



Глава 3

СОСТАВЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ И СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ

3.1. Составление расчетной схемы

Расчету токов КЗ предшествует выбор расчетных условий, в частности расчетной схемы. Последняя зависит от цели расчетов токов КЗ. Если эти цели состоят в выборе и проверке электрических аппаратов и проводников по условиям КЗ, то в расчетную схему должны быть включены все источники энергии, влияющие на ток КЗ: синхронные генераторы и компенсаторы, синхронные и асинхронные электродвигатели. Влияние асинхронных электродвигателей допустимо не учитывать при мощности электродвигателя до 100 кВт, если они отделены от расчетной точки КЗ токоограничивающим реактором или силовым трансформатором. А если асинхронные электродвигатели отделены от расчетной точки КЗ двумя плечами двоярного реактора или двумя и более ступенями трансформации, то их можно не учитывать и при больших мощностях.

При составлении расчетной схемы обычно исходят из следующих условий:

- все источники, включенные в расчетную схему, работают одновременно, причем к моменту возникновения КЗ синхронные двигатели работают с номинальной нагрузкой и номинальным напряжением, а асинхронные — с 50%-й нагрузкой;
- все синхронные двигатели имеют автоматическое регулирование напряжения и устройства для форсировки возбуждения;
- ЭДС всех источников совпадают по фазе, если продолжительность КЗ не превышает 0,5 с;
- КЗ происходит в такой момент времени, при котором ударный ток КЗ оказывается максимальным;
- наиболее удаленную от точки КЗ часть электроэнергетической системы допустимо представлять в виде одного источника энергии, имеющего неизменную по амплитуде ЭДС и сопротив-



ление, равное эквивалентному сопротивлению заменяемой части системы.

Выбор расчетных схем различных электроустановок производят путем анализа возможных схем этих электроустановок при различных режимах их работы, включая ремонтные и послеаварийные режимы, за исключением схем при переключениях.

3.2. Применение системы относительных единиц

Параметры различных элементов электроэнергетических систем, а также параметры режима (напряжение, ток, мощность и т. д.), как и другие физические величины, могут быть выражены как в системе именованных, так и в системе относительных единиц, т. е. в долях от определенных значений этих же величин, принятых за единицу измерения. При этом точность получаемых результатов расчетов не зависит от используемой системы единиц измерения.

Применение системы относительных единиц часто существенно упрощает расчетные выражения, описывающие процессы в различных элементах электроэнергетической системы, облегчает контроль расчетных данных и сопоставление результатов расчетов для установок различной мощности, поскольку для таких установок относительные значения расчетных величин часто имеют одинаковый порядок.

Чтобы получить относительные значения различных физических величин, необходимо предварительно выбрать значения соответствующих величин, принимаемые за базисные, т. е. в качестве единиц измерения. В частности, чтобы выразить параметры различных элементов схемы замещения электрической цепи и параметры режима в системе относительных единиц, необходимо иметь четыре базисные единицы: базисное напряжение U_6 , базисный ток I_6 , базисную мощность (трехфазной системы) S_6 и базисное сопротивление Z_6 . Две из них выбирают произвольно, а две другие определяют из соотношения для мощности трехфазной системы

$$S_6 = \sqrt{3}I_6U_6$$

и формулы, выражающей закон Ома:

$$Z_6 = \frac{U_6}{\sqrt{3}I_6}$$

При выбранных базисных единицах относительные значения ЭДС, напряжения, тока, мощности и сопротивления определяют



путем деления значения соответствующей величины в именованных единицах на базисную единицу той же размерности:

$$E_{(6)} = \frac{E}{U_6}; \quad (3.1)$$

$$U_{(6)} = \frac{U}{U_6}; \quad (3.2)$$

$$I_{(6)} = \frac{I}{I_6}; \quad (3.3)$$

$$S_{(6)} = \frac{S}{S_6}; \quad (3.4)$$

$$Z_{(6)} = \frac{Z}{Z_6}; \quad (3.5)$$

причем выбранные базисные единицы служат единицами измерения как полных величин, так и их составляющих. Иногда относительные значения величин выражают в процентах от соответствующих базисных единиц, для чего эти значения умножают на 100.

Очевидно, что относительные значения фазного и линейного напряжений одинаковы. Также одинаковы относительные значения фазной мощности и мощности трех фаз.

Часто для определения относительного сопротивления вместо (3.5) используют другие соотношения:

$$Z_{(6)} = \frac{Z\sqrt{3}I_6}{U_6}, \quad (3.6)$$

или

$$Z_{(6)} = \frac{ZS_6}{U_6^2}. \quad (3.7)$$

Из формулы (3.6) следует, что сопротивление в относительных единицах численно равно относительному падению напряжения в соответствующем элементе от базисного тока.

Часто параметры элементов электроэнергетических систем, вводимых в расчетную схему, заданы не в именованных единицах, а в процентах или относительных единицах при номинальных условиях. Это означает, что при выражении их в процентах или в относительных единицах в качестве базисных единиц были приняты номинальное напряжение $U_{ном}$ и номинальный ток $I_{ном}$ или номинальная мощность $S_{ном}$. Например, обычно активное и индуктивное сопротивления воздушных и кабельных линий задают в омах на единицу длины (километр), индуктивное сопротив-



ление реакторов — в омах (до недавнего времени — в процентах), полное сопротивление трансформаторов (оно численно равно напряжению короткого замыкания) — в процентах, а индуктивное сопротивление генераторов и синхронных компенсаторов — в относительных единицах при номинальных условиях.

Для расчетов различных режимов электроэнергетических систем и токов КЗ прежде всего необходимо привести ЭДС и сопротивления всех элементов исходной расчетной схемы к одним базисным условиям. Если значения ЭДС и сопротивлений заданы в именованных единицах, то с этой целью используют соответственно формулы (3.1) и (3.6) (или (3.7)), если же заданы относительные значения указанных величин при номинальных условиях, то для их приведения к базисным условиям используют формулы:

$$E_{\dot{\gamma}(б)} = E_{\dot{\gamma}(ном)} \frac{U_{ном}}{U_{б}}, \quad (3.8)$$

$$Z_{\dot{\gamma}(б)} = Z_{\dot{\gamma}(ном)} \frac{I_{б}}{I_{ном}} \frac{U_{ном}}{U_{б}}, \quad (3.9)$$

$$Z_{\dot{\gamma}(б)} = Z_{\dot{\gamma}(ном)} \frac{S_{б}}{S_{ном}} \frac{U_{ном}^2}{U_{б}^2}, \quad (3.10)$$

где $E_{\dot{\gamma}(ном)}$ и $Z_{\dot{\gamma}(ном)}$ — ЭДС и сопротивление в относительных единицах при номинальных условиях; $U_{ном}$, $I_{ном}$, $S_{ном}$ — номинальное напряжение, номинальный ток и номинальная мощность элемента (генератора, трансформатора и т. д.).

Чтобы упростить выражения, используемые при расчетах токов КЗ и других режимов электроэнергетических систем, целесообразно в качестве базисной угловой частоты принимать синхронную. Тогда $\omega_{(б)} = \omega / \omega_{синх}$ и $\omega_{синх(б)} = 1$, поэтому при синхронной частоте в системе имеем

$$X_{\dot{\gamma}(б)} = \omega_{синх(б)} L_{\dot{\gamma}(б)} = L_{\dot{\gamma}(б)}, \quad (3.11)$$

или

$$X_{\dot{\gamma}(б)} = \omega_{синх(б)} M_{\dot{\gamma}(б)} = M_{\dot{\gamma}(б)}; \quad (3.11a)$$

$$\Psi_{\dot{\gamma}(б)} = I_{\dot{\gamma}(б)} L_{\dot{\gamma}(б)} = I_{\dot{\gamma}(б)} X_{\dot{\gamma}(б)}, \quad (3.12)$$

или

$$\Psi_{\dot{\gamma}(б)} = I_{\dot{\gamma}(б)} M_{\dot{\gamma}(б)} = I_{\dot{\gamma}(б)} X_{\dot{\gamma}(б)}; \quad (3.12a)$$



$$\underline{E}_{(t)} = \omega_{\text{синх}(t)} \Psi_{(t)} = \Psi_{(t)}, \quad (3.13)$$

где $\Psi_{(t)}$ — относительное значение потокосцепления при выбранных базисных условиях; $X_{(t)}$ — относительное значение индуктивного сопротивления при выбранных базисных условиях.

Таким образом, если $\omega = \omega_{(t)} = \omega_{\text{синх}}$, то относительные значения индуктивного сопротивления X и соответствующей индуктивности L или взаимной индуктивности M численно равны. Также равны относительные значения потокосцепления Ψ и падения напряжения ΔU или ЭДС E . Это позволяет в различных выражениях одни величины заменять численно равными другими.

При $\omega_0 = \omega_{\text{синх}}$ базисная единица времени $t_0 = 1/\omega_0 = 1/\omega_{\text{синх}}$, поэтому время в относительных единицах при выбранных базисных условиях связано со временем в именованных единицах выражением

$$t_{(t)} = t/t_0 = \omega_{\text{синх}} t. \quad (3.14)$$

3.3. Составление схем замещения электрической цепи

Виды схем замещения

При расчетах различных режимов электроэнергетических систем, в том числе и токов КЗ, предварительно по исходной расчетной схеме электрической цепи составляют схему замещения этой цепи, т.е. схему, которая при определенных условиях отображает свойства реальной цепи. Обычно исходная расчетная схема содержит сети разных номинальных напряжений, соединенные трансформаторами. При этом возможны два различных вида схем замещения:

- с исключением трансформаторных связей путем приведения параметров всех элементов различных ступеней напряжения к одной ступени, принимаемой за основную или базисную ступень;
- с сохранением трансформаторных связей между различными ступенями напряжения.

В случае использования схемы замещения с исключением трансформаторных связей путем приведения параметров всех элементов исходной расчетной схемы к одной, так называемой базисной, ступени напряжения истинными, не приведенными к другому напряжению, оказываются только параметры элементов сети и параметры режима (токи и напряжения) базисной ступени напряжения, а параметры элементов и параметры режима сетей дру-