

## 27-Лекция. Уравнения ЭДС и векторные диаграммы явнополюсного и неявнополюсного синхронного генератора

Напряжение на выводах генератора, работающего с нагрузкой, отличается от напряжения этого генератора в режиме х.х. Это объясняется влиянием ряда причин: реакцией якоря, магнитным потоком рассеяния, падением напряжения в активном сопротивлении обмотки статора.

Как было установлено, при работе нагруженной синхронной машины в ней возникает несколько МДС, которые, взаимодействуя, создают результирующий магнитный поток. Однако при учете факторов, влияющих на напряжение синхронного генератора, условно исходят из предположения независимого действия всех МДС генератора, т. е. предполагается, что каждая из МДС создает собственный магнитный поток.

Но следует отметить, что такое представление не соответствует физической сущности явлений, так как в одной магнитной системе возникает один лишь магнитный поток - результирующий. Но в данном случае предположение независимости магнитных потоков дает возможность лучше понять влияние всех факторов на работу синхронной машины.

Итак выясним, каково же влияние магнитодвижущих сил на работу явнополюсного синхронного генератора.

1. МДС обмотки возбуждения  $F_{в0}$ , создает магнитный поток возбуждения  $\Phi_0$ , который, сцепляясь с обмоткой статора, наводит в ней основную ЭДС генератора  $E_0$ .

2. МДС реакции якоря по продольной оси  $F_{1d}$  создает магнитный поток  $\Phi_{1d}$ , который наводит в обмотке статора ЭДС реакции якоря  $E_{1d}$  [см. (20.22)], значение которой пропорционально индуктивному сопротивлению реакции якоря по продольной оси  $x_{ad}$  [см. (20.24)]. Это сопротивление характеризует уровень влияния реакции якоря по продольной оси на работу синхронного генератора. Так, при насыщенной магнитной системе машины магнитный поток реакции якоря  $\Phi_{1d}$  меньше, чем при ненасыщенной магнитной системе. Объясняется это тем, что поток  $\Phi_{1d}$  почти полностью проходит по стальным участкам магнитопровода, преодолевая небольшой воздушный зазор (см. рис. 20.3, а), а поэтому при магнитном насыщении сопротивление этому потоку заметно возрастает. При этом индуктивное сопротивление  $x_{1d}$  уменьшается.

3. МДС реакции якоря по поперечной оси  $F_{1q}$  создает магнитный поток  $\Phi_{1q}$ , который наводит в обмотке статора ЭДС  $E_{1q}$  [см. (20.23)], значение которой пропорционально индуктивному сопротивлению реакции якоря по поперечной оси  $x_{aq}$  [см. (20.25)]. Сопротивление  $x_{aq}$  не зависит от магнитного насыщения машины, так как при явнополюсном роторе поток  $\Phi_{1q}$  проходит в основном по воздуху межполюсного пространства (см. рис. 20.3, б).

4. Магнитный поток рассеяния обмотки статора  $\Phi_{\sigma 1}$  (см. рис. 11.4) наводит в обмотке статора ЭДС рассеяния  $E_{\sigma 1}$ , значение которой пропорционально индуктивному сопротивлению рассеяния фазы обмотки статора  $x_1$  :

$$E_{\sigma 1}^{\cdot} = -j I_1^{\cdot} x_l. \quad (20.26)$$

5. Ток в обмотке статора  $I_1$  создает активное падение напряжения в активном сопротивлении фазы обмотки статора  $r_1$  :

$$U_{a1}^{\cdot} = I_1^{\cdot} r_1 \quad (20.27)$$

Геометрическая сумма всех перечисленных ЭДС, наведенных в обмотке статора,

определяет напряжение на выходе синхронного генератора:

$$U_1^{\cdot} = \sum E^{\cdot} - I_1^{\cdot} r_1 = E_0^{\cdot} + E_{ld}^{\cdot} + E_{lq}^{\cdot} + E_{\sigma 1}^{\cdot} - I_1^{\cdot} r_1. \quad (20.28)$$

Здесь  $\sum E^{\cdot}$  — геометрическая сумма всех ЭДС, наведенных в обмотке статора результирующим магнитным полем машины, образованным совместным действием всех МДС ( $F_{B,0}$ ,  $F_{ld}$ ,  $F_{lq}$ ) и потоком рассеяния статора  $\Phi_{\sigma 1}$ .

Активное сопротивление фазы обмотки статора  $r_1$  у синхронных машин средней и большой мощности невелико, и поэтому даже при номинальной нагрузке падение напряжения  $I_1 r_1$  составляет настолько малую величину, что с некоторым допущением можно принять  $I_1 r_1 = 0$ . Тогда уравнение (20.28) можно записать в виде

$$U_1^{\cdot} \approx \sum E^{\cdot} = E_0^{\cdot} + E_{ld}^{\cdot} + E_{lq}^{\cdot} + E_{\sigma 1}^{\cdot} \quad (20.29)$$

Выражения (20.28) и (20.29) представляют собой уравнения напряжений явнополюсного синхронного генератора.

В неявнополюсных синхронных генераторах реакция якоря характеризуется полной МДС статора  $F_1$  без разделения ее по осям, так как в этих машинах магнитные сопротивления по продольной и поперечной осям одинаковы. Поэтому ЭДС статора в неявнополюсных машинах  $E_1$ , равная индуктивному падению напряжения в обмотке статора, пропорциональна индуктивному сопротивлению реакции якоря  $x_a$  [см. (20.19)], т. е.

$$E_1^{\cdot} = -j I_1^{\cdot} x_a. \quad (20.30)$$

Поток реакции якоря  $\Phi_1$  и поток рассеяния статора  $\Phi_{\sigma 1}$  создаются одним током  $I_1$  [сравните (20.26) и (20.30)], поэтому индуктивные сопротивления  $x_a$  и  $x_l$  можно рассматривать как суммарное индуктивное сопротивление

$$x_c = x_a + x_l,$$

представляющее собой синхронное сопротивление неявнополюсной машины. С учетом этого ЭДС реакции якоря  $E_1$  и ЭДС рассеяния  $E_{\sigma 1}$  следует рассматривать также как сумму

$$E_c^{\cdot} = E_1^{\cdot} + E_{\sigma 1}^{\cdot} = -j I_1^{\cdot} x_a + (-j I_1^{\cdot} x_l) = -j I_1^{\cdot} x_c \quad (20.31)$$

представляющую собой синхронную ЭДС неявнополюсной машины. С учетом изложенного уравнение напряжений явнополюсного синхронного генератора имеет вид

$$U_1^{\cdot} \approx \sum E^{\cdot} - I_1^{\cdot} r_1 = E_0^{\cdot} + E_c^{\cdot} - I_1^{\cdot} r_1 \quad (20.32)$$

или

$$U_1^{\cdot} \approx \sum E^{\cdot} = E_0^{\cdot} + E_c^{\cdot} \quad (20.33)$$

**Векторные диаграммы синхронного генератора.** Воспользовавшись уравнением ЭДС (20.28), построим векторную диаграмму явнополюсного синхронного генератора, работающего на активно-индуктивную нагрузку (ток  $I_1^*$  отстает по фазе от ЭДС  $E_0^*$ ). Векторную диаграмму строят на основании следующих данных: ЭДС генератора в режиме х.х.  $E_0^*$ ; тока нагрузки  $I_1^*$ , и его угла сдвига  $\psi_1$ , относительно ЭДС  $E_0^*$ ; продольного  $x_{ad}$  и поперечного  $x_{aq}$  индуктивных сопротивлений реакции якоря; активного сопротивления фазной обмотки статора  $r_1$ .

При симметричной нагрузке генератора диаграмму строят лишь для одной фазы.

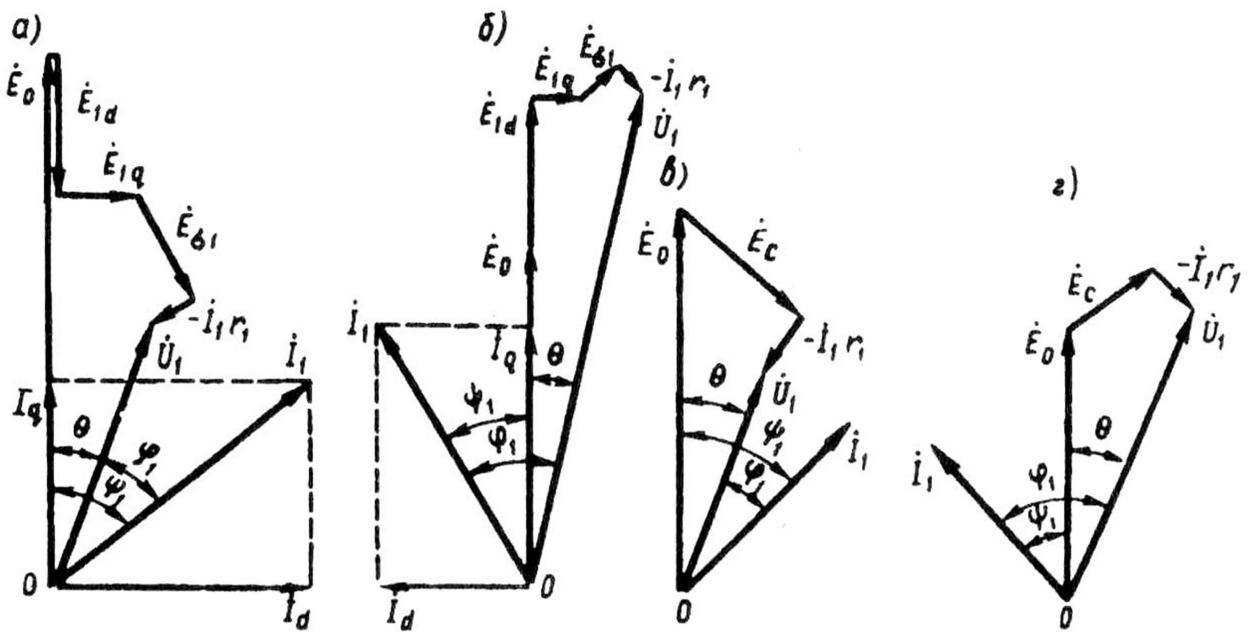


Рис. 20.8. Векторные диаграммы явнополюсного (а и б) и неявнополюсного (в и г) синхронных генераторов: а и в — при активно-индуктивной нагрузке; б и г — при активно-емкостной нагрузке.

Рассмотрим порядок построения векторной диаграммы (рис 20.8, а). В произвольном направлении откладываем вектор ЭДС  $E_0^*$  и под углом  $\psi_1$  к нему — вектор тока  $I_1^*$ . Последний разложим на составляющие: реактивную  $I_d^* = I_1^* \sin \psi_1$ , и активную  $I_q^* = I_1^* \cos \psi_1$ . Далее, из конца вектора  $E_0^*$  откладываем векторы ЭДС  $E_{1d}^* = -j I_d^* x_{ad}$ ,

$$E_{1q}^* = -j I_q^* x_{aq}, \quad E_{\sigma 1}^* = -j I_1^* x_1, \quad U_{a1}^* = -I_1^* r_1.$$

Соединив конец вектора  $U_{a1}^* = -I_1^* r_1$  с точкой О, получим вектор напряжения  $U_1^*$ , значение которого равно геометрической сумме векторов ЭДС [см. (20.28)].

При построении векторной диаграммы генератора, работающего на активно-емкостную нагрузку (ток  $I_1^*$  опережает по фазе ЭДС  $E_0^*$ ), вектор тока  $I_1^*$ , откладывают влево от вектора ЭДС (рис. 20.8, б), а направление вектора  $E_{1d}^*$  устанавливают согласно с направлением вектора ЭДС  $E_0^*$ , так как при емкостном характере нагрузки реакция якоря имеет подмагничивающий характер. В остальном порядок построения диаграммы остается прежним.

Векторную диаграмму синхронного неявнополюсного генератора строят на основании уравнения (20.32), при этом вектор  $E_0^*$  откладывают под углом  $\psi_1$  к вектору тока (рис. 20.8, в)

Следует отметить, что построенные векторные диаграммы не учитывают насыщения магнитной цепи, поэтому отражают лишь качественную сторону явлений. Но тем не менее эти диаграммы дают возможность сделать следующие выводы: основным фактором, влияющим на изменение напряжения нагруженного генератора, является продольная составляющая магнитного потока якоря, создающая ЭДС  $E_{1d}^*$ ; при работе генератора на активно-индуктивную нагрузку, т. е. с током  $I_1^*$ , отстающим по фазе от ЭДС  $E_0^*$ , напряжение на выводах обмотки статора, с увеличением нагрузки уменьшается, что объясняется размагничивающим влиянием реакции якоря. При работе генератора на активно-емкостную нагрузку (с током  $I_1^*$ , опережающим по фазе ЭДС  $E_0^*$ ) напряжение  $U_1^*$  с увеличением нагрузки повышается, что объясняется подмагничивающим влиянием реакции якоря (рис. 20.8, г).