

затвором – Загл. с экрана. – Текст: электронный.

7. International Rectifier, Application Note AN-937 Gate Drive Characteristics and Requirements for HEXFET® Power MOSFETs / International Rectifier Company – San Jose, USA.

References

1. Kazhdan A.E. Vybór ogranichiteley perenapryazheniy dlya zashchity ot kommutatsionnykh perenapryazheniy, vznikayushchikh pri otklyuchenii induktivnykh nagruzok / A.E. Kazhdan, A.I. Krivenko // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Yuzhno-Rossiyskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii un-t. – 2004. – No. 3. – S. 63-67.

2. Mitrofanova, E.V. Prichiny vznikoveniya perenapryazheniy v elektricheskikh setyakh i zashchitnoe oborudovanie ot perenapryazheniy / E.V. Mitrofanova // Sbornik statey po materialam Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa. – Ufa, 2020.

3. Ravaglio, M., Küster, K., Santos, S., et al. (2019). Evaluation of lightning-related faults that

lead to distribution network outages: An experimental case study. *Electric Power Systems Research*. 174. Doi: 10.1016/j.epsr.2019.04.026.

4. Jiang, J., Yang, W., Ma, K., et al. (2020). Study on Lightning Protection Measures of 220 kV Transmission Line Section Across River. *Gaoya Dianqi / High Voltage Apparatus*. 56 (1): 141-147. Doi: 10.13296/j.1001-1609.hva.2020.01.021.

5. Kudryavtsev I.A. Elektronnye klyuchi: ucheb. posobie / I.A. Kudryavtsev, V.D. Falkin. – Samara: Samar. gos. aerokosm. un-t., 2002. – 24 s.

6. Bipolyarnyy tranzistor s izolirovannym zatvorom [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan., [2020]. – Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/Bipolyarnyy_tranzistor_s_izolirovannym_zatvorom. – Zagl. s ekrana.

7. International Rectifier, Application Note AN-937 Gate Drive Characteristics and Requirements for HEXFET® Power MOSFETs / International Rectifier Company – San Jose, USA.



УДК 621.31

А.С. Сабельников, Б.С. Компанец
A.S. Sabelnikov, B.S. Kompaneyets

СНИЖЕНИЕ РАЗРУШАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО РАЗРЯДА ПРИ РАБОТЕ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 10-0,4 КВ

THE REDUCTION OF THE DESTRUCTIVE EFFECT OF ELECTRIC ARC DISCHARGE WHEN SWITCHING DEVICES ARE OPERATING IN DISTRIBUTION ELECTRICITY GRID OF 10-0.4 KV

Ключевые слова: электродуговой разряд, коммутационный аппарат, распределительные сети, моделирование переходных процессов, срез тока, коммутационные перенапряжения.

Keywords: electric arc, switching devices, distribution electricity grid, modeling of transient processes, cutoff current, switching overvoltages.

Под коммутацией в электроэнергетике понимается изменение конфигурации силовой электрической цепи. В распределительных сетях данный процесс возникает достаточно часто, например, для подачи или снятия напряжения с объектов электроэнергетики. Коммутация неизбежно сопровождается переходным процессом – изменением параметров электроэнергии в промежутке времени между установленными режимами сети до коммутации и после нее. Целью исследования является разработка методики работы коммутационного аппарата, которая обеспечит коммутацию распределительных сетей 0,4-10 кВ либо без образования электродугового разряда, либо существенно снизит разрушающее действие электрической дуги на коммутационный аппарат. Аппарат предполагается использовать в качестве выключателя нагрузки в электрических сетях. Принцип работы данного аппарата будет основан на увеличении сопротивления перед коммутацией до такого, чтобы переключение происходило на малом токе, ниже 0,5 А, это приведет к снижению напряжения в зоне коммутации и электродугового разряда не будет загораться или будет иметь слабое разрушающее воздействие при размыкании контактов. Для анализа возникающих переходных процессов была составлена модель распределительной сети 10 кВ в программном комплексе «MATLAB». По результатам моделирования работы устройства на данном прицепе было получено: снижение тока в ветви перед полным отключением позволяет уменьшить коммутационные перенапряжения до значений, безопасных для изоляции прочих элементов; оптимальные параметры работы устройства достигаются за счет применения только активных сопротивлений в ступенях гашения тока; для отключения как токов нагрузки, так и токов короткого замыкания достаточно пяти ступеней, даже при наихудших условиях переходного процесса; время переключения между соседними ступенями должно превышать постоянную времени переходного процесса, как минимум, в три раза, но должно ограничиваться допустимым нагре-

вом коммутационного аппарата и соблюдением параметров качества электрической энергии.

Switching in the electric power industry is understood as a change in the configuration of a power electric circuit. In distribution networks, this process occurs often enough, for example, to supply or remove voltage from electric power facilities. Switching is inevitably accompanied by a transition process - a change in the parameters of electricity in the time interval between the steady-state network conditions before and after switching. The research goal is to develop a methodology for the operation of the switching device which will ensure switching of distribution networks of 0.4-10 kV either without the formation of an electric arc discharge, or significantly reduce the destructive effect of the electric arc on the switching device. The device is supposed to be used as a load switch in electrical networks. The operation principle of this device will be based on increasing the resistance before switching to such that switching occurs at a low current, below 0.5 A; this will lead to a decrease in voltage in the switching zone and the electric arc discharge will not ignite or will have a weak destructive effect when the contacts open. To analyze the emerging transients, a 10 kV distribution network model was compiled in the MATLAB software package. According to the results of modeling the operation of the device on this trailer, the following was obtained: reducing the current in the branch before a complete shutdown allows reducing the switching overvoltage to values that are safe for isolation of other elements; the optimal operating parameters of the device are achieved through the use of only active resistances in the stages of current suppression; to shut off both the load currents and the short-circuit currents, five steps are sufficient, even under the worst transient conditions; the switching time between adjacent steps should exceed the time constant of the transition process at least three times, but should be limited to the permissible heating of the switching device and compliance with the parameters of the quality of electric energy.

Сабельников Александр Сергеевич, магистрант, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: sabkvd@gmail.com.

Компанеец Борис Сергеевич, к.т.н., доцент, каф. ЭПБ, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: kompbs@mail.ru.

Sabelnikov Aleksandr Sergeevich, master's degree student, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: sabkvd@gmail.com.

Kompaneyets Boris Sergeevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: kompbs@mail.ru.

Введение

Под коммутацией в электроэнергетике понимается изменение конфигурации силовой электрической цепи. В распределительных сетях данный процесс возникает доста-

точно часто, например, для подачи или снятия напряжения с объектов электроэнергетики. Причинами являются: управление нагрузкой, вывод в ремонт и ввод из ремонта сетевого оборудования, а также ликвида-

ция аварийных режимов. Все вышеперечисленное можно разделить на включение – ввод в сеть оборудования, ранее находившегося без напряжения и отключения – снятие напряжения с оборудования, ранее находившегося под напряжением.

Коммутация неизбежно сопровождается переходным процессом – изменением параметров электроэнергии в промежуток времени между установившимися режимами сети до коммутации и после нее.

Переходной процесс при отключении зависит от тока, который в данный момент протекает по коммутационному аппарату. Напряжение до коммутации, как правило, имеет стабильное и устойчивое значение, в то время как ток может изменяться в широком диапазоне, в зависимости от нагрузки. На практике коммутационному аппарату необходимо осуществлять переключение как токов нагрузки, так и токов короткого замыкания, что неизбежно сказывается на его состоянии.

Традиционный метод коммутации – это физический разрыв цепи, то есть быстрое, порядка 0,01-0,06 с разведение и сведение контактов. При такой методике ток в ветви изменяется так же быстро как разводятся контакты, что означает огромный бросок напряжения и зажигания электрической дуги. Медленнее разводить контакты не представляется возможным, потому что при этом происходит повторные зажигания электрической дуги, которое увеличивает вероятность работы сети в неполнофазном режиме, и снижается качество электрической энергии [1].

При появлении электрическая дуга оказывает сильное разрушающее действие на коммутационный аппарат. Температура горения от 6000 до 25000 градусов по Кельвину с легкостью расплавляет материалы, не-

обратимо меняет их свойство в худшую сторону и инициирует пожары. Все это ведет к огромным убыткам, к сожалению, не только материального характера [1].

Целью исследования является разработка методики работы коммутационного аппарата, которая обеспечит коммутацию распределительных сетей 0,4-10 кВ либо без образования электродугового разряда, либо существенно снизит разрушающее действие электрической дуги на коммутационный аппарат. Аппарат предполагается использовать в качестве выключателя нагрузки в электрических сетях. Применение подобного типа устройств подробно рассмотрено в зарубежной литературе [2-4].

Для достижения цели исследования поставлены **задачи**:

- разработка способа коммутации, позволяющего минимизировать вероятность образования электродугового разряда;
- моделирования работы коммутационного аппарата на основании предложенного способа;
- определения характеристик коммутационного аппарата.

Объекты и методы

В основе методики лежит гипотеза о том, что если в коммутируемую (отключаемую) ветвь ввести сопротивление, которое перед коммутацией будет увеличивать своё значение до такого, чтобы коммутация происходила на малом токе, ниже 0,5 А, это приведет к снижению напряжения в зоне коммутации и электродуговой разряд не будет зажигаться или будет иметь слабое разрушающее воздействие при размыкании контактов К 1, как показано на рисунке 1. Назовем такой метод коммутация посредством изменения сопротивления.

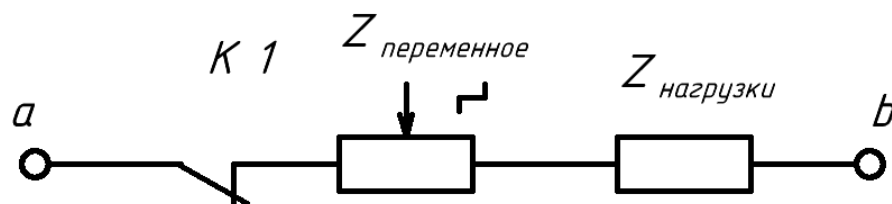


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема предложенного метода коммутации:
a-b – коммутируемая ветвь; *K 1* – размыкающий (закрывающий) контакт;
Z_{переменное} – переменное сопротивление со ступенчатым регулированием;
Z_{нагрузки} – нагрузка в ветви

Такой способ коммутации можно реализовать с помощью использования ступенчатого ввода отдельных сопротивлений после-

довательно в коммутируемую ветвь, как показано на рисунке 2. Назовем его коммутация с помощью ступеней гашения тока.

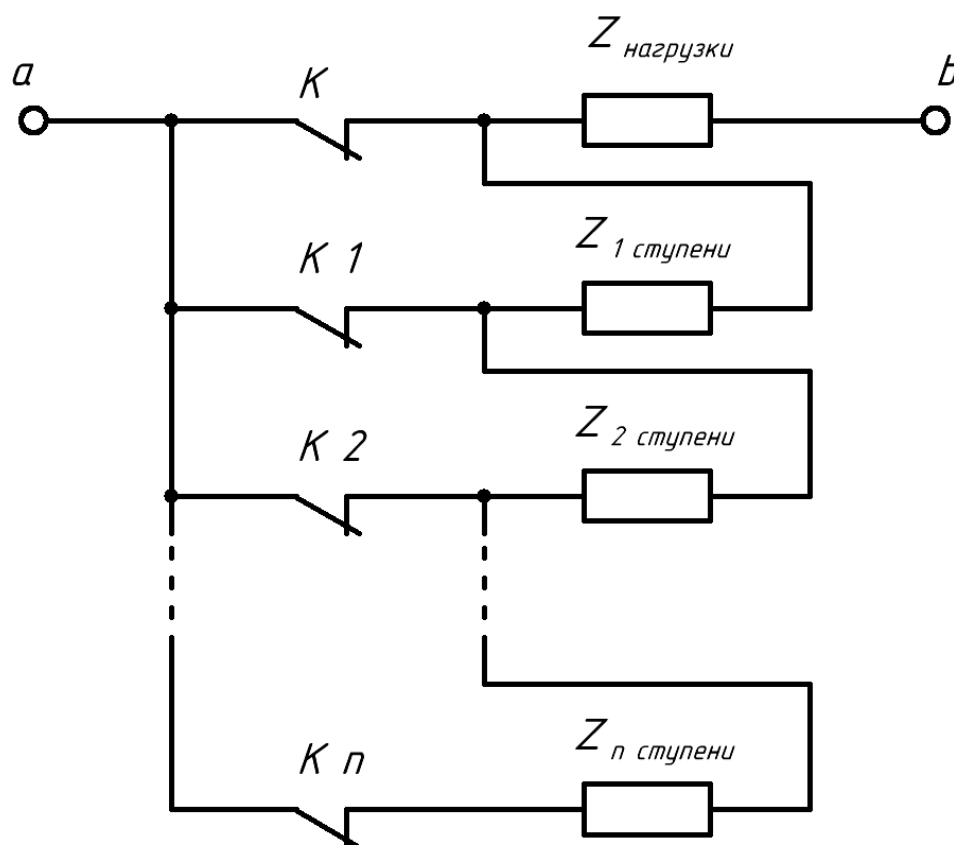


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема реализации ступенчатого изменения сопротивления:
a-b – коммутируемая ветвь; *K* – основной размыкающий (закрывающий) контакт;
K 1-K n – размыкающие (закрывающие) контакты ступеней гашения тока,
Z_{1 ступени}-Z_{n ступени} – переменное сопротивление конкретной ступени гашения тока;
Z_{нагрузки} – нагрузка в ветви

Принцип работы коммутационного аппарата для отключения ветви, представленном на рисунке 2, заключается в том, что в коммутируемую ветвь последовательно добавляются ступени сопротивлений, тем самым увеличивая общее сопротивление ветви. Коммутирующие контакты, начиная с контакта без сопротивления K , K_1 - K_n , начинают отключаться по очереди: K , K_1 , K_2 ... K_n . Каждая ступень может иметь такое активное, индуктивное или комплексное сопротивление, чтобы гасить часть протекающего тока, при этом коммутационное перенапряжение на контактах не должно превышать заранее установленного значения. В этой работе такое значение устанавливается не более 4-кратного превышения от номинального напряжения распределительной сети [5].

В то же время до разъединения участка на воздушный промежуток, крайний контакт K_n , все ступени будут иметь гальваническую связь, что должно минимизировать разрушающие свойства дуги или вообще не приводить к ее зажиганию.

Такой способ коммутации позволит снизить единичный срез тока, который возникает при коммутации без ступеней гашения тока. Снижение среза тока осуществляется путем его деления ступенями на несколько частей. Это позволяет, относительно единичного среза тока, плавно изменять ток в ветви на всех индуктивных элементах. Снижение единичного среза тока в свою очередь должно привести к значительному понижению коммутационных перенапряжений.

Так как предпосылки к появлению дугового разряда будут убраны, то о повторных зажиганиях дуги не может быть и речи, а это в свою очередь еще сильнее, примерно в 1,19-2,5 раза, позволит снизить коммутационные перенапряжения.

Включение будет производиться в обратном порядке, т.е. постепенно снижая сопротивление в коммутируемой ветви, увеличивая нагрузку.

Предполагается, что коммутационный аппарат будет содержать все контакты в едином блоке и являться самостоятельной, неделимой единицей в заводском исполнении.

Для того чтобы проверить возможность работы данного способа коммутации с помощью ступеней гашения нагрузки, необходимо провести анализ переходных процессов, протекающих в цепи коммутации [6]. Для этого была составлена модель коммутационных процессов в распределительные сети 10 кВ в программном комплексе «MATLAB» [7]. Параметры схемы представлены в таблице [8, 9].

При протекании переменного тока в цепи учитываются реактивные параметры, для класса напряжений до 35 кВ это только индуктивное сопротивление, а со 110 кВ появляется еще и зарядная мощность. Поэтому целесообразно использовать для гашения тока не только активные, но и реактивные сопротивления [10].

Модель коммутационных процессов для распределительной сети 10 кВ с силовым трансформатором 35/10 кВ, нагрузкой 630-2500 кВА и воздушной линией, выполненной проводом марки А-35, представлена на рисунке 3. Коэффициент мощности для сети 10 кВ принят равным 0,92. Ступени гашения тока состоят из резисторов и конденсатора на последней ступени, то есть из активных и емкостных сопротивлений.

Модель коммутационных процессов для распределительной сети 10 кВ, выполненная в программном комплексе «MATLAB», где ступени гашения тока состоят только из резисторов, то есть только из активного сопротивления, представлена на рисунке 4.

Параметры модели распределительной сети 10 кВ

Трансформаторы 10/0,4 кВ				
$S_{н}$, кВА	$R_{тр}$, Ом	$L_{тр}$, Гн	$R_{н}$, Ом	$L_{н}$, Гн
630	1,99	0,0271	172,5	1,2898
1000	1,08	0,0172	108,7	0,8126
1600	0,64	0,0118	67,9	0,5079
2500	0,42	0,0075	43,5	0,3250
Трансформатор 35/10 кВ 10 МВА				
16000	0,81	0,0324	–	–
Трансформатор 110/10 16 МВА				
16000	4,38	0,2761	–	–
ВЛЭП				
Марка	$R_{л}$, Ом	$L_{л}$, Гн	$D_{сг}$, м	Длина линии, км
A-35	13,35	0,0175	1	15

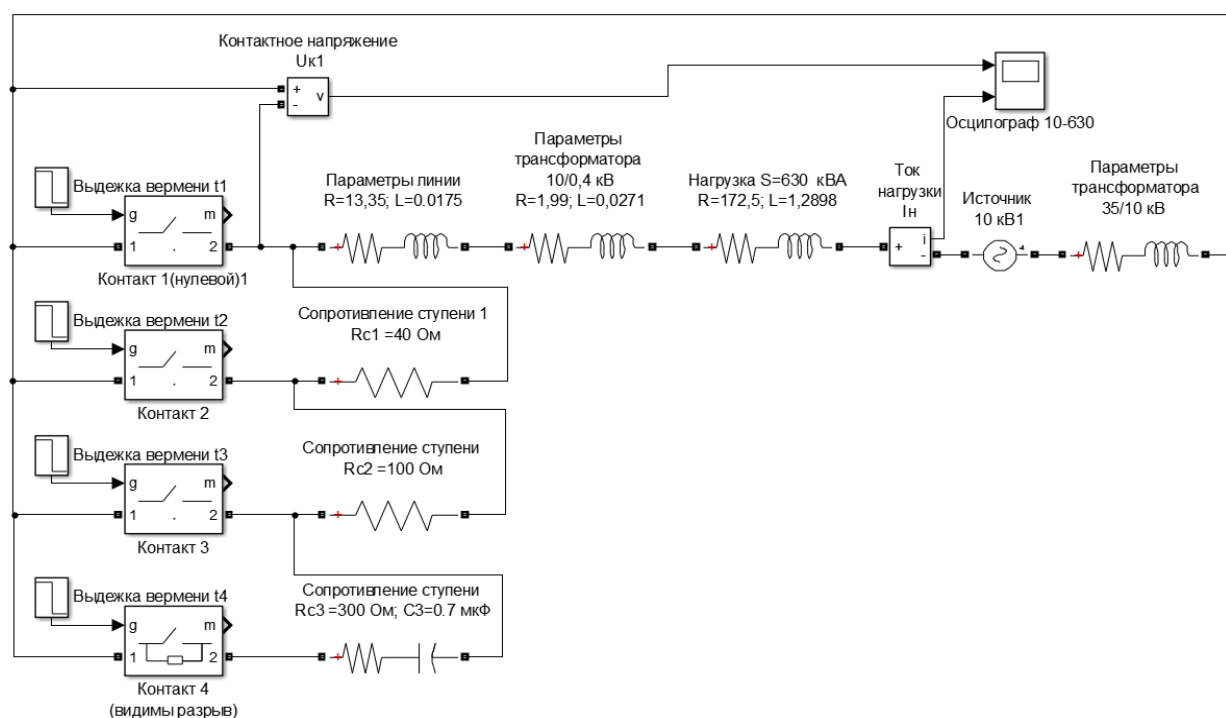


Рис. 3. Модель коммутационных процессов распределительной сети 10 кВ на активных и емкостных сопротивлениях

В начальный момент времени все контакты замкнуты, по цепи протекает ток. Затем происходит моделирование коммутации. Контакты начинают размыкаться по очереди, начиная с нулевого контакта, контакта 1, контакта 2 и крайнего контакта. С этого момента ветвь считается полностью разорванной, ток не протекает. Было принято, что

время отключения между контактами составит 0,02 с, а момент срабатывания нулевого подбирался из соображений, чтобы коммутация происходила на пике амплитудного значения напряжения в сети. Это нужно для обеспечения при моделировании самого тяжелого режима работы – максимальные перенапряжения и срезы токов.

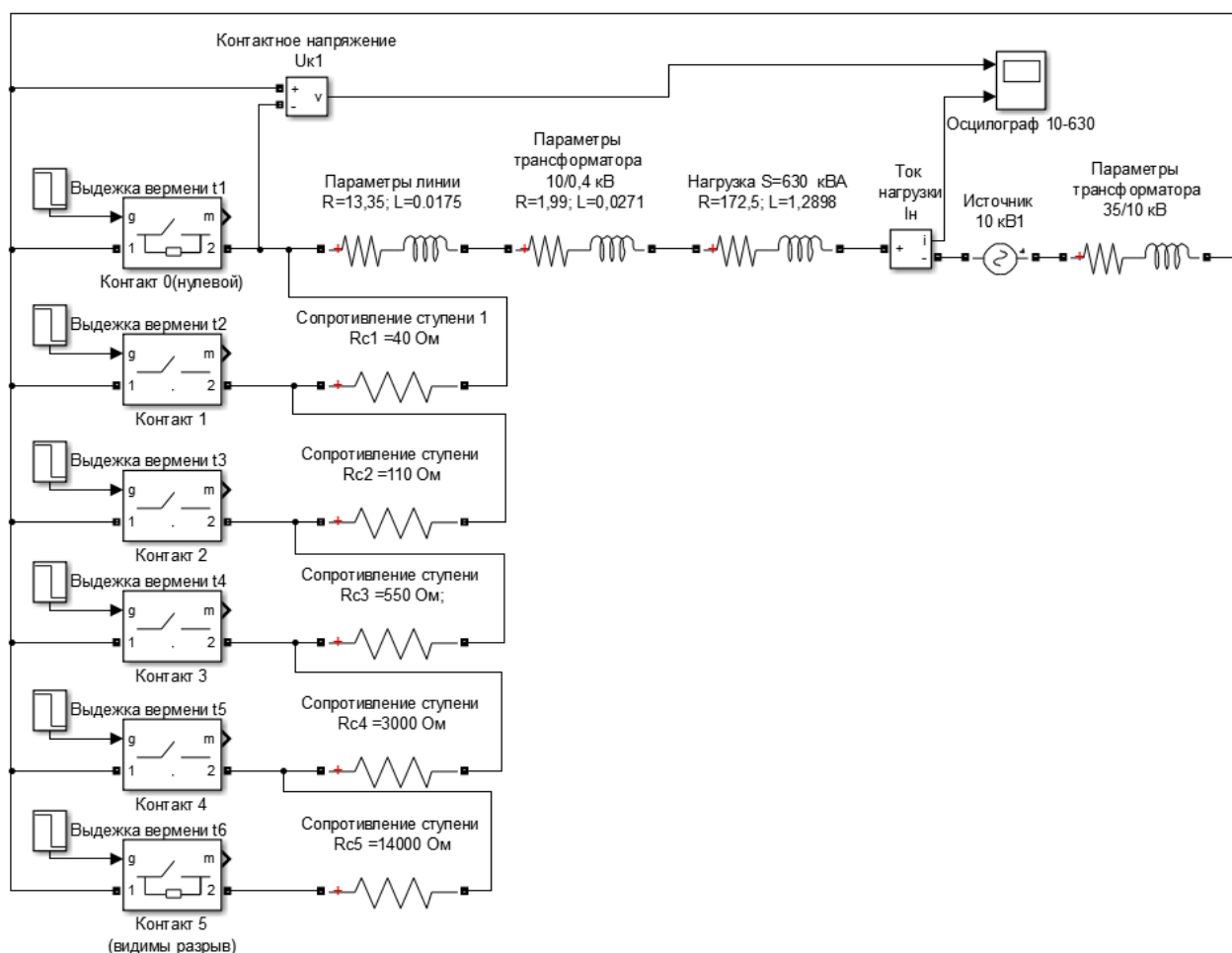


Рис. 4. Модель коммутационных процессов распределенной сети 10 кВ на активных сопротивлениях

Результаты исследования и обсуждение

В ходе проведения компьютерного моделирования коммутационных процессов были получены осциллограммы напряжения между контактами и тока в ветви. Они снимались во время отключения, то есть во время работы коммутационного аппарата.

Осциллограммы отключения токов нагрузки представлены на рисунках 5 и 6. Они отражают собой работу ступеней гашения тока с активными и емкостными сопротивлениями. Схема моделирования представлена на рисунке 3.

Из осциллограмм на рисунках 5 и 6 видно, что коммутационные перенапряжения не превышают 3-кратных значений. Значение тока в момент размыкания крайнего контакта

носит околонулевой характер. Следует отметить, что наибольшему единичному срезу тока соответствует наибольшее коммутационное перенапряжение.

Моделирование отключения токов короткого замыкания в конце линии показано на рисунке 7. Для этого уменьшим сопротивление нагрузки почти до нуля. График моделирования показан для трансформатора 35/10 кВ.

Для получения токов короткого замыкания в начале линии или на низкой стороне обслуживания подстанции уменьшим сопротивление нагрузки и сопротивление линии почти до нуля. График моделирования показан на рисунке 8 для трансформатора 35/10 кВ.

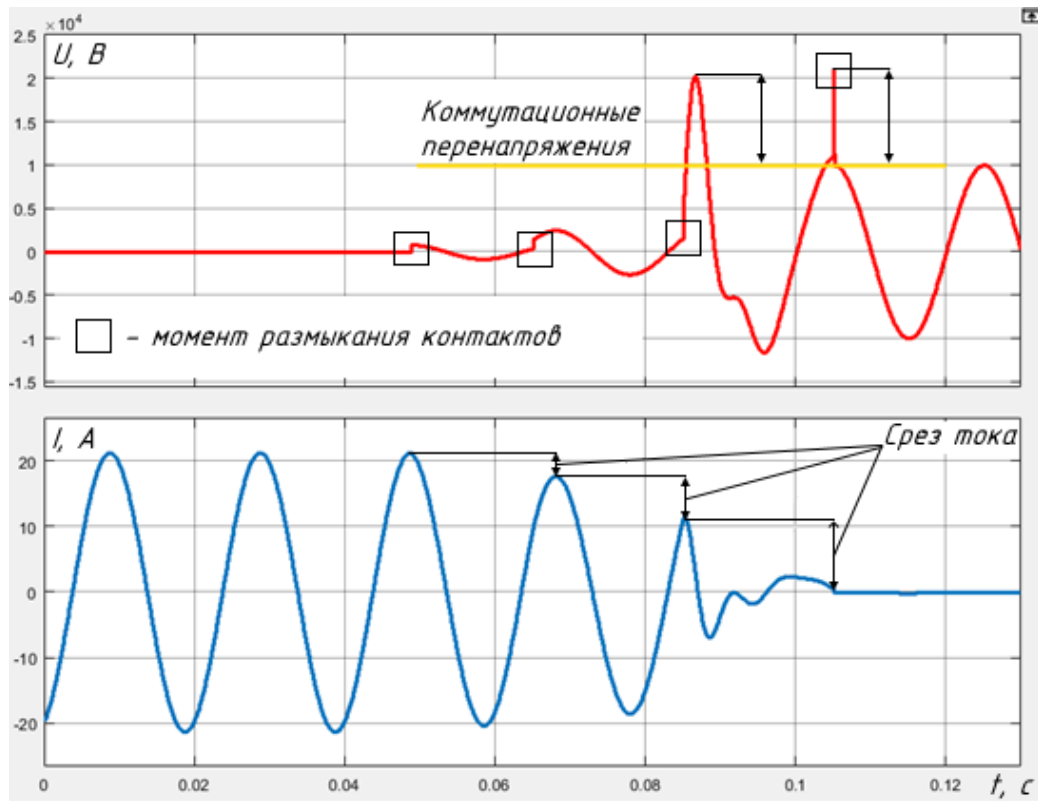


Рис. 5. Моделирование отключения нагрузки мощностью 630 кВА:
 верхний график (красный) – напряжения между контактами;
 нижний график (синий) – ток в ветви

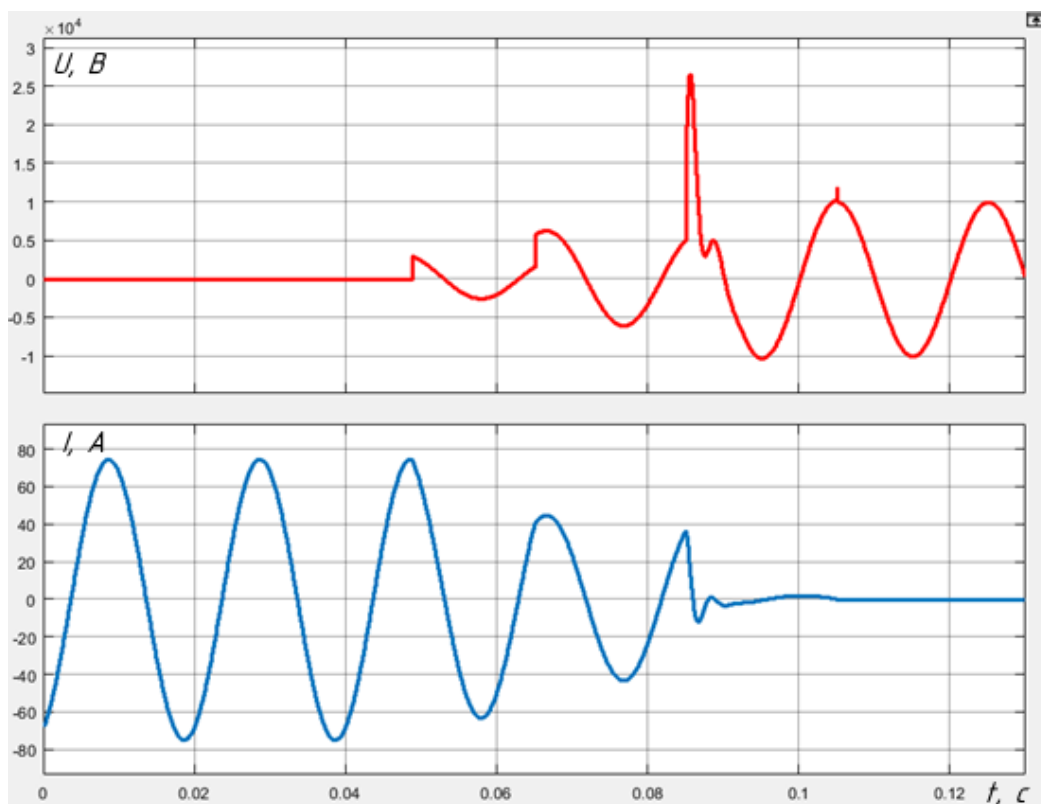


Рис. 6. Моделирование отключения нагрузки мощностью 2500 кВА

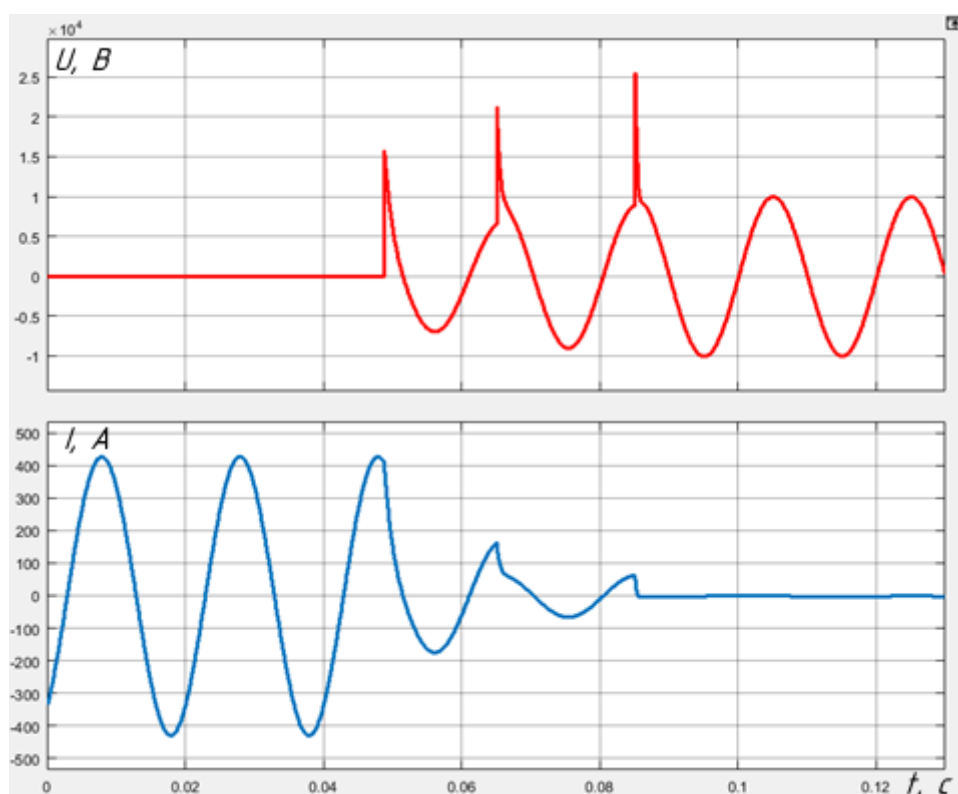


Рис. 7. Моделирование отключения токов замыкания в конце линии с трансформатором 35/10 кВ

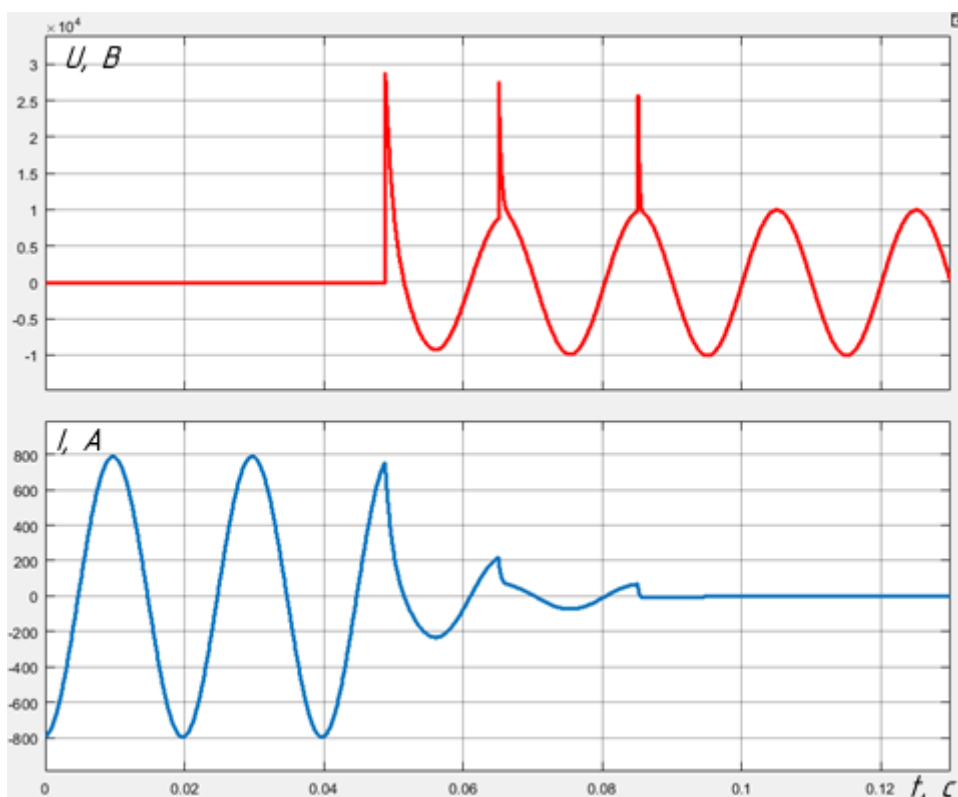


Рис. 8. Моделирование отключения токов короткого замыкания в начале линии с трансформатором 35/10 кВ

Несмотря на то, что токи короткого замыкания возросли по сравнению с токами нагрузки в 5 раз и более, коммутационные перенапряжения не превышают 3-кратный размер от номинального напряжения сети. Значение тока, как при токах нагрузки, в момент размыкания крайнего контакта носит околонулевой характер.

Как оказалось, конденсатор с заданными параметрами, способный пропускаться через себя ток короткого замыкания длительное время, очень трудно найти в готовом исполнении, а, возможно, таких и не бывает. Поэтому является необходимым рассмотреть работу модели только на активных сопротивлениях, хоть и количество ступеней гашения тока должно вырасти.

Осциллограммы отключения токов нагрузки представлены на рисунках 9 и 10. Они отражают собой работу ступеней гашения тока только с активными сопротивлениями. Схема моделирования представлена на рисунке 4.

При схеме моделирования только на активных сопротивлениях, что отображено в осциллограммах на рисунках 9 и 10, коммутационные перенапряжения не превышают значение номинального напряжения более чем в 4 раза, а размыкание крайнего контакта происходит с током не более 0,5 А.

Моделирование отключения токов короткого замыкания в конце и начале линии осуществлено точно, как в предыдущей модели. Графики моделирования показаны на рисунках 11 и 12.

Предварительно можно сказать, что для коммутации токов нагрузки необходимы по крайней мере 3 ступени гашения тока повышенного сопротивления начиная с 2000 до 15000 Ом. В таком режиме работают выключатели нагрузки.

Для коммутирования токов короткого замыкания необходимы как минимум 5 ступеней, три ступени пониженного сопротивления – от 40 до 500 Ом и, как минимум, две ступени повышенного сопротивления. В таком режиме работают силовые выключатели.

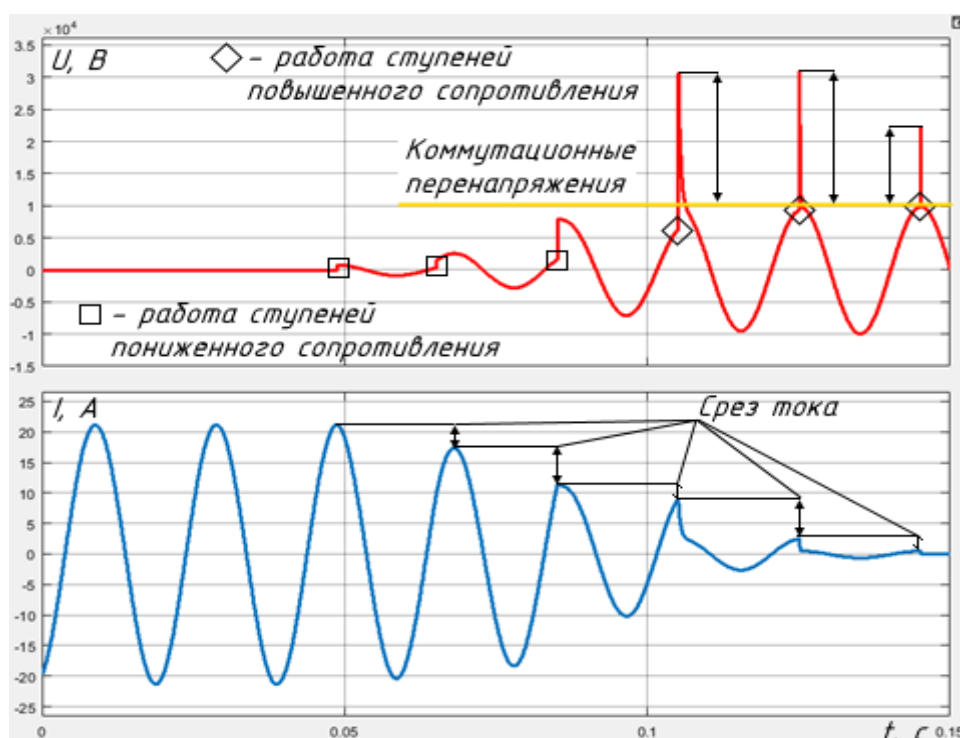


Рис. 9. Моделирование отключения токов нагрузки, равной 630 кВА

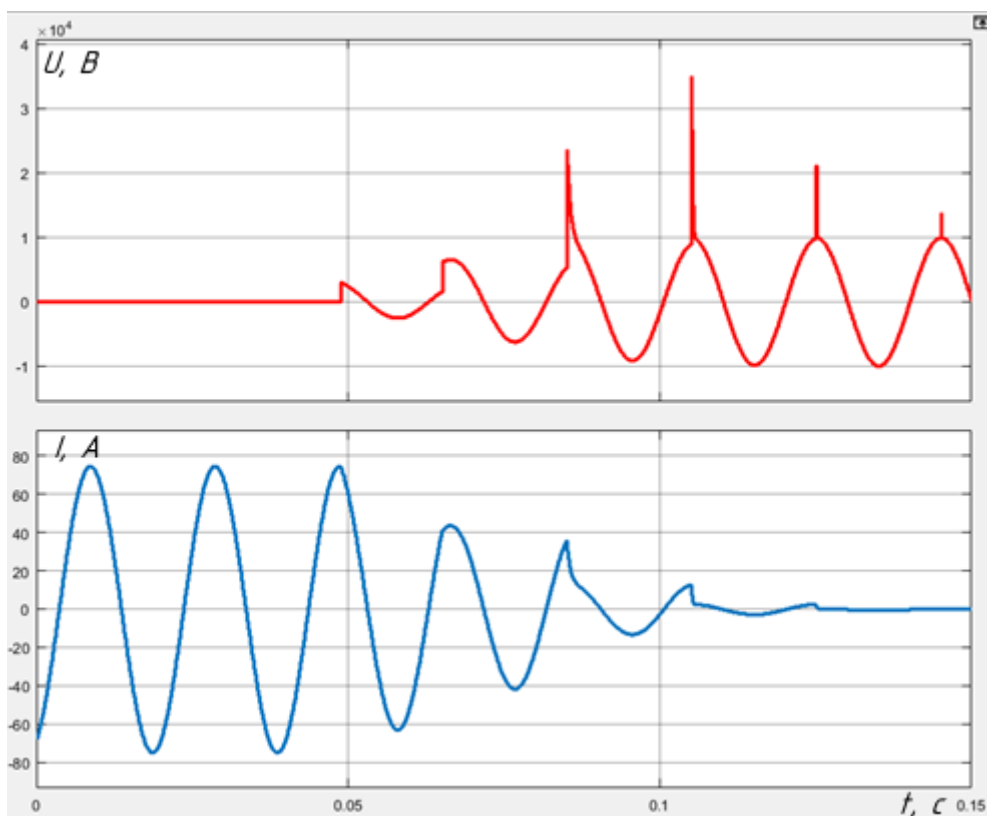


Рис. 10. Моделирование отключения токов нагрузки, равной 2500 кВА

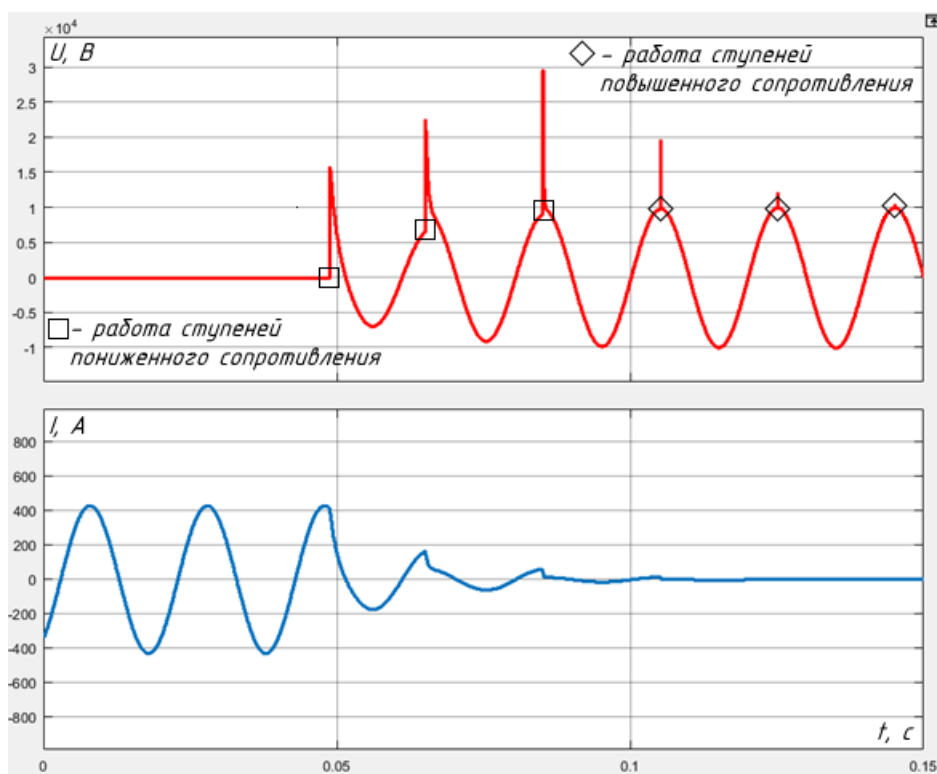


Рис. 11. Моделирование отключения токов замыкания в конце линии

При коротком замыкании коммутационные перенапряжения, как показано на рисунках 11 и 12, не превышают трехкратных зна-

чений от номинального. Ток при размыкании финального контакта стремится к нулевому значению.

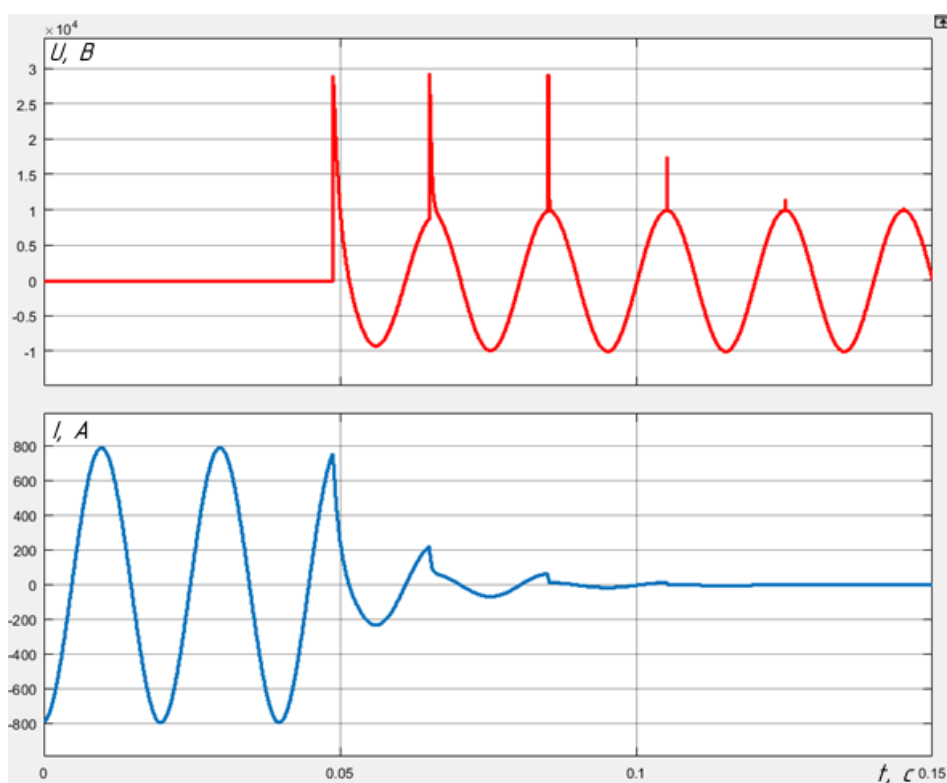


Рис. 12. Моделирование отключения токов замыкания в начале линии

Исходя из результатов моделирования ступеней гашения тока, выполненных только на активных сопротивлениях, их применение позволяет получить заданные параметры коммутационного процесса.

Тогда для получения характеристик не хуже, чем в случае использования активно-ёмкостных сопротивлений, требуется большее количество ступеней гашения тока, что увеличивает длительность работы аппарата защиты, но данный вариант обладает рядом преимуществ:

- надежность, при переходном процессе возникают существенные перенапряжения, способные вывести из строя конденсатор;

- экономичность, конденсатор, удовлетворяющий параметром по напряжению и току, будет обладать значительно большей стоимостью, чем несколько активных элементов;

- не зависит от индуктивных параметров сети.

Выводы

В результате научного исследования был разработан принципиально инновационный способ работы коммутационного аппарата, который обеспечивает коммутацию с ослабленным образованием дугового разряда или без него, а также снижает коммутационные перенапряжения до желаемых значений. В то же время коммутационные аппараты, основанные на данном принципе, должны быть очень простые, с точки зрения механики и схемотехники, а значит, надежные.

По результатам моделирования работы устройства на данном прицепе было получено:

- снижение тока в ветви перед полным отключением позволяет уменьшить коммутационные перенапряжения до значений, безопасных для изоляции прочих элементов;

- оптимальные параметры работы устройства достигаются за счет применения только активных сопротивлений в ступенях гашения тока;

– для отключения как токов нагрузки, так и токов короткого замыкания достаточно пяти ступеней, даже при наихудших условиях переходного процесса;

– время переключения между соседними ступенями должно превышать постоянную времени переходного процесса, как минимум, в три раза, но должно ограничиваться допустимым нагревом коммутационного аппарата и соблюдением параметров качества электрической энергии.

Библиографический список

1. Чунихин, А. А. Электрические аппараты: учебник для вузов: общий курс / А. А. Чунихин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с. – Текст: непосредственный.

2. Jabs, P., Niayesh, K., Støa-Aanensen, N. (2018). Short-Circuit Making of Medium Voltage Load Break Switches Using a Grid Connected Test Circuit. *2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*. Doi: 1-4. 10.1109/ICHVE.2018.8642237.

3. Stoa-Aanensen, N.S.S., Jonsson, E., Runde, M. (2019). Comparison of different air flow concepts for a medium voltage load break switch. *IEEE Trans. Power Deliv.* 35: 508-513.

4. Roodsari, B.N., Nowicki, E.P. (2018). Analysis and Experimental Investigation of the Improved Distributed Electronic Load Controller. *IEEE Transactions on Energy Conversion.* 33 (3): 905-914. Doi: 10.1109/TEC.2018.2823334.

5. Объем и нормы испытаний электрооборудования / под общей редакцией: Б. А. Алексеева, Ф. Л. Когана, Л. Г. Мамиконянца. – 6-е изд., с изм. и доп. – Москва: НЦ ЭНАС, 1998. – 256 с. – Текст: непосредственный.

6. Mingmin, Z., et al. (2019). Fast Transient Disturbance Analysis on ECVT under High-Voltage Switch Operation. *2019 IEEE 3rd International Conference on Circuits, Systems and Devices (ICCS)*. 27-33. Doi: 10.1109/ICCS.2019.8842914.

7. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – Москва: ДМК Пресс, 2014. – 288 с. – Текст: непосредственный.

8. Карапетян, И. Г. Справочник по проектированию электрических сетей / И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро; под редакцией Д. Л. Файбисовича. – Москва: ЭНАС, 2012. – 376 с. – Текст: непосредственный.

9. Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей / Д. Л. Файбисович, И. Г. Карапетян, И. М. Шапиро [и др.]; под редакцией: С. С. Рокотян, И. М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Феникс, 2012. – 376 с. – Текст: непосредственный.

10. Идельчик, В.И. Электрические системы и сети: учебник для вузов / В. И. Идельчик. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 256 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Chunikhin, A.A. Elektricheskie apparaty: uchebnik dlya vuzov: obshchiy kurs / A.A. Chunikhin. – 3-e izd., pererab. i dop. – Moskva: Energoatomizdat, 1988. – 720 s.

2. Jabs, P., Niayesh, K., Støa-Aanensen, N. (2018). Short-Circuit Making of Medium Voltage Load Break Switches Using a Grid Connected Test Circuit. *2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*. Doi: 1-4. 10.1109/ICHVE.2018.8642237.

3. Stoa-Aanensen, N.S.S., Jonsson, E., Runde, M. (2019). Comparison of different air flow concepts for a medium voltage load break switch. *IEEE Trans. Power Deliv.* 35: 508-513.
4. Roodsari, B.N., Nowicki, E.P. (2018). Analysis and Experimental Investigation of the Improved Distributed Electronic Load Controller. *IEEE Transactions on Energy Conversion.* 33 (3): 905-914. Doi:10.1109/TEC.2018.2823334.
5. Obem i normy ispytaniy elektrooborudovaniya / pod obshch. red. B.A. Alekseeva, F.L. Kogana, L.G. Mamikonyantsa. – 6-e izd., s izm. i dop. – Moskva: NTs ENAS, 1998. – 256 s.
6. Mingmin, Z., et al. (2019). Fast Transient Disturbance Analysis on ECVT under High-Voltage Switch Operation. *2019 IEEE 3rd International Conference on Circuits, Systems and Devices (ICCSD).* 27-33. Doi: 10.1109/ICCSD.2019.8842914.
7. Chernykh, I.V. Modelirovaniye elektrotekhnicheskikh ustroystv v Matlab, SimPowerSystems i Simulink / I.V. Chernykh. – Moskva: DMK Press, 2014. – 288 s.
8. Karapetyan, I.G. Spravochnik po proektirovaniyu elektricheskikh setey / I.G. Karapetyan, D.L. Faybisovich, I.M. Shapiro; pod red. D.L. Faybisovicha. – Moskva: ENAS, 2012. – 376 s.
9. Faybisovich, D.L. Spravochnik po proektirovaniyu elektricheskikh setey / D.L. Faybisovich, I.G. Karapetyan, I.M. Shapiro [i dr.]; pod red. S.S. Rokotyan, I.M. Shapiro. – 3-e izd., pererab. i dop. – Moskva: Feniks, 2012. – 376 s.
10. Idelchik, V.I. Elektricheskie sistemy i seti: ucheb. dlya vuzov / V.I. Idelchik. – Moskva: Energoatomizdat, 1989. – 256 s.



УДК 636.5.034

В.В. Садов, Н.И. Капустин, В.Н. Капустин
V.V. Sadov, N.I. Kapustin, V.N. Kapustin

ОБОСНОВАНИЕ МОДУЛЬНОСТИ СООРУЖЕНИЙ И НАБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ КУР-НЕСУШЕК С СОБСТВЕННЫМ ВОСПРОИЗВОДСТВОМ НА ПРИУСАДЕБНЫХ УЧАСТКАХ КАК ПУТЬ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ

THE SUBSTANTIATION OF MODULAR PATTERN OF STRUCTURES AND EQUIPMENT FOR LAYING HEN HOUSING WITH OWN REPRODUCTION ON PERSONAL HOUSEHOLD PLOTS AS A WAY TO OPTIMIZE COSTS

Ключевые слова: оборудование для кур-несушек, помещения, технология содержания, воспроизводство кур на приусадебных участках.

Содержание кур-несушек на приусадебных участках является довольно сложной задачей. Во-первых, необходимо определиться с технологией, сооружениями и оборудованием для летнего и зимнего периодов. В зимний период необходимо решить вопросы

температурного режима, освещения и вентиляции, для летнего – обеспечение выгульной площадкой и по возможности с естественной растительностью. Особенно важно знание особенностей содержания при содержании кур-наседок и в дальнейшем цыплят. В этом случае необходим более строгий контроль за поведением кур-наседок, условиями содержания и кормления цыплят. Наиболее оптимальным вариантом является разработка нескольких модулей для