

УДК 621.313.323

**УПРАВЛЕНИЕ СИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ
С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ В КОНТУРЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ**

*Низимов В.Б., д.т.н., проф., Колычев С.В., к.т.н., доц., Сторожко В.С., Низимов Р.В.
Днепродзержинский государственный технический университет
51918, г.Днепродзержинск, ул. Днепростроевская, 2
E-mail: Voliansky@ua.fm*

Розглянуто вплив накопичувачів енергії в контурі збудження на несталі режими роботи двигуна. Розрахунками встановлено та експериментально доведено, що накопичувачі енергії поліпшують характеристики двигуна в перехідних режимах.

Ключеві слова: накопичувач енергії, синхронний двигун, режими.

Influence of store energy is considered in the contour of excitation on the unset modes of thruster-on. It is set calculations and experimentally well-proven that the stores of energy improve descriptions of engine in transient behaviors.

Key words: store of energy, synchronous engine, modes.

Введение. В современной промышленности заметна тенденция к расширению областей применения синхронных двигателей (СД), особенно средних и больших мощностей. Применение таких двигателей, с одной стороны, обеспечивает довольно высокие технико-экономические показатели электрооборудования, а с другой, – требует применения новых технических решений для реализации его основных режимов работы. Существенное улучшение эксплуатационных характеристик может быть достигнуто применением емкостных накопителей энергии (ЕНЭ) в контуре возбуждения синхронных двигателей.

К основным режимам работы синхронных двигателей СД относятся: пуск (и в ряде случаев самозапуск СД при кратковременных перерывах электропитания), автоматическое регулирование возбуждения по различным параметрам, форсировка напряжения возбуждения при посадках напряжения электропитания или при приложении ударной нагрузки к валу двигателей и гашение магнитного поля для создания благоприятных условий самозапуска электроприводов механизмов непрерывных технологических процессов.

Несмотря на обилие способов и средств для пуска мощных СД [1, 2], значительное место среди них занимает прямой асинхронный пуск этих машин с пусковым резистором постоянной или переменной кратности в контуре возбуждения [3].

Анализ аварийных остановок СД показывает [4], что причиной их выхода из строя является разрушение обмотки статора и пусковой обмотки из-за значительных токовых нагрузок при их прямом асинхронном пуске. Для ограничения токовых, термических и электродинамических нагрузок предложены системы облегченного пуска [5].

Параметрические способы облегченного пуска СД с использованием реакторов, автотрансформаторов или тиристорных регуляторов напряжения (ТРН) обеспечивают эффективное управление пусковым током и моментом в сторону их уменьшения. Квадратичная зависимость момента от напряжения не позволяет создать вращающие моменты, превышающие момент естественной характеристики СД при одновременном ограничении пускового тока на заданном уровне, что является существенным недостатком этого способа пуска.

Для повышения устойчивости работы СД и увеличения отдаваемой в сеть реактивной мощности при кратковременных понижениях напряжения должна использоваться параметрическая или релейная форсировка напряжения возбуждения [6]. Однако при работе мощных тиристорных электроприводов прокатных станов и других электроприемников с резкопеременной нагрузкой перетоки реактивной мощности, вызывающие колебания напряжения в сетях, не могут быть эффективно скомпенсированы СД, оснащенными тиристорными возбудителями из-за инерционности самого контура возбуждения, что в ряде случаев приводит к потере устойчивости двигателя.

Хотя схемы электроснабжения промышленных предприятий обладают достаточно высокой степенью надежности, наличие резервирования источников питания, применения средств релейной защиты и быстродействующей автоматики делают потерю электропитания потребителей маловероятной. Однако даже и в этом случае неизбежные кратковременные глубокие понижения напряжения, вызываемые короткими замыканиями в системе электроснабжения или перерывы электропитания при автоматических переключениях. Причем, несмотря на кратковременность глубоких по-

садок напруги і перерывів електропитання, вони можуть викликати довготривалі порушення технологічних процесів, великі матеріальні втрати, а в ряді випадків пожежі і вибухи.

Ефективним засобом збереження неперервності складних технологічних процесів ряду промислових підприємств є застосування самозапуску СД. Для обмеження токів включення СД в режимі самозапуску застосовують різні способи гашення поля [7]. Незважаючи на вдосконалення тиристорних систем збудження, останні в умовах порушення електропостачання не завжди забезпечують інтенсивне гашення поля, необхідне для обмеження токів включення СД.

Таким чином, існуючі технічні рішення не в повній мірі забезпечують основні режими роботи СД.

Ціль роботи – порівняльна оцінка впливу ємкостних накопичувачів енергії на характеристики неусталених режимів роботи СД.

Матеріал і результати досліджень. Принципова схема одного з можливих варіантів системи злегченного запуску СД наведено на рис. 1. Оскільки розгон СД відбувається під впливом середнього значення електромагнітного моменту, створюваного пусковою обмоткою і обмоткою збудження, то цілком природно визначити пускові характеристики двигача в розомкнутої системі ТРН-СД з ЕНЭ і без ЕНЭ.

Вказані розрахунки виконані по еквівалентним схемам заміщення СД для продольної і поперечної осей при різних значеннях першої гармонічної напруги тиристорного регулятора [8].

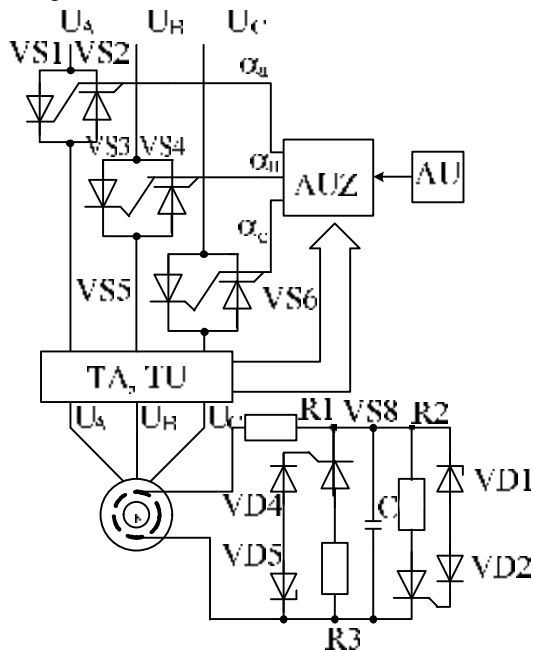


Рисунок 1 – Функціональна схема запуску СД

Ці розрахунки виконані для синхронного двигача типу СДС3-2000-100 потужністю 2000 кВт, номінальною напругою статора $U_{1н}=6000$ В і номінальним током $I_{1н}=229$ А, 100 об/мін. Параметри ОБ: номінальна напруга збудження $U_{1н}=51$ В і номінальний ток ОБ $I_{1н}=276$ А.

Режим асинхронного запуску СД з чотирьохкратним пусковим резистором був прийнятий як базовий варіант. На рис. 2 наведено якісні характеристики СД при послідовному включенні пускового резистора $R1=4R_f$ і ЕНЭ з ємністю 75 мкФ для різних значень напруги перетворювача $U=1; 0,9; 0,8; 0,7 U_n$ (криві 1-4). Залежності $M=f(s)$ і $I_s=f(s)$ при номінальній напругі статора і при $R1=4R_f$ позначені цифрою 5. На рисунках прийнято позначення: АМ – середнє значення асинхронного моменту, о.е.; ТІРІТ – модуль току статора, о.е.

З метою підтвердження основних теоретичних положень і розрахункових залежностей були проведені експериментальні дослідження асинхронного запуску СД з розробленим пристроєм.

В якості модельного двигача використовувався СД типу МСА-72/4А з наступними параметрами: $P_{1н}=12$ кВт, $U_{1н} = 380$ В, $i_{1н} = 21,6$ А, $U_{1н} = 22$ В, $i_{1н} = 21$ А, $n_n = 1500$ об/мін.

Режим асинхронного запуску СД з десятикратним пусковим резистором був прийнятий як базовий варіант. Аналіз осцилограми цього режиму показав, що амплітудні значення токів статора і ротора відповідно рівні 320 А і 46 А, а максимальне перехідне напруга на ОБ становило 505 В (рис. 3).

При включенні в ОБ послідовно з'єднаних п'ятикратних пускового і шунтуючого резистора і НЭ ємністю 300 мкФ, відбулося зниження току статора до величини 280 А при збільшенні току обмотки збудження до величини 58 А (рис. 4), що відповідає зниженню току статора на 12,5 % і збільшенню току обмотки збудження на 26 %.

Для обмеження рівня перенапруг на ОБ, ЕНЭ шунтувався тиристорними ключами, управляємими по рівню напруги за рахунок включення в управляючі цепі стабілітронів з напругою пробоя 162 В. З осцилограми цього режиму слідує, що рівень перехідного напруги знизився на 31 % порівняно з резисторним запуском і становив 347 В.

Таким чином, застосування ємкостних накопичувачів енергії в обмотці збудження в поєднанні з тиристорним регулятором напруги в цепі статора забезпечує необхідний асинхронний момент СД при зниженні токової навантаження обмоток статора, обмежує перенапруги на ОБ і дозволяє використовувати складову енергію ковзання, запасену ємкостним накопичувачем енергії в час асинхронного запуску.

Анализ расчетных зависимостей показывает, что включение ЕНЭ также позволяет существенно увеличивать пусковые моменты СД при ограничении тока статора. При скольжениях $s=0,1\dots 0,15$ целесо-

образно шунтировать ЕНЭ тиристорными ключами для поддержания входного момента на уровне естественной характеристики двигателя.

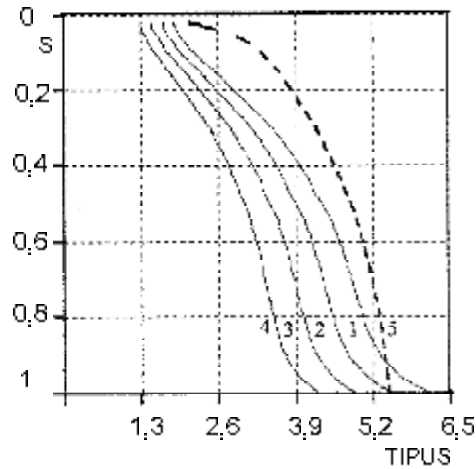
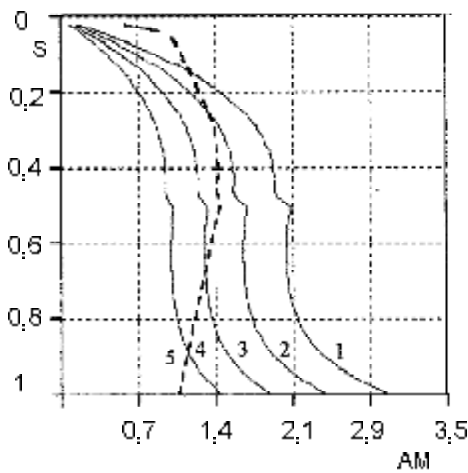


Рисунок 2 – Пусковые статические характеристики системы ТРН-СД с ЕНЭ

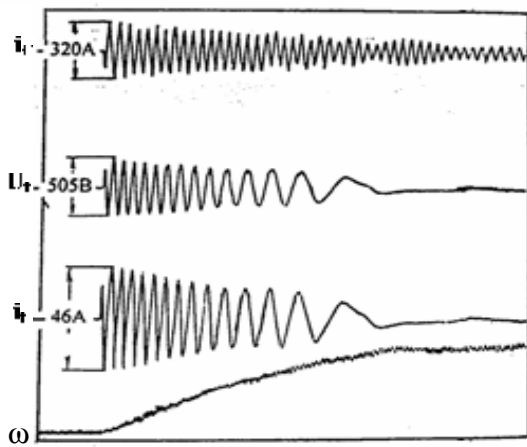


Рисунок 3 – Осциллограмма асинхронного пуска СД с десятикратным резистором

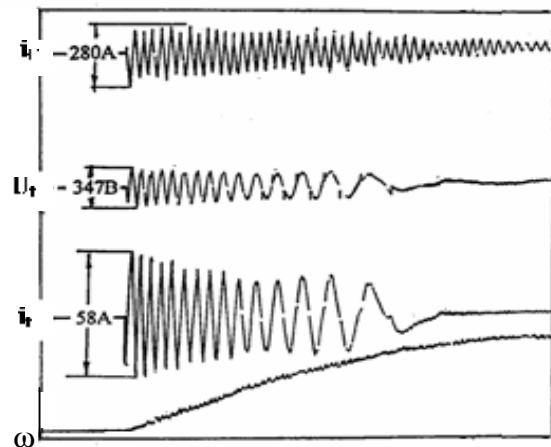


Рисунок 4 – Осциллограмма асинхронного пуска СД с ЕНЭ и ТРН в цепи статора

Для сравнительной оценки влияния электрической емкости НЭ на режимы форсировки возбуждения получены расчетные зависимости с емкостным накопителем энергии и без НЭ.

На рис. 5, а, б представлены расчетные зависимости режима форсировки напряжения СД при набросе ударной нагрузки на вал двигателя, равной 0,8 о.е., при одновременной посадке напряжения в питающей электросети до 0,8 U_n соответственно с ЕНЭ в контуре возбуждения и без ЕНЭ.

Сравнительный анализ расчетных зависимостей показывает, что быстрдействие форсировки тока возбуждения с ЕНЭ в ОВ значительно выше, чем в серийных тиристорных возбудителях. Однако, форсированный режим вызывает повышение всплеска тока статора, электромагнитного момента и качания ротора.

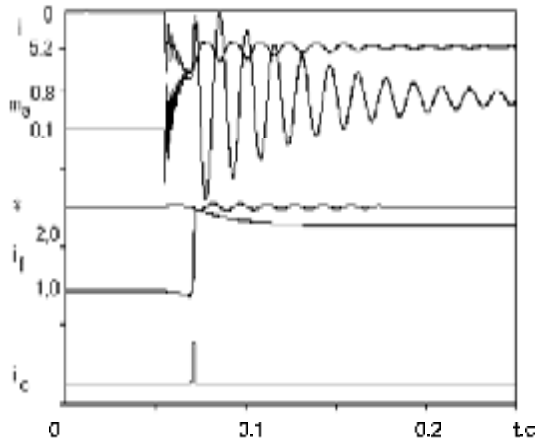
На рис. 6, а приведена осциллограмма форсировки возбуждения с емкостной компенсацией инерционности контура возбуждения. На рисунке приняты обозначения: i_f – ток контура возбуждения; i_{UL} – ток возбудителя; U_f – напряжение возбудителя; i_C – ток разряда емкостного накопителя.

На рис. 6, б приведена осциллограмма режима форсировки возбуждения без компенсации инерционности контура возбуждения.

Анализ осциллограмм (рис. 6) показывает, что время достижения током возбуждения форсировочного значения составляет соответственно 0,08 с и 0,16 с.

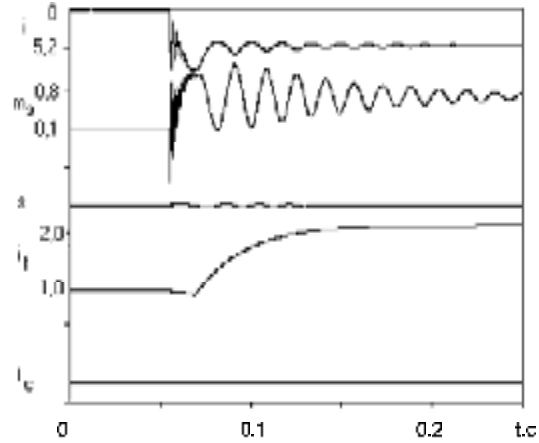
Для сравнительной оценки различных устройств возбуждения получены расчетные зависимости режима гашения поля СД типа ЕСС-52-4 мощностью

5 кВт на математической модели, представленной



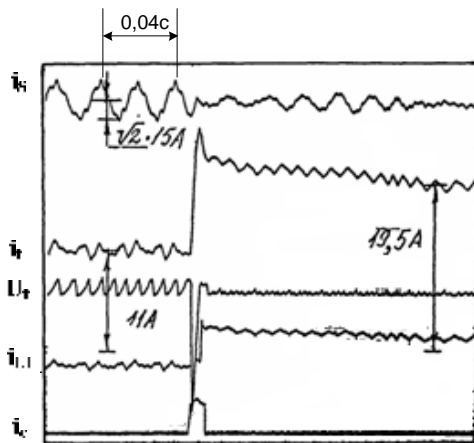
а)

уравнениями Парка-Горева в осях d, q и системы

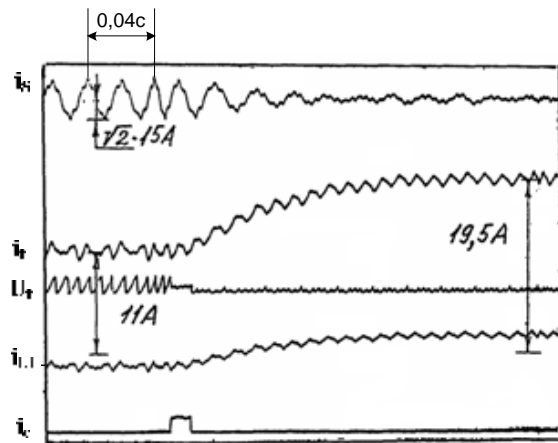


б)

Рисунок 5 – Расчетные зависимости режима форсировки возбуждения СД при набросе нагрузки $M_c=0,8$ о.е. и посадке напряжения в сети до $0,8 U_n$: а) с ЕНЭ в ОВ; б) без ЕНЭ в ОВ



а)



б)

Рисунок 6 – Режим форсировки возбуждения СД: а) с ЕНЭ в ОВ; б) без ЕНЭ в ОВ

о.е. при следующих данных: момент статического сопротивления $m=0,1$ о.е.; кратность напряжения инвертирования $K_n=1,7$; емкость НЭ $C=250$ мкФ и сопротивление шунтирующего резистора $R_{CH}=10 \cdot R_f$.

На рис. 7 представлены расчетные зависимости режимов гашения поля СД соответственно при инвертировании возбуждателя (а) и при выключении тиристорного возбуждателя ЕНЭ и переводом тока в контур разрядного резистора (б). На рис. 7 приняты обозначения: ψ_0 – потокосцепление в зазоре СД; i_f , U_f – ток и напряжение обмотки возбуждения.

Анализ расчетных зависимостей показывает, что в разработанном устройстве происходит более интенсивное спадание потока и тока в контуре возбуждения.

С целью подтверждения основных теоретических положений были проведены экспериментальные исследования этого же двигателя. На осциллограммах приняты следующие обозначения: e_1 –

э.д.с. обмотки статора; i_b , i_{UL} , i_c – соответственно ток ОВ, ток возбуждателя и ток разряда ЕНЭ; U_f – напряжение возбуждателя.

На рис. 8, а представлена осциллограмма процесса гашения поля СД при переводе возбуждателя в инверторный режим с форсировкой напряжения, равной $K_n=2,2$ при начальном напряжении 10 В и токе 5 А. Время достижения током возбуждения нулевого значения составило 0,154 с.

На рис. 8, б представлена осциллограмма процесса гашения поля СД с ЕНЭ и разрядным резистором. Кратность максимального переходного напряжения на ОВ составила $K_n=4,0$, а время гашения поля – всего лишь 0,114 с.

Выводы. Расчетами установлено и экспериментальными исследованиями подтверждено, что применение накопителей энергии улучшает характеристики синхронного двигателя в основных нестационарных режимах работы.

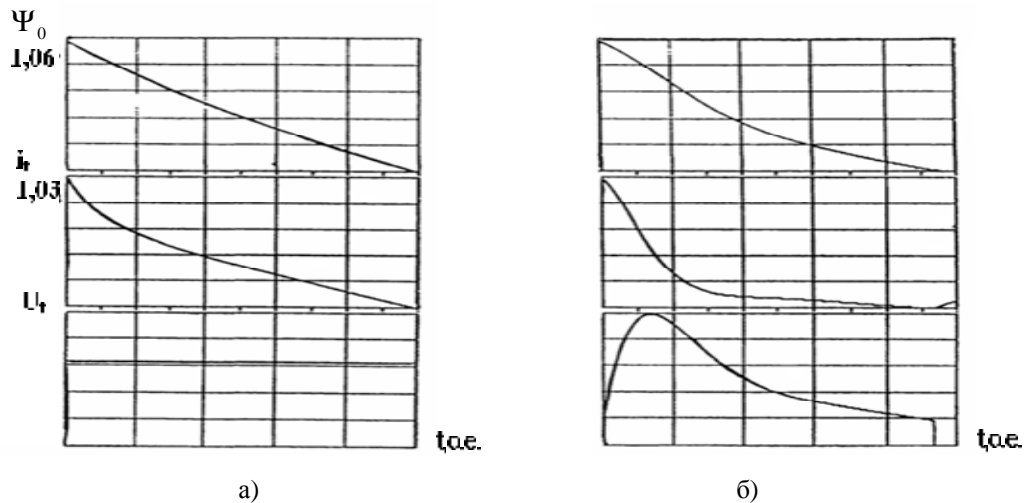


Рисунок 7 – Расчетные зависимости режима гашения поля СД: а) при инвертировании возбуждителя; б) при включении ЕНЭ с шунтирующим резистором

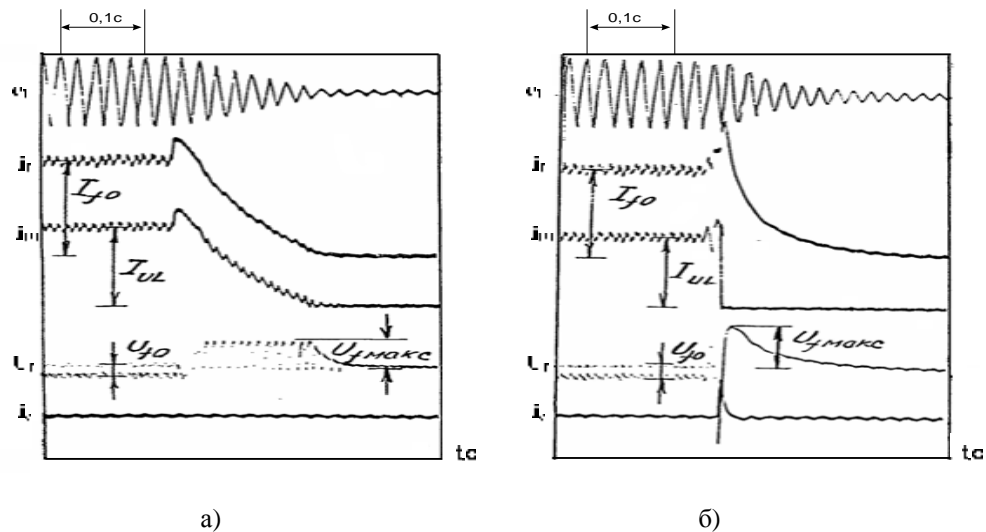


Рисунок 8 – Осциллограммы режима гашения поля СД: а) при инвертировании возбуждителя; б) при включении ЕНЭ с шунтирующим резистором

ЛИТЕРАТУРА

1. Глебов И.А., Шулаков Н.В., Крутяков Е.А. Проблемы пуска сверхмощных синхронных машин. – Л.: Наука. Ленингр. – отд-ние, 1988. 197 с.
2. Носов К.Б., Дворак Н.М. Средства и способы самозапуска электродвигателей. - Кемерово: Кемеровское книжное изд-во, 1985. - 128 с.
3. Абрамович Б.Н. О кратности пускового сопротивления синхронных двигателей // Электротехническая промышленность. Электрические машины. - М: - Информэлектро, 1974. - вып. 4(38). - С. 14-15.
4. Виноградов С.Б. Оценка работоспособности электроприводов насосных станций горно-обогатительных комбинатов // Сб. науч. тр. Вып. 2 – Кременчуг, КГПИ: – 1998. – С.125-127.
5. Луговой А.В., Родькин Д.И., Черный А.П., Хайлина С.Г. // Энергосберегающее оборудование для систем нерегулируемого электропривода Сб. науч. тр. Вып.1 - Кременчуг, КГПИ. – 1998. - С. 15-23.

6. Слодарж И.М. Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных двигателей. – М.: – Энергия, 1977.-216с.
7. Голоднов Ю.М. Самозапуск электродвигателей.-2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 136 с.
8. Низимов В.Б., Низимов Р.В. Влияние емкостных накопителей энергии на статические характеристики асинхронного пуска синхронных двигателей// Науковий вісник НГА України – 2001 - №2. - С.74-78.
9. Съянов А.М., Низимов Р.В., Низимов В.Б. Система форсировки возбуждения синхронного двигателя с накопителем энергии // Науковий вісник НГА України. - 2002. - №2. - С.86-88.

Стаття надійшла 16.04.2008 р.