

## СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ГАШЕНИЯ ПОЛЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

*Е.Я. Крекер, А.Н. Андреев*  
г. Челябинск, ЮУрГУ

## WAY AND DEVICE OF SYNCHRONOUS GENERATOR FIELD SUPPRESSION

*E.J. Kreker, A.N. Andreev*  
Chelyabinsk, SUSU

Рассматривается комплексное устройство, позволяющее гасить поле синхронного генератора и выполнять функции резистора самосинхронизации. Для ускорения гашения поля применен ступенчатый принцип увеличения сопротивления контура возбуждения.

*Ключевые слова:* синхронный генератор, устройство гашения поля, контур возбуждения, преобразователь, обмотка возбуждения.

**The complex device allowing to suppress the field of synchronous generator and to perform the functions of the resistor of self-synchronization is considered. The step principle of resistance increase of contour of excitation is applied to accelerate the field suppression.**

*Keywords:* synchronous generator, device of clearing of a field, contour of excitation, rectifier, winding of excitation.

Гашение поля синхронного генератора - это операция, заключающаяся в снижении магнитного потока машины до величины, близкой к нулю, которая проводится как при плановых, так и при аварийных отключениях генератора от сети [1, 2]. При плановом отключении одновременно с разгрузкой генератора снижают и его ток возбуждения для поддержания напряжения на его выводах близким к номинальному. Этот процесс проводится до тех пор, пока ток возбуждения не снизится до значения тока холостого хода генератора.

Необходимость в аварийном отключении генератора от сети возникает при повреждениях в энергосистеме или при повреждениях в зоне действия дифференциальной защиты генератора или блока генератор - трансформатор. В первом случае после отключения генератора от сети напряжение на его выводах резко возрастает до значения, соответствующего его ЭДС, что значительно выше номинального и нежелательно как для его изоляции, так и для изоляции подключенного к нему оборудования (блочного, выпрямительного трансформаторов и др.). Во втором случае к гашению поля предъявляются особые требования, поскольку, чем больше время горения дуги при этом повреждении, тем не только больше объем разрушения в месте КЗ, но и выше вероятность повреждения изоляции под действием дуги на других узлах генератора (например, развитие двухфазного

КЗ в трехфазное) и рядом стоящего оборудования. Кроме того, машина при близком коротком замыкании (КЗ) испытывает динамический удар, и силы, возникающие при этом, стремятся отогнуть лобовые части статорной обмотки, что может привести к дополнительному повреждению изоляции этих частей и дорогостоящему ремонту.

При пробоях изоляции дуга горит до тех пор, пока ЭДС генератора не снизится до величины, недостаточной для ее поддержания. Проведенные опыты показали, что при напряжении 500 В происходит естественное погасание дуги переменного тока внутри машины [1,2]. Для снижения ущерба от повреждения при такой аварии магнитный поток (ток возбуждения) как можно быстрее должен быть снижен до величины, практически равной нулю.

Как правило, для гашения поля используют контур возбуждения генератора, поскольку напряжение на обмотке возбуждения (ОВ) является единственным параметром, который одновременно влияет на время гашения поля и, в то же время, является доступным для воздействия на него при гашении поля в различных условиях. На ОВ при гашении поля создается отрицательное напряжение, под действием которого ток возбуждения машины снижается до нуля. Чем выше значение этого напряжения, тем быстрее гасится поле.

На сегодняшний день применяются следующие способы гашения поля: гашение поля выводом энергии в сеть переменного напряжения (в тиристорных СВ), гашение поля рассеиванием энергии магнитного поля ОВ на дугогасительной решетке выключателя, гашение поля рассеиванием энергии на резисторе с линейным сопротивлением и на резисторе с нелинейным сопротивлением [3]. Как показывалось в [3] устройства, реализующие эти способы, различны по эффективности (скорости гашения поля) и стоимости. При гашении поля инвертированием или на резисторе с линейным сопротивлением время гашения поля оказывается большим, что говорит о недостаточной эффективности этих способов. С другой стороны устройства, осуществляющие гашение поля на резисторе с нелинейным сопротивлением и на дугогасительной решетке выключателя (АГП) позволяют быстро гасить поле. Однако их стоимость высока и это стимулирует поиск решений, альтернативных уже существующим [3].

Таким образом, актуален поиск решений, позволяющих создать такое УГП, которое сможет быстро гасить поле синхронных машин и будет иметь приемлемую стоимость.

Для того чтобы преодолеть недостатки устройств, реализующих вышеописанные способы можно использовать предложенный в [4] способ гашения поля. УГП, выполненное на базе этого способа, отличается от известных тем, что ВАХ контура возбуждения при гашении поля формируется путем последовательного введения в контур возбуждения специальных линейных резисторов таким образом, чтобы сопротивление контура возбуждения ступенчато возрастало (снижалась постоянная времени контура возбуждения) при снижении тока возбуждения до определенных значений. Такое формирование характеристики УГП позволяет поддерживать обратное напряжение на ОВ близким к допустимому по условиям работы ее изоляции, а также использовать типовые элементы контура возбуждения для гашения поля (резистор самосинхронизации, выключатель и

т.д.). Использование уже имеющихся элементов СВ для реализации большего количества функций приводит к снижению стоимости такого УГП.

В цепи постоянного тока контура возбуждения (рис. 1) обычно последовательно с обмоткой возбуждения (3) и возбудителем 4 включается автомат гашения поля (АГП) или выключатель 5, а параллельно с ОВ тиристорный разрядник (элементы 7 и 8) с резистором самосинхронизации 6 и контактором самосинхронизации (9), шунтирующим разрядник.

Рассмотрим схему УГП (рис. 2) по способу [4] (схема создана на базе типовой схемы СВ, рис. 1) и алгоритмы ее работы в различных режимах работы синхронного генератора.

В нормальном режиме работы генератора тиристоры УГП 8-10, стабилитроны 22-24, диод 11 и транзистор 7 находятся в запертом состоянии.

При подаче сигнала на гашение поля преобразователь 4 СВ переводится в режим инвертирования. Одновременно с подачей импульса на инвертирование подается импульс на отключение выключателя 5 и включение транзистора IGBT 7. При этом, поскольку полупроводниковые приборы обладают меньшей инерционностью, чем механические устройства, то транзистор IGBT 7 включится раньше, чем начнут размыкаться контакты выключателя 5. Таким образом, транзистор 7 шунтирует выключатель 5, что приводит к бездуговому отключению последнего.

После отключения выключателя 5 снимается импульс управления с транзистора 7, который начинает переходить в непроводящее состояние. При этом напряжение на ОВ быстро увеличивается (из-за быстрого отключения тока индуктивности), и ток ОВ 3 переходит в цепь с диодом 11 и резистором 18 по мере отключения транзистора. Как только напряжение на стабилитроне 24 достигнет величины его «срабатывания», наименьшей из всех, этот стабилитрон перейдет в проводящее состояние и в цепи управления тиристора 10 появится ток, тиристор включится и часть тока возбуждения перейдет в цепь этого тиристора (рези-

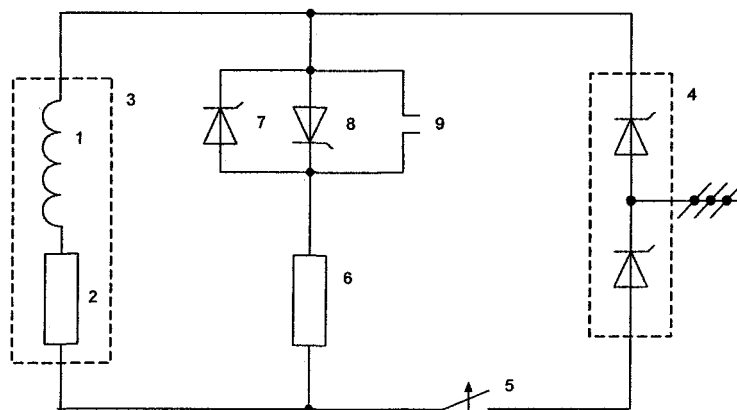


Рис. 1. Типовая схема контура возбуждения

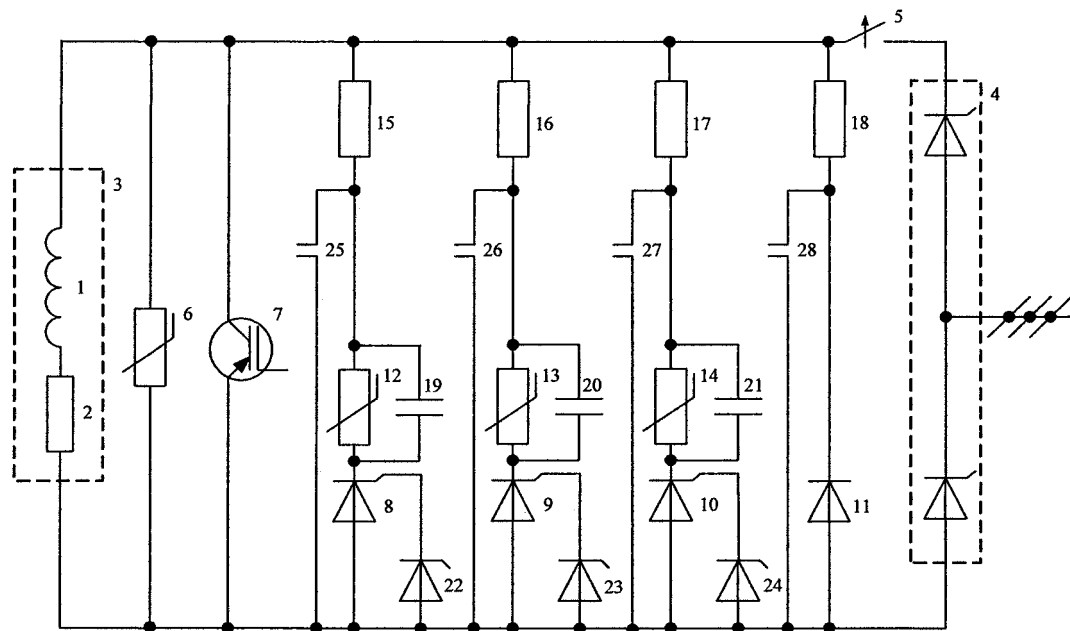


Рис. 2. Схема системы возбуждения с УГП, построенном на принципе ступенчатого увеличения сопротивления контура возбуждения

стор 17, нелинейный элемент 14, конденсатор 21). При этом конденсатор 21 начнет заряжаться до напряжения на нелинейном элементе 14.

Поскольку значения сопротивлений в цепях тиристора 10 и диода 11 велики и транзистор 7 отключается быстро, то напряжение на ОВ будет продолжать увеличиваться. Когда это напряжение достигнет напряжения «срабатывания» стабилизатора 23, который, перейдя в проводящее состояние, подключит тиристор 9 аналогично тому, как стабилизатор 24 подключил тиристор 10. Тиристор 9 включится и в его цепь (резистор 16, нелинейный элемент 13 и конденсатор 20) также перейдет часть тока возбуждения. Конденсатор 20 аналогично конденсатору 21 будет заряжен до напряжения элемента 13. Напряжение на ОВ при этом также не будет ограничено и продолжит расти, пока не достигнет напряжения срабатывания стабилизатора 22, который, включившись, подаст ток управления в цепь тиристора 8. Тиристор 8 включится и подключит свою цепь (резистор 15, нелинейный элемент 12 и конденсатор 19). Часть тока возбуждения перейдет в эту цепь и напряжение на ОВ будет ограничено, поскольку теперь подключены все ступени УГП.

По мере снижения энергии магнитного поля ОВ ток возбуждения уменьшается до величины первой уставки УГП. По ее достижении транзистор 7 повторно включается и шунтирует ветви УГП. Это приводит к снижению напряжения на ОВ и ветвях УГП практически до нуля и практически полному переходу тока возбуждения в этот транзистор (сопротивления ветвей УГП велики). При снижении тока возбуждения в ветвях УГП

конденсаторы 19, 20 и 21 начинают разряжаться. Первоначально напряжение на конденсаторе велико и больше напряжения ввода в работу нелинейных элементов 12, 13 и 14. По мере разряда конденсаторов, сопротивление этих элементов существенно возрастает (на несколько порядков), и ток разряда конденсаторов начинает протекать в основном по тиристорам, которые находятся в ветвях с конденсаторами. Этот обратный ток способствует выводу из них заряда восстановления и их запираанию. После того, как тиристоры 8, 9 и 10 перешли в закрытое состояние, с транзистора 7 снимается импульс управления, он запирается, и напряжение на ОВ снова увеличивается. Однако при повторном увеличении напряжения на ОВ в работу вступают только тиристоры 9 и 10, а также диод 11, поскольку напряжения на ОВ ограничивается только тремя ступенями УГП (значительная часть энергии уже выведена из ОВ). Это приводит к увеличению напряжения на ОВ практически до уровня первого пика при гашении поля (второй пик будет несколько ниже из-за того, что напряжение «срабатывания» стабилизаторов в цепях управления разное).

Аналогичным образом будет работать это устройство и при снижении тока ОВ до уровня следующей уставки. Гашение поля заканчивается на ветви УГП с диодом 11 и резистором 18.

Система управления тиристорами описываемого УГП построена таким образом, чтобы ввод тиристоров в работу осуществлялся за счет энергии, запасенной в контуре возбуждения и процессов, происходящих в силовой части УГП при гашении поля, а не за счет воздействия извне. Такие

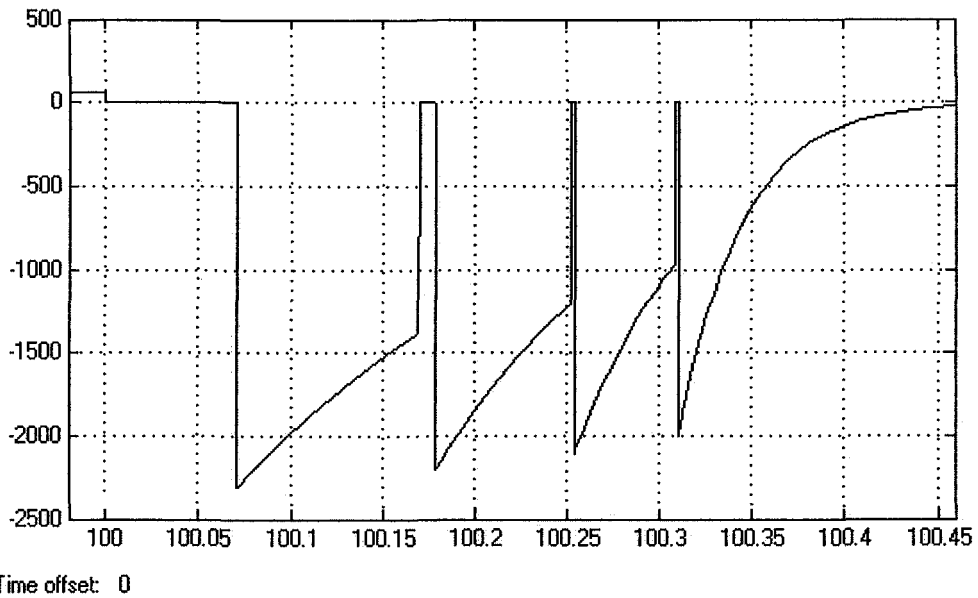


Рис. 3. Напряжение на ОВ при гашении поля

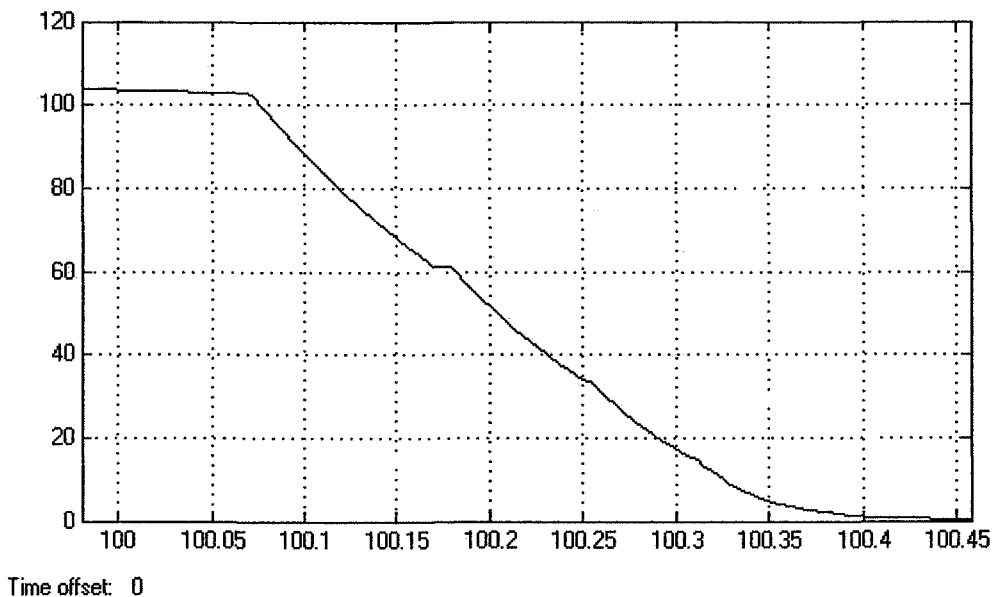


Рис. 4. Ток ОВ при гашении поля

системы управления можно получить, используя в цепи управления тиристорами стабилизаторы на различное напряжение «срабатывания». При этом напряжения «срабатывания» стабилизаторов располагаются в следующем порядке (по мере возрастания напряжения на ОВ):

- 1) напряжение срабатывания 10;
- 2) напряжение срабатывания 9;
- 3) напряжение срабатывания 8.

Напряжение и ток ОВ при гашении поля на описываемом УПП приведены на рис. 3 и рис. 4 соответственно.

### Литература

1. Брон, О.Б. Автоматы гашения магнитного поля / О.Б. Брон. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. - 138 с. (Библиотека по автоматике. Вып. 34).
2. Гольдштейн М.Е. Вентильные системы возбуждения синхронных генераторов и компенсаторов: Учебное пособие / М.Е. Гольдштейн - 2-е изд. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1999. - 100 с.
3. Крекер Е.Я., Гольдштейн М.Е. О гашении поля генератора, оснащенного системой тиристорного возбуждения. XIII Международная научно-практическая конференция студентов, аспи-

рантов и молодых ученых «Современные техника и технологии»: сборник трудов в 3-х томах / Е.Я. Крекер, М.Е. Гольдштейн. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. — Т.1. -547с.

4. Патент на изобретение № 2282925. Способ и устройство гашения магнитного поля обмотки возбуждения синхронной машины (варианты) / Крекер Е.Я., Гольдштейн М.Е., Андреев А.Н. опубл. 27.08.2006, Бюл. № 24.

*Поступила в редакцию 12.11.2007 г.*

**Крекер Евгений Яковлевич.** Инженер кафедры «Электрические станции, сети и системы» Южно-Уральского Государственного Университета, г. Челябинск. Область научных интересов - силовая электроника. E-mail: [kreker\\_e@mail.ru](mailto:kreker_e@mail.ru).

**Kreker Evgeny Jakovlevich.** Engineer of the Electrical Power Stations, Networks and Systems department of South Ural State University, Chelyabinsk. Scientific interests: power electronics. E-mail: [kreker\\_e@mail.ru](mailto:kreker_e@mail.ru)

**Андреев Алексей Николаевич.** Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические станции, сети и системы» Южно-Уральского Государственного Университета, г. Челябинск. Область научных интересов - силовая электроника, защита преобразователей систем возбуждения синхронных генераторов. E-mail: [nppessis@mail.ru](mailto:nppessis@mail.ru)

**Andreev Alexey Nikolaevich.** Candidate of technical sciences, associated professor of the Electrical Power Stations, Networks and Systems department of South Ural State University, Chelyabinsk. Scientific interests: power electronics, protection of converters of excitation systems of synchronous generators. E-mail: [nppessis@mail.ru](mailto:nppessis@mail.ru).