

Ж.Д. ДАВИДЯН, О.Г. ГЕВОРГЯН

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИМПУЛЬСНОГО УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Представлена математическая модель нового способа импульсного управления скоростью синхронных электродвигателей, реализуемого посредством питания статорной обмотки импульсами тока непосредственно от сети через тиристорный коммутатор. Импульсы тока синхронизированы с положением ротора и регулируются по фазе и величине. Показано, что способ импульсного управления обеспечивает существенно лучшие экономические и качественные характеристики, чем при известном частотном управлении.

**Ключевые слова:** скорость синхронного двигателя, математическая модель, импульсное управление, импульсы тока статора, датчик положения ротора, регулирование скорости.

Мощные синхронные двигатели находят широкое применение в различных областях промышленности, При этом достаточно остро стоит проблема их плавного пуска и управления скоростью вращения.

Изменение и регулирование скорости вращения синхронных двигателей в настоящее время выполняются путем их частотного управления с использованием специальных регулируемых тиристорных преобразователей частоты (ТПЧ) и напряжения, рассчитанных на мощность двигателя. Данные устройства по своим массогабаритным, материалозатратным и стоимостным характеристикам соизмеримы с двигателем, а иногда и превосходят таковые. Это практически исключает саму возможность регулирования скорости синхронных двигателей посредством ТПЧ, особенно для мощных синхронных двигателей (мощностью порядка 1...20 МВт), в то время как именно для последних задача регулирования скорости, в том числе их надёжного пуска, наиболее актуальна.

Разработан принципиально новый способ импульсного управления скоростью синхронных двигателей, который обеспечивает их плавный управляемый пуск и изменение скорости при питании непосредственно от сети переменного тока практически без перегрузки машины и сети [1-4]. Массогабариты и стоимость оборудования импульсного пуска в несколько раз меньше, чем для известных устройств частотного пуска.

Импульсное управление скоростью синхронной машины выполняется по схеме рис. 1. Сигналами датчика положения ротора включаются тиристоры соответствующей группы тиристорного коммутатора – анодной или катодной, так, чтобы протекающий импульс тока данного направления создавал положительный вращающий момент (см. диаграмму на рис.3). Отпирающие импульсы подаются в тиристоры в определенные моменты времени с определенной фазой – углом управления  $\alpha$ . По завершении импульса тока, когда ток достигает нулевого значения, тиристор естественным образом

запирается. Отрезки переменного напряжения сети, приложенные к обмотке якоря, трансформируются в обмотку ротора, выпрямляются короткозамыкающим диодом, обеспечивая автоматическое самовозбуждение индуктора [1.5]. Алгоритмически исключается прохождение тех импульсов тока, которые, попадая на стык разрешенного интервала, создают отрицательные средние импульсные моменты. Error!

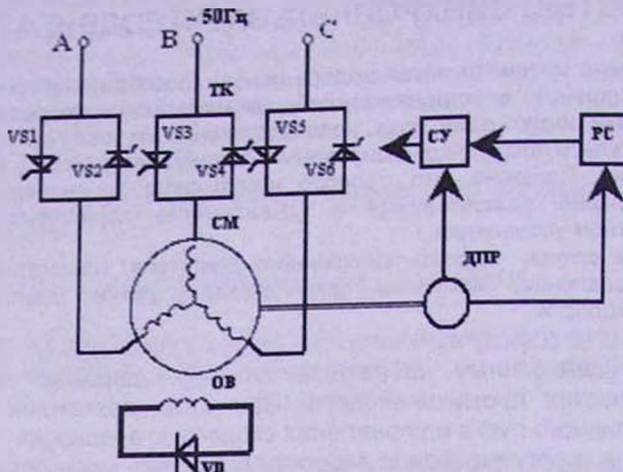


Рис. 1. Схема импульсного пуска и управления скоростью синхронного двигателя: СМ - синхронная машина, ТК - тиристорный коммутатор, VD - диод, СУ - система управления, ДПР - датчик положения ротора, РС - регулятор скорости

Импульсы тока, протекающие в обмотке статора, взаимодействуя с током возбуждения, создают импульсы вращающего момента. Если среднее значение импульсов моментов вращения превосходит момент сопротивления нагрузки, то скорость вращения ротора импульсно-ступенчато увеличивается. Если эти моменты уравновешены, то скорость вращения будет неизменна.

Изменением угла управления можно регулировать длительность, амплитуду, площадь импульсов тока в обмотке якоря и тока возбуждения в роторной обмотке, соответственно величину вращающего момента и скорость вращения. Автоматическая стабилизация и изменение скорости вращения выполняются по цепи внешней обратной связи по скорости с воздействием на угол управления.

Математическая модель указанного процесса образования импульсного движения приведена в [5] и для цельности изложения также приводится ниже:

$$\int_{t_H}^{t_K} (U_S - U_M) dt = 0 \quad \text{или} \quad \int_{t_H}^{t_K} (U_S - U_M) dt = \int_0^{t_K} (U_S - U_M) dt,$$

$$i_s(t) = \frac{1}{L_s} \int_{t_H}^{t_K} [U_S \sin \omega t + U_M \sin(\omega_p t + \gamma_0)] dt,$$

$$U_b(t) = K(U_S - U_M) \cos \gamma(t) \Big|_{\alpha}^{t_k}; \quad i_b(t) = \frac{1}{L_b} \int_{\alpha}^{t_k} U_b(t) dt.$$

$$M(t) = C i_S(t) i_b(t) \sin \gamma(t), \quad \omega_p(t) = \frac{1}{J} \int_{\alpha}^{t_k} [M(t) - M_C(t)] dt.$$

Разрешение для прохождения импульсов тока соответствующего направления формулируется следующим образом:

$$-\delta_1 \leq [\omega_p t_i - \varphi_{P_j} - N2\pi] \leq \pi - \delta_2, \quad \pi - \delta_1 \leq [\omega_p t_i - \varphi_{P_j} - N2\pi] \leq 2\pi - \delta_2.$$

Аналитическое исследование указанного процесса импульсного движения представляет значительные трудности.

На основе математической модели и пакета прикладных компьютерных программ разработана визуально-математическая модель системы импульсного управления скоростью синхронного двигателя (рис. 2).

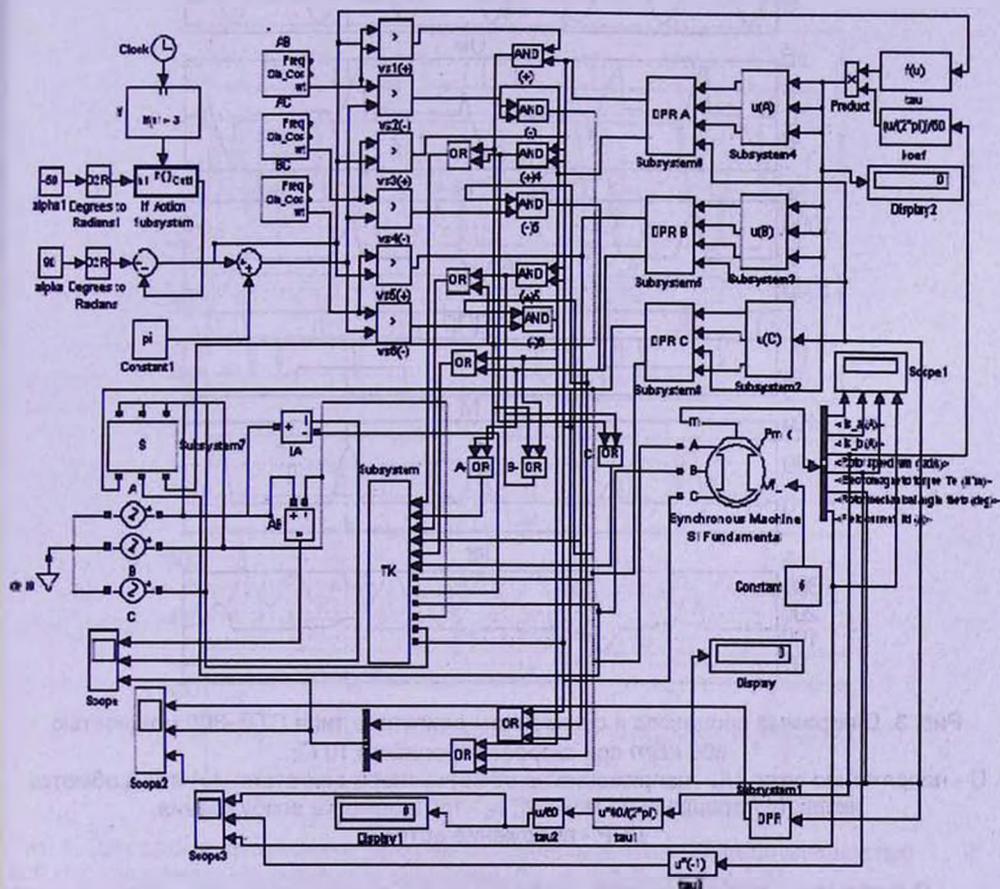


Рис. 2. Математическая модель системы импульсного управления скоростью синхронного двигателя

Модель предназначена для имитации реальных или проектируемых систем импульсного управления синхронных двигателей и детального исследования протекающих в них процессов с высокой степенью адекватности. Ниже приводятся полученные на модели результаты исследования.

На рис. 3 приведена осциллокопическая диаграмма процессов в синхронном двигателе типа СТД-800 мощностью 800 кВт со скоростью вращения, эквивалентной 10 Гц, при вышеизложенном алгоритме управления. Для наглядности процесса расчёт выполнен при однофазной схеме включения двигателя (к сети через тиристорный коммутатор подключена одна фаза двигателя, две другие не подключены).

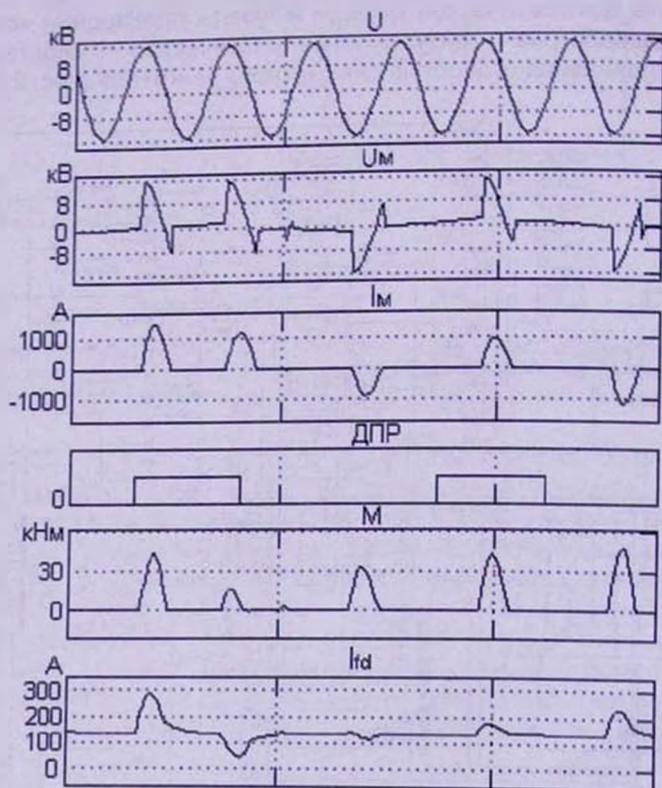


Рис. 3. Диаграмма процессов в синхронном двигателе типа СТД-800 мощностью 800 кВт при скорости вращения 10 Гц:

U - напряжение сети,  $U_M$  - напряжение на обмотке якоря двигателя,  $I_M$  - ток в обмотке якоря, M - вращающий момент,  $I_{fd}$  - ток в обмотке возбуждения, ДПР - положение ротора

Диаграмма подтверждает изложенный выше принцип образования импульсов тока и вращающего момента и устойчивого самовозбуждения двигателя.

На рис. 4 приведены рассчитанные на модели осциллокопические диаграммы при импульсном управлении синхронным двигателем типа СТД-800, мощностью 800 кВт при различных скоростях вращения: 4,2, 15, 35 Гц.

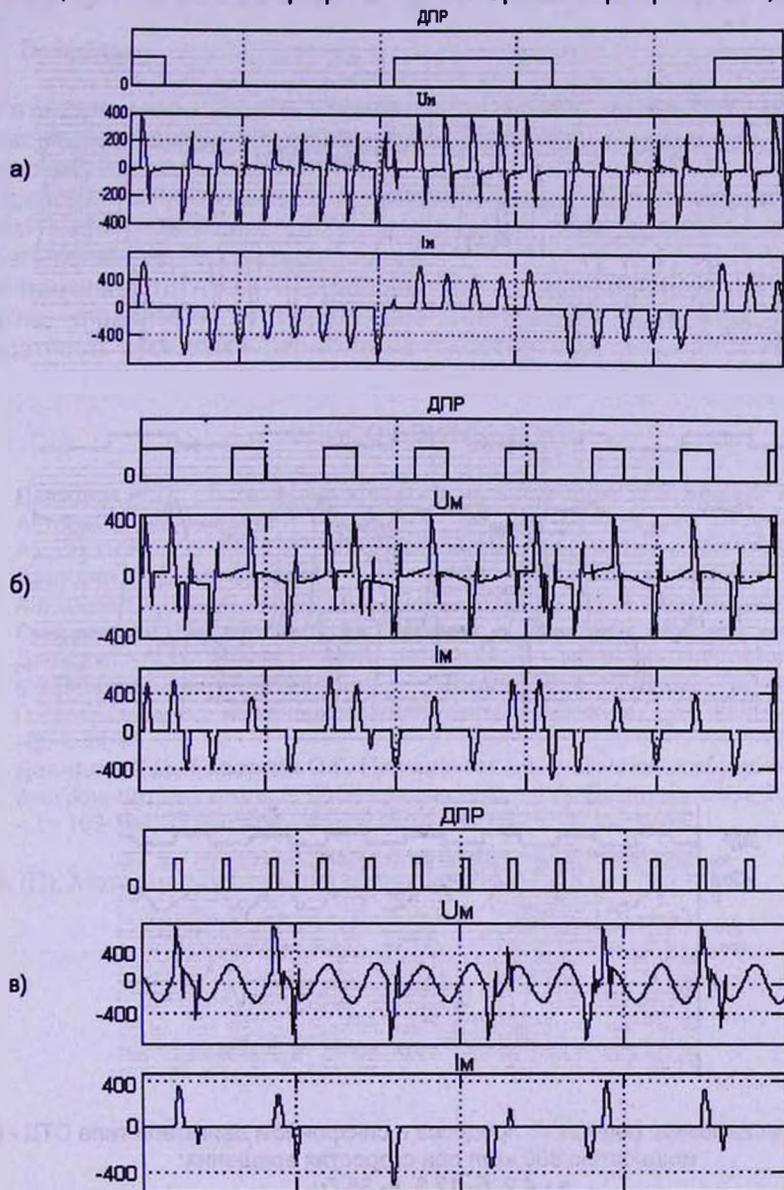


Рис. 4. Диаграмма процессов в синхронном двигателе типа СТД-800 мощностью 800 кВт при различных скоростях вращения, Гц: а- 4,2, б- 12,8, в – 35. Условные обозначения: ДПР – сигнал датчика положения ротора, U – напряжение на фазе обмотки статора, I – ток в обмотке статора

На рис. 5 в качестве сравнения приведены осциллограммы реального процесса импульсного управления синхронным двигателем типа СТД-800 при тех же скоростях вращения (4,2, 15, 35 Гц), выполненные в [1].

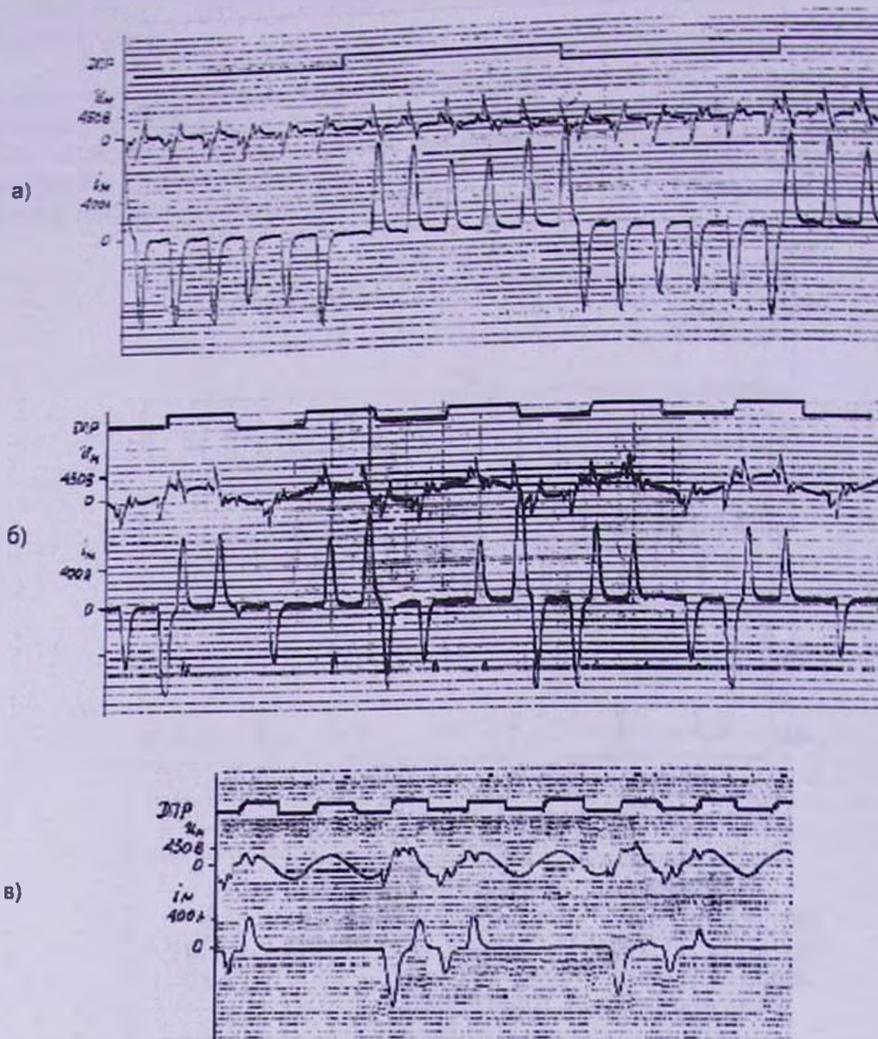


Рис. 5. Осциллограммы реального процесса в синхронном двигателе типа СТД - 800 мощностью 800 кВт при скоростях вращения:

а - 4,2, б- 12,8, в- 35 Гц.

Условные обозначения: ДПР – сигнал датчика положения ротора, U – напряжение на фазе обмотки статора, I – ток в обмотке статора

Визуальное сопоставление рассчитанных на модели и реальных осциллограмм подтверждает адекватность разработанной модели реальному процессу.

## Выводы

1. Разработанная модель является удобным аппаратом исследования системы импульсного управления скоростью синхронного двигателя с высокой степенью адекватности.
2. Посредством импульсного управления синхронного двигателя при питании его непосредственно от промышленной сети возможно изменение и регулирование скорости вращения.
3. Интенсивность пуска и ускорение двигателя регулируются посредством угла управления и параметров импульсов. При этом регулируется кратность пусковых и переходных токов (на осциллограммах не показаны).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Давидян Ж.Д.** Системы импульсного пуска мощных синхронных машин. – Ер.: Авторское издание, 2007. – 292 с.
2. А.с. 1131002. СССР (H02P 1/50). Устройство для пуска синхронной машины / **Ж.Д. Давидян, Г.Н. Тер-Газарян.** - Б.И. – 1984. - N47.
3. А.с. 1264291. СССР (H02P 6/02). Устройство для пуска синхронной машины / **И.Е. Овчинников, Ж.Д. Давидян, В.Н. Рябов.** - Б.И. – 1986. - N38.
4. **Давидян Ж.Д.** Управляемый импульсный двигатель переменного тока // Моделирование, оптимизация, управление: Сборник научных трудов Государственного инженерного университета Армении. – Ереван, 2003.- Вып. 6. - N2.-С.91-98.
5. **Давидян Ж.Д., Геворгян О.Г.** Принцип импульсного самовозбуждения и момента синхронного двигателя // ՀԳԵՅ Լրաբեր – 76. - Եր.: ԲՏԻԼՄԻՐՊՁԵԼ, 2009. - Հ. 1, N 1. - էջ 199-204:

ГИУА (П). Материал поступил в редакцию 14.07.2009.

ժ.Ղ. ՂԱՎԻՂՅԱՆ, Օ.Գ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

ՍԻՆԵՐՈՆ ԷԼԵԿՏՐԱԵՄԹԻՉՆԵՐԻ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ  
ԻՄՊՈՒԼՍԱՅԻՆ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄ

Ներկայացված է սինքրոն էլեկտրաշարժիչների արագության կառավարման նոր եղանակ, որն իրականացվում է անմիջապես ցանցից տիրիստորային կոմուտատորի միջոցով հոսանքի իմպուլսներով ստատորային փաթույթի սնմամբ: Հոսանքի իմպուլսները սինխրոնիզացված են ռոտորի դիրքի հետ և կառավարվում են ըստ ֆազի և լայնության: Իմպուլսային կառավարման եղանակն ապահովում է զգալիորեն ավելի լավ տնտեսական և որակական բնութագրեր, քան հայտնի հաճախականային կառավարման դեպքում:

**Առանցքային բառեր.** սինքրոն շարժիչի արագություն, մաթեմատիկական մոդել, իմպուլսային կառավարում, ստատորի հոսանքի իմպուլսներ, ռոտորի դիրքի տվիչ, արագության կարգավորում:

J.D. DAVIDYAN, O.G. GEVORGYAN

## MATHEMATICAL MODEL OF PULSE SPEED CONTROL FOR SYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS

A new way of pulse speed control of the synchronous electric motors, realized by means of feed stator winding pulses of a current directly from a network through thyristor switchboard is presented. Current pulses are synchronized with position of a rotor and adjustable on a phase and on width. The way of pulse management essentially provides best economic and qualitative characteristics than at known frequency management.

**Keywords:** synchronous electric motors, mathematical model, pulse control, stator current pulse, rotor position sensor, speed regulation.