

РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ КАЧАНИЙ В СИСТЕМАХ НА РАБОТУ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

КУТЯВИН И. Д.

Доцент, кандидат технических наук

При качаниях в системе отдельные электрические величины могут принимать значения, сходные со значениями, получающимися при коротких замыканиях, вследствие чего возможно неправильное действие защиты. Для выяснения поведения защиты при качаниях необходимо бывает определить значения электрических величин, на которые реагирует защита, в зависимости от угла расхождения векторов э.д.с. станций системы. „Руководящие указания по релейной защите электрических сетей“ рекомендуют для этой цели графический метод расчета, предложенный ниже А. Б. Барзам.

Этот метод предполагает целый ряд допущений, а именно: 1) равенство э.д.с. генераторов системы; 2) отсутствие повреждения в системе при качаниях; 3) отсутствие нагрузки в системе.

Эти допущения способны дать значительные искажения конечного результата и привести к неправильному заключению.

Основы предлагаемого метода расчета влияния качаний на работу за-

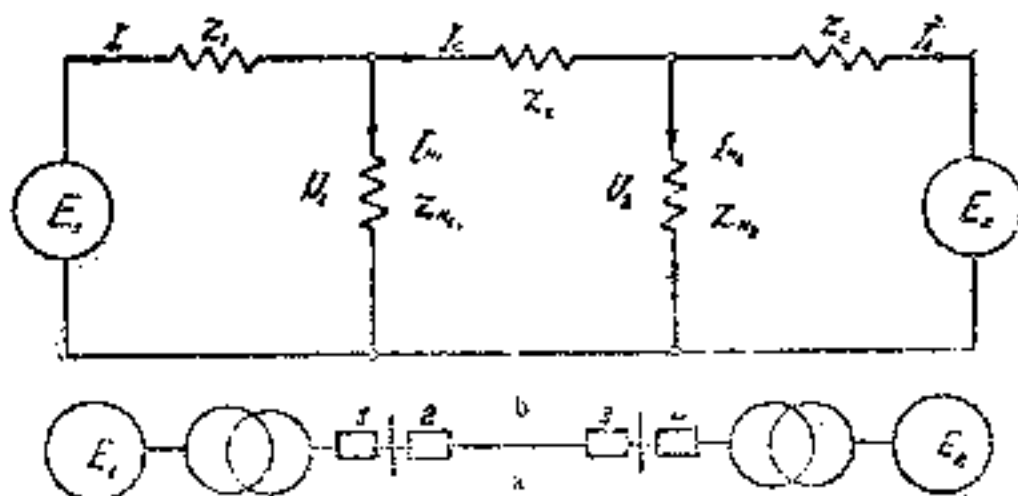


Рис. 1

щиты даны Н. Щедриным в его книге „Токи короткого замыкания электрических систем“.

На рис. 1а представлена простейшая система с двумя генераторными станциями и с нагрузкой, сосредоточенной на линиях высокого напряжения, а на рис. 1б приведена схема замещения указанной системы, на которой нанесены напряжения, токи и сопротивления, соответствующие

нормальному режиму работы системы. Для составления основных уравнений при качаниях можно воспользоваться нормальным режимом (рис. 1 б)

$$\dot{I}_1 \dot{Z}_{m1} = \dot{I}_c \dot{Z}_c + \dot{I}_{m2} \dot{Z}_2; \quad (1)$$

$$\dot{E}_1 = \dot{I}_1 \dot{Z}_1 + \dot{I}_{m1} \dot{Z}_{m1}; \quad (2)$$

$$\dot{E}_1 - \dot{E}_2 = \dot{I}_1 \dot{Z}_1 + \dot{I}_c \dot{Z}_c - \dot{I}_2 \dot{Z}_2; \quad (3)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{m1} + \dot{I}_c; \quad (4)$$

$$\dot{I}_{m2} = \dot{I}_c + \dot{I}_2. \quad (5)$$

Совместное решение этих пяти уравнений дает для токов следующие выражения:

$$\dot{I}_1 = \dot{E}_1 \left[\frac{\dot{Z}_{m1} \dot{Z}_{m2} + \dot{Z}_{m1} \dot{Z}_2 + \dot{Z}_{m2} \dot{Z}_2 + \dot{Z}_{m2} \dot{Z}_c + \dot{Z}_2 \dot{Z}_c}{\dot{N}} \right] - \dot{E}_2 \frac{\dot{Z}_{m1} \dot{Z}_{m2}}{\dot{N}} = \dot{I}_1' + \dot{I}_1''; \quad (6)$$

$$\dot{I}_2 = -\dot{E}_1 \frac{\dot{Z}_{m1} \dot{Z}_{m2}}{\dot{N}} + \dot{E}_2 \left[\frac{\dot{Z}_{m1} \dot{Z}_{m2} + \dot{Z}_{m1} \dot{Z}_2 + \dot{Z}_{m2} \dot{Z}_2 + \dot{Z}_1 \dot{Z}_{m2} + \dot{Z}_1 \dot{Z}_c}{\dot{N}} \right] = \dot{I}_2' + \dot{I}_2''; \quad (7)$$

$$\dot{I}_c = \dot{E}_1 \frac{\dot{Z}_{m1} (\dot{Z}_{m2} + \dot{Z}_2)}{\dot{N}} - \dot{E}_2 \frac{\dot{Z}_{m2} (\dot{Z}_{m1} + \dot{Z}_1)}{\dot{N}} = \dot{I}_c' + \dot{I}_c''. \quad (8)$$

Выражения (6), (7) и (8) дают значения токов \dot{I}_1 , \dot{I}_2 и \dot{I}_c для нормального режима работы, причем токи \dot{I}' и \dot{I}'' для каждого выражения могут быть получены при вычислениях токов \dot{I}_1 , \dot{I}_2 и \dot{I}_c методом суперпозиции.

При качаниях в системе вектора э.д.с. E_1 и E_2 разойдутся на угол δ . вследствие чего и токи \dot{I}' и \dot{I}'' в выражениях (6), (7) и (8) также разойдутся на этот угол; тогда выражения токов при качаниях будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \dot{I}_1' e^{j\delta} + \dot{I}_1'', \\ \dot{I}_2 &= \dot{I}_2' e^{j\delta} + \dot{I}_2'', \\ \dot{I}_c &= \dot{I}_c' e^{j\delta} + \dot{I}_c''. \end{aligned} \quad (9)$$

Выражения (9) для токов \dot{I}_1 , \dot{I}_2 и \dot{I}_c представляют собою уравнения окружности с координатами центра \dot{I}'' и радиусом \dot{I}' .

Для построения круговых диаграмм токов для отдельных точек системы, в которых установлена защита, необходимо знать распределение токов и напряжений в системе при нормальном режиме. Эта задача может быть разрешена уже известными методами. На основании данных нормального режима строится векторная диаграмма напряжений для данной точки (рис. 2), причем э. д. с. E_1 , принятая за вращающуюся, располагается по вещественной оси. На рис. 2 построены круговые диаграммы для тока \dot{I}_1 и напряжения \dot{U}_1 для рассматриваемой системы рис. 1, точка (1).

Кроме того, для построения круговой диаграммы тока необходимо определить вектор \dot{I}'' при $E_1 = 0$. Отложив этот вектор \dot{I}'' в масштабе токов на векторной диаграмме, получаем центр окружности для круговой диаграммы O_1 , радиус которой равен отрезку $O_1 a$, соединяющему центр окружности O_1 с концом вектора тока, соответствующего нормальному режиму работы.

Необходимо указать, что вектор центра \dot{I}_1^* согласно выражениям (6), (7) и (8), равен току при $\dot{E}_1 = 0$ с положительным знаком, если этот ток совпадает по направлению с током нормального режима, и с отрицательным знаком, если ток при $\dot{E}_1 = 0$ встречен току нормального режима.

Сказанное иллюстрируется расположением стрелок на рис. 1б, причем

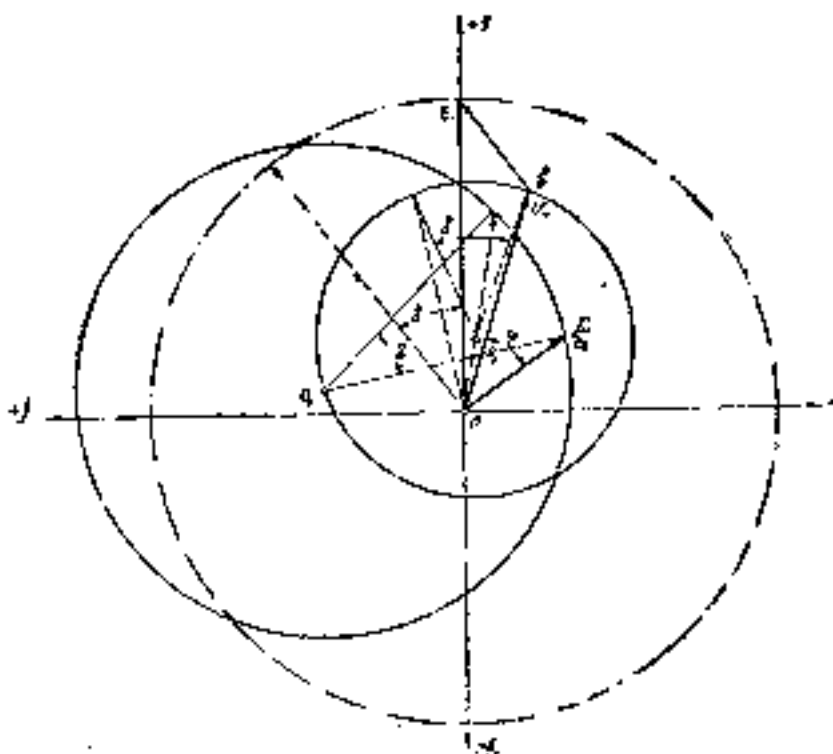


Рис. 2

стрелки, указывающие направление тока нормального режима, нанесены на контур цепи, а стрелки тока при $\dot{E}_1 = 0$ — параллельно контуру.

Начальное положение вектора тока при качаниях, от которого ведется счет угла δ , совпадает с положением тока на векторной диаграмме при нормальном режиме (рис. 2).

На этой же диаграмме строится круговая диаграмма напряжения для данной точки системы, причем выражение для напряжения \dot{U}_1 может быть получено следующим образом:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 e^{j\delta} - \dot{I}_1 \dot{Z}_1 \quad (10)$$

Подставляя в это уравнение выражение для тока \dot{I}_1 из (9), получим выражение для напряжения

$$\dot{U}_1 = (\dot{E}_1 - \dot{I}_1^* \dot{Z}_1) e^{j\delta} - \dot{I}_1^* \dot{Z}_1 = \dot{U}_1' e^{j\delta} + \dot{U}_1^* \quad (11)$$

Это выражение подобно выражениям для токов (9) и при $\delta = 0$ даст напряжение при нормальном режиме в данной точке системы, т. е.

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_1' + \dot{U}_1^* = \dot{U}_{\text{норм}} \approx \text{ОВ.}$$

Для построения круговой диаграммы напряжения необходимо определить лишь вектор центра

$$\dot{U}_1^* = -\dot{I}_1^* \dot{Z}_1 = \text{ОВ}_2 \quad (12)$$

и отложить его на векторной диаграмме рис. 2, а затем, получив центр окружности O_2 , описать окружность радиусом $\overline{O_2D} = U_1'$. При этом начальное положение вектора напряжения при качаниях совпадает с положением его при нормальном режиме — вектор $\overline{O_1B}$ (рис. 2).

Пользуясь построенной диаграммой, можно определить поведение всех электрических величин в зависимости от угла δ . К сожалению, мощно-

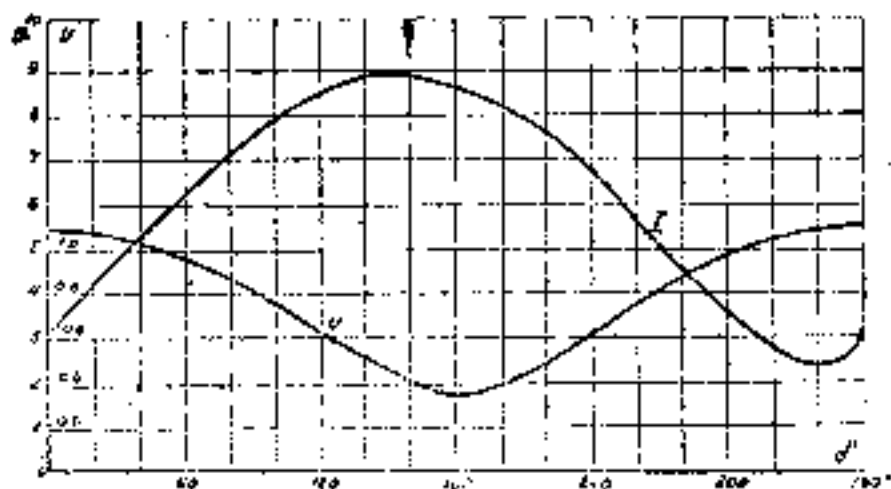


Рис. 3

сти и сопротивления, измеряемые реле при качаниях, не могут быть представлены круговой диаграммой, поэтому графическое определение

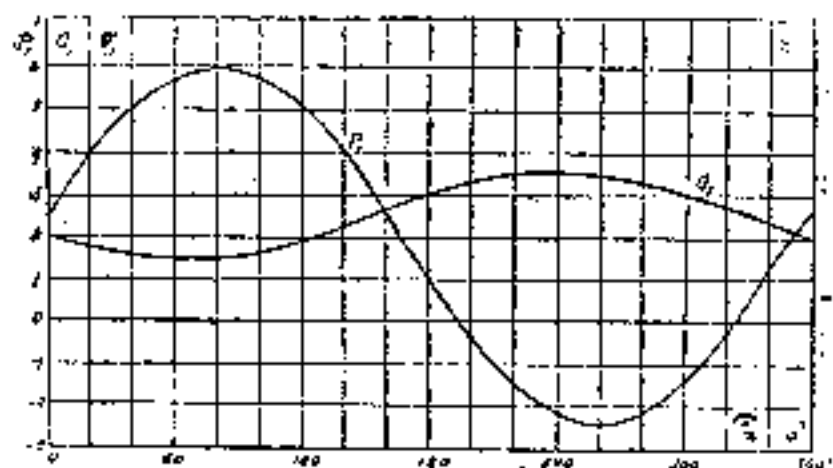


Рис. 4а

их сложно, вследствие чего проще вычисления мощности производить по уравнению

$$\dot{W} = \dot{U}I,$$

сопротивления

$$Z = \frac{U}{I}$$

и сопротивления

$$X = \frac{Q}{I^2}.$$

где U —напряжение, I —ток и Q —реактивная мощность для данного угла δ . На рис. 3 приведены кривые изменения U_1 и I_1 , в зависимости от δ , построенные по круговым диаграммам рис. 2, а на рис. 4а и 4б кривые изменения P_1 , Q_1 , Z_1 и X_1 , измеряемые реле 1 при качаниях в системе.

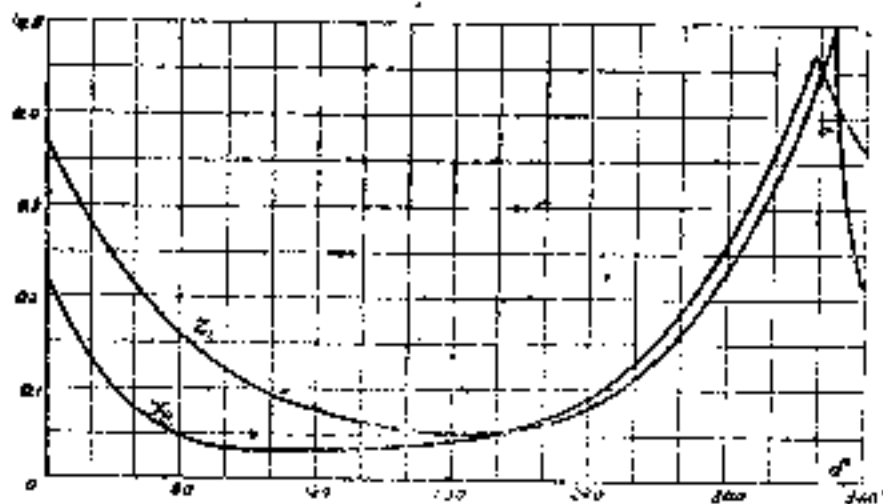


Рис. 4б

Далее, на рис. 5 построены круговые диаграммы для U_1 и I_1 , а на рис. 6а и 6б даны кривые изменения U_1 , I_1 , P_1 , Q_1 , Z_1 и X_1 , измеряемые реле 2 при качаниях.

Для числового примера было принято:

1. Мощность каждой станции (рис. 1) по 3×50 мвт.
2. Нагрузка на шинах первой станции 100 мвт, а второй 200 мвт.

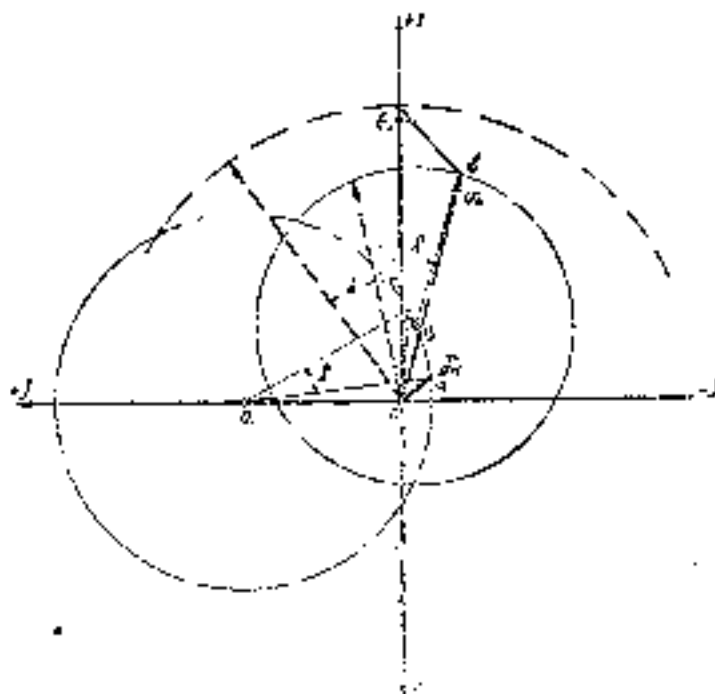


Рис. 5

3. Мощность повысительных трансформаторов на каждой станции 3×60 мва.

4. По линии передачи передается при нормальном режиме 50 мвт.

5. Импеданс линии в относительных величинах $0,03 + j0,07$.

Из сравнения полученных результатов для точек 1 и 2 видно, что пренебрежение нагрузкой может вызвать значительные отклонения расчетных величин от действительных. В частности, ток в данном примере

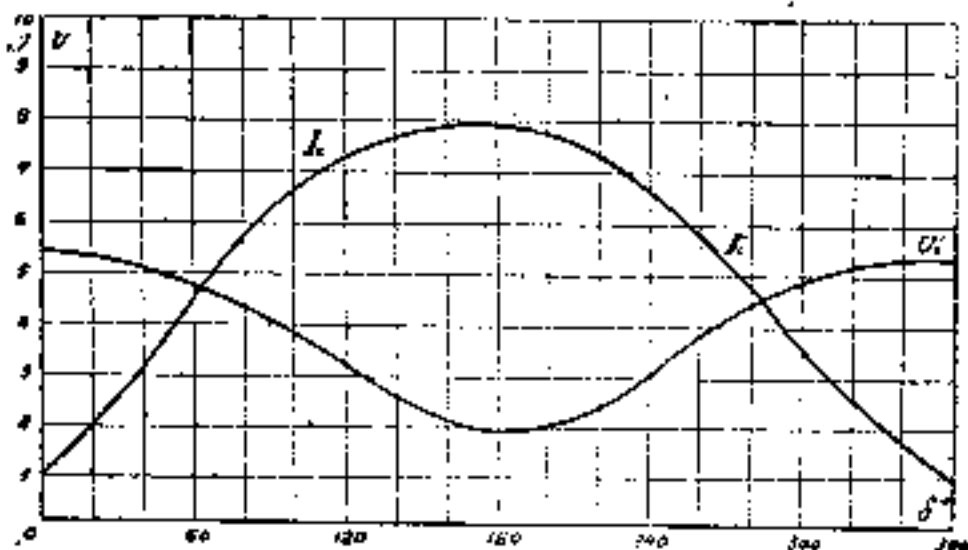


Рис. 6а

будет одинаков в точках 1, 2, 3 и 4, если пренебречь нагрузкой, в действительности этот ток может быть различен не только по величине, но и по направлению в зависимости от величины импеданса линии передачи. Особенно разительной получается разница при сравнении полученных результатов с результатами расчета, приведенными в „Руководящих указаниях

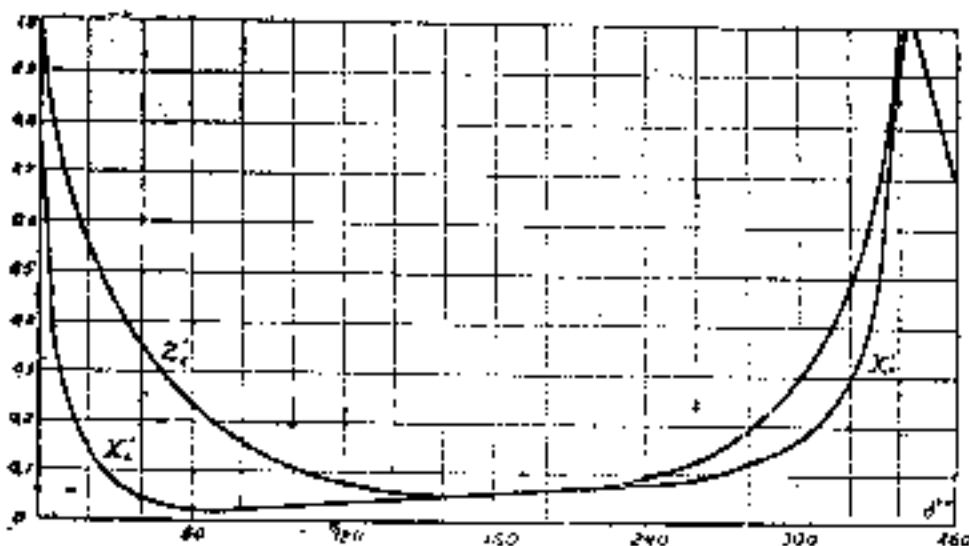


Рис. 6б

по релейной защите сетей» (разд. 0-2). Эти результаты были получены без учета нагрузки.

Приведенные выше рассуждения о расчете поведения электрических величин при качаниях в системе с двумя генераторными станциями могут быть распространены и на случай с числом генераторных станций, равным n . В этом случае выражения для токов будут иметь вид:

$$I_k = I_{k\epsilon}^{(0)} + I_{k1}^{(1)} + I_{k2}^{(2)} + I_{k3}^{(3)} + \dots + I_{k(n-1)}^{(n-1)},$$

где $\dot{I}_{k1}, \dot{I}_{k2}, \dots, \dot{I}_{k(n-1)}$, есть токи, вызываемые в рассматриваемой точке системы отдельными э.д.с., причем вектор центра для круговой диаграммы тока будет равен сумме этих токов, т. е.

$$\dot{I}_k' = \dot{I}_{k1}' + \dot{I}_{k2}' + \dots + \dot{I}_{k(n-1)}'$$

а вектор центра для круговой диаграммы напряжения может быть определен и в этом случае по уравнению (10).

Выше был рассмотрен вопрос поведения электрических величин при качаниях, не сопровождаемых повреждением в системе. Однако, все при-

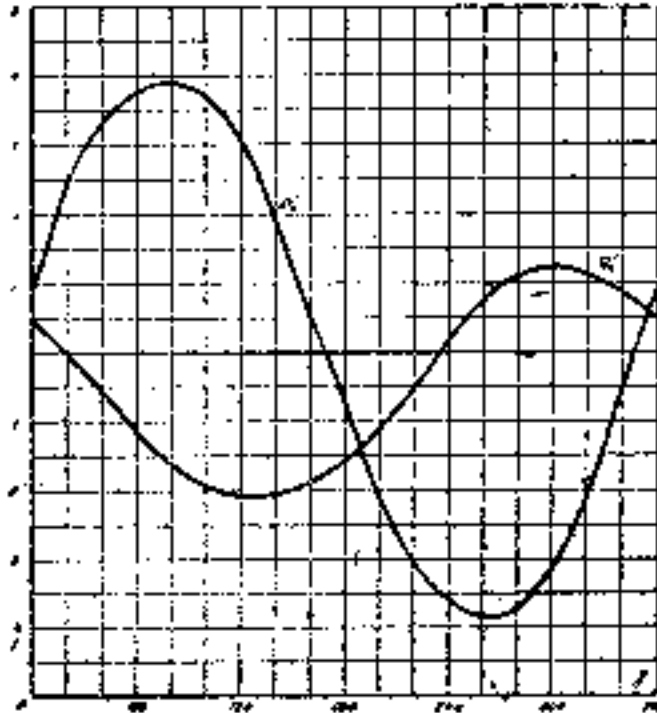


Рис. 7

веденные выше рассуждения справедливы и в том случае, когда качания в системе сопровождаются коротким замыканием. В этом случае импеданс до точки короткого замыкания может быть включен в импеданс нагрузки, если короткое произошло на ответвлении, и включен самостоятельно, если короткое—на связывающей линии. Для построения круговых диаграмм в этом случае необходимо определить распределение токов и напряжений в системе 1) при коротком сопровождающем качания и 2) при $E_1 = 0$ с учетом указанного короткого замыкания.

Полученными данными надлежит пользоваться при построении диаграмм так же, как и при нормальном режиме, сопровождающемся качаниями.

В заключение необходимо отметить, что данный способ расчета, не отличающийся сложностью по сравнению с другими способами расчета, безусловно дает более правильный результат. Кроме того, этот способ дает возможность легко уяснить физическую сущность происходящих явлений при качаниях в системах.

ЗАМЕЧАНИЕ О ПЕЧАТКЕ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
89	Рис. 3	(Рисунок перевернут)	
92	7 снизу	σ	$-i_{02}$
95	19 снизу	Z	Z_1
97			В уравнении (27) x является показателем степени
98	10 снизу	$Z_{\text{шД}}$	$Z_{\text{шУ}}$
101	15 снизу	окружающей	окружностей
178	17 снизу	$s = \frac{\rho}{\rho_0}$	$s = \frac{\rho}{\rho_0}$
193	4 сверху	$I_2^* = \frac{E}{1 + Z^2}$	$I_2^* = \frac{E}{1 + Z^2}$
203	12 сверху	$I = I_0 \left(1 - e^{-\frac{\Gamma_{\text{ш}}}{L_{\text{ш}}}} \right) \dots$	$I = I_0 \left(1 - e^{-\frac{\Gamma_{\text{ш}}}{L_{\text{ш}}}} \right) = \dots$
203	17 снизу	включающихся	включающийся
211	8 снизу	(28)	(26)
221	4 сверху	$\dots \frac{i_{02}^2 - \Gamma_{\text{ш}}}{i_{01} - \Gamma_{\text{ш}}}$	$\dots \frac{i_{02} - \Gamma_{\text{ш}}}{i_{01} - \Gamma_{\text{ш}}}$
318	Подпись к рис. 5	Потери тепла неполноты горения.	Потери тепла от неполноты горения.
318	14 снизу	(рис. 3)	(рис. 4)
323	1 сверху	атуру	пературу
323	1 сверху	$r = 58$	$r = 587$
325	На рис. 6	$q'_{\text{вод}}$ и $q''_{\text{вод}}$	$q'_{\text{вод}}$ и $q''_{\text{вод}}$
326	33 сверху	$23 + 25 = 293 \text{ К}$,	$273 + 25 = 293 \text{ К}$,