

Качин Олег Сергеевич
Kachin Oleg Sergeevich

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
National Research Tomsk Polytechnic University
Доцент/Senior Lecturer
кандидат технических наук, к.т.н.
E-Mail: kos@tptu.ru

Киселев Александр Викторович
Kiselev Alexander Viktorovich

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
National Research Tomsk Polytechnic University
Ассистент/Assistant
кандидат технических наук, к.т.н.
E-Mail: kiselevav@tptu.ru

05.09.01 - Электромеханика и электрические аппараты

Исследование режимов работы системы синхронный генератор – схема питания – нагрузка с применением современных пакетов maxwell и simplorer

Research of work conditions of the system which contains synchronous generator – power supply circuit – load with help of modern software maxwell and simplorer

Аннотация: В статье исследована возможность динамической связки модели магнито-электрического генератора и схемы электропитания с использованием современных программных продуктов ANSOFT. Приведены результаты моделирования системы при различных значениях параметров элементов фильтра. Выработаны рекомендации с целью продления ресурса забойной телеметрической системы.

The Abstract: In the article investigated combination of model of Permanent Magnet Generator and Power Supply schematic with help of modern software products, such as ANSOFT. Evaluated results are given for a wide range of filter elements parameters. After analysis of results, some recommendations are given for lifetime elongation of Measurement While Drilling Tool.

Ключевые слова: Магнитоэлектрический генератор, метод конечных элементов, забойная телеметрическая система, Maxwell, Simplorer.

Keywords: Permanent Magnet Generator (PMG), Finite Element Method (FEM), Measurement While Drilling (MWD), Maxwell, Simplorer.

Синхронные электрические машины с возбуждением от постоянных магнитов являются наиболее перспективными электрическими машинами в диапазоне малых и средних мощностей. Их преимуществами являются простота, надежность, жесткость характеристик, малые потери, отсутствие узлов токосяема со скользящими контактами и высокая удельная мощность. Эти качества обуславливают применение вентильных двигателей (ВД) в промышленных системах автоматизации, роботах и манипуляторах, координатных устройствах, автоматиче-

ских линиях, упаковочных и печатных машинах, принтерах и плоттерах, в авиационной и медицинской технике [2].

С широким распространением редкоземельных магнитов с высокой индукцией популярность синхронных электродвигателей и генераторов еще более возросла. Предпочтение отдается высокоэнергетическим магнитам: "самарий-кобальт" (Sm-Co) и "неодим-железо-бор" (Nd-Fe-B). Постоянное удешевление магнитных материалов, а также ускоряющееся развитие аппаратной базы систем управления и устройств силовой электроники сделали возможным применение ВД в тех областях техники, где традиционно применялись только машины постоянного тока или специальные асинхронные двигатели.

Одной из важных областей применения синхронных генераторов с постоянными магнитами являются автономные забойные телеметрические системы (ЗТС), которые применяются при бурении скважин. Указанные системы предназначены для обеспечения проводки и оперативного управления бурением наклонно-направленных, горизонтальных скважин и боковых стволов. Применение ЗТС позволяет проводить измерения навигационных и геофизических параметров в процессе бурения, «в статике» без циркуляции бурового раствора, а также вести запись информации при подъеме инструмента. Измеряемые параметры обычно следующие: зенитный угол, азимутальный угол, положение отклонителя, виброкаротаж, температура на забое и обороты вращения генератора.

Специфика применения забойных телеметрических систем предъявляет целый ряд жестких требований к используемым в них электронным и электромеханическим системам. Оборудование должно выдерживать высокий уровень вибраций, давлений и температур, быть ударопрочным. Экстремальные условия работы данных систем приводят к тому, что межремизонный интервал составляет порядка 200 часов. Часто нагрузка на генератор носит нестационарный характер, например, при формировании выходного тока после выпрямителя при помощи широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Работа генератора на такую нагрузку сопровождается сложными переходными процессами, приводящими к перегрузке генератора и изменению формы выходного тока.

При практическом применении ЗТС достаточно часто возникают неисправности, связанные с выходом из строя элементов электронной части, в частности, серьезной проблемой стал частый выход из строя электролитических конденсаторов в системе питания [3].

Целью проведенных исследований являлось проведение всесторонних исследований системы синхронный генератор с постоянными магнитами – схема питания – нагрузка с целью выработки рекомендаций по устранению скорого выхода электронных компонентов из строя.

Объектом исследований являлась следующая система: трехфазный магнитоэлектрический турбогенератор с ротором на постоянных высококоэрцитивных магнитах и безпазовым статором, работающий на нагрузку через мостовой выпрямитель и сглаживающий фильтр.

Учитывая сложность системы, количество изменяющихся внешних и внутренних параметров, исследование только генератора и его электромагнитных процессов во времени методом конечных элементов является недостаточным. Для более детального и достоверного исследования системы необходимо выполнить электромагнитный расчет в совокупности с расчетом процессов, происходящих во всей электрической цепи, включая нагрузку и ее характер. Это поможет подробно исследовать переходные процессы в системе генератор-выпрямитель-фильтр и выявить причину возникновения частых неисправностей оборудования.

Указанную задачу можно решить с применением современного программного обеспечения. Для решения подобного типа задач применяются пакеты Maxwell (электромагнитные расчеты методом конечных элементов) и Simplorer (расчет процессов в электрических цепях).

Оба программных продукта разработаны компанией Ansoft и являются одними из лучших на рынке [1].

Для проведения исследований, в среде Maxwell была создана модель трехфазного синхронного генератора, представленная на рисунке 1. Внешний диаметр статора – 46 мм. Обмотки статора содержат 24 витка.

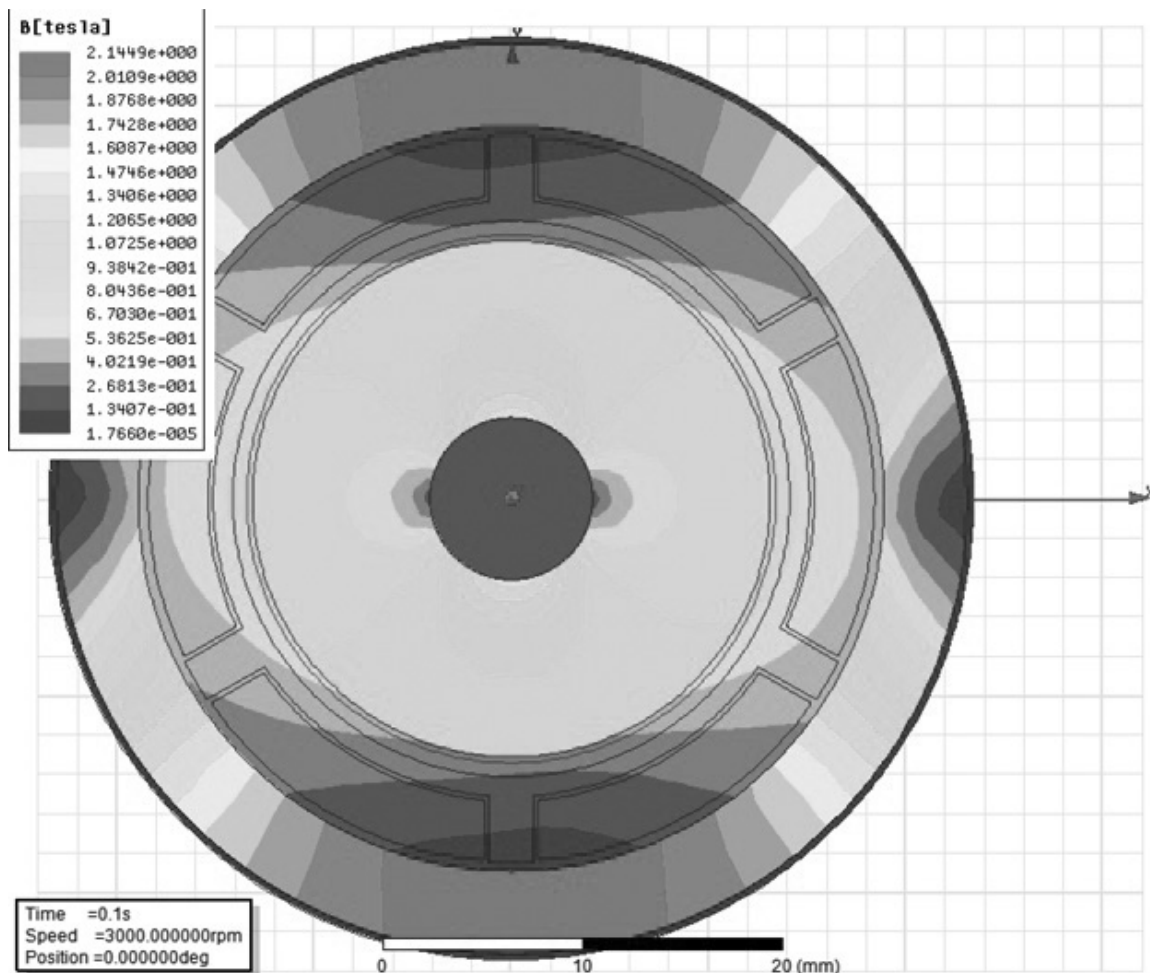


Рис. 1. Модель трехфазного синхронного генератора с постоянными магнитами в среде Maxwell

Были проведены электромагнитные расчеты указанной модели генератора методом конечных элементов. Результаты расчетов показали высокую сходимость с характеристиками реального объекта (порядка 2%).

В составе забойной телеметрической системы генератор выполняет и функцию датчика (отражает объем прошедшего бурового раствора) и источника питания для бортовой аппаратуры. Упрощенная электрическая схема системы электропитания ЗТС приведена на рисунке 2.

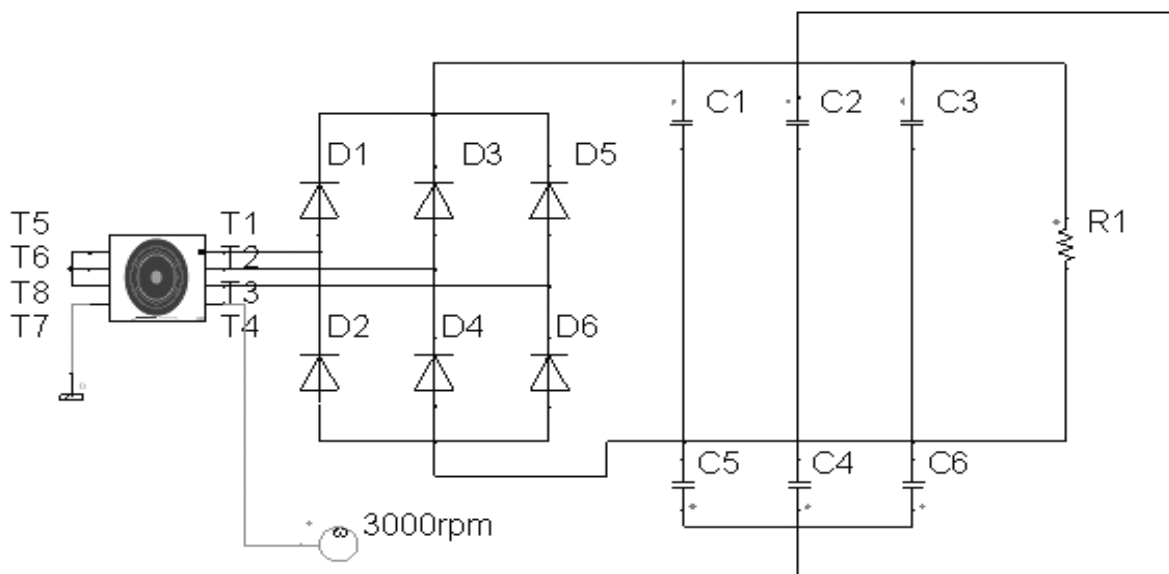


Рис. 2. Электрическая схема системы электропитания ЗТС в среде Simplorer

Работа схемы выглядит следующим образом. Трехфазное напряжение с выходов T1-T3 генератора поступает на выпрямитель, образуемый диодами D1-D6, после которого для сглаживания пульсаций установлена батарея параллельно соединенных электролитических конденсаторов C1-C6. Нагрузка R1 имеет преимущественно активный характер, но изменяется в широком диапазоне: от 0,5 до 1 Ом.

Симбиоз программных продуктов Maxwell и Simplorer позволяет добиться высокой достоверности расчетов благодаря одновременному расчету электромагнитных и электрических переходных процессов в системе. Так, на рисунке 3 представлен ток, протекающий в конденсаторе C1 емкостью 33 мкф при нагрузке сопротивлением 1 Ом и частоте вращения вала генератора 3000 об/мин. Суммарная емкость батареи конденсаторов составляет 198 мкф.

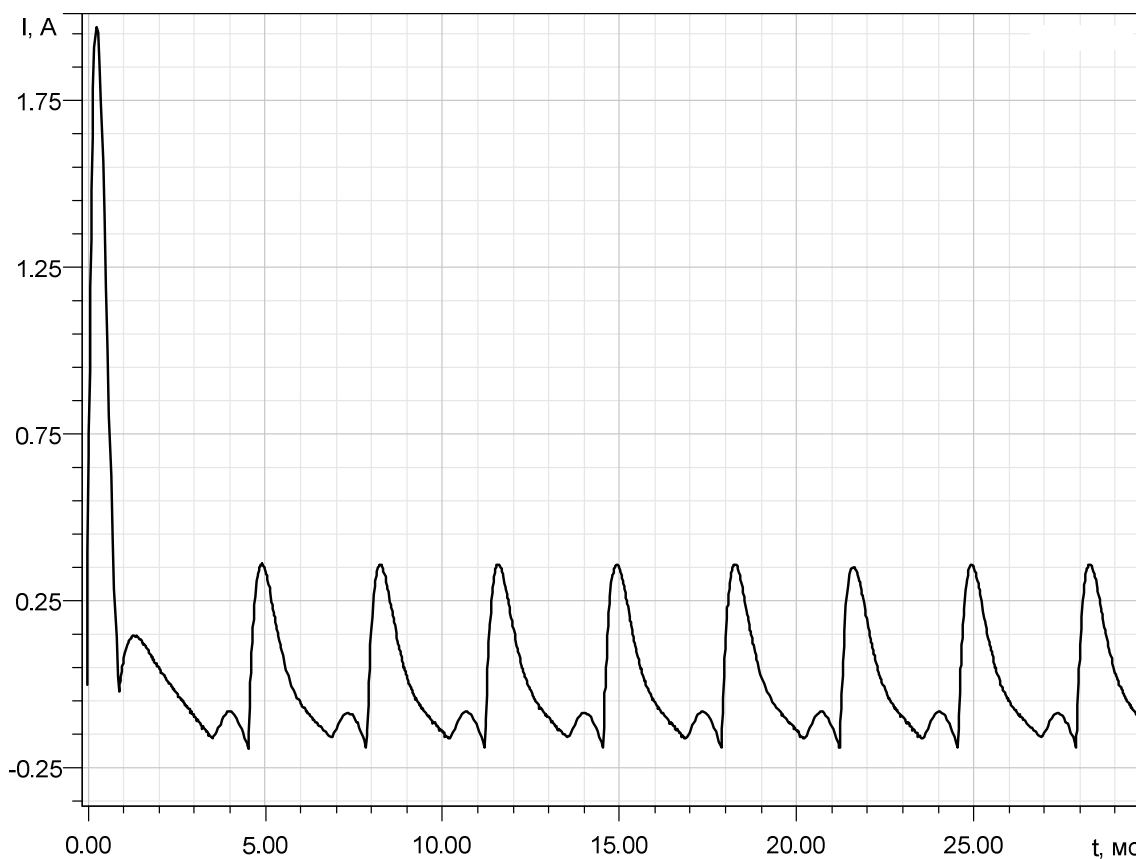


Рис. 3. Зависимость амплитуды тока, протекающего через конденсатор емкостью 33 мкф от времени в среде моделирования Simplorer

На рисунке 4 представлен ток, протекающий в конденсаторе С1 емкостью 330 мкф при нагрузке сопротивлением 1 Ом и частоте вращения вала генератора 3000 об/мин. Суммарная емкость батареи конденсаторов в данном случае составит 1980 мкф.

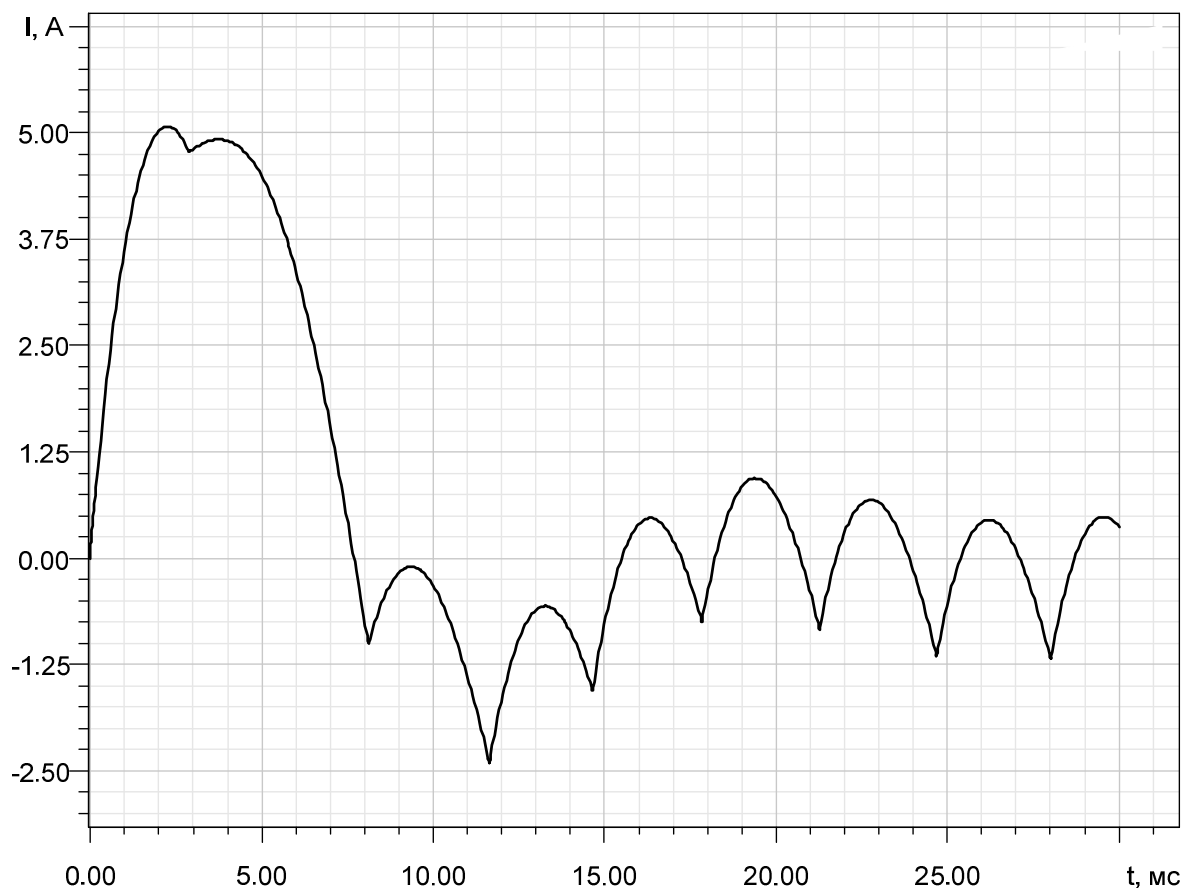


Рис. 4. Зависимость амплитуды тока, протекающего через конденсатор емкостью 330 мкф от времени в среде моделирования Simplorer

Как следует из представленных на рисунке 4 данных, начальный зарядный ток конденсатора увеличился в 2,6 раза по сравнению с вариантом, представленном на рисунке 3.

На рисунке 5 представлен ток, протекающий в конденсаторе С1 емкостью 680 мкф (применяется в настоящее время в рассматриваемой ЗТС) при нагрузке сопротивлением 1 Ом и частоте вращения вала генератора 3000 об/мин. Суммарная емкость батареи конденсаторов составляет 4080 мкф.

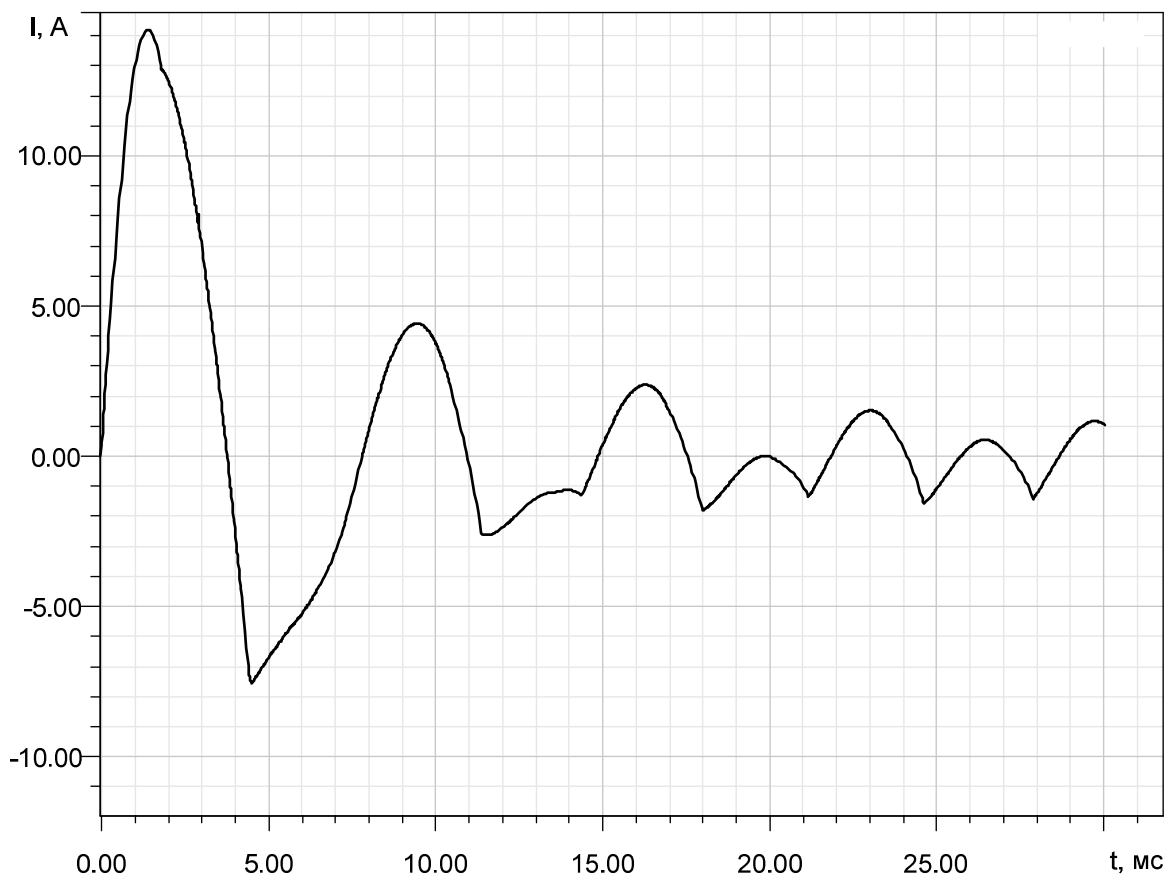


Рис. 5. Зависимость амплитуды тока, протекающего через конденсатор емкостью 680 мкф от времени в среде моделирования Simplorer

Из представленных на рисунке 5 данных, начальный зарядный ток конденсатора увеличился более, чем в 7,6 раза по сравнению с вариантом, представленном на рисунке 3.

Проанализировав полученные в результате проведенных исследований данные, авторы пришли к выводу, что зарядный ток порядка 14,5 А является достаточно высоким и может привести к преждевременному выходу конденсаторов из строя. В связи с этим, можно рекомендовать уменьшить емкость сглаживающих конденсаторов до 330 мкф. При этом зарядный ток снизится до 5 А, а суммарная емкость батареи составит 1980 мкф, что позволит удержать амплитуду пульсаций напряжения на нагрузке в допустимых пределах – порядка 2 В.

Также следует отметить тот факт, что температура окружающей среды в процессе эксплуатации ЗТС достаточно высока, вследствие чего температура электронных компонентов, в том числе и электролитических конденсаторов может достигать 100-110 °С. Этот фактор очень негативно сказывается на ресурсе электролитических конденсаторов, которые достаточно плохо переносят перегрев свыше 105 °С. В связи с этим, можно сделать рекомендацию следующего характера: использовать электролитические конденсаторы специального исполнения с расширенным диапазоном рабочих температур, например конденсаторы Vishay серии 120 АТС, с рабочей температурой до 125 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клявлин А.В. ANSYS, Inc.: современные методы моделирования электромагнитного поля. Журнал «САПР и графика» июнь 2011, стр.52-55.
2. Ледовский А.Н. Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 168 с.; ил..
3. Хорьков А.К. Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности: Сборник статей – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2000. – 350 с.

Рецензент: Александр Александрович Осадченко, ведущий эксперт управления взаимодействия с резидентами, к.т.н., Особая экономическая зона технико-внедренческого типа «Томск»