

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ГАШЕНИЯ ПОЛЯ РОТОРА НОВОГО ТИПА ГЕНЕРАТОРА С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Сердюков Р.П.
Мироновская ТЭС

Results of research of system of excitation of new type of the generator by power 110 MBm are presented. The opportunity of indistinct work a key in a mode of clearing of a current of a rotor is revealed. Recommendations for increase of efficiency of clearing of a magnetic field of the generator are given.

Постановка задачи. На данном этапе развития энергетики Украины актуальным является разработка генераторов единичной мощностью 100-200 МВт, обладающих более высокой надежностью и экономичностью по сравнению с ранее выпускавшимися генераторами. К такому типу генераторов относятся последние разработки завода «Электротяжмаш» (г. Харьков), который внедрил один из первых образцов на Мироновской ТЭС. Генератор мощностью 120 МВт с воздушным охлаждением имеет параметры: $P_{НОМ}=120$ МВт; $U_{НОМ}=10,5$ кВ; $I_{НОМ}=8250$ А; $\cos\varphi=0,8$; $I_f=1040$ А; $R_f=0,1528$ Ом; $R_{CC}=0,9$ Ом; $X_d=2,245$ о.е.; $X_c=0,1362$ о.е.; $X_{\sigma f}=0,0638$ о.е.; $X''_d=0,1362$ о.е.; $T_{d0}=16,1$ с; $T''_d=0,178$ с.

По ряду своих характеристик этот генератор превосходит лучшие отечественные и зарубежные аналоги, благодаря применению новых изоляционных материалов в обмотках статора и ротора, более интенсивному использованию активных материалов, повышенной безопасности эксплуатации за счет использованию воздушно-го охлаждения вместо традиционного водородного. Заводом была разработана также новая контакторно-тиристорная система самовозбуждения, отличающаяся применением, вместо традиционного [1] автомата гашения поля ротора типа АГП, автоматического выключателя и тиристора. Однако, несмотря на применение новых прогрессивных решений, при вводе в эксплуатацию и освоении данного типа генератора возник ряд проблем. Имел место пробой изоляции стержней обмотки статора, повреждались лопасти вентиляторов системы воздушного охлаждения, возникала неустойчивая работа системы возбуждения на рабочем возбуждении (повторные зажигания дуги в автоматическом выключателе при его отключении, перенапряжения на обмотке ротора и др.).

Целью данной работы является анализ результатов экспериментальных исследований системы возбуждения генератора, полученных при проведении пуско-наладочных работ и обоснование рекомендаций для выбора параметров настроек ее основных элементов¹.

Результаты исследований. Принципиальная схема системы возбуждения генератора приведена на рис.1.

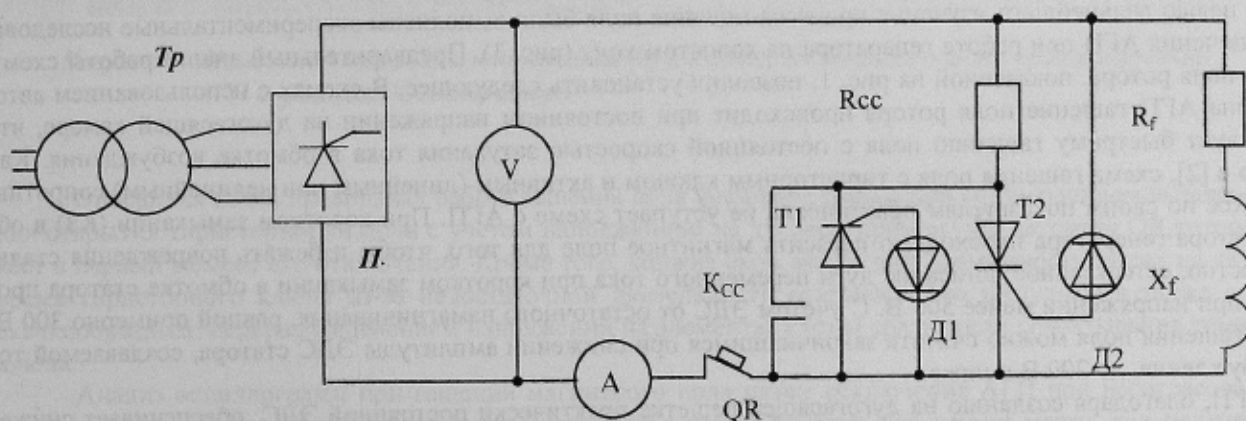


Рисунок 1 – Схема системы возбуждения генератора

В ней питание обмотки ротора постоянным током осуществляется от трансформатора T_r и управляемого тиристорного преобразователя Π . Для гашения поля ротора, вместо автомата типа АГП с дугогасящей камерой, используется обычный автоматический выключатель QR типа ВА56-43 и тиристорный ключ $T1$ с пороговым элементом (стабилитроном) $D1$. Последовательно с тиристорным ключом $T1$ включено сопротивление самосинхронизации R_{cc} и эта цепь подсоединена параллельно обмотке возбуждения генератора, что обеспечивает гашение поля ротора на активное сопротивление. Тиристорный ключ $T2$ со стабилитроном $D2$ предназначен для защиты ротора при коротком замыкании в обмотке ротора или в цепях возбуждения. На рис.1 пока-

¹ Эксперименты выполнялись совместно со специалистами Донтехэнерго и Мироновской ТЭС

заны также V – место подключения канала регистратора для осциллографирования при испытаниях напряжения преобразователя; A – место подключения канала регистратора для осциллографирования тока возбудителя, а также контакты КСС контактора самосинхронизации. Ротор генератора представлен активным сопротивлением R_f и индуктивным X_f .

В системе возбуждения предусмотрено гашение поля ротора путем перевода преобразователя Π в инверторный режим, осуществляемый без отключения автомата QR . Экспериментальная осциллограмма этого режима приведена на рис. 2, из которой следует, что при переводе в инверторный режим преобразователя Π произошло также открытие тиристорного ключа $T1$. Таким образом, гашение поля происходило и через преобразователь и на сопротивление R_{cc} , что увеличило длительность времени гашения. В данном режиме тиристорный ключ $T1$ сработал из-за низкого порога его открытия. Следовательно возникает вопрос о выборе уставки напряжения срабатывания тиристорного ключа $T1$ с учетом различных режимов работы генератора.

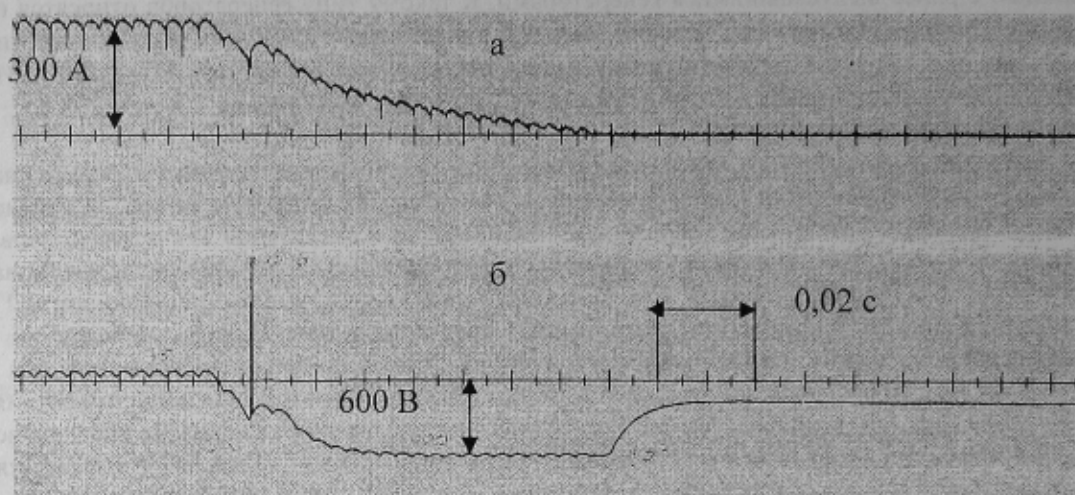


Рисунок 2 - Изменение тока в цепях возбуждения (а) и напряжения на зажимах преобразователя (б) в режиме инвертирования

С целью дальнейшего изучения процесса гашения поля были выполнены экспериментальные исследования отключения АГП при работе генератора на холостом ходу (рис. 3). Предварительный анализ работы схемы гашения поля ротора, показанной на рис. 1, позволил установить следующее. В схемах с использованием автоматов типа АГП гашение поля ротора происходит при постоянном напряжении на дугогасящей камере, что способствует быстрому гашению поля с постоянной скоростью затухания тока в обмотке возбуждения. Как показано в [2], схема гашения поля с тиристорным ключом и активным (линейным или нелинейным) сопротивлением R_{cc} по своим показателям практически не уступает схеме с АГП. При коротком замыкании (КЗ) в обмотке статора генератора необходимо погасить магнитное поле для того, чтобы избежать повреждения стали. Как известно, естественное погасание дуги переменного тока при коротком замыкании в обмотке статора происходит при напряжении менее 500 В. С учетом ЭДС от остаточного намагничивания, равной примерно 300 В, процесс гашения поля можно считать закончившимся при снижении амплитуды ЭДС статора, создаваемой током возбуждения, до 200 В и ниже.

АГП, благодаря созданию на дугогасящей решетке практически постоянной ЭДС, обеспечивает снижение тока в обмотке возбуждения с наибольшей скоростью. Однако, наличие мощной демпферной системы в турбогенераторах обуславливает продолжение процесса гашения поля, из-за наличия токов в демпферных контурах, и после спада тока в обмотке возбуждения до нуля. Поэтому малый во времени выигрыш во времени процесса гашения тока ротора, который дает АГП, не оказывает заметного влияния на полное время гашения поля в генераторе. Отсюда следует, что было бы обоснованным считать применение для системы возбуждения обычного автоматического выключателя QR вместо АГП.

Рассмотрим работу системы возбуждения при условиях, соответствующих опыту. При работе генератора на холостом ходу ток ротора равен, приблизительно, 300 А. При отключении автомата QR (рис.1) с указанным током на его контактах возникает дуга. Суммарное напряжение на дуге трех последовательно соединенных его контактов должно составляет примерно 1200 В. Под действием этого напряжения должен включиться тиристор ключа. Так как падение напряжения на сопротивлении самосинхронизации R_{cc} (0,9 Ом) составляет около 300 В, что намного меньше напряжения на дуге, то последняя должна погаснуть. При этом, несмотря на скачкообразное понижение напряжения, протекающий через открывшийся тиристор ток должен удерживать по-

следний во включенном состоянии, так как условия для повторного зажигания дуги на контактах QR не возникают. Однако, как следует из результатов эксперимента (рис. 3), при отключении тока ротора холостого хода генератора имели место повторные зажигания и погасания дуги в автомате АВ, что можно объяснить недостаточно четкой работой тиристорного ключа Т1 из-за низкого порогового напряжения срабатывания стабилизатора Д1.

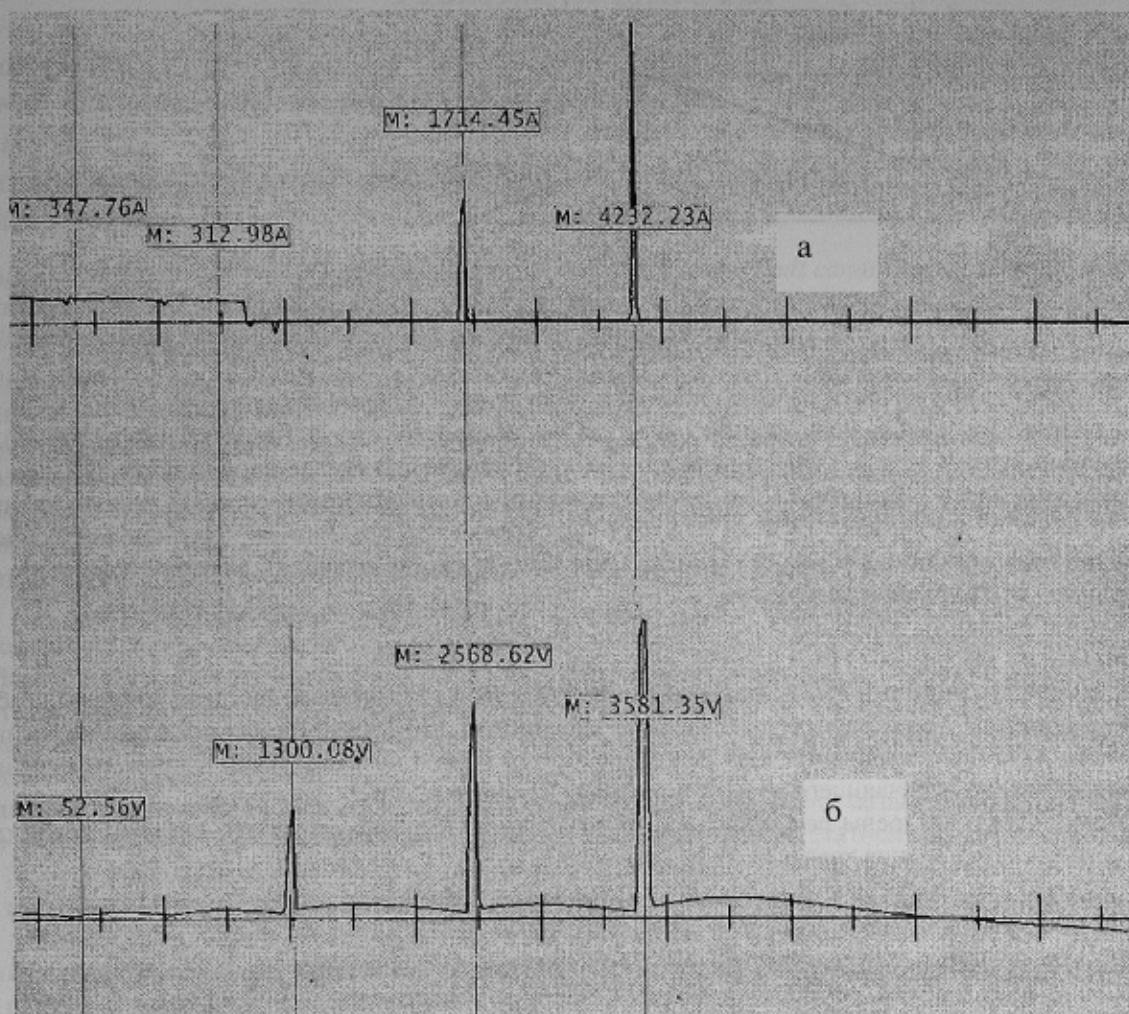


Рисунок 3 - Изменение тока (а) и напряжения (б) в цепях постоянного тока при отключении АГП в режиме ХХ генератора

Описанная выше правильная работа гашения поля возможна только при согласованном выборе напряжения открытия тиристорного ключа с учетом напряжением на дуговом промежутке автомата QR, которое возникает в первый момент его отключения. Кроме того, должна быть исключена возможность закрытия на короткое время тиристорного ключа из-за недостаточной длительности открывающего импульса, а также в связи со скачкообразным перераспределением напряжений на элементах схемы сразу после срабатывания тиристорного ключа.

Анализ осциллограмм при гашении магнитного поля путем отключения АГП при несогласованных уставках напряжения срабатывания тиристорного ключа также показал, что имеют место, как повторяющиеся циклы включения и отключения ключа, так и несрабатывание ключа с последующим гашением поля при разомкнутой обмотке возбуждения генератора.

Известно, что процесс выключения управляемого тиристора состоит из двух участков и характеризуется временем спада, при котором анодный ток уменьшается до 0,1 от тока в момент включения (I_{max}) и временем затягивания, при котором анодный ток уменьшается до нуля (рис. 4). Указанную диаграмму работы тиристорного ключа необходимо учитывать при выборе условий его работы в системе возбуждения генератора.

При срабатывании тиристорного ключа начинает протекать ток через активное сопротивление самосинхронизации, происходит перераспределение напряжений и за счет уменьшения анодного тока возможно отключение тиристора и цепи с сопротивлением самосинхронизации. В результате происходит повторное срабатывание тиристорного ключа. При определенных условиях возможно возникновение процесса многократного открытия и закрытия тиристора, сопровождаемого перенапряжениями. Возможность возникновения такого процесса зависит как от предшествующего режима работы генератора, так и настроек системы возбуждения гене-

ратора. Экспериментальное исследование данного процесса затруднительно. Таким образом, устранение негативных воздействий перенапряжений при возможных повторных открытиях и закрытиях тиристора требует дополнительных исследований с помощью специализированной математической модели.

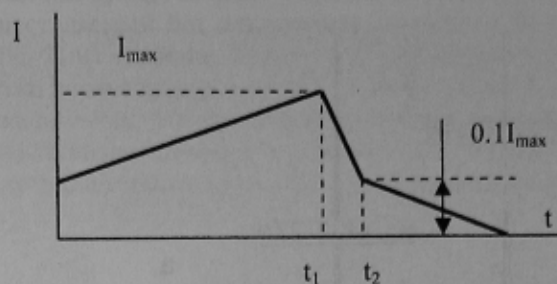


Рисунок 4 – Диаграмма работы управляемого тиристора

Для повышения надежности работы системы возбуждения в режиме отключения автомата QR рекомендовано повышение порогового напряжения открытия тиристорного ключа (порядка 1200-1300 В), которое должно с коэффициентом запаса 1,2-1,4 превышать напряжение, возникающее на контактах QR при отключении наиболее возможного тока ротора. Для данного генератора такой ток можно принять равным пятикратному току ротора холостого хода (около 1500 А) или току форсировки при трехфазном коротком замыкании. Кроме того, рекомендованы различные схемные решения для подачи на управляющий электрод тиристора Т1 более продолжительных открывающих импульсов.

Выводы.

1. На основе экспериментальных исследований выявлены и устранены недостатки системы возбуждения нового типа генератора с воздушным охлаждением мощностью 120 МВт: повторные зажигания и погасания дуги в автомате АГП при отключении тока ротора холостого хода и низкая уставка напряжения срабатывания тиристорного ключа, подключающего ротор к активному сопротивлению.

2. Разработаны и внедрены рекомендации по повышению надежности работы системы возбуждения генератора в режимах отключения тока ротора автоматом АГП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брон О.Б. Автоматы гашения поля. – М.: Госэнергоиздат, 1961. - 278с.
2. Гашение поля в мощных турбогенераторах // Сборник Электросила. - 1973. - №29. – С. 65-69.

Рекомендовано проф., д.т.н. Сивокобыленко В.Ф.