

УДК 621.311

Плавка льда на линиях электропередач

Парепко С.В.

Научный руководитель - Мышковец Е.В.

В последнее время гололёд на высоковольтных линиях стал возникать всё чаще. При небольшом морозе, в условиях мягкой зимы, на проводах оседают капельки тумана или дождя, покрывая их плотной ледяной коркой весом несколько тонн на длине километр. В результате провода могут порваться, а опоры линий электропередач сломаться. Готовиться к этому нужно заранее.

Гололёд – плотная ледяная корка, образуется при намерзании переохлаждённых капель дождя, мороси или тумана при температуре от 0 до -5°C на поверхности земли и различных предметов, в том числе проводах высоковольтных линий электропередач. Толщина гололёда на них может достигать 60—70 мм, существенно утяжеляя провода. На территории Беларуси выделяют 3 района по гололеду: 1,2 и 3 – с нормативной толщиной стенки голеледа соответственно 10, 15 и 20 мм.

Традиционные методы плавки гололеда. Ледяную корку на высоковольтных линиях ликвидируют, нагревая провода постоянным или переменным током частотой 50 Гц до температуры $100\text{—}130^{\circ}\text{C}$. Сделать это проще всего, замкнув накоротко два или три провода (при этом от сети приходится отключать всех потребителей).

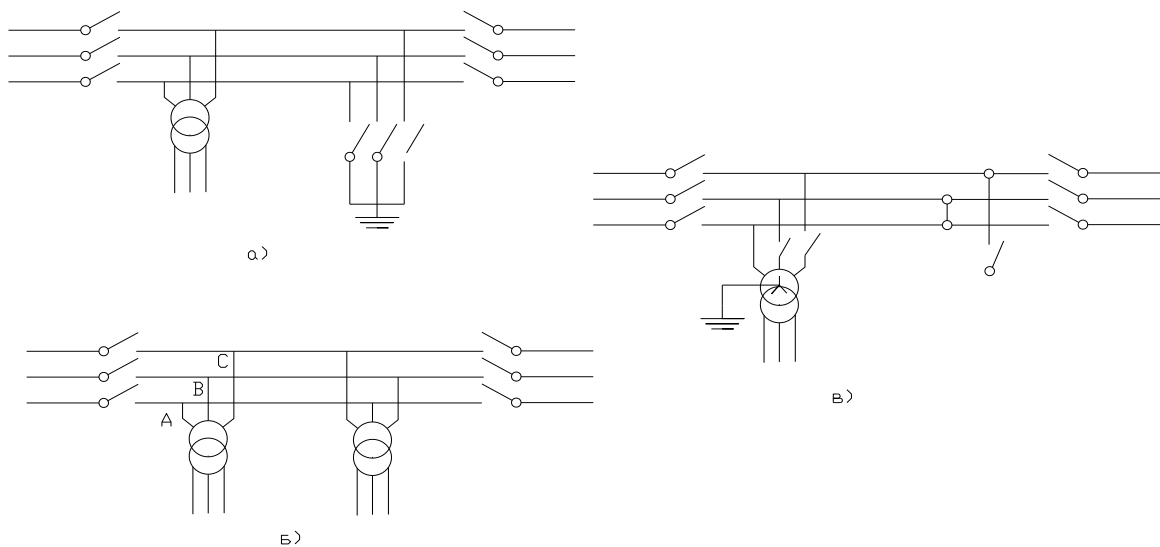


Рисунок 1

Наиболее простой и удобный способ – метод трехфазного короткозамыкания в конце линии (рисунок 1а). Здесь плавка производится сразу на 3 фазах. Ток плавки соответственно равен:

$$I = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot z_0 \cdot l},$$

где U – линейное напряжение плавки гололеда; z_0 – полное сопротивление 1 км линии; l – длина линии.

В свою очередь:

$$z_0 = \sqrt{r_0^2 + x_0^2},$$

где r_0 , x_0 - активное и индуктивное сопротивление 1 км линии.

По способу двухфазного короткого замыкания в конце линии плавка производится сначала на 2 фазах, а затем на третьей в сочетании с одним из освободившихся проводов.

Для этого случая

$$I = \frac{U}{2 \cdot z_0 \cdot l}.$$

Схема, представленная на рисунке 1б, применяется, когда имеющееся напряжение велико для плавки по методу трехфазного короткого замыкания:

$$I = \frac{U_{\phi}}{Z},$$

где U_{ϕ} - фазное напряжение источника плавки; Z - полное сопротивление пути тока плавки.

$$z_0 = \sqrt{(3r_0 \cdot l + 2R_z + R_{зем} \cdot l)^2 + (3x_0 \cdot l)^2},$$

где R_z - активное сопротивление заземления; $R_{зем}$ - активное сопротивление земли, принимается равным 0,05 Ом/км.

В случае, если ток плавки в схеме трехфазного короткого замыкания оказывается недостаточным, то применяется встречное включение фаз. Здесь на одном конце линии провода присоединяются к фазам А,В,С, а на другом - к фазам В,С,А (Рисунок 1в). Тогда ток плавки оказывается в $\sqrt{3}$ раз больше, чем при трехфазном коротком замыкании.

На линиях с проводами больших сечений применяется плавка гололеда постоянным током. В этом случае применяется схема рисунок 1б, где вместо трансформатора используется источник постоянного тока.

Для провода марки АС-185/43 километровой длины индуктивное сопротивление в 2,5 раза превышает значение активного сопротивления. По этой причине большую выгоду представляет собой плавка льда при помощи постоянного тока, но с другой стороны мощные высоковольтные выпрямители приводят к значительному удорожанию установки.

Таким образом, плавка гололеда током — довольно неудобное, сложное, опасное и дорогостоящее мероприятие. Кроме того, очищенные провода вновь обрастают льдом, который требуется плавить снова и снова.

Скин-эффект (поверхностный эффект) — эффект затухания электромагнитных волн по мере их проникновения в глубь проводящей среды. В результате этого эффекта, переменный ток, при протекании по проводнику распределяется не равномерно по сечению, а преимущественно в поверхностном слое. При пропускании тока частотой свыше 10 Гц по сечению проводника, его сопротивление возрастает в сотни раз.

Глубина слоя проводника, в котором напряженность электрического поля уменьшается в e раз, называется глубиной скин-слоя.

Q- потери складываются из потерь на нагревание проводника, окружающей среды и льда до температуры плавления.

Примем, что тепло теряется через единичную площадь проводника одинаково во всех направлениях и лед тает равномерно по всей окружности, но на практике достаточно растопить верхнюю кромку гололеда на линии, которая всегда тоньше остальной части льда на линии, а остальная часть ледяного образования упадет на землю под действием силы тяжести. Для сравнения эффективности плавки льда токами

различной частоты эти потери теплоты примем пропорциональными полным затратам энергии.(50%)

Сравнение активных сопротивлений линии и энергии, требуемой для плавки льда, приведено в таблицу 1.

Таблица 1

Марка провода	Расчетная теплота	Активное сопротивление			Требуемая энергия		
		50Гц	1МГц	100МГц	50Гц	1МГц	100МГц
	МДж	Ом	Ом	Ом	МДж	МДж	МДж
АС150/24	0.161	0.198	6253	62530	171.76	1.933	0.611
АС240/32	0.203	0.121	4950	49500	493.88	4.884	1.544
АС400/51	0.259	0.075	3888	38880	1608.7	14.131	4.468

Выводы

1. При повышении частоты до 1 и 100МГц активное сопротивление возрастает в десятки и даже сотни тысяч раз, а энергия, необходимая для того, чтобы расплавить лед сокращается в 100 и 400 раз соответственно.

2. Разогрев линий электропередач токами высокой частоты позволит предотвращать образование гололёда на проводах, поскольку можно нагреть их до 10—20°С, не дожидаясь образования плотного льда. Таким образом, скин-эффект позволяет не допускать появления гололёда на проводах.

3. Отключать от электрической сети потребителей не придётся — высокочастотный сигнал к ним не проникнет, так как перед потребителями можно поставить высокочастотные фильтры. Однако в этом случае происходит удорожание сети на стоимость радиопередатчика(~5 млн. бел. руб.).

4. Поскольку провода можно нагревать всего на 10—20°С, то по сравнению с плавкой, требующей нагрева проводов до 100—130°С, значительно уменьшается расход электроэнергии.

5. Так как сопротивление проводов токам высокой частоты по сравнению с промышленной (50 Гц) резко возрастает, коэффициент преобразования электрической энергии в тепловую оказывается велик. Это в свою очередь приводит к снижению требуемой мощности.

Литература

1. Дьяков А. Ф., Засыпкин А. С., Левченко И. И. Предотвращение и ликвидация гололедных аварий в электрических сетях. — Пятигорск: Изд-во РП «Южэнерготехнадзор», 2000.
2. Левченко И. И., Засыпкин А. С., Аллилуев А. А., Сацук Е. И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
3. Рудакова Р. М., Вавилова И. В., Голубков И. Е. Борьба с гололёдом в электросетевых предприятиях. — Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 1995.
4. Журнал «Наука и жизнь», №8 – 2008, стр. 116-119.