

## АДАПТИВНАЯ КРАТНОСТЬ ФОРСИРОВКИ ПО ТОКУ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ С ТИРИСТОРНЫМИ СИСТЕМАМИ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ

*М.Е. Гольдштейн<sup>1</sup>, А.А. Поснов<sup>1, 2</sup>, А.Д. Поснова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия,

<sup>2</sup> ПАО «Фортум», г. Челябинск, Россия

При близких от шин электростанций коротких замыканиях в энергосистеме существенно снижается напряжение на выводах синхронных генераторов. При этом тиристорные системы самовозбуждения с нормируемыми алгоритмом и параметрами режима форсировки в ряде случаев не могут провести форсировку, поднимая напряжение и ток возбуждения. Возникает лавина напряжения, генератор теряет возбуждение и отключается. В системах возбуждения с микропроцессорным управлением несложно изменить параметры алгоритма процесса форсировки. Поэтому представляет интерес определить, нельзя ли, сделав кратность форсировки по току выше двукратной, а в будущем адаптивной к результирующему импедансу энергосистемы при коротком замыкании, сохранить генератор в энергосистеме.

В статье для генераторов различной мощности, работающих с системами возбуждения разных типов, исследованы зависимости напряжения на выводах генератора от результирующего импеданса энергосистемы при коротком замыкании при разных кратностях форсировки по току. Показана целесообразность изменения кратности и длительности форсировки по току, позволяющие расширить зону, при коротких замыканиях в которой не возникает лавина напряжения и генератор не теряет возбуждение. Изменение кратности форсировки генераторов по сравнению с типовой позволит повысить надежность электростанций и энергосистемы в целом.

*Ключевые слова:* тиристорные системы самовозбуждения, тепловые электрические станции, режимы работы, короткие замыкания.

### Введение

Несмотря на то, что мощность систем возбуждения (СВ) синхронных генераторов (СГ) невелика и составляет всего 0,4–0,6 % мощности СГ, их характеристики существенно влияют как на устойчивость работы генераторов, так и на устойчивость двигателей собственных нужд, обеспечение которой особо важно для повышения надежности технологического режима мощных блочных электростанций.

Одно из требований к СВ синхронных генераторов – создание двукратной форсировки по току в течение нормируемого времени при коротких замыканиях (КЗ) в энергосистеме [1]. Сегодня наибольшее распространение получили системы тиристорного самовозбуждения (СТС), которые, по сравнению с другими СВ, более дешевые и проще в эксплуатации.

Так как при небольших результирующих реактансах энергосистемы (РРЭ) при КЗ в ней существенно снижается напряжение на выводах генератора, а следовательно, и переменное напряжение преобразователя СВ, СТС часто не в состоянии удержать СГ от развития лавины напряжения [2–5]. Лавина обычно возникает гораздо быстрее, чем достигается нормируемая (допустимая) длительность форсировки и часто даже происходит еще до того, как ток возбуждения увеличивается до двойной кратности по отношению к номинальному. Поэтому появляется сомнение в необходимости

использования в АРВ ограничения тока ротора двойным номинальным значением, и возникает вопрос – не сможет ли предотвратить лавину напряжения или хотя бы уменьшить ее зону увеличение тока возбуждения до предельных значений выше двукратного номинального значения.

На тепловых электростанциях могут применяться несколько типов СВ. Это характерно для электростанций с разными мощностями энергоблоков и электростанций с паргазовым циклом с двухвальными агрегатами. Кроме того, рабочее возбуждение СГ обычно выполняется на базе возбуждителей типа СТС, и только для СГ большой мощности применяются системы независимого возбуждения. Современные резервные СВ получают питание от схем СН электростанций и в соответствии с общепринятой классификацией по принципу работы также являются схемами самовозбуждения. Их особенность в том, что они связаны с выводами СГ через трансформатор собственных нужд (ТСН), а в некоторых оперативных схемах через пускорезервный трансформатор собственных нужд и блочный трансформатор.

СГ с разными СВ при различных видах КЗ в энергосистеме по-разному восстанавливают напряжения и на выводах СГ, и на шинах высокого напряжения электростанции [3]. Но разные СГ одной электростанции работают между собой в энергосистеме параллельно, и неодинаковое напряжение на их выводах в процессе форсировки

приводит к появлению уравнивающих токов и потоков мощности между ними. Поэтому для анализа протекания аварийных процессов в энергосистеме с применением различной кратности форсировки по току СГ, адаптивной к РРЭ при КЗ, в ней должны быть известны напряжения СГ. Кроме того, стремление в последующем перейти к групповому управлению СГ при КЗ в энергосистеме также требует такой информации.

### Постановка задачи

Для того чтобы обосновать или отвергнуть целесообразность форсировки генератора током возбуждения, превышающим двукратное номинальное значение, исследуем особенности изменения напряжения на выводах СГ, оснащенных неодинаковыми СВ, при КЗ с разными РРЭ и разными кратностями форсировки по току возбуждения. Применение форсировки током возбуждения, превышающим двукратный, приводит к ускоренному нагреву оборудования СГ и может быть ограничено его параметрами. Поэтому предварительно определим допустимое время такой форсировки.

Исследование проведем для каждого из генераторов электростанции из двух двухвальных парогазовых установок (рис. 1). На генераторах ТЗФГ-160-2М установлены тиристорные системы самовозбуждения типа СТСН-2П-270-1900-2,5, а на генераторах ТЗФП-63-2М – системы возбуждения типа СТСН-2П-350-1000-2,5. Резервной СВ для всех генераторов принята тиристорная СВ типа СТСР-1Е-350-2050-2 [6, 7]. При разных оперативных схемах ее преобразовательный трансформатор может быть подключен как к любой из сек-

ций собственных нужд (СН) или блока 1, или блока 2, так и фидеру от ПРТСН.

### Работа СГ с рабочими системами возбуждения

Исследование проведено для оперативной схемы, когда все четыре генератора работают на рабочих системах возбуждения. Номинальное напряжение генератора ТЗФГ-160-2М 15,75 кВ, а ТЗФП-160-2М – 10,5 кВ. Для каждого из генераторов зависимости напряжения на их выводах от РРЭ при КЗ в режимах без форсировки и с двукратной форсировкой по току возбуждения рассчитаны как [3]:

$$U_{\Gamma} = E_{\Gamma} \frac{X_{\text{КЗ}}}{X_{\Gamma} + X_{\text{КЗ}}}, \quad (1)$$

где  $U_{\Gamma}$  – напряжение на выводах генератора, кВ;  
 $E_{\Gamma}$  – ЭДС генератора, кВ;  
 $X_{\text{КЗ}}$  – РРЭ при КЗ, Ом;  
 $X_{\Gamma}$  – сопротивление генератора, Ом.

Эти зависимости – нелинейные участки кривых на рис. 2 и 3.

На рис. 2 и 3 показано сопротивление блочного трансформатора  $X_{\text{БЛ.ТР}}$ . КЗ до выводов выключателя высокого напряжения блочного трансформатора в зоне  $X_{\text{КЗ}} = 0$  до  $X_{\text{БЛ.ТР}}$  приводят к отключению генератора и нам не интересны. Мы рассматриваем только КЗ в энергосистеме, ближайшее из которых может быть в начале ЛЭП, т. е. сопротивление до него близко к сопротивлению блочного трансформатора. Нас интересует участок кривых за сопротивлением после  $X_{\text{БЛ.ТР}}$ . Для генератора ТЗФП-63-2М (рис. 3) при этом напряжение на выводах при фор-

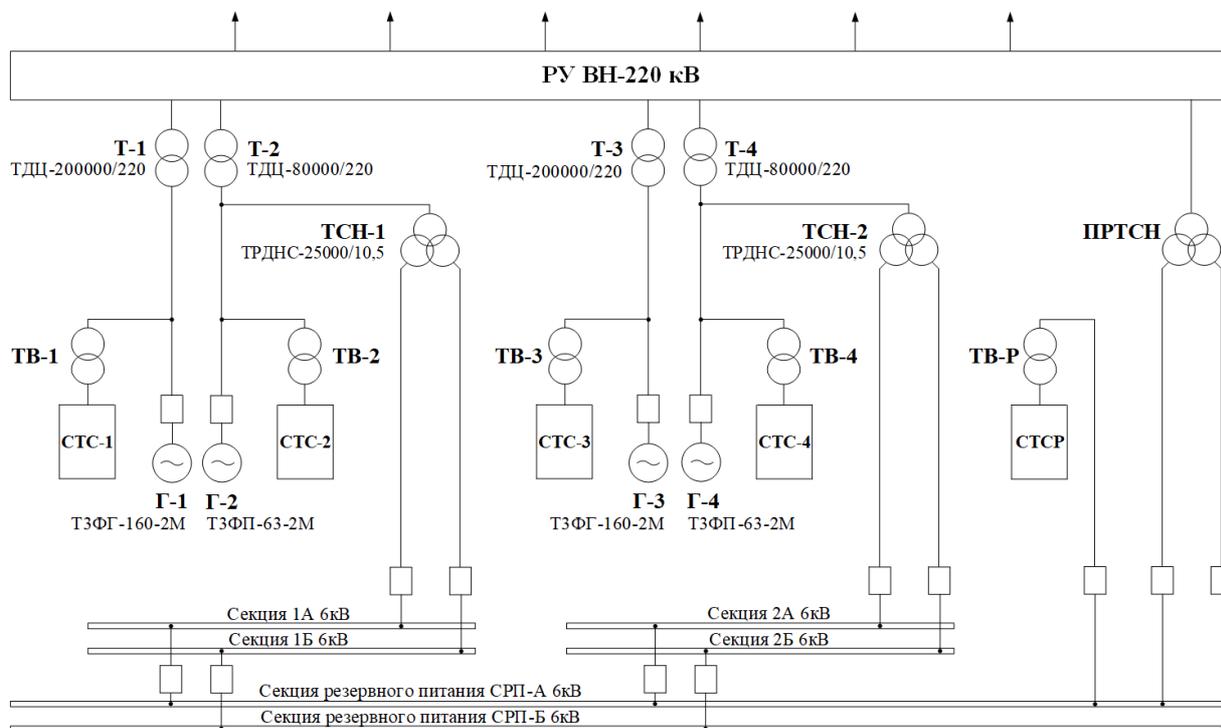


Рис. 1. Структурная схема ТЭС

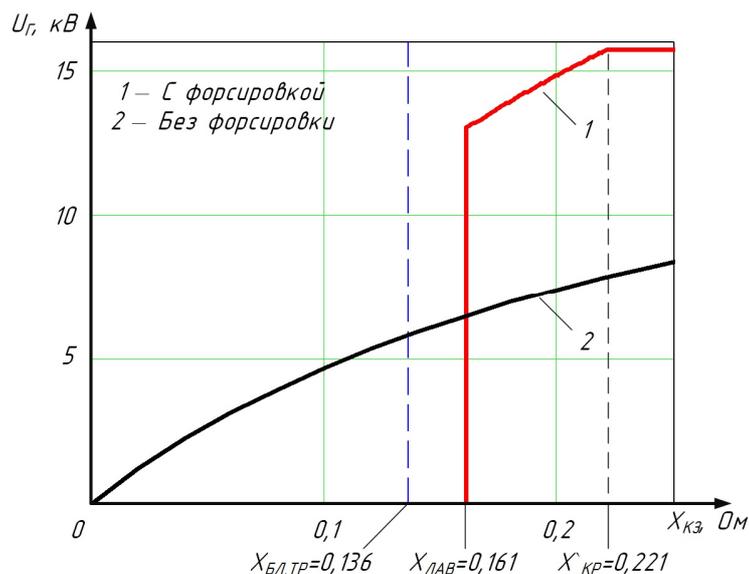


Рис. 2. Зависимость напряжения на выводах ТЗФГ-160-2М для СТС

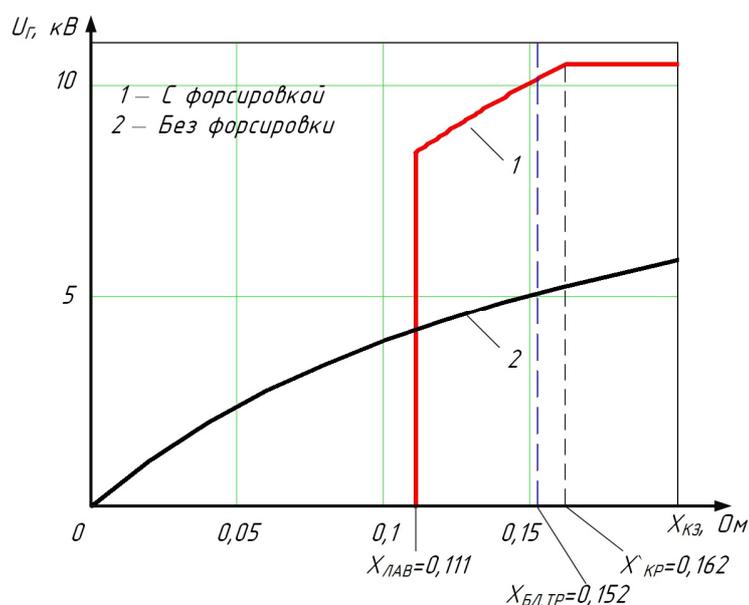


Рис. 3. Зависимость напряжения на выводах ТЗФП-63-2М для СТС

сировке достигнет практически номинального (прямой горизонтальный участок). Это значит, что форсировка проходит довольно успешно даже при близких КЗ недалеко от выводов блочного трансформатора. Связано это с тем, что эквивалентное сопротивление сети между выводами генератора и для преобразователя системы возбуждения генератора ТЗФП-63-2П существенно выше аналогичного сопротивления для генератора ТЗФГ-160-2М.

АРВ может восстановить напряжение на выводах генераторов только при удаленных КЗ, когда  $X_{КЗ}$  больше чем [3]:

$$X_{КР} = \frac{X_{Г}}{\frac{2E_{ГН}}{U_{ГН}} - 1}, \quad (2)$$

где  $U_{ГН}$  – номинальное напряжение на выводах генератора, кВ;

$E_{ГН}$  – номинальная ЭДС генератора, кВ.

Однако для генератора ТЗФГ-160-2М все иначе. На рис. 2 видно, что при достаточно удаленных КЗ ( $X_{КЗ} = 0,17$  Ом) напряжение на выводах может существенно снизиться (примерно до 13 кВ). А при КЗ ( $X_{КЗ} \leq 0,161$  Ом) возникает «лавины напряжения» (прямой вертикальный участок при  $X_{ЛАВ}$ ). При возникновении лавины напряжения СТС не способна провести форсировку и поднять напряжение на выводах генератора. Оно снижается лавинообразно до нуля и генератор необходимо отключать.

При КЗ напряжение генератора  $U_{Г}$  и напряжение питания преобразователя СВ снижаются. Форсировка приводит к тому, что напряжение на

выводах генератора становится больше, чем в момент возникновения КЗ. При этом увеличивается и напряжение питания преобразователя. Поэтому процесс расчета напряжения генератора при КЗ в энергосистеме с последующей форсировкой по току возбуждения выполняется как итерационный. Во время форсировки АРВ увеличивает напряжение питания преобразователя путем уменьшения угла управления тиристоров до 0 град. эл. При этом возрастает ток в обмотке ротора, а это приводит к увеличению ЭДС генератора и соответственно напряжения на его выводах  $U_G$ . Увеличение напряжения на выводах СГ повышает напряжение питания преобразователя и, соответственно, его выпрямленное напряжение, что способствует увеличению тока в обмотке ротора до большего зна-

чения. Это может продолжаться до тех пор, пока ток не увеличится до значения, определяемого предельной кратностью форсировки по напряжению возбуждения. В составе АРВ есть ограничитель тока ротора, который ограничивает ток до двукратного номинального значения. При расчете сопротивления  $X_{ЛАВ}$  определялось из описанного выше итерационного процесса. Условием возникновения лавины являлось снижение с каждой итерацией напряжений возбуждения и генератора.

#### Резервная система возбуждения

Исследования, аналогичные предыдущим, проведены, когда один из генераторов работает на резервной системе возбуждения типа СТСП, а другой – на рабочей. На рис. 4 и 5 показано сравнение

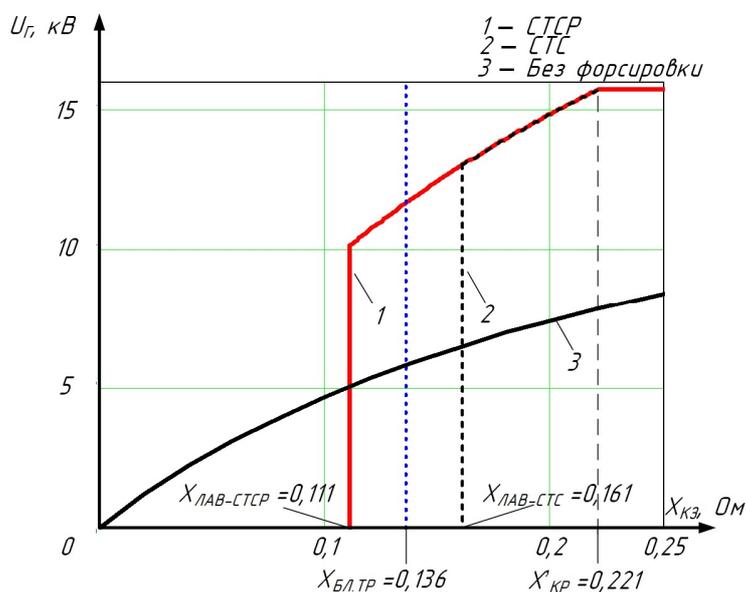


Рис. 4. Зависимость напряжения на выводах ТЗФГ-160-2М для СТСП

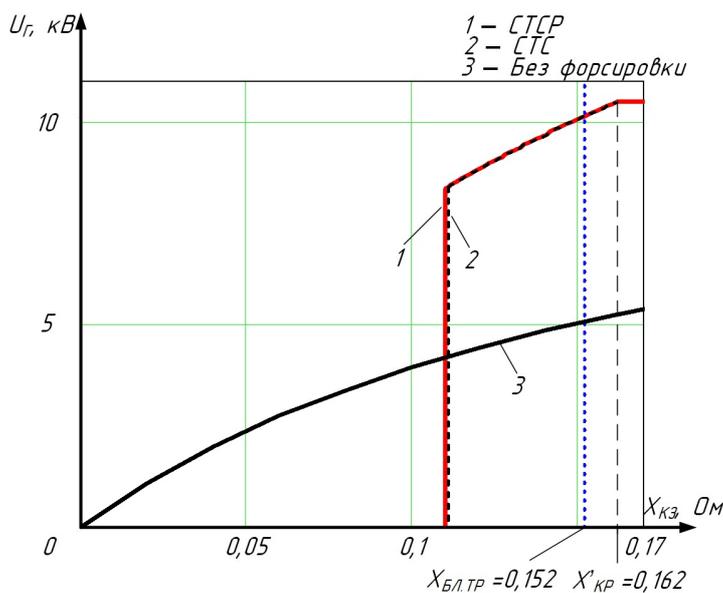


Рис. 5. Зависимость напряжения на выводах ТЗФП-63-2М для СТСП

полученных результатов со случаем, когда оба генератора блока оснащены рабочими системами возбуждения типа СТС. На рис. 4 видно, что сопротивление, при котором возникает лавина ( $X_{ЛАВ}$ ) при работе генератора ТЗФГ-160-2М на резервной системе возбуждения, существенно изменилось от 0,161 до 0,111 Ом. Это обусловлено тем, что номинальное выпрямленное напряжение  $U_d$  для СТСП составляет 350 В, а для рабочей СТС генератора 270 В [8]. Этот запас по напряжению обеспечивает сдвиг лавины напряжения в сторону меньших значений  $X_{КЗ}$ , и малые РПЭ при КЗ могут вызвать лишь снижение напряжения на выводах генератора. Это позволит сохранить ге-

нератор в энергосистеме и существенно повышает надежность работы электростанции в энергосистеме.

### Рабочие системы возбуждения при трехкратной форсировке по току

Проведенные исследования показали, что при малых РПЭ при КЗ синхронные генераторы с СВ типа СТС и СТСП не всегда могут восстановить номинальное значение напряжения на выводах при форсировке двукратным током возбуждения. Из-за этого возникают аварийные ситуации, такие как:

1) развитие лавины напряжения, приводящее к отключению генераторов;

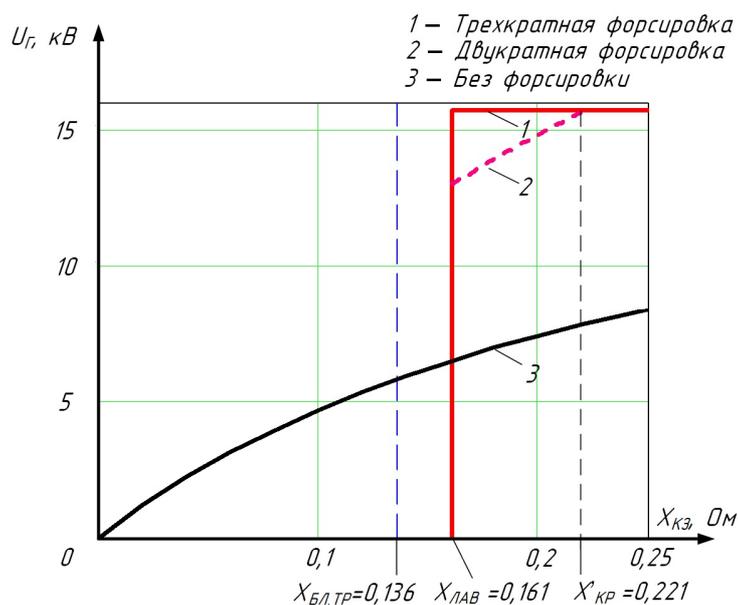


Рис. 6. Зависимость напряжения на выводах ТЗФГ-160-2М при трехкратной форсировке

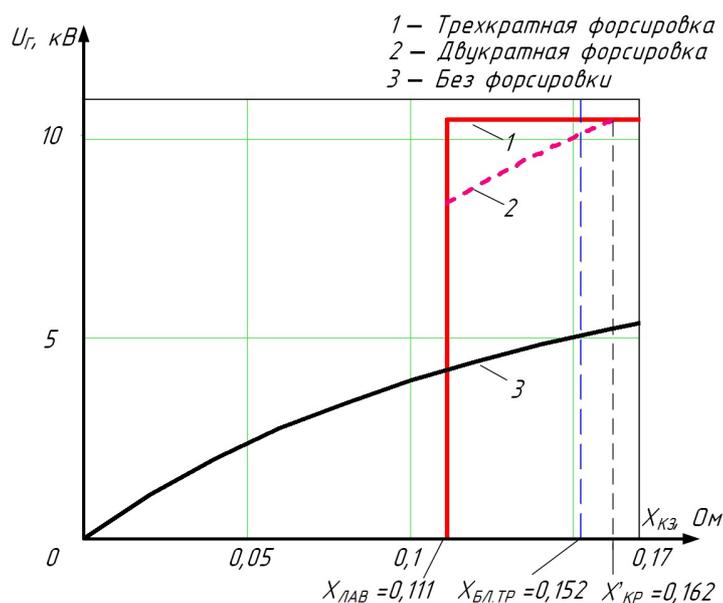


Рис. 7. Зависимость напряжения на выводах ТЗФП-63-2М при трехкратной форсировке

2) потеря устойчивости генераторов и их дальнейшее отключение защитами;

3) снижение напряжения на шинах собственных нужд электростанций, которое может привести к останову двигателей механизмов собственных нужд, что повлечет за собой останов энергоблока технологическими защитами.

Так как лавина напряжения развивается за время, значительно меньшее допустимого времени форсировки генераторов, рассмотрим, удастся ли предотвратить лавину или уменьшить зону лавины – РРЭ при трехкратной форсировке по току возбуждения, сохранив генератор в энергосистеме. При этом допустимое время такой форсировки определяется временем нагрева либо тиристоры, либо обмотки возбуждения до допустимых температур. Это время меньше допустимого при двукратной форсировке по току возбуждения. В конечном итоге выясним, до какой величины восстановится напряжение на выводах синхронных генераторов при трехкратной форсировке.

Кратности форсировки по току выше двух для малых гидрогенераторов были и ранее [9]. На современных электростанциях применяется, в основном, двукратная форсировка [1]. Поэтому применение больших токов на действующих генераторах должно быть обосновано.

С целью определения допустимого времени форсировки проведена проверка обмотки роторов и тиристоры [9–11] рабочих СТС на термическую стойкость. Для обоих генераторов при трехкратной форсировке получено время 8,89 с из условия равенства потерь в обмотке возбуждения потерям при двукратной форсировке длительностью 20 с. При этом для тиристоры системы СТСН-2П-270-1900-2,5 допустимое время оказалось равным 11,5 с, а для тиристоры системы СТСН-2П-350-1000-2,5 составило 12 с. Таким образом, форсировка трехкратным током возможна не более 8,89 с. Результаты расчетов напряжений генераторов при трехкратной форсировке приведены на рис. 6 и 7.

Результаты расчетов при трехкратной форсировке (см. рис. 6, 7) показали, что напряжение на выводах генератора может восстановиться до номинального даже при малых РРЭ. Однако, прежде чем принять решение о форсировке током выше двукратного номинального значения, следует расчетом проверить для каждого СГ и его СВ способность выдерживать увеличенные токи и напряжения. При этом оценивается целесообразность таких решений, так как затраты на систему возбуждения, трансформатор и вспомогательное оборудование при увеличении кратности форсировки по току выше предельной кратности по напряжению могут вырасти. Особое внимание требует принятие решений для энергоблоков большой мощности, потеря которых может привести к значительным авариям в энергосистеме и большому экономическому ущербу.

Таким образом, в энергосистеме с СГ, оснащенными СВ типа СТС и СТСП при выявлении КЗ, вызывающих лавину напряжения при двукратной форсировке по току, можно провести форсировку по току возбуждения с кратностью, адаптивной к РРЭ. Для этого при выявлении КЗ и последующем определении РРЭ предварительно вычисляется кратность, при которой лавина напряжения не развивается, затем определяется допустимое время форсировки с такой кратностью, и проводится соответствующая форсировка. Если же за вычисленное допустимое время форсировки с повышенной кратностью КЗ не будет ликвидировано, то дальше следует отключать генератор. Генератор будет потерян для энергосистемы. Но с гораздо большей вероятностью он был бы потерян и при двукратной форсировке.

### Заключение

Проведенные исследования показали, что при КЗ в энергосистеме с малыми РРЭ надежность работы СГ с серийными СВ типа СТС и СТСП может быть увеличена повышением кратности форсировки по току возбуждения выше двукратного номинального. Для этого необходимо кратность форсировки по току возбуждения сделать адаптивной к РРЭ при КЗ.

При применении на электростанции разных типов СГ, оснащенных разными типами СВ, в последующем может решаться вопрос об организации группового управления возбуждением с индивидуальной адаптивной к РРЭ форсировкой по току каждого из генераторов. Это позволит в ряде случаев дополнительно предотвратить лавину напряжения и, следовательно, уменьшить число аварийных отключений генераторов.

### Литература

1. ГОСТ 21558–2000. Системы возбуждения турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 16 с.
2. Гольдштейн, М.Е. Минимальная кратность форсировки синхронных генераторов с системами самовозбуждения / М.Е. Гольдштейн, Е.И. Пахомов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2004. – Вып. 4, № 1.
3. Гольдштейн, М.Е. Алгоритмы управления тиристорными преобразователями систем возбуждения синхронных генераторов / М.Е. Гольдштейн, К.Е. Горшков // Электрические станции. – 2013. – № 2. – С. 50–60.
4. Гольдштейн, М.Е. Вентильные системы возбуждения синхронных генераторов: учеб. пособие / М.Е. Гольдштейн. – 2-е изд. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1999. – 100 с.
5. Жданов, П.С. Устойчивость электрических систем: учеб. для вузов / П.С. Жданов. – М.; Л.: ГЭИ, 1948. – 399 с.

6. Каталог систем возбуждения, устанавливаемых на турбогенераторах различной мощности. – <http://praktika2003.ru/data/documents/tro2009-09.pdf> (дата обращения: 15.04.2017).

7. Системы возбуждения, выпускаемые компанией ПАО «Силовые машины» для турбогенераторов. – [http://www.power-m.ru/products/Default.aspx?section\\_id=142&element\\_id=401](http://www.power-m.ru/products/Default.aspx?section_id=142&element_id=401) (дата обращения: 15.04.2017).

8. Технические описания и инструкции по эксплуатации систем возбуждения, выпускаемых ПАО «Силовые машины» СТСН-2П-270-1900-2,5, СТСН-2П-350-1000-2,5, СТСП-1Е-350-2050-2.

9. Абрамов, А.И. Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов: учеб. пособие для вузов / А.И. Абрамов, А.В. Иванов. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 2001. – 389 с.

10. Энергетическая электроника: Справочное пособие / под ред. В.А. Лабунцова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 464 с.

11. Каталог низкочастотных тиристорных таблеточной конструкции, выпускаемых компанией ОАО «Электровыпрямитель». – [http://www.elvpr.ru/poluprovodnikprib/tiristory/nizkochast\\_tabl.php](http://www.elvpr.ru/poluprovodnikprib/tiristory/nizkochast_tabl.php) (дата обращения: 15.04.2017).

**Гольдштейн Михаил Ефимович**, канд. техн. наук, профессор, профессор кафедры «Электрические станции, сети и системы электроснабжения», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; [susu-meg@mail.ru](mailto:susu-meg@mail.ru).

**Поснов Александр Алексеевич**, магистрант, Южно-Уральский государственный университет; старший электромонтер по обслуживанию электрооборудования электрических станций 6 разряда, ПАО «Фортум», г. Челябинск; [alex.posnov.93@gmail.com](mailto:alex.posnov.93@gmail.com).

**Поснова Анастасия Дмитриевна**, магистрант, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; [anastasiia06091992@mail.ru](mailto:anastasiia06091992@mail.ru).

*Поступила в редакцию 28 ноября 2017 г.*

---

DOI: 10.14529/power180105

## ADAPTIVE RATIO OF CURRENT FORCING OF SYNCHRONOUS GENERATORS WITH THYRISTOR SELF-EXCITATION SYSTEM

**M.E. Gol'dshtein**<sup>1</sup>, [susu-meg@mail.ru](mailto:susu-meg@mail.ru),

**A.A. Posnov**<sup>1, 2</sup>, [alex.posnov.93@gmail.com](mailto:alex.posnov.93@gmail.com),

**A.D. Posnova**<sup>1</sup>, [anastasiia06091992@mail.ru](mailto:anastasiia06091992@mail.ru)

<sup>1</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

<sup>2</sup> Public Joint Stock Company "Fortum", Chelyabinsk, Russian Federation

The voltage decreases significantly at the generator leads if a short circuit occurs near the power rails of a power plant. In this case thyristor self-excitation system that use rated algorithms and forcing-state parameters in some cases might not be able to force by raising the voltage and the excitation current. Voltage collapses, and the generator loses its excitation and turns off. It is not difficult to alter the forcing algorithm in microprocessor-controlled systems. It is therefore interesting to find out whether it is possible to save the generator in the power system by using a higher-than-2x current-forcing ratio or a ratio that adapts to the resulting system impedance.

The paper investigates how generator-lead voltages depend on the resulting system impedance in case of short-circuits; analysis is done for various current-forcing ratios, with analyzed generators varying both in power and by the excitation system type. It is shown that ratios or current-forcing durations might be altered to expand the zone wherein short-circuits do not result in voltage collapse and excitation loss. Altering the generator forcing ratio can make power plants and systems generally more reliable.

*Keywords: thyristor self-excitation system, heat power plant, operating states, short circuits.*

### References

1. GOST 21558–2000. *Sistemy vozbuzhdeniya turbogeneratorov, gidrogeneratorov i sinkhronnykh kompensatorov* [State Standard 21558–2000. Excitation Systems for Turbine Generators, Hydro Generators, and Synchronous Condensers]. Moscow, Standartinform Publ., 2000. 16 p.

2. Gol'dshteyn M.E., Pakhomov E.I. [Minimum Ratio of Forcing in Synchronous Generators with Self-Excitation System]. *Bulletin of South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2004, iss. 4, no. 1. (in Russ.)
3. Gol'dshteyn M.E., Gorshkov K.E. [Control Algorithms for Thyristor Converters of Synchronous-Generator Excitation Systems]. *Power Technology and Engineering*, 2013, no. 2, pp. 50–60. (in Russ.)
4. Gol'dshteyn M.E. *Ventil'nye sistemy возбуждения синхронных генераторов* [Excitation Systems of Synchronous Generators]. 2nd ed. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 1999. 100 p.
5. Zhdanov P.C. *Ustoyichivost elektricheskikh sistem* [Stability of Electrical Systems], Moscow, Leningrad, State Energy Publishing House, 1948. 399 p.
6. *Katalog sistem возбуждения, ustanavlivaemykh na turbogeneratorakh razlichnoy moshchnosti* [Catalogue of Excitation Systems Installed in Different Synchronous Generators]. Available at: <http://praktika2003.ru/data/documents/tro2009-09.pdf> (accessed 15.04.2017).
7. *Sistemy возбуждения, выпускаемые компанией PAO "Silovye mashiny" dlya turbogeneratorov* [Turbine-Generator Excitation Systems by PAO Silovye mashiny]. Available at: [http://www.power-m.ru/products/Default.aspx?section\\_id=142&element\\_id=401](http://www.power-m.ru/products/Default.aspx?section_id=142&element_id=401) (accessed 15.04.2017).
8. *Tekhnicheskie opisanija i instruktsii po ekspluatatsii sistem возбуждения, выпускаемых PAO "Silovye mashiny" STSN-2P-270-1900-2,5, STSN-2P-350-1000-2,5, STSR-1E-350-2050-2* [Product Specifications and Standard Operating Procedures for Excitation Systems of Synchronous Generators by Silovye mashiny STSN-2P-270-1900-2,5, STSN-2P-350-1000-2,5, STSR-1E-350-2050-2].
9. Abramov A.I., Ivanov A.V. *Proektirovanie gidrogeneratorov i sinkhronnykh kompensatorov* [Designing Hydro Generators and Synchronous Condensers]. 2nd ed. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2001. 389 p.
10. Labuntsov V.A. (Ed.) *Energeticheskaya elektronika* [Power Electronics]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1987. 464 p.
11. *Katalog nizkочастотных тиристорov tabletochnoy konstruksii, выпускаемых компанией OAO "Elektrovypryamitel'"* [Catalogue of Tablet-Design Low-Frequency Thyristors by OAO Elektrovypryamitel']. Available at: [http://www.elvpr.ru/poluprovodnikprib/tiristory/nizkочаст\\_tabl.php](http://www.elvpr.ru/poluprovodnikprib/tiristory/nizkочаст_tabl.php) (accessed 15.04.2017).

Received 28 November 2017

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Гольдштейн, М.Е. Адаптивная кратность форсировки по току синхронных генераторов с тиристорными системами самовозбуждения / М.Е. Гольдштейн, А.А. Поснов, А.Д. Поснова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 38–45. DOI: 10.14529/power180105

#### FOR CITATION

Gol'dshtein M.E., Posnov A.A., Posnova A.D. Adaptive ratio of Current Forcing of Synchronous Generators with Thyristor Self-Excitation System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 38–45. (in Russ.) DOI: 10.14529/power180105