



УДК 621.3.064.31:621.311.214

## КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЦЕПЯХ ГЕНЕРАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ МАЛЫХ ГЭС

**ОМОКЕЕВА А.А.****КГТУ им. И.Раззакова****Omokeeva\_aa@mail.ru**

*Проведены оценка уровней перенапряжений, возникающих при коммутациях сверхбыстродействующими вакуумными выключателями и анализ влияния параметров и места установки средств защиты от перенапряжений в цепях генераторного напряжения с помощью математических моделей блочной схемы ГЭС малой мощности и вакуумного выключателя в программе EMTP-RV.*

*Evaluation rate overvoltage, appear by switching ultraspeed vacuum circuit breakers and analysis influence parameters and placement location of protective equipments from overvoltage in circuits of generator voltage to experiment carrying out with mathematical models of block scheme of low power hydroelectric station and vacuum circuit breaker in software EMTP-RV.*

Срок службы изоляции электрооборудования в электрических сетях во многом зависит от уровня коммутационных перенапряжений. В последнее время актуальность данного вопроса существенно возросла в связи с внедрением в эксплуатацию выключателей с жестким дугогашением, к которым относятся вакуумные выключатели. Причинами перенапряжений, возникающих при коммутациях вакуумными выключателями, являются эскалация напряжений и срез тока. Исследования коммутационных процессов проводились с помощью разработанных в программе EMTP-RV (Electromagnetic transients program) математической модели блока станции с генераторными вакуумными выключателями и смежного участка сети (см. рис.1). В блоке генераторы и повышающий трансформатор соединяются с ячейкой выключателя с помощью соединительных токопроводов 1 и 2 соответственно.

Параметры генераторов и трансформаторов существенно различаются и изменяются в широких пределах ( $C_T=0,1-3,0$  мкФ,  $L_T=0,3-0,8$  мГн,  $C_T=1-20$  нФ,  $L_T=0,13-0,4$  мГн). Параметры энергосистемы и остального оборудования (трансформаторов собственных нужд, измерительных трансформаторов, соединительных токопроводов, шинопроводов и другой нагрузки на шинах генераторного напряжения и на шинах со стороны высокого напряжения) варьировались и рассчитывались согласно общепринятым правилам [1].

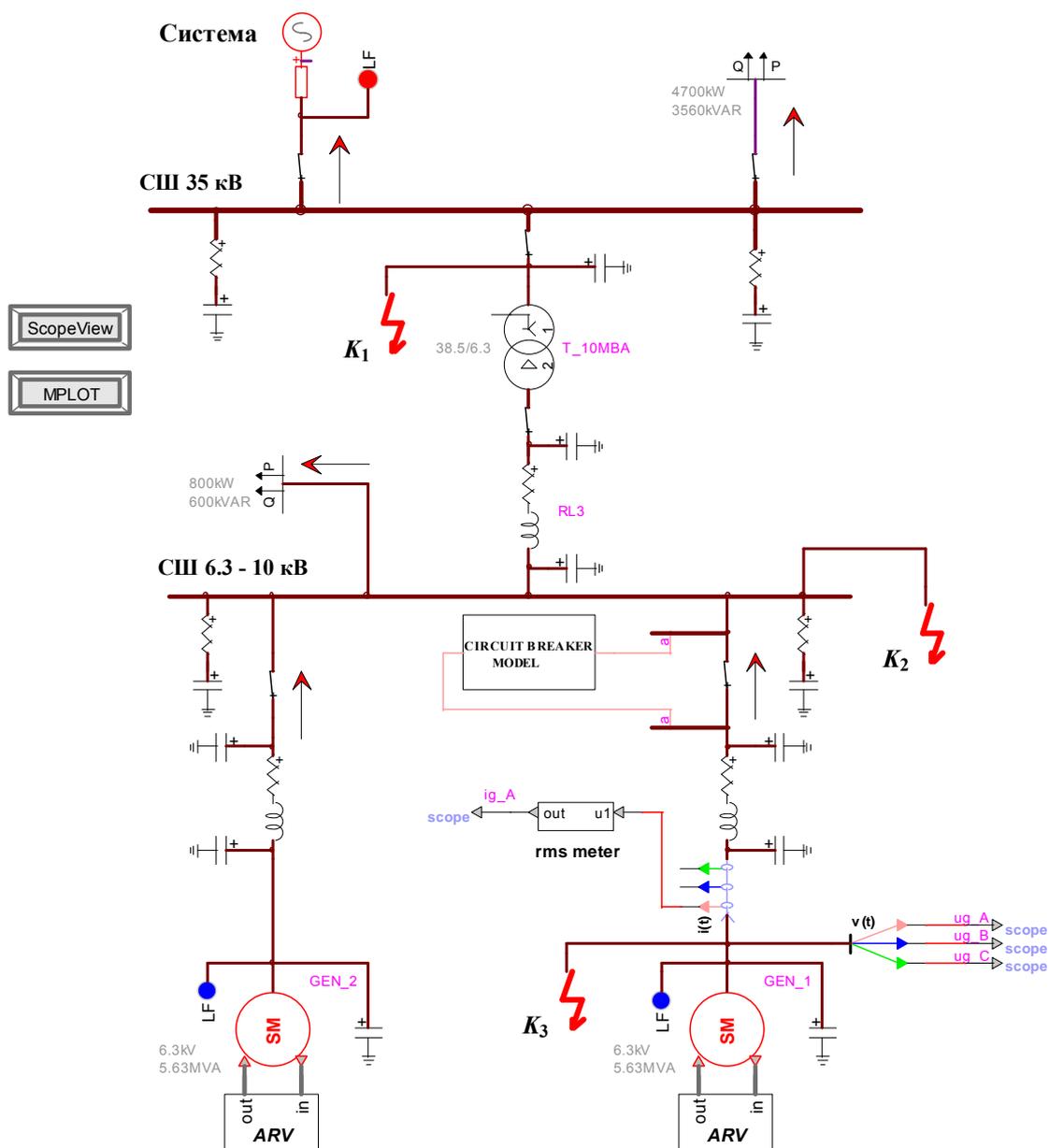


Рис.1. Математическая модель укрупненного блока станции в EMTP-RV

Разработанная модель вакуумного выключателя в программе EMTP-RV осуществляет сравнение восстанавливающегося напряжения на контактах выключателя  $u_B(t)$  с диэлектрической прочностью  $u_{дэ}(t)$  промежутка [2]. Блок управления идеальным ключом (control switch), моделирующего повторные зажигания (ПЗ), показан на рис. 2. Исследования, проведенные применительно к процессу отключения с помощью модели вакуумного выключателя, показали, что ПЗ дуги в межконтактном промежутке могут привести к увеличению кратности перенапряжений как на контактах выключателя, так и на выводах коммутируемого генератора.

Полагая, что прочность изоляции генераторов находится на уровне 2,7-2,9 о.е., из полученных расчетным путем диаграмм наибольших кратностей перенапряжений следует, что наиболее высокие уровни перенапряжений характерны для вакуумных выключателей, при отключении токов холостого хода трансформатора блока при условии превышения начальной скорости восстанавливающегося напряжения на контактах выключателя скорости роста диэлектрической прочности вакуумного промежутка [2].

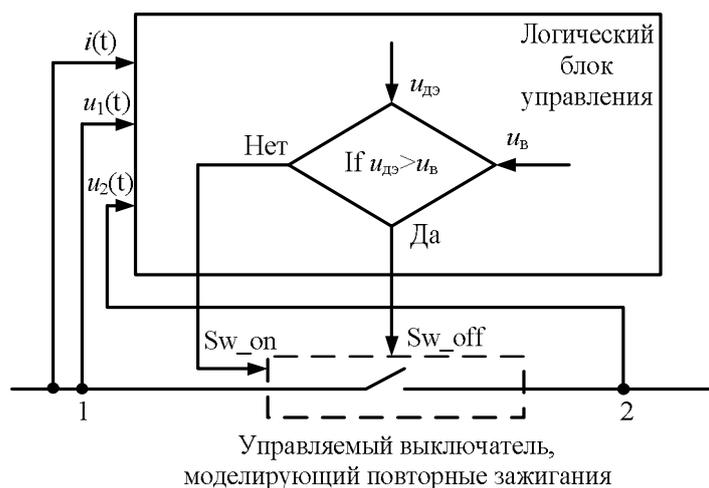


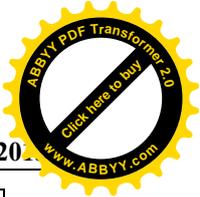
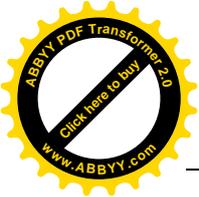
Рис.2. Блок управления выключателя, моделирующего повторные зажигания

В таблице 1 представлены значения скорости восстанавливающегося напряжения на контактах выключателя в зависимости от параметров соединительных токопроводов, при коммутациях выключателем при различных режимах работы генератора блока. Отсюда следует, что наибольшие начальные скорости восстановления напряжения на контактах выключателя возникают при отключении токов КЗ на выводах генератора (в точке  $K_3$ ), и что существенно меньшая опасность переходного процесса имеет место при отключении генератора в нормальном режиме.

Таблица 1

**Скорость восстанавливающегося напряжения при вариации параметров соединительных токопроводов ( $dU/dt$ ), кВ/мс**

Токопровод 1					
Сечение, мм <sup>2</sup>	185	240	300	400	500
<b>1. Отключение номинального тока генератора</b>					
$(dU/dt)_{max}$	66,5	73	74	70	76,35
<b>2. Отключение тока КЗ (в точке <math>K_3</math>)</b>					
$(dU/dt)_{max}$	98,08	107,65	100,85	106,45	110
<b>3. Отключение тока холостого хода трансформатора</b>					



$(dU/dt)_{max}$	121,4	90,4	115,7	118,2	113,2
Токопровод 2					
Сечение, $мм^2$	300	400	500	630	800
<b>1. Отключение номинального тока генератора</b>					
$(dU/dt)_{max}$	65	61,4	71,5	72	61,5
<b>2. Отключение тока КЗ (в точке К<sub>3</sub>)</b>					
$(dU/dt)_{max}$	98,715	94,9	104,75	112,9	104,45
<b>3. Отключение тока холостого хода трансформатора</b>					
$(dU/dt)_{max}$	114,5	107,3	97,9	117,1	107

Наибольшие значения скорости восстанавливающегося напряжения (80-122 кВ/мс) определяют требуемую диэлектрическую прочность вакуумной дугогасительной камеры (ВДК), при которой не должны возникать повторные зажигания и соответственно эскалация напряжения, что может быть определяющим критерием при выборе выключателя.

В работах, посвященных экспериментальным исследованиям перенапряжений, возникающих при коммутациях вакуумными выключателями, предлагается снижение уровней перенапряжений с помощью нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН) и RC- цепочек [3]. Осциллограммы процесса при отключении вакуумным выключателем номинального тока генератора блока при отсутствии и наличии ОПН приведены на рис.3, а и б.

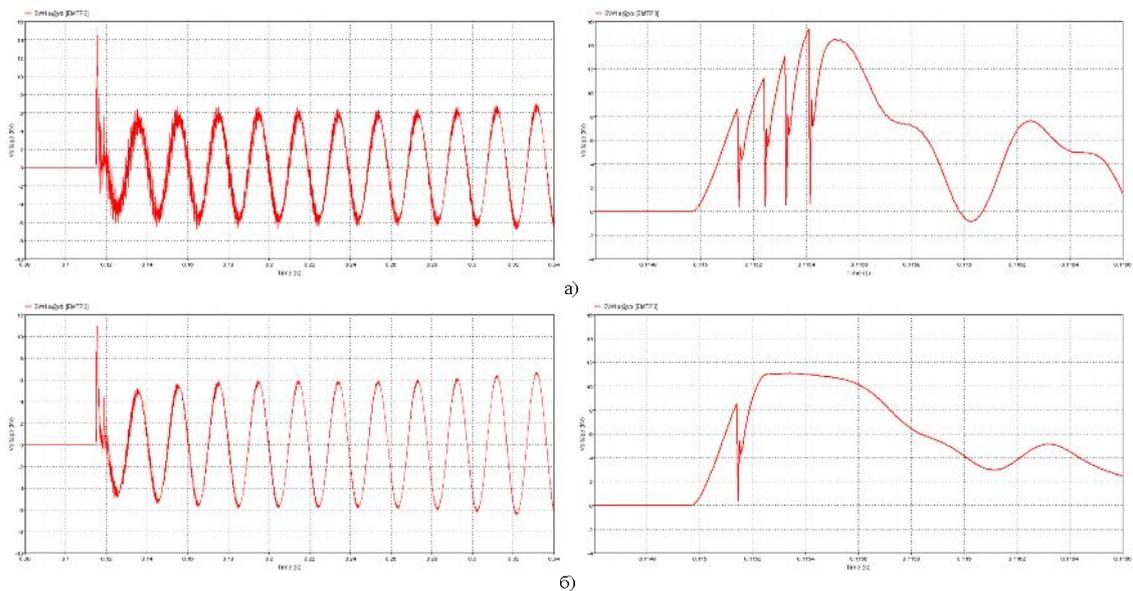
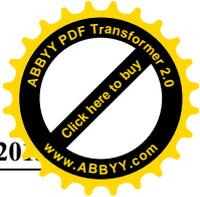
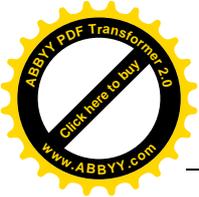


Рис. 3. Осциллограммы восстанавливающегося напряжения на контактах вакуумного выключателя при отсутствии (а) и наличии (б) ОПН на присоединении с генератором (справа увеличенные фрагменты соответствующих осциллограмм)

Значения уровней перенапряжений на выводах отключаемого генератора при варьировании параметрами защитной RC – цепочки приведены на рис. 4. Из полученной



зависимости следует, что наибольшее снижение перенапряжений достигается при параметрах защитной цепочки:  $C=0,1-0,3$  мкФ и  $R=50-100$  Ом.

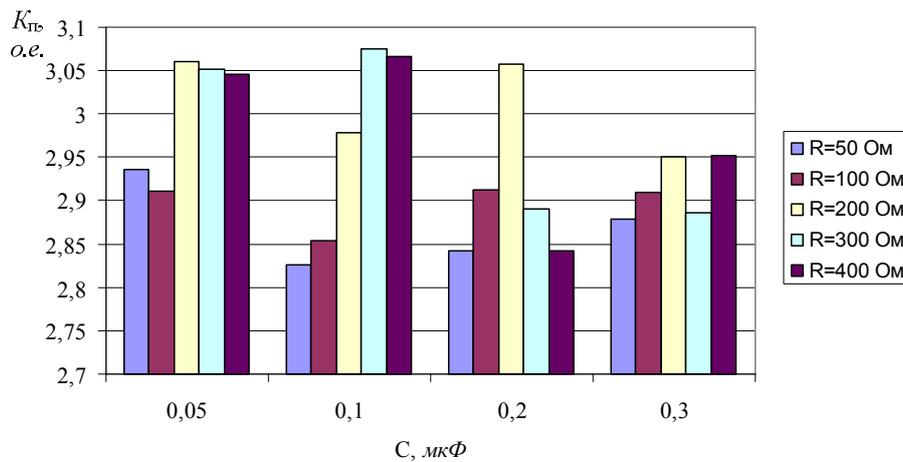


Рис.4. Зависимости кратностей перенапряжений на выводах генератора от параметров защитной RC –цепочки

Защитное действие RC- цепочки проявляется в уменьшении частоты собственных колебаний процесса восстановления напряжения на контактах выключателя, что приводит либо к снижению количества ПЗ, либо к их полному исключению. Компьютерные осциллограммы показали, что эффективность действия RC- цепочки зависит также и от места ее установки. По приведенным данным в таблице 2 следует, что при установке RC- цепочки со стороны генератора перед выключателем число ПЗ уменьшается. Наибольшие кратности перенапряжений зафиксированы не при первом, а при последующих погасаниях дуги и при меньших значениях мощностей генераторов (см.табл.3).

Таблица 2

**Влияние места установки RC – цепочки на процесс восстановления напряжения ( $R=100$  Ом,  $C=0,1$  мкФ)**

Место установки RC - цепочки	$N_{пз}$	$K_{г}$ , о.е.	$K_{в}$ , о.е.
Перед выключателем (со стороны генератора)	6	2,85	2,35
За выключателем (со стороны повышающего трансформатора)	8	2,93	2,49

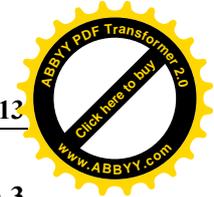


Таблица 3

**Характеристики процесса, эффективность  $RC$  – цепочки при различной мощности генераторов при неизменных параметрах соединительных токопроводов**

№ п/п	$P_{ном}$ , МВт	$N_{пз}$	$K_r$ , о.е.	$K_b$ , о.е.	Наличие (+) и отсутствие (-) $RC$ - цепочки
1.	4,5	8	3	2,53	-
		6	2,8	2,35	+
2.	6,4	4	2,66	2,08	-
		2	2,5	2,05	+
3.	7	3	2,4	1,9	-
		0	2,3	1,7	+

Таким образом, присоединение  $RC$ - цепочек перед выключателем (со стороны генератора) совместно с ОПН позволяет снизить крутизну подъема напряжения, повысить затухание высокочастотного переходного процесса, а в некоторых случаях даже исключить ПЗ в ВДК.

#### Литература

1. *Хаммарлунд П.* Восстанавливающееся напряжение на контактах выключателя. Под ред. Буткевича Г.В. –Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 296 с.
2. *Гусев Ю.П., Омокеева А.А.* Анализ коммутационных процессов в цепях генераторного напряжения малых ГЭС // Электрические станции. -2012. -№12. –С. 33-39.
3. *Бушуев С., Волков А., Ларин В., Лоханин А., Матвеев Д., Пугаченко З., Семенов Н., Шейко П.* Исследование коммутационных перенапряжений, генерируемых вакуумными генераторными выключателями на энергообъекте // V Международная конференция «Высоковольтное коммутационное оборудование». Ноябрь, 2009.