

2. На магнитные проводимости и индуктивные сопротивления реакции якоря по продольной и поперечной осям сильное влияние оказывает размер магнита в тангенциальном направлении, определяющий конструктивный коэффициент полюсной дуги.

3. Магнитная проводимость рассеяния ротора оказывает сильное влияние на индуктивное сопротивление взаимоиндукции по продольной оси.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Балагуров В. А., Галтеев Ф. Ф. Электрические генераторы с постоянными магнитами. – М., 1988. – 280 с.
2. Проектирование электрических машин / Под ред. И. П. Копылова. – М., 1980. – 495 с.
3. Постоянные магниты / Под ред. Ю. М. Пятина. – М., 1980. – 486 с.
4. Вольдек А. И. Электрические машины. – Л., 1978. – 832 с.

Представлена кафедрой  
электропитания

Поступила 12.12.2002

УДК 62-85:621.313.333

## **ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ С СИНХРОНИЗАЦИЕЙ ПО ТОКУ КАК ЗВЕНО СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

**Канд. техн. наук, доц. КОВАЛЬ А. С.,  
инж. СКАРЫНО Б. Б.**

*Белорусско-Российский университет*

Электроприводы переменного тока на основе тиристорных преобразователей напряжения (ТПН) позволяют наряду с формированием пускотормозных режимов обеспечивать и режим энергосбережения при недогруженном двигателе.

Однако, несмотря на простоту силовой схемы ТПН, в процессе функционирования таких систем возникают трудности. Одна из них связана с колебаниями момента двигателя при работе на подсинхронных скоростях [1], когда и обеспечивается эффект энергосбережения за счет уменьшения напряжения на двигателе при использовании ТПН с синхронизацией по напряжению в приводе без обратной связи по скорости. В этом случае для устойчивой работы необходимо применять ТПН с синхронизацией по току [1, 2]. Возникает задача представления ТПН с синхронизацией по току в виде звена системы автоматического регулирования, что позволяет подходить к проектированию систем энергосберегающего параметрического асинхронного электропривода. Рассмотрим подход к решению такой задачи при работе асинхронного двигателя на участке механической характе-

ристики ( $0 < S < S_{\text{ном}}$ ), где собственно и возможна реализация эффекта энергосбережения у недогруженного двигателя.

При синхронизации системы импульсно-фазового управления (СИФУ) ТПН по току его выходное напряжение связано с углом управления  $\gamma$  и углом нагрузки  $\phi$ , так как изменение угла  $\phi$  автоматически изменяет начало отсчета для формирования угла  $\gamma$  (рис. 1).

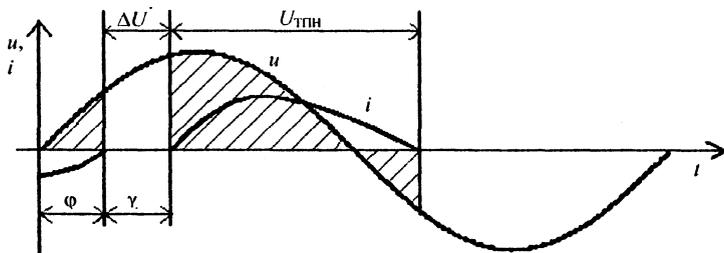


Рис. 1. Напряжение и ток при управлении тиристорами по углу  $\gamma$

В [3] для ТПН с синхронизацией по напряжению показано, что при безынерционной СИФУ задержка реакции ТПН на изменение сигнала управления и угла нагрузки  $\phi$  может быть принята одинаковой и отражена в модели представлением ТПН инерционным звеном с постоянной времени  $T = 0,01$  с (при питании от сети с частотой 50 Гц), а для описания динамики системы ТПН–АД могут быть использованы уравнения статики. Физические процессы, связанные с работой АД при питании от ТПН с синхронизацией по току и напряжению, одинаковы, так как используется одна и та же силовая схема, формирующая на нагрузке действующее значение напряжения, которое можно записать следующим образом (рис. 1):

$$U_{\text{ТПН}} = U_c - \Delta U, \quad (1)$$

где  $U_c$  – напряжение сети;  $\Delta U = f(\gamma + \phi)$  – изменение напряжения за счет ТПН как функция суммы углов ( $\gamma + \phi$ ).

Структурная схема системы привода ТПН–АД с синхронизацией по току ТПН и безынерционной СИФУ с учетом (1) представлена на рис. 2.

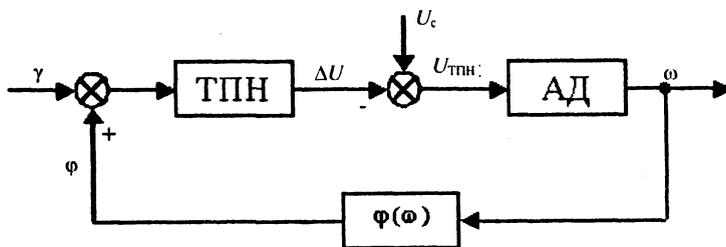


Рис. 2

Здесь внутренняя положительная обратная связь по углу нагрузки  $\phi$  отражает влияние  $\phi$  на формирование выходного напряжения ТПН при синхронизации его по току.

Зависимость  $\Delta U = f(\gamma + \phi)$  (1) можно определить, если воспользоваться универсальными характеристиками  $U_{\text{ТПН}} = f(\gamma, \phi)$  [4]. На рис. 3 показана

методика построения зависимости  $U_{\text{ТПН}} = f(\gamma + \varphi)$  для силовой схемы ТПН, содержащей шесть включенных встречно-параллельно тиристоров, и при изменении скольжения в диапазоне  $0 \leq S \leq S_{\text{ном}}$  (угол нагрузки  $\varphi$  меняется  $\pi/2 \geq \varphi \geq \varphi_{\text{ном}}$ ).

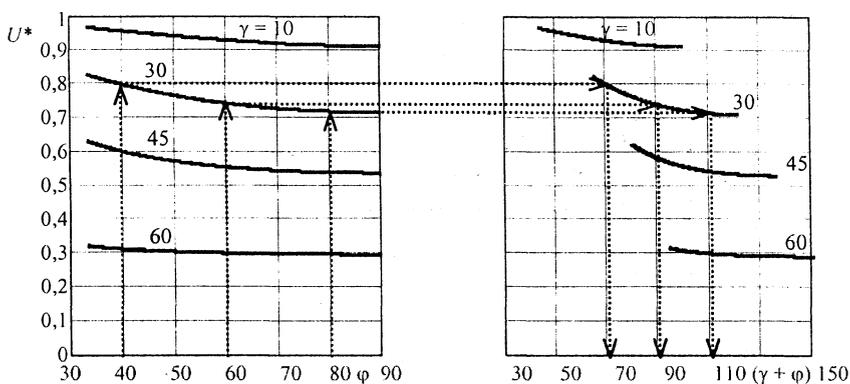


Рис. 3

Используя кривые  $U_{\text{ТПН}} = f(\gamma + \varphi)$ , согласно (1) зависимость  $\Delta U = f(\gamma + \varphi)$  можно представить графически (рис. 4).

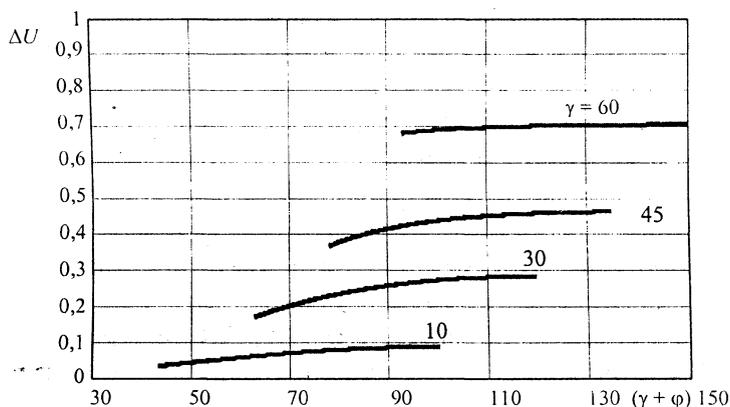


Рис. 4

Напряжение на выходе ТПН с синхронизацией по току при линеаризации характеристики  $\Delta U = f(\gamma + \varphi)$  в рабочей точке представим следующим образом:

$$U_{\text{ТПН}} = U_c - k_1(\gamma + \varphi), \quad (2)$$

где  $k_1$  – коэффициент, равный тангенсу угла наклона касательной к зависимости  $\Delta U = f(\gamma + \varphi)$ , для заданных углов управления  $\gamma$  и нагрузки  $\varphi$ .

Например, для АД типа 4А100L4 при  $\varphi = \varphi_{\text{ном}}$  ( $\varphi_{\text{ном}} = 35$  эл. град.) и  $\gamma = 10$  эл. град.  $k_1 = 0,083$ .

С учетом изложенного структурную схему привода ТПН–АД с синхронизацией по току можно представить в виде, изображенном на рис. 5.

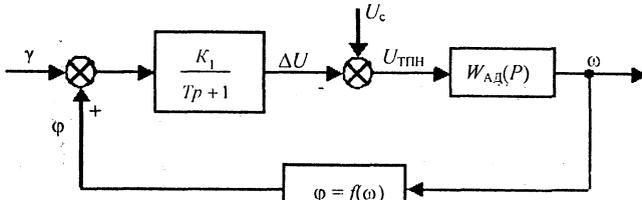


Рис. 5

На этой схеме  $W_{АД}(P)$  – передаточная функция асинхронного двигателя при работе его на линейном участке механической характеристики [5].

Для проверки возможности представления ТПН с синхронизацией по току (рис. 5) была использована модель электропривода ТПН–АД (рис. 2), реализованная в среде MATLAB 5.2 (рис. 6). Здесь блок Subsystem реализует (1).

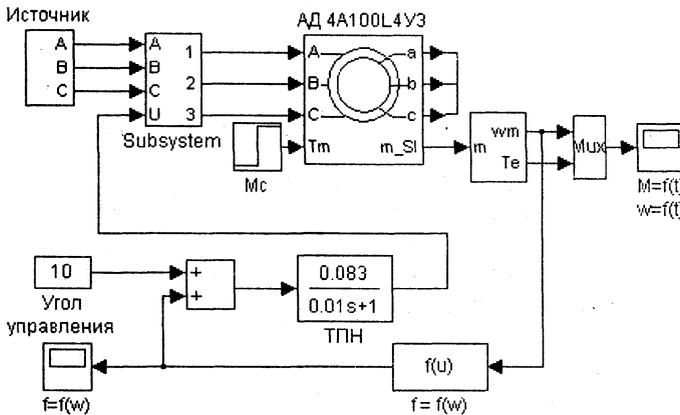


Рис. 6

Для анализа и сравнения результатов моделирования разработана полная модель системы ТПН–АД (рис. 7), составленная также в среде MATLAB 5.2.

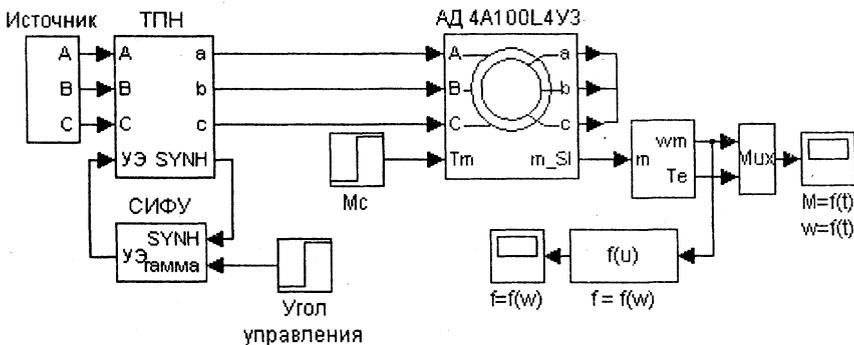


Рис. 7

Здесь ТПН и СИФУ представлены в качестве подсистем.

На рис. 8 приведена блок-схема источника и СИФУ, которая состоит из устройств синхронизации, фазосдвигающего и распределительного (рис. 9).

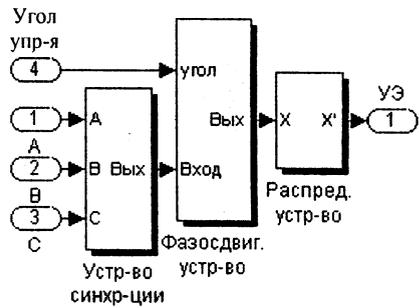
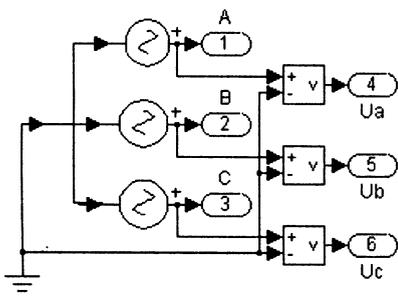


Рис. 8

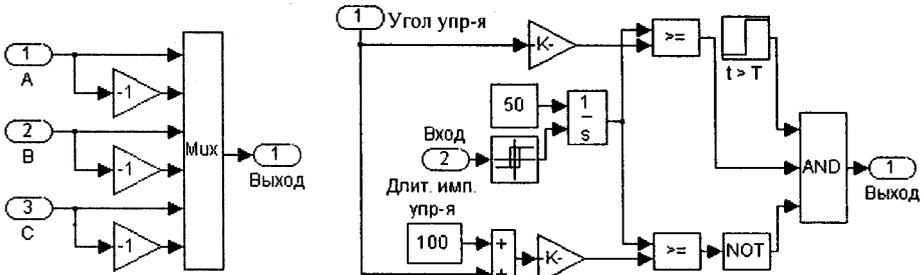


Рис. 9

На рис. 10 представлены блок-схемы силовой части ТПН и встречно-параллельно включенных тиристоров [6].

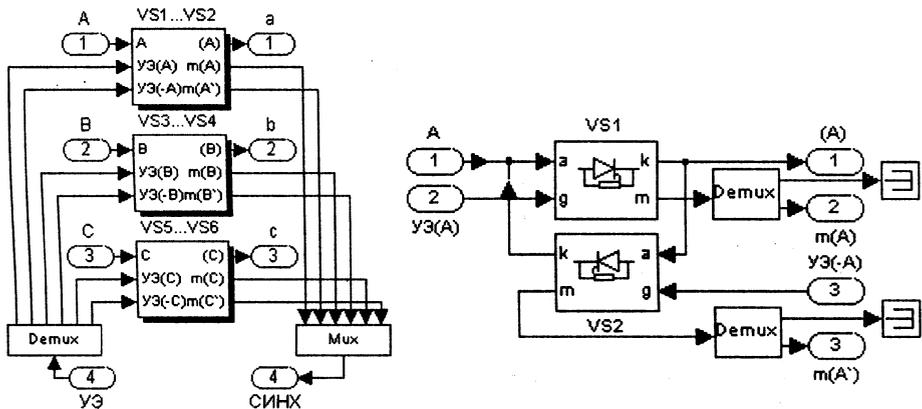


Рис. 10

На рис. 11 приведены зависимости угловой скорости и момента, развиваемого двигателем в функции времени при переходном процессе сброса нагрузки с момента номинального до  $0,5 M_{ном}$  при угле управления тиристорами, равном 10 эл. град., рассчитанные по предлагаемой модели, где ТПН представлен апериодическим звеном (рис. 6).

Аналогичные зависимости, рассчитанные по полной модели (рис. 7), иллюстрирует рис. 12.

Сравнение переходных процессов, рассчитанных по полной модели и модели, где ТПН с синхронизацией по току представлен апериодическим звеном с коэффициентом передачи, определенным на основании статических

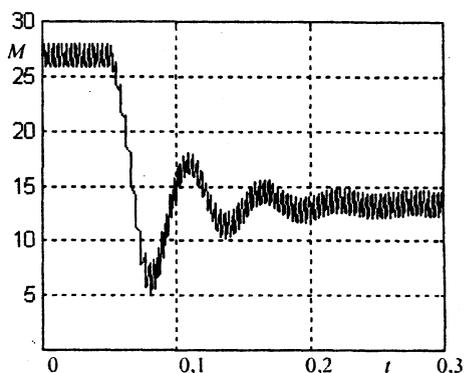
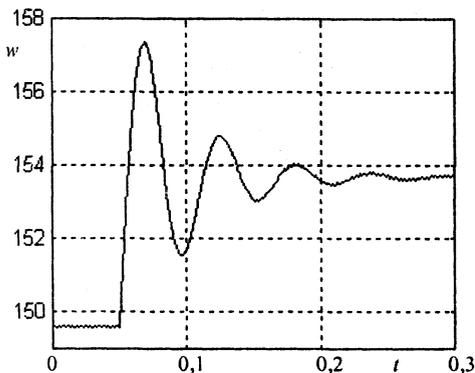


Рис. 11

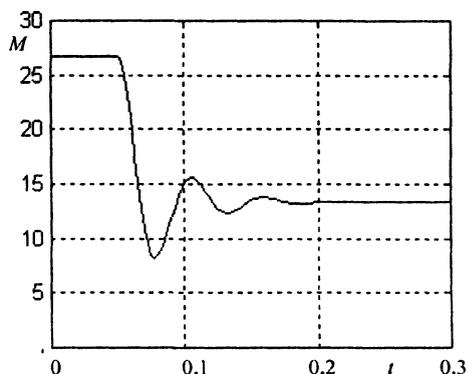
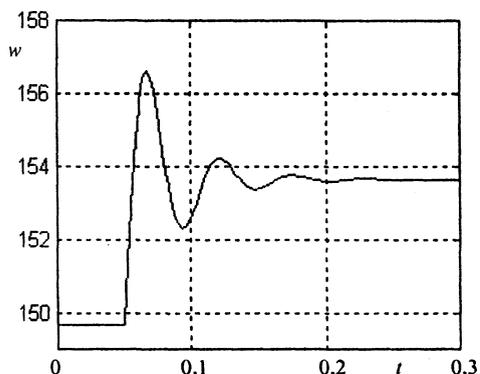


Рис. 12

характеристик  $\Delta U = f(\gamma + \varphi)$ , показывает достаточно хорошее их совпадение. На основании этого можно сделать вывод, что данное представление ТПН может быть использовано для анализа и синтеза систем энергосберегающего электропривода, где, в частности, не требуется точное поддержание частоты вращения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Браславский И. Я. Исследование свойств систем «тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель» с различными типами синхронизации / И. Я. Браславский, А. М. Зюзов, А. В. Костылев // Электротехника. – 2000. – № 9. – С. 1–5.
2. Пат. 2805 РБ, МКП<sup>6</sup> Н 02Р 7/36, Н 02Р 7/622. Устройство для управления асинхронным двигателем / А. С. Коваль, Б. Б. Скарыно. – № 950900; Заявл. 20.10.1995; Опубл. 30.06.1999 // Бюл. – 1999. – № 2. – 4 с.
3. Сарбатов Р. С., Базаев В. Г. Тиристорный регулятор напряжения как элемент системы автоматического регулирования // Преобразовательная техника в ЭП и электрическом транспорте: Тр. МЭИ. – М.: Изд-во МЭИ, 1980. – Вып. 506.
4. Грейвулис Я. П., Рыбицкий Л. П. Тиристорный асинхронный ЭП для центробежных насосов. – Рига: Зинатне, 1983. – 228 с.
5. Браславский И. Я. Асинхронный полупроводниковый электропривод с параметрическим управлением. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
6. Коваль А. С. Исследование динамических свойств систем «ТПН–АД» с фазовым управлением и управлением по углу бестоковой паузы / А. С. Коваль, Б. Б. Скарыно // Вестник Могилевского государств. техн. ун-та. – 2002. – № 2 (3). – С. 62–67.