

УСТРОЙСТВО ГАШЕНИЯ ПОЛЯ - ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ С ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ, ФОРМИРУЕМОЙ ТИРИСТОРАМИ

М.Е. Гольдштейн, Е.Я. Крекер
г. Челябинск, ЮУрГУ

В статье рассматривается выключатель с вольтамперной характеристикой формируемой тиристорами, позволяющий комплексно решать задачи гашения поля синхронного генератора, защиты цепи постоянного тока от перенапряжений и реализующий функции резистора самосинхронизации.

Быстрое гашение поля синхронного генератора при его отключениях из-за аварий в энергосистеме проводится для уменьшения времени воздействия перенапряжений на его изоляцию, а при повреждениях в самом генераторе или в зоне действия дифференциальной защиты блока - для снижения объема разрушений, возникающих при горении дуги в месте повреждения. В первом случае поле гасится до величины, обеспечивающей номинальное напряжение на выводах генератора. Во втором - до величины, при которой напряжение на выводах генератора станет недостаточным для поддержания дуги, возникшей в месте повреждения [1, 2]. При этом ток обмотки возбуждения (ОВ) фактически снижается до величины, близкой к нулю.

Практика показала, что надежность тиристорных систем возбуждения достаточна, чтобы при независимом возбуждении генератора осуществлять гашение поля переводом преобразователя в режим инвертирования. В системах самовозбуждения требуется дополнительное устройство гашения поля (УГП), так как при близких к генератору коротких замыканиях (либо коротких замыканиях в зоне действия его дифференциальной защиты) снижается напряжение на его выводах и, как следствие, напряжение на его возбуждатель, что затрудняет, либо вообще не позволяет гасить поле инвертированием.

Более 50 лет назад в нашей стране при решении задачи гашения поля гидрогенераторов Волжских ГЭС на заводе «Электросила» был разработан уникальный автоматический выключатель, получивший название автомата гашения поля (АГП), напряжение на котором при гашении дуги снижается незначительно в нормируемом диапазоне. Это существенно снижает время гашения поля [3]. Поэтому в последующем АГП стал применяться и для гашения поля турбогенераторов. Между тем, процессы, протекающие при гашении поля в гидрогенераторах и турбогенераторах, отличаются [4, 5]. Процесс затухания токов в роторе турбогенератора продолжается и после того, как ток ОВ снизится до нуля из-за большого влияния их демпферной системы. Поэтому напряжение на выводах

генератора не снижается до требуемого и гашение поля из-за этого затягивается.

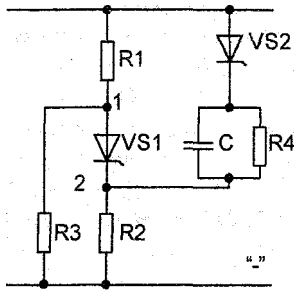
И при гашении поля с помощью АГП, и при гашении поля переводом тиристорного преобразователя в режим инвертирования на ОВ создается напряжение, отрицательное по отношению к нормальным режимам. Чем выше значение этого напряжения, тем быстрее гасится поле [1, 3]. Способность АГП в процессе гашения поля удерживать неизменное максимально допустимое по условиям прочности изоляции напряжение на ОВ приводит к быстрому выводу энергии магнитного поля из ОВ. Фактически в контур возбуждения вводится активное нелинейное сопротивление (сопротивление дуги), на котором рассеивается энергия магнитного поля ОВ. При этом по мере снижения тока возбуждения сопротивление дуги, на которой гасится поле, плавно увеличивается.

АГП - надежный, но достаточно дорогой аппарат. Выпуск его монополизирован, а освоение производства другими предприятиями слишком дорого. Поэтому появилась тенденция отказа от АГП и применения типовых автоматических выключателей для разрыва цепи возбуждения с последующим гашением поля на резисторе самосинхронизации. Однако, при этом существенно увеличивается время гашения поля [5] и возрастает ущерб при авариях.

Заменить АГП автоматическим выключателем и получить малое время гашения поля можно, включив параллельно его контактам варисторы, например подобные применяемым в ОПН. Однако, энергия магнитного поля синхронных генераторов существенно выше, чем та, что рассеивают выпускаемые промышленностью варисторы. Применение же группового (последовательного и параллельного) их соединения значительно усложняет конструкцию УГП, увеличивает его габариты и стоимость. Специально для УГП Новосибирской фирмой «Феникс» разработаны малоградиентные варисторы с высокими энергетическими характеристиками [7]. Но их невысокая нелинейность затягивает процесс гашения поля генератора, а недостаточная энергоемкость и, следовательно, необходимость группового соединения существенно

усложняет технологию производства УГП. Следует ожидать, что в будущем для варисторов будут найдены материалы, сочетающие высокую нелинейность с высокой энергоемкостью, и УГП с такими варисторами окажутся перспективными.

Формирование вольтамперной характеристики (ВАХ) УГП близкой к ВАХ АГП предложено [6] путем ступенчатого увеличения сопротивления линейного резистора, по мере снижения тока возбуждения. Рассмотрим одну ступень схемы, которая реализует такой принцип увеличения сопротивления при гашении поля генератора (рис. 1).



Команда на гашение поля включает тиристор VS1, вводя резисторы R1, R2, R3 в контур возбуждения. Сопротивление ступени

$$R_{\text{ЭКВ}} = R1 + \frac{R2 \cdot R3}{R2 + R3} \quad (1)$$

Для увеличения эквивалентного сопротивления схемы тиристор VS1 выключается. Для этого сначала снимается импульс управления с VS1, затем подается управляющий импульс на тиристор

VS2. При включении VS2 конденсатор C в первый момент шунтирует цепь (+) - точка 2. Ток на участке цепи (+) - точка 1 снижается до нуля, а на участке 2-1 ток стремится изменить направление. Обратный ток через тиристор VS1 течет в течение времени вывода его заряда восстановления [6]. Величины сопротивлений резисторов R1, R2, R3 и R4 подбираются таким образом, чтобы после отключения VS1 сопротивление блока в целом увеличилось. Его эквивалентное сопротивление на этой ступени равно

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{(R1 + R3) \cdot (R2 + R4)}{R1 + R2 + R3 + R4}$$

При этом напряжение на эквивалентном сопротивлении (и, соответственно, на ОБ) не должно превышать максимально допустимого напряжения на ОБ в процессе гашения поля.

В схеме (рис. 2) реализуется тот же принцип увеличения сопротивления в цепи ротора при снижении тока в процессе гашения поля ОБ. Эта схема содержит четыре ступени и помимо УГП выполняет функции резистора самосинхронизации и тиристорного разрядника, обычно устанавливаемых в контуре возбуждения. Проанализируем работу узла (см. рис. 2) при реализации всех возможных функций.

Первоначально рассмотрим два случая гашения поля генератора. Первый - гашение поля при КЗ в зоне действия дифференциальной защиты генератора или блока. При этом обычно постоянная времени цепи возбуждения невелика и лежит в пределах 0,5... 1,5 с [1, 4]. Гашение поля инвертированием в этом случае неэффективно, так как протекает при малом напряжении на преобразова-

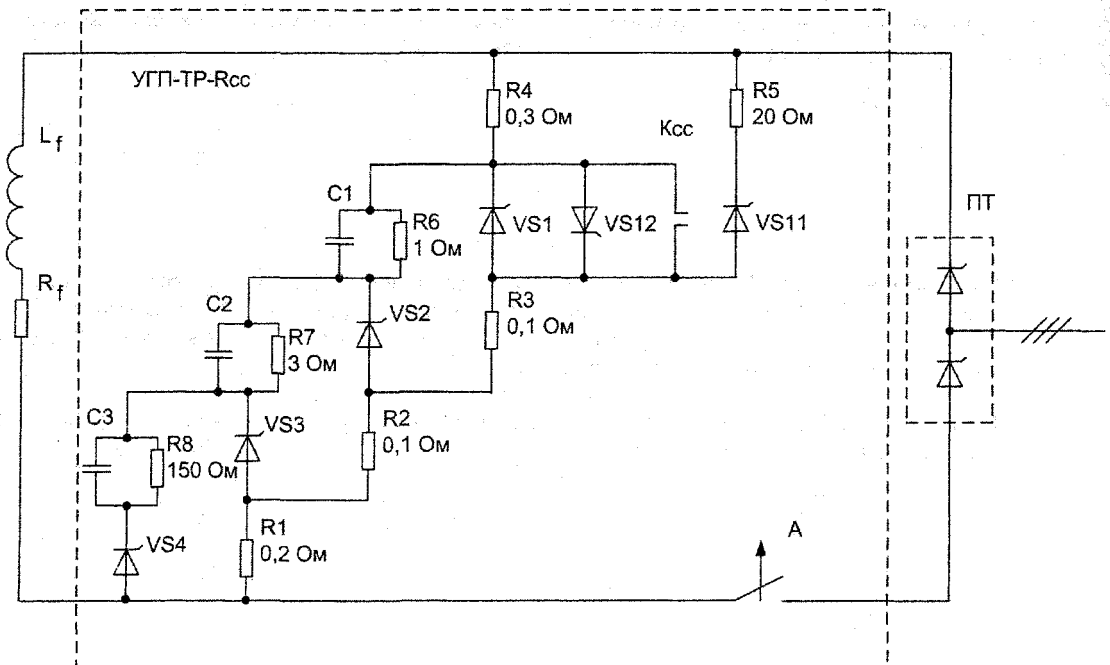


Рис. 2

теле. Погасить поле ротора можно, только отключая выключатель а и вводя в работу УГП. Для этого после отключения выключателя первоначально включаются тиристоры VS1 и VS11, замыкая ОБ на резистор самосинхронизации (сопротивления R1, R2, R3, R4 и R5). При этом в процессе гашения поля напряжение на ОБ не должно превосходить допустимого по условиям прочности изоляции значения. После включения VS1 и VS11, с VS1 снимаются импульсы управления и, когда напряжение ОБ снизится до величины первой уставки, включается тиристор VS2. При этом подключается резистор R6 и отключается тиристор VS1. После гарантированного включения VS2 с него снимается импульс управления.

Аналогично, по достижении напряжением возбуждения второй уставки, подключается VS3, отключая при этом VS2 и вводя в работу резистор R7. Таким же образом проходит процесс и при включении тиристора VS4, после чего гашение поля завершается на последней ступени эквивалентного сопротивления.

Во втором случае при КЗ в сети с последующим отключением генератора напряжение на его выводах становится равным его ЭДС, и поле гасится переводом преобразователя в режим инвертирования, при большом напряжении на преобразователе. Поэтому УГП в работу вводить не надо.

Тиристорный разрядник в рассматриваемой схеме реализуется тиристорами VS1 и VS12 (рис. 2). При появлении перенапряжений на ОБ и выключенных других тиристорах эти тиристоры подключают параллельно ОБ резистор самосинхронизации и в результате гасят перенапряжения. Тиристор VS1 в этом случае запирается выпрямленным напряжением от системы возбуждения, а тиристор VS12 - путем организации провала в этом напряжении. В режиме разрядника тиристоры VS1 и

VS12 (а если необходимо, то и VS11) включаются устройством управления этими тиристорами при условии, что напряжение на разряднике превышает уставку.

Таким образом, рассмотренное устройство - выключатель с вольтамперной характеристикой формируемой тиристорами, позволяет комплексно реализовать функции УГП, резистора самосинхронизации и тиристорного разрядника в основном на базе уже существующих элементов систем возбуждения синхронных генераторов.

Литература

1. Брон О.Б. Автоматы гашения магнитного поля// Библиотека по автоматике. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. -Вып. 34. - 138 с.
2. Гольдштейн М.Е. Вентильные системы возбуждения синхронных генераторов. - 3-е изд. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. - 100 с.
3. Брон О.Б., Образцов В.А. Гашение поля синхронных машин// Электричество. - 1957. — №7. - С. 34-38.
4. Волдек А.И. Электрические машины: Учебник для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергия, Ленингр. отд-ие, 1974. - 840 с.
5. Гольдштейн М.Е., Шумилов А.С. Особенности гашения поля турбогенераторов с системой самовозбуждения без АГШ// Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». - 2007. - № 4. - С. 44-48.
6. Гольдштейн М.Е., Кречер Е.Я., Прокудин А.В. Схемы цепей постоянного тока системы самовозбуждения синхронного генератора// Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». - 2004. - № 4. - С. 101-105.
7. Поля погаснут без дуги// Новости электротехники: Материалы компании «Феникс-88». - 2004. -№2(26). - С. 12.

Гольдштейн Михаил Ефимович, зав. кафедрой ЭССиС ЮУрГУ, к.т.н., профессор, выпускник кафедры ЭССиС ЧПИ 1961 г. Присвоена степень к.т.н. и звание доцента в 1975 г, профессора - в 1999 г. На кафедре работает с 1969 г. Научные интересы связаны с развитием систем электроэнергетики с силовыми полупроводниковыми преобразователями.

Кречер Евгений Яковлевич в 2003 году окончил ЮУрГУ по специальности «Электроэнергетические системы и сети». Аспирант кафедры ЭССиС.