

РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА. ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

УДК 621.313.323

СНИЖКО А.А., аспирант
КОЛЫЧЕВ С.В., к.т.н., доцент
НИЗИМОВ В.Б., д.т.н., профессор

Днепродзержинский государственный технический университет

ДИНАМИКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПУСКА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С МНОГОСТУПЕНЧАТЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

Введение. Задача пуска мощных синхронных двигателей (СД) с токоограничением не теряет своей актуальности, в первую очередь для разворота механизмов со значительными моментами инерции статического сопротивления (шаровые и стержневые мельницы, барабанные окомкователи, дробилки, скребковые конвейеры), а также в условиях питания двигателей от протяженных электрических сетей, что характерно для приводов механизмов буровых установок нефте- и газодобывающей промышленности и турбокомпрессоров газоперекачивающих станций.

Параметрические способы пуска с использованием реакторов, автотрансформаторов и тиристорных регуляторов напряжения (ТРН) обеспечивают ограничение пусковых токов, однако не позволяют создать необходимые пусковые моменты для разворота выше перечисленных механизмов.

Повышение пускового момента СД может быть достигнуто:

- 1) применением специальных законов управления контуром возбуждения (дискретное управление напряжением возбуждения, непрерывное или ступенчатое изменение величины сопротивления пускового резистора, а также их совместное управление) [1...3];
- 2) усложнением системы возбуждения СД (пусковые индукционные сопротивления в роторе, системы возбуждения с преобразователями двусторонней проводимости, емкостные накопители энергии в контуре возбуждения) [4...6];
- 3) изменением конструкции собственно СД (применение расщепленных обмоток возбуждения с последовательными конденсаторами, размещение поперечной обмотки возбуждения) [7...9].

Однако перечисленные способы не позволяют создать значительные пусковые моменты при ограничении токов статора на заданном уровне.

Постановка задачи. Задачей работы является повышение пускового момента СД для разворота механизмов с большим моментом статического сопротивления при одновременном ограничении токов статора и пусковой обмотки.

Результаты работы. В режиме асинхронного пуска СД электромагнитный момент создается в основном пусковой (демпферной) обмоткой, а обмотка возбуждения (ОВ) загружена не полностью. В зависимости от конструкции СД амплитуда пускового тока ОВ частоты скольжения лежит в пределах 0,8...1,6 номинального тока возбуждения. Для обеспечения устойчивости двигателя обмотка возбуждения должна выдерживать токовую нагрузку не менее 1,4-кратного значения номинального тока возбуждения в течении 20...50 с., что обычно значительно больше, чем время пуска. Как показано в работе [10], для крупного СД мощностью 3150кВт, 500 об/мин привода стержневой мельницы за время асинхронного пуска превышение температуры обмоток статора составило 10,4°C, ОВ – 0,087°C. В то же время токи отдельных стержней пусковой обмотки лежат в пределах 9500...10500 А, а превышение температуры достигает

95...103°С. По элементам короткозамкнутых колец пусковые токи достигают значений в 25000...36000 А.

Относительная незначительность электромагнитного момента, создаваемого ОВ, связана с фазовым сдвигом между ЭДС и током возбуждения, близким к 90 эл. град. Поэтому для увеличения пускового момента СД необходимо уменьшить фазовый сдвиг между током и ЭДС, что достигается включением емкостных накопителей энергии (ЕНЭ). Это также позволяет частично компенсировать индуктивное сопротивление контура возбуждения, повысить амплитуду его тока, что приведет к перераспределению токовой нагрузки между пусковой и обмоткой возбуждения.

Вследствие одноосного эффекта электромагнитный момент, создаваемый ОВ, суммируется с моментом, создаваемым пусковой обмоткой, а после полусинхронной скорости – вычитается. При некоторых значениях величины емкости ЕНЭ возможны значительные тормозные моменты, что может привести к явлению «застревания» ротора в зоне полусинхронной скорости, что снижает надежность пуска двигателя. Во избежание уменьшения суммарного электромагнитного момента после прохождения полусинхронной скорости необходимо выводить емкостные накопители из контура возбуждения.

Существенным недостатком конденсаторного пуска СД является зависимость увеличения электромагнитного момента от скольжения. Это связано с тем, что максимум момента двигателя достигается при полной компенсации емкостным сопротивлением накопителя сопротивления рассеяния контуров ротора по продольной оси. Для этого емкостное сопротивление накопителя должно изменяться в функции скольжения нелинейно по закону:

$$X_c = \frac{A}{2} - \sqrt{\frac{A^2}{4} - B}, \quad (1)$$

где $A = x_{\sigma kd} s^2 + 2x_{\sigma f} s^2 + \frac{r_{kd}^2}{x_{\sigma kd}}$; $B = x_{\sigma f} x_{\sigma kd} s^4 + x_{\sigma f}^2 s^4 + \frac{r_{kd}^2}{x_{\sigma kd}} x_{\sigma f} s^2 + R_f^2 s^2$,

Поскольку создание емкостного накопителя энергии с нелинейными параметрами представляет собой достаточно сложную техническую задачу, альтернативой ему может послужить многоступенчатый емкостной накопитель энергии (МЕНЭ), состоящий из батареи конденсаторов, коммутируемых с помощью электронных ключей.

Функциональная схема пускового устройства, содержащего ТРН и МЕНЭ, представлена на рис.1.

Управление выходным напряжением тиристорного регулятора (ТРН) осуществляется в зависимости от величины тока статора, данные о котором с помощью датчиков ТА, ТУ поступают на микропроцессорный модуль (MCU). Он, в свою очередь, формирует управляющие сигналы для блока управления тиристорами (AUZ) и осуществляет контроль выходного напряжения ТРН. Коммутация ключей МЕНЭ и, соответственно, изменение его емкости производится в функции скольжения, вычисляемого посредством измерения частоты вращения ротора двигателя.

При подаче напряжения от ТРН на статор СД ток в ОВ замыкается через резистор R1 и последовательно соединенный с ним МЕНЭ (С1, С2 и С3). По мере увеличения частоты вращения ротора суммарная емкость МЕНЭ должна увеличиваться в соответствии с (1), что достигается последовательным включением ключей К1, К2 и К3.

При замыкании ключа К3 МЕНЭ выводится из контура возбуждения, и ток в ОВ протекает через часть резистора R1, что приводит к увеличению входного момента СД. Для ограничения перенапряжений на конденсаторах в схеме предусмотрены разрядные цепи, состоящие из тиристорных ключей VS7 и VS8 и резисторов R2 и R3. При достижении на конденсаторах уровня напряжения, допустимого по электрической прочности

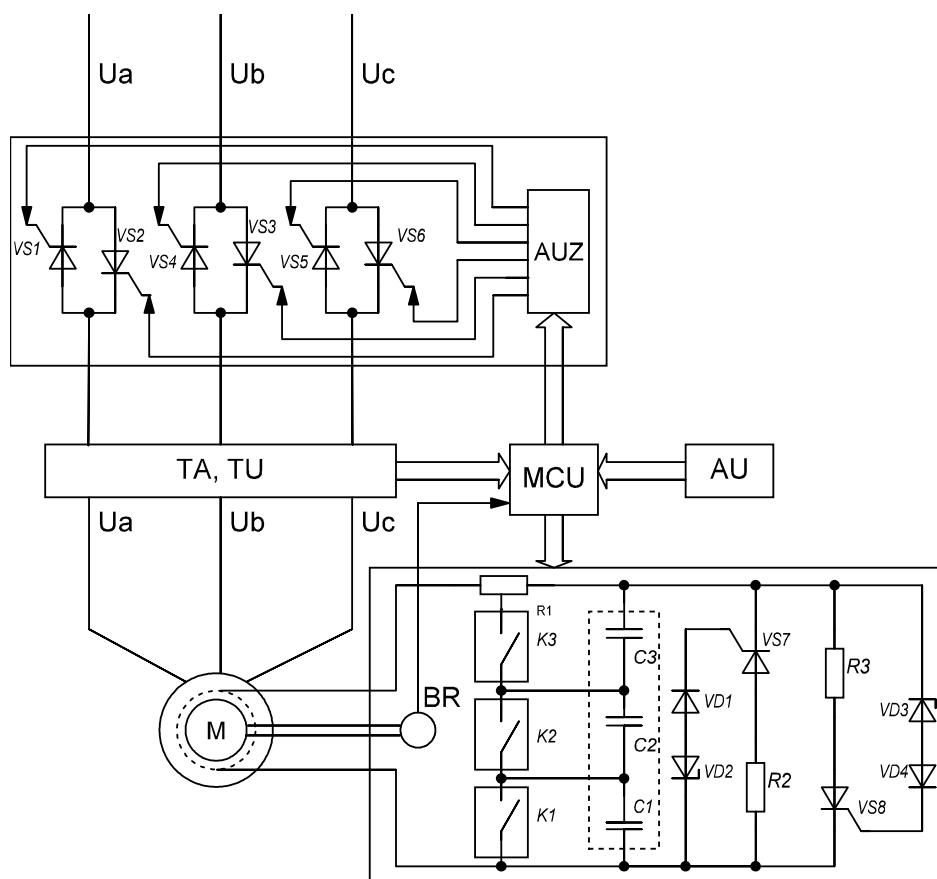


Рисунок 1 – Функциональная схема пускового устройства с МЕНЭ в контуре возбуждения и ТРН в статоре СД

изоляции обмотки возбуждения, пробиваются стабилитроны VD3 или VD2 в зависимости от полярности напряжения, и через диоды VD1 и VD4 поступает управляющий сигнал на открытие тиристора VS7 или VS8, и накопители разряжаются на соответствующие резисторы.

Блок AU служит для задания на ограничение максимального тока статора.

В результате моделирования пуска СД типа СДСЗ-2000-100 привода шаровой барабанной мельницы с рассмотренным устройством, выполненного в ортогональной системе координат d-q [11], были получены расчетные переходные процессы. Номинальные параметры двигателя: $P_n=2000$ кВт, $U_{1n}=6000$ В, $I_n=229$ А, $n_n=100$ об/мин. Параметры обмотки возбуждения: $U_{fn}=51$ В, $I_{fn}=276$ А. На рис.2 представлены характеристики пуска двигателя с применением предложенной системы, а на рис.3 – прямой асинхронный пуск с десятикратным добавочным резистором без накопителя энергии.

Анализ приведенных расчетных зависимостей показывает, что, несмотря на ограничение тока статора на шестикратном уровне относительно номинального, ток в ОВ вырос с 2,5 при прямом асинхронном пуске до 5 значений от номинального при включении МЕНЭ. Это позволило повысить развиваемый двигателем электромагнитный момент с двукратного до 2,5 от номинального на время работы накопителя. Вследствие перераспределения токовой нагрузки между роторными контурами ток в демпферной обмотке при пуске с использованием МЕНЭ снизился в среднем на один номинал в продольной и поперечной обмотках.

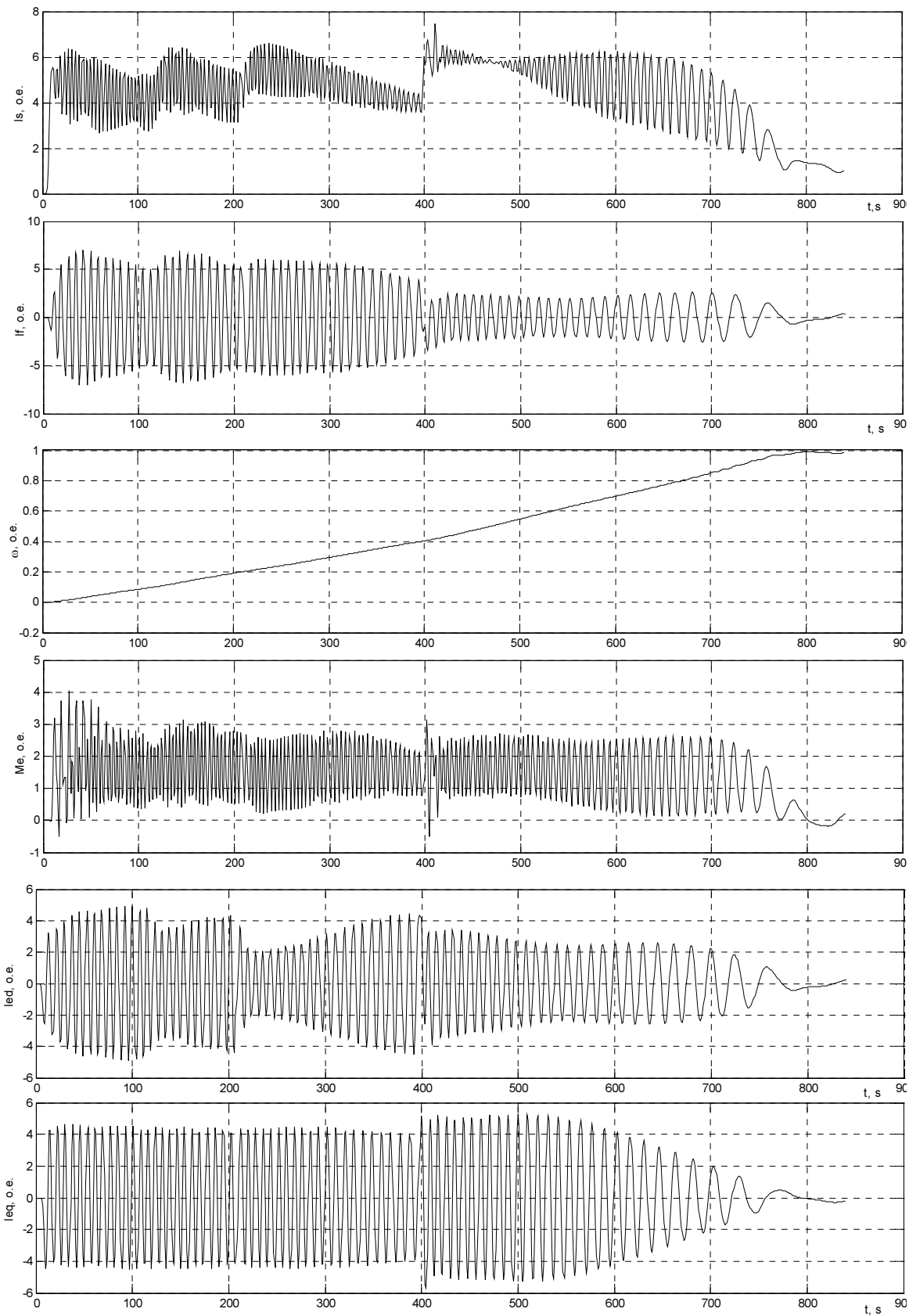


Рисунок 2 – Динамические пусковые характеристики СД с МЕНЭ

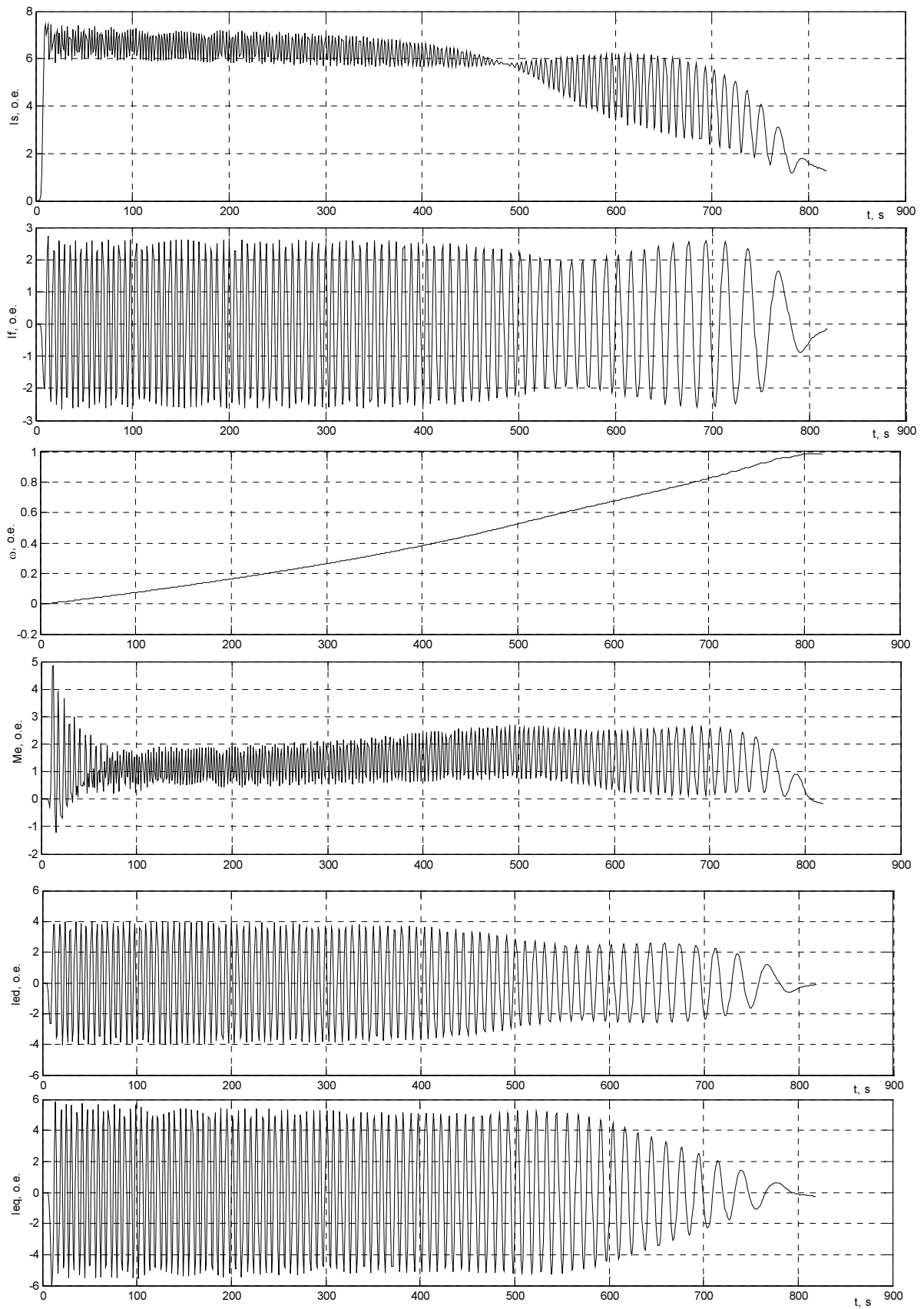


Рисунок 3 – Динамические характеристики прямого асинхронного пуска СД

Выводы. Применение МЕНЭ, включенного в контур возбуждения СД, позволяет создать и поддерживать значительный электромагнитный момент двигателя во время пуска, достаточный для разворота и надежного запуска двигателя в условиях ограничения напряжения питания на обмотках статора. В результате перераспределения токовой нагрузки между обмотками ротора повысилась эффективность использования ОВ во время пуска, снизилась загрузка демпферных контуров, а также уменьшилось воздействие на контуры термомеханических сил, что способствует продлению срока службы и снижению аварийности двигателя, вызванной частыми пусками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носов К.Б. Средства и способы самозапуска электродвигателей / К.Б.Носов, Н.М.Дворак. - Кемерово: Кемеровское книжное изд-во, 1985. – 128 с.
2. Соколов Н.И. Ресинхронизация синхронных двигателей многократной форсировкой возбуждения / Н.И.Соколов, И.А.Сумцов, А.М.Кременецкий // Электричество. - 1975. - №5. - С.43-48.
3. Бабурин В.Б. О повышении продольного электромагнитного момента машин переменного тока в асинхронном режиме / В.Б.Бабурин, И.А.Сумцов // Труды ВНИИЭ. – М.: ВНИИЭ. – 1979. – Вып. 57. – С.65-71.
4. Абрамович Б.Н. Система возбуждения с двухсторонним преобразователем в цепи обмотки возбуждения / Б.Н.Абрамович, Ю.А.Бирюков, В.М.Вадатурский // Электротехника. – 1971. – №12. – С.7-10.
5. Осипова С.В. Асинхронный пуск синхронного двигателя с максимальными входным и пусковым моментами / С.В.Осипова, А.И.Каяшев // Изв.вузов. Энергетика. – 1974. – №8. – С.119-121.
6. Низимов В.Б. Применение накопителей энергии для асинхронного пуска синхронных двигателей / В.Б.Низимов // Науковий вісник НГА України. – 2000. – №1. – С.49-51.
7. Пивняк Г.Г. О новом направлении усовершенствования крупных синхронных двигателей / Г.Г.Пивняк, В.И.Кириченко, В.А.Бородай // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки». Ч.2. - К.: Національна академія наук України. - 2002. - С.62-65.
8. Ахматов М.Г. Синхронные машины. [Спец. курс: учеб. пособие для втузов] / Ахматов М.Г. – М.: Высшая школа, 1984. – 135с.: 4 ил.
9. Пирматов Н.Б. Исследование работы синхронного двигателя с возбуждением по продольной и поперечной осям при ударной нагрузке / Н.Б.Пирматов, М.Г.Ахматов, И.К.Камалов // Электричество. – 2003. - №2. - С.64-65.
10. Низимов В.Б. Влияние электрической емкости в контуре возбуждения на демпферную обмотку при асинхронном пуске синхронного двигателя / В.Б.Низимов, С.В.Колычев, Ю.И.Зинченко // Придніпровський науковий вісник: технічні науки. – 1998. – №73(140). – С.81-87.
11. Моделирование пусковых режимов СД в пакете MATLAB / В.Б.Низимов, С.В.Количев, А.Ю.Великий, В.И.Хоменко // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету: (технічні науки) / Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2009. – С.117-123.

Поступила в редколлегию 06.12.2011.