

Рис. 1. Графики сравнения аналитического решения с полученным расчётом

ЛИТЕРАТУРА

1. V. Alexiades, A.D. Solomon. Mathematical modeling of melting and freezing processes. – Washington: Taylor & Francis, 1993. – 323 с.
2. Лыков, А.В. Теория теплопроводности.– Москва: Высшая школа, 1967. – 599 с.
3. Алексеенко С.В.,Накоряков В.Е.,Покусаев Б.Г. Волновое течение пленок жидкости. – Новосибирск: Наука, 1992. – 256 с.

АДАПТИРУЕМАЯ СИСТЕМА ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Падалко Д. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Большинство автономных комплексов нуждается в собственной системе электроснабжения, в промышленных системах распространение нашли электрические машины (ЭМ) переменного и постоянного тока, наиболее часто используются синхронные генераторы широкого диапазона мощностей. При проектировании таких электромеханических систем специального назначения, возникают соответствующие вопросы обеспечения бесперебойной работы, безопасности потребителей и возможности управления при значительном изменении влияющих факторов. При этом электрические машины, применяемые в автономных электрических системах, авиатранспорте, принципиально не отличаются от машин, применяемых в наземных установках. Однако, относительный вес и габариты таких электромеханических систем должны быть значительно ниже, по сравнению с неподвижными системами наземных установок.

Уменьшение габаритов и веса обуславливает сокращение срока службы, работу при повышенных частотах, применение более интенсивного охлаждения и гораздо более высококачественных изоляционных и магнитных материалов, позволяющих повысить тепловые, механические и магнитные перегрузки. В результате повышения нагрузок происходит повышение потерь, то есть снижение КПД.[1]

Таблица 1. Таблица соотношения массо-энергетических параметров электрических машин промышленного и авиационного назначения

Параметр	Типы электрических машин					
	Асинхронные		Синхронные		Постоянного тока	
	наземные	авиационные	наземные	авиационные	наземные	авиационные
Частота, Гц	50	400	50	400	66,7*	267*
Относительный полный вес**, кг/кВт	16	2	17,3	1,3	13,2	2
Соотношение веса	8		13,3		6,6	
*Частота перемагничивания якоря в машине. **Относительный вес в широком диапазоне мощностей.						

Для систем генерирования электроэнергии на основе асинхронной машины (АМ), несмотря на использование дополнительного источника реактивной энергии, таких как батарея конденсаторов или полупроводниковый преобразователь энергии, итоговая масса системы будет ниже по сравнению с системами, построенными на синхронных машинах или машинах постоянного тока. В таблице 2 произведено сравнение веса современных электрических машин средней мощности, модели электрических машин указаны. Согласно приведенному сравнению при одних и тех же мощностях наименьшей массой обладает асинхронная машина. Стоит понимать, что при выборе прочих моделей и материалов изготовления ЭМ, вес будет находиться в некотором диапазоне.[2]

Таблица 2. Таблица сравнения веса электрических машин средней мощности.

Тип двигателя	Модель	Мощность, кВт	Вес, кг	Относительный вес, кг/кВт
Асинхронный	АИР160S2	15	116	7,74
Синхронный	СМС-200-16/4-У2	16	160	10
Постоянного тока	4ПНМС180МО4	15	180	12

Применение асинхронных генераторов (АГ) в автономных объектах долгое время сдерживалось, в первую очередь, по причине отсутствия малогабаритных силовых конденсаторов, способных компенсировать реактивную мощность нагрузки и обеспечить возбуждение генератора. Вторым сдерживающим фактором является задача стабилизации параметров генерируемой электроэнергии для обеспечения постоянной амплитуды и частоты при переменной скорости вращения ротора. Для возбуждения АГ, как и для прочих систем необходимо обязательное выполнение двух условий: баланса фаз и баланса амплитуд. Условие баланса амплитуд заключается в коэффициенте петлевого усиления более единицы, условие баланса фаз заключается в синфазных сигналах на входе и выходе каскада обратной связи, обеспечивающего возбуждение и стабильность фазы и частоты. [5]

Система возбуждения АГ, выполненного по классической схеме с применением батареи конденсаторов, остается статичной и работает с неким ограничением по

нагрузке и реактивной энергии возбуждения. Становится возможным такое состояние, при котором из-за избыточной нагрузки произойдет срыв генерации, а при недостатке нагрузки реактивная энергия будет больше необходимого значения.

При использовании полупроводникового устройства в качестве источника реактивной энергии, не только создаются условия перехода асинхронной машины в генераторный режим, но и с помощью управления реактивным током обеспечивается плавное возбуждение – «мягкий пуск» и отсутствие избыточной реактивной энергии. В конечном счете, это приводит к повышению энергетических показателей и увеличению срока службы. Структурная схема в таком случае имеет вид, представленный на рисунке 1. [6]

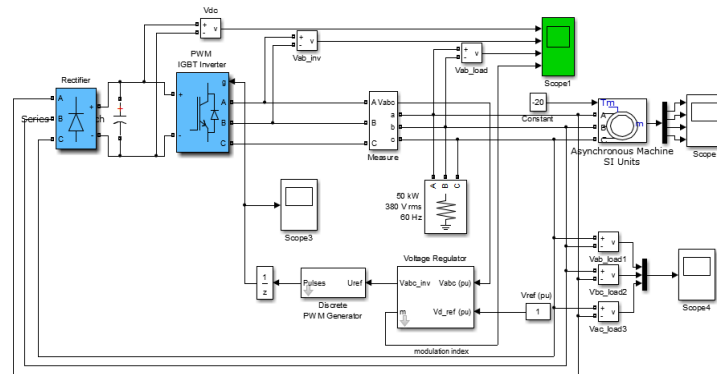


Рис. 1. Схема асинхронного генератора с полупроводниковым преобразователем

Кроме перечисленных обязательных условий имеются дополнительные факторы, влияющие на процесс генерирования электроэнергии. Одним из таких факторов самовозбуждения АГ, выявленных при сопоставлении процесса возбуждения АГ с процессом в генераторе постоянного тока параллельного возбуждения является остаточное намагничивание ротора.

Ранее считалось, что остаточный магнитный поток ротора при достаточной величине становится первоначальным импульсом для начала процесса самовозбуждения и является необходимым условием для перехода асинхронной машины в генераторный режим. В таком случае ЭДС статора наводится вращением ротора внешним моментом и согласно емкостной составляющей создаваемый поток статора будет сонаправлен остаточному магнитному потоку, что дает увеличение суммарного потока, создающего в свою очередь большую ЭДС, таким образом происходит лавинообразный процесс увеличения значений тока и напряжения до точки пересечения вольтамперной характеристики с характеристикой холостого хода. [4]

Одним из литературных источников показывающих, что самовозбуждение АГ возможно без начального магнитного потока является статья А.В. Нетушила «Самовозбуждение асинхронного генератора»[3]. В ней приведены результаты опытов по возбуждению асинхронного генератора с не намагниченным ротором, кроме того для окончательного подтверждения своих результатов, автор приводит пример самовозбуждения АГ с ротором, выполненным из немагнитного материала. Однако управляя остаточной намагниченностью можно обеспечить наиболее быстрое или плавное возбуждение. Для увеличения остаточного потока ротора достаточно использовать устройство импульсного намагничивания или использовать ротор с постоянными магнитами, что значительно усложнит производство и увеличит стоимость таких машин.

Так как изменение электромагнитных параметров ротора позволяет сократить затраты электроэнергии на возбуждение, а использование отдельного устройства

импульсного намагничивания, как и использование ротора с постоянными магнитами увеличивает конечную стоимость системы, экономически эффективнее было бы обеспечить намагничивание ротора, подавая импульсный сигнал на статор электрической машины.

Оценка параметров возбуждения была выполнена исходя из гипотезы, что самовозбуждение – это явление параметрического резонанса в контуре АМ – батарея конденсаторов, но данное утверждение встречает сложности математического характера. Подтверждение гипотезы и исследование условий возбуждения было проведено с использованием системы дифференциальных уравнений и моделирования структурной схемы. Анализ самовозбуждения был рассмотрен через систему дифференциальных уравнений в комплексной системе координат α - β (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{s\alpha}}{dt} = \frac{U_{s\alpha}}{L_s} - \frac{r_s \cdot i_{s\alpha}}{L_s} + \frac{kr}{L_s} \cdot \Psi_{r\alpha} + \frac{kr}{L_s} \cdot p \cdot \omega \cdot \Psi_{r\beta}; \\ \frac{di_{s\beta}}{dt} = \frac{U_{s\beta}}{L_s} - \frac{r_s \cdot i_{s\beta}}{L_s} + \frac{kr}{L_s} \cdot \Psi_{r\beta} + \frac{kr}{L_s} \cdot p \cdot \omega \cdot \Psi_{r\alpha}; \\ \frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} = k_r \cdot r_r \cdot i_{s\alpha} - \frac{\Psi_{r\alpha}}{T_r} - p \cdot \omega \cdot \Psi_{r\beta}; \\ \frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} = k_r \cdot r_r \cdot i_{s\beta} - \frac{\Psi_{r\beta}}{T_r} - p \cdot \omega \cdot \Psi_{r\alpha}; \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{k_r}{J_d} (\Psi_{r\alpha} \cdot i_{s\beta} - \Psi_{r\beta} \cdot i_{s\alpha}) - \frac{M_{вп}}{J_d}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Решение вопроса нахождения влияющих факторов, требует ввода в систему параметров, описывающих остаточное намагничивание ротора, батарею конденсаторов или полупроводникового преобразователя. Для решения системы достаточно описать функции с указанием параметров электрической машины. Решение системы находилось через встроенную функцию ode45 пакета прикладных программ MatLab Simulink. Входными параметрами системы дифференциальных уравнений являются: временной диапазон, начальные условия расчетных величин и точность нахождения решения.

Высокая корреляция уравнений системы приводит к длительным расчетам, повышенным требованиям по обеспечению необходимой точности и выбору начальных условий.

Оценка системы показала зависимость эффекта генерации от остаточного магнитного потока и возможность возбуждения электрической машины от полупроводникового преобразователя. Многосторонний подход к изучению позволяет не только определить обязательные факторы для перехода в генераторный режим, но и дает возможность их численного определения. Таким образом, появляется возможность комплексного оценивания системы для требуемой подстройки параметров возбуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сипайлов Г.А. Математическое моделирование электрических машин./ Сипайлов Г.А., Лоос А.В. – М.: Высшая школа, 1980. – 176 с.
2. Беретинов А.И. Проектирование авиационных электрических машин постоянного тока./ Беретинов А.И., Ризник Г.А. – М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1958. – 423 с.
3. Нетушил А.В. Самовозбуждение асинхронного генератора/ Нетушил А.В., Бояр-Созонович С.П., Китаев А.В// Изв. Вузов. Электромеханика.-1981.-№6. –С. 613-617
4. Нетушил А.В. К расчету режимов самовозбуждения автономного асинхронного генератора / Нетушил А.В. // Электричество. 1978. -№4.- С.52-54.

5. Кунцевич П.А. Асинхронный резонансный генератор как автоперестраиваемая автоколебательная система: дисс. канд. техн. наук /Кунцевич П.А. Куйбышев: Куйбышевский политехнический институт им. В.В. Куйбышева, 1988. – 188 с.
6. Alexander G.Garganeev Principles of Electric Power Generation Based on the Self-Excited Electrical Machines Using the Perspectives of the Automatic Control Theory [Text] / Alexander G.Garganeev, Dmitry A. Padalko // Proceedings of the 14th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM 2013, Erlagol (Altai), Russia, July 1-5, 2013. – Novosibirsk: NSTU Printing Office, 2013. – p. 319 – 321.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В КАНАЛАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Слесарева Е. Ю., Елистратов С. Л., Овчинников В. В.

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Россия, г. Новосибирск

В представленной работе исследуются тепловые режимы для потока воздуха в канале сложной формы, образованном из нескольких цилиндрических продольных нагревателей. Каналы такой формы используются в современном теплообменном оборудовании на АЭС. Для измерения поля температуры в каналах сложной формы, в качестве альтернативы, а также дополнения к традиционным контактным (термопарным) методам, может быть использована бесконтактная усовершенствованная тепловизионная методика с сеткой - термоприемником [1, 2]. Для визуализации температурного поля для сред прозрачных в инфракрасном диапазоне при таком методе используются тонкие нити и сетки с различной теплопроводностью, которые выполняют роль индикаторов температуры. Термографические изображения нитей и сеток, полученные с помощью тепловизионной техники, позволяют выполнить оценку распределения поля температур газа в пространстве для стационарных и нестационарных режимов. Для проверки адекватности моделей, описывающих переходные и нестационарные режимы требуются специфические экспериментальные данные. Тепловизионный метод оптимален для исследования таких процессов, так как дает возможность не только отслеживать скорость изменения температуры, но и дает общую картину изменения температурного поля по сечению. В настоящей работе была проведена серия экспериментов при ступенчатом изменении тепловых нагрузок и резком изменении расхода воздуха через канал сложной формы.

Методика измерений

Эксперименты проводились на термогазодинамическом стенде. На рис. 1 представлена принципиальная схема стенда по изучению течения газов в канале, образованном из семи цилиндрических нагревателей симметрично расположенных в круглой трубе. Воздух в канал подавался компрессором 1 марки АВN R-Меко-720, необходимый расход регулировался вентилем 2 на байпасной линии и измерялся с помощью газового счетчика 3 марки Тритон-газ СГМ-4. На входе в канал давление измерялось манометром. Проходя через плотную сборку 4 из трех латунных сеток с размером ячеек $3 \cdot 10^{-4}$ м, воздух поступал в кварцевую трубку 5 общей длиной $l_{TP} = 0,505$ м с внутренним диаметром 0,019 м, где размещалась сборка из семи цилиндрических нагревателей 6. Нагреватели были изготовлены из кварцевой трубки диаметром $5,9 \cdot 10^{-3}$ м в которой встраивался нагреватель из нихромовой проволоки диаметром $3 \cdot 10^{-4}$ м с общим омическим сопротивлением 1,1 Ом. Длина обогреваемого