

Днепродзержинский государственный технический университет

ПУСКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОМПЕНСИРОВАННОЙ ДЕМПФЕРНОЙ ОБМОТКОЙ

Введение. Задача асинхронного пуска мощных высоковольтных синхронных двигателей (СД) с непосредственным питанием от электросети не теряет своей актуальности в первую очередь для электроприводов механизмов со значительными моментами инерции и 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.

Анализ способов и средств повышения вращающего момента СД в режиме асинхронного пуска [1...7] показывает, что наиболее распространенными из них являются использование специальных законов управления контуром возбуждения, его усложнение путем включения новых активных или пассивных элементов, изменение конструкции СД, применение расщепленных или дополнительных обмоток [8...9].

Наиболее эффективным из перечисленных способов и средств является включение емкостных накопителей энергии (ЕНЭ) в контур возбуждения СД, поскольку это не требует серьезной доработки конструкции двигателя и позволяет в значительной степени повысить пусковой момент по сравнению с другими способами.

Существенным недостатком этого способа пуска является зависимость электромагнитного момента, развиваемого двигателем при пуске, от степени емкостной компенсации индуктивного сопротивления ОВ. Поскольку величина ЕНЭ обратно пропорциональна квадрату скольжения, то с уменьшением последнего емкостное сопротивление возрастает, что в итоге приводит фактически к разрыву контура возбуждения. Поэтому ЕНЭ выполняют многоступенчатыми с шунтированием на определенном этапе пуска. В идеальном случае емкость накопителя должна изменяться в функции скольжения, что возможно достичь применением емкостных стержней в структуре демпферной обмотки [10].

Постановка задачи. Задачей работы является исследование влияния компенсированной демпферной обмотки на пусковые характеристики синхронного двигателя.

Результаты работы. В режиме асинхронного пуска СД электромагнитный момент, создаваемый контурами ротора, пропорционален произведению ЭДС и тока ротора. Фазовый сдвиг между ЭДС, наводимой в обмотке возбуждения (ОВ), и током, протекающим в ней, близкий к 90 эл. град. В режиме асинхронного пуска СД между ЭДС и током стержней демпферной обмотки также имеется фазовый сдвиг, который, однако, меньше, чем в ОВ из-за большего активного сопротивления этой обмотки. При совпадении знаков ЭДС и тока создается двигательный момент, а при разноименных знаках – тормозной. Поэтому для увеличения момента от ОВ необходимо уменьшить фазовый сдвиг между ЭДС и током, что и достигается включением пускового резистора или емкостных накопителей энергии через контактные кольца ротора [11, 12].

Для емкостной компенсации индуктивного сопротивления демпферная обмотка может быть выполнена в виде емкостных стержней, соединенных между собой и уло-

женных в пазы полюсов ротора синхронного двигателя [10]. Причем каждый из емкостных стержней состоит из плоских шин, разделенных слоем композитного диэлектрика переменной толщины, и изолирован пазовой изоляцией.

В начальный момент пуска из-за явления вытеснения тока в шинах емкостных стержней их эффективная площадь минимальна, что и определяет начальное значение емкости накопителя энергии. По мере разгона СД падает частота тока в шинах емкостных стержней, что приводит к увеличению эффективной площади и величины емкости накопителя энергии.

Для исследования влияния компенсированной демпферной обмотки на пусковые характеристики СД составим систему дифференциальных уравнений электрического и механического равновесий. С учетом общепринятых допущений [12] уравнения составляющих напряжения электрических контуров СД по продольной d и поперечной q осям в системе относительных единиц имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} U_d &= r_1 i_d + p \Psi_d - \Psi_q \omega; \\ U_q &= r_1 i_q + p \Psi_q + \Psi_d \omega; \\ U_f &= r_f (K + 1) i_f + p \Psi_f; \\ 0 &= r_{kd} i_{kd} + \frac{1}{p} x_{cd} i_{kd} + p \Psi_{kd}; \\ 0 &= r_{kq} i_{kq} + \frac{1}{p} x_{cq} i_{kq} + p \Psi_{kq}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где U_d и U_q – напряжения продольного и поперечного контуров статора соответственно; U_f – напряжение контура возбуждения; x_{cd} и x_{cq} – реактивные сопротивления ЕНЭ в продольном и поперечном контурах пусковой обмотки соответственно; K – кратность пускового резистора.

Запишем выражения для потокосцеплений контуров СД:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_d &= x_\sigma i_d + x_{ad} (i_d + i_f + i_{kd}) = x_\sigma i_d + \Psi_{\delta d}; \\ \Psi_q &= x_\sigma i_q + x_{aq} (i_q + i_{kq}) = x_\sigma i_q + \Psi_{\delta q}; \\ \Psi_f &= x_{\sigma f} i_f + x_{ad} (i_d + i_f + i_{kd}) = x_{\sigma f} i_f + \Psi_{\delta d}; \\ \Psi_{kd} &= x_{\sigma kd} i_{kd} + x_{ad} (i_d + i_f + i_{kd}) = x_{\sigma kd} i_{kd} + \Psi_{\delta d}; \\ \Psi_{kq} &= x_{\sigma kq} i_{kq} + x_{aq} (i_q + i_{kq}) = x_{\sigma kq} i_{kq} + \Psi_{\delta q}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Уравнение движения ротора:

$$\Psi_d i_q - \Psi_q i_d - M_c = J p \omega. \quad (3)$$

С учетом уравнений (1) перепишем выражения для потокосцеплений контуров (2) в форме, более удобной для моделирования:

$$\Psi_d = (x_\sigma i_d + \Psi_{\delta d}) = \frac{1}{p} (U_d + \Psi_q \omega - r_1 i_d);$$

$$\Psi_q = (x_\sigma i_q + \Psi_{\delta q}) = \frac{1}{p} (U_q - \Psi_d \omega - r_1 i_q);$$

$$\Psi_f = (x_{\sigma f} i_f + \Psi_{\delta d}) = \frac{1}{p} (U_f + r_f [K + 1] i_f); \tag{4}$$

$$\Psi_{kd} = (x_{\sigma kd} i_{kd} + \Psi_{\delta d}) = -\frac{1}{p} \left(r_{kd} i_{kd} + \frac{1}{p} x_{cd} i_{kd} \right);$$

$$\Psi_{kq} = (x_{\sigma kq} i_{kq} + \Psi_{\delta q}) = -\frac{1}{p} \left(r_{kq} i_{kq} + \frac{1}{p} x_{cq} i_{kq} \right).$$

На основе уравнений (4) получим структурную схему СД с компенсированной демпферной обмоткой (рис.1).

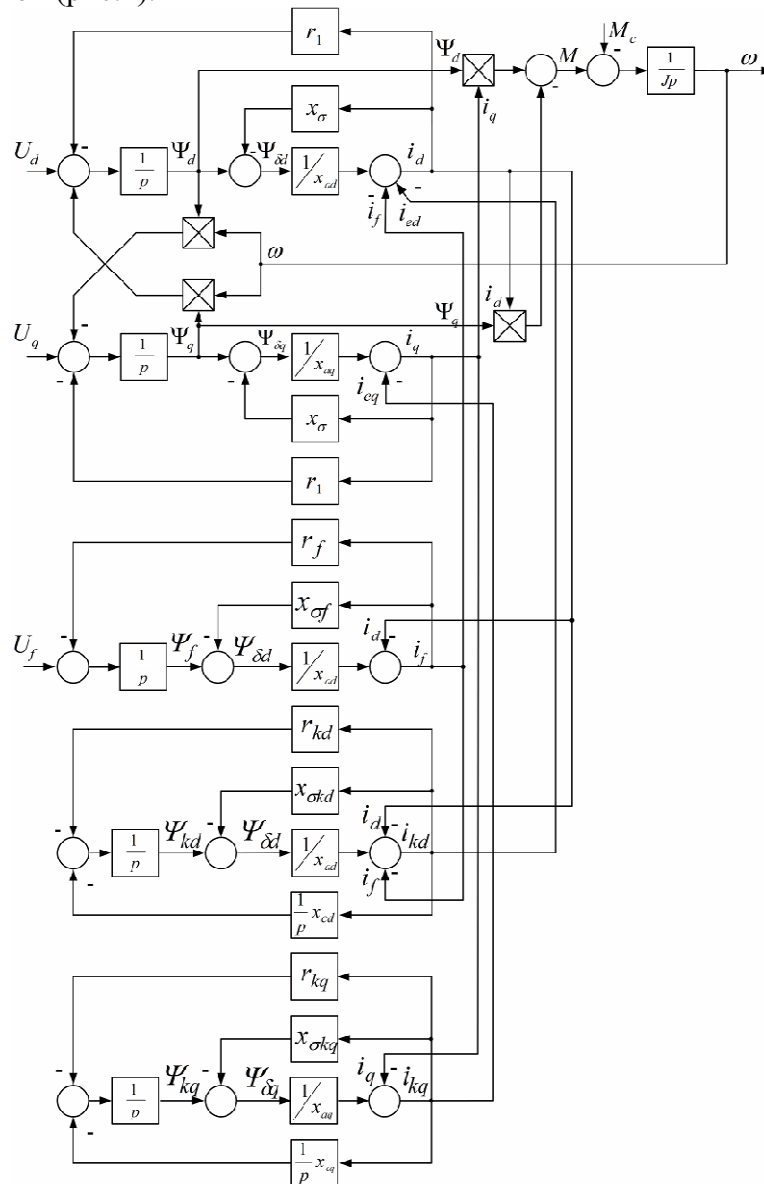


Рисунок 1 – Структурная схема СД с компенсированной демпферной обмоткой

Расчетные характеристики асинхронного пуска СД выполнены для двигателя СДС3-2000-100 со стандартной демпферной обмоткой и для этого же двигателя с компенсированной демпферной обмоткой. Параметры предложенной демпферной обмотки, как и стандартной, по продольной и поперечной оси различны из-за явнополюсности ротора СД.

Расчетные зависимости процесса пуска СД со стандартной демпферной обмоткой, полученные в результате моделирования, приведены на рис.2.

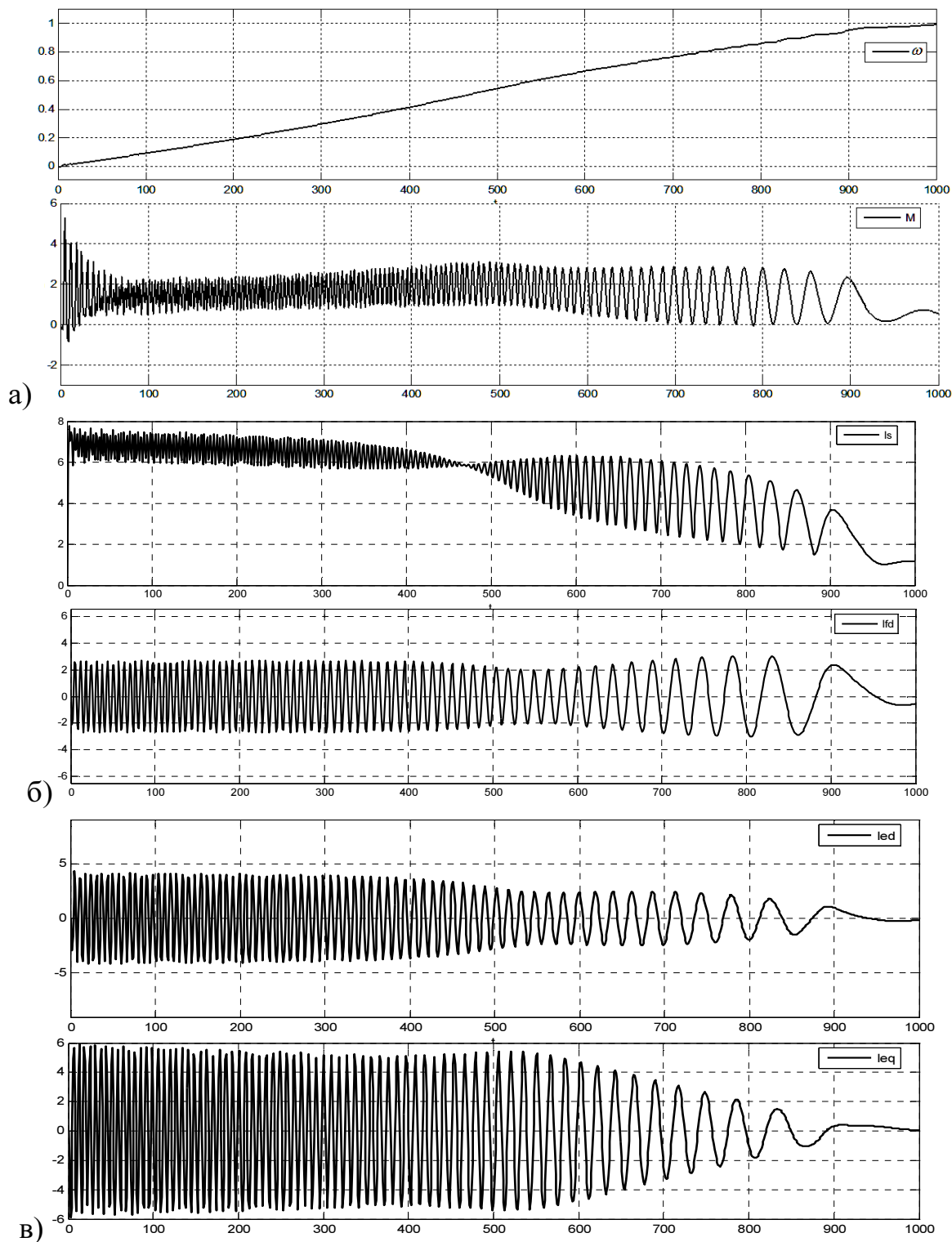


Рисунок 2 – Резисторный пуск СД с четырехкратным добавочным сопротивлением

Из анализа расчетных зависимостей следует, что среднее значение электромагнитного момента изменяется от 1,2 о.е. до 2 о.е. при семикратной величине огибающих амплитуд тока статора. Время пуска СД составило 1000 эл. с. Ток в обмотке возбуждения составляет 2 о.е., ток в продольном демпферном контуре не превышает значения 5 о.е., в поперечном – не более 6 о.е.

Расчетные зависимости прямого асинхронного пуска СД с компенсированной демпферной обмоткой приведены на рис.3.

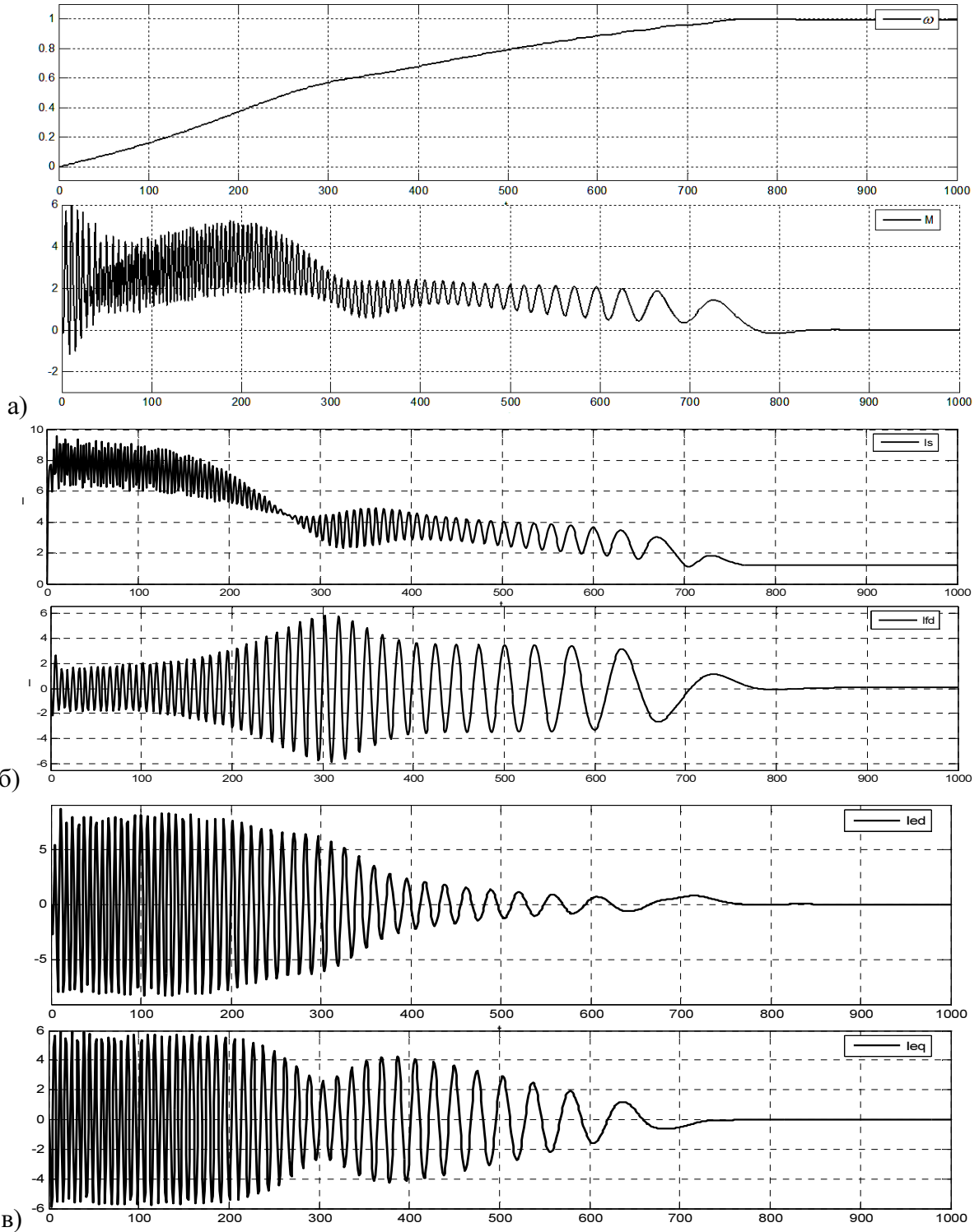


Рисунок 3 – Емкостная компенсация продольного и поперечного демпферных контуров $R=4R_f$, X_{kcd} падает от X_{ad} до 0 за 700с, X_{kcq} падает от X_{aq} до 0 за 400с

Из их анализа следует, что среднее значение электромагнитного момента лежит в пределах от 2 о.е. с локальным максимумом до 5 о.е. в области, близкой к полусинхронной скорости вращения ротора. Огибающая амплитуд тока статора близка к 8 о.е. Происходит также существенное перераспределение токов в контурах ротора с возрастанием тока ОВ от 2 о.е. до 6 о.е. Токи в демпферных контурах близки к 6 о.е. с различным временем затухания. Время пуска СД с компенсированными демпферными контурами составило 750 эл. с., что на 25% меньше по сравнению с пуском СД со стандартной обмоткой.

Выводы. Емкостная компенсация индуктивности демпферной обмотки позволяет увеличить среднее значение электромагнитного момента СД и сократить время его пуска при незначительном возрастании токов контуров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носов К.Б. Средства и способы самозапуска электродвигателей / Носов К.Б., Дворак Н.М. - 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. 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.
5. 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.
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». - К.: Національна академія наук України. – 2002. – Ч.2. – С.62-65.
8. Ахматов М.Г. Синхронные машины. [спец. курс: учеб. пособие для вузов] / М.Г.Ахматов. – М.: Высшая школа, 1984. – 135с.: 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. А.С. 1377992 СССР, МКИ Н 02 Н 1/50. Электропривод / Низимов В.Б., Клименко Ю.М., Колычев С.В. (СССР). – № 3938462/24-07; заявл. 07.08.86; опубл. 29.08.88, Бюл. №8.
11. 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.
12. Моделирование пусковых режимов СД в пакете MATLAB / В.Б.Низимов, С.В.Колычев, А.Ю.Великий, В.И.Хоменко // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2009. – С.117-123.

Поступила в редколлегию 26.03.2012.