

изобретение конструкций и разработка безотходной технологии производства микромашин;

математическое моделирование переходных процессов и проектирование электрических машин для динамических режимов работы.

В 1970–80-е годы кафедрой возглавлял профессор И.П. Копылов. В этот период исследования выше-названных проблем продолжались. Особое внимание уделялось компьютеризации учебных дисциплин и внедрению ЭВМ в научные работы, развитию аспирантуры и подготовке научных кадров высшей квалификации для собственной научной школы, других вузов и организаций страны и иностранных государств. Профессорами кафедры стали В.А. Кузнецов, В.Я. Беспалов, И.Л. Осин и В.И. Извеков.

В настоящее время кафедрой заведует профессор В.Я. Геча. В продолжение славных традиций школы электромеханики МЭИ на кафедре ведутся работы в следующих направлениях:

компьютерные исследования магнитных и тепловых полей в машинах для энергетики и транспорта, возобновляемых источников энергии и др.;

проектирование специальных асинхронных и синхронных двигателей для частотно-регулируемых приводов различного назначения (экскаваторов, горных машин, большегрузных автомобилей и др.);

исследование и разработка вентильных электродвигателей различных типов;

математическое моделирование волновых процессов и перенапряжений в электромеханических системах с полупроводниковыми преобразователями;

создание алгоритмов и программ для изучения коммутационных переходных процессов и радиопомех коллекторных двигателей;

моделирование и проектирование электрических машин линейного перемещения.

В государственной системе высшего образования кафедра электромеханики МЭИ признана и остается базовой организацией для повышения квалификации преподавателей вузов и специалистов электротехнической промышленности. Созданные сотрудниками кафедры учебники, образовательные стандарты и программы обучения студентов используют в своей работе преподаватели электротехнических дисциплин вузов России.

Геча В.Я., проф., Беспалов В.Я., проф.

* * *

Способ получения электрической энергии на основе использования избыточного магистрального давления жидкости

КОТЕЛЕНЕЦ Н.Ф., ЕЖОВ Е.В., ИВАНОВ А.С., БОГАЧЕВ А.В.

Рассмотрены альтернативные варианты работы и исполнения системы по использованию избыточного магистрального давления жидкости. Проведены соответствующие экспериментальные исследования автономной работы асинхронного генератора и синхронизации синхронного генератора с сетью.

Ключевые слова: *система теплоснабжения, теплоноситель, способ получения электроэнергии, асинхронный генератор, синхронный генератор*

Alternative versions of operation and makeup of a system for using main-line gage pressure of liquid are considered. Relevant experimental investigations of independent operation of an asynchronous generator and synchronization of a synchronous generator with the network are carried out.

Key words: *heat supply system, heat carrier, method for obtaining electric energy, asynchronous generator, synchronous generator*

Все большую актуальность приобретают вопросы энергосбережения. Россия остается одной из самых неэнергоэффективных стран и занимает 12-е место в мире по энергорасточительности. Потенциал повышения энергоэффективности составляет 420 млн т. у. т./год, а это 45% уровня потребления настоящего времени. Это равно 2% мирового потребления энергетических ресурсов, что соответствует почти годовому мировому приросту потребления энергии, т.е. если бы был реализован этот потенциал энергосбережения, вся мировая экономи-

ка могла бы затормозить рост энергопотребления примерно на 1 год [1].

Один из самых больших потенциалов в области энергоэффективности заключается в распределительно-сетевом комплексе, где по-прежнему наблюдаются значительные потери. При соответствующей модернизации их можно сократить в 2 раза.

В системе централизованного теплоснабжения все абоненты, расположенные близко к источнику тепла, вынужденно получают теплоноситель с из-

быточным давлением, которое попросту дросселируется и безвозвратно теряется в тепловых пунктах. В качестве примера на рис. 1 приведены значения потерь давления при дросселировании потоков теплоносителя на характерных тепловых пунктах, эксплуатирующихся в ОАО «МОЭК». Очевидно, что значительная часть энергии, затраченной на создание магистрального перепада давления, является потерянной и составляет от 50 до 75% для всей представленной выборки тепловых пунктов.



Рис. 1. Потери давления в тепловых пунктах при дросселировании

Кафедрой электромеханики МЭИ в сотрудничестве с НЦ «Износостойкость» был предложен и реализован на практике способ получения электрической энергии на основе использования избыточного магистрального давления жидкостей. Эта система (СРД) представляет собой совокупность гидротурбины, генератора переменного тока, запорно-регулирующей арматуры и блока автоматического управления. Выполняя функции демпфирующего устройства, СРД обеспечивает снижение давления в гидравлической системе до требуемого значения, а весь избыточный перепад давления посредством гидроагрегата преобразуется в электрическую энергию и возвращается в местную сеть. Структурная схема СРД представлена на рис. 2 [2, 3].

Подобные установки были установлены на семнадцати тепловых пунктах Москвы, где успешно эксплуатируются. В качестве генераторов используются серийные асинхронные двигатели, работающие параллельно с местной электрической сетью.

Также возможен вариант автономной работы асинхронного генератора на собственные нужды: аварийное освещение, аварийное теплоснабжение, освещение подъездов, частичная компенсация энергозатрат теплового пункта. Например, в случае аварийного отключения электрической энергии ос-

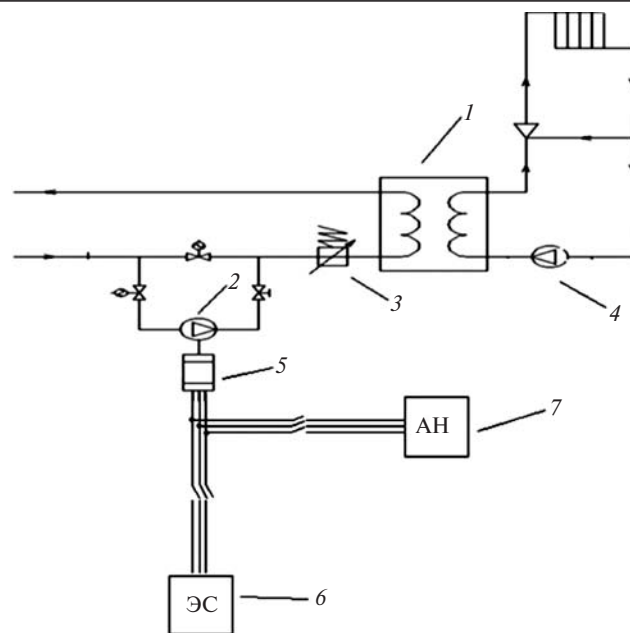


Рис. 2. Структурная схема СРД: 1 – теплообменник; 2 – турбина; 3 – регулятор давления; 4 – насос циркуляции; 5 – электрический генератор; 6 – электрическая сеть; 7 – автономная нагрузка

танавливаются электронасосы и прекращается циркуляция теплоносителя во вторичном контуре. Длительный перерыв в электроснабжении в холодное время года приводит к разрыву трубопроводов и батарей отопления и затем – к размораживанию тепловой сети и необходимости их дорогостоящего ремонта или замены перед повторным подключением потребителей тепловой энергии после восстановления электроснабжения. Предотвратить эти последствия можно с помощью автономной системы создания давления, которая может быть построена на базе аккумулятора, заряжающегося от генератора в нормальном режиме работы теплового пункта, и электронасоса, создающего давление в случае отключения основных насосов и потребляющего для этого электрическую энергию от аккумулятора.

На кафедре электромеханики МЭИ было проведено экспериментальное исследование автономной работы асинхронного генератора с возбуждением от батареи статических конденсаторов¹. Для экспериментального исследования был выбран трехфазный асинхронный двигатель АК 51/6 с номинальными параметрами: мощность $P = 1,7$ кВт, частота $f = 50$ Гц, коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,72$, напряжение $U = 380$ В, частота вращения $n_1 = 1000$ об/мин. Принципиальная электрическая схема эксперимента представлена на рис. 3.

¹ В экспериментальном исследовании принимал участие инж. Ш.И. Шарифуллин.

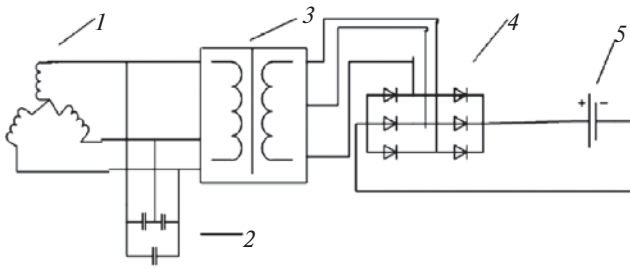


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема эксперимента: 1 – асинхронный генератор; 2 – батарея конденсаторов; 3 – трансформатор; 4 – трехфазный выпрямитель; 5 – аккумуляторная батарея

В ходе эксперимента были сняты зависимости напряжения и тока от частоты вращения n для двух

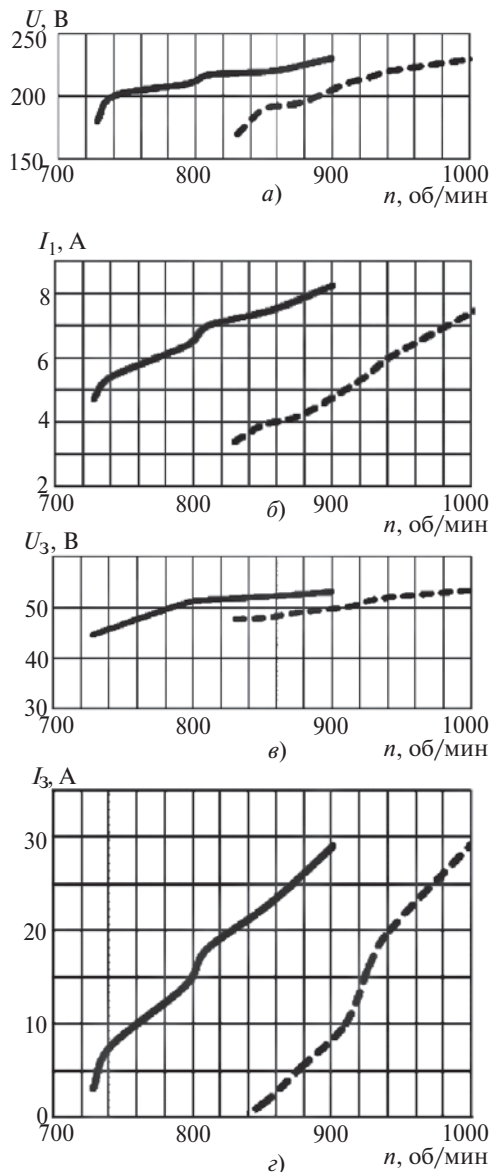


Рис. 4. Экспериментальные зависимости: а – выходное напряжение генератора $U = f(n)$; б – ток статора генератора $I_1 = f(n)$; в – зарядное напряжение аккумулятора (напряжение на выходе выпрямителя) $U_3 = f(n)$; г – ток зарядки $I_3 = f(n)$; — — — — 40 мкФ; - - - - - 60 мкФ

значений емкости возбуждения: для $C_1 = 40$ мкФ и $C_2 = 60$ мкФ. Полученные характеристики представлены на рис. 4. Они дают представление о влиянии частоты вращения вала и емкости конденсаторной батареи на выходное напряжение. Эти характеристики показывают возможность оптимального подбора емкости конденсаторных батарей для получения необходимого напряжения и тока зарядки аккумуляторной батареи.

В настоящее время рассматривается исполнение установок с синхронным генератором вместо асинхронного генератора. Для этого на кафедре электромеханики МЭИ был проведен опыт по синхронизации синхронного генератора в процессе его разгона². Экспериментальный стенд состоит из синхронного генератора и приводного двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением. Разгон синхронного генератора осуществляется подачей регулируемого напряжения на двигатель постоянного тока. Таким образом, мы имеем возможность регулировать темп разгона и установившуюся частоту вращения СГ.

В опыте использовался синхронный генератор с номинальными параметрами: активная мощность $P = 2$ кВт, частота напряжения $f = 50$ Гц; коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,8$; напряжение $U = 230$ В; схема соединения обмотки статора – Y, частота вращения $n_1 = 3000$ об/мин; $x_{\sigma} = 0,229$ отн. ед.

В действующих установках отсутствует возможность точного и быстродействующего регулирования скорости турбины, поэтому классический метод точной синхронизации не пригоден. При этом использование способа грубой синхронизации нежелательно, в силу того что бросок момента (тока) при включении генератора велик, что отрицательно влияет на работу турбины. Поэтому стояла задача объединить достоинства точной и грубой синхронизации (возможность синхронизации с небольшим толчком уравнивающего тока и возможность быстрого включения).

Для решения этой задачи включение синхронизации генератора проводится по следующему алгоритму. В первую очередь устанавливается номинальное возбуждение холостого хода (возбуждение, при котором напряжение на обмотке якоря на холостом ходу генератора равняется номинальному). Затем в турбину подается вода и генератор начинает разгон. Момент включения генератора в сеть определяется по уровню напряжения биения Du (мгновенной разности напряжения генератора и напряжения сети).

$$\text{Ток включения генератора } I_{\text{вкл}} = Du / x_{\sigma}$$

² В экспериментальном исследовании принимал участие инж. Т.С. Дементьев.

При ограничении тока в один номинал максимально допустимый уровень напряжения биения, при котором происходит включение синхронного генератора экспериментальной установки в сеть, равен $Du = x_{\Sigma} I_{\phi} = 0,229 \times 27 = 29,1$ В. Поэтому включение генератора в сеть осуществляется при значении напряжения биения $Du \leq 29$ В.

Было проведено десять однотипных опытов по разгону генератора от нулевой частоты вращения до номинальной с подключением генератора на параллельную работу и фиксацией ударных токов. Время разгона составляло около 3 с. Это время соответствует времени разгона пар «турбина—генератор», установленных на действующих установках. Результаты эксперимента:

Номер опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\frac{I_{уд}}{I_{ном}}$	0,7	0,7	0,5	0,6	1,2	0,8	0,4	0,9	0,5	0,45

Эксперимент показал, что синхронный генератор успешно включается на параллельную работу, а предложенный способ синхронизации отвечает требованию по ограничению тока.

Выводы. 1. Оптимальным подбором емкости конденсаторных батарей возможно получить необходимые напряжение и ток зарядки аккумуляторной батареи при работе асинхронного генератора на автономную нагрузку.

2. Практически подтверждена возможность синхронизации синхронного генератора при разгоне. При этом средний ударный ток включения не превышает 0,68 номинального значения.

3. С точки зрения ударных токов и моментов при включении на параллельную работу использование синхронного генератора является более предпочтительным, нежели использование асинхронной машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башмаков И.А. Потенциал энергосбережения в России. — Энергосбережение, 2009, №1.
2. Патент РФ №2239752. Система рекуперации избыточного давления магистральных сетей водо- и теплоснабжения/А.В. Волков, С.И. Погорелов, В.А. Рыженков. — БИ, 2004, №31.
3. Волков А.В., Парыгин А.Г., Рыженков В.А., Щербаков С.Н. Получение электрической энергии в системах тепло- и водоснабжения на основе рекуперации избыточного магистрального давления. — Новости теплоснабжения, 2007, №10.

А в т о р ы : Котеленец Николай Федорович окончил электромеханический факультет МЭИ в 1964 г. В 1972 г. защитил кандидатскую диссертацию «Управляемое подмагничивание как способ повышения устойчивости синхронных машин». Доцент кафедры электромеханики НИУ «МЭИ».

Ежов Евгений Викторович окончил электромеханический факультет МЭИ в 1992 г. Инженер кафедры электромеханики НИУ «МЭИ», ведущий инженер НЦ «Износостойкость».

Иванов Александр Сергеевич окончил Институт электротехники МЭИ в 2009 г. Аспирант кафедры электромеханики НИУ «МЭИ», инженер НЦ «Износостойкость» МЭИ.

Богачев Александр Викторович окончил институт электротехники МЭИ в 2011 г. Аспирант кафедры электромеханики НИУ «МЭИ», инженер НЦ «Износостойкость» МЭИ.

* * *

Уважаемые авторы!

Редакция публикует при каждой статье краткие сведения об авторах. В связи с этим просим вас при направлении статьи в редакцию сообщать:

- полные имена и отчества всех авторов;
- какой факультет, какого вуза и когда закончил;
- когда получил ученую степень, где и по какой тематике (теме) была защита;
- место работы и должность.

Кроме того, напоминаем, что на каждую статью следует представлять краткий (4—5 предложений) реферат на русском и английском языках (включая название), а также ключевые слова.