

деления сети, обеспечивающей минимальные потери мощности, минимальные значения отклонения напряжения и необходимую надежность электроснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шведов Г.В. Потери электроэнергии при ее транспортировке по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учебное пособие для вузов / Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко; под ред. Ю.С. Железко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 424 с.
2. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
3. Карташев И.И., Тульский В.Н. и др.; под ред. Шарова Ю.В. Управление качеством электроэнергии – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 354 с.

СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АКСИАЛЬНОГО ИНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА

Нафигина Ю. А., Гарганеев А. Г.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Индукторные электрические машины используются на автономных объектах, в частности в авиационной технике, в качестве генераторов. В работе [1] отмечается, что в настоящее время традиционный критерий уровня бортового оборудования - его масса - отступает на второй план, поскольку его сокращение уже не дает существенного экономического эффекта. На первый план выступают необходимость повышения общей безопасности полетов и резкого сокращения эксплуатационных расходов. Для достижения этих целей требуется, в частности, расширение встроенного контроля и создание избыточных структур бортового оборудования.

Структура системы электроснабжения (СЭС) летательного аппарата (ЛА) определяется его назначением и, как следствие, режимами эксплуатации, составом бортового электрооборудования и т.п., и могут использовать принципы:

- 1) «переменная скорость – привод постоянной скорости (ППС) – постоянная частота (действующее значение напряжения);
- 2) «переменная скорость – переменная частота, постоянное действующее значение напряжения»;
- 3) «переменная скорость – постоянная частота, постоянное действующее значение напряжения» [2].

Независимо от структуры СЭС ЛА, ее центральным звеном является генератор, эксплуатационные характеристики которого должны рационально сочетаться с характеристиками преобразовательных устройств – автономных инверторов и выпрямителей, что является залогом успеха в решении вопросов управляемости, надежности и снижения массогабаритных показателей системы.

Среди генераторов автономных систем электроснабжения могут применяться машины как с радиальным, так и с аксиальным направлением магнитного потока [3,4].

Аксиальный индукторный генератор (АИГ) можно рассматривать как классический синхронный генератор с явнополюсным пассивным ротором, возбуждение которого осуществляется от независимой аксиальной обмотки. Аксиальная обмотка генератора обычно располагается между пакетами составного статора или рядом, если статор не составной [5]. Благодаря аксиальной обмотке возбуждения для регулирования

выходного напряжения АИГ независимо от частоты вращения ротора можно использовать относительно простой релейный регулятор [6].

Многофазные генераторные установки предназначены для электроснабжения отдельных объектов или группы объектов. Например, к многофазным генераторным установкам относится аксиальная двухвходовая бесконтактная машина (АДБМ-Г) [7], электрическая схема которой представлена на рис. 1.

АДБМ-Г работает следующим образом. При вращении постоянного многополюсного магнита 2 индуктора подвозбудителя и внутреннего аксиального магнитопровода с многофазной обмоткой 8 якоря возбuditеля и однофазной обмоткой 9 возбуждения основного генератора магнитный поток многополюсного постоянного магнита 2 индуктора подвозбудителя взаимодействует с многофазной обмоткой 4 якоря подвозбудителя, уложенной в пазы бокового аксиального магнитопровода, жестко установленного в корпусе генератора, и наводит в ней многофазную систему ЭДС, которая выпрямляется многофазным двухполупериодным выпрямителем 17 и подается на однофазную обмотку 5 возбуждения возбuditеля, уложенную в пазы бокового аксиального магнитопровода. При этом в однофазной обмотке 5 возбуждения возбuditеля создается магнитный поток.

При подаче постоянного тока через контакты 19 по дополнительной обмотке 6 возбуждения возбuditеля протекает ток, при этом создается магнитный поток, направленный согласно с магнитным потоком, создаваемым однофазной обмоткой 5 возбуждения возбuditеля. По принципу суперпозиции магнитных полей магнитные потоки, создаваемые обмоткой 5 и дополнительной обмоткой 6 возбуждения возбuditеля, суммируются. Суммарный магнитный поток взаимодействует с многофазной обмоткой 8 якоря возбuditеля, уложенной в пазы внутреннего аксиального магнитопровода, и наводит в ней многофазную систему ЭДС, которая в свою очередь последовательно преобразуется, как описано выше для АДБМ-Г, и наводит в многофазной обмотке 11 якоря основного генератора многофазную систему ЭДС, которая подается в сеть.

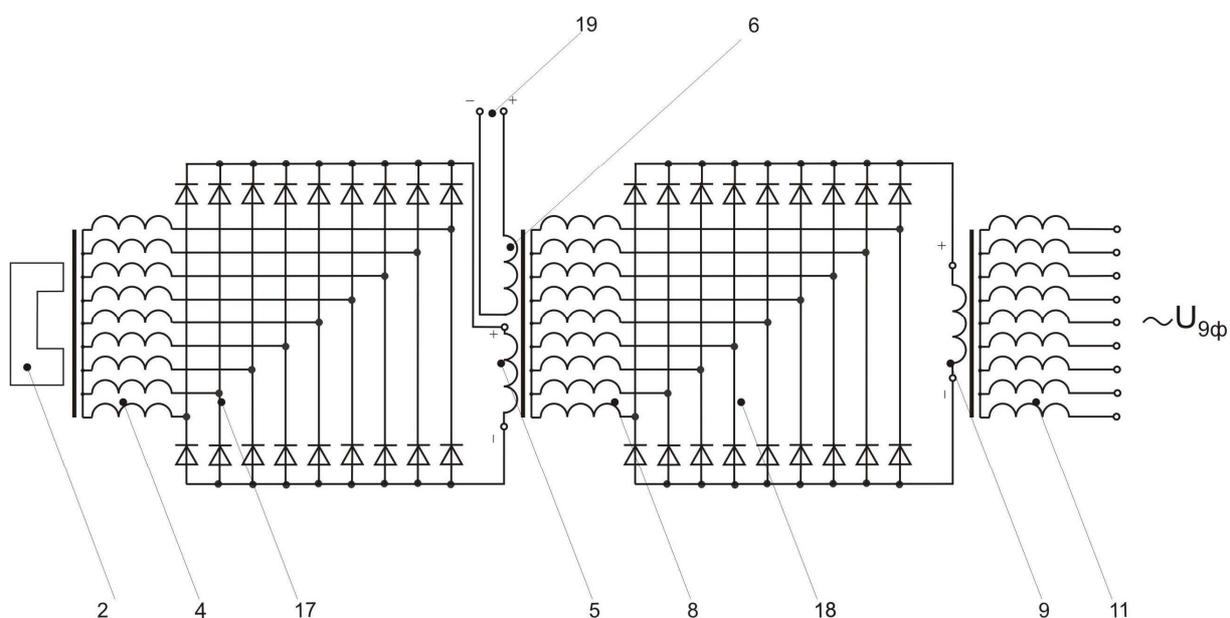


Рис. 1. Электрическая схема АДБМ-Г

В качестве математической модели АИГ для отработки алгоритмов регулирования выходного напряжения достаточно использовать обобщенную модель электрической машины в системе d-q – координат [6]. При таком подходе математическое описание АИГ получается таким же, как и у машины постоянного тока.

На рис.2 представлена упрощенная схема замещения АИГ в системе d – q – координат. По оси q условно располагается обмотка эквивалентная обмотке якоря машины постоянного тока, а по оси d располагаются две другие обмотки, создающие возбуждение машины. Обмотка с индексом d описывает суммарное эквивалентное подмагничивание, соответствующее подмагничиванию создаваемому фазами статорной обмотки, а обмотка с индексом f является реальной обмоткой возбуждения АИГ, которая располагается на оси d конструктивно.

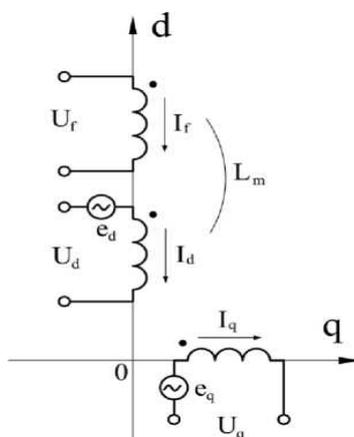


Рис. 2. Схема замещения АИГ в системе d - q координат

В соответствии с рис.2, уравнения, описывающие АИГ в системе d - q – координат, будут следующие:

- уравнения равновесия обмоток

$$\begin{cases} u_d = i_d R_s + \frac{d\psi_d}{dt} - e_q \\ u_q = i_q R_s + \frac{d\psi_q}{dt} + e_d \\ u_f = i_f R_f + \frac{d\psi_f}{dt} \end{cases}, \quad (1)$$

где u , i , ψ - мгновенные значения напряжения, тока и потокосцепления; R_s - приведенное сопротивление обмоток с индексами d, q; R_f - сопротивление обмотки возбуждения; e - мгновенное значение ЭДС, наводимой в обмотках,

$$\begin{cases} \psi_q = L_q \cdot i_q \\ \psi_d = L_d \cdot i_d + L_m \cdot i_f \\ \psi_f = L_f \cdot i_f + L_m \cdot i_d \end{cases}, \quad (2)$$

где L - индуктивность обмоток; L_m - взаимная индуктивность обмоток с индексами d и f;

- уравнение электромагнитного момента и уравнение динамики

$$\begin{cases} M_e = p_n \cdot (i_q \cdot \psi_d - i_d \cdot \psi_q) \\ M_e = M_c + J \frac{d\omega}{dt} \end{cases}, \quad (3)$$

где M_e - электромагнитный момент, M_c - момент сопротивления на валу машины, J - приведенный к валу ротора момент инерции, ω - угловая скорость вращения ротора, p_n - число пар полюсов.

Представленный АИГ интегрируется в структуры 1) и 2) (см. выше). При реализации структуры СЭС по типу 3) представляет интерес использования АИГ с постоянными магнитами в пазах основного индуктора [8,9]. При этом регулировочную функцию выполняет обмотка возбуждения аксиального магнитного потока. Дополнительно регулирование частоты и напряжения осуществляется автономным инвертором напряжения. Таким образом, регулировочные функции при широком диапазоне скоростей приводного двигателя распределяются между АИГ и инвертором. Математическая модель АИГ в данном случае принципиально не отличается от представленной выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серебряников А. Д. Индукторные электрические машины с улучшенными техническими характеристиками. 1999. РАУ, Рига. – 108 с.
2. Гарганеев А.Г. Функциональные системы летательных аппаратов. Электрическое и электронное оборудование/ А.Г. Гарганеев, Л.К. Бурулько, В.П. Петрович.–Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 251 с.
3. Электрооборудование летательных аппаратов: учебник для вузов. Т.1 / под ред. С. А. Грузкова. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. Т. 1: Системы электроснабжения летательных аппаратов. 2008. –558 с.
4. Бертинов А.И. и др. Специальные электрические машины. Источники и преобразователи энергии. Уч. пособие для вузов. – М., Энергоиздат, 1982.–552 с.
5. Домбур Л. Э. Аксиальные индукторные машины. – Рига: Зинатне; 1984.– 247 с.
6. Козаченко В.Ф. Вентильно-индукторный электропривод с независимым возбуждением для тягового применения // Электротехнические и компьютерные системы. – 2011. № 3. С. 138 – 139.
7. Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Гайтова Т.Б., Кашин А.Я., Пауков Д.В., Голощанов А.В. Аксиальная двухвходовая бесконтактная электрическая машина-генератор. Решение о выдаче патента на изобретение № 2011101117/07(001374) от 14.10.2011г.
8. Домбур Л.Э., Пугачев В.А. Аксиальные индукторные машины с постоянными магнитами.– Изв. АН ЛатвССР. Сер. физ.и техн.наук, 1968, №3, с. 89–94.
9. Домбур Л.Э., Пугачев В.А., Сика З.К. Бесконтактная синхронная машина. А.с. СССР 213956. – Б.И.,1968, № 11, с.51.