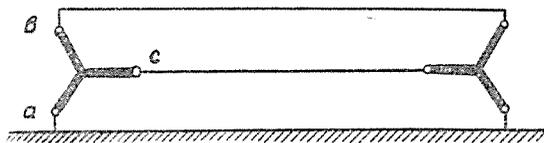


## ЕМКОСТНЫЕ ТОКИ В ЛИНИЯХ ДПЗ

В. К. ЩЕРБАКОВ и К. П. МЕЩЕРЯКОВ

1. Трехфазные линии электропередач с одной заземленной фазой, в которой нет проводов и ток этой фазы протекает в земле,—ДПЗ (фиг. 1) до сего времени строили на номинальные напряжения до 35 кВ.

Поэтому при расчетах линий ДПЗ не возникала необходимость в учете емкостных токов. Это объясняется также и тем обстоятельством, что электрические сети сельскохозяйственных районов, где получили распространение трехфазные системы с одной заземленной фазой, выполня-



Фиг. 1. Схема трехфазной линии электропередачи «два провода—земля».

ются исключительно воздушными линиями, т. е. линиями, обладающими малой емкостью. Линии 35 кВ в сельскохозяйственных районах могут достигать экономически целесообразной предельной длины 100—150 км [1]. Такая линия обусловила бы емкостный ток в 5—7 ампер, влияние которого на режимы работы линии было бы малозаметным.

Однако рост электрификации сельского хозяйства СССР с каждым годом увеличивает передаваемые и распределяемые высоковольтными сетями мощности. Рост механизации сельского хозяйства вызывает целесообразность строительства сравнительно крупных районных электростанций для электрификации сельского хозяйства и объединения электростанций сельскохозяйственных районов в электрические системы. Высоковольтные электрические сети, распределяющие электроэнергию от районных электростанций и связывающие отдельные электростанции в системы, получили большое распространение, и уже построены и эксплуатируются тысячи километров линий электропередач на напряжение в 35 кВ.

Электрификация отдаленных колхозов и совхозов от крупных межрайонных гидроэлектростанций и тепловых районных электростанций становится целесообразной при использовании электрических сетей на напряжение 110000 вольт. Линии и сети на номинальное напряжение 110 кВ уже начинают строить для целей электрификации сельского хозяйства, и в ближайшее время эти сети, несомненно, получат широкое распространение в сельскохозяйственных районах.

Характерной особенностью электрических высоковольтных сетей сельскохозяйственных районов является их большая протяженность при относительно небольших передаваемых и распределяемых мощностях. В этих условиях мыслимы линии электропередач на напряжение 110 кВ длиной в несколько сот километров.

Линия электропередач на номинальное напряжение 110 кВ при длине в 200—300 километров обуславливает емкостный ток в начале линии в 40—60 ампер. Как будет показано ниже, с емкостным током такой величины не считаться нельзя; больше того, в некоторых случаях этот емкостный ток становится определяющим режим работы электропередачи.

Успешная и экономичная эксплуатация сетей ДПЗ 35 кВ дает уверенность предполагать, что и сети с номинальным напряжением 110 кВ в сельскохозяйственных районах также целесообразно строить с одной заземленной фазой. Проведенные ранее исследования [2], а также дополнительные и специальные исследования последнего времени по вопросам работы электропередач с заземленной фазой в значительной степени внесли ясность в отношении работы изоляции линий и трансформаторов 110 кВ электропередач с заземленной фазой, применения проводов марок АС-70 по условиям короны на линиях этих электропередач и т. д. В настоящей статье рассматриваются лишь особенности проявления емкостных токов в электропередачах ДПЗ при напряжении 110 кВ.

2. Емкостные токи в фазах линии ДПЗ можно подсчитать по формулам [2]:

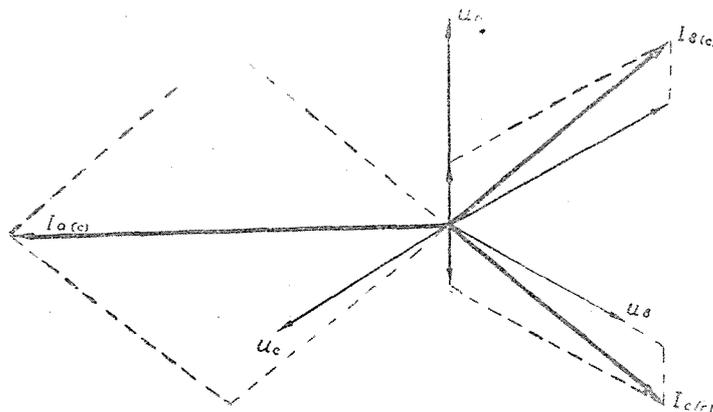
$$\bar{I}_{a(c)} = -(\bar{I}_{b(c)} + \bar{I}_{c(c)})j3\omega = U_a \frac{C_{22} + C_{33}}{2};$$

$$\bar{I}_{b(c)} = j\omega \bar{U}_a (C_{22} - \alpha C_{23}) \cdot (\alpha - 1);$$

$$\bar{I}_{c(c)} = j\omega \bar{U}_a \left( C_{33} - \frac{1}{\alpha} C_{23} \right) \cdot (\alpha^2 - 1),$$

где  $C_{22}$ ,  $C_{33}$  и  $C_{23}$  — частичные емкости линии на землю и между проводами.

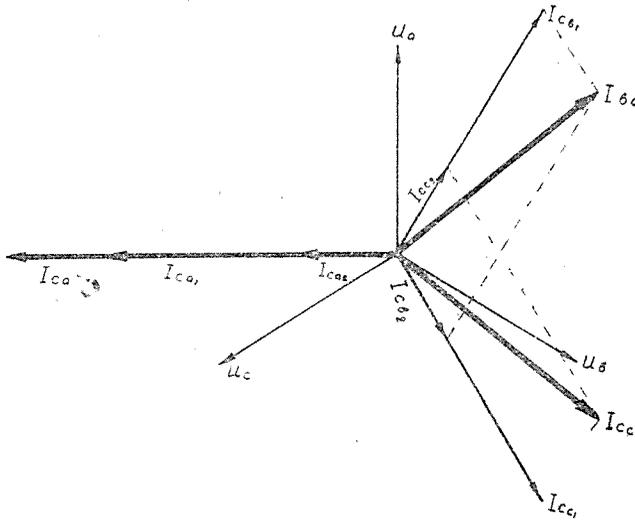
На фиг. 2 дана векторная диаграмма емкостных токов линии ДПЗ, причем положено, что фаза  $a$  заземлена.



Фиг. 2. Векторная диаграмма емкостных токов линии ДПЗ.

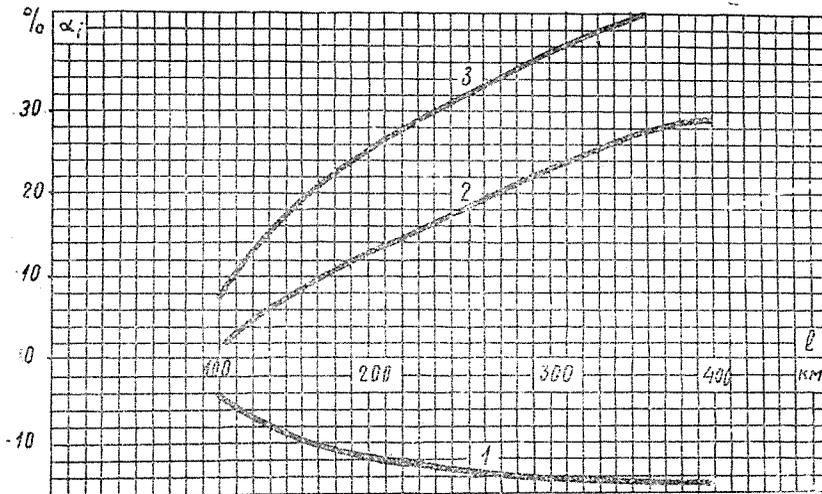
Емкостные токи в фазах образуют несимметричную трехфазную систему, при разложении которой на симметричные составляющие выделяются токи обратной последовательности в фазах, как это видно на фиг. 3.

Емкостные токи обратной последовательности складываются в фазах с токами обратной последовательности за счет протекания в линии токов нагрузки, и в результате получается суммарная несимметрия в элементах электропередачи—генераторе, трансформаторе, линии и т. д.



Фиг. 3. Векторная диаграмма емкостных токов линии ДПЗ—110 кВ и их симметричных составляющих.

На фиг. 4 (кривая 2) показана степень несимметрии в генераторе, питающем линию различной длины по схеме фиг. 5. Линия выполнена проводами АС-185, передаваемая мощность по линии ограничена поте-

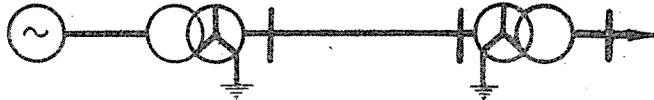


Фиг. 4. Зависимость степени несимметрии в генераторе от длины линии ДПЗ--110 кВ.

рей напряжения прямой последовательности в линии в 10%;  $\cos \varphi_{нагр} = 0,85$ . Кривая 2 указывает на очень высокую степень несимметрии токов при длинах линии порядка 300 км. (20—25%). Роль емкостного тока в создании несимметрии токов в генераторе показывает кривая 3, фиг. 4. В ли-

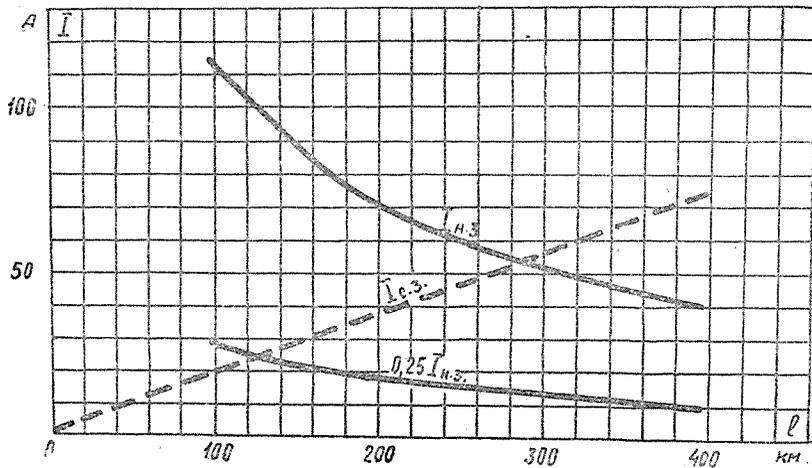
ниях длиной до 150 км емкость линии благоприятно сказывается на соотношении токов обратной и прямой последовательностей в генераторе и, очевидно, в других элементах электропередачи. При этих длинах линии несимметрия токов в генераторе, подсчитанная без учета емкостного тока,—кривая 1 (фиг. 4)—выше, чем суммарная (действительная), подсчитанная с учетом емкостного тока—кривая 2.

Однако в линиях, длина которых превышает 150 км, емкость линии сказывается уже отрицательно на соотношении токов обратной и прямой последовательностей в генераторе и является определяющей в этом смысле. Электропередача без нагрузки дает наибольшую степень несимметрии—кривая 3, фиг. 4.



Фиг. 5. Простейшая схема линии электропередачи ДПЗ—110 кВ.

В разветвленной сети 110 кВ сельскохозяйственных районов, выполненной, как правило, проводами сечением меньшим, чем  $185 \text{ мм}^2$  и, следовательно, рассчитанной на передачу по участкам сети сравнительно небольших мощностей,—„емкостный эффект“ в создании несимметрии токов в генераторе и других элементах электропередачи будет проявляться еще более значительно. В этом случае не будет большим преувеличением равняться на предельную несимметрию, т. е. на несимметрию сети на холостом ходу.

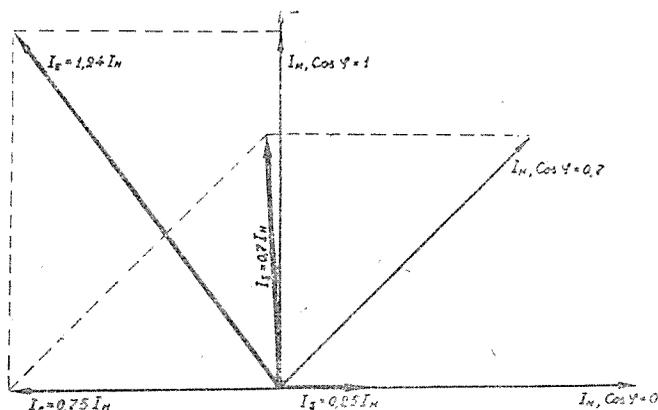


Фиг. 6. Зависимость тока нагрузки и емкостного тока в заземленной фазе от длины линии ДПЗ.

3. Емкостный ток в линии ДПЗ при напряжении 110 кВ в сильной степени сказывается на величине тока линии в земле. Соотношение емкостного и нагрузочного токов по величине в заземленной фазе линии показывает фиг. 6. Как видно, величина емкостного тока при больших длинах линий равна или больше величины нагрузочного тока в заземленной фазе. Эти два тока, складываясь геометрически, образуют ток в земле линии.

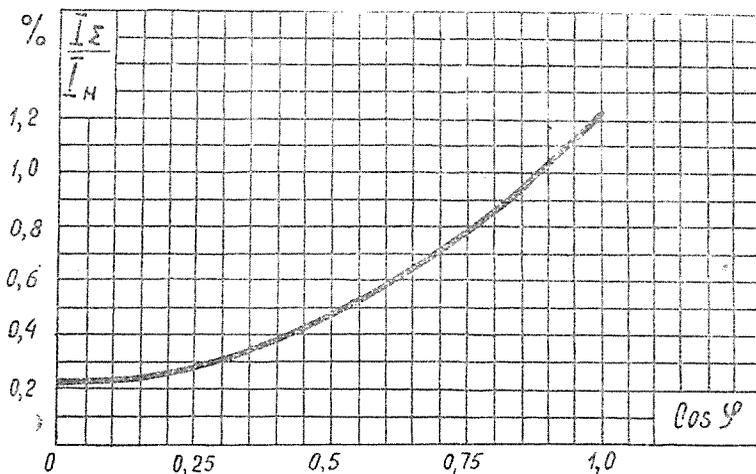
Большое влияние на величину общего тока в земле оказывает коэффициент мощности нагрузочного тока. Векторная диаграмма токов в за-

земленной фазе, фиг. 7, и график фиг. 8 ясно показывают, в каких широких пределах может изменяться величина общего тока в земле в зависимости от коэффициента мощности нагрузки линии при частном, но наиболее вероятном соотношении емкостного и нагрузочного токов.



Фиг. 7. Векторная диаграмма токов в земле при  $I_c = 0,75 I_n$ .

Если принять, что чаще всего линии сельскохозяйственных районов будут нести нагрузку с коэффициентом мощности порядка 0,85, то в этом частном случае общий ток в земле линии ( $I_{нагр} + I_{сз}$ ) будет сравнительно мало отличаться по величине от тока нагрузки линии, фиг. 9.



Фиг. 8. Зависимость тока в земле от величины  $\cos \varphi$  при

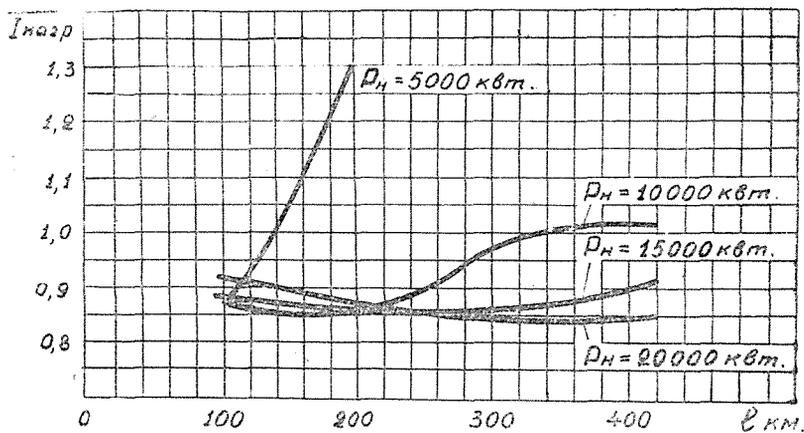
$$\frac{I_c}{I_n} = 0,75.$$

Важно отметить, что наибольшая величина общего тока в земле линии не совпадает с наибольшей нагрузкой линии. Наоборот, наибольшая величина общего тока в земле линии может получиться при холостом ходе линии, при некоторых значениях коэффициента мощности нагрузки.

4. 1) в протяженных линиях ДПЗ 110 кв, обслуживающих электро-снабжение сельскохозяйственных районов, емкостные токи могут дости-

гать величины равной или даже большей тока, обусловленного нагрузкой линии;

2) несимметрия токов в линии и у нагрузки, а также в генераторах, питающих линии ДПЗ, в значительной степени, а часто и исключительно определяется емкостным током линии;



Фиг. 9. График влияния емкостного тока на ток в земле при различных длинах линии ДПЗ.

3) при определении наибольшей величины общего тока в земле линии необходимо исследовать изменение этого тока в зависимости от колебания нагрузки линии с учетом переменности коэффициента мощности нагрузки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Щербаков В. К. Электроснабжение сельскохозяйственных районов от высоковольтных сетей. Известия Томского политехнического института т. 72, 1952.
2. Щербаков В. К. Несимметричные электропередачи. Электрический расчет. Томск, 1946.