

ВЛИЯНИЕ ЕМКОСТИ ЛИНИИ И ИНДУКТИВНОСТИ СГЛАЖИВАЮЩИХ ДРОССЕЛЕЙ НА ВЕЛИЧИНУ И ХАРАКТЕР ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЛИНИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В. К. ЩЕРБАКОВ и А. И. ВАСИЛЬЕВ

1. Величина тока в линии передачи без потерь определяется уравнением:

$$i = \frac{U}{Z}, \quad (1)$$

где $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$ — волновое сопротивление линии. По этой формуле представляется возможным приближенно определить величину тока короткого замыкания в линии передачи постоянного тока высокого напряжения, находившейся на холостом ходу под напряжением U_0 .

Из выражения (1) следует, что т. к. з. будут значительными по своей величине в кабельных линиях, имеющих большую емкость и малую индуктивность.

Для кабельных линий постоянного тока высокого напряжения при работе одной половины электропередачи волновое сопротивление $Z \approx 30$, а для воздушных составляет более 170.

При работе обеих половин электропередачи волновые сопротивления соответственно возрастают в 2 раза.

2. С целью более точного определения величины т. к. з., а также закономерности изменения его во времени была получена более общая формула. Если короткозамкнутую часть линии представить в виде цепочечной схемы замещения, состоящей из последовательно соединенных четырехполюсников, каждый из которых представляет Т-образную схему замещения элементарного участка линии с параметрами R , L и C , то для тока короткого замыкания в линии получится выражение

$$i_{кз} = \frac{2U_0}{nL} e^{-\frac{R}{2L}t} \sum_{m=1}^{m=n} \frac{\sin \beta_m t}{\beta_m}, \quad (2)$$

где

$$\beta_m = \sqrt{\frac{2}{CL} \left[1 - \cos \frac{2m-1}{2n} \pi \right] - \frac{R^2}{4L^2}}.$$

Согласно формуле (2) изменение т. к. з. во времени носит затухающий колебательный характер. Скорость затухания колебаний, определяемая значением $\frac{R}{2L}$, не зависит от места короткого замыкания и является величиной постоянной для данной линии электропередачи.

Период колебаний зависит от места короткого замыкания. С увеличением длины короткозамкнутого участка линии период возрастает, и наоборот.

Для линий электропередачи напряжением 2×400 кВ, имеющей кабель значительного сечения, ударный ток однополюсного короткого замыкания перед сглаживающим дросселем инверторной подстанции, обусловленный только разрядом емкости линии, достигает 12,5-кратной величины.

На рис. 1 построена кривая т. к. з. для такой линии передачи при замещении ее цепочечной схемой с $n=4$.

На рис. 2 представлена осциллограмма т. к. з. в той же линии при $n=4$.

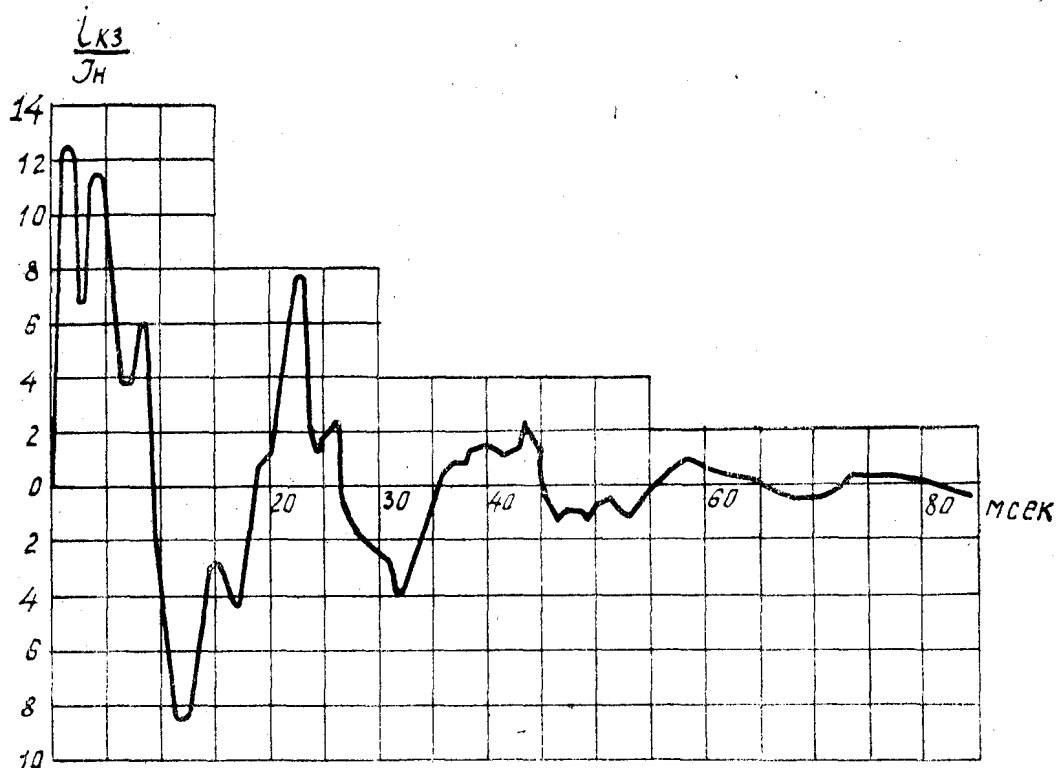


Рис. 1

Амплитудное значение т. к. з. в данной линии передачи уменьшается до величины номинального тока через 0,05 сек.

Вычисление аварийного тока по формуле (2) при $n=24$ дает весьма близкое к действительному и достаточно точное для практических расчетов значение тока короткого замыкания.

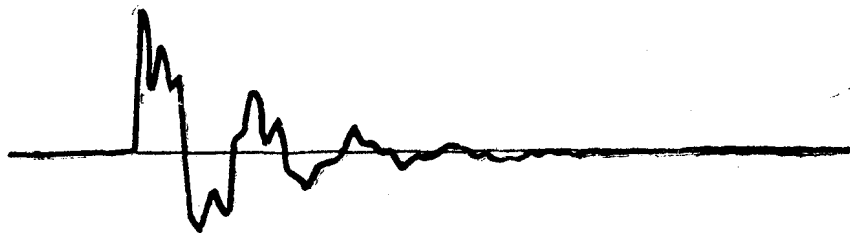


Рис. 2

3. Влияние индуктивности сглаживающего дросселя на величину и характер изменения тока короткого замыкания в линии можно выяснить с достаточной определенностью, если линию учесть через Т-образную схему замещения, имея в виду, что индуктивность линии мала по сравнению с индуктивностью дросселя.

В этом случае ток в линии

$$i_{кз} = \frac{U_0}{\sqrt{\frac{L}{C_n} - \frac{R^2}{4}}} e^{-\frac{R}{2L}t} \sin \sqrt{\frac{1}{LC_n} - \frac{R^2}{4L^2}} \cdot t$$

$$\text{Здесь } R = \frac{R_A}{2} + R_{\partial p}$$

$$L = \frac{L_A}{2} + L_{\partial p}$$

Проведенные по этой формуле расчеты токов короткого замыкания за сглаживающим дросселем приемного конца при холостом ходе линий электропередач в предположении неизменного значения индуктивности дроссельной катушки ($L_{\partial p}$) показывают, что максимальный ток короткого замыкания превышает номинальный в 2–3 раза в случае кабельных линий различной протяженности и не достигает значения рабочего тока в случае воздушных линий передач.

При этом следует заметить, что значения токов короткого замыкания в конце линий электропередач при $L_{\partial p} = \text{const}$ не зависят от вида короткого замыкания, так как при двухполюсном коротком замыкании напряжение, индуктивность и сопротивление возрастают, а емкость линии уменьшается в два раза по сравнению со случаем однополюсного короткого замыкания.

Частота колебаний аварийного тока в данном процессе короткого замыкания значительно снижается по сравнению с предыдущим случаем и для различных кабельных линий передач лежит в пределах 8–16 герц.

Одним из основных параметров, определяющих значение т. к. з. в дан-

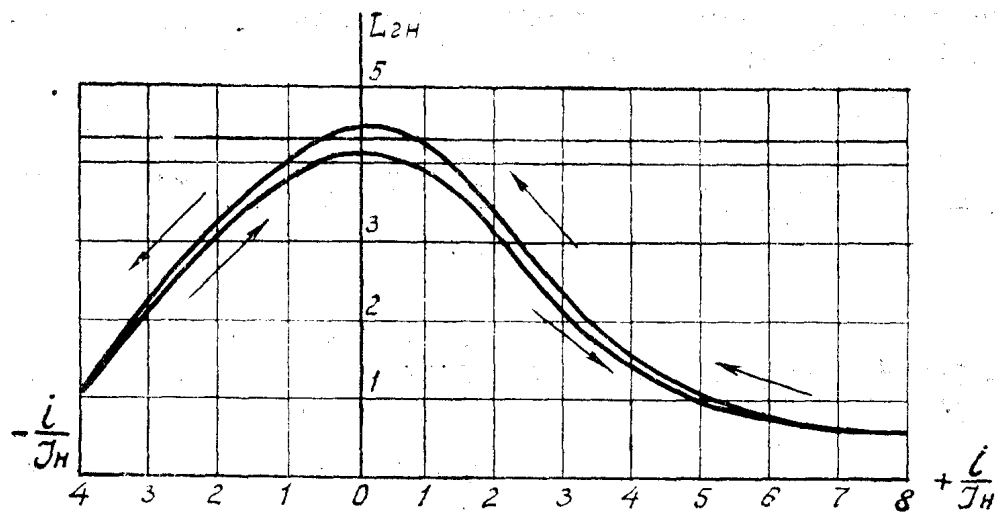


Рис. 3

ном аварийном режиме, является индуктивность сглаживающего дросселя, которая в проведенных рассуждениях предполагалась неизменной в процессе короткого замыкания.

В действительности резкое увеличение тока и момент короткого замыкания приводят к сильному насыщению железа дросселя и к значительному снижению индуктивности. Это обстоятельство делает необходимым учитывать в расчетах аварийных токов в линии изменение индуктивности дросселей.

Изменение индуктивности одного выполненного сглаживающего дросселя, в зависимости от величины протекающего тока через него, представлено на рис. 3.

Установленная зависимость $L_{др} = f\left(\frac{i}{I_n}\right)$ показывает, что при 3-кратном токе индуктивность снижается в 1,85 раза, а при 6-кратном—в 5,6 раза.

Изменение индуктивности дроссельных катушек в расчетах т. к. з. по формуле (3) можно учесть методом последовательных приближений.

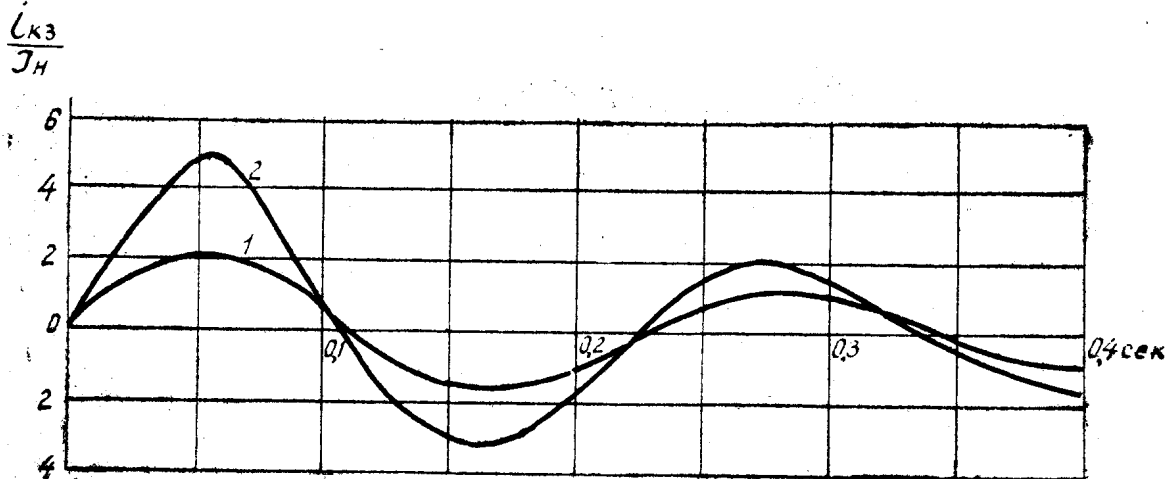


Рис. 4

Подобный учет показал, что кратность ударного т. к. з. в конце кабельных линий возрастет в 2÷4 раза по сравнению со случаем постоянной индуктивности дросселей.

Вместе с изменением $L_{др}$ в процессе короткого замыкания изменяются период и частота колебаний аварийного тока.

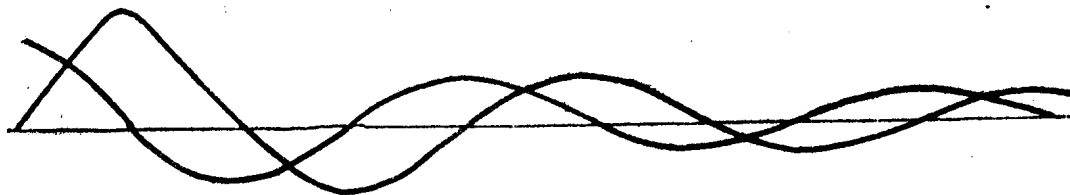


Рис. 5

На рис. 4 приведены расчетные кривые т. к. з. за сглаживающим дросселем для мощной линии электропередачи:

1—кривая при $L_{др} = \text{const}$,

2 — кривая при $L_{др} = \text{var}$.

На рис. 5 представлена осциллограмма т. к. з. за дросселем для той же линии передачи.

Выводы

1. Короткие замыкания в кабельных линиях постоянного тока до сглаживающего дросселя сопровождаются возникновением значительных по величине токов за счет энергии, запасенной в емкости линии. Это делает необходимым учет в расчетах т. к. з. емкости линий передач.

2. Т. к. з. при авариях в линии до сглаживающего дросселя приемного конца передачи снижается до значения номинального тока через промежуток времени порядка 0, 05 сек.

При коротких замыканиях за дросселем процесс затухания т. к. з. значительно увеличивается и снижение до значения номинального тока происходит только через промежуток времени порядка 0,5 сек.

3. При коротком замыкании за дросселем приемного конца передачи необходимо учитывать в расчетах т. к. з. изменение индуктивности дросселя за счет насыщения.

4. С целью ограничения т. к. з. в конце линии передачи желательно производить конструирование сглаживающего устройства таким образом, чтобы не происходило или было минимальным насыщение железа дросселя при протекании аварийного тока через его катушку.