

УДК 621.311.22

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ УСТРОЙСТВА ГАШЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЗАТУХАЮЩИЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Ф. А. Обух<sup>1</sup>, Т. Р. Терегулов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ObukhFA@uust.ru, <sup>2</sup>t15@bk.ru

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

**Аннотация.** В статье произведен расчет температуры нагрева элементов устройства гашения магнитного поля ротора турбогенератора ТВВ-320-2 и представлен способ снижения перегрева устройства при помощи циклической коммутации ветвей различного сопротивления.

**Ключевые слова:** устройство гашения поля; колебательный контур; нагрев.

### ВВЕДЕНИЕ

Устройства гашения магнитного поля (далее – УГП) – это устройства, специально разработанные для быстрого прекращения подачи тока на обмотку возбуждения (далее – ОВ) синхронного генератора и его рассеивания в виде тепла по команде диспетчера или автоматики в случае поломок систем самого генератора или проявления аварийной ситуации в энергоблоке, требующая останова основного оборудования. С ростом мощностей генераторов росла и потребность в обеспечении их быстрого и безопасного отключения еще с начала 20 века, так как несвоевременное или долгое срабатывание УГП приводило к поломкам генераторов, перегревам и деформации составных частей [1].

Проблема нагрева также касалась и самих устройств, так как рассеивание тока обмотки в виде тепла происходило при помощи блоков резисторов и чем выше был ток, тем сильнее происходил нагрев. Это являлось главной причиной, по которой подавляющее большинство энергетических компаний отошло от резистивных схем и перешло на дугогасительные решетки. При правильном проектировании подобные устройства нагревались до незначительных 35 °С, тогда как элементы резистивных схем часто перегорали.

### МЕТОД КОММУТАЦИИ РАЗРЯДНЫХ РЕЗИСТОРОВ

В основе разработанной схемы УГП, показанной на рис. 1, используется принцип затухающего колебательного контура [2]. При поступлении команды на гашение, к обмотке возбуждения подключается блок конденсаторных батарей постоянного тока, шунтируемый разрядным сопротивлением, затем отключается возбудитель, весь ток уходит на образованный колебательный контур. Поведение тока изменяется с постоянного на переменный и при переходе тока через ноль происходит размыкание контура и ОВ остается обесточенной, магнитный поток спадает до нуля, магнитное поле также исчезает.

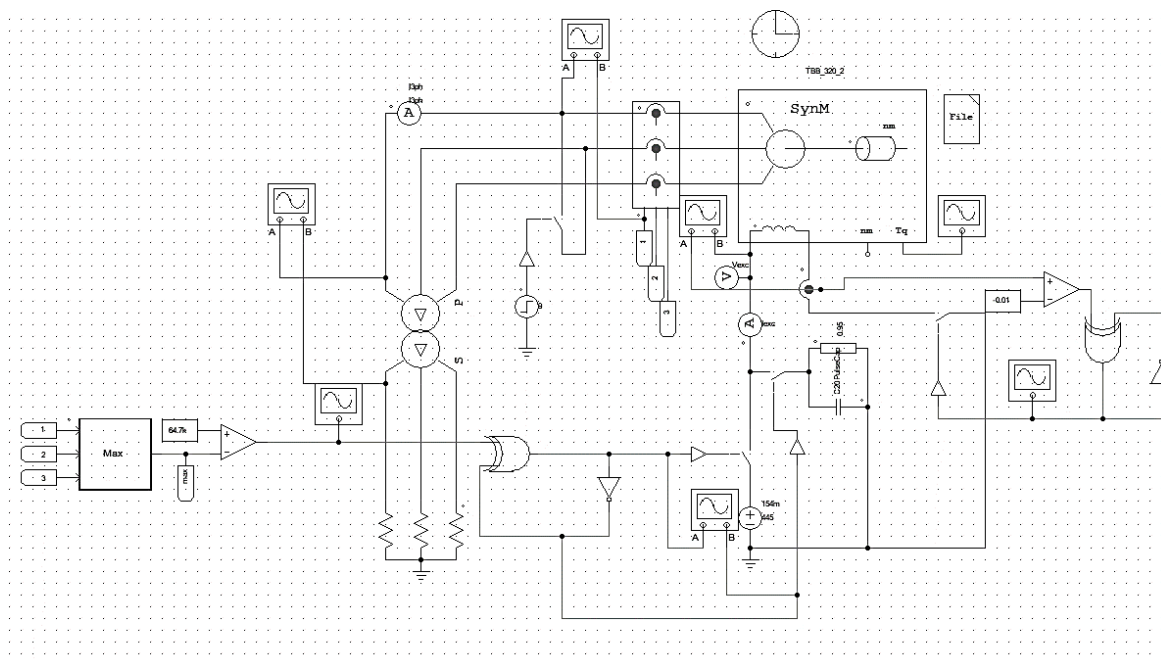


Рис. 1. Схема устройства гашения магнитного поля ротора в составе синхронной машины

При срабатывании устройства на резистор в схеме шел ток в 2920 А при переменном напряжении 1880 В в пике. Поступление такой мощности в течение 0,48 секунд полностью сжигало бы единственный резистор. Решением проблемы стало использование нескольких ветвей подобных резисторов различного номинала. Для еще большего снижения нагрузки эти ветви будут включаться и отключаться поочередно, это даст дополнительное время на охлаждение. Измененная схема представлена на рис. 2.

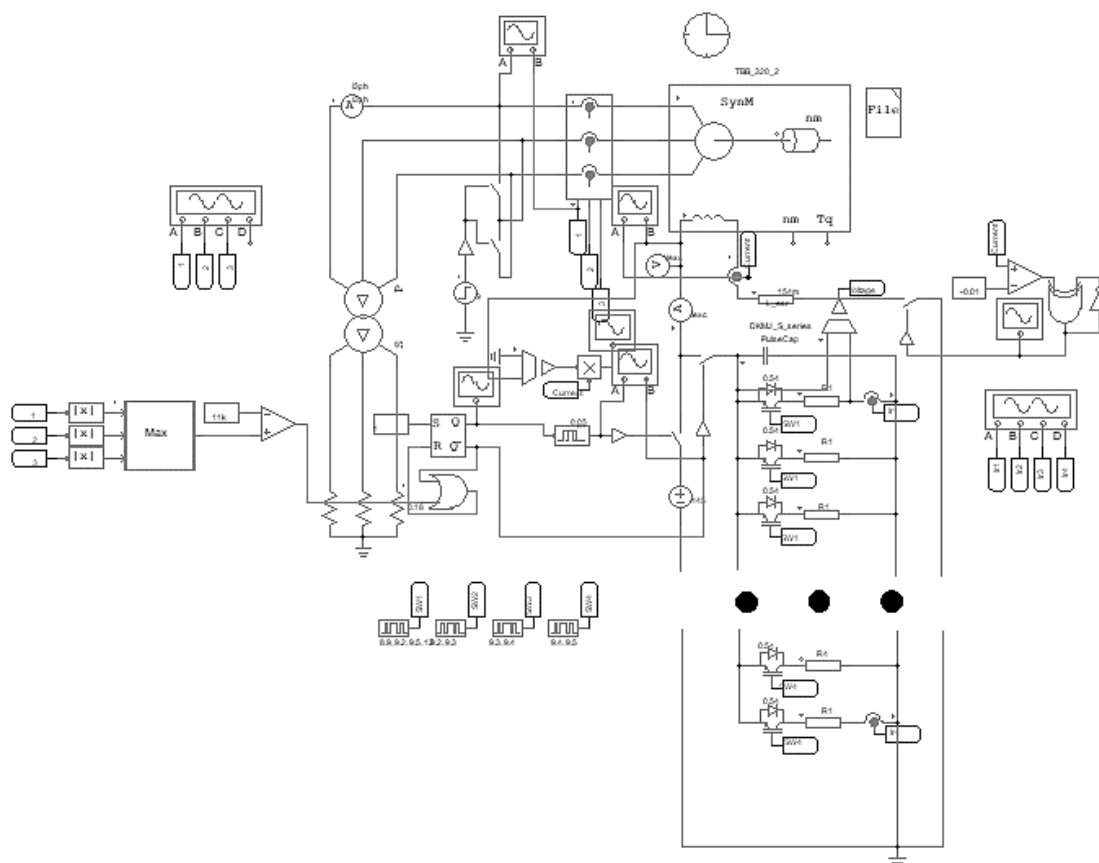


Рис. 2. Дополненная схема устройства гашения магнитного поля в составе синхронной машины

У новой схемы теперь 4 основных ветви с резисторами. Первая ветвь состоит из 4 подветвей, которые коммутируются через силовые IGBT модули, эквивалентное сопротивление такой ветви составляет 0,81 Ом. Вторая ветвь полностью повторяет первую, оставшиеся третья и четвертая ветвь идентичны друг другу и состоят из 2 подветвей с эквивалентным сопротивлением 2 Ом. Переключение происходит по циклу 1-2-3-4-1, таким образом ветви с наименьшим сопротивлением включаются первыми, чтобы рассеять больше тока при низком напряжении, далее подключаются ветви с большим сопротивлением, которые держат уровень перенапряжения в допустимых пределах и предотвращают пробой изоляции. Наконец, повторное включение ветви малого сопротивления позволяет довести остаточное напряжение до нуля и полностью размагнитить ОВ. Подобное переключение позволило снизить время гашения на 0,04 секунды до 0,44 секунд. График тока и напряжения для новой схемы представлен на рис. 3.

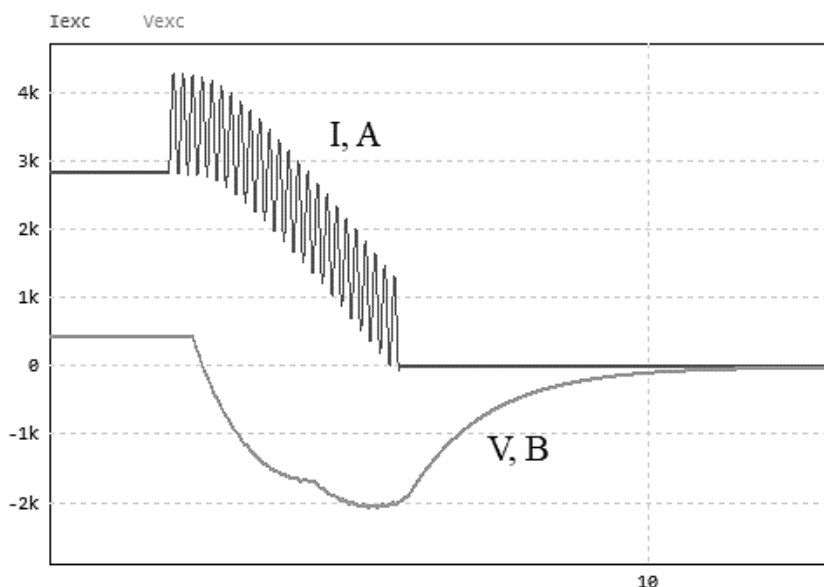


Рис. 3. Графики тока и напряжения в ОВ при гашении магнитного поля по новой схеме

На графике отчетливо виден момент переключения на ветви более высокого номинала сопротивления, это охарактеризовано ростом перенапряжения до 70% от испытательного напряжения изоляции ОВ, указанного в ПУЭ 7 [3]. При этом также сохраняются колебания, вызванные изменением переходного сопротивления обмотки статора, вызванные высокими токами короткого замыкания при моделировании.

При моделировании схемы в программном обеспечении PSIM, использовались данные и характеристики для резисторов SGM1B2R7NE на 2,7 Ом и SGM1BC4R7NE на 4,7 Ом от компании «Ohmite», а также для силовых IGBT модулей 1MBI3600VS-170E. Расчет температур элементов производился через формулы:

$$t_i = t_{\text{окр}} + \Delta t_i$$

$$\Delta t_i = \frac{Q_i}{c_i \cdot m_i}$$

где  $Q_i$  – количество теплоты, выработанное конкретным элементом, Дж;  
 $c_i$  – удельная теплоемкость, определяемая материалом элемента, Дж/(кг×град);  
 $m_i$  – масса конкретного элемента, кг.

Результаты расчета приведены в таблице 1. По результатам видно, что самый большой нагрев, до 135,7 °С, произошел у силовых IGBT модулей, но тем не менее не достигнуто превышение номинальной рабочей температуры, равной 150 °С. Резисторы же с другой стороны, нагрелись очень незначительно и с учетом температуры окружающего воздуха, принятой равной 30 °С, максимальная температура резистора составляет всего 36,98 °С.

Таблица 1

## Расчетные значения температур для элементов схемы УГП

Наименование элемента	Количество теплоты, кДж	Температура, °С
<i>Первая ветвь (<math>R_{экв} = 0,81 \text{ Ом}, t = 0,2 \text{ с}</math>)</i>		
IGBT модуль	71,08	105,93
Тормозной резистор 2,7 Ом		35,26
<i>Вторая ветвь (<math>R_{экв} = 0,81 \text{ Ом}, t = 0,1 \text{ с}</math>)</i>		
IGBT модуль	78,46	113,36
Тормозной резистор 2,7 Ом		35,81
<i>Третья ветвь (<math>R_{экв} = 2 \text{ Ом}, t = 0,1 \text{ с}</math>)</i>		
IGBT модуль на ветке с резистором 2,7 Ом	93,8	130,94
IGBT модуль на ветке с резистором 4,7 Ом	58	92,37
Тормозной резистор 2,7 Ом	93,8	36,95
Тормозной резистор 4,7 Ом	58	34,3
<i>Четвертая ветвь (<math>R_{экв} = 2 \text{ Ом}, t = 0,1 \text{ с}</math>)</i>		
IGBT модуль на ветке с резистором 2,7 Ом	94,2	135,7
IGBT модуль на ветке с резистором 4,7 Ом	58,32	95,30
Тормозной резистор 2,7 Ом	94,2	36,98
Тормозной резистор 4,7 Ом	58,32	34,32

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы была получена улучшенная схема УГП на затухающий колебательный контур. В новой схеме устройство не перегревается выше допустимых значений и не происходит разрушений элементов схемы. Были проведены расчеты и моделирование, показывающие, что устройство при аварийном срабатывании погасит магнитное поле ТВВ-320-2 за 0,44 с, при этом максимальный нагрев силовых IGBT модулей и резисторов будет составлять 135,7 °С и 36,98 °С соответственно.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Брон, О. Б.** Автоматы гашения магнитного поля / О. Б. Брон. — Москва : Государственное энергетическое издательство, 1961.
2. **Осадченко, В. Х.** Резонансные свойства RLC-цепей / В. Х. Осадченко. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2013.
3. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7. Издательство Норматика. 2022 г.

## ОБ АВТОРАХ

**ОБУХ Федор Андреевич**, инженер ПИШ «Моторы будущего» Уфимский университет науки и технологий (УНИТ).  
**ТЕРЕГУЛОВ Тагир Рафаэлевич** к.т.н., доцент Уфимский университет науки и технологий (УНИТ).

## METADATA

**Title:** Optimization of thermal load of a magnetic field dumping device on a damped oscillator circuit.

**Authors:** F. A. Obukh<sup>1</sup>, T. R. Teregulov<sup>2</sup>

**Affiliation:**

<sup>1,2</sup> Ufa University of science and technology (UUST), Russia.

**Email:** <sup>1</sup> ObukhFA@uust.ru, <sup>2</sup> t15@bk.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 2 (31), pp. 101-104, 2024. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** The article calculates the heating temperature of the elements of the magnetic field damping device of the rotor of the turbogenerator TVV-320-2 and presents a method for reducing the overheating of the device using cyclic switching of branches of different resistances.

**Key words:** field damping device; oscillatory circuit; heating.

**About authors:**

**ОБУХ Федор Андреевич**, engineer of the AES "Motors of the Future" (UUST).

**ТЕРЕГУЛОВ Тагир Рафаэлевич PhD**, associate professor (UUST).