

УДК 621.311.17

Р. А. Бельский, В. Я. Фролов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Моделирование работы нелинейного ограничителя перенапряжений в электротехническом комплексе на 10 кВ при параллельной коммутации вакуумных выключателей

Для оценки влияния защитного аппарата на распределительную сеть при возникновении перенапряжения предлагается использовать компьютерную модель. Также рассмотрены аварийные режимы, возникающие вследствие коммутации нескольких вакуумных выключателей одновременно.

Распределительная сеть, ОПН, моделирование, вакуумный выключатель, перенапряжение

Наиболее распространенным коммутационным аппаратом в электротехнических комплексах средних напряжений на сегодняшний день является вакуумный выключатель. Однако этот же аппарат представляет главный источник коммутационных

перенапряжений, особенно на подстанциях 6–35 кВ. Их причиной служит срез тока в вакуумной дугогасящей среде, который значительно больше, чем в элегазовой или масляной среде. Для устранения вредного влияния коммутационных перенапря-

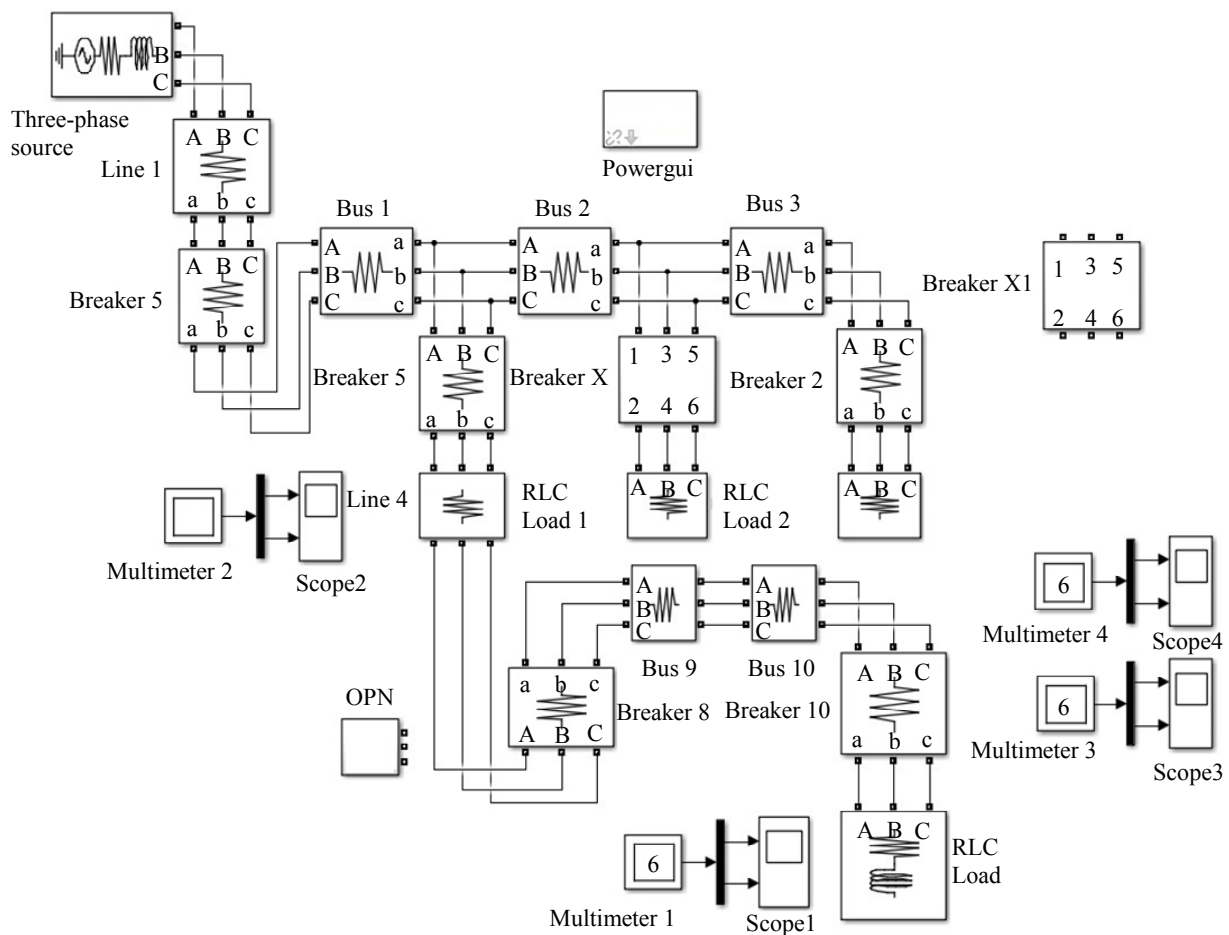
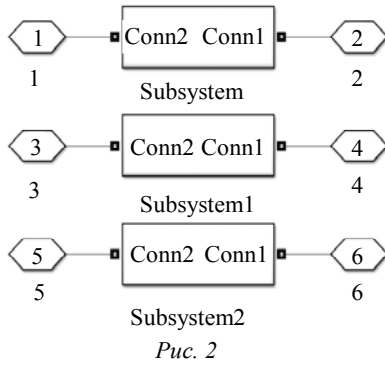
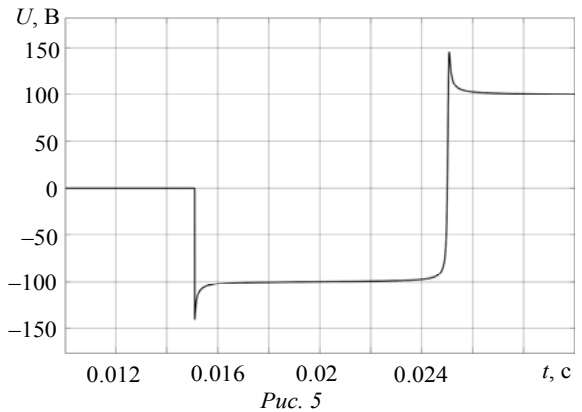
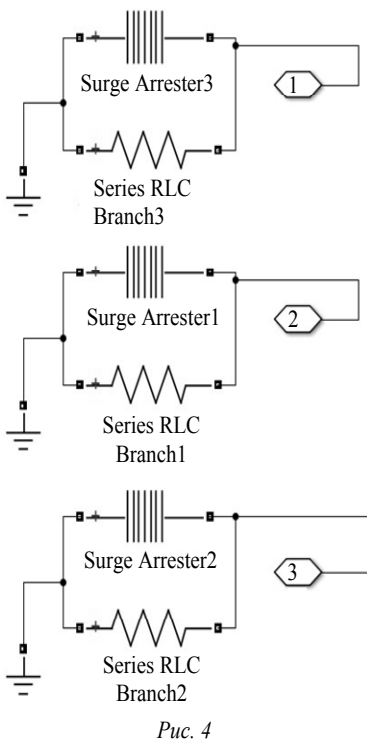
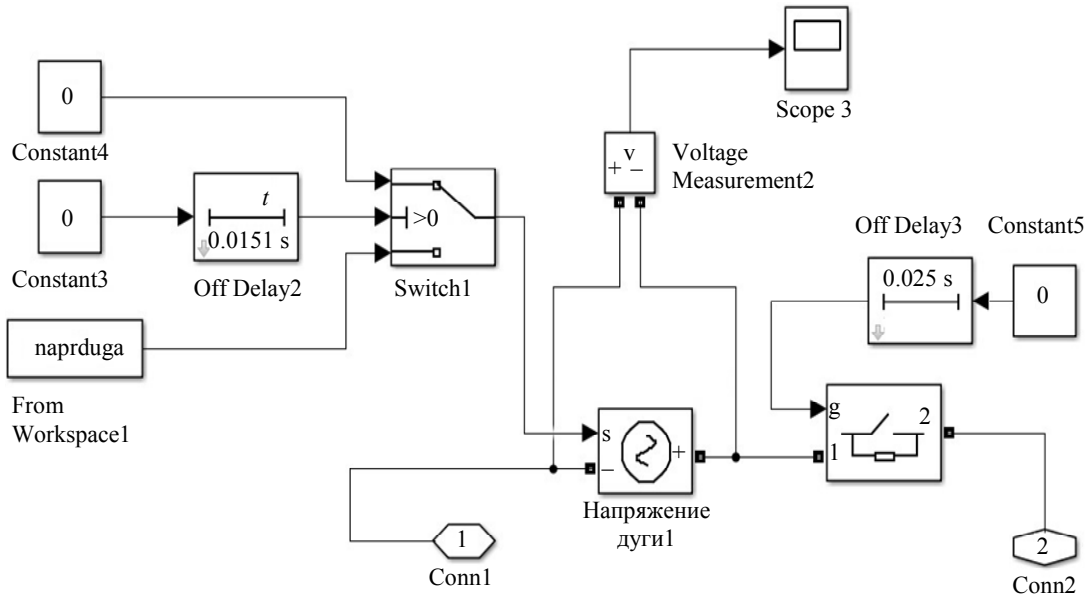


Рис. 1



жений успешно используются нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН). Но есть условия, при которых ОПН не могут справиться с коммутационными перенапряжениями. Одно из таких условий – параллельная коммутация вакуумных выключателей.

В [1] рассмотрен случай при параллельном подключении вакуумных камер в одном выключателе, отключающем сеть в случае возникновения короткого замыкания на потребителе, и сказано, что при параллельной работе камер повторный



пробой под действием восстанавливающего напряжения невозможен, но при этом возрастает кратность перенапряжений на потребителе. Целью исследования служит моделирование участка распределительной сети 10 кВ с вакуумными выключателями для проверки влияния одновременного срабатывания на потребителя и саму сеть. В качестве исследовательской среды была выбрана программа MATLAB/Simulink. В Simulink была создана модель (рис. 1) распределительной сети 10 кВ от распределительного пункта до стороны высоко-

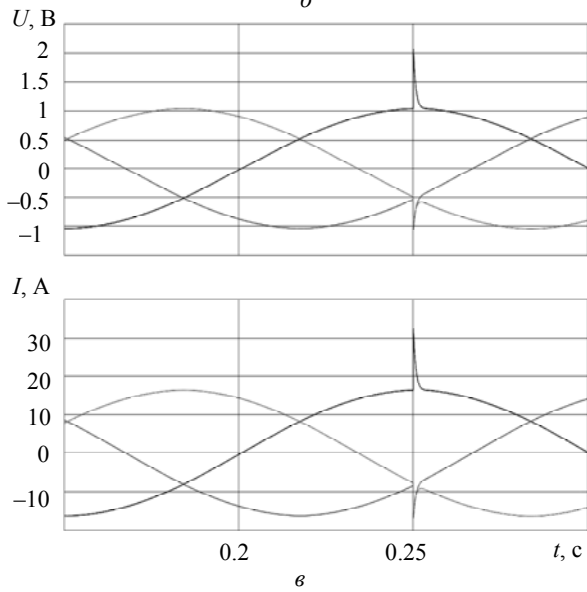
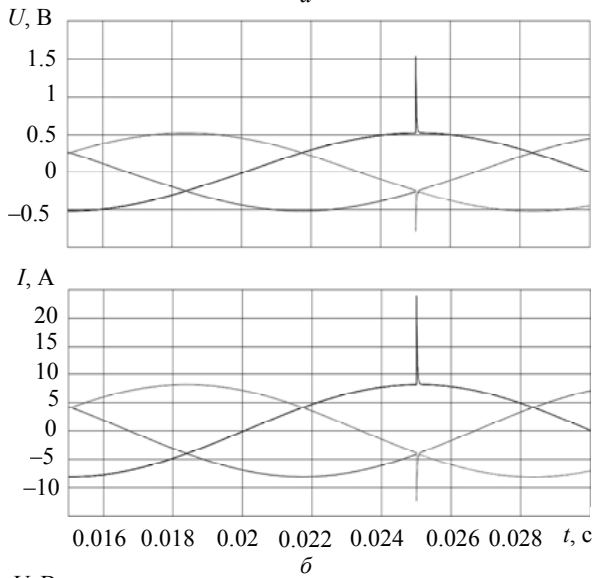
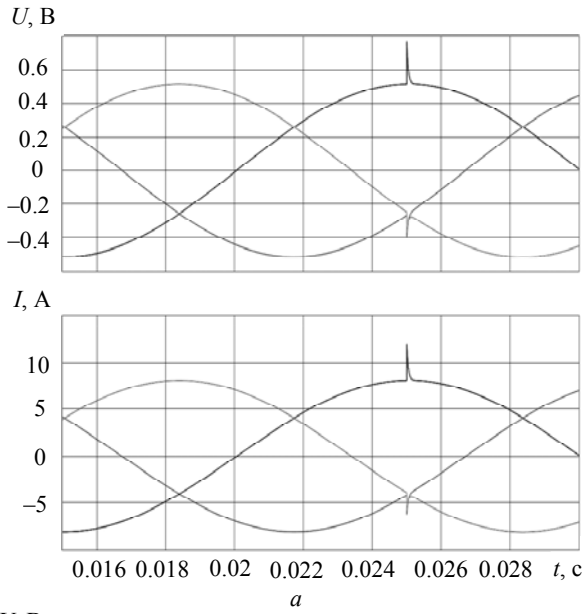


Рис. 6

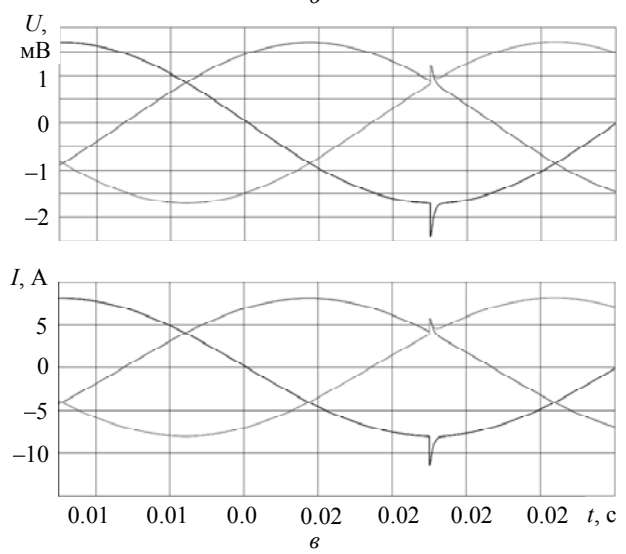
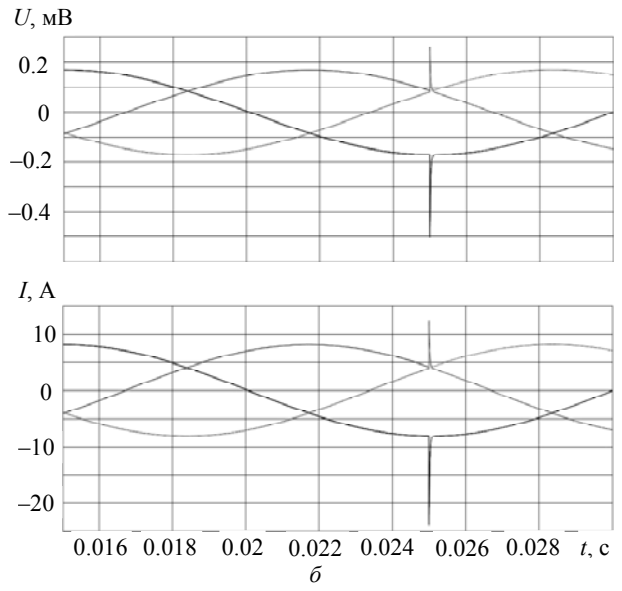
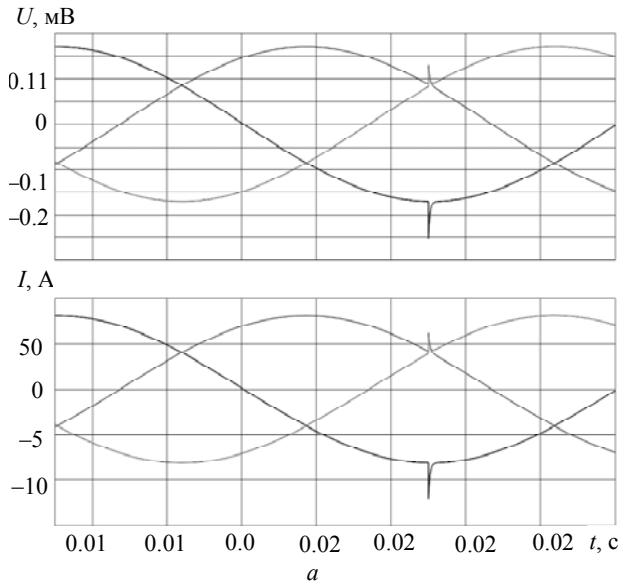


Рис. 7

го напряжения, где был создан режим, при котором происходит параллельное срабатывание двух вакуумных выключателей.

Модель, представленная на рис. 1, состоит:

- из трехфазного источника питания Three-Phase Source на 10 кВ;
- кабельной линии от источника до распределительного пункта на 2 км (Line 1) с активным сопротивлением 1.44 Ом и кабельной линии от распределительного пункта до трансформаторной подстанции на 100 м (Line 2) с активным сопротивлением 0.04 Ом;
- вакуумного выключателя на входе распределительного пункта (Breaker 5), выключателя (Breaker 1–3), идущего к потребителям, и выключателя на входе трансформаторной подстанции с активным сопротивлением 0.04 Ом;
- коммутирующих вакуумных выключателей (BreakerX и BreakerX1). Внутреннее устройство выключателей представлено на рис. 2, 3;
- шины на распределительном пункте (Bus 1–3) и шины на трансформаторной подстанции (Bus 4–5) с активным сопротивлением 0.021 мОм;
- нагрузка потребителя с активной мощностью на 100 кВт (RLC Load 1–3). Для простоты расчетов фидеры к RLC Load 2–3 считались без учета шин и выключателей;
- нелинейный ограничитель перенапряжений (OPN), чье внутреннее устройство представлено на рис. 3.

Для построения модели дуги в коммутирующем вакуумном выключателе использовалась модель Касси. Все расчеты производились по формулам и с учетом положений в статьях [2], [3].

Формулы для токов и напряжений электрической дуги:

$$u_s = Ri + L \frac{di}{dt} + u; \quad u_s = \sqrt{2} \cdot U_s;$$

$$\frac{1}{g} \frac{di}{dt} = \frac{1}{\tau} \left(\frac{u^2}{U_C^2} - 1 \right); \quad u = \frac{i}{g},$$

где g – проводимость дуги; τ – постоянная времени; U_C – постоянная напряжения.

Кривая дуги по модели Касси представлена на рис. 5.

По результатам моделирования были получены следующие зависимости: для напряжения и тока на линии от распределительного пункта до трансформаторной подстанции – на рис. 6; для напряжения и тока на шине трансформаторной подстанции – на рис. 7; для напряжения и тока на нагрузке – на рис. 8. Зависимость напряжения и тока в

случае коммутации одного выключателя – на рис. 6, а – 8, а; в случае коммутации двух выключателей – на рис. 6, б – 8, б. При работе ОПН зависимость напряжения и тока представлена на рис. 7, в.

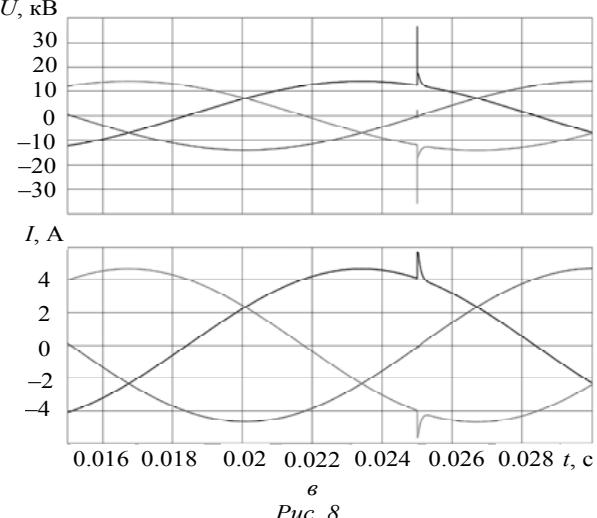
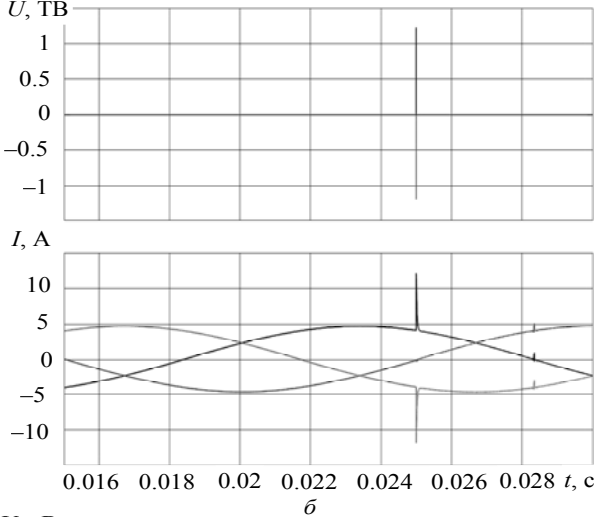
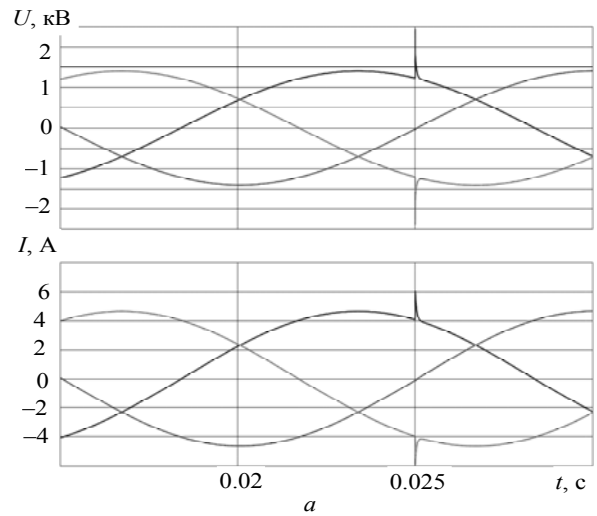


Рис. 8

По полученным зависимостям можно заметить, что напряжение при одновременной коммутации двух выключателей может вырасти в 3 раза

от номинального по сравнению с коммутацией одного выключателя, где напряжение поднимается только в 1.5 раза от номинального. На шинах можно наблюдать ситуацию, аналогичную таковой на линиях, рост напряжения в момент коммутации будет аналогичным.

Иную ситуацию можно наблюдать на нагрузке. Если при коммутации одного выключателя напряжение может увеличиться в 1.5 раза от номинала, то при коммутации двух выключателей оно вырастает в 107 раз. Также можно наблюдать присутствие нелинейных гармоник тока.

Стоит отметить, что использование ОПН приводит к увеличению тока и напряжения в линиях и шинах. Это связано с особенностью моделирования в Simulink, поскольку нелинейный ограничитель рассчитывается там как источник тока.

Выводы:

– ОПН способен обеспечить надежную защиту потребителя. Однако на кабельных линиях остается достаточно высокая кратность перенапряжений, что плохо сказывается на состоянии изоляции. Также на работу ОПН в сети могут оказать плохое влияние высшие гармоники тока [3]. Для решения этой проблемы представляется возможным использование дополнительных защитных средств;

– избежать повышенных перенапряжений при последовательном срабатывании выключателей можно благодаря селективной защите. Необходимо учитывать уставку тока не только при последовательном подключении защитных аппаратов, но и при параллельном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перцев А. А., Белкин Г. С. Коммутационные процессы в вакуумных выключателях с параллельным соединением дугогасительных камер // Электротехника. 2011. № 3. С. 39–45.

2. Верещаго Е. Н., Костюченко В. И. Модель электрической дуги в Matlab/Simulink // Электротехника та електроенергетика. 2013. № 2. С. 40–46.

3. Базавлук А. А., Сарин Л. И. Перенапряжения при коммутациях вакуумных выключателей // Энергоэксперт. 2011. № 2. С. 27–32.

4. Шумилов Ю. Н. Особенности выбора наибольшего рабочего напряжения ограничителей перенапряжений для защиты изоляции электрооборудования в сетях 6–35 кВ // Электротехника и электромеханика. 2013. № 4. С. 69–71.

R. A. Belsky, V. Ya. Frolov

Saint Petersburg Polytechnic University of Peter the Great

SIMULATION OF A DISTRIBUTION NETWORK USING NON-LINEAR OVERVOLTAGE 10 KV SWITCHING SURGES

To assess the influence of the protective apparatus on the distribution network in the event of an overvoltage in this article, it is proposed to use a computer model. Also, emergency modes that arise as a consequence of switching several vacuum switches simultaneously are considered.

Distribution network, surge arresters, simulation, vacuum circuit breaker, overvoltage