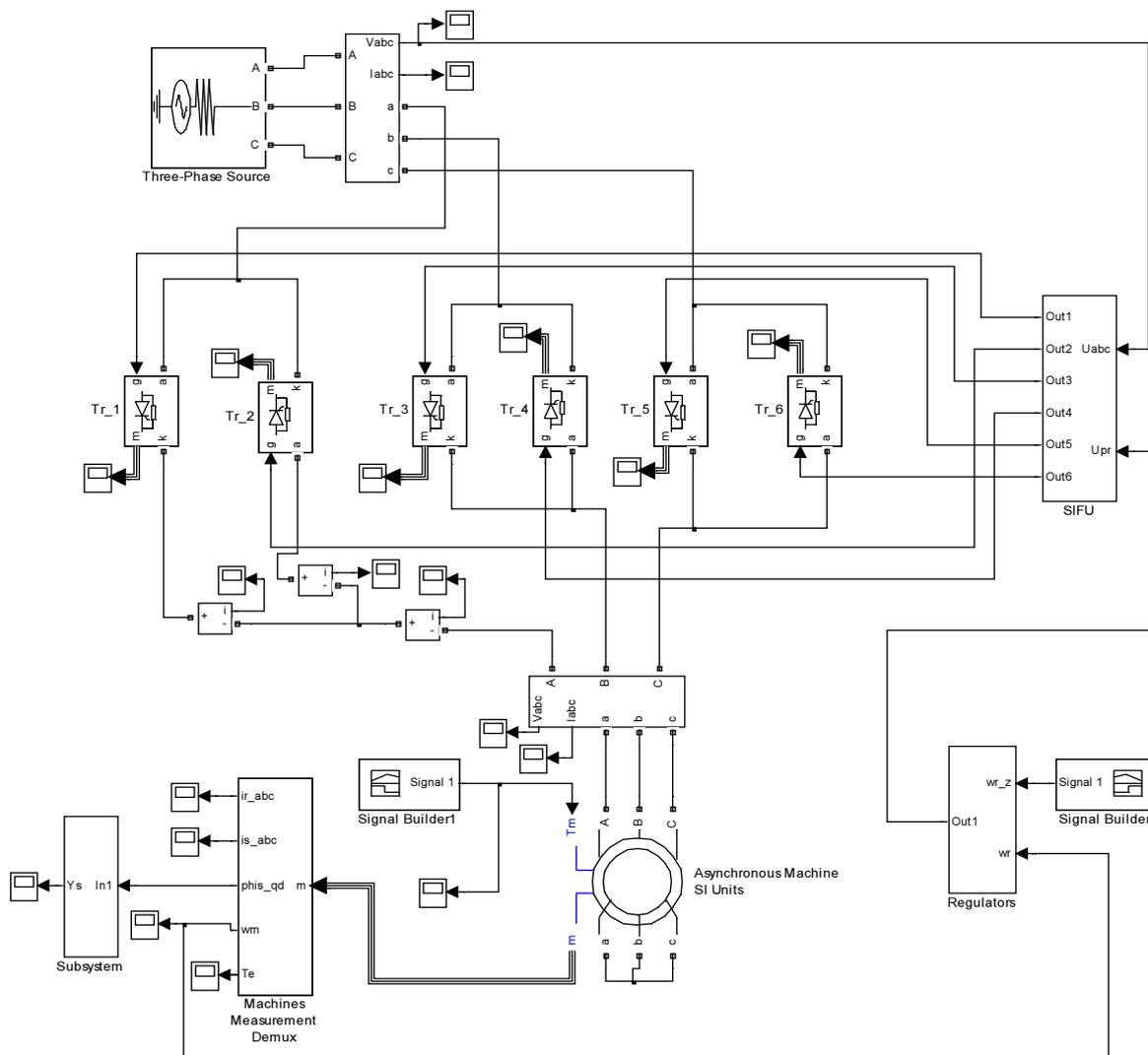


Рисунок 1 – Математическая модель системы тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель

Схема формирования управляющих импульсов для тиристора синхронизируется с питающей сетью. Для этого с измерителя напряжения сети сигнал подаётся на компаратор Sign и далее через усилитель на интегратор. Эти блоки составляют генератор одно-

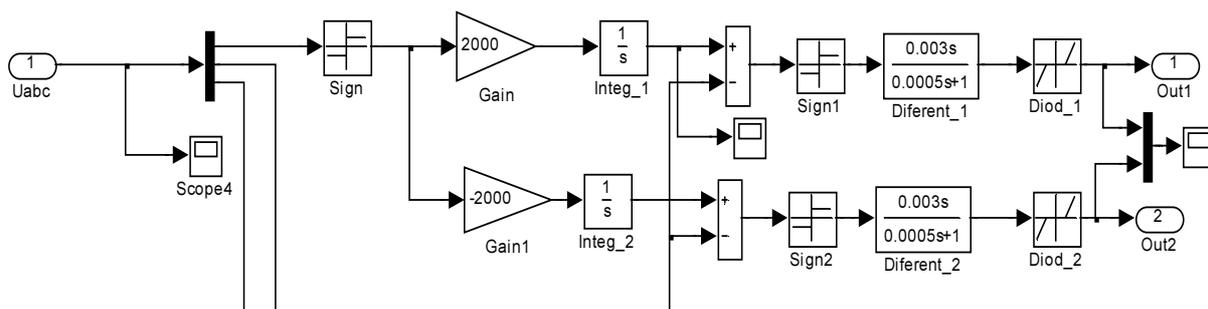


Рисунок 2 – Система импульсно-фазового управління тиристорами

полярного пилообразного напруги з періодом, рівним періоду напруги джерела живлення. Рівень сигналу (0-10В) блоку Constant1 визначає величину кута управління тиристором. Далі суматор, компаратор Sign1, диференціатор Transfer Fcn представляють собою пристрій формування керуючих імпульсів, з яких необхідні тільки імпульси позитивної полярності. Нелінійний елемент Dead Zone грає роль діода, не пропускаючого на керуючий електрод тиристора імпульси негативної полярності. Таким чином, система управління тиристором побудована по вертикальному принципу.

Блок регуляторів Regulators складається з схеми регулятора швидкості АМ (рис.3), який налаштований на симетричний оптимум [1]. Рівні всіх обмежень  $\pm 10\text{В}$ , коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості розрахований, виходячи з того, що АМ має дві пари полюсів. Коефіцієнти пропорційної та інтегральної частин ПИ-регулятора швидкості підбираються експериментальним шляхом в процесі налаштування моделі. Блок Signal Builder формує сигнал задання швидкості і при плавному пуску представляє собою задатчик інтенсивності наростання швидкості. Швидкість АМ за 2-3 секунди повинна зрости від нуля до рівня на 10% нижче синхронної. Згодом скачкообразно прикладається момент статическої навантаження, рівний половині номінального моменту АМ. Далі по сигналу задання здійснюється зниження швидкості до  $0.7\omega_c$ . Ціх режимів роботи достатньо для дослідження ТРН як пристрою плавного пуску асинхронного двигача і регулювання його швидкості в невеликому діапазоні 1.5:1.

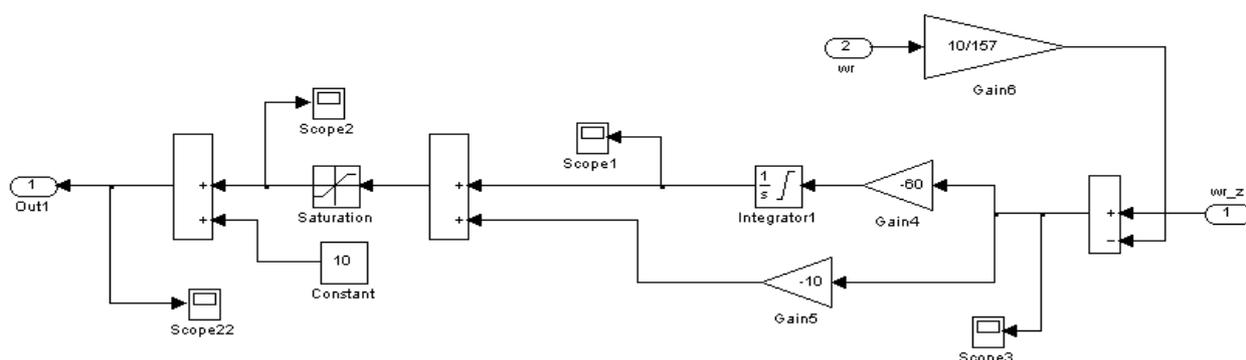


Рисунок 3 – Схема набору моделі регулятора швидкості

В результаті моделювання системи тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигач з отриманими перехідними процесами, частина яких показана на рис.4-6. Дослідження проводилось для АМ типу 4А160S4У3 з паспортними даними:  $P_n = 15\text{кВт}$ ,  $U_{нл} = 380\text{В}$ ,  $\omega_c = 157\text{с}^{-1}$ . Як видно з графіків швидкості і токів статора і ротора, плавний процес пуску триває 2.7 секунди. Згодом відбувається наброс навантаження, що супроводжується виникненням динамічної помилки регулювання

скорости, которую регулятор скорости обрабатывает до нулевого значения. В 4.3 секунды начинается торможение за счёт увеличения угла открытия тиристоры ТРН и уменьшения действующего значения напряжения, приложенного к статору. На рисунках токов видно возрастание их значений во время наброса нагрузки и при работе двигателя с повышенным скольжением.

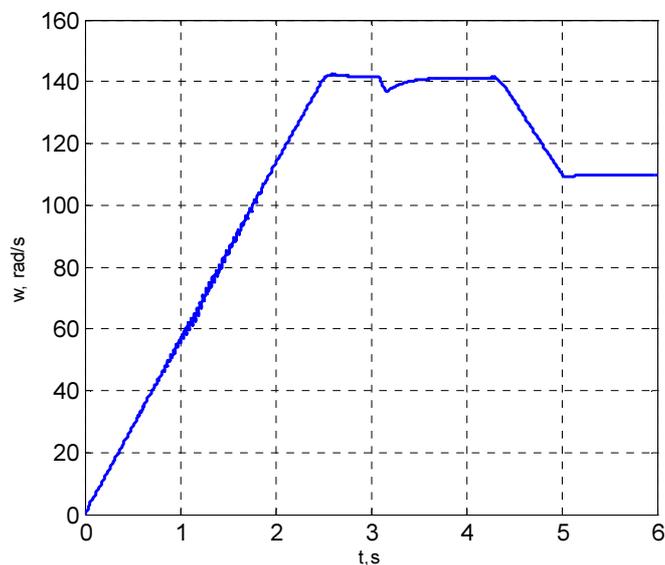


Рисунок 4 – Переходной процесс по скорости в системе тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель

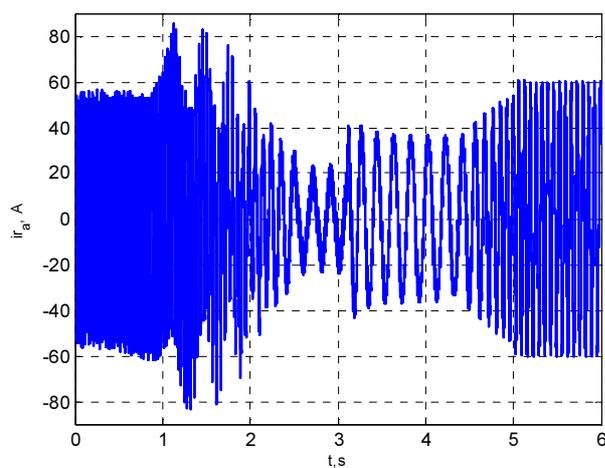


Рисунок 5 – Ток фазы *a* ротора

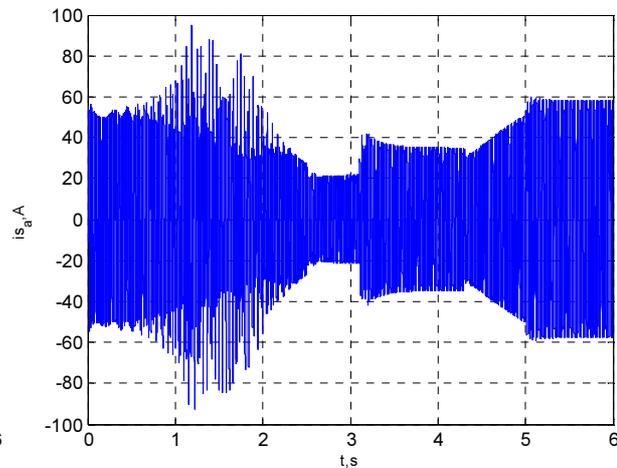


Рисунок 6 – Ток фазы *b* ротора

**Выводы.** Моделирование сложной системы электропривода с учетом всех ее звеньев (асинхронная машина, силовые тиристоры, система импульсно-фазового управления, регулятор скорости) позволяет изучить переходные процессы не только в асинхронной машине, но и в элементах тиристорного регулятора напряжения при плавном пуске АМ и регулировании её скорости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Садовой А.В. Системы оптимального управления прецизионными электроприводами / Садовой А.В., Сухинин Б.В., Сохина Ю.В. – К.: ИСИМО, 1996. – 298с.
2. Моделювання електромеханічних систем: підруч. / [Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й. та ін.]. – Кременчук, 2001. – 375с.

Поступила в редколлегию 06.10.2014.