

**ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ
 НА БАЗЕ АСИНХРОННЫХ МАШИН С КОРОТОКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

А. Г. Щербаков, О. В. Архипова

Применение источников малой распределённой генерации (МРГ) в последнее время становится особенно актуальным по причинам экономической целесообразности. В большинстве источников МРГ, например, в ветроэнергетических установках, вследствие переменного характера действия первичного двигателя (в данном случае ветра) нецелесообразно в качестве генератора применять синхронные генераторы. В таких источниках МРГ в качестве альтернативного генератора электрической энергии может рассматриваться асинхронный генератор (АГ). До недавнего времени широкое применение АГ сдерживалось рядом факторов, среди которых можно выделить, например, необходимость в наличии регулируемого в широких пределах источника реактивной мощности, который обладал бы высоким быстродействием. Появление в последнее время силовых полупроводниковых приборов и конденсаторных батарей нового поколения позволяет реализовать требуемый источник реактивной мощности, который обладал бы заданными свойствами. Как следствие этого область применения АГ электрической энергии начинает расширяться.

Наряду с достоинствами применения АГ, среди которых выделяются простота эксплуатации и обслуживания, простота включения на параллельную работу, высокая удельная мощность и т. п., их применение сопровождается рядом проблем. Среди проблем применения АГ выделяется, например, значительное потребление реактивной мощности, которое может составлять до 50 % и более от полной мощности асинхронного генератора. Для улучшения эксплуатационных свойств асинхронного генератора в цепь статора могут включаться дополнительно конденсаторы, при этом масса и размеры конденсаторных батарей могут превосходить массу самого АГ.

В целях исследования свойств источников МРГ, основанных на применении АГ на кафедре «Энергетика» Югорского государственного университета, разработана математическая модель дизельной электрической станции в качестве генератора электрической энергии, на которой выступает АГ (рис. 1).

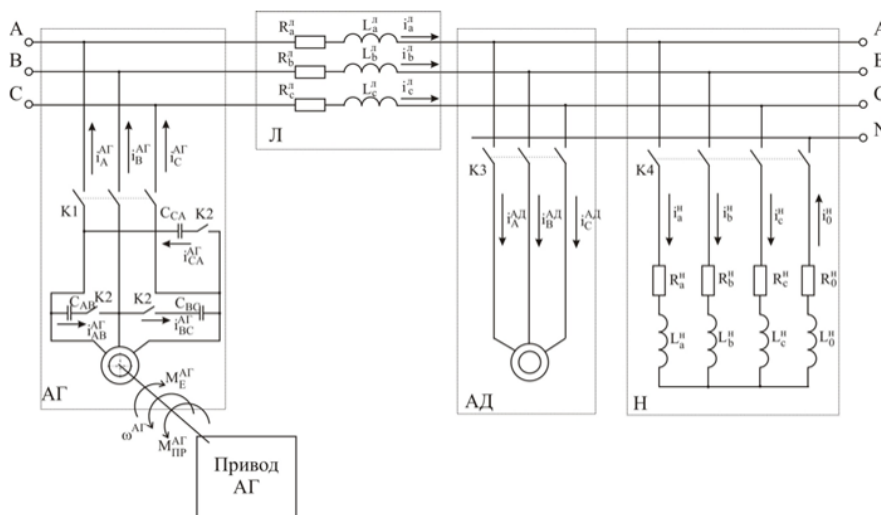


Рисунок 1 – Схема автономной системы электроснабжения на основе асинхронного генератора: АГ – асинхронный генератор; Л – линия; АД – асинхронный двигатель; Н – активно-реактивная нагрузка

В качестве нагрузки для АГ рассматривались:

- асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, мощность которого соизмерима с мощностью вырабатываемой АГ;
- модель бытовой нагрузки, имеющей активно-индуктивный характер и характеризующейся неравномерностью распределения по фазам с течением времени.

Математическая модель рассматриваемой электроэнергетической системы на базе АГ будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{dI^{AG}}{dt} &= (M^{AG})^{-1} \left(U^{AG} - \left(R^{AG} + \frac{dM^{AG}}{dt} \right) I^{AG} \right), \\ \frac{d\omega^{AG}}{dt} &= \frac{1}{J^{AG}} (M_{IP}^{AG} - M_E^{AG}), \\ \frac{d\Theta^{AG}}{dt} &= \omega^{AG}, \\ M_E^{AG} &= -M^{AG} \cdot p^{AG} \cdot (\sin(p^{AG} \Theta^{AG})) \cdot (i_a^{AG} i_A^{AG} + i_b^{AG} i_B^{AG} + i_c^{AG} i_C^{AG}) + \\ &+ \sin\left(p^{AG} \Theta^{AG} + \frac{2}{3}\pi\right) \cdot (i_b^{AG} i_A^{AG} + i_c^{AG} i_B^{AG} + i_a^{AG} i_C^{AG}) + \\ &+ \sin\left(p^{AG} \Theta^{AG} - \frac{2}{3}\pi\right) \cdot (i_c^{AG} i_A^{AG} + i_b^{AG} i_C^{AG} + i_a^{AG} i_B^{AG}), \\ M_{IP}^{AG} &= f(M_E^{AG}, \omega^{AG}, t), \\ \frac{du_{AB}^{AG}}{dt} &= \frac{1}{C_{AB}} f_A(i_A^{AG}, i_B^{AG}, i_C^{AG}, i_A^J), \quad (1) \\ \frac{du_{BC}^{AG}}{dt} &= \frac{1}{C_{BC}} f_B(i_A^{AG}, i_B^{AG}, i_C^{AG}, i_B^J), \\ \frac{du_{CA}^{AG}}{dt} &= \frac{1}{C_{CA}} f_C(i_A^{AG}, i_B^{AG}, i_C^{AG}, i_C^J), \\ \frac{di_a^J}{dt} &= \frac{1}{L_a^J} (u_A^{AG} - R_a^J (i_a^{JB} + i_a^H)), \\ \frac{di_b^J}{dt} &= \frac{1}{L_b^J} (u_B^{AG} - R_b^J (i_b^{JB} + i_b^H)), \\ \frac{di_c^J}{dt} &= \frac{1}{L_c^J} (u_C^{AG} - R_c^J (i_c^{JB} + i_c^H)), \\ u_A &= f_{A1}(u_A^{AG}, i_A^J), \\ u_B &= f_{B1}(u_B^{AG}, i_B^J), \\ u_C &= f_{C1}(u_C^{AG}, i_C^J), \\ \frac{dI^{AD}}{dt} &= (M^{AD})^{-1} \left(U^{AD} - \left(R^{AD} + \frac{dM^{AD}}{dt} \right) I^{AD} \right), \\ \frac{d\omega^{AD*}}{dt} &= \frac{1}{J^{AD} \omega_1^{AD}} (M_E^{AD} - M_C^{AD}), \end{aligned}$$

$$\frac{d\Theta^{AD}}{dt} = \omega^{AD*} \omega_1^{AD},$$

$$M_E^{AD} = -M^{AD} \cdot p^{AD} \cdot (\sin(p^{AD} \Theta^{AD}) \cdot (i_a^{AD} i_A^{AD} + i_b^{AD} i_B^{AD} + i_c^{AD} i_C^{AD}) +$$

$$+ \sin\left(p^{AD} \Theta^{AD} + \frac{2}{3} \pi\right) \cdot (i_b^{AD} i_A^{AD} + i_c^{AD} i_B^{AD} + i_a^{AD} i_C^{AD}) +$$

$$+ \sin\left(p^{AD} \Theta^{AD} - \frac{2}{3} \pi\right) \cdot (i_c^{AD} i_A^{AD} + i_b^{AD} i_C^{AD} + i_a^{AD} i_B^{AD})),$$

$$M_C^{AD} = f(\omega^{AD*}, t),$$

$$\frac{di_a^h}{dt} = \frac{1}{L_a^h} (u_A - R_a^h i_a^h)$$

$$\frac{di_b^h}{dt} = \frac{1}{L_b^h} (u_B - R_b^h i_b^h)$$

$$\frac{di_c^h}{dt} = \frac{1}{L_c^h} (u_C - R_c^h i_c^h)$$

$$i_0^h = i_a^h + i_b^h + i_c^h.$$

На основании системы дифференциальных уравнений (1) с использованием языка программирования Object Pascal и среды разработки Delphi 7 реализован программный продукт «As_G», позволяющий выполнять расчёт переходных процессов в электроэнергетической системе на базе АГ. Предлагаемый программный продукт составлен на основании ранее разработанного программного продукта, предназначенного для расчёта переходных процессов в асинхронном двигателе [4]. Ниже приводится описание работы предлагаемого программного продукта, реализующего расчёты для асинхронной машины АИР315S6, работающей в режиме генератора, и которая имеет следующие паспортные данные (таблица 1).

Таблица 1

Паспортные данные асинхронной машины АИР315S6

№	Наименование	Значение
	Номинальная мощность, кВт	110
	Синхронная скорость вращения при частоте 50 Гц, об/мин	1000
	Номинальный ток обмотки статора при напряжении 380 В, А	200
	КПД, %	93,5
	Коэффициент мощности, о. е.	0,9
	Кратность пускового тока, о. е.	6
	Число пар полюсов	3
	Момент инерции ротора, кг×м ²	0,14
	Напряжение питания (линейное значение), В	380
	Частота напряжения питания, Гц	50

Для выполнения расчётов переходных процессов в рассматриваемой электроэнергетической системе на базе АГ АИР315S6 необходимо определить параметры его математической модели (1). Методика определения параметров математических моделей электротехнических

устройств подробно излагается в работах [3] и [5] и реализована в виде программного продукта [2]. Программный продукт [2] также позволяет определить параметры математической модели асинхронной машины по паспортным данным. На основании программного продукта [2] могут быть получены следующие параметры математической модели асинхронной машины АИР315S6 (таблица 2).

Таблица 2

Параметры математической модели асинхронной машины АИР315S6

№	Наименование	Значение
	Активное сопротивление фазы статора, Ом	0,66
	Активное сопротивление фазы ротора, Ом	0,84
	Реактивное сопротивление фазы статора, Ом	0,942
	Реактивное сопротивление фазы ротора, Ом	1,476
	Взаимоиндуктивное сопротивление фаз статора, Ом	23,236
	Взаимоиндуктивное сопротивление фаз ротора, Ом	23,236
	Взаимоиндуктивное сопротивление фаз статора и ротора, Ом	23,236

После запуска программы «As_G» параметры асинхронной машины (таблицы 1 и 2) необходимо ввести в таблицу вспомогательного окна программы, которое появляется на экране после нажатия на кнопку «Параметры», находящейся на основном окне программы (рис. 2). Кроме параметров таблиц 1 и 2 с помощью вспомогательного окна программы также необходимо ввести:

- интервал времени расчёта переходного процесса;
- допустимую погрешность расчёта;
- начальный шаг интегрирования.

После ввода всех исходных данных необходимо «нажать» кнопку «Расчитать» на основном окне программы. Процесс выполнения расчёта может занимать некоторое время, ход выполнения расчёта отображается с помощью специального окна, которое после завершения расчёта исчезает. После завершения всех вычислений на экране появляется вспомогательное окно с результатами расчётов, представленных в виде графиков (рис. 5–7).

Предлагаемый в данной работе программный продукт позволяет осуществлять глубокий анализ переходных процессов в источниках МРГ, основанных на применении АГ, что необходимо при проектировании подобного рода источников и разработке для них систем управления.

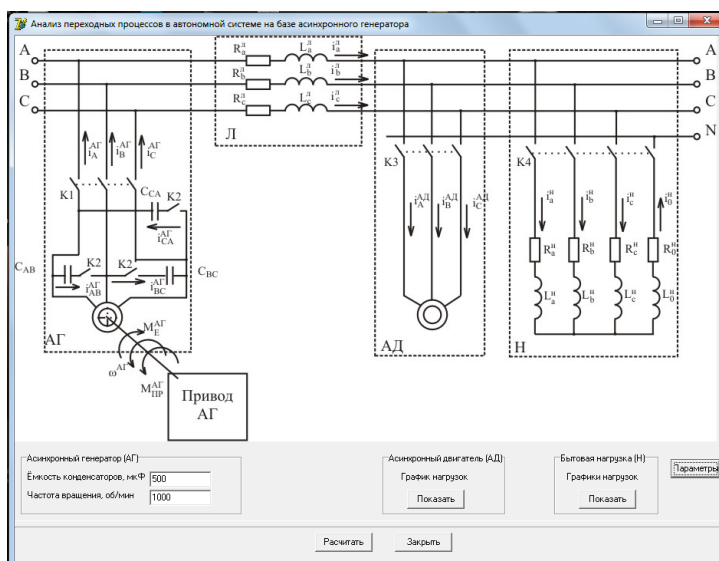


Рисунок 2 – Главное окно программы «As_G»

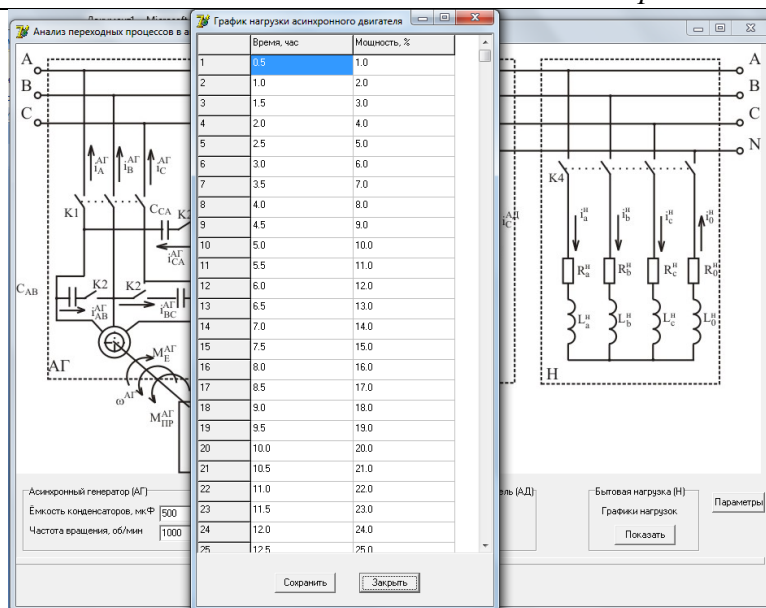


Рисунок 3 – Вспомогательное окно программы «As_G» для ввода графика нагрузок работы асинхронного двигателя

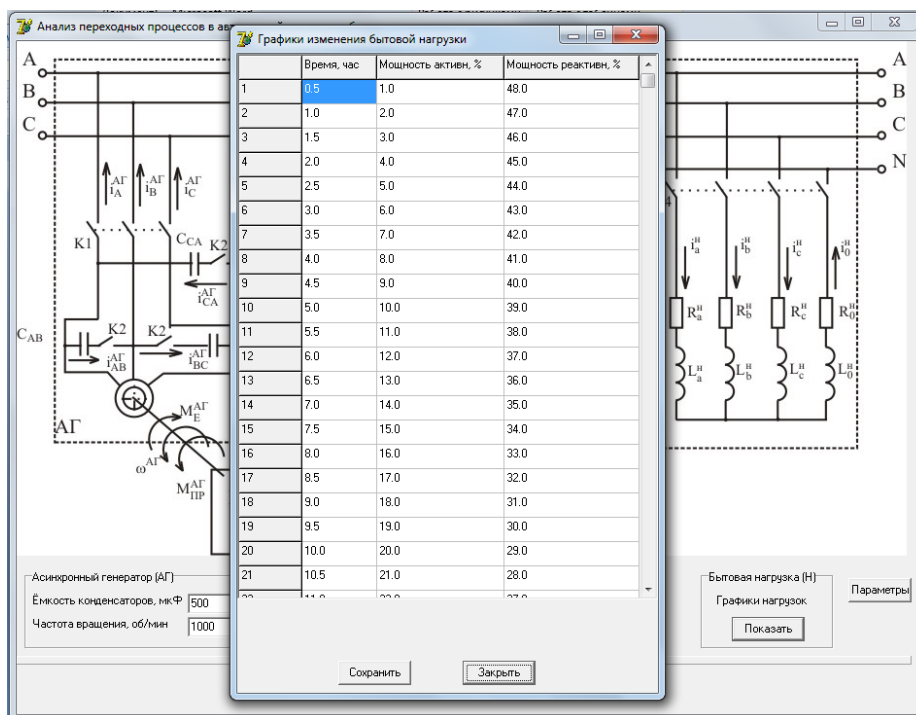


Рисунок 4 – Вспомогательное окно программы «As_G» для ввода графика бытовой нагрузки

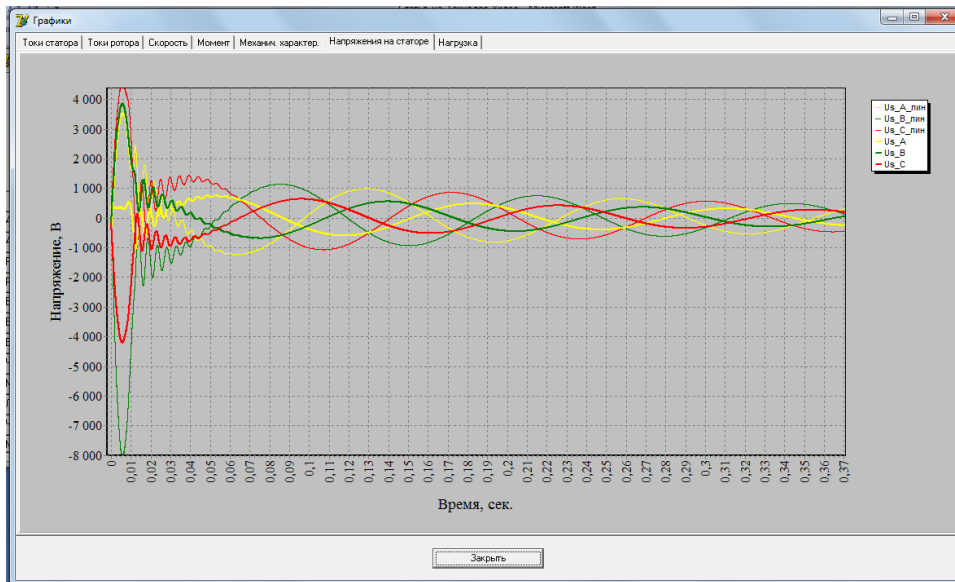


Рисунок 5 – Результаты расчётов программы «As_G»: закон изменения напряжения на выходе АГ

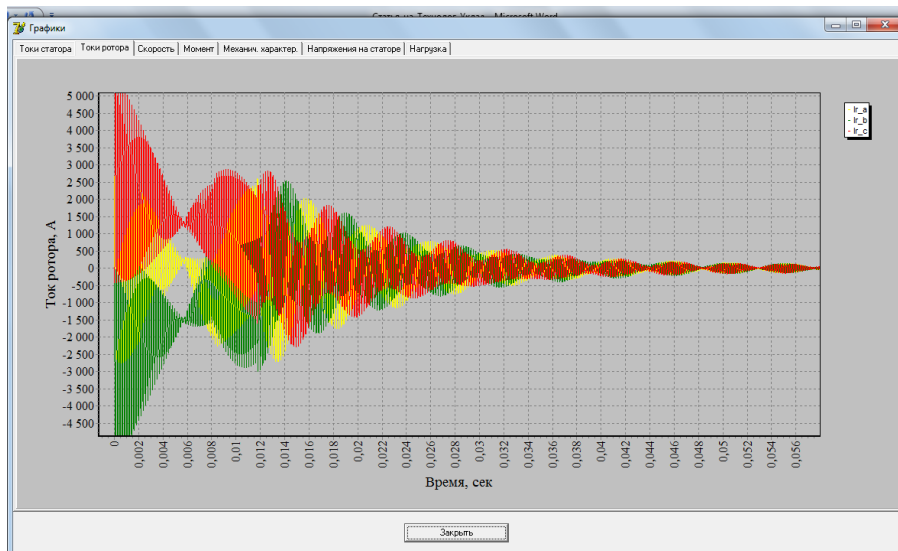


Рисунок 6 – Результаты расчётов программы «As_G»: закон изменения тока ротора АГ

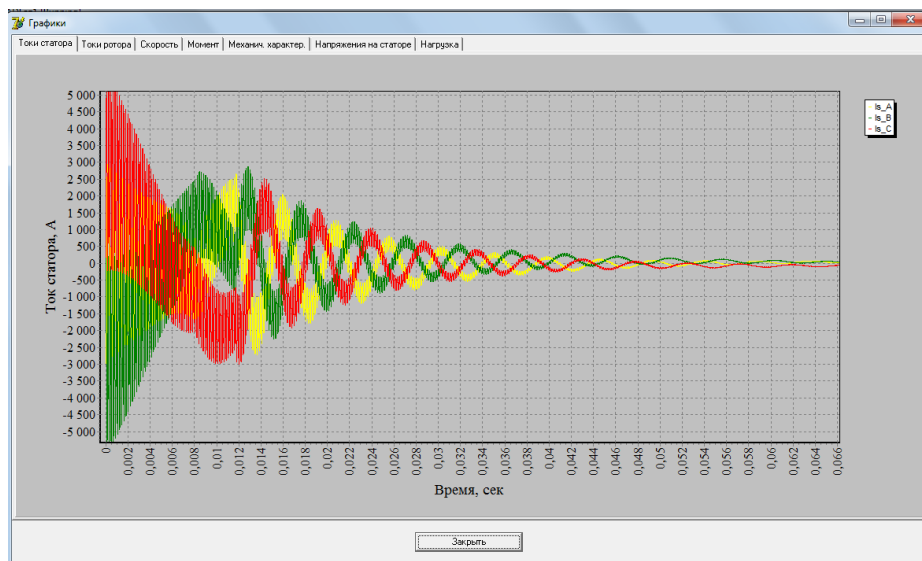


Рисунок 7 – Результаты расчётов программы «As_G»: закон изменения токов статора АГ

Литература

1. Вопросы управления в малой распределённой генерации [Текст] / В. З. Ковалёв, С. Е. Ковалёва, А. Г. Щербаков, О. В. Архипова // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы : материалы III Всероссийской научно-практической конференции (г. Нижневартовск, 7 февраля 2014 года). – Нижневартовск : Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2014. – С. 60–62.
2. Идентификация параметров математических моделей электротехнических комплексов: рекламное–техническое описание программного средства [Текст] / Ю. З. Ковалёв, В. З. Ковалёв, А. Г. Щербаков, Р. А. Чертов. – Омск : ОмГТУ, 2001. – № 50200100259.
3. Ковалёв, В. З. Идентификация параметров и характеристик математических моделей электротехнических устройств [Текст] : монография / В. З. Ковалёв, А. Г. Щербаков, А. Ю. Ковалёв. – Омск : ОмГТУ, 2005. – 108 с.
4. Щербаков, А. Г. Методика идентификации параметров асинхронных двигателей [Текст] / А. Г. Щербаков // Омский научный вестник. – 2011. – № 1(97). – С. 112–116.
5. Щербаков, А. Г. Математическая модель асинхронной машины в фазной системе координат: рекламное–техническое описание программного средства [Текст] / А. Г. Щербаков, Г. В. Мальгин. – Москва : ВНИИЦ, 2001. – № 50200100256.