

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

**О.Н.Синчук**, докт.техн.наук, **Д.А.Михайличенко**  
**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского,**  
 ул. Первомайская, 20, Кременчуг, 39600, Украина.  
 e-mail: [emdenn@mail.ru](mailto:emdenn@mail.ru)

*При разработке энергоэффективных систем пуска синхронных электрических двигателей необходимо решать задачу построения адекватной математической модели двигателя в различных системах координат и изучение с её помощью передаточных функций при различных управляющих воздействиях. В работе проводится анализ переходных процессов в момент запуска синхронного двигателя при использовании широтно-импульсного преобразователя с трапецидальным, синусоидальным и прямоугольным выходными напряжениями на базе математической модели, построенной в координатах ток статора – потокосцепление статора. Библи. 10, рис. 3.*

**Ключевые слова:** синхронный электрический двигатель, математическая модель, широтно-импульсный преобразователь.

**Введение.** Для пуска синхронных электрических двигателей (СЭД), предназначенных для механизмов, имеющих большие моменты инерции, применяют пусковые устройства различных видов и структур [8,9]. Алгоритмы формирования выходных электрических параметров этих преобразователей могут быть различными [5,7].

**Актуальность.** При проектировании системы запуска необходимо решать задачи, связанные с разработкой математической модели СЭД и исследованием на ее основе передаточных функций по комплексу различных управляющих воздействий для синтеза регулятора при векторном и частотном управлениях [1,4].

Наиболее часто переходные процессы в электромеханических системах с синхронными двигателями (СД) рассматриваются в координатных осях  $d, q$  при синусоидальном фазном напряжении на его статорных обмотках. В этих условиях применение формирователей реального напряжения на его обмотках при использовании широтно-импульсного преобразователя (ШИП) в режиме реального времени может привести к неоправданным погрешностям при моделировании.

Поэтому исследование динамики процессов в синхронных двигателях с ШИП на математических моделях, свободных от отмеченных недостатков, является актуальной задачей.

**Цель работы** – анализ переходных процессов при пуске СЭД с использованием ШИП с трапецидальным, синусоидальным и прямоугольным выходным напряжениями (при одинаковом напряжении на зажимах постоянного тока) на базе математической модели, построенной в координатах тока статора  $I_s$  и потокосцепления статора  $\psi_s$  [4].

**Материалы исследований.** Для исследования использована математическая модель СЭД, в основу построения которой положена обобщенная система дифференциальных уравнений СЭД Парка–Горева в векторной форме записи [2,6]. Для реализации ШИМ управления автономным инвертором использован алгоритм формирования пространственного вектора напряжения [3,10]. При моделировании приняты параметры серийного СЭД ДС260/44-36УХЛ4. Решение поставленной задачи проводилось в программной среде Фортран.

Результаты моделирования пуска СЭД при синусоидальном и трапецидальном трехфазном напряжении питания показаны на рис. 1: *а* – переходный процесс по скорости  $\omega$  и моменту  $M$ ; *б* – переходный процесс по скорости  $\omega$ , току статора  $I_s$ , пусковой обмотки  $I_r$  и току возбуждения  $I_b$  и рис. 2: *а* – переходный процесс по скорости  $\omega$  и моменту  $M$ ; *б* – переходный процесс по скорости  $\omega$ , току статора  $I_s$ , пусковой обмотки  $I_r$  и току возбуждения  $I_b$  соответственно.

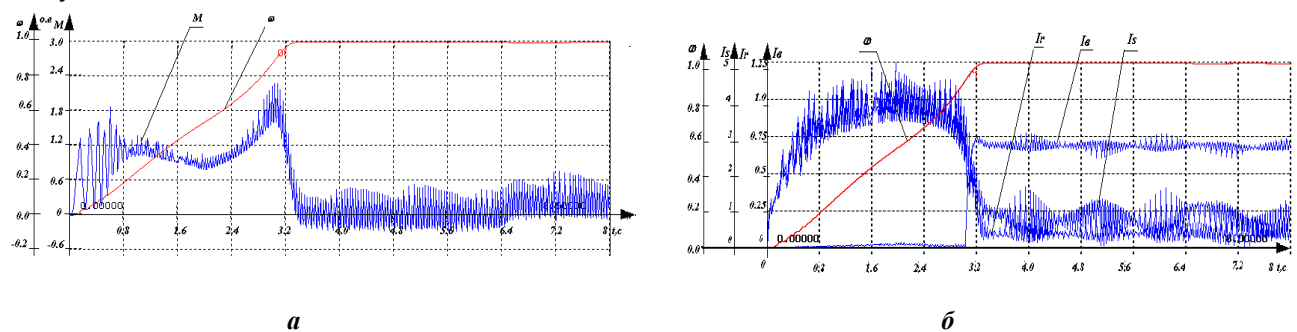


Рис. 1

Среднее значение пускового момента (рис. 1, *а*) составляет 0,9–1,2 номинального. При этом время разгона составляет 3,2 с. Токи синхронного двигателя, пульсирующие с модуляцией низкой частоты (рис. 1, *б*) с амплитудой 0,4–0,5 номинального тока, обуславливают пульсации момента величиной 0,3–0,4 номинального.

Характер переходных процессов при трапецеидальном фазном напряжении отличается от процессов при синусоидальном фазном напряжении. Среднее значение пускового момента составляет 1,8 номинального, а время пуска – приблизительно 2 с (рис. 2, *а*) (действующее напряжение при трапецеидальной форме больше, чем при синусоидальной). Среднее значение пусковых токов статора и короткозамкнутой обмотки при разгоне превышают номинальные значения в 3 раза. Использование ШИП частоты без фильтрующих и регулирующих устройств приводит к пульсациям статорных и, следовательно, роторных токов и момента. После включения возбуждения величина пульсаций момента  $M$  модулируется низкими частотными колебаниями, обусловленными колебательными свойствами синхронного двигателя, которые составляют величину 0,6 номинального момента (рис. 2, *б*).

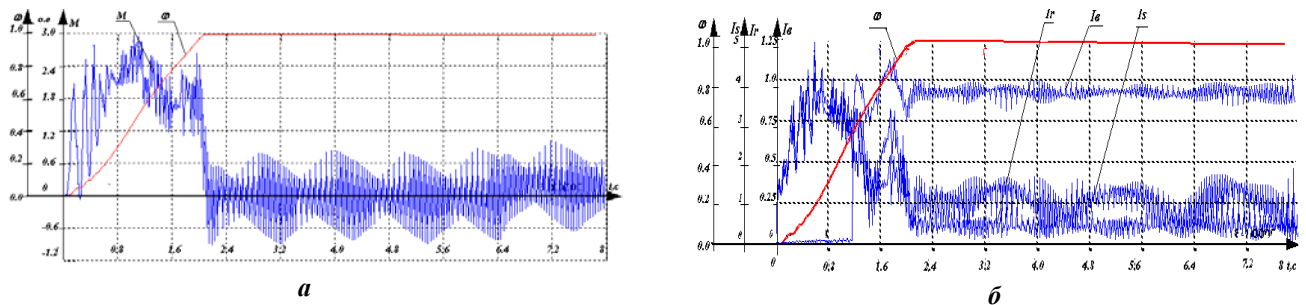


Рис. 2

Переходные процессы при прямоугольном трехфазном напряжении показаны на рис. 3: *а* – переходный процесс по скорости  $\omega$  и моменту  $M$ ; *б* – переходный процесс по скорости  $\omega$ , току статора  $I_s$ , пусковой обмотки  $I_r$  и току возбуждения  $I_v$ . Как видно, характер переходных процессов мало отличается от процессов при трапецеидальном напряжении.

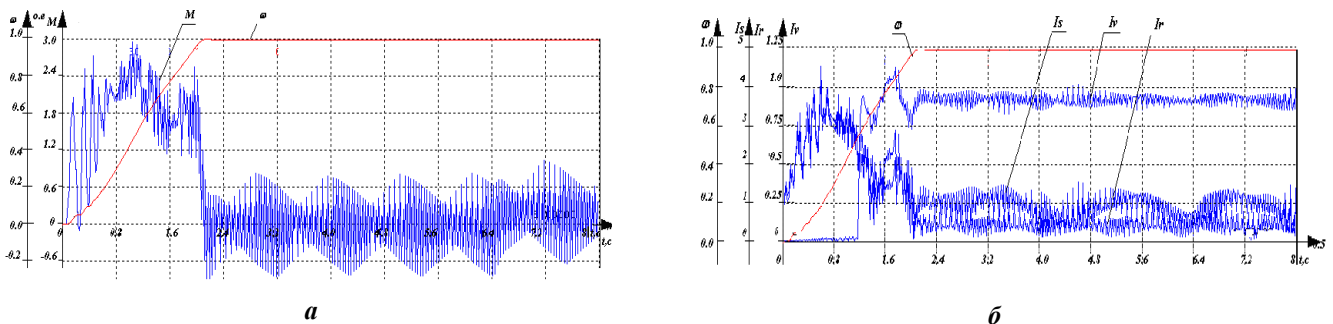


Рис. 3

**Выводы.** Полученные результаты моделирования процесса пуска синхронного электрического двигателя с различной формой выходного напряжения показывают, что синусоидальная форма выходного напряжения наиболее приемлема с точки зрения снижения и колебания пускового момента СЭД. Показатели переходных процессов (пусковой момент, время разгона) при прямоугольном и трапецеидальном фазном напряжении практически одинаковы.

1. Вейнгер А.М. Регулируемый синхронный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.
2. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
3. L.Serrano, Iribarnegaray. The Modern Space Vector Theory, Part I: Its Coherent Formulation and Its Advantages for Transient Analysis o Converter-Fed AC Machines // ETEP. – 1993. – Vol.3. – № 2.
4. Рудаков В.В., Столяров И.М., Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.
5. Синчук И.О., Чернышев А.А., Киба И.И., Пасько О.В., Ключка О.Е., Мельник О.Е. Полупроводниковые преобразователи электрической энергии в структурах электроприводов. Схемотехника и принципы управления. – Кременчуг: Вид. Щербатих О.В., 2008. – 88 с.
6. Синчук О.Н., Захаров В.Ю., Михайличенко Д.А. Моделирование пуска неявнополюсного синхронного электрического двигателя // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2012. – Вип. №08(84). – С. 24–30.

7. *Tihanyi, L.* EMC in Power Electronics. – N.Y.: IEEE Press, 1995. – 402 p.
8. *Hioki T., Jamamoto H., Mizuno S., Jnogushi H.* Thyristor Starting System for Okayoshino Power Plant //Toshiba Review. – 1979. – № 122.
9. *Черный А.П., Гладарь А.И., Осадчук Ю.Г., Курбанов И.Р., Вошун А.Н.* Пусковые системы нерегулируемых электроприводов. – Кременчуг: ЧП Щербатых А.В., 2006. – 280 с.
10. *Шрейнер Р.Т.* Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН. – 2000. – 654 с.

УДК 622.625.28-83

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПУСКУ СИНХРОННОГО ДВИГУНА З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ЧАСТОТИ

**О.М.Сінчук, докт.техн.наук, Д.А.Михайличенко**

**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,  
вул. Першотравнева, 20, Кременчук, 39600, Україна,**

**e-mail: [emdenn@mail.ru](mailto:emdenn@mail.ru)**

*При розробці енергоефективних систем пуску синхронних електричних двигунів необхідно вирішувати завдання побудови адекватної математичної моделі двигуна в різних системах координат та дослідження за її допомогою передатних функцій з різним керуючим впливом. У роботі проводиться аналіз перехідних процесів у момент запуску синхронного двигуна при використанні широтно-імпульсного перетворювача з трапецеїдальною, синусоїдальною та прямокутною вихідними напругами на базі математичної моделі, побудованої в координатах струм статора–потокосцеплення статора. Бібл. 10, рис. 3.*

**Ключові слова:** синхронний електричний двигун, математична модель, широтно-імпульсний перетворювач.

## STUDY OF THE SYNCHRONOUS MOTOR'S START-UP WITH THE PULSE-WIDTH FREQUENCY CONVERTER

**O.M.Sinchuk, D.A.Mykhailychenko**

**Mykhailo Ostrogradsky Kremenchug National University,  
str. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine.**

**e-mail: [emdenn@mail.ru](mailto:emdenn@mail.ru)**

*In the process of the power effective systems development of the synchronous electric motors' start-up it is necessary to solve a problem of the engine's adequate mathematical model formation in the various systems of coordinates and studying with its help the transfer functions under the various operating influences. This work focuses on the analysis of the transients at the start-up time of the synchronous motor within using the pulse-width converter at trapezoidal, sinusoidal and rectangular output tension on the basis of the mathematical model which is put up in the current stator-the stator flux linkage coordinates. References 10, figures 3.*

**Key words:** synchronous electric motor, mathematical model, pulse-width converter.

1. *Veynger A.M.* Adjustable synchronous electric drive. – Moskva: Energoatomizdat, 1985. – 224 p. (Rus)
2. *Kliuchev V.I.* The electric drive theory. – Moskva: Energoatomizdat, 1985. – 560 p. (Rus)
3. *L.Serrano, Iribarnegaray.* The Modern Space Vector Theory, Part I: Its Coherent Formulation and Its Advantages for Transient Analysis o Converter-Fed AC Machines // ETEP. – 1993. – Vol. 3. – № 2.
4. *Rudakov V.V., Stolyarov I.M., Dartau V.A.* The asynchronous electric drives with vector management. – Leningrad: Energoatomizdat, 1987. – 136 p. (Rus)
5. *Sinchuk I.O., Chernyshev A.A., Pasko O.V., Kliuchka O.E., Kiba I.I., Melnik O.E.* Semiconductor converters of the electric energy in structures of the electric drives. The circuitry and principles of its management. – Kremenchuk: Shcherbatykh O.V., 2008. – 88 p. (Rus)
6. *Sinchuk O.M., Zakharov V.Yu., Mikhailichenko D.A.* Modelling of the not salient pole synchronous electric motor's start-up // Elektrotekhnichni ta Compiuterni Systemy. – 2012. – No 08(84). – Pp. 24–30. (Rus)
7. *Tihanyi, L.* EMC in Power Electronics. – N.Y.: IEEE Press, 1995. – 402 p.
8. *Hioki T., Jamamoto H., Mizuno S., Jnogushi H.* Thyristor Starting System for Okayoshino Power Plant // Toshiba Review. – 1979. – № 122.
9. *Chornyi A.P., Gladar A.I., Osadchuk Yu.G., Kurbanov I.R., Voshun A.N.* Starting systems of the unregulated electric drives. – Kremenchug: Scherbattykh A.V., 2006. – 280 p. (Rus)
10. *Shreiner R.T.* Mathematical modeling of the alternating current electric drives with frequency semiconductor converter. – Ekaterinburg: URO RAN. – 2000. – 654 p. (Rus)

Надійшла 30.01.2014