

ЭСКАЛАЦИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ С ВЫСОКОВОЛЬТНЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

С. Н. Прохоренко

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель А. Н. Бохан

Распределительные электрические сети напряжением 6–10 кВ являются наиболее протяженными, при этом сети именно этого класса напряжения являются наиболее аварийными. Перенапряжения при дуговых замыканиях на землю могут приводить к развитию аварии в сети. В кабельных сетях на первом месте ($\approx 80\%$ случаев) стоят перенапряжения от однофазных дуговых замыканий на землю, примерно 10% приходится на феррорезонансные перенапряжения.

Опыт эксплуатации, а также моделирование переходных процессов в распределительных сетях показывает, что обычно наиболее высокие уровни перенапряжений при замыканиях на землю наблюдаются при малых токах замыкания на землю (менее 5 А). К таким сетям относятся распределительные сети 6 кВ с высоковольтными электродвигателями.

На одной из нефтеперекачивающих станций произошли повреждения и отключения высоковольтного оборудования. В распределительной сети 6 кВ, фрагмент которой представлен на рис. 1, произошло замыкание на землю. Расследование аварии позволило установить следующую последовательность событий.

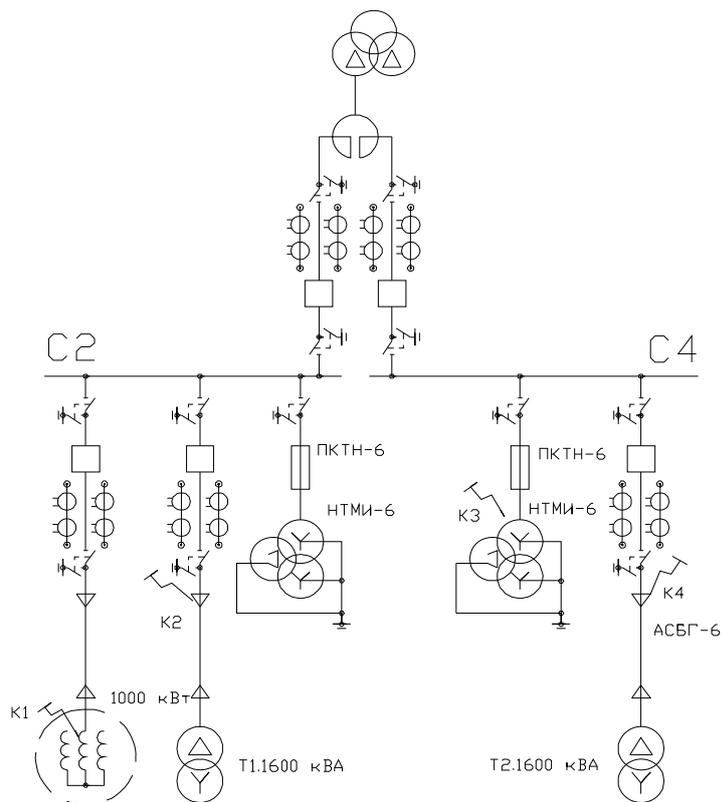


Рис. 1. Фрагмент распределительной сети 6 кВ

Первоначально произошло замыкание на землю на 2-й и 4-й секциях шин 6 кВ. Примерно через 30 мин произошло отключение трансформаторов Т-1 1600 кВА (С-4) и Т-2, 1600 кВА (С-2). При попытке повторного включения трансформатора Т-2 произошло его отключение токовой отсечкой. В дальнейшем произошло отключение высоковольтного электродвигателя. Осмотр электродвигателя выявил признаки трехфазного короткого замыкания на выводах подключения электродвигателя, а также однофазное замыкание на корпус фазы В электродвигателя. Обследование трансформаторов напряжения секций 2 и 4 выявило, что в трансформаторе НТМИ секции 4 произошло перегорание предохранителя и межвитковое замыкание на землю. Трансформатор напряжения секции 2 поврежден не был.

Характер повреждений высоковольтного оборудования дает основания предположить, что их причиной являются исключительно высокие уровни перенапряжений. Наиболее высокие уровни перенапряжений наблюдаются при периодически повторяющихся процессах обрыва дуги до момента естественного перехода через нуль и последующем пробое дугового промежутка вследствие того, что скорость восстановления напряжения оказывается больше, чем восстановление электрической прочности промежутка. Подобные процессы могут происходить при дуговых замыканиях на землю и коммутациях. Они носят название эскалации перенапряжений. По результатам многочисленных исследований уровни таких перенапряжений могут превышать номинальное напряжение в 8–10 раз.

Оценить уровни возможных перенапряжений можно при моделировании распределительной сети с учетом емкостей фаз на землю, а также установленных

средств ограничения перенапряжений. Для моделирования применялась расчетная схема, приведенная на рис. 2.

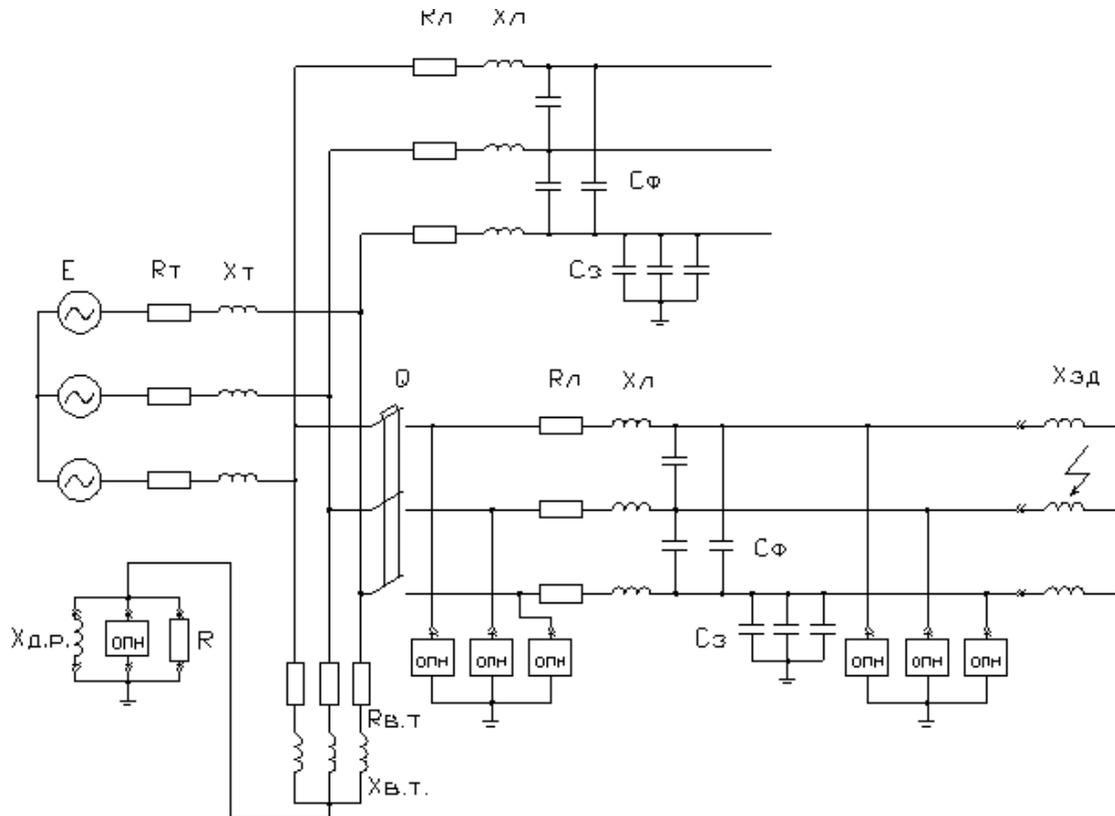
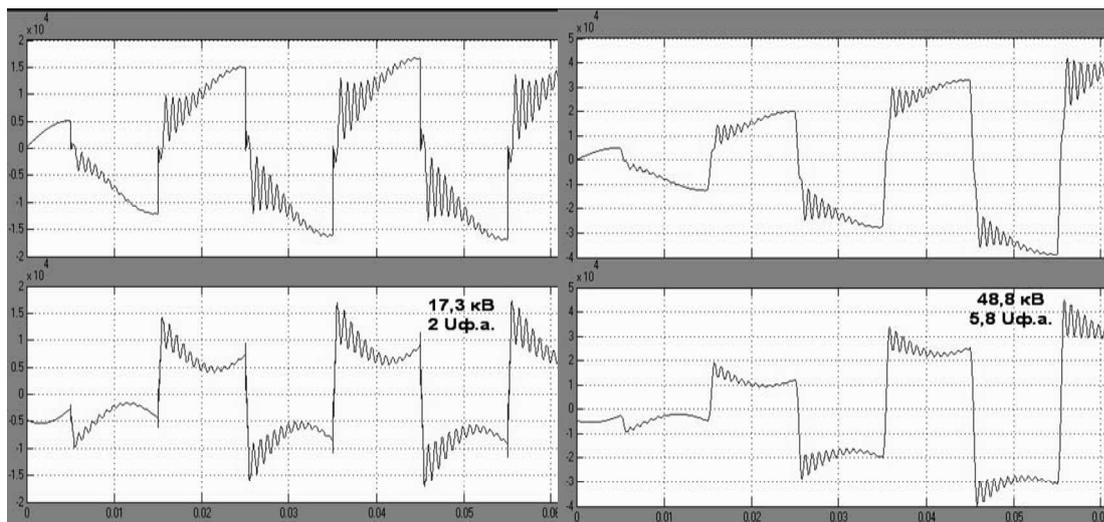


Рис. 2. Расчетная схема сети для анализа дуговых и коммутационных перенапряжений

Общая длина кабельных линий, подключенных ко второй секции, составляла 3700 м. Расчетный ток замыкания на землю 4 А.

Характер развития аварийной ситуации позволяет говорить о том, что развитие повреждений началось с замыкания на корпус высоковольтного электродвигателя. Для выяснения условий возникновения перенапряжений и анализа их причин выполнено компьютерное моделирование с помощью системы MatLab. При этом для определения наибольших кратностей перенапряжений выполнялось моделирование замыкания на корпус в различных точках обмотки электродвигателя (рис. 2). Наибольшие перенапряжения получены при замыкании на корпус в обмотке в точке $1/3 X_{ф.эд}$ от выводов электродвигателя (рис. 3, б). При этом кратности перенапряжений достигают $5,8 \times U_\phi$. Такие кратности перенапряжений являются весьма опасными для элементов системы электроснабжения, что, как предполагается, и повлекло за собой тяжелые последствия аварии.

При установке ОПН на шинах распределительного устройства, как показывают результаты моделирования (рис. 4), перенапряжения не достигают опасных уровней (максимальная кратность перенапряжения равна 2,1). В этом случае последствия были бы значительно меньше.



а)

б)

Рис. 3. Эскалация в двигателе ($X_{ф.эд} = 18 \text{ Ом}$).

Напряжение на неповрежденных фазах, кВ:

а – замыкание на зажимах двигателя; б – замыкание, близкое к зажимам;
 1/3 от сопротивления фазы двигателя

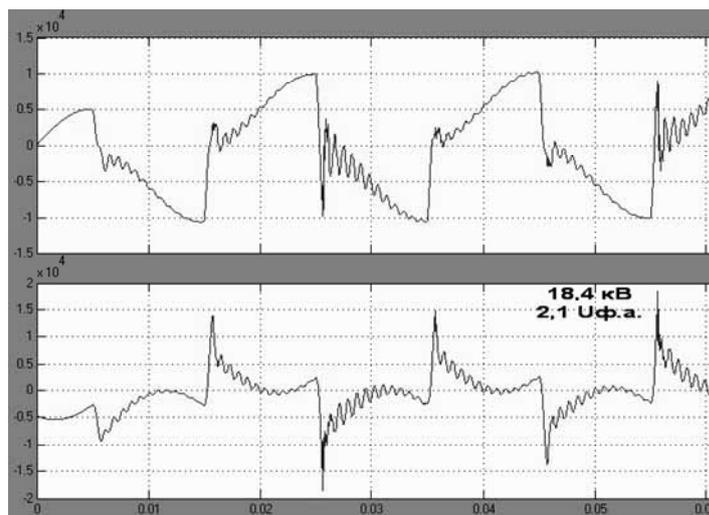


Рис. 4. Эскалация в двигателе близкое к зажимам; 1/3 от сопротивления фазы двигателя ($X_{ф.эд} = 18 \text{ Ом}$). Напряжение на неповрежденных фазах, кВ.

На шинах установлен ОПН

Выводы.

1. Перемежающаяся дуга создает наибольшие уровни перенапряжений, величины которых, зависящие от параметров распределительной сети, могут значительно превышать допустимые уровни перенапряжений для элементов системы электропитания, и приводить к их повреждению.

2. При исследовании максимальных кратностей перенапряжения необходимо учитывать замыкания обмотки на корпус электродвигателя и расположения замыкания относительно зажимов.