



УДК 621.314.263

М. В. Пронин, А. Г. Воронцов, В. Ю. Шелюх, И. А. Пименова, А. С. Григорян
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Моделирование и исследование транзисторной системы самовозбуждения синхронного генератора

Рассмотрен источник напряжения с мощным синхронным генератором и возбудителем, в котором использованы выпрямитель и однополярный ШИП. Генератор выполнен высокооборотным с самовозбуждением. Разработан алгоритм управления. В системе защиты использованы взрывной предохранитель и разрядное сопротивление. Построены модели в среде Visual Studio и в MatLab-Simulink и дано сравнение моделей по затратам машинного времени. Выполнен анализ режимов работы источника.

Синхронный генератор, система возбуждения, широтно-импульсный преобразователь, моделирование, система управления, затраты машинного времени

В автономных электроэнергетических системах (АЭЭС) судов и кораблей в качестве источников переменного напряжения используются синхронные генераторы (СГ). Если СГ питает гребной привод, то он обычно выполняется с независимым возбуждением (главные СГ ледоколов типа «Арктика», «Сибирь», «Россия» и др.). Если СГ питает электросеть, то во многих случаях он выполняется с системой компаундирования, которая позволяет обеспечить селективность работы защит сетей при коротких замыканиях (КЗ). С этой целью при КЗ система компаундирования поддерживает ток, достаточный для срабатывания коммутационных аппаратов. Системы компаундирования ухудшают массогабаритные характеристики оборудования, усложняют разработку, изготовление и наладку установок.

Суда и корабли все в большей степени оснащаются электрооборудованием, увеличивается мощность АЭЭС, более актуальной становится задача улучшения массогабаритных характеристик установок. С этой целью рассматриваются возможности повышения частоты вращения первичных двигателей и выполнения СГ на повышенную частоту напряжения. Передача электроэнергии от СГ в сеть предполагается через статические преобразователи. В этом случае при КЗ поддерживать большой заданный ток не нужно. Система возбуждения или самовозбуждения может выполняться статической.

В связи с указанными тенденциями развития АЭЭС рассматривается построение трехфазного источника напряжения на основе СГ с повышенной частотой тока и транзисторной системы самовозбуждения. Исследования установки выполняются с учетом существующего опыта создания и исследования систем возбуждения СГ [1]–[6] на базе математического моделирования.

Синхронный генератор с транзисторным возбудителем и нагрузкой. Упрощенная схема установки с трехфазным СГ и транзисторной системой возбуждения (СВ) представлена на рис. 1. СГ имеет напряжение 690 В с частотой 200 Гц. Его возбуждение осуществляется через контактные кольца. Питается СВ непосредственно от трехфазной обмотки статора СГ. В состав СВ входят: согласующий трансформатор (Тр), трехфазный диодный выпрямитель (В), фильтр выпрямленного напряжения со сглаживающим дросселем и конденсаторной батареей, двухтактный однополярный широтно-импульсный преобразователь напряжения (ШИП) с уравнивающим дросселем (Др) и модулями IGBT [7], 0 [8], взрывной предохранитель (ПР) (время срабатывания порядка 2 мс), цепь защиты с разрядным резистором R_r , диодом Д и варистором R_0 . Нагрузка СГ представлена трехфазным активным индуктивным сопротивлением Z_l .

Установка снабжена системой управления (СУ), построенной по принципу подчиненного регулирования. В ней имеется внешний контур регулирования напряжения СГ и внутренние (подчиненные) контуры регулирования токов в ветвях ШИП. В состав СУ входят блок расчета действующего линейного напряжения U обмотки статора СГ, блок ПИ-регулятора напряжения СГ (формирует задание по току i_z), блоки ПИ-регуляторов токов в ветвях ШИП (формируют напряжения управления u_{y1} и u_{y2} ветвей ШИП), блоки формирования импульсов управления (ИУ) транзисторами ШИП.

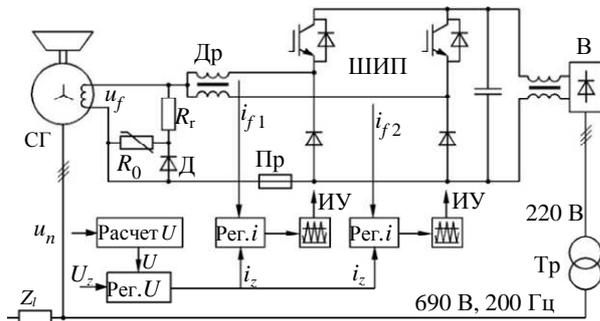


Рис. 1

Начальное возбуждение СГ осуществляется от остаточного напряжения обмотки статора. В нормальных режимах работы установки основная часть энергии СГ передается в сопротивления нагрузки Z_l . Энергия возбуждения передается от обмотки статора СГ в обмотку возбуждения через элементы Тр, В и ШИП. СВ создает в обмотке возбуждения напряжение u_f и ток i_f . При этом в цепи защиты с разрядным сопротивлением ток пренебрежимо мал. При КЗ и срабатывании дифференциальной или максимальной токовой защиты СГ вырабатывается сигнал поджига взрывного предохранителя. При срабатывании предохранителя контур тока самовозбуждения СГ разрывается и ток обмотки возбуждения замыкается через разрядное сопротивление. Этим обеспечивается интенсивное гашение магнитного поля СГ. При интенсивном гашении тока возбуждения и наличии в нем переменной составляющей ток может оказаться отрицательным и создать на диоде Д перенапряжение, недопустимые для изоляции обмотки возбуждения. Для ограничения перенапряжений диод шунтируется варистором.

Моделирование установки с СГ, СВ и нагрузкой. При моделировании установки с СГ, СВ и нагрузкой выполняется ее математическое

описание по методологии расчета систем по взаимосвязанным подсистемам [9]–[12]. На начальном этапе описания установки принимаются допущения и установка представляется схемами замещения с сосредоточенными параметрами (при описании СГ используются допущения Парка–Горева, но учитывается насыщение машины по основному магнитному потоку, полупроводниковые приборы считаются идеальными, учитывается вольт-амперная характеристика варистора). Далее установка разделяется на энергетическую и информационную подсистемы. Энергетическая подсистема разделяется на более простые подсистемы, взаимосвязанные зависимыми источниками напряжения и тока. Следующий этап построения модели заключается в математическом описании подсистем, источников энергии, нагрузок, устройств управления, а также взаимных связей этих подсистем.

Полученные системы алгебраических и дифференциальных уравнений, а также логических выражений решаются в едином двухконтурном цикле вычислений. Алгоритм расчета представлен в указанных публикациях. Он содержит внешний итерационный цикл решения системы алгебраических уравнений и внутренний цикл решения дифференциальных уравнений. В итерационном цикле в каждый расчетный момент времени определяются взаимные связи подсистем, а именно параметры зависимых источников напряжения и тока. В цикле интегрирования определяются мгновенные значения переменных в процессе их изменения во времени.

Первоначальное разделение силовой части схемы (рис. 1) на подсистемы осуществляется при замене элементов фаз обмотки статора СГ зависимыми источниками напряжения u_n ($n = 1, 2, 3$). На следующем этапе преобразования схемы источники u_n переносятся в фазы нагрузки и первичной обмотки трансформатора. Пофазные суммы токов нагрузки i_{ln} и обмотки трансформатора i_{t1n} ($n = 1, 2, 3$) образуют токи фаз СГ i_n , которые используются в подсхеме СГ в качестве зависимых источников тока:

$$\left. \begin{aligned} i_n &= i_{ln} + i_{t1n}, \\ \frac{di_n}{dt} &= \frac{di_{ln}}{dt} + \frac{di_{t1n}}{dt}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Указанная операция позволяет отделить друг от друга СГ, нагрузку и трансформатор, как изображено на рис. 2.

Другое преобразование силовой схемы основано на замене конденсатора с током i_c зависимым источником напряжения u_c :

$$u_c = \frac{1}{C} \int i_c dt. \quad (2)$$

Далее источник u_c переносится в ветвь выпрямленного тока диодного моста и во входную ветвь ШИП. При этом выпрямленный ток диодного моста i_d и входной ток ШИП i_h образуют ток конденсатора:

$$i_c = i_d - i_h. \quad (3)$$

Описанная операция позволяет отделить друг от друга ШИП, конденсаторную батарею и выпрямитель, что отображено на рис. 2.

Еще одно преобразование силовой схемы заключается в ее разделении на подсистемы по цепи возбуждения. В частности, в подсхеме СГ возбудитель представляется в виде зависимого источника напряжения u_f , а в подсхеме с ШИП генератор представляется в виде зависимого источника тока i_f . Результат этого преобразования схемы также отражен на рис. 2.

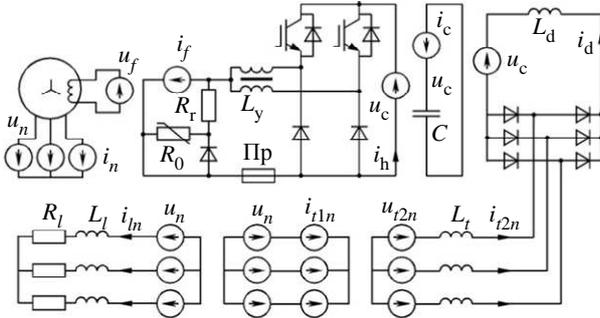


Рис. 2

Кроме того, на рис. 2 отражено преобразование элементов трансформатора. В частности, воздействие первичной обмотки на вторичную определяется с помощью зависимых источников напряжения u_{t2n} ($n = 1, 2, 3$) с учетом коэффициента трансформации K_{tr} :

$$u_{t2n} = u_n / K_{tr}. \quad (4)$$

Воздействие вторичной обмотки трансформатора на первичную учитывается с помощью зависимых источников тока i_{t1n} , которые определяются по токам вторичной обмотки i_{t2n} :

$$\left. \begin{aligned} i_{t1n} &= i_{t2n} / K_{tr}, \\ \frac{di_{t1n}}{dt} &= \frac{1}{K_{tr}} \frac{di_{t2n}}{dt}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Моделирование синхронной машины. Математическое описание СГ выполнено при разделении его на взаимосвязанные части, по магнитному потоку в воздушном зазоре, как изображено на рис. 3 [9]. Взаимные связи подсхем учтены зависимыми источниками напряжения и тока.

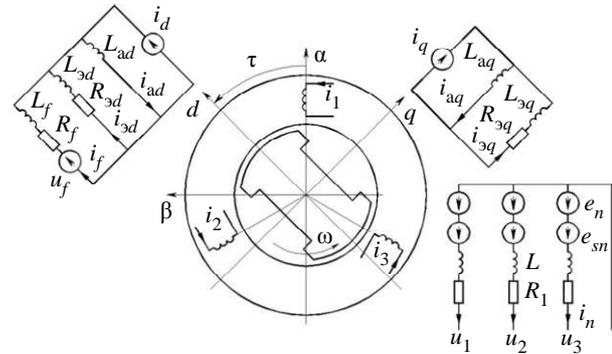


Рис. 3

Обмотка статора описана в осях фаз при следующих обозначениях: n – номер фазы ($n = 1, 2, 3$); u_n – напряжения фаз; i_n – токи фаз. В подсхемах статорных обмоток в качестве зависимых источников учтены фазные ЭДС e_n (обусловленные магнитным потоком в зазоре), а также ЭДС взаимной индукции фаз по путям рассеяния e_{sn} . Учтены индуктивности фаз L и активные сопротивления R_1 .

Роторные контуры описаны в осях d и q . В подсхемах роторных контуров по осям d и q в качестве зависимых источников учтены токи реакции якоря i_d и i_q . Учтены индуктивности намагничивания L_{ad} и L_{aq} , индуктивности рассеяния демперных контуров $L_{\Delta d}$ и $L_{\Delta q}$, индуктивность рассеяния обмотки возбуждения L_f , активные сопротивления демперных контуров $R_{\Delta d}$ и $R_{\Delta q}$, активное сопротивление обмотки возбуждения R_f , напряжение u_f и ток i_f возбуждения.

На рис. 3 указаны направления токов и источников напряжения, направления осей d и q и осей α и β , направление вращения ротора с частотой ω , угол поворота τ оси d ротора относительно оси α .

В модели машины используются коэффициенты:

$$\left. \begin{aligned} c_n &= \cos \left[\frac{2\pi}{3} (n-1) \right], \\ s_n &= \sin \left[\frac{2\pi}{3} (n-1) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Уравнение подсхем обмотки статора:

$$\frac{di_n}{dt} = \frac{1}{L_s + L_{st}} \left(e_n - u_n - R_{\Gamma} i_n + L_{st} \frac{di_n}{dt} \right), \quad (7)$$

где L_{st} – стабилизирующая индуктивность.

Токи реакции якоря по осям α , β и их производные:

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_{\alpha}}{dt} &= \frac{2}{3} \sum_{n=1}^3 c_n \frac{di_n}{dt}, & i_{\alpha} &= \frac{2}{3} \sum_{n=1}^3 c_n i_n, \\ \frac{di_{\beta}}{dt} &= \frac{2}{3} \sum_{n=1}^3 s_n \frac{di_n}{dt}, & i_{\beta} &= \frac{2}{3} \sum_{n=1}^3 s_n i_n. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Токи реакции якоря по осям d и q :

$$\left. \begin{aligned} i_d &= i_{\alpha} \cos \tau + i_{\beta} \sin \tau, \\ i_q &= i_{\alpha} \sin \tau - i_{\beta} \cos \tau. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Производные токов реакции якоря по осям d и q :

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_d}{dt} &= \frac{di_{\alpha}}{dt} \cos \tau + \frac{di_{\beta}}{dt} \sin \tau - \omega \cdot i_q, \\ \frac{di_q}{dt} &= \frac{di_{\alpha}}{dt} \sin \tau - \frac{di_{\beta}}{dt} \cos \tau + \omega \cdot i_d \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Производные токов в подсхеме ротора по оси d :

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_{ad}}{dt} &= \frac{L_{\Delta d} L_f}{L_{\Delta d} L_f + L_{ad} L_f + L_{ad} L_{\Delta d}} \times \\ &\times \left(\frac{u_f - R_f i_f}{L_f} + \frac{di_d}{dt} \frac{R_{\Delta d} i_{\Delta d}}{L_{\Delta d}} \right), \\ \frac{di_f}{dt} &= \frac{1}{L_f} \left(u_f - R_f i_f - L_{ad} \frac{di_{ad}}{dt} \right). \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Ток демпферной обмотки по оси d :

$$i_{\Delta d} = i_{ad} - i_d - i_f. \quad (12)$$

Производная тока намагничивания по оси q :

$$\frac{di_{aq}}{dt} = \frac{L_{\Delta q}}{L_{aq} + L_{\Delta q}} \left(\frac{di_q}{dt} - \frac{R_{\Delta q} i_{\Delta q}}{L_{\Delta q}} \right). \quad (13)$$

Ток демпферной обмотки по оси q :

$$i_{\Delta q} = i_{aq} - i_q. \quad (14)$$

Токи намагничивания, определенные уравнениями (11) и (13), при известной частоте вращения ротора ω позволяют найти ЭДС по осям d и q :

$$\left. \begin{aligned} e_d &= -\omega \cdot L_{aq} i_{aq} - L_{ad} \frac{di_{ad}}{dt}, \\ e_q &= \omega \cdot L_{ad} i_{ad} - L_{aq} \frac{di_{aq}}{dt}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

ЭДС по осям α и β :

$$\left. \begin{aligned} e_{\alpha} &= e_d \cos \tau + e_q \sin \tau, \\ e_{\beta} &= e_d \sin \tau - e_q \cos \tau. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

ЭДС фаз обмотки статора:

$$e_n = e_{\alpha} c_n + e_{\beta} s_n. \quad (17)$$

Электромагнитный момент двухполосной СМ:

$$M_e = 1.5 (L_{ad} i_{ad} i_q - L_{aq} i_{aq} i_d). \quad (18)$$

Частота вращения СМ при моменте инерции J определяется электромагнитным моментом M_e и противодействующим моментом на валу M_c :

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (M_e - M_c). \quad (19)$$

Угол поворота оси d ротора относительно оси α :

$$\frac{d\tau}{dt} = \omega. \quad (20)$$

Полная модель системы СГ с самовозбуждением. Математическое описание системы с СГ и возбудителем содержит уравнения взаимных связей (1)–(5) подсхем рис. 2, на которые разделяется исходная схема рис. 1, описание СГ (6)–(20), описание трехфазного диодного моста (представлено в [9]), описание многотактного ШИП (приведено в [12]), описание двухконтурной системы подчиненного регулирования напряжения СГ (внешний контур регулирования напряжения и внутренний контур регулирования тока). Система регулирования аналогична системе управления, представленной в [12].

В модели рассматриваемой установки указанные математические описания элементов системы и их взаимных связей объединены в единую систему уравнений. Алгоритм решения этой системы опубликован в [9], [12]. Он содержит внешний цикл решения алгебраических уравнений и внутренний контур интегрирования переменных. Во внешнем цикле определяются параметры зависимых источников напряжения и тока, через которые подсхемы взаимосвязаны. Во внутреннем цикле осуществляется интегрирование переменных, т. е. определяется их изменение во времени.

При использовании указанного математического описания системы с СГ, СВ и нагрузкой разработана ее компьютерная модель. Модель выполнена на языке C++ в среде Visual Studio.

Для проверки адекватности модели, выполненной по методологии расчета систем по взаимосвязанным подсистемам, выполнено также моделирование рассматриваемой установки в MatLab-Simulink.

Расчет переходных, установившихся и аварийных режимов работы источника. При использовании модели источника напряжения с СГ, СВ и нагрузкой, разработанной по методологии моделирования систем по взаимосвязанным подсистемам, выполнен ряд расчетов и исследований. При расчетах приняты следующие параметры установки:

- по СГ: мощность 4 МВт, коэффициент мощности 0.95, напряжение обмотки статора 690 В, частота напряжения 200 Гц, ток возбуждения холостого хода 144.5 А, мощность возбуждения холостого хода 7.54 кВт, коэффициент насыщения по основному магнитному потоку 1.1, индуктивность рассеяния обмотки статора 0.165 о. е., индуктивность намагничивания 1.251 о. е., индуктивность рассеяния демпферных контуров по продольной оси 0.057 о. е., по поперечной оси 0.138 о. е., индуктивность рассеяния обмотки возбуждения 0.104 о. е., активное сопротивление фазы статора 0.00316 о. е.;

- по трансформатору: мощность 45 кВ · А, коэффициент трансформации 3.1, напряжение короткого замыкания 6 %;

- по фильтру выпрямленного напряжения: индуктивность в цепи выпрямленного тока $L_d = 240$ мкГн, емкость конденсатора $C = 4200$ мкФ;

- по ШИП: индуктивность рассеяния обмотки уравнительного дросселя $L_{ys} = 40$ мкГн, взаимная индуктивность полуобмоток уравнительного дросселя $L_{ym} = 125$ мкГн, частота опорных напряжений 1200 Гц. Активное сопротивление разрядного резистора $R_r = 1.1$ Ом.

Один из расчетов выполнен при набросе 100 %-й нагрузки на СГ при работе его на холостом ходу. Результат представлен на рис. 4.

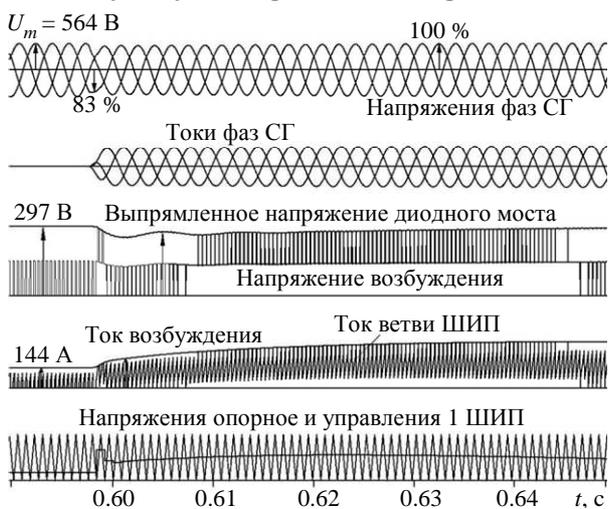


Рис. 4

Из данного расчета и рис. 4 следует, что на холостом ходу напряжение обмотки статора номинальное (690 В), а ток возбуждения 144 А, что

близко к расчетным данным СГ. При набросе 100 %-й нагрузки на обмотку статора напряжение кратковременно снижается до 83 % и восстанавливается до 100 % за 7 периодов при частоте 200 Гц. Выпрямленное напряжение диодного моста изменяется соответственно. В установившемся режиме работы СГ, при номинальной нагрузке ток возбуждения 287 А, что приблизительно соответствует расчетным данным по СГ.

Следует также отметить, что при принятой сравнительно низкой частоте опорных напряжений (1200 Гц) и сравнительно малых индуктивностях уравнительного дросселя размах пульсаций токов в ветвях ШИП большой. Однако это практически не отражается на пульсациях тока возбуждения, так как обмотка возбуждения имеет значительную индуктивность.

На рис. 5 представлены результаты расчета электромагнитных процессов в рассматриваемой системе при сбросе 100 %-й нагрузки.

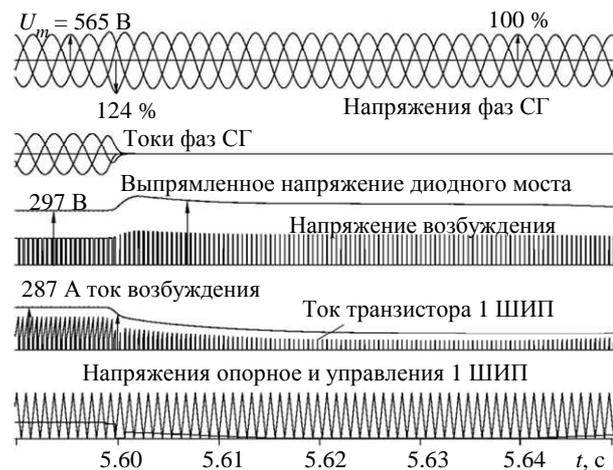


Рис. 5

Из расчета процесса сброса нагрузки и из рис. 5 следует, что при работе СГ в номинальном режиме и сбросе 100 %-й нагрузки напряжение обмотки статора увеличивается до 124 % и затем восстанавливается до 100 % за 7 периодов при частоте 200 Гц.

Важной частью оценки работоспособности системы является анализ аварийных режимов работы. С этой целью выполнен расчет трехфазного КЗ обмотки статора СГ из режима номинальной нагрузки. Замыкание имитировано скачкообразным уменьшением индуктивностей и активных сопротивлений в фазах нагрузки до пренебрежимо малых величин. Результат расчета представлен на рис. 6.

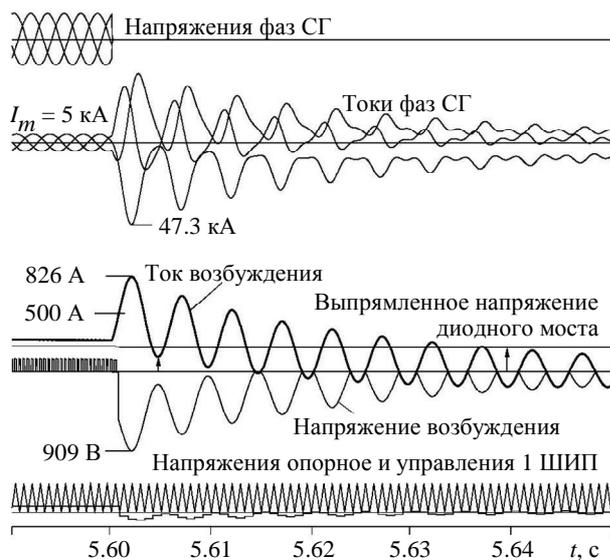


Рис. 6

Из результатов расчета процесса КЗ и рис. 6 следует, что до КЗ напряжение обмотки статора СГ 690 В, амплитуда тока фазы 5 кА, ток возбуждения 287 А. При возникновении КЗ амплитуда тока фазы достигает 47.3 кА, ток возбуждения увеличивается до 826 А. При этом 10-кратному ударному току фазы соответствует приблизительно 3-кратный ток обмотки возбуждения. При увеличении тока возбуждения до 500 А осуществляется поджиг предохранителя и в цепь обмотки возбуждения включается разрядный резистор R_r (в соответствии со схемой рис. 1). С его помощью происходит интенсивное гашение токов фаз и возбуждения. Напряжение возбуждения ограничивается уровнем 909 В, что допустимо для изоляции обмотки.

Для проверки правильности описанных расчетов выполнены также аналогичные расчеты на модели, разработанной в MatLab-Simulink. Полу-

чено удовлетворительное совпадение результатов расчетов на двух указанных моделях. По затратам машинного времени на идентичные расчеты (одинаковая структура установки, равные шаги интегрирования, расчеты на одной ЭВМ и др.) получено, что в MatLab-Simulink затрачивается времени в 23 раза больше. Это согласуется с подобными сравнениями при расчетах процессов в других системах [10]–[12].

В дальнейшем предполагается осуществить практическую реализацию предложенной СВ с последующей экспериментальной проверкой полученных на моделях результатов.

1. Использование транзисторов в системе возбуждения СГ позволяет существенно повысить быстродействие системы (в пределах 1 мс).

2. Разработаны две модели установки с СГ и предложенной СВ. Первая модель базируется на методологии расчета систем по взаимосвязанным подсистемам. Вторая модель реализована с использованием MatLab-Simulink. Результаты исследований на указанных моделях практически совпадают (по затратам машинного времени моделирование в MatLab-Simulink в 23 раза уступает первой модели).

3. Моделирование рассматриваемой системы с генератором и возбудителем подтвердили эффективность предложенной СВ. В частности, использование взрывного предохранителя со временем срабатывания порядка 2 мс и разрядного сопротивления позволяет ускорить процесс гашения токов КЗ.

В традиционных СВ, как правило, используется компаундирующий трансформатор, исключение которого в данном случае обеспечивает улучшение массогабаритных показателей установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 21558–2000. Системы возбуждения турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2000.
- Глебов И. А. Системы возбуждения мощных синхронных машин. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1979. 313 с.
- Глебов И. А. Электромагнитные процессы систем возбуждения синхронных машин. Л.: Наука. 1987. 344 с.
- Юрганов А. А., Кожевников В. А. Регулирование возбуждения синхронных генераторов. СПб.: Наука, 1996.
- Российские и зарубежные системы возбуждения синхронных генераторов / Н. Д. Поляхов, И. А. Приходько, А. А. Карачев, А. Г. Логинов, А. А. Бурмистров, В. А. Хлямков // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Электротехника. 2004. Вып. 1. С. 33–44.
- Гольдштейн М. Е., Горшков К. Е. Алгоритмы управления сильноточными тиристорными преобразователями систем самовозбуждения синхронных генераторов при отказах параллельных вентилях в режимах коротких замыканий в энергосистеме // Вестн. ЮрГУ. 2010. № 32. С. 6.
- Averaged Modeling and Control of a Single-Phase Grid-Connected Two-Stage Inverter for Battery Applica-

tion / Hyun Dong-Yub, Lim Chang-Soon, Kim Rae-Young, Hyun Dong-Seok // IECON-2013. Vienna, Austria. Nov. 10–13, 2013. P. 487.

8. MPC Algorithms for Parallel MultiCell Converters / E. Solano, A. Llor, T. Meynard, M. Fadel, G. Gateau, M. Rivera // IECON-2013. Vienna, Austria. Nov. 10–13, 2013. P. 1047.

9. Электроприводы и системы с электрическими машинами и полупроводниковыми преобразователями (моделирование, расчет, применение) / М. В. Пронин, А. Г. Воронцов, П. Н. Калачиков, А. П. Емельянов; ОАО «Силовые машины», «Электросила». СПб., 2004. 252 с.

10. Особенности моделирования электрических систем в Simulink и методики их расчета по взаимо-

связанным подсистемам / М. Е. Кузин, Т. Нахди, Е. В. Кистанова, М. В. Пронин, А. Г. Воронцов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. № 7. С. 88–95.

11. Разработка, моделирование и исследование транзисторного преобразователя для питания сети 400 В, 50 Гц / И. А. Пименова, А. С. Григорян, М. В. Пронин, А. Г. Воронцов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 5. С. 61–66.

12. Разработка, моделирование и исследование транзисторного преобразователя для питания сети постоянного напряжения / И. А. Пименова, В. В. Глушаков, М. В. Пронин, А. Г. Воронцов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 7. С. 60–66.

M. V. Pronin, A. G. Vorontsov, V. Yu. Shelyuh, I. A. Pimenova, A. S. Grigorian
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

MODELING AND TEST OF TRANSISTOR SYSTEM SELF-EXCITATIONS OF THE SYNCHRONOUS GENERATOR

We have example of the power source with high power synchronous generator and the activator in which rectifier and one pole PWC are used. The generator is executed high-speed with self-excitation. The algorithm of control system is developed. In the protective system the explosive fuse and discharge resistor are used. Models in Visual Studio and MatLab-Simulink are built, and models are compared by the results of calculations and expenses for computer calculations time. The analysis of operating modes of a source is made.

Synchronous generator, excitation system, Pulse-width converter, modeling, control system, expense of machine time

УДК 62-581

Р. М. Нуриахметов, В. А. Новиков, М. П. Белов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Система управления движением механизмов крана с предотвращением раскачивания груза

Представлен вывод математической модели электромеханической системы тележка–подвес–груз при помощи уравнений Лагранжа. Для полученной математической модели предложена структурная схема системы управления с предотвращением раскачивания груза. Произведено моделирование системы управления в среде Matlab Simulink, получены осциллограммы динамических процессов при перемещении механической системы тележка–подвес–груз.

Подъемно-транспортные машины, системы управления, демпфирование колебаний груза, уравнения Лагранжа

Современные системы управления движением механизмов кранов реализуются на базе средств интегрированных электроприводных систем с различными структурами силовой электрической схемы и системы управления. Варианты структур устанавливаются исходя из типовых движений

механизмов крана при выполнении заданной технологии. Наиболее интенсивные движения механизмов имеют место при встраивании крана в непрерывный технологический процесс.

Распространенным вариантом исполнения силовой схемы электроприводов крана является