

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Электротехнический факультет

Кафедра электрических станций

А. П. ПУШКОВ, И. В. АРАСЛАНОВА

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Учебно-методическое пособие

Киров

2014 г.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Вятского государственного университета
П 91

Рецензент: кандидат технических наук,
доцент кафедры электроэнергетических систем А.П.Вихарев

Пушков А.П., Арасланова И.В. Параллельная работа синхронных генераторов: Учебно-методическое пособие - Киров: Изд-во ВятГУ, 2014. – 23 с.

В учебно-методическом пособии, предназначенном для студентов заочной ускоренной формы образования, приведены достаточные для самостоятельной подготовки теоретические сведения, описание лабораторной электрической станции и, необходимые для выполнения курса лабораторных работ, методические указания.

1. Цель работы

1.1 Ознакомление с лабораторной установкой, изучение назначения установленных приборов, органов управления и регулирования.

1.2 Изучение порядка включения генераторов на параллельную работу, включение в сеть и набор нагрузки.

1.3 Исследование изменения реактивной мощности генератора от тока возбуждения.

1.4 Исследование режимов генератора, работающего параллельно с сетью при изменении его активной нагрузки.

1.5. Экспериментальное определение зависимостей активной и реактивной мощности генератора от угла δ .

2. Краткие теоретические сведения

2.1 Включение генератора на параллельную работу

Синхронные генераторы могут включаться на параллельную работу с сетью или другим генератором способами точной синхронизации или самосинхронизации.

Наиболее предпочтительным с точки зрения воздействия на генератор в момент включения является способ точной синхронизации, принятый в настоящее время в Правилах технической эксплуатации за основной.

Включение методом точной синхронизации

Условиями точной синхронизации являются:

1. $U_1 = U_2$ – равенство действующих значений напряжений.
2. $\omega_1 = \omega_2$ или $f_1 = f_2$ – равенство частот (угловых или линейных).
3. $\varphi_1 = \varphi_2$ или $\delta = \varphi_1 - \varphi_2 = 0$ – равенство фазовых углов.

При точном выполнении этих условий ток статора в момент включения равен нулю (идеальные условия). Но на практике эти условия выполняются только приближенно из-за трудности подгонки напряжений, частот и фазовых углов. При невыполнении **любого** из этих условий на выводах разомкнутого выключателя Q будет действовать разность напряжений

$$\Delta \dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2.$$

При включении этого выключателя под действием напряжения $\Delta \dot{U}$ потечет уравнивающий ток, периодическая составляющая этого тока равна

$$i''_{ур} = \frac{\Delta \dot{U}}{x_d'' + x_{св}} \cdot \dots)$$

При нарушении условий синхронизации возможны три случая:

1. $|U_1| \neq |U_2|$, остальные условия соблюдаются.
2. $\delta = \varphi_1 - \varphi_2 \neq 0$, напряжения и частоты равны.
3. $f_1 \neq f_2$, напряжения и фазовые углы в момент включения равны.

Для контроля условий синхронизации при включении генератора на параллельную работу используется колонка синхронизации, в состав которой входят согласно условиям синхронизации следующие приборы: 2 вольтметра, 2 частотомера и синхроскоп.

Если $|U_1| \neq |U_2|$, то возникающее $|\Delta\dot{U}|$ обусловит в момент включения появление уравнивающего тока, который будет почти индуктивным, т.к. знаменатель в выражении $i_{ур}''$ имеет пренебрежимо малое активное сопротивление.

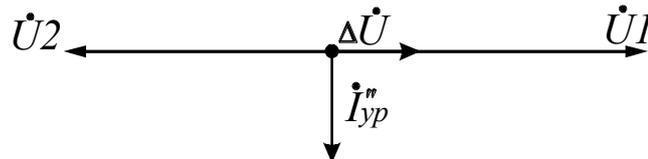


Рис.1. Векторная диаграмма при неравенстве напряжений.

Этот ток не создает значительных толчков активной мощности, а, следовательно, и механических напряжений в деталях турбины и генератора. Поэтому на практике допускается разность напряжений в нормальном режиме до 5...10%, а в аварийных ситуациях – до 20%

При несовпадении фазовых углов $\delta \neq 0$, т.е. угол между U_1 и $-U_2$ не равен 0, на выводах выключателя (его называют синхронизирующим) также будет действовать $\Delta\dot{U}$ и при замыкании его контактов возникнет уравнивающий ток $i_{ур}''$.

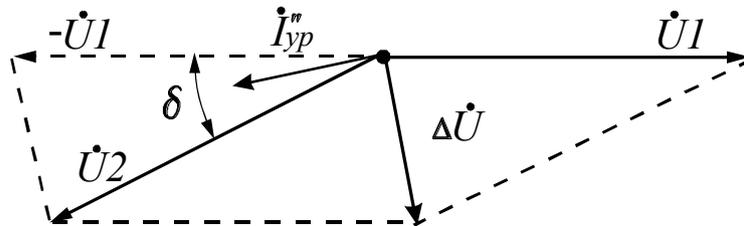


Рис.2. Векторная диаграмма при несовпадении фазовых углов.

Этот ток также будет реактивным по отношению к $\Delta\dot{U}$, но по отношению к \dot{U}_2 будет иметь большую активную составляющую. При включении генератора на параллельную работу этот ток вызовет механические толчки (если угол больше 0 – на замедление, если меньше – на ускорение) в валах турбины и генератора. Для снижения вероятности повреждений, вызванных этими толчками, допустимый угол δ не должен превышать 10..20 эл. град. (в некоторых источниках $\delta = 15$ эл. град.).

При несовпадении частот после замыкания контактов выключателя Q и включения генератора в сеть на вал турбоагрегата действуют два момента:

- синхронизирующий момент, обусловленный током возбуждения (электромагнитный), стремящийся удержать генератор в синхронной работе;
- момент, обусловленный инерцией агрегата, стремящийся сохранить прежнюю частоту.

В дальнейшем процесс пойдет в зависимости от того, какой момент преобладает.

При неравенстве частот всегда вероятны два последствия:

1. Опасность включения в неблагоприятный момент и, как следствие, возникнет угловая ошибка, (угол δ не будет равным 0) т.е. появится активная составляющая уравнивающего тока.

2. Опасность того, что генератор может не втянуться в синхронизм.

Это обстоятельство ограничивает допустимую разность частот величиной 0,1% или 0,05 Гц (3 оборота в минуту – такой должна быть частота вращения стрелки синхроскопа).

При включении на параллельную работу наибольший уравнивающий ток возникает при угле δ равном 180° , поскольку в этом случае $\Delta u = 2U_m$. Если предположить, что генератор включается на параллельную работу с мощной системой ($x_{св} \approx 0$) тогда

$$i''_{ур} = \frac{\Delta u}{x''_d} = \frac{2U_m \sin \frac{\delta}{2}}{x''_d}, \text{ а при } \delta = 180^\circ \quad i''_{ур} = \frac{2U}{x''_d}.$$

Напомним, что ток трехфазного к.з. на выводах генератора равен:

$$i_k^{(3)} = \frac{U}{x''_d}.$$

Т.е. при включении генератора на параллельную работу в неблагоприятный момент времени, возникающий уравнивающий ток может превысить ток трехфазного к.з. на выводах генератора в два раза.

Включение методом самосинхронизации

Точная синхронизация характерна тем, что генератор находится в возбужденном состоянии. Преимуществом способа точной синхронизации является то, что включение генератора на параллельную работу происходит при очень небольших уравнивающих токах. Поэтому это основной способ включения. Но у этого метода есть и недостатки.

Способ требует тщательной подгонки и регулировки сравниваемых величин и, следовательно, требует определенных затрат времени и достаточной квалификации оператора.

Недостатки способа точной синхронизации, возникающие из-за необходимости тщательной подгонки параметров, не позволяют использовать его в аварийных условиях. Поэтому в этих условиях как вынужденное решение используют способ самосинхронизации. В отличие от способа точной синхронизации способ самосинхронизации обладает тем недостатком, что при

включении возникающий уравнивающий ток оказывает воздействие как на генератор, так и на сеть.

В нормальных условиях ручная синхронизация занимает от 2-3 минут до 10, но в аварийных условиях, когда изменяется и напряжение и частота, этот процесс занимает до 20 мин. Автоматические синхронизаторы в таких условиях не работают. С другой стороны в аварийных условиях требуется введение генераторов для ликвидации аварии. Поэтому использование этого способа в аварийных условиях затягивает аварийную ситуацию. Кроме того, в этих случаях наиболее вероятны ошибочные включения со всеми вытекающими последствиями.

Указанных недостатков не имеет способ самосинхронизации, который заключается в следующем: невозбужденный генератор (с погашенным полем) разворачивается до подсинхронной скорости и включается в сеть (скольжение допускается 2-3%). Сразу после включения генератора подают возбуждение, и генератор втягивается в синхронизм.

Этот способ имеет такие преимущества:

1. Простота, исключая ошибочные включения.
2. Быстрота включения генератора на параллельную работу.
3. Отсутствие возможности повреждения обмоток вследствие неправильных включений.
4. Возможность включения генераторов на параллельную работу в аварийных условиях при колебаниях частоты и напряжения.

К недостаткам способа самосинхронизации относятся:

1. Неизбежный толчок тока, получающийся в момент включения невозбужденного генератора.
2. Кратковременное понижение напряжения в момент включения.

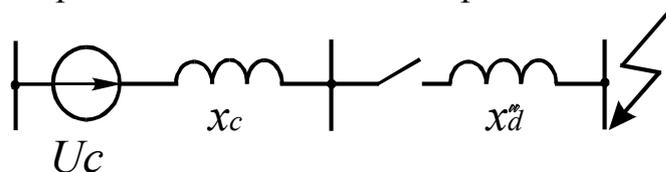


Рис.3 Схема замещения генератора, включаемого в сеть без возбуждения

Включение невозбужденного синхронного генератора является по отношению к сети трехфазным к.з. за сверхпереходным индуктивным сопротивлением включаемого генератора, как показано на рис.3.

$$\text{Для этого случая } I_{вкл} = \frac{U_c}{x_c + x''}.$$

Бросок тока статора при включении в несколько раз превышает номинальный ток генератора, но не превышает ударного тока к.з. на выводах генератора, а с точки зрения воздействия на вал агрегата несинхронное включение возбужденного генератора является более опасным, чем включение невозбужденного.

После включения на параллельную работу любым способом генератор не может вращаться быстрее или медленнее. Частота его вращения принудительно поддерживается постоянной и равной частоте сети за счет синхронизирующей мощности генератора.

2.2 Работа генератора параллельно с сетью

Работу генератора при параллельной работе с сетью удобно анализировать при помощи векторной диаграммы.

Краткие сведения об угловых характеристиках синхронных генераторов

Известно из теории синхронных машин, что активная мощность, отдаваемая неявнополюсным синхронным генератором при работе на систему бесконечной мощности, равна

$$P = \frac{E_q \cdot U}{x_d} \sin \delta \quad (1)$$

Реактивная мощность при тех же условиях равна

$$Q = \frac{E_q \cdot U}{x_d} \cos \delta - \frac{U^2}{x_d}. \quad (2)$$

На рис. 4 изображена характеристика $P = f(\delta)$ для ненасыщенной машины, приведена зависимость $Q = f(\delta)$ и кривые, соответствующие составляющим выражения (2).

Как видно из выражений (1) и (2), активная и реактивная мощности при постоянстве тока возбуждения ($E_q = const$) и напряжения ($U = const$) пропорциональны углу δ .

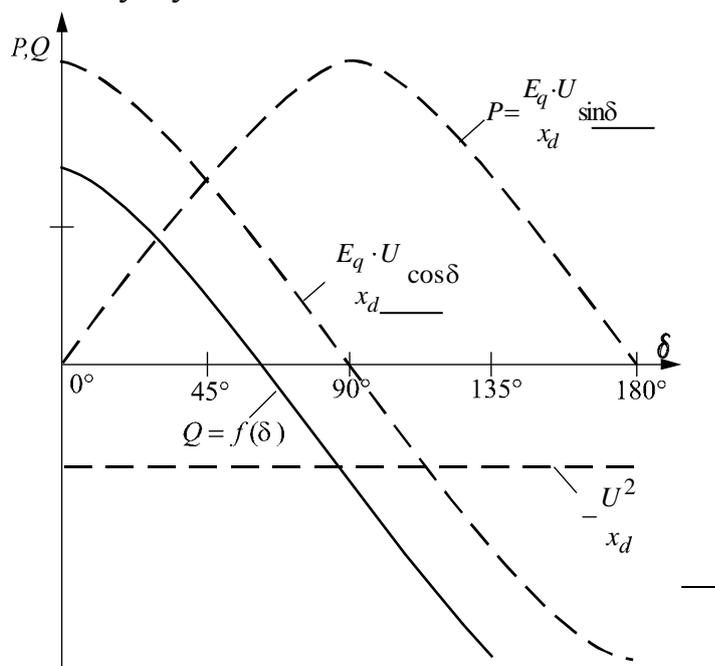


Рис. 4 Угловые характеристики неявнополусного синхронного генератора
 На рис. 5 приведена пространственная векторная диаграмма неявнополусного синхронного генератора. Диаграммами такого вида пользуются при исследовании режимов синхронных машин в энергетических системах. Угол δ ,

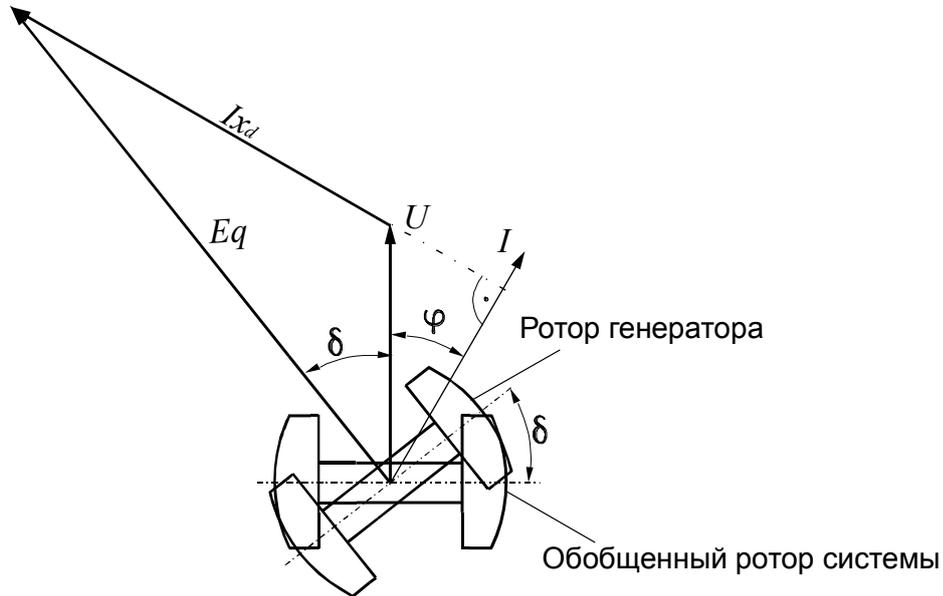


Рис. 5 – Векторная диаграмма синхронного генератора

угол нагрузки, определяемый как угол между напряжением системы и э.д.с. генератора E_q , отражает пространственное положение ротора генератора относительно некоторого обобщённого ротора системы и является определённой пространственной и механической координатой ротора. Выражения мощности (вращающего момента), содержащие угол δ , наиболее удобны при исследовании электромеханических переходных процессов.

Таким образом, угол δ является весьма важным параметром, определяющим не только электрические, но и механические характеристики синхронного генератора.

Исследование режима генератора при изменении его активной нагрузки

Известно, что нагрузка генератора электрической станции, работающей в системе (параллельно с ней), изменяется в соответствии с **заданным графиком** изменения нагрузки станции. При этом **реактивную мощность** регулируют путем **изменения тока возбуждения** генератора либо вручную, либо автоматически, а активную – **изменением количества энергоносителя** (воды, пара), **пропускаемого через турбину**, воздействуя на систему регулирования турбины.

Основные характеристики могут быть получены с помощью векторной диаграммы.

Для упрощения в дальнейшем будем использовать только векторную диаграмму неявнополусных генераторов – турбогенераторов.

Оказывается, что с помощью векторной диаграммы можно проанализировать практически любой режим и получить любые характеристики синхронного генератора (при его параллельной работе). В частности, если принять, что $U = const$ и, если учесть, что в относительных единицах ток возбуждения равен э.д.с., т.е. $E_q \equiv I_e$, то можно доказать, что:

1. $P \equiv F$ (площади) ΔOA_1C .
2. $P \equiv A_1B_1$.
3. $Q \equiv B_1C$.
4. $S \equiv A_1C$.

Докажем это.

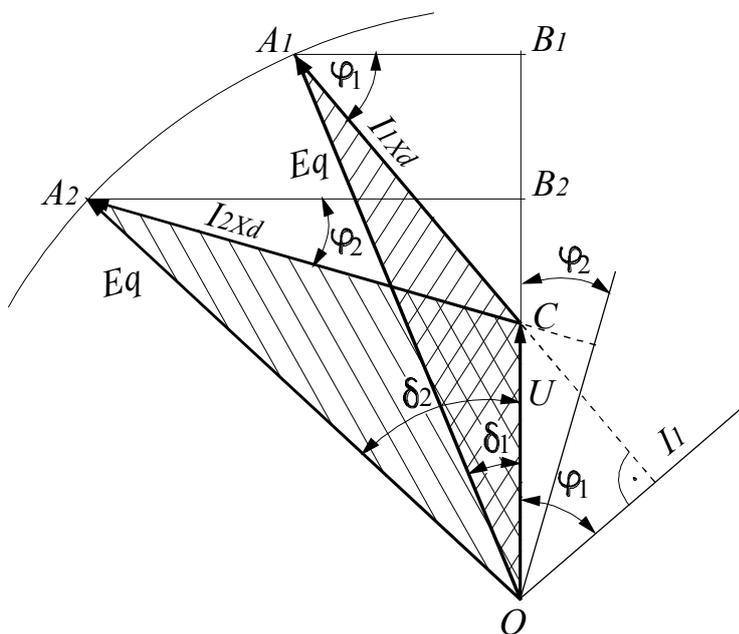


Рис.6 Работа генератора при разных активных нагрузках.

Известно, что площадь треугольника равна половине произведения основания на высоту.

$$1. F_{\Delta OA_1C} = \frac{1}{2} OC \cdot A_1B_1 = \frac{1}{2} U \cdot E_q \cdot \sin \delta \cdot \left(\frac{x_d}{x_d} \right) = \frac{x_d}{2} \cdot P.$$

При постоянных $\frac{x_d}{2}$ площадь треугольника OA₁C пропорциональна активной мощности генератора.

2. Более простое доказательство следует из треугольника A₁B₁C:

$$A_1B_1 = I_1 \cdot x_d \cdot \cos \varphi_1 \cdot \left(\frac{U}{U} \right) = I_1 \cdot U \cdot \cos \varphi_1 \cdot \left(\frac{x_d}{U} \right) = \frac{P \cdot x_d}{U}.$$

При постоянных $\frac{x_d}{U}$ высота треугольника A_1B_1C пропорциональна активной мощности генератора.

3. Из этого же треугольника:

$$B_1C = I_1 \cdot x_d \cdot \sin \varphi_1 \cdot \left(\frac{U}{U}\right) = I_1 \cdot U \cdot \sin \varphi_1 \cdot \left(\frac{x_d}{U}\right) = \frac{Q \cdot x_d}{U}.$$

При постоянных $\frac{x_d}{U}$ сторона B_1C треугольника A_1B_1C пропорциональна реактивной мощности генератора.

Кроме того, можно сделать и следующий очевидный вывод:

При постоянных $\frac{x_d}{U}$ сторона A_1C треугольника A_1B_1C пропорциональна полной мощности генератора.

Работа генератора при разных активных нагрузках и постоянных значениях тока возбуждения и напряжения.

$$I_g = \text{const}, U = \text{const}, P = \text{var}, E_q \equiv I_g$$

Увеличение активной мощности генератора производят путем увеличения пропуска энергоносителя (пара, воды) через турбину, При этом увеличивается вращающий момент на валу агрегата и ротор поворачивается на некоторую величину угла $\delta - \Delta\delta$. Это увеличение угла происходит до уравнивания момента турбины моментом генератора. То же происходит и при уменьшении.

Поскольку увеличение мощности происходит при $I_g = \text{const}$, следовательно, и $E_q = \text{const}$, то при изменении активной мощности конец вектор E_q скользит по дуге окружности. Угол δ при этом увеличивается от значения δ_1 до δ_2 , при этом $A_2B_2 > A_1B_1$ и, следовательно $P_2 > P_1$. При этом за счет увеличения размагничивающей реакции якоря (при активно-индуктивной нагрузке) реактивная мощность уменьшается – $B_2C < B_1C$. Таким образом, если активная мощность зависит только от пропуска энергоносителя ($P = f(\mathcal{E})$), то реактивная – от тока возбуждения, от пропуска энергоносителя и, как следует из анализа векторной диаграммы, - от напряжения сети ($Q = f(I_g, \mathcal{E}, U_c)$).

Изменяя угол δ можно получить т.н. угловые характеристики генератора, такие как $(P, Q, \cos \varphi, I) = \varphi, \phi \dots (\delta)$.

На рис. 7 приведены угловые характеристики генератора, т.е. зависимости $P, Q, \cos \varphi, I$ от угла δ . Кривые показывают, что угол δ возрастает, оставаясь меньше его максимального значения $\delta_{\text{макс}}$, то активная

мощность и ток статора возрастают, а реактивная мощность уменьшается, переходя через нулевое значение при $\cos\varphi=1$. Затем реактивная мощность вновь возрастает (по модулю), но с обратным знаком, т.е. происходит потребление из сети реактивной мощности. Коэффициент мощности $\cos\varphi$ сначала возрастает, а потом уменьшается.

При небольших углах δ генератор работает устойчиво, т.к. велика синхронизирующая (тормозная) мощность. При углах близких к δ_{\max} небольшое уменьшение, например напряжения или э.д.с. генератора, приводит к появлению избыточного момента, направленного на еще большее увеличение угла δ и генератор выпадает из синхронизма. Наибольший угол δ_{\max} соответствует максимальной мощности P_{\max} , называемой пределом статической устойчивости. Для турбогенераторов $\delta_{\max}=90^\circ$, а для явнополюсных генераторов он меньше 90° за счет реактивного электромагнитного момента, обусловленного неравенством x_d и x_q .

Как видно из выражения для реактивной мощности $Q = \frac{E_q \cdot U}{x_d} \cos\delta - \frac{U^2}{x_d}$,

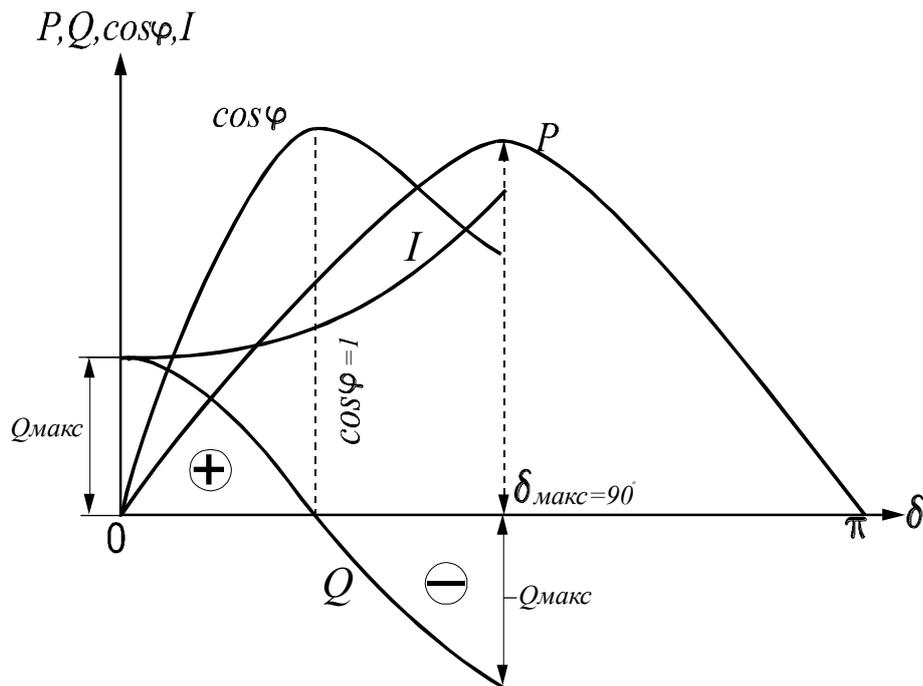


Рис.7. Кривые зависимостей $P, Q, \cos\varphi, I$ от угла δ .

она равна нулю, если $\frac{E_q \cdot U}{x_d} \cos\delta = \frac{U^2}{x_d}$ при $\cos\delta = \frac{U}{E_q}$. Чем меньше ток возбуждения, тем меньше E_q , тем при меньших углах δ $Q=0$.

При $\cos \delta > \frac{U}{E_q}$ первый член выражения для реактивной мощности

больше и генератор выдает в сеть реактивную мощность. Максимум выдаваемой мощности находится при угле δ равном нулю и равен

$Q = \frac{E_q \cdot U}{x_d} - \frac{U^2}{x_d}$. При $\cos \delta < \frac{U}{E_q}$ второй, отрицательный, член выражения

больше и генератор потребляет реактивную мощность из сети. Максимум потребляемой мощности находится при углах близких к δ_{\max} и равен

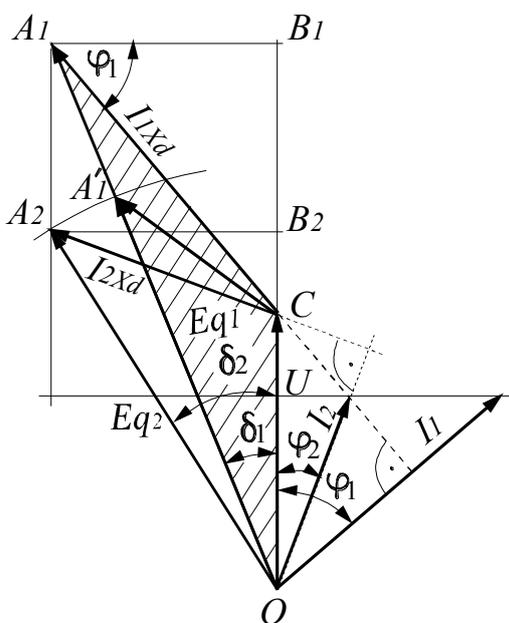
$$Q_{\max} = -\frac{U^2}{x_d}.$$

Работа генератора при разных токах возбуждения и постоянных значениях активной нагрузки

$$P = \text{const}, U = \text{const}, I_e = \text{var}, E_q \equiv I_e$$

При уменьшении тока возбуждения согласно выражению для электромагнитного момента $P = \frac{E_q \cdot U}{x_d} \sin \delta$ уменьшается активная мощность,

уменьшается и тормозной момент. При прочих неизменных величинах должен измениться угол δ . Мгновенно он измениться не может, поэтому согласно векторной диаграмме треугольник OA_1C превратится в треугольник меньшей



площади OA'_1C . Количество же энергоносителя, пропускаемого через турбину, осталось прежним. Поэтому на валу возникает избыточный момент, под действием которого ротор, ускоряясь, поворачивается и угол δ увеличивается. При этом увеличивается и активная мощность и, соответственно, момент до восстановления равенства моментов турбины и генератора. Конец вектора OA_2 скользит по дуге окружности радиусом E_{q2} из точки A'_1 в точку A_2 , в которой $A_1B_1 = A_2B_2$. При увеличении тока возбуждения угол δ , наоборот, уменьшается.

При поставленных условиях конец вектора E_q будет скользить по прямой параллельной вектору напряжения (т.к. $P \equiv A_1B_1$) и проходящей через точку A_1 , а конец вектора тока I_2 будет

скользить по прямой перпендикулярной вектору напряжения, т.к. активная составляющая не изменяется.

С помощью этой векторной диаграммы можно получить характеристики $(Q, I, \cos \varphi, \delta) = \varphi, \phi \dots (I_e)$

Из выражения $Q = \frac{E_q \cdot U}{x_d} \cos \delta - \frac{U^2}{x_d}$ и из векторной диаграммы видно, что

$Q = 0$ при $\cos \varphi = 1$ имеет место, если $I_e = E_q = \frac{U}{\cos \delta}$ (ток возбуждения, равный

э.д.с. E_q , равен $\frac{U}{\cos \delta}$).

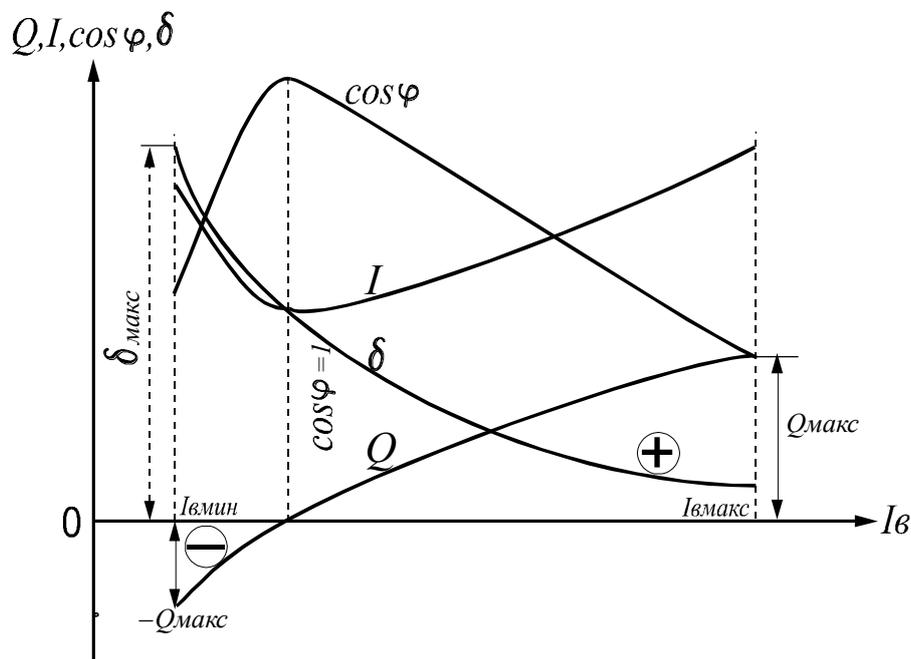


Рис.8. Кривые зависимостей $Q, I, \cos \varphi, \delta$ от тока возбуждения.

Чем с большей активной мощностью работает генератор, тем больше угол δ и больше ток возбуждения, при котором $Q = 0$. При $I_e = E_q > \frac{U}{\cos \delta}$

генератор выдает мощность в сеть, при $I_e = E_q < \frac{U}{\cos \delta}$ – потребляет.

Нормальный режим характерен выдачей реактивной мощности в сеть, т.е. $Q > 0$ и $\cos \varphi < 1$, и небольшими значениями угла δ . Чем больше ток возбуждения тем больше реактивная мощность и ток статора и меньше $\cos \varphi$. Максимальный длительный ток возбуждения не должен превышать номинальный по условиям допустимого нагрева ротора.

При $I_e = E_q < \frac{U}{\cos \delta}$ возникает режим недовозбуждения, генератор потребляет реактивную мощность, необходимую для намагничивания, из сети причем, чем меньше ток возбуждения, тем больше потребление. Минимальный ток возбуждения, при котором генератор работает устойчиво, имеет место при углах δ близких к предельному значению, т.е. 90° и равен

$$I_{e.\text{мин}} = \frac{P_M \cdot x_d}{U} \quad \left(P_M = \frac{E_q \cdot U}{x_d}, \text{откуда} \quad E_q = \frac{P_M \cdot x_d}{U} \right). \quad \text{Предельный}$$

минимальный ток имеет место при отсутствии активной нагрузки, при этом наибольшая потребляемая мощность равна $Q_M = -\frac{U^2}{x_d}$. Если работа генератора в режиме потребления генератора возможна, необходимо чтобы ток возбуждения был больше $I_{e.\text{мин}}$, но в этом случае из-за больших значений угла δ , по условиям устойчивости, необходим быстродействующий АРВ.

Зависимость $I_{ст} = f(I_e)$ (U-образная характеристика) дает возможность определить активную и реактивную составляющие тока статора. Примерный вид семейства U-образных характеристик для разных значений активной мощности показан на рис. 9.

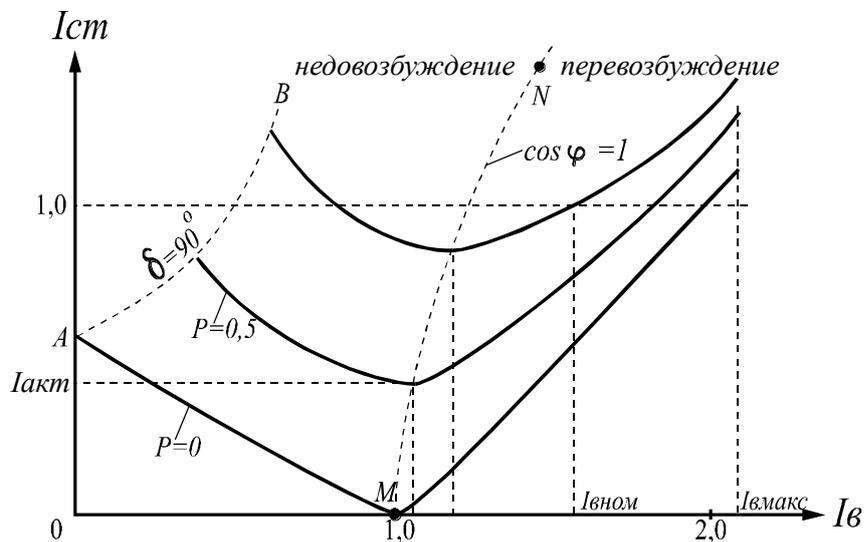


Рис.9 Семейство U-образных характеристик

Минимальное значение тока для каждой кривой определяет активную составляющую тока статора $I_{акт}$ и величину мощности P , для которой построена эта кривая. Нижняя кривая соответствует $P=0$, причем точка M соответствует значению тока возбуждения для холостого хода. По мере увеличения активной нагрузки точки U-образных кривых, соответствующие минимальным значениям тока статора генератора ($\cos \varphi = 1$) при данной

нагрузке, смещаются в область увеличения тока возбуждения (кривая MN). Это объясняется в основном тем, что по мере увеличения тока статора возрастает размагничивающая реакция якоря, поэтому для компенсации этого фактора, ослабляющего поле возбуждения, требуется увеличение тока возбуждения.

3. Самостоятельная работа с учебной литературой

При подготовке к проведению лабораторной работы следует изучить следующий материал:

- по способам синхронизации: /1, §3-2/; /2, §20.9/; /3, §1-5/;
- по нормальному режиму: /1, §3-3/; /2, §20.10/; /3, §1-6/.

Для контроля самостоятельной работы необходимо ответить на следующие вопросы.

3.1. Каковы основные условия, необходимые для включения генераторов на параллельную работу методом точной синхронизации.

3.2. Что понимается под термином «несинхронное включение», к чему может привести несинхронное включение генератора, какие меры принимаются для устранения такой возможности?

3.3. Почему при несовпадении векторов напряжений генератора и сети в момент включения генератора в сеть возникает механический толчок, а при несовпадении действующих значений напряжений – нет?

3.4. Каковы особенности способа самосинхронизации?

3.5. Почему при изменении пропуска энергоносителя через турбину при параллельной работе генератора с сетью не изменяется частота вращения?

3.6. Почему при изменении активной нагрузки генератора изменяется реактивная мощность?

3.7. Как с помощью U-образной характеристики определить активную и реактивную составляющие тока статора генератора, мощности?

3.8. Чем объясняется смещение U-образных характеристик при изменении активной нагрузки генератора?

3.9. Что такое реакция якоря генератора?

3.10. Как с помощью векторной диаграммы можно проанализировать режим генератора?

3.11. Что такое угол нагрузки?

4. Подготовительная работа

Для успешного выполнения курса лабораторных работ к каждой из проводимых работ, заранее, должна быть выполнена каждым студентом заготовка отчета, выполненная по соответствующей форме и отвечать всем требованиям, изложенным в разделе "Содержание отчета". Перед каждой работой проводится опрос каждого студента, выясняющий степень подготовки к проведению работы. Студенты, не имеющие отчета по предыдущей работе, заготовки отчета или подготовлены недостаточно, **к работе не допускаются**.

5. Описание лабораторной установки

Схема установки приведена на рис.10.

Лабораторная электрическая станция (ЛЭС) состоит из двух синхронных явнополюсных генераторов мощностью 12 кВт (G1) и 3,6 кВт (G2). Привод генераторов осуществляется с помощью двигателей постоянного тока параллельного возбуждения соответственно M1 и M2.

Установка обеспечивает синхронизацию генераторов между собой через выключатели Q1 и Q2 и систему шин В и с сетью (при включенном выключателе сети Q3). Схема установки ЛЭС с цепями управления и синхронизации приведена на рис. 11.

Включение генератора на параллельную работу может осуществляться как способом точной синхронизации, так и способом самосинхронизации. Момент включения выключателя синхронизируемого присоединения при точной синхронизации определяется одним центральным аппаратом – колонкой синхронизации, подключенной к шинкам синхронизации.

Выбор напряжений сети, подключаемой к приборам колонки синхронизации, производится специальным переключателем – ключом синхронизации SS. Причём приборы синхронизируемого генератора всегда расположены слева, а приборы сети – справа.

Для исключения возможности ошибочного подключения генератора на сборные шины на ключе синхронизации осуществлена специальная блокировка, обеспечивающая синхронизацию присоединений, соответствующих положению ключа синхронизации. Релейная блокировка от несинхронных включений выполнена с помощью реле KBS типа РН-55. К обмоткам реле подводятся одноимённые линейные напряжения синхронизируемых присоединений. Когда напряжения, поданные на реле блокировки, совпадают по фазе, контакты реле замыкаются и «разрешают» включение выключателя.

Схема предусматривает возможность включения выключателя, минуя реле блокировки, что требуется, например, при самосинхронизации, а также при некоторых других операциях (опробование системы шин, частотный пуск и т.д.). Это достигается путем установки на контакты реле блокировки специальной накладки SXS.

Регулирование скорости вращения генератора (при параллельной работе – активной мощности) осуществляется изменением тока возбуждения приводного двигателя при помощи ключа управления, расположенного на панели генератора.

Изменение напряжения статора генератора (при параллельной работе – реактивной мощности) осуществляется изменением тока возбуждения в цепи возбуждителя генератора при помощи регулятора возбуждения, рукоятка которого выведена на горизонтальную часть панели.

Контроль подсинхронной скорости на практике производится различными способами – вибрационным частотомером, реле разности частот, тахометром и

т.п. В установке ЛЭС контроль подсинхронной скорости осуществляется при помощи специального прибора – полупроводникового тахометра.

Включение генератора в сеть на параллельную работу способом точной синхронизации

После подачи напряжения на ЛЭС (горят лампы зеленого цвета ключей управления) ключ синхронизации поставить в положение, соответствующее синхронизируемым объектам.

Накладку, шунтирующую контакты реле блокировки от несинхронных включений, снять.

Подать напряжение на систему шин В путем включения выключателя Q3. При этом включаются приборы колонки синхронизации, соответствующие сети.

Произвести запуск генераторов соответствующими кнопками управления. Запуск удобно отмечать по тахометру.

Включением АГП подать возбуждение на обмотку ротора генератора. Воздействием на регулятор возбуждения и регулятор скорости приводного двигателя произвести подгонку напряжения и частоты в соответствии с условиями точной синхронизации. Для обеспечения нужной точности при выравнивании частот необходимо, чтобы скорость вращения стрелки синхроноскопа не превышала 5...10 об/мин.

Включение выключателя синхронизируемого генератора необходимо производить в тот момент, когда стрелка синхроноскопа подойдет к вертикальной черте. Чтобы обеспечить совпадение векторов напряжений генератора и сети в момент замыкания контактов выключателя, которым производится синхронизация, импульс на его включение должен быть подан до подхода стрелки синхроноскопа к черте с опережением на время, равное времени включения выключателя.

6. Программа работы

6.1. Ознакомиться со схемой первичных соединений ЛЭС и аппаратурой, установленной на стенде. Выписать основные параметры генераторов и приводных двигателей, используемых измерительных приборов в цепях ротора и статора генератора. Определить цену деления всех необходимых приборов, ознакомиться с системой возбуждения генераторов ЛЭС. В отчёте привести схему возбуждения и схему первичных соединений ЛЭС.

6.2. После подачи напряжения на ЛЭС произвести запуск генератора включением приводного двигателя, подать напряжение на систему шин В от сети путём включения выключателя Q3 для синхронизации с сетью. Включить генератор в сеть способом точной синхронизации.

6.3. Снять зависимости $I_{cm}=f(I_g)$ и $Q=f(I_g)$ при заданном значении активной мощности.

Зависимости снимаются для семи значений тока возбуждения. Три значения в области недовозбуждения, три – в области перевозбуждения и одно – для тока возбуждения холостого хода. Минимальное значение тока возбуждения ограничивается устойчивостью генератора, максимальное – допустимым значением тока возбуждения по условиям нагрева обмотки ротора.

При проведении опытов в режиме недовозбуждения возможен выход генератора из синхронизма. Следует иметь в виду, что этот режим является аварийным и сопровождается значительными колебаниями тока и напряжения статора генератора. Поэтому при появлении такого режима следует немедленно увеличить ток возбуждения или снизить активную мощность. Кроме того, в режиме недовозбуждения реактивная мощность имеет отрицательную величину, и варметр в цепи статора генератора не может использоваться для измерений (прибор зашкаливает за нулевую отметку). В этом случае для снятия зависимости реактивной мощности от тока возбуждения следует воспользоваться U – образной характеристикой.

6.4. При параллельной работе генератора с сетью снять зависимость реактивной мощности от активной при постоянном токе возбуждения, заданным преподавателем.

Зависимости снимаются для семи значений активной мощности – от нуля до номинальной величины. Так же, как в п. 5.4, следует избегать длительного нахождения генератора в несинхронном режиме и следить за тем, чтобы не возникало перегрузок по току обмоток ротора и статора генератора. В случае зашкаливания варметра за нулевую отметку воспользоваться U – образной характеристикой.

6.5. Снять зависимости $P = f(\delta)$ и $Q = f(\delta)$, при $U = \text{const}$ и различных значениях тока возбуждения: $I_{\text{в}} = 0,2$; $I_{\text{в}} = 0,5$; $I_{\text{в}} = 1,0 I_{\text{вном}}$.

6.6. Отключить генератор от сети, предварительно его разгрузив.

7. Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе выполняется индивидуально и оформляется в соответствии с действующими стандартами.

В представляемом отчёте должна быть кратко сформулирована цель работы и приведены следующие данные:

- 7.1 Параметры генератора и двигателя.
- 7.2 Порядок выполнения работы.
- 7.3 Таблицы результатов измерений.
- 7.4 Построенные зависимости.
- 7.5 Ответы на вопросы.

Библиографический список

1. Мотыгина С.А. Эксплуатация электрической части тепловых электростанций. - М.: Энергия, 1979.
2. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций. - М.: Энергия, 1980.
3. Усов С.В. и др. Электрическая часть электростанций. - Л.: Энергия, 1980.
4. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской федерации: - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2011.

Приложение 1 - Форма титульного листа.

Вятский государственный университет

Кафедра электрических станций

Отчет

по лабораторной работе

(название работы)

Работа выполнена студентом группы ЭС-42

Петровым Н.В.

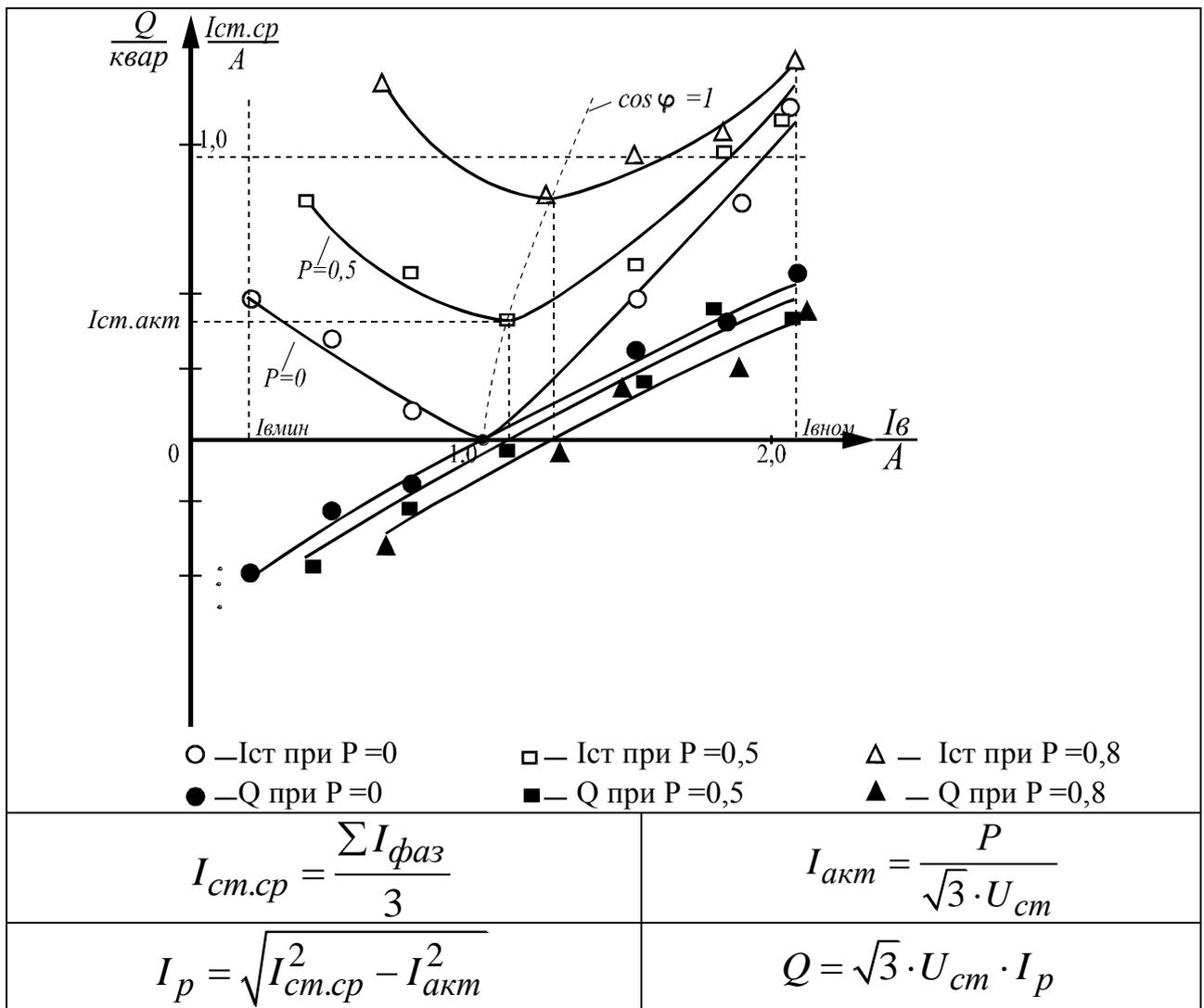
Киров-15

Приложение 2

Таблица 1 – Зависимости тока статора и реактивной мощности от тока возбуждения при $P=const$

$P=$ $кВт, U=$ $В$

I_{ϕ}	A						
I_A	A						
I_B	A						
I_C	A						
I_{cp}	A						
I_a	A						
I_p	A						
$Q_{\text{практ}}$	квар						
$Q_{\text{расч}}$	квар						

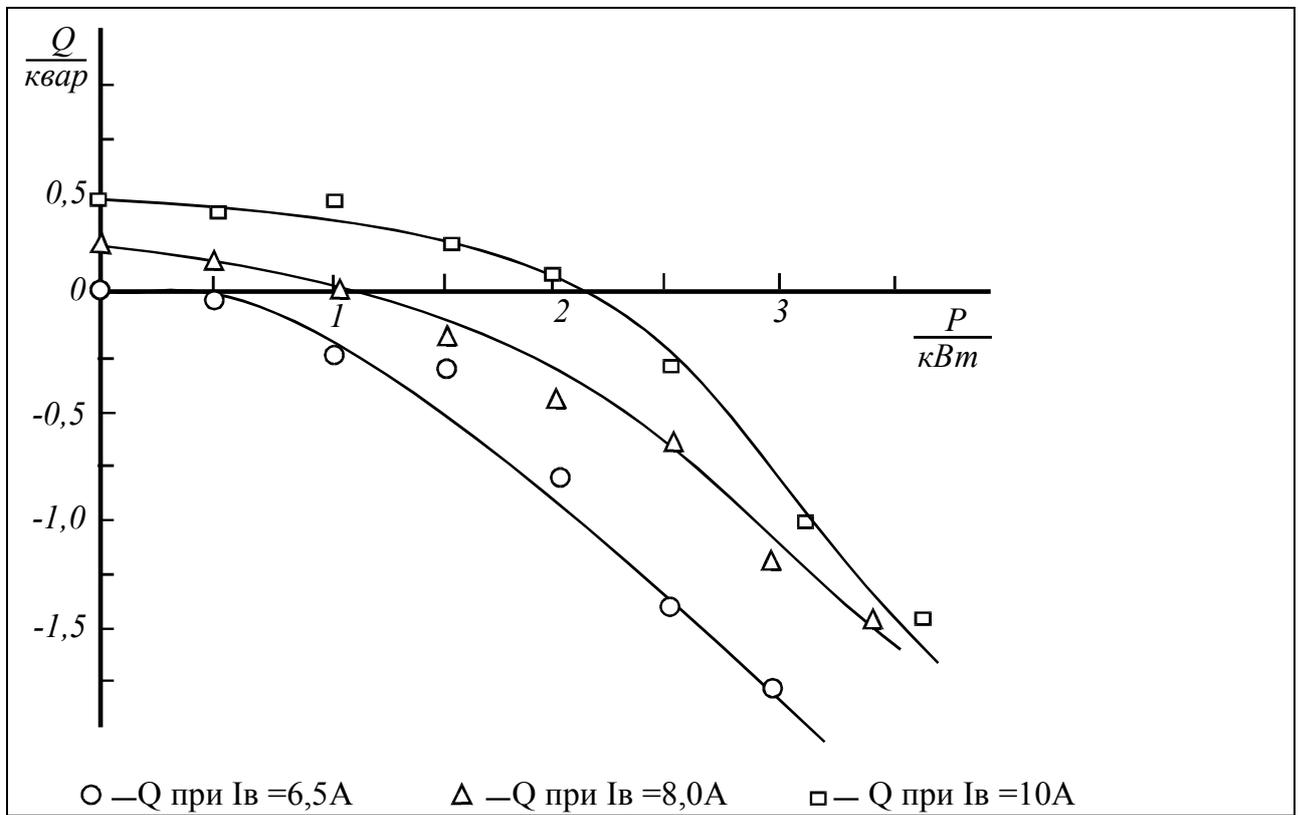


Образец построения графиков по п. 5.3 и необходимые для расчетов формулы

Таблица 2 – Зависимость реактивной мощности генератора от активной при $I_g = const.$

$I_g =$ $A, U =$ B

P	$кВт$							
I_A	A							
I_B	A							
I_C	A							
I_{cp}	A							
I_a	A							
I_p	A							
$Q_{\text{практ}}$	$квар$							
$Q_{\text{расч}}$	$квар$							
S	$кВ \cdot А$							



$I_{ст.ср} = \frac{\sum I_{фаз}}{3}$	$I_p = \sqrt{I_{ст.ср}^2 - I_{акт}^2}$
$I_{акт}$ - определяется путем изменения тока возбуждения до минимального значения тока статора, когда $Q = 0$	$Q = \sqrt{3} \cdot U_{ст} \cdot I_p$

Образец построения графиков по п. 5.4 и необходимые для расчетов формулы

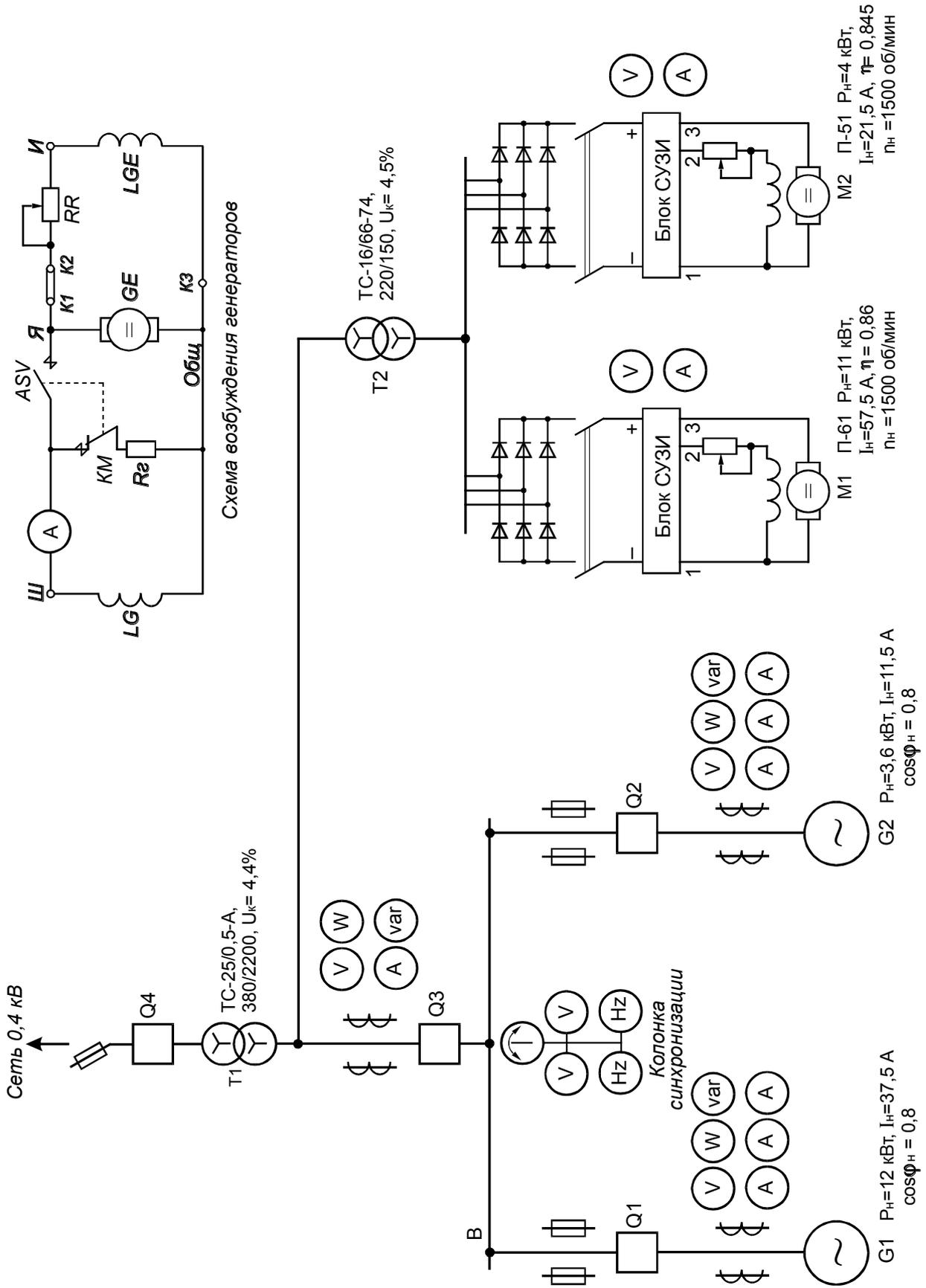


Схема возбуждения генераторов

Рис. 10 Схема лабораторной электрической станции

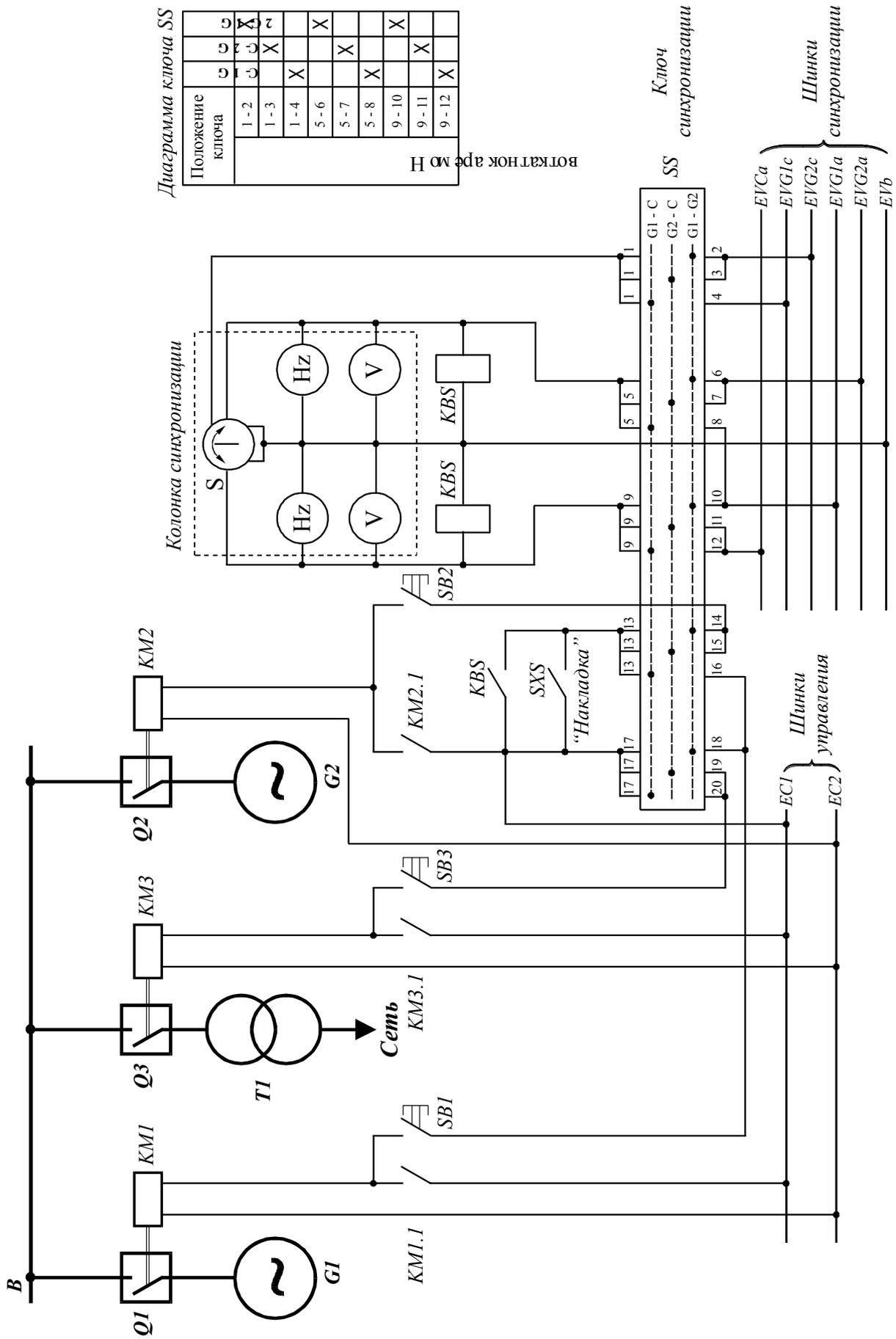


Рис. 11 Схема цепей управления и синхронизации ЛЭС