

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА

**АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Методическое руководство  
к выполнению лабораторных работ

Ташкент- 2017

## УДК 621.311: 621.316.925

Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем: Методическое руководство к выполнению лабораторных работ / Сост.: Радионова О.В., Талипова С.Б. — Ташкент: ТашГТУ, 2017. — 52 с.

Методическое руководство содержит описание лабораторных работ по курсу «Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем», в процессе выполнения которых студенты получают практические навыки в испытании устройств синхронизации генераторов, компаундирования и релейной форсировки возбуждения, изучают устройства автоматического повторного включения (АПВ), автоматического ввода резерва (АВР), а также знакомятся с моделированием автоматических устройств регулирования параметров режимов электрических станций на программном комплексе Matlab.

Данное методическое руководство предназначено для студентов направления 5310200 – Электроэнергетика (производство, передача и распределение энергии).

Печатается по решению научно-методического совета ТашГТУ

Рецензенты: к.т.н., доц. Мирзаев А.Т. (НДЦ АО «Узбекэнерго»),  
д.т.н., проф. Аллаев К.Р. (ТашГТУ)

© Ташкентский государственный технический университет, 2017



От трансформаторов напряжения ТН-1 и ТН-2 и реле минимального напряжения ПН и 2Н подводится напряжение биений  $U_s = /\dot{U}_C - \dot{U}_Г /$ . Для этого начала вторичных обмоток трансформаторов напряжения объединяются, а от концов подводится напряжение к реле. Мгновенное значение напряжения биений при равенстве амплитуд напряжений генератора и системы

$$U_s = /U_C - U_Г / = U_m \sin \omega_c t - U_m \sin \omega_Г t = 2U_m \sin \frac{\omega_c - \omega_Г}{2} t \cos \frac{\omega_c + \omega_Г}{2} t$$

Графически изменение этого напряжения во времени показано на рис. 1-2.

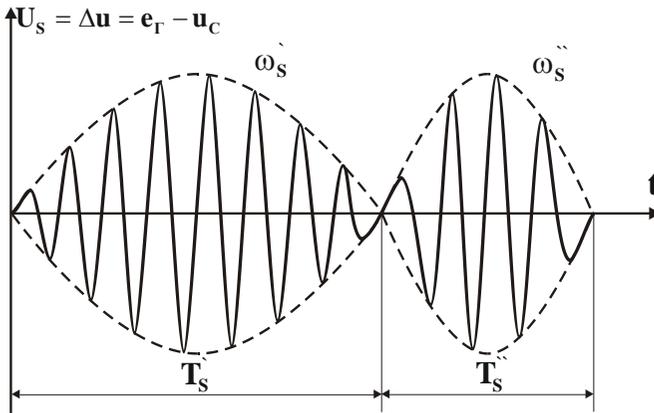


Рис. 1-2.

Период огибающей этого напряжения

$$U_s = 2U_m \sin \frac{\omega_c - \omega_Г}{2} t,$$

тем больше, чем меньше разность частот системы и генератора  $\omega_c - \omega_Г$ .

Разность действующих значений напряжений системы и генератора (напряжение скольжения), на которую реагируют электромагнитные реле напряжения 1Н и 2Н, при  $U_c = U_g = U$ , как легко установить по рис. 1-3, равна:

$$U_s = 2U \sin \frac{\delta}{2} = 2U \sin \frac{\omega_s t}{2},$$

где  $\omega_s = |\omega_c - \omega_g|$ .

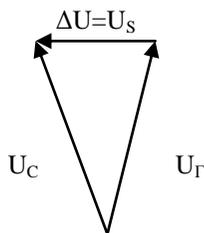


Рис. 1-3.

Отсюда видно, что период напряжения скольжения равен периоду огибающей мгновенных значений напряжения биений и тем больше, чем меньше частота скольжения  $\omega_s$ , а максимальная его величина равна  $2U$ . Это используется для косвенного контроля разности частот системы и генератора. На рисунке 1-4 показаны кривые изменения во времени напряжения скольжения при большой разности частот ( $\omega_s > \omega_{sp}$ ), когда включение генератора на параллельную работу с системой недопустимо, при малой разности частот, когда включение допустимо, и при наибольшей разности частот, при которой генератор после включения в систему может еще втянуться в синхронизм без асинхронного хода. Эта разность частот называется расчетной  $\omega_{sp}$ . На этом рисунке показаны также напряжения срабатывания ( $U_{ср1}$ ) реле 1Н и ( $U_{ср2}$ ) реле 2Н.

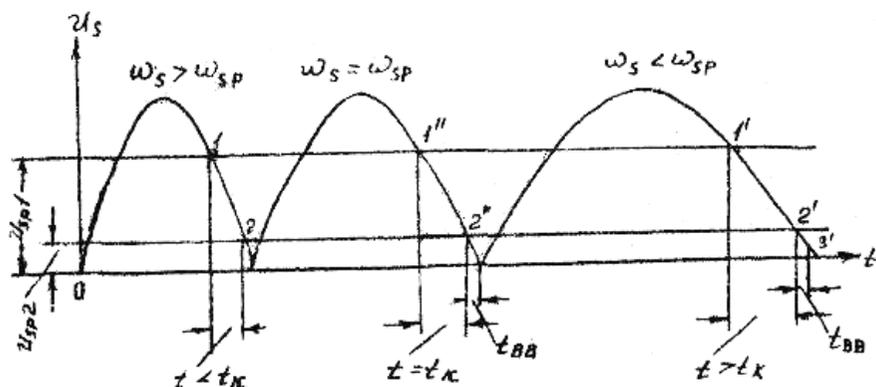


Рис. 1-4.

По схеме рисунка 1-4 видно, что импульс на включение выключателя посылается при замыкании нормально разомкнутых контактов промежуточных реле III и 2П. Для того, чтобы сработало реле III, оно должно получить питание через контакты 2Н<, то есть последнее должно сработать. Это может произойти только в том случае, если  $U_{\Gamma} \approx U_c$  и угол "δ" невелик, когда  $U_s \leq U_{cp2}$ . Таким образом, с помощью реле 2Н синхронизатор контролирует точность подгонки напряжения и выбирает момент отправки импульса на включение.

При большой разности частот ( $\omega_s > \omega_{sp}$ ) время  $t$ , проходящее с момента уменьшения напряжения скольжения от  $U_{cp1}$  (точка I), когда срабатывает реле 1Н< и запускает реле времени "В", до  $U_{cp2}$  (точка 2), когда срабатывает реле 2Н<, и получает питание 1П, размыкая свои нормально замкнутые контакты, оказывается меньше уставки реле времени, называемой временем контроля ( $t_k$ ).

Поэтому к моменту замыкания контактов реле времени цепь питания реле 2П будет уже разомкнута контактами реле 1П, то есть 2П не сработает, и его контактами окажется разомкнутой цепь питания соленоида включения выключателя.

При малой разности частот ( $\omega_s < \omega_{sp}$ ) период напряжения скольжения достаточно велик. После срабатывания реле  $1Н<$  (точка 1') до срабатывания реле  $2Н<$  (точка 2') успевают сработать реле "В" ( $t > t_k$ ) и через нормально замкнутые контакты 1П подать питание катушке 2П. Последнее срабатывает и становится на самоудерживание. При срабатывании  $2Н<$  получает питание 1П, срабатывает и своими нормально разомкнутыми контактами замыкает цепь питания соленоида включения выключателя.

При расчетной разности частот ( $\omega_{sp}$ ), когда  $t = t_k$  (точки 1'' и 2''), за время, проходящее с момента посылки импульса на включение (срабатывание реле  $2Н<$ ), до замыкания контактов выключателя (собственное время включения выключателя -  $t_{BB}$ ) напряжение скольжения снижается до нуля, и никакого толчка уравнивающего тока не возникает. При  $\omega_s < \omega_{sp}$  замыкание контактов выключателя (точка 1) происходит при напряжении скольжения и соответствующем ему угле " $\delta$ " не равными нулю. Этот угол называется углом ошибки  $\delta_{ош}$ . При фактической частоте скольжения  $\omega_{sp} = 0$  угол ошибки

$$\delta_{ош} = \delta_p = \omega_{sp} t_{ов}.$$

Угол, при котором посылается импульс на включение, соответствует  $U_s = U_{cp2}$  (точки 2' и 2''). Он называется углом опережения " $\delta_{ош}$ ". Так как  $U_{cp2} = \text{const}$  и не зависит от величины  $\omega_s$ , то и  $\delta_{ош} = \text{const}$ .

Для выбора уставок синхронизатора нужно сначала произвести расчет параметров синхронизации. Параметрами синхронизации называются допустимый угол ошибки  $\delta_{ош, доп}$ , при котором ударное значение толчка уравнивающего тока не превосходит допустимой величины и расчетная частота скольжения  $\omega_{sp}$ , о которой упоминалось выше,

$$\delta_{\text{ош.доп}} = 2 \arcsin \frac{i_{\text{уд.доп}} (X_d'' + X_{\text{св}} + X_c)}{3.6 \sqrt{2} E_q''};$$

здесь  $\delta_{\text{ош.доп}}$  - допустимое значение толчка уравнительного тока;

$X_d''$  и  $E_q''$  - сверхпереходные значения сопротивления и э.д.с. генератора соответственно;

$X_c$  - сопротивление системы;

$X_{\text{св}}$  - сопротивление связи генератора с системой.

Расчетная частота скольжения предварительно определяется по выражению

$$\omega_{\text{сп}} = \frac{\delta_{\text{ош.доп}}}{t_{\text{ос}}}$$

и проверяется по формуле

$$\cos \delta_{\text{пред}} = \cos \delta_{\text{ош.доп}} - 15 T_j \left( \frac{\omega_{\text{сп}}}{\omega_H} \right)^2 (X_{d^*} + X_{\text{св}^*});$$

где  $\delta_{\text{пред}}$  - предельный угол выбега ротора генератора после включения его в систему;

$\delta_{\text{ош.доп}}$  - допустимый угол ошибки;

$T_j$  - постоянная инерции синхронизируемого с системой агрегата;

$\omega_{\text{сп}}$  - расчетная частота скольжения;

$\omega_H$  - номинальная частота генератора;

$X_{d^*}$  и  $X_{\text{св}^*}$  - переходное сопротивление генератора и сопротивление связи его с системой, соответственно в относительных величинах (приведенных к номинальным параметрам генератора).

Если при расчете получается, что  $\cos \delta_{\text{пред}} < -1$  то  $\omega_{\text{сп}}$  нужно уменьшить до значения, при котором соблюдается условие  $\cos \delta_{\text{пред}} \geq -1$ .

Расчитав параметры синхронизации, производят выбор уставок синхронизатора. Временем контроля (уставка реле

времени) задаются, принимая его обычно равным  $t_k = (0.3 + 0.5)$  сек.

Напряжение срабатывания реле  $2H <$

$$U_{SP2} = 2U_H \text{Sin} \frac{\omega_{SP} t_{66}}{2},$$

где  $U_H$  - номинальное вторичное напряжение трансформатора

$$U_{CP1} = 2U_H \text{Sin} \frac{\omega_{SP} (t_k + t_{66})}{2}.$$

### III. Порядок проведения работы

1. По заданным преподавателем параметрам системы и синхронизируемого с ней агрегата и допустимому толчку уравнительного тока рассчитать параметры синхронизации и выбрать уставки синхронизатора.
2. Ознакомиться с лабораторным стендом и разобраться в рабочей схеме испытаний.
3. Визуально с помощью катодного осциллографа и вольтметра, подключенного параллельно реле напряжения, проверить, как изменяется напряжение биений в зависимости от изменения  $\omega_{SP}$ . (Питание к цепи включения выключателя при этом не подается).
4. Проверить действие синхронизатора при:
  - а)  $U_G \ll U_C$  ва  $\omega_G \approx \omega_C$ ;
  - б)  $U_G \approx U_C$  ва  $\omega_G \neq \omega_C$ ;
  - в)  $U_G \approx U_C$  ва  $\omega_G \approx \omega_C$ ;
5. Синхронизировать генератор с системой с помощью колонки ручной синхронизации.

### IV. Пояснения к работе

На рисунке 1-5 показаны рабочие схемы испытаний полуавтоматической и ручной синхронизации генератора с системой (на схеме не показан электронный осциллограф, подключаемый параллельно вольтметру и обмоткам реле напряжения).

# 1. Ручная синхронизация

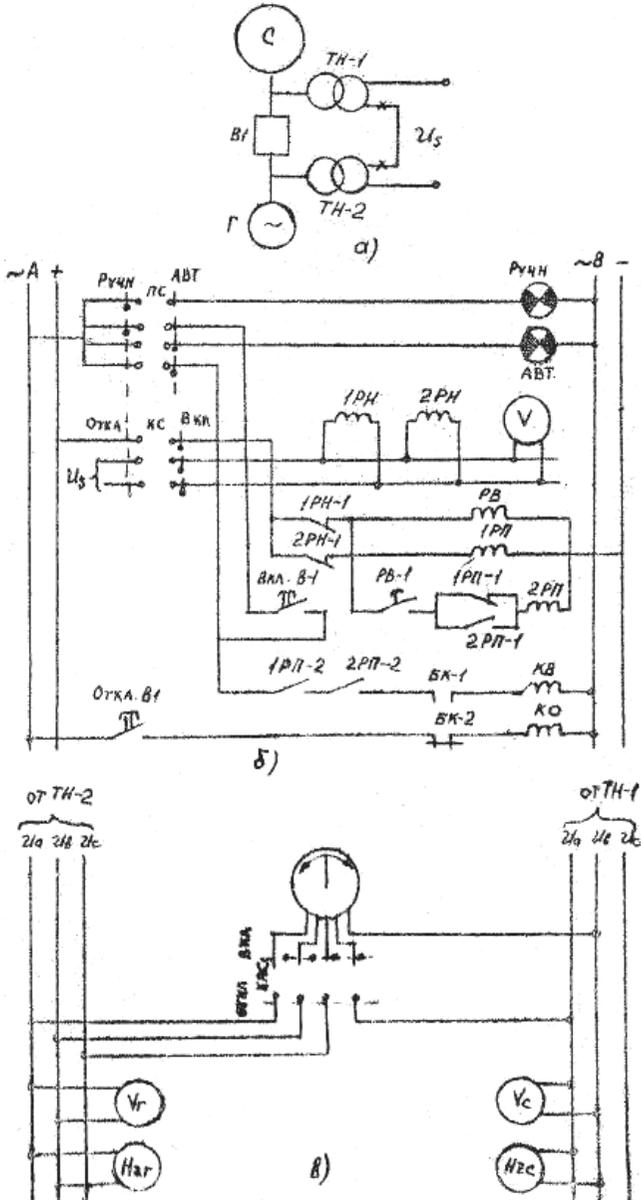


Рис.1-5.

Переключатель схемы ПС установить в положение "Ручная синхронизация". При этом должна загореться лампа табло "Ручная синхронизация". Поставить в положение "Вкл." ключ синхронизации КС. С помощью шунтовых реостатов в цепях возбуждения первичного двигателя и синхронного генератора (на схеме рисунка 1-5 они не показаны) уравнять частоты и напряжения генератора и системы. Значения этих частот и напряжений контролируются по вольтметрам и частотомерам колонки ручной синхронизации (рис.1-5в). Затем ключом КЛС включить синхроскоп и точнее подогнать частоту генератора к частоте системы (стрелка синхроскопа должна при этом медленно вращаться в направлении вращения часовой стрелки). Когда стрелка синхроскопа подойдет к контрольной черте, кнопкой "Вкл. В-1" (рис1-5б) послать импульс на включение выключателя В-1 (рис. 1-5а).

Нажатием кнопки "Откл.В-1" отключить генератор от системы. Оставить переключатель схемы ПС в положении "Ручная синхронизация". При частоте генератора  $f_G$ , равной частоте системы  $f_C$  и при меньшем ее значении (изменение частоты, как указывалось, производится с помощью шунтового реостата двигателя) по вольтметру и осциллографу, включенным на разность напряжений ТН-1 и ТН-2, произвести наблюдение за изменением во времени напряжения скольжения (по вольтметру) и изменением периода огибающей напряжения биений (на экране осциллографа).

## 2. Автоматическая синхронизация

Установить переключатель ПС в положение "Автоматическая синхронизация" (при этом должно светиться табло "Авт.") и произвести проверку действия устройства полуавтоматической синхронизации во всех случаях, перечисленных в пункте 4 порядка проведения работы.

## **V. Состав отчета по работе**

Отчет должен содержать:

1. Расчет параметров синхронизации и выбор уставок синхронизатора.
2. Рабочие схемы автоматической и ручной синхронизации.
3. Описание проделанных испытаний, порядок проведения их и результаты.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие условия должны быть соблюдены при включении синхронных генераторов на параллельную работу методом точной синхронизации?
2. Как нужно соединить обмотки трансформаторов напряжения генератора и системы для получения напряжения биений ?
3. Как в полуавтосинхронизаторе с постоянным углом опережения осуществляется контроль точности подгонки напряжения генератора к напряжению системы?
4. Как в этом синхронизаторе контролируется угол между векторами напряжений генератора и системы в момент посылки импульса на включение ?
5. Как осуществляется контроль разности частот генератора и системы ?
6. Какова последовательность действия элементов схемы автосинхронизатора ?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2**

### **КОМПАУНДИРОВАНИЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА**

#### **I. Цель работы**

Целью работы является практическое изучение устройства компаундирования, его настройки и характеристик регулирования

#### **II. Описание устройства компаундирования и принципа его действия**

На рисунке 2-1 показана принципиальная схема компаундирования синхронного генератора. Достоинствами этого устройства являются его простота, отсутствие подвижных частей и замыкающихся или размыкающихся контактов. Благодаря этому обеспечивается высокая надежность такого устройства.

Принцип действия устройства компаундирования заключается в следующем. При увеличении тока нагрузки возрастает реакция статора, что должно было бы повлечь за собой снижение напряжения на выводах генератора. Но при этом увеличивается вторичный ток трансформаторов тока, питающих устройство компаундирования. Этот ток, пройдя через разделительный трансформатор, выпрямляется и попадает в обмотку возбуждения возбудителя, увеличивая его возбуждение. В результате возрастает э.д.с. генератора, чем компенсируется проявление реакции статора.

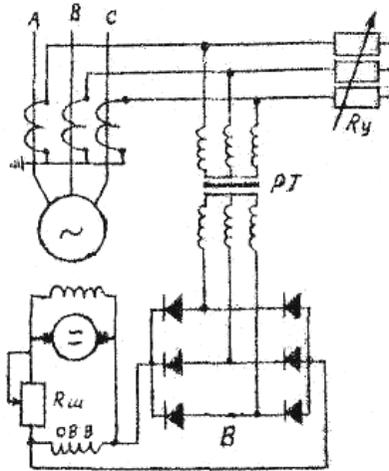


Рис.2-1.

Для устройства компаундирования применяются стандартные трансформаторы тока с номинальным вторичным током 5 ампер. Подбором коэффициента трансформации разделительного трансформатора приводятся в соответствие величина тока нагрузки генератора и тока подпитки, посылаемого устройством компаундирования в обмотку возбуждения возбудителя. Требуемая величина этого тока определяется регулировочной характеристикой генератора  $I_{\text{вв}} = f(I_2)$  при  $U_2 = \text{const}$  и  $\cos \varphi_2 = \text{const}$ , где  $I_{\text{вв}}$  - ток возбуждения возбудителя;  $I_2$  - ток нагрузки генератора;  $U_2$  - напряжение генератора;  $\cos \varphi_2$  - коэффициент мощности нагрузки генератора.

С помощью установочного реостата может быть изменен уровень напряжения, поддерживаемого на выводах генератора. При изменении сопротивления установочного реостата изменяется доля вторичного тока трансформаторов тока, отсасываемого в это сопротивление. Следовательно, изменяется и величина тока подпитки обмотки возбуждения возбудителя, от которого зависят э.д.с. и напряжение генератора.

Наряду с достоинствами устройство компаундирования обладает и недостатками, одним из них является отсутствие форсировки возбуждения при коротких замыканиях в сети и после их отключения. При коротком замыкании это обусловлено насыщением трансформаторов тока, а после отключения поврежденного элемента - исчезновением тока короткого замыкания. Поэтому устройство компаундирования дополняется релейной форсировкой возбуждения. А другим недостатком устройства компаундирования является наличие провала в начальной части характеристики регулирования  $U_2 = f(I_2)$  (см.рис. 2-2).

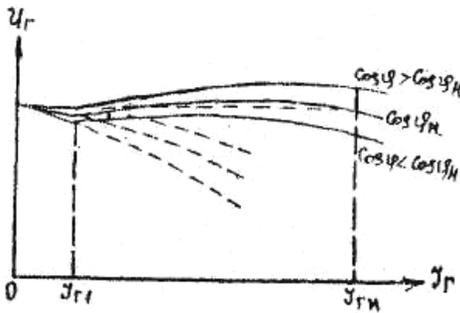


Рис. 2-2.

Это объясняется тем, что при малых токах нагрузки генератора вторичная э.д.с. трансформаторов тока оказывается меньше напряжения на обмотке возбуждения возбудителя, обусловленного током, протекающим через шунтовой реостат.

Поэтому ток подпитки в обмотку возбуждения возбудителя не поступает, и напряжение генератора изменяется по естественной внешней характеристике. Величина тока нагрузки генератора ( $I_{2f}$ ), при которой в обмотку возбуждения возбудителя начинает поступать ток подпитки, называется порогом компаундирования.

Третьим недостатком устройства компаундирования является нереагирование его на изменение коэффициента мощности  $\cos \varphi$  нагрузки (см.рис. 2-2). Объясняется это следующим. При одном и том же значении тока нагрузки генератора ( $I_1 = I_2$ ) и неизменном возбуждении ( $E_q = \text{const}$ ) напряжение на выводах генератора будет тем меньше, чем меньше  $\cos \varphi$  нагрузки, то есть чем больше угол  $\varphi$ . Отмеченное легко видеть на векторной диаграмме рисунка 2-3.

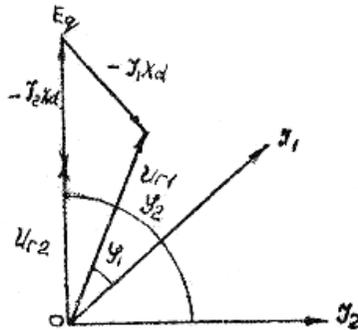


Рис. 2-3.

На этой диаграмме углам  $\varphi_2 > \varphi_1$  соответствуют напряжения генераторов  $U_{22} < U_{21}$ . Так как ток компаундирования (ток подпитки, посылается устройством компаундирования в обмотку возбуждения возбудителя) пропорционален лишь абсолютному значению тока нагрузки генератора и не зависит от  $\cos \varphi$  то при уменьшении коэффициента мощности уменьшается и напряжение компаундированного генератора. Последние два недостатка компаундирования синхронного генератора исправляются путем добавления к нему электромагнитного корректора.

### III. Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с лабораторным стендом и разобраться в рабочей схеме испытаний.
2. При выведенном из действия устройстве компаундирования снять внешние характеристики генератора при индуктивной и смешанной нагрузках.
3. При неизменном положении установочного реостата снять внешние характеристики компаундирования генератора при индуктивной и смешанной нагрузках; одновременно определить зависимость тока компаундирования " $I_k$ " и напряжения " $U_{овв}$ " на обмотке возбуждения возбудителя от тока нагрузки генератора.



Полученные данные занести в таблицу I. Замеры производить для значений  $I_2$  от нуля до  $I_{2H}=10$  А через 1 А.

Таблица I

		Индуктивная нагрузка										
U <sub>Г</sub>	A	B	1		2		3		4		5	
			U <sub>Г</sub>	A								

(При снятии характеристик следует с помощью шунтового реостата в цепи двигателя поддерживать постоянное значение частоты, равное 50 Гц).

Плавно уменьшить с помощью потенциал-регулятора индуктивную нагрузку до минимума, включить выключатель В2 и аналогично предыдущему случаю снять внешнюю характеристику генератора без компаундирования при смешанной нагрузке. Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2

		Смешанная нагрузка										
U <sub>Г</sub>	A	B	1		2		3		4		5	
			U <sub>Г</sub>	A								

Не изменяя положения шунтового реостата в цепи возбуждения возбудителя, при токе индуктивной нагрузки (В1 отключен)  $I_2 = 10$  А с помощью установочного реостата  $R_u$  установить на генераторе номинальное напряжение  $U_{2H} = 220$ В. Плавно уменьшая ток с помощью потенциал-регулятора ПР, снять внешнюю характеристику компаундированного генератора при индуктивной нагрузке. (Замеры как и в предыдущих случаях, производить примерно через 1 А). Одновременно по показаниям амперметра и вольтметра постоянного тока записать значения тока подпитки  $I_k$  и напряжения на обмотке возбуждения возбудителя  $U_{66}$ . Результаты измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3

		Индуктивная нагрузка			
U	A				
U	B				
U	MA				
U	B				

Включив выключатель В1 и увеличивая ток нагрузки до 10 А (замеры производить также примерно через 1 А), снять внешнюю характеристику компаундированного генератора при смешанной нагрузке. Одновременно записать значения тока  $I_k$  и напряжения  $U_{вв}$ . Результаты измерений занести в таблицу 4.

Таблица 3

		Смешанная нагрузка			
U	A				
U	B				
U	MA				
U	B				

По результатам измерений на общем графике построить внешние характеристики генератора  $U_2 = f(I_2)$  для всех рассмотренных случаев. На другом графике построить кривые зависимостей  $U_{вв} = f(I_2)$ .

## V. Состав отчета по работе

Отчет должен содержать:

1. Рабочую схему стенда.
2. Порядок проведения испытаний и их результаты в табличной форме.
3. Указанные в разделе IV графики. Выводы по работе.

## **Контрольные вопросы**

1. В чем заключается принцип действия устройства компаундирования синхронного генератора?
2. Каково назначение синхронного трансформатора и как выбирается его коэффициент трансформации?
3. Каково назначение установочного реостата?
4. Что такое порог компаундирования и чем он обусловлен?
5. Каковы достоинства и недостатки устройства компаундирования СГ ?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА АПВ РАДИАЛЬНОЙ ЛИНИИ**

**Цель работы:** Изучение принципов построения и работы схемы устройства АПВ однократного действия линии с односторонним питанием

### **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

**Назначение АПВ.** Устройства АПВ имеют назначение автоматически включать отключившийся элемент энергосистемы для восстановления питания потребителей или восстановления первоначальной схемы соединений.

Возможность применения АПВ обусловлена тем, что причина, вызвавшая отключение, за время обесточенного состояния присоединения часто самоустраняется - например, прекращается схлестывание проводов и восстанавливается изоляция; погасает дуга; вызванная грозovým разрядом;

устраняется перегрузка, приведшая к срабатыванию релейной защиты и т.п. В таких случаях после действия устройства АПВ присоединение остается в работе, а действие АПВ принято называть успешным.

Повреждения, которые не могут самоустраниться, называются устойчивыми. К ним относятся, например, обрывы проводов или гирлянд изоляторов на воздушных линиях электропередачи, повреждения внутри бака трансформатора и т.п. Выключатель, включенный устройством АПВ на устойчивое повреждение, вновь отключается защитой. Такое действие АПВ называют неуспешным.

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) применение АПВ обязательно на всех воздушных и смешанных (кабельно-воздушных) линиях напряжением выше 1 кВ. Успешность действия АПВ линий весьма высока и составляет в сетях разного напряжения 50-90%. АПВ восстанавливает нормальную схему также и в тех случаях, когда отключение выключателя происходит вследствие ошибок персонала или ложного действия релейной защиты.

Неустойчивые повреждения возможны и на шинах распределительных устройств. Поэтому на подстанциях, оборудованных быстродействующей защитой шин, также применяется АПВ, которое производит повторную подачу напряжения на шины в случае их отключения релейной защитой.

Устройствами АПВ оснащаются также все одиночно работающие трансформаторы мощностью 1000 кВА и более и трансформаторы меньшей мощности, питающие ответственную нагрузку. Успешность действия АПВ трансформаторов и шин также высока и составляет 70-90%.

В ряде случаев АПВ используется на кабельных тупиковых линиях напряжением 6-10 кВ. При этом, несмотря на то, что повреждения кабелей бывают, как правило, устойчивыми, успешность действия АПВ составляет 40-60%. Это объясняется тем, что АПВ восстанавливает питание потребителей при неустойчивых повреждениях на шинах, при

отключениях линий вследствие перегрузки, при ложных и неселективных действиях защиты.

Применение АПВ позволяет также в ряде случаев упростить схемы релейной защиты и ускорить отключение КЗ в сетях.

**Классификация устройств АПВ.** В эксплуатации получили применение следующие виды АПВ:

- трехфазные, осуществляющие включение трех фаз выключателя после их отключения релейной защитой;

- однофазные, осуществляющие включение одной фазы выключателя, отключенной релейной защитой при однофазном КЗ;

- комбинированные, осуществляющие включение трех фаз (при междуфазных повреждениях) или одной фазы (при однофазных КЗ).

Трехфазные АПВ, в свою очередь, подразделяются на несколько видов:

- простые (ТАПВ);

- быстродействующие (БАПВ);

- с проверкой наличия напряжения (АПВНН);

- с ожиданием синхронизма (АПВОС);

- с улавливанием синхронизма (АПВУС) и др.

По виду оборудования, на которое действием АПВ повторно подается напряжение, различают:

- АПВ линий;

- АПВ шин;

- АПВ трансформаторов.

По числу циклов (кратности действия) различают:

- АПВ однократного действия;

- АПВ многократного действия (например, двух- и трехкратные).

Устройства АПВ, которые осуществляются с помощью специальных релейных схем, называются электрическими, а устройства АПВ, встроенные в грузовые или пружинные приводы - механическими.

**Требования к устройствам АПВ.** Схемы АПВ в зависимости от конкретных условий могут существенно отличаться одна от другой. Однако все они должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Схемы АПВ должны приходить в действие при аварийном отключении выключателя (или выключателей), находившегося в работе. В некоторых случаях схемы АПВ должны отвечать дополнительным требованиям, при выполнении которых разрешается пуск АПВ: например, при наличии или, наоборот, при отсутствии напряжения, при наличии синхронизма, после восстановления частоты и т.д.

2. Схемы АПВ не должны приходить в действие при оперативном отключении выключателя персоналом, а также в тех случаях, когда выключатель отключается релейной защитой сразу после его включения персоналом (т.е. при включении выключателя на КЗ), поскольку повреждения в этом случае обычно бывают устойчивыми.

3. Схемы АПВ должны предусматривать возможность запрета действия АПВ при срабатывании отдельных защит. Например, как правило, не допускается действие АПВ трансформаторов при внутренних повреждениях, когда срабатывает газовая или дифференциальная защита. В отдельных случаях не допускается действие АПВ линий при срабатывании дифференциальной защиты шин.

4. Схемы АПВ должны обеспечивать определенное количество повторных включений, т.е. действовать с заданной кратностью. Наибольшее распространение получили АПВ однократного действия. Применяются также АПВ двукратного, а в некоторых случаях и трехкратного действия.

5. Время действия АПВ должно быть минимально возможным, для того чтобы обеспечить быструю подачу напряжения потребителям и восстановление нормального режима работы. Вместе с тем, время обесточенного состояния (бестоковая пауза) должно быть достаточным для деионизации дугового промежутка в месте повреждения. Наименьшая

выдержка времени, с которой производится АПВ на линиях с односторонним питанием, принимается 0,3-0,5 с.

6. Схемы АПВ должны обеспечивать автоматический возврат в исходное положение готовности к новому действию после включения в работу выключателя, на который действует АПВ.

## **РАБОТА СХЕМЫ АПВ ОДНОКРАТНОГО ДЕЙСТВИЯ ЛИНИИ С ОДНОСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ**

Электрические АПВ однократного действия с автоматическим возвратом получили наиболее широкое распространение (рис. 3-1). Наиболее часто такие схемы АПВ выполняются с помощью комплектного реле РПВ-58. В комплектное реле РПВ-58 входят: реле времени РВ2 с добавочным резистором  $R_1$  для обеспечения термической стойкости реле; промежуточное реле РП1 с двумя обмотками - последовательной (1) и параллельной (2); конденсатор С, обеспечивающий однократность действия АПВ; зарядный резистор  $R_3$ , и разрядный резистор  $R_p$ .

Дистанционное управление выключателем производится ключом управления КУ с четырьмя положениями: "Включить" (В1), "Включено" (В2), "Отключить" (01), "Отключено" (02). Когда выключатель включен и КУ находится в положении "Включено", к конденсатору С подводится "плюс" оперативного тока через контакты 7-8 ключа КУ, а минус - через зарядный резистор  $R_3$ . При этом конденсатор заряжен и схема АПВ находится в состоянии готовности к действию.

Пуск АПВ происходит при отключении выключателя под действием релейной защиты в результате возникновения несоответствия между положением КУ, которое не изменилось, и положением выключателя В, который теперь отключен. При отключении выключателя замыкаются его блок-контакты БКВ3 и через эти блок - контакты и замкнутые контакты 7-8 ключа КУ

создаётся цепь питания реле времени РВ2.

При срабатывании реле РВ2 размыкается его мгновенный размыкающий контакт РВ2.1, вводя в цепь обмотки реле дополнительное сопротивление (резистор  $R_1$ ). Это приводит к уменьшению тока в обмотке реле, благодаря чему обеспечивается его термическая стойкость при длительном прохождении тока.

По истечении установленной выдержки времени реле РВ1 замыкает замыкающий контакт РВ2.2 и подключает параллельную обмотку 2 реле РП1 к конденсатору С. Реле РП1 при этом срабатывает от тока разряда конденсатора и, самоудерживаясь через свою обмотку 1, включенную последовательно с катушкой включения КВ, подает импульс на включение выключателя (блок-контакты БКВ2 выключателя замкнуты при отключенном положении выключателя). Благодаря использованию у реле РП2 последовательной обмотки обеспечивается необходимая длительность импульса для надежного включения выключателя, поскольку параллельная обмотка этого реле обтекается током кратковременно, при разряде конденсатора. Выключатель включается, размыкаются его блок-контакты БКВ2 и БКВ3 и возвращаются в исходное положение реле РП1 и РВ2.

Если повреждение на линии было самоустраняющимся, то она останется в работе. После размыкания контакта реле времени РВ2.2 конденсатор С начнет заряжаться через зарядный резистор  $R_3$ . Сопротивление этого резистора выбирается таким, чтобы время заряда составляло 15-20 с. Таким образом, спустя указанное время схема АПВ будет автоматически подготовлена к новому действию.

Если повреждение было устойчивым, то выключатель включившись, вновь отключится защитой и вновь сработает реле РВ2. Реле РП1, однако, при этом второй раз работать не будет, так как конденсатор С был разряжен при первом действии АПВ и зарядиться еще не успел. Таким образом, схема обеспечивает однократное действие при устойчивом КЗ на

линии.

При оперативном отключении выключателя ключом управления КУ несоответствия между положением КУ и выключателя не возникает, и АПВ не действует, так как одновременно с подачей импульса на отключение выключателя контактами КУ 1-2 размыкаются контакты КУ 7-8, чем снимается плюс оперативного тока со схемы АПВ. Одновременно со снятием оперативного тока контактами 5-6 ключа КУ замыкаются контакты 5-6, конденсатор С разряжается через резистор  $R_p$ . При оперативном включении выключателя ключом КУ готовность АПВ к действию наступает после заряда конденсатора С через 15-20 с. Поэтому при оперативном включении выключателя отключать АПВ не требуется.

Защиты, после срабатывания которых АПВ действовать не должно, воздействуют на отключение выключателя через промежуточное реле РПЗ. Это реле одной парой контактов подаёт импульс на отключение выключателя, а другой парой контактов производит разряд конденсатора С через резистор  $R_p$ .

В схеме предусмотрена возможность ускоренного действия защиты после неуспешного АПВ. Для этого в схему введено промежуточное реле РПУ с выдержкой времени на размыкание контактов. При срабатывании реле РП1 через его контакты РП1.1 получает питание обмотка реле РПУ. Реле РПУ, сработав, замыкает свои контакты РПУ.1. После включения выключателя от АПВ реле РП1 возвращается в исходное положение и размыкает цепь питания обмотки реле РПУ, но его контакты РПУ.1 ещё некоторое время остаются замкнутыми. При этом, если выключатель включился на устойчивое КЗ, снова действует защита, срабатывает токовое реле защиты РТ1 и через его контакты и еще не успевшие разомкнуться контакты РПУ.1 мгновенно создаётся цепь отключения выключателя. Таким образом, выключатель отключается мгновенно при неуспешном АПВ. Накладкой Н можно вывести цепь ускорения защиты из действия.

## **ПРОГРАММА РАБОТЫ**

1. Ознакомиться со схемой АПВ, приведенной на рис. 3-1, и расположением отдельных элементов схемы на лабораторном стенде.

2. Опробовать действие схемы АПВ при:

а) возникновении самоустраняющегося КЗ на линии;

б) возникновении устойчивого КЗ на линии;

в) срабатывании защит, запрещающих действие АПВ;

г) оперативном отключении выключателя ключом управления КУ;

д) оперативном включении выключателя ключом КУ на существующее на линии КЗ.

## **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

Отчет должен содержать цель и программу работы, схему АПВ и основные требования, предъявляемые к схемам АПВ.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Назначение и области применения АПВ.

2. Какие требования предъявляются к схемам АПВ?

3. Как достигается в схеме АПВ, приведенной на рис. 3-1, однократность действия АПВ?

4. С какой целью реле РП1 в схеме выполнено с двумя обмотками – параллельной и последовательной?

5. Каково назначение реле РПУ в схеме АПВ?

6. Можно ли в схеме АПВ вместо реле времени РВ2 применить промежуточное реле мгновенного действия?

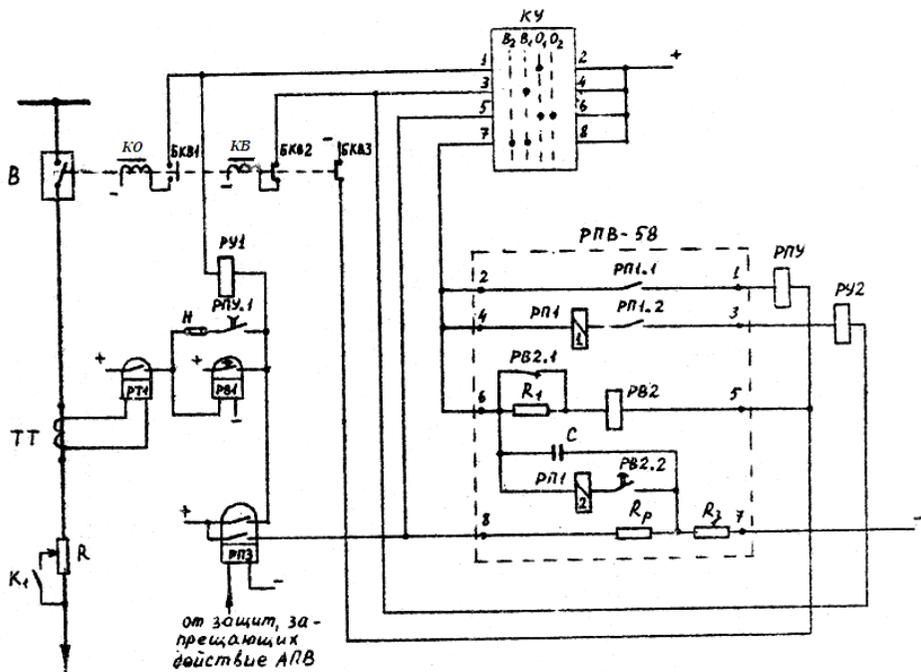


Рис.3-1. Принципиальная схема АРВ однократного действия для линии с односторонним питанием.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ (АРВ) ЛИНИЙ С ДВУСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

#### I. Цель работы

Целью работы является практическое изучение схемы и принципа действия АРВ ЛЭП с контролем отсутствия напряжения на одном конце ее и проверкой синхронизма на другом; выбор уставок элементов этого устройства

## II. Описание схемы и принципа действия АПВ. Выбор уставок ее элементов

На линиях кольцевых сетей, соединяющих источники питания, имеющие лишь две параллельные связи, находит широкое применение АПВ с контролем отсутствия напряжения на одном и проверкой синхронизма на другом конце ее. Схема такого АПВ (рис. 4-1) выполняется аналогично на обоих концах линии с той разницей, что на том конце ее, где проверяется синхронизм, накладка "Н" должна быть снята.

При положении ключа управления (КУ) "включено" создается цепь заряда конденсатора "С" через сопротивление "R<sub>2</sub>". Величина этого сопротивления такова, что время заряда конденсатора составляет 10-15 секунд. После отключения выключателя от релейной защиты создаётся цепь несоответствия между положением выключателя и ключа управления, и блок-контактами выключателя замыкается цепь, последовательно включенных катушки включения "кз" и обмотки промежуточного реле РП.

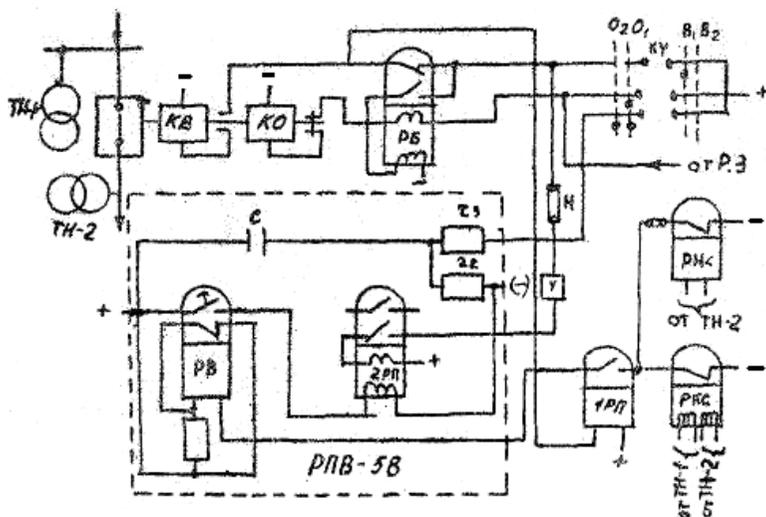


Рис.4-1.

Протекающий по этой цепи ток недостаточен для включения выключателя, а реле РП срабатывает. При отключении ЛЭП с обеих сторон замыкаются контакты реле минимального напряжения "Н" (оно теряет питание). На том конце линии, где накладка "Н" не снята, контактами этого реле и реле РП замыкается цепь питания термически устойчивого реле времени "РВ". При замыкании его контактов создается цепь разряда конденсатора "С" на катушку реле 2РП. Последнее срабатывает и через удерживающую последовательную обмотку в нормально замкнутые контакты блокировочного реле РБ посылает импульс на включение выключателя. В случае устранившегося к.з. спустя 10- 15 секунд после повторного включения, конденсатор "С" вновь будет заряжен, и схема готова к следующему действию. При включении выключателя на устойчивое к.з. релейная защита (РЗ) вновь отключит его. Второй раз включаться он не будет, так как разряженный конденсатор за время действия защиты не успеет зарядиться.

В случае залипания контактов при действии релейной защиты получает питание последовательная (рабочая) обмотка блокировочного реле РБ. Это реле срабатывает, размыкает одной парой своих контактов цепь включения выключателя, а другой создает последовательно с контактами 2РП цепь питания удерживающей (параллельной) катушки РБ.

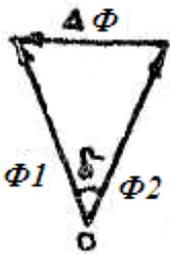
При отключении выключателя с помощью ключа управления "КУ" замыкается цепь разряда конденсатора "С" на сопротивление "R", благодаря чему АПВ блокируется.

Сигнальное реле "У" предназначено для сигнализации о срабатывании, а накладка "1Н" для выведения "АПВ" из действия.

На противоположном конце линии накладка "Н" снята. Поэтому реле времени может получить питание и сработать лишь тогда, когда контакты реле контроля синхронизма "РКС" будут замкнуты в течение времени, соответствующего уставке РВ, то есть когда агрегаты, связываемые ЛЭП, не успевают выйти из синхронизма. В этом случае (что, как правило, бывает

при сохранении параллельной связи между агрегатами по другой линии) произойдет повторное включение линий с обеих сторон. При устойчивом к.з. на линии реле РКС держит свои контакты разомкнутыми и не допускает АПВ. Поэтому при устойчивом к.з. выключатель на стороне линий, где применено АПВ с контролем отсутствия встречного напряжения, дважды отключает ток к.з, а на противоположном конце - один раз. С целью равномерного износа выключателей принципы действия устройств АПВ на разных концах линии периодически взаимно изменяются путем изменения положения накладок "Н".

Реле РКС, в качестве которого промышленностью выпускается реле напряжения РН-55, имеет две одинаковые обмотки, одна из них получает питание от ТН-1, другая - от ТН-2 (рис. 4-1). Полярность этих обмоток выбрана так, что при совпадении векторов напряжений, получаемых от этих трансформаторов, потоки их  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  направлены встречно и взаимно уничтожаются. При этом контакты РКС замкнуты. При расхождении векторов напряжений от ТН-1 и ТН-2 на угол " $\delta$ " на такой же угол расходятся и потоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  (рис. 4-2), и



геометрическая разность  $\Delta\Phi$ , то есть результирующий поток в сердечнике РКС, оказывается тем больше, чем больше угол " $\delta$ ". При  $\delta = \delta_{CP}$  поток  $\Delta\Phi$  оказывается достаточным для того, чтобы сила притяжения якоря реле к полюсам электромагнита преодолел противодействие пружин. Реле размыкает свои контакты.

Рис. 4-2.

Выбор уставок реле времени АПВ производится по выражениям:

$$t_{АПВ(А)} = t_{ЗБИ} - t_{ЗАИ} + t_{ОВВ} - t_{ОВА} + \Delta t - t_{ВВА} + t_{ЗАП};$$

$$t_{АПВ(Б)} = t_{ЗАИ} - t_{ЗБИ} + t_{ОВА} - t_{ОВВ} + \Delta t - t_{ВВБ} + t_{ЗАП};$$

где  $t_{АПВ(А)}$  и  $t_{АПВ(Б)}$  - уставки реле времени АПВ со стороны А и со стороны Б соответственно (Аи Б - начало и конец ЛЭП);

$t_{ЗАI}$  и  $t_{ЗБИ}$  - выдержки времени первых ступеней защит линии со стороны А и Б соответственно;

$t_{ЗАII}$  и  $t_{ЗБИИ}$  - выдержки времени вторых ступеней этих защит;

$t_{ОВА}$  и  $t_{ОВБ}$  - собственные времена отключения выключателей;

$t_{ВВА}$  и  $t_{ВВБ}$  - собственные времена включения выключателей;

$\Delta t$  - время деионизации дугового промежутка(0,2- 0,3 сек);

$t_{ЗАП}$  - время запаса (принимается равным 0,5-0,7сек)

Выбор уставки реле минимального напряжения:

$$U_{CP} \leq 0.5U_{НОМ};$$

Уставка реле РКС:

$$\delta_{CP} = \frac{\delta_{МАКС} \cdot t_{АПВ}}{K_H [(1 + K_B)t_{ВВ} + t_{АПВ}]} i$$

где  $\delta_{МАКС} = 60^0 \div 70^0$  - максимальный допустимый угол расхождения векторов напряжения расчетных частей систем;

$t_{АПВ}$  - уставка реле времени АПВ;

$K_H = 1.1$  - коэффициент запаса;

$K_B$  - коэффициент возврата РКС;

$t_{ВВ}$  - собственное время включения выключателя.

### III. Порядок проведения работы

1. По заданным преподавателем исходным данным выбрать

уставки элементов схемы АПВ.

2. Ознакомиться с лабораторным стендом и разобраться в рабочей схеме испытаний.

3. Проверить действие схемы АПВ при самоустраняющемся и устойчивом к.з.

а/ при включенной параллельной связи,

б/ при отключенной параллельной связи.

#### **IV. Пояснения к работе.**

На рисунке 4-3 показана рабочая схема стенда. К особенностям схемы относятся:

а/ параллельная связь между системой и агрегатом двигатель-генератор (рис. 4-3,а) осуществляется с помощью выключателя В-3. Этим выключателем генератор включается на параллельную работу с системой способом ручной синхронизации (см. работу № 1);

б/ во избежание ошибочной подачи напряжения системы стоящему генератору цепи включения выключателей В-1 и В-2 заблокированы между собой (рис. 4-3,в) с помощью ключей управления КУ-1 и КУ-2 таким образом, что В-1 можно вручную включить только при отключенном В-2, а выключатель В-2 включается лишь при синхронной работе генератора с системой, что контролирует реле РКС;

в/ имитация короткого замыкания между фазами ЛЭП производится кнопкой КЗ через сопротивление  $R = 400 \text{ Ом}$  и катушку 1РТ защиты этой линии;

г/ изменение способов АПВ по концам линии производится замыканием или размыканием цепи контактов ТН накладкой "Н" (рис. 4-3,в) и в цепях переменного тока катушек РКС и РН с помощью переключателя ЗК (рис. 4-3,б).

Показанное на рис. 4-3,в положение блок-контактов соответствует включенному состоянию выключателей. После синхронизации генератора с системой и включения выключателя В-3 поочередно с помощью ключей КУ-1 и КУ-2 включить

выключатели В-1 и В-2. Дать зарядиться конденсаторам. Кратковременным нажатием кнопки "КЗ" (до отключения выключателей В-1 и В-2) имитировать самоустраняющееся короткое замыкание на линии и проверить действие схемы. Затем произвести проверку действия схемы при устойчивом коротком замыкании на линии, которое имитируется длительным нажатием кнопки "КЗ" без отпускания ее. Снова включить выключатели В-1 и В-2, отключить В-3 и проверить действие схемы при самоустраняющемся коротком замыкании на линии, имитируя его так же, как и при включенном выключателе В-3. Опять синхронизировать генератор с системой, включить В-3, В-1 и В-2. Отключив выключатель В-1, проверить действие схемы при устойчивом коротком замыкании.

## **V. Состав отчета по работе**

Отчет должен содержать:

1. Расчет уставок АПВ.
2. Рабочую схему лабораторного стенда.
3. Описание произведенных испытаний и их результаты.
4. Перечень использованной аппаратуры и приборов.

## **Контрольные вопросы**

1. Для чего нужен и как осуществляется контроль отсутствия на линии встречного напряжения ?
2. Каково устройство и принцип действия реле контроля синхронизма?
3. Как обеспечивается однократность АПВ при устойчивом коротком замыкании на линии?
4. Какова роль блокирующего реле в схеме АПВ ?
5. Какова последовательность действия элементов схемы АПВ ?

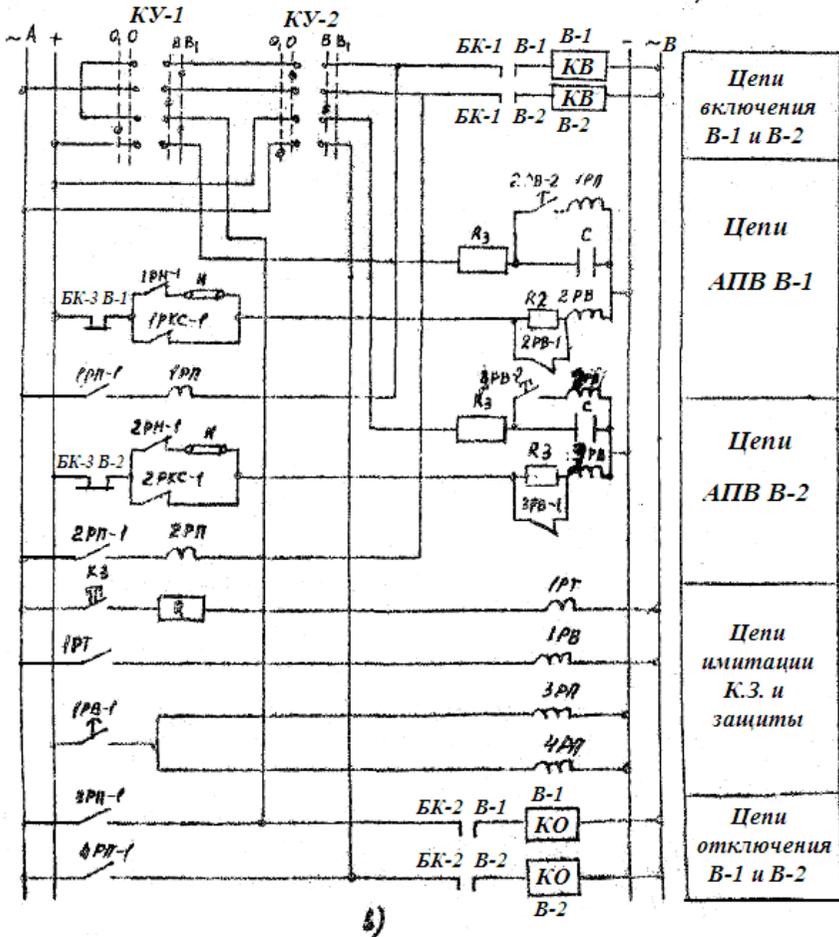
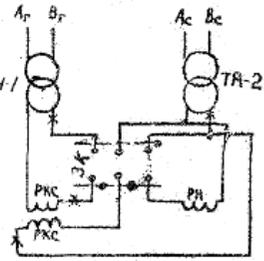
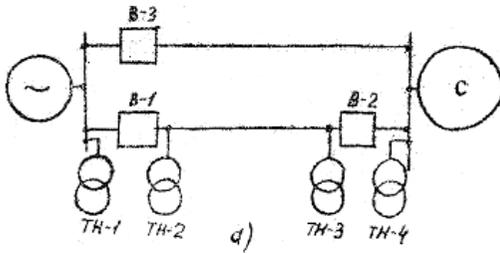


Рис.4-3.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВВОД РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ

**Цель работы:** Изучение принципов построения и действия схемы устройства автоматического ввода резерва (АВР)

#### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

##### 1. Назначение устройств АВР.

Для повышения надёжности электроснабжения потребителей осуществляют их питание одновременно от двух и более источников питания (линий, трансформаторов). В этом случае отключение одного из источников питания не приводит к нарушению электроснабжения потребителей.

Однако, несмотря на это преимущество многостороннего питания, большое количество подстанций, имеющих два и более источников питания, работают по схеме одностороннего питания. Одностороннее питание имеют также секции шин собственных нужд. Применение такой менее надёжной, но более простой схемы электроснабжения во многих случаях оказывается целесообразным для снижения токов КЗ, упрощения релейной защиты, уменьшения потерь электроэнергии в питающих трансформаторах, создания необходимого режима по напряжению, перетокам мощности и т.п.

Используются две основные схемы одностороннего питания потребителей при наличии двух или более источников. В первой схеме (рис.5-1.а) один источник (линия Л1) включён и питает потребителей, а второй (линия Л 2) отключён и находится в резерве. Соответственно этому первый источник называется рабочим, а второй - резервным. Во второй схеме (рис.5-1.б) все источники (трансформаторы Т1 и Т2) включены, но работают раздельно на выделенных потребителей. Деление

осуществляется секционным выключателем В1.

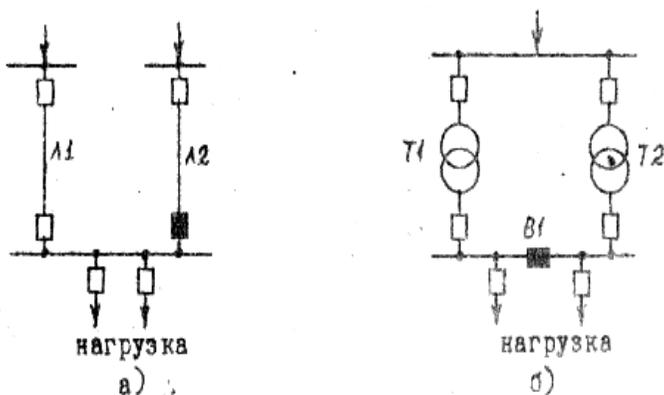


Рис. 5-1.

Недостатком одностороннего питания является то, что аварийное отключение рабочего источника приводит к прекращению питания потребителей. Этот недостаток может быть устранён быстрым автоматическим включением резервного источника питания или включением выключателя, на котором осуществлено деление сети. Для выполнения этой операции предназначены устройства автоматического ввода резерва (АВР). При наличии АВР время перерыва питания потребителей в большинстве случаев определяется лишь временем включения выключателей резервного источника и составляет 0,3 – 0,8 с.

Опыт эксплуатации показывает, что АВР является весьма эффективным средством повышения надёжности электроснабжения. Успешность действия устройства АВР составляет 90-95 %. Простота схем и высокая эффективность АВР обусловили широкое применение АВР на электростанциях и в электрических сетях.

## 2. Основные требования к устройствам АВР.

В эксплуатации находится большое количество устройств АВР разных типов, которые имеют свои особенности. Однако

все устройства АВР должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1) Схема АВР должна приходить в действие в случае исчезновения напряжения на шинах потребителей по любой причине, в том числе при аварийном, ошибочном или самопроизвольном отключении выключателя рабочего источника питания, а также при исчезновении напряжения на шинах, от которых осуществляется питание рабочего источника. Включение резервного источника питания допускается также при КЗ на шинах потребителя.

2) Для уменьшения длительности перерыва питания потребителей (что особенно важно для обеспечения самозапуска электродвигателей) включение резервного источника питания должно производиться возможно быстрее, сразу же после отключения рабочего источника.

3) Действие АВР должно быть однократным, чтобы не допустить нескольких включений резервного источника на неустранившееся КЗ.

4) Схема АВР должна приходить в действие только после отключения выключателя рабочего источника со стороны шин потребителя, чтобы избежать включения резервного источника на КЗ в неотключившемся рабочем источнике. Выполнение этого требования исключает также в отдельных случаях несинхронное включение двух источников питания.

5) Для того, чтобы схема АВР действовала при исчезновении напряжения на шинах, питающих рабочий источник, когда его выключатель со стороны шин потребителя остаётся включённым, схема АВР должна дополняться специальным пусковым органом минимального напряжения.

6) Для ускорения отключения резервного источника при его включении на неустранившееся КЗ должно предусматриваться ускорение защиты резервного источника после АВР. Это особенно важно в тех случаях, когда потребители, потерявшие питание, подключаются к другому источнику, несущему нагрузку.



Питание потребителей, подключённых к 1 секции шин, осуществляется от трансформатора Т1, а потребителей, подключённых ко 2 секции шин – от трансформатора Т2. В свою очередь, Т1 получает питание по линии Л1 от подстанции А, а Т2 – по линии Л2 от подстанции Б. Секционный выключатель В5 в нормальном режиме отключён. В случае исчезновения напряжения на любой из секции шин схема АВР должна после отключения трансформатора, подключённого к этой секции шин, включить секционный выключатель В5 и тем самым восстановить питание потребителей от оставшегося в работе трансформатора.

Исчезновение напряжения на шинах любой из секций (например, для конкретности, на 1 секции шин) возможно по следующим причинам:

1) КЗ в зоне между выключателями В1 и В2 (т.е. внутри бака трансформатора Т1 или на его выводах).

2) Устойчивое КЗ на шинах потребителя (на 1 секции шин).

3) Отключение линии Л1 со стороны подстанции А.

Рассмотрим работу схемы АВР для каждого из этих трёх случаев.

1) При КЗ в зоне между выключателями В1 и В2 срабатывает токовая защита трансформатора Т1 (токовое реле РТ1, реле времени РВ1 и выходное промежуточное реле РП1). Реле РП1 своими контактами замыкает цепи отключения выключателей В1 и В2. Таким образом, повреждение изолировалось от шин потребителя.

Когда выключатель В1 находился во включённом положении, его блок-контакты БК1 и БК2 были замкнуты, а блок-контакт БК3 – разомкнут. При этом обмотка промежуточного реле РП2 получала питание через БК2, якорь этого реле был подтянут и контакты замкнуты. Реле РП2 устроено таким образом, что оно имеет выдержку времени на размыкание контактов при исчезновении питания.

При отключении выключателя В1 его блок-контакты меняют своё положение – БК1и БК2 размыкаются, БК3 замыкается. Блок-контакты БК2 разрывают цепь питания обмотки реле РП2, однако контакты этого реле ещё некоторое время остаются замкнутыми. При этом создаётся цепь включения секционного выключателя В5 (плюс оперативного тока подаётся через замкнутые контакты реле напряжения РН1, замкнувшиеся блок-контакты БК3, контакты реле РП2 и блок-контакты выключателя В5 на катушку включения последнего). Выключатель В5 включается и питание потребителей, подключённых к 1 секции шин, восстанавливается.

Выдержка времени на размыкание контактов реле РП2 должна быть немного больше времени включения выключателя В5 для того, чтобы он мог надёжно включиться. Сразу после включения выключателя В5 контакты РП2 размыкаются. Благодаря тому, что цепь включения выключателя В5 замыкается блок-контактами БК3 выключателя В1, т.е. после отключения выключателя рабочего источника со стороны шин потребителя.

Реле напряжения РН1 предусмотрено для того, чтобы предотвратить включение секционного выключателя В5 в случае отсутствия напряжения на стороне высшего напряжения трансформатора Т2, т.к. в этом случае действие АВР будет заведомо бесполезным. Реле напряжения РН1, подключённое к трансформатору напряжения ТН2, при отсутствии напряжения размыкает свои контакты и снимает плюс оперативного тока с цепи включения выключателя В5.

2) При устойчивом КЗ на 1 секции шин схема работает так же, как в первом случае. В результате происходит включение В5 на неустранившееся КЗ. При этом срабатывает токовая защита секционного выключателя В5 (реле тока РТ2, реле времени РВ2) и отключает В5, после чего 1 секция шин остаётся погашенной.

Повторного включения секционного выключателя В5 произойти не может, т.к. к моменту его отключения защитой

реле РП2 успевают разомкнуть контакты и тем самым разорвать цепь включения В5. Таким образом, реле РП2 обеспечивает однократность действия АВР и поэтому называется реле однократного включения.

Примечание: Цепи ускорения защиты после АВР в данной схеме не предусмотрены.

3) Для того, чтобы обеспечить действие АВР в случае, когда исчезновение напряжения на шинах 1 секции происходит из-за отключения линии Л1, предусмотрен специальный пусковой орган минимального напряжения, в который входят реле РН2 и РН3. При исчезновении напряжения на шинах 1 секции реле минимального напряжения РН2, подключённое к трансформатору напряжения ТН1, замыкает свои контакты и подаёт питание на обмотку реле времени РВ3. Реле РВ3 запускается и по истечении установленной выдержки времени подаёт плюс оперативного тока на обмотку выходного промежуточного реле РП1, которое отключает выключатели В1 и В2 трансформатора Т1. После отключения В1 АВР подействует, как в первом рассмотренном случае.

Выдержка времени реле РВ3 должна быть такой, чтобы АВР не успевало подействовать в случае замыкания контактов РН2 при кратковременном понижении напряжения на шинах, вызванном КЗ в распределительной сети (т.е. на фидерах, отходящих от 1 секции шин).

Поэтому выдержка времени РВ3 принимается большей, чем у защит отходящих фидеров.

## **ПРОГРАММА РАБОТЫ**

1. Ознакомиться со схемой АВР, приведённой на рис.5-3, и расположением отдельных элементов на лабораторном стенде.
2. Опробовать действие схемы АВР при исчезновении напряжения на 1 секции шин для трёх различных случаев, приведённых выше.

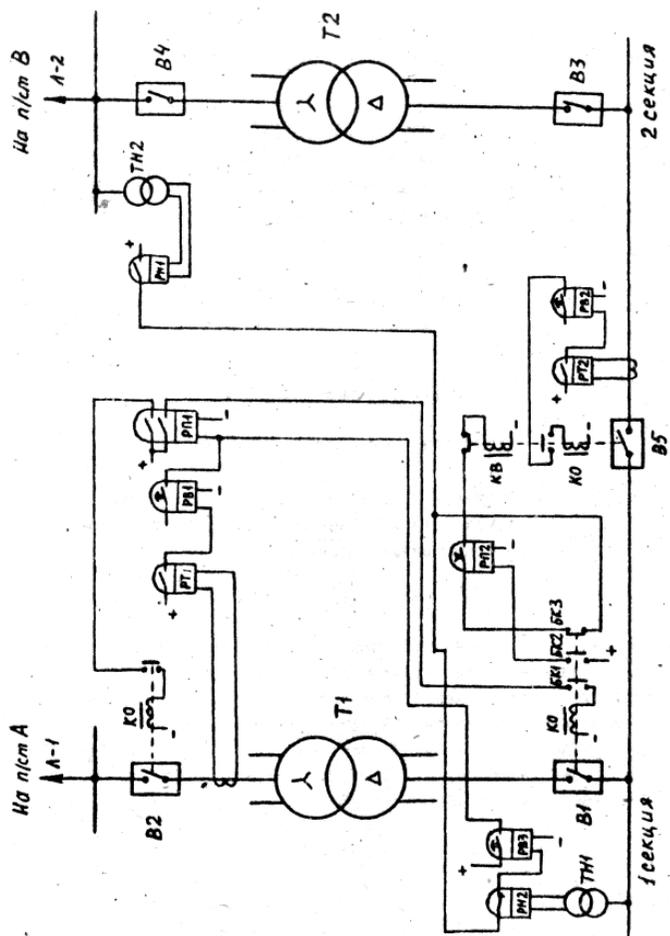


Рис.5-3

## **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА**

Отчёт должен содержать цель и программу работы, основные требования, предъявленные к устройствам АВР, а также схему устройства АВР и принцип ее действия.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Назначение и области применения устройства АВР.
2. Преимущества и недостатки кольцевой схемы электропитания по сравнению с радиальной, оснащённой устройствами АВР.
3. Требования, предъявляемые к схемам устройств АВР.
4. Как достигается в схеме, приведённой на рис.5-3, однократность действия АВР?
5. Назначение в схеме на рис.5-3 следующих реле: РН1, РН2, РВ3.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕТРОЭЛЕКТРО- СТАНЦИИ (ВЭС), РАБОТАЮЩЕЙ В ИЗОЛИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ, ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ**

#### **I. Цель работы**

Целью работы является исследование режимов работы ВЭС с асинхронным генератором и ветровой турбиной, работающей в изолированной системе электроснабжения, при автоматическом регулировании активной и реактивной мощности

## II. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Ветрогенераторы современных конструкций позволяют эффективно использовать энергию ветра. С помощью ветрогенераторов сегодня можно не только поставлять электроэнергию в «сеть», но и решать задачи электроснабжения локальных объектов, то есть работать в изолированной системе электроснабжения (рис.6-1). ВЭС используется для энергоснабжения небольших хозяйств, домов, коттеджей. Ветровая электростанция сможет обеспечить индивидуальных потребителей электричеством для пользования освещением, бытовыми приборами и др.

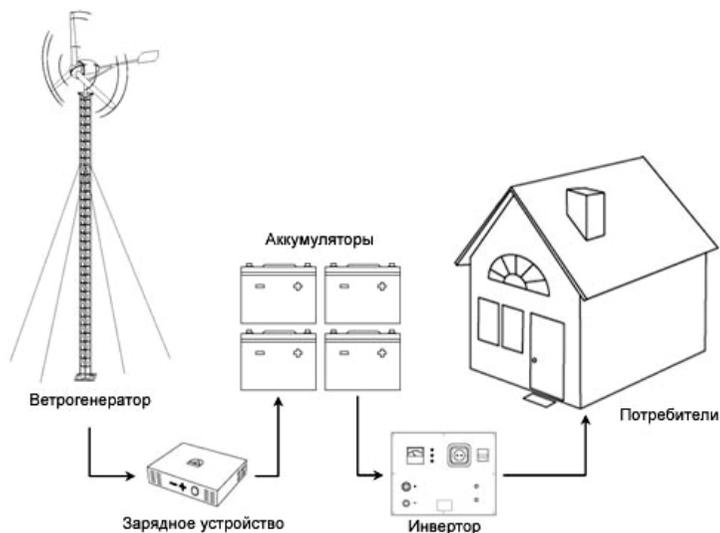


Рис.6-1. Ветрогенератор, работающий на изолированную систему электроснабжения.

Использование ветровых электростанций (ветрогенераторов) имеет ряд преимуществ по сравнению с другими

электростанциями:

- использование бесплатной возобновляемой энергии ветра;
- отсутствует проблема хранения и переработки отходов от сжигания топлива;
- использование ветрогенераторов является очень экологичным способом выработки электроэнергии.

Зависимость мощности ветровой турбины от скорости ветра показана на рис. 6-2.

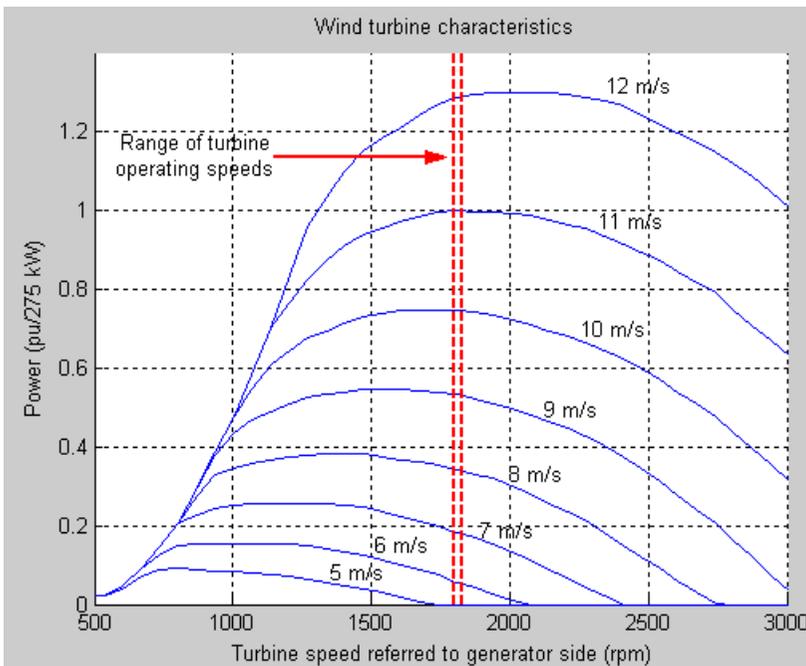


Рис.6-2. Характеристика ветровой турбины: зависимость мощности турбины от скорости ветра.

Для создания модели исследования режимов работы ВЭС в программном комплексе **Matlab** используются следующие элементы:

- Asynchronous Generator 480V 275kVA – Асинхронный генератор;
- Wind Turbine – Ветровая турбина;
- Synchronous Condenser 480V 300kVA – Синхронный компенсатор;
- Capacitor 75 kVAr – Конденсаторная батарея;
- Main load, Secondary load – Нагрузки;
- 3-Phase Breaker – 3-х фазный выключатель;
- Discrete Frequency Regulator – Автоматический регулятор частоты;
- Scope 1, 2 – осциллографы.

### III. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить схему исследования режимов работы электрической станции с асинхронным генератором и ветровой турбиной, работающей в изолированной системе электроснабжения (рис. 6-3).

2. Изучить блоки (элементы), необходимые для моделирования данной лабораторной работы на ЭВМ в приложении **Simulink** программного комплекса **Matlab**. Ознакомиться с параметрами их настроек.

3. В программном комплексе **Matlab** запустить приложение **Simulink** и выбрать библиотеку **SimPowerSystems**.

4. Составить блок – схемы элементов модели электрической станции с АГ и ВТ, соединить их между собой согласно принципиальной схеме.

5. Посредством генераторов различных сигналов организовать действующие на элементы и устройства ВЭС информативные и возмущающие воздействия.

6. Продемонстрировать реакцию основных элементов и устройств ВЭС на входные воздействия с помощью цифровых и аналоговых индикаторов.

7. Изменяя ряд коэффициентов, предусмотренных в

структурной схеме, изучить влияние различных параметров на изменение выходных сигналов элементов и устройств ВЭС.

8. Изменением параметров генератора, изменением нагрузки и имитированием возмущающих воздействий исследовать режимы работы электрической станции.

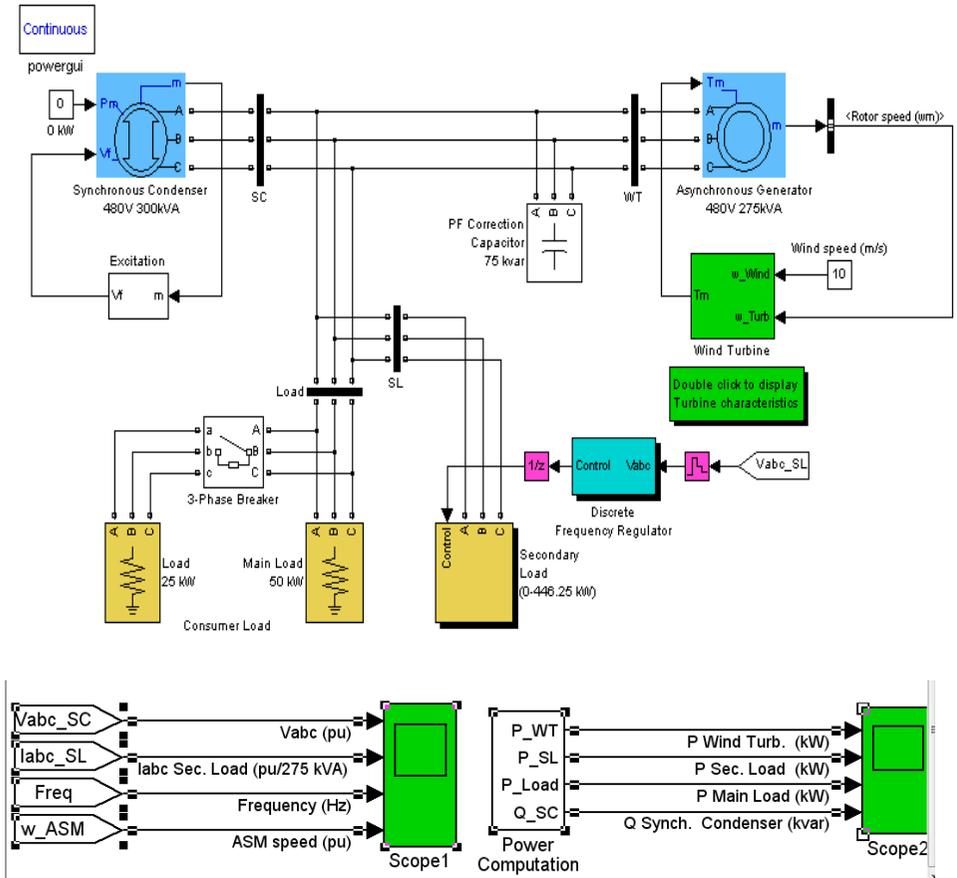


Рис.6-3. Схема испытываемой установки.

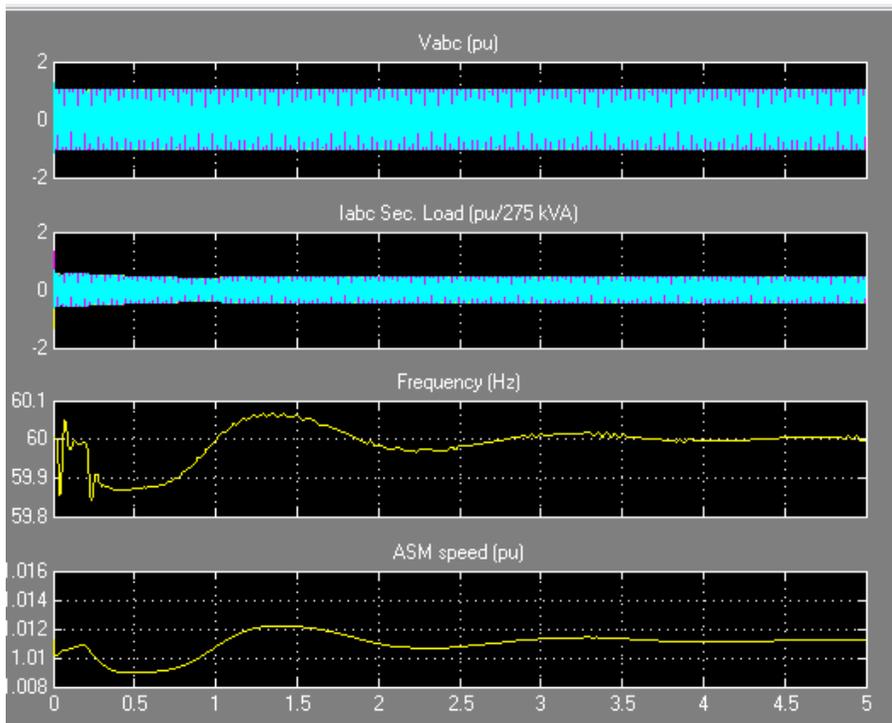


Рис.6-4. Графики, полученные при времени симуляции 5с посредством осциллографа 1.

#### IV. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

1. Привести принципиальную схему ВЭС, перечислить элементы и устройства электрической станции и описать их принцип действия.

2. Описать структурную схему исследования режимов работы ВЭС, работающей в изолированной системе электроснабжения.

3. Указать назначение элементов, использованных в модели программного комплекса **Matlab**. Привести параметры и величины, характеризующие работу элементов и устройств ветровой электрической станции.

4. Привести результаты симуляции при изменении величин и параметров элементов и устройств ветровой электрической станции и нагрузок.

5. Привести результаты анализа исследования режимов работы ВЭС в изолированной системе при автоматическом регулировании различных параметров и пределов измерения.

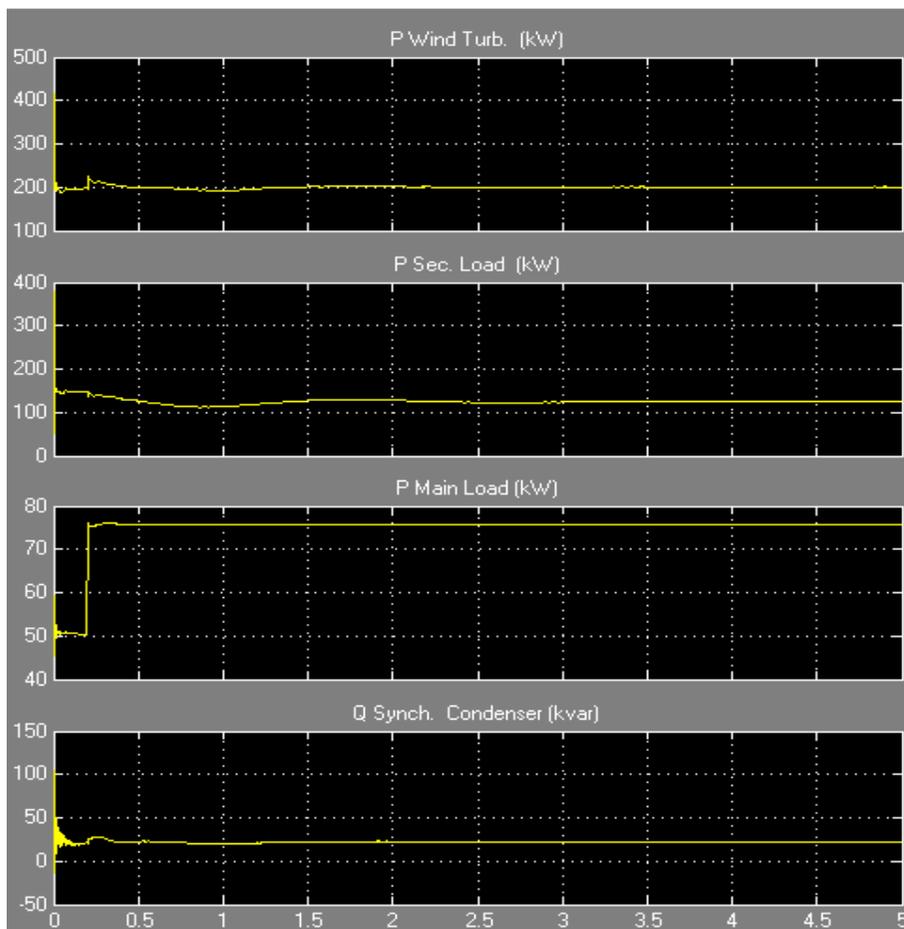


Рис.6-5. Графики, полученные при времени симуляции 5с посредством осциллографа 2.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение, принцип работы и области применения ВЭС.
2. Укажите назначение элементов, использованных в модели исследования режимов работы ВЭС в программном комплексе **Matlab**.
3. Какие параметры и величины характеризуют работу элементов и устройств ветровой электрической станции?
4. Как осуществляется автоматическое регулирование активной и реактивной мощности генератора?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. / Под ред. А.Ф.Дьякова. – М.: ЭНАС, 2000.
2. Беркович М.А., Гладышев В.Л., Семенов В.А. Автоматика электроэнергетики. – М.: ЭАИ, 1991.
3. Барзам А.Б. Системная автоматика. – М.: ЭАИ, 1989.
4. Электротехнический справочник: Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии./ Под общ. ред. профессоров МЭИ. – М.: Издательство МЭИ, 2004, 964 с.
5. [www.s-avtomatika.ru](http://www.s-avtomatika.ru)
6. [www.rtsoft.ru](http://www.rtsoft.ru)

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1.	<b>Синхронизация генераторов.....</b>	<b>3</b>
Лабораторная работа № 2.	<b>Компаундирование синхронного генератора.....</b>	<b>13</b>
Лабораторная работа № 3.	<b>Исследование устройства АПВ радиальной линии.....</b>	<b>20</b>
Лабораторная работа № 4.	<b>Автоматическое повторное включение (АПВ) линий с двусторонним питанием.....</b>	<b>28</b>
Лабораторная работа № 5.	<b>Автоматический ввод резервного питания.....</b>	<b>36</b>
Лабораторная работа № 6.	<b>Исследование режимов работы ветроэлектростанции (ВЭС), работающей в изолированной системе, при автоматическом регулировании параметров.....</b>	<b>44</b>
Литература .....	.....	51

Редактор      Ахметжанова Г.М.