

## СНИЖЕНИЕ ДУГОВОЙ НАГРУЗКИ НА ВЫКЛЮЧАТЕЛИ В СИСТЕМАХ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ

М.Е. Гольдштейн, А.В. Прокудин

г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет

## DECREASE OF ARC LOAD ON CIRCUIT BREAKERS IN SELF-EXCITATION SYSTEMS

M.E. Goldshteyn, A.V. Prokudin

Chelyabinsk, South Ural State University

По результатам математического и физического моделирования показан положительный эффект от кратковременного шунтирования обмотки возбуждения при гашении поля.

**Ключевые слова:** система самовозбуждения, гашение поля, синхронный генератор, тиристорный преобразователь, система управления, алгоритм, короткозамыкатель.

According to the results of mathematical and physical modeling there is a positive effect from short-time field diversion while field suppression.

**Keywords:** self-excitation system, field suppression, synchronous generator, thyristor transducer, control system, algorithm, short circuitor.

Любая статическая система возбуждения синхронного генератора в цепях постоянного тока содержит коммутационный аппарат, обеспечивающий отделение обмотки возбуждения и возбудителя [1]. Данное обстоятельство продиктовано, в первую очередь, требованиями правил техники безопасности. В бесщеточных системах возбуждения коммутационные аппараты в цепях обмотки возбуждения из-за сложности размещения и управления, как правило, отсутствуют. Кроме обеспечения видимого разрыва, на коммутационный аппарат частично или полностью возложена задача гашения поля синхронной машины.

В качестве основных коммутационных аппаратов цепей возбуждения на сегодня применяются автоматы гашения поля (АГП), быстродействующие автоматические выключатели и специальные контакторы, рассчитанные на отключение больших постоянных токов. АГП и контакторы оснащены сложными дугогасительными решетками [2], имеют мощную контактную систему и позволяют рассеивать большую энергию. Причем конструкция АГП обеспечивает стабилизацию падения напряжения на дуге. Быстродействующие автоматические выключатели обладают на порядок лучшим быстродействием, способны разрывать большие постоянные токи, но не способны рассеивать большую энергию.

В АГП и контакторах основная доля магнитного поля гасится на дуге. При этом ЭДС самоиндукции обмотки возбуждения и ее ток создают падение напряжения на дуге. Соответственно про-

цесс гашения поля определяется вольт-амперной характеристикой (ВАХ) дуги. АГП – устройства сложные и дорогие и применяются преимущественно с мощными (> 63 МВт) генераторами. Контактные в новых системах возбуждения применяются достаточно редко. Их вытеснили быстродействующие автоматические выключатели.

При применении в цепях постоянного тока автоматических выключателей рассеивание энергии идет на добавочном (шунтирующем) сопротивлении  $R_{cc}$  (рис. 1) и процесс гашения определяется ВАХ этого сопротивления. Таким образом, в случае использования быстродействующих автоматических выключателей необходимо обеспечивать минимальное время горения дуги в контактной системе и максимально быстрый переход тока из цепи с выключателем  $Q1$  в цепь шунтирующего сопротивления  $R_{cc}$ .

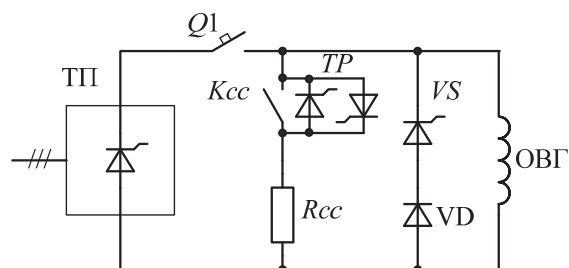


Рис. 1. Типовая схема цепей возбуждения генератора до 63 МВт

При поступлении команды на гашение поля тиристорный преобразователь ТП переводится в режим инвертирования, отключается выключатель Q1 и его блокировочные контакты включают контактор Kcc [1]. Ток возбуждения переходит на сопротивление Rcc. Величина этого сопротивления не превышает 5–7Rf (сопротивления обмотки возбуждения по постоянному току) и определяется из условия [1]:

$$U_{fMAX} \leq 0,7U_{исп} = 2I_{фн}Rcc,$$

где  $U_{fMAX}$  – допустимая амплитуда перенапряжений,  $U_{исп}$  – испытательное напряжение изоляции обмотки возбуждения [4],  $I_{фн}$  – номинальный ток возбуждения. Процесс гашения поля до начала расхождения контактов Q1 будет определяться следующими выражениями:

$$i_f(t) = -K_{Г}I_{фн} + (I_{f0} + K_{Г}I_{фн})e^{\frac{-t}{\tau}},$$

$$u_f(t) \approx -K_{Г}U_{фн} = const,$$

$$i_f(t) \geq 0,$$

где  $K_{Г}$  – кратность напряжения гашения, не превышающая в большинстве случаев 2,5 [3],  $U_{фн}$  – номинальное напряжение обмотки возбуждения,  $I_{f0}$  – ток предшествующего режима. Соотношение токов тиристорного преобразователя  $I_{ТП}$  и шунтирующего сопротивления  $I_{Rcc}$  зависит от кратности напряжения гашения и величины Rcc:

$$\frac{I_{ТП}}{I_{Rcc}}(t) = \frac{i_f(t)U_{доп}}{2I_{фн}K_{Г}U_{фн}} - 1.$$

Здесь  $U_{доп}$  – допустимая амплитуда перенапряжений на обмотке возбуждения при гашении двойного номинального тока  $2I_{фн}$  (тока форсировки), исходя из которой выбиралась величина Rcc.

При расхождении контактов Q1 основная часть тока возбуждения протекает через выключатель, особенно при невозможности инвертирования в аварийном режиме ( $K_{Г} \rightarrow 0$ ). Это явление снижает ресурс выключателя и затягивает процесс гашения, так как падение напряжения на дуге однозначно меньше чем в случае протекания всего тока через резистор Rcc.

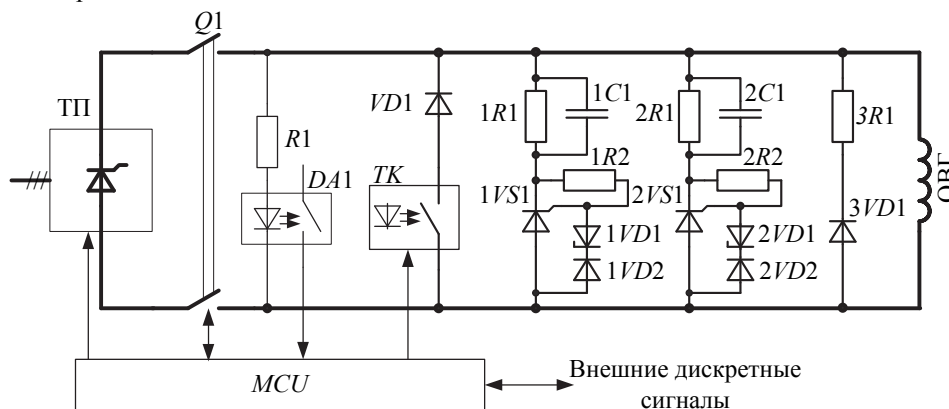


Рис. 2. Структурная схема ТУГП

Снизить вероятность зажигания дуги в контактной системе выключателя и тем самым ускорить переход тока на Rcc можно, кратковременно замкнув накоротко обмотку возбуждения. Причем для этого не требуется установка дополнительных коммутационных аппаратов. Часто в системе возбуждения присутствует силовая цепь защиты от коротких замыканий на контактных кольцах, состоящая из тиристора VS и диода VD (рис. 1). При возникновении короткого замыкания на кольцах тиристор VS отпирается и шунтирует обмотку возбуждения. Так как прямое падение напряжения на цепи VS+VD не превышает единиц вольт, то дуга гаснет. Отключение тиристора происходит только после полного развозбуждения генератора. При замене тиристора VS на полностью управляемый прибор, IGBT или IGCT, появляется возможность кратковременно шунтировать обмотку возбуждения. Эта возможность реализована в тиристорном устройстве гашения поля (ТУГП) (рис. 2).

При поступлении команды в систему управления MCU на гашение поля отдаются команды: на перевод тиристорного преобразователя ТП в режим инвертирования, включение ключа короткозамыкателя ТК и отключение выключателя Q1. Через  $t < 50$  мс [1] на обмотке возбуждения должно появиться отрицательное напряжение и ток перейдет с тиристорного преобразователя на короткозамыкатель ТК. После полного отключения Q1 ( $t < 100$  мс) ключ ТК отключается и ток переходит на цепочки рассеивания энергии ТУГП, включающие 1R1, 2R1 и 3R1. За счет периодического включения на 1–2 мс ключа ТК происходит отключение тиристорных 1VS1 и 2VS1 и эквивалентное сопротивление ТУГП увеличивается, обеспечивая ВАХ, близкую к ВАХ АГП  $U_f \approx const$ .

Для проверки и подтверждения вышеизложенного были проведены экспериментальные работы на испытательной станции систем возбуждения [5]. В ходе экспериментов отмечено полное отсутствие зажигания дуги при гашении поля генератора и возможности перевода тиристорного преобразователя в режим инвертирования. При гашении поля в режиме неуправляемой форсиров-

## Краткие сообщения

ки замечено существенное снижение времени и интенсивности горения дуги в контактной системе выключателя ТУГП. Также замена постоянного резистора  $R_{сс}$  на блок ТУГП позволила снизить время развозбуждения в среднем в три раза.

### Вывод

Модернизация цепей защиты от коротких замыканий на контактных кольцах в системе самовозбуждения или установка тиристорного устройства гашения поля позволяет повысить коммутационный ресурс выключателя и в последнем случае отказаться от применения АГП.

### Литература

1. ГОСТ 21558-2000. Системы возбуждения турбогенераторов, гидрогенераторов и синхрон-

ных компенсаторов. Общие технические условия.

2. Брон, О.Б. Автоматы гашения магнитного поля / О.Б. Брон. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 138 с.

3. Гольдштейн, М.Е. Вентильные системы возбуждения синхронных генераторов и компенсаторов: учебное пособие. – 3-е изд. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 100 с.

4. ГОСТ 183-74. Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия.

5. Разработка и исследование системы возбуждения генератора с тиристорным устройством гашения поля и микропроцессорным управлением: отчет о НИР (заключительный): № 4932р/7318 / рег. № 01.2.007 08038/ ООО НПП «Электрические станции, сети и системы»; рук. М.Е. Гольдштейн; исполн.: А.Н. Андреев, А.В. Прокудин – Челябинск: НПП ЭССуС. – 128 с.

*Поступила в редакцию 25.09.2012 г.*

**Гольдштейн Михаил Ефимович** – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрические станции, сети и системы», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Область научных интересов – силовая электроника, системы возбуждения электрических машин, интеллектуальные сети, техника высоких напряжений. Контактный телефон: (351)267-92-46. E-mail: meg@esls.susu.ac.ru

**Goldshteyn Mikhail Efimovich** – Candidate of Science (Engineering), Professor, Head of the “Electric Power Stations, Networks and Systems” Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: power electronics, excitation systems of electrical machines, smart grids, high-voltage engineering. Contact telephone number: (351)267-92-46. E-mail: meg@esls.susu.ac.ru

**Прокудин Александр Владимирович** – ассистент, ведущий инженер кафедры «Электрические станции, сети и системы», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Область научных интересов – силовая электроника, системы возбуждения электрических машин, цифровые системы управления, энергосберегающие технологии. Контактный телефон: (351)267-90-76. E-mail: rn9ape@bk.ru

**Prokudin Aleksandr Vladimirovich** – assistant, senior engineer of the “Electric Power Stations, Networks and Systems” Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: power electronics, excitation systems of electrical machines, digital control systems, energy-saving technologies. Contact telephone number: (351)267-90-76. E-mail: rn9ape@bk.ru