

УДК 621.313.323

**В.Б. Низимов**, д-р техн. наук,  
**С.В. Колычев**, канд. техн. наук,  
**А.А. Снижко**

### ПУСКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ – СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С МНОГОСТУПЕНЧАТЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

*Аннотация.* Выполнен анализ влияния многоступенчатого накопителя энергии на асинхронный пуск синхронного двигателя, напряжение питания которого ограничивается тиристорным регулятором. Получены расчетные статические характеристики, анализ которых показал, что использование емкостных накопителей позволяет получить значительный пусковой момент для нагруженных синхронных двигателей при ограничении тока в обмотке статора на заданном уровне.

**В.Б. Низимов**, д-р техн. наук  
**С.В.Колычев**, канд. техн. наук  
**А.А.Снижко**

### ПУСКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ РЕГУЛЯТОР НАПРУГИ - СИНХРОННИЙ ДВИГУН З БАГАТОСТУПЕНЕВИМ НАКОПИЧУВАЧЕМ ЕНЕРГІЇ

*Анотація.* Проведено аналіз впливу багатоступінчастого накопичувача енергії на асинхронний пуск синхронного двигуна, напруга живлення якого обмежується тиристорним регулятором. Отримані розрахункові статичні характеристики, аналіз яких показав, що використання ємнісних накопичувачів дозволяє отримати значний пусковий момент для завантажених синхронних двигунів при обмеженні струму в обмотці статора на заданому рівні.

**V. B. Nizimov**, ScD  
**S. V. Kolychev**, PhD  
**A.A.Snizhko**

### STARTING CHARACTERISTICS OF THE VOLTAGE REGULATOR - SYNCHRONOUS MOTOR WITH MULTI-STAGE ENERGY STORAGE

*Abstract.* The analysis of influence stepped energy storage for asynchronous start of synchronous motor, voltage of which is limited by thyristor regulator. There was get the calculated static characteristics, the analysis of which showed that the use of capacitive storage devices allows to develop a high starting torque for loaded synchronous drive with limiting the current in the stator winding at a specified level.

**Введение.** Создание систем облегченного пуска на базе тиристорных регуляторов напряжения в цепи статора синхронных двигателей (СД) позволяет увеличить срок их службы, снизить аварийность за счет ограничения токов статора и обеспечить плавный запуск ряда технологических механизмов [3]. Однако квадратичная зависимость момента от напряжения статора при прямом пуске не позволяет обеспечить разворот приводных механизмов со значительным моментом статического сопротивления (дробилки, шаровые и стержневые мельницы, барабанные окомкователи, скребковые конвейеры) при одновременном снижении нагрузки на обмотки статора. Таким образом, существенным недостатком такого способа пуска является значительное снижение пускового момента СД при ограничении тока статора на заданном уровне.

**Постановка задачи.** Задачей исследований является повышение пускового момента СД при ограничении тока статора в системе тиристорный регулятор напряжения – синхронный двигатель (ТРН-СД) за счет емкостной компенсации индуктивного сопротивления контура возбуждения.

**Результаты исследования.** В режиме асинхронного пуска СД электромагнитный момент создается в основном пусковой (короткозамкнутой)

©Низимов В.Б., Колычев С.В., Снижко А.А., 2011

обмоткой, а обмотка возбуждения (ОВ) оказывается недогруженной по следующим причинам. Во-первых, масса меди ОВ для крупных СД превышает массу меди обмотки статора. Поэтому, как показано в [1], для крупного СД мощностью 3150 кВт, 500 об./мин., за время асинхронного пуска превышение температуры обмоток статора составило 10,4°С, а обмотки возбуждения – всего лишь 0,087°С. Во-вторых, во время пуска амплитуда тока частоты скольжения ОВ лежит в пределах (0,8...1,6) от номинального тока возбуждения.

Величина электромагнитного момента, создаваемого ОВ, незначительна из-за фазового сдвига между ее ЭДС и током, близким к 90 эл. градусам. При одноименной полярности этих величин создается двигательный момент, а при разноименной – тормозной. Вследствие одноосного эффекта ОВ, момент, создаваемый ею, суммируется с моментом пусковой обмотки до полусинхронной скорости, а после – вычитается. Поэтому, для увеличения электромагнитного момента СД за счет составляющей от обмотки возбуждения необходимо уменьшить фазовый сдвиг между ЭДС и током ОВ, увеличивая амплитуду этого тока, что ведет к перераспределению нагрузки между ОВ и пусковой обмоткой. Такой эффект достигается включением нелинейного емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) в ОВ. Поскольку его реактивное сопротивление обратно пропорционально скольжению ротора

СД, то при этом также частично компенсируется электромагнитная инерционность контура возбуждения.

Относительное емкостное сопротивление нелинейного накопителя энергии, обеспечивающего максимум электромагнитного момента СД на всем протяжении асинхронного пуска, определяется [2]

$$x_c = \frac{ab + cs^d}{b + s^d}, \quad (1)$$

где  $a, b, c, d$  - коэффициенты аппроксимации.

Поскольку реализация непрерывного изменения емкости накопителя энергии пока представляет собой сложную техническую задачу, то ступенчатое изменение величины емкости накопителя представляется более целесообразным.

Включение регулятора напряжения позволяет ограничить токовые и электродинамические нагрузки на обмотки статора изменением напряжения.

Для демонстрации влияния многоступенчатого ЕНЭ на пуск СД в условиях ограничения, с помощью регулятора напряжения питающей сети рассчитаны зависимости пуска СД при ступенчатом изменении емкости накопителя в зависимости от скольжения  $s$ . На рис.1 представлена зависимость скольжения от момента  $M$ , а на рис. 2 - от тока статора  $I$ .

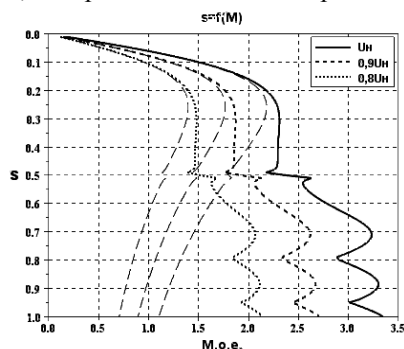


Рис.1. Момент СД при ступенчатом изменении значения емкости накопителя  $C = 75; 100; 150$  мкФ

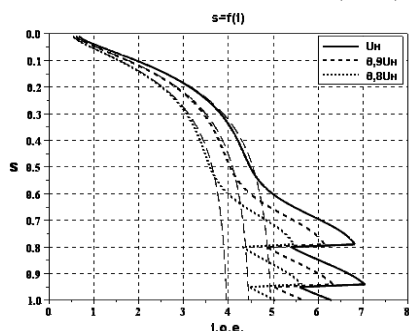


Рис.2. Ток СД при ступенчатом изменении значения емкости накопителя  $C = 75; 100; 150$  мкФ

Расчеты выполнены для двигателя типа СДСЗ-2000-100 для различных значений напряжения преобразователя ( $U_1/U_{1n} = 1; 0,9; 0,8$ ) и при ступенчатом изменении емкости ЕНЭ ( $C = 75; 100; 150$  мкФ) с последовательно включенным пусковым резистором  $R_n = 4R_f$  [1,2]. Пунктирными линиями на рисунках изображены пусковые характеристики СД при включении в ОВ только четырехкратного пускового резистора. Анализ расчетных зависимостей показывает, что

применение ступенчатого накопителя энергии позволяет существенно увеличить электромагнитный момент СД при ограничении тока статора изменением напряжения ТРН.

Таким образом, можно получить желаемую интегральную характеристику СД для разворота механизмов со значительным моментом статического сопротивления.

**Выводы.** Применение ступенчатых емкостных накопителей энергии в ОВ в сочетании с регулятором в цепи статора обеспечивает необходимый для пуска СД асинхронный момент при снижении токовой нагрузки на обмотки статора, ограничивает перенапряжения на ОВ и позволяет использовать составляющую энергии скольжения, запасенную накопителем энергии во время асинхронного пуска.

Список использованной литературы

1. Низимов В.Б. Применение накопителей энергии для асинхронного пуска синхронных двигателей / В.Б.Низимов // *Наук. вісник НГА України*. – 2000. – № 1. – С.49-51.
  2. Низимов В.Б. Влияние емкостных накопителей энергии на статические характеристики асинхронного пуска синхронных двигателей / В.Б.Низимов, Р.В.Низимов // *Наук. Вісн. НГА України – Дніпропетровськ: НГА*. - 2001. - № 2. – С. 74-78.
  3. Родькин Д.И. Система формирования пусковых характеристик электроприводов переменного тока с тяжелыми условиями пуска / Д.И.Родькин, А.И.Гладырь // *Вісн. Кременчужького держ. політехн. ун-ту: наук. праці КДПУ*. – Кременчук: КДПУ. - 2003. – Вип. 2(19). – Т. 2. – С.10-11.
- Получено 12.07.2011



Низимов Виктор Борисович,  
 д.т.н., проф. каф. эл. механики  
 Днепродзерж. гос. техн. ун-та  
 тел. (05695) 5-12-87



Колычев Сергей Викторович,  
 к.т.н., доц. каф. эл. механики  
 Днепродзерж. гос. техн. ун-та  
 тел. (05695) 5-12-87



Снижко Андрей Андреевич,  
 аспирант каф. эл. механики  
 Днепродзерж. гос. техн. ун-та  
 тел. (05695) 5-12-87