

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2602086

УСТРОЙСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ПЕРЕДАВАЕМОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Патентообладатель(ли): *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015146359

Приоритет изобретения 27 октября 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 19 октября 2016 г.

Срок действия патента истекает 27 октября 2035 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015146359/07, 27.10.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.10.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.10.2015

(45) Опубликовано: 10.11.2016 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU2446537C1, 27.03.2012.
JP2007306744A, 22.11.2007. SU744840A1,
30.06.1980.

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный
университет", отдел интеллектуальной
собственности и трансфера технологий (отдел
ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

Абрамович Борис Николаевич (RU),
Сычев Юрий Анатольевич (RU),
Федоров Алексей Вячеславович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

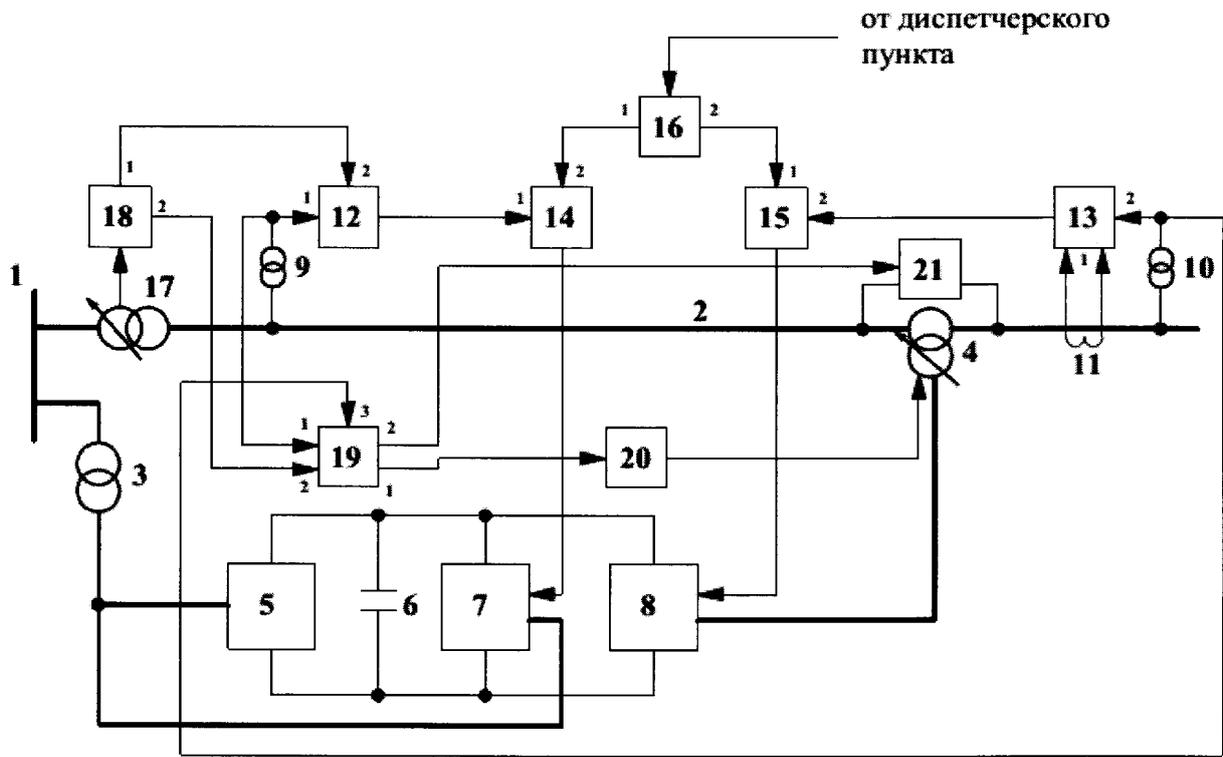
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет" (RU)

**(54) УСТРОЙСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ПЕРЕДАВАЕМОЙ МОЩНОСТИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике и электроэнергетике, а именно к устройствам регулирования напряжения и передаваемой мощности в электрических распределительных сетях переменного тока. Техническим результатом является повышение эффективности регулирования уровня и длительности отклонения напряжения, а также повышение коэффициента мощности сети. Устройство содержит первый силовой трансформатор без устройства регулирования напряжения под нагрузкой (РПН); второй силовой вольтодобавочный трансформатор с устройством РПН на вторичной обмотке; трехфазный неуправляемый

выпрямитель; конденсатор; первый и второй трехфазные инверторы; первый и второй измерительные трансформаторы напряжения; измерительный трансформатор тока; блок измерения напряжения; блок измерения мощности; первый и второй блоки управления; блок логики; третий питающий силовой трансформатор с устройством РПН на первичной обмотке; блок управления устройством РПН трансформатора; блок тиристорного коммутатора, блок синхронизации регулирования напряжений; блок управления устройством РПН вольтодобавочного трансформатора. 1 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2015146359/07, 27.10.2015

(24) Effective date for property rights:
27.10.2015

Priority:

(22) Date of filing: 27.10.2015

(45) Date of publication: 10.11.2016 Bull. № 31

Mail address:

199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet", otdel
intelektualnoj sobstvennosti i transfera tekhnologij
(otdel IS i TT)

(72) Inventor(s):

**Abramovich Boris Nikolaevich (RU),
Sychev JUrij Anatolevich (RU),
Fedorov Aleksej Vjacheslavovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj
universitet" (RU)**

(54) **DEVICE FOR CONTROLLING VOLTAGE AND TRANSMITTED POWER OF ELECTRIC NETWORK**

(57) Abstract:

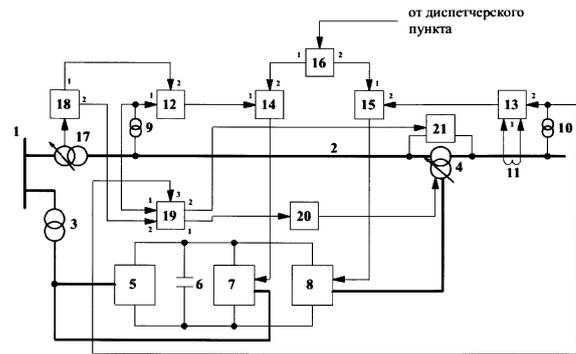
FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to electrical engineering and power engineering, specifically to devices for controlling voltage and power transmitted in electric AC distribution networks. Device comprises a first power transformer without a device for controlling load voltage; second power booster transformer with device for controlling load voltage on secondary winding; three-phase uncontrolled rectifier; capacitor; first and second three-phase inverters; first and second measuring voltage transformers; measuring current transformer; voltage measurement unit; power measurement unit; first and second control units; logic unit; third feed power transformer with device for controlling load voltage on primary winding; unit for controlling device for controlling load voltage of transformer; unit of thyristor commutator, unit for synchronisation of voltage control; unit for controlling

device for controlling load voltage of booster transformer.

EFFECT: high efficiency of controlling level and duration of voltage deviation, as well as increased grid power ratio.

1 cl, 1 dwg



RU 2 602 086 C1

RU 2 602 086 C1

Изобретение относится к электротехнике и электроэнергетике, а именно к устройствам регулирования напряжения и передаваемой мощности в электрических распределительных сетях переменного тока. Устройство может быть использовано в системах электроснабжения промышленных предприятий, для которых характерны частые провалы и отклонения напряжения различной глубины, вследствие частого запуска мощных электродвигателей и коммутации нагрузки с различным режимом работы и уровнем потребления активной и реактивной мощности.

Известно устройство для автоматического регулирования напряжения узла электрической сети (патент SU №1330699, дата публикации: 15.08.1987), содержащее трансформатор узла нагрузки, переключение отпаяк которого осуществляется блоком регулирования напряжения под нагрузкой, управляемого блоком автоматического регулирования напряжения. Блок автоматического регулирования напряжения подключен к датчику напряжения и через функциональный преобразователь тока компенсации к блокам токовой компенсации отходящих присоединений.

Знакоанализирующий блок управляет моментом переключения отпаяк трансформатора посредством устройства регулирования напряжения под нагрузкой. На входы знакоанализирующего блока поступают сигналы с выхода блока автоматического регулирования напряжения и через дифференцирующий блок с выхода фазоизмерительного блока, входы которого через телеканалы связи подключены к питающей и приемной системам. Знакоанализирующий блок вырабатывает сигнал в том случае, когда совпадают знаки сигналов на его входе. Если знаки выходных сигналов различные, то это устройство не выдает сигнала.

Недостатками устройства являются отсутствие вольтодобавочного трансформатора, невысокое быстродействие и невозможность синхронизации регулирования уровней напряжения в начале и конце питающей линии при значительной ее длине. Помимо этого устройство не способно регулировать потребление мощности при изменении направления ее потока в питающей линии.

Известно устройство для автоматического регулирования напряжения в сетях с двухсторонним питанием (патент SU №744840, дата публикации: 30.06.1980), содержащее вольтодобавочный трансформатор с первичной обмоткой, включенной в линию и обмоткой возбуждения, соединенной в треугольник. Каждое плечо этого треугольника состоит из последовательных секций, параллельно которым включены замыкающиеся контакты контактора управления, катушка которого включена на один из выходов блока контроля напряжения, выполненного из полупроводниковых или релейно-контактных элементов. Вход блока контроля напряжения подключен к переменному резистору, включенному во вторичную цепь трансформатора тока. Вершины треугольника обмотки возбуждения подключены посредством контактов контактора управления к трем фазам линии, а катушка этого контактора включена на другой выход блока контроля напряжения.

Недостатками устройства являются невысокое быстродействие и невозможность синхронизации регулирования уровней напряжения в начале и конце питающей линии при значительной ее длине.

Известна система регулирования напряжения распределительной сети (патент JP №2007306744, дата публикации: 28.11.2009), разделенная на группы, включающая один трансформатор с устройством регулирования напряжения под нагрузкой и распределительную сеть, подключенную к вторичной обмотке этого трансформатора. Распределительная сеть состоит из групп, каждая из которых включает в себя трансформатор с устройством регулирования напряжения под нагрузкой, устройство

мониторинга и устройство управления.

Недостатком системы является отсутствие вольтодобавочных трансформаторов, большое число трансформаторов с устройством регулирования напряжения под нагрузкой, неспособность регулирования потребления мощности при изменении
5 направления ее потока в питающих линиях и невозможность синхронизации регулирования уровней напряжения в начале и конце питающих линий при значительной их длине.

Известен регулятор напряжения и передаваемой мощности (патент RU №2356081, дата публикации 20.05.2009), содержащий узел сети переменного тока, участок линии
10 электропередачи, силовые трансформаторы, трехфазный выпрямитель, конденсатор, трехфазные инверторы, измерительные трансформаторы напряжения, измерительный трансформатор тока, блок измерения напряжения, блок измерения мощности, передаваемой по линии, блоки управления, блок логики.

Недостатком устройства является невозможность синхронизации регулирования
15 уровня напряжения в начале и конце питающей линии при значительной ее длине и отсутствие вольтодобавочного трансформатора.

Известно устройство регулирования напряжения и передаваемой мощности электрической сети (патент RU №2446537, дата публикации 27.03.2012), принятое за прототип и содержащее первый силовой трансформатор без устройства регулирования
20 напряжения под нагрузкой (РПН), второй силовой вольтодобавочный трансформатор с устройством РПН на вторичной обмотке, трехфазный неуправляемый выпрямитель, конденсатор, первый и второй трехфазные инверторы, первый и второй измерительные трансформаторы напряжения, измерительный трансформатор тока, блок измерения напряжения, блок измерения мощности, первый и второй блоки управления, блок
25 логики, третий питающий силовой трансформатор с устройством РПН на первичной обмотке, установленный в начале линии, блоки управления устройством РПН второго и третьего трансформатора, блок синхронизации регулирования напряжений.

Недостатком устройства является наличие потерь напряжения во вторичной обмотке
30 второго силового вольтодобавочного трансформатора при выводе его из работы в случае отсутствия необходимости в добавке напряжения в конце линии.

Техническим результатом является повышение эффективности регулирования напряжения в протяженных линиях электропередачи.

Технический результат достигается тем, что в состав устройства регулирования
35 напряжения и передаваемой мощности электрической сети, содержащего первый силовой, второй и третий силовые вольтодобавочные трансформаторы, блоки управления устройств регулирования напряжения под нагрузкой второго и третьего силового вольтодобавочного трансформатора, выпрямитель, конденсатор, первый и второй инверторы, первый и второй измерительные трансформаторы напряжения, измерительный трансформатор тока, первый и второй блоки управления инверторами,
40 блок измерения напряжения, блок измерения мощности, блок логики, блок синхронизации регулирования напряжения, дополнительно введен тиристорный коммутатор, который подключен параллельно первичной обмотке второго силового вольтодобавочного трансформатора, а выход блока синхронизации регулирования напряжения соединен с входом тиристорного коммутатора.

Предлагаемое устройство поясняется чертежом, представленным на фиг. 1, где
45 показана структура устройства. На фиг. 1: 1 - сборные шины сети переменного тока; 2 - протяженная линия электропередачи; 3 - первый силовой трансформатор без устройства регулирования напряжения под нагрузкой (РПН); 4 - второй силовой

вольтодобавочный трансформатор с устройством РПН на вторичной обмотке; 5 - трехфазный неуправляемый выпрямитель; 6 - конденсатор; 7 - первый трехфазный инвертор; 8 - второй трехфазный инвертор; 9 - первый измерительный трансформатор напряжения; 10 - второй измерительный трансформатор напряжения; 11 - измерительный трансформатор тока; 12 - блок измерения напряжения; 13 - блок измерения мощности; 14 - первый блок управления; 15 - второй блок управления; 16 - блок логики; 17 - третий питающий силовой трансформатор с устройством РПН на первичной обмотке, установленный в начале линии; 18 - блок управления устройством РПН трансформатора 17; 19 - блок синхронизации регулирования напряжений; 20 - блок управления устройством РПН вольтодобавочного трансформатора 4, 21 - тиристорный коммутатор.

Устройство регулирования напряжения и передаваемой мощности электрической сети работает следующим образом. К сборным шинам сети переменного тока 1 подключен третий питающий силовой трансформатор 17 с устройством РПН, установленный в начале питающей протяженной линии 2. К первичной обмотке трансформатора 17 подключен блок управления РПН 18. Первичная обмотка первого силового трансформатора 3 без устройства РПН подключена к сборным шинам сети переменного тока 1, вторичная обмотка силового трансформатора 3 подключена к входу переменного тока трехфазного выпрямителя 5. К выходу трехфазного выпрямителя 5 подключен конденсатор 6, который также соединен с входом переменного тока первого трехфазного инвертора 7. К выходу первого трехфазного инвертора 7 подключен вход второго трехфазного инвертора 8, выход которого подключен к вторичной обмотке второго вольтодобавочного силового трансформатора 4 с устройством РПН, который установлен в конце протяженной линии электропередачи 2. Первичная обмотка вольтодобавочного трансформатора 4 соединена последовательно с протяженной линией электропередачи 2. Устройство РПН у вольтодобавочного трансформатора 4 установлено на вторичной обмотке. К сборным шинам сети переменного тока 1 подключен первый измерительный трансформатор напряжения 9, выход которого подключен к первому входу блока измерения напряжения 12. Ко второму входу блока измерения напряжения 12 подключен выход блока управления РПН 18. К выходу блока измерения напряжения 12 подключен первый вход первого блока управления 14, второй вход которого соединен с первым выходом блока логики 16. Выход первого блока управления 14 подключен к изолированным затворам биполярных транзисторов первого трехфазного инвертора 7. К протяженной линии электропередачи 2 подключен измерительный трансформатор тока 11, вторичная обмотка которого подключена к первому входу блока измерения мощности 13, передаваемой по линии 2, к которой подключен второй измерительный трансформатор напряжения 10, выход которого подключен ко второму входу блока измерения мощности 13, передаваемой по линии 2. Выход блока измерения мощности 13 подключен ко второму входу второго блока управления 15, выход которого подключен к изолированным затворам биполярных транзисторов второго трехфазного инвертора 8. Первый вход второго блока управления 15 соединен со вторым выходом блока логики 16. На вход блока логики 16 поступает сигнал с пульта управления или диспетчерского пункта энергосистемы. Первый выход блока управления РПН 18 подключен ко второму входу блока измерения напряжения 12. Вторым выходом блока управления РПН 18 подключен к входу блока синхронизации регулирования напряжений 19, первый выход которого подключен к входу блока управления РПН 20 вольтодобавочного трансформатора 4. Выход первого измерительного трансформатора 9 подключен к первому входу блока синхронизации регулирования напряжений 19,

второй выход блока управления РПН 18 подключен ко второму входу блока синхронизации регулирования напряжений 19, выход второго измерительного трансформатора напряжения 10 также подключен к третьему входу синхронизации регулирования напряжений 19, второй выход которого соединен с тиристорным коммутатором 21.

Устройство работает следующим образом. По первому сигналу с диспетчерского пункта, поступающему на вход блока логики 16, с выхода 1 этого блока на вход 2 первого блока управления 14 поступает сигнал, активизирующий вход 1 первого блока управления 14, на который с выхода блока измерения напряжения 12, подключенного ко вторичной обмотке измерительного трансформатора напряжения 9, поступает сигнал, соответствующий значению напряжения на сборных шинах сети переменного тока 1. Блок управления РПН 18 анализирует уровень напряжения и положение контакта устройства РПН трансформатора 17 и отслеживает, в какую сторону от номинального значения напряжения первичной обмотки перемещается контакт устройства РПН: в сторону уменьшения напряжения или в сторону его увеличения. На вход 2 блока измерения напряжения 12 поступает сигнал об уровне напряжения и положении контактов РПН на первичной обмотке трансформатора 17 от блока управления РПН 18. Блок измерения напряжения 12 выполняет сравнение величин напряжения на первичной и вторичной обмотке трансформатора 17 с учетом коэффициента трансформации и в зависимости от того, на сколько ступеней регулирования и в какую сторону перемещается контакт устройства РПН трансформатора 17, вырабатывает соответствующий сигнал, который подается на первый вход первого блока управления 14. Также сигнал с выхода блока управления РПН 18 поступает на вход блока синхронизации напряжения 19, вместе с сигналами с выхода первого измерительного трансформатора напряжения 9 о величине напряжения U_1 в начале протяженной линии 2 и выхода второго измерительного трансформатора напряжения 10 о величине напряжения U_2 в конце протяженной линии 2 с учетом потерь $\Delta U_{\text{пот}}$. Блок синхронизации регулирования напряжений 19 осуществляет синхронизацию по трем основным параметрам: фазе напряжения φ_U , времени регулирования напряжения $t_{\text{рег}}$ и величине напряжения U . При наличии протяженной линии 2 и значительных потерях напряжения наличие блока синхронизации регулирования напряжения позволяет обеспечивать заданный режим напряжения в начале и конце протяженной питающей линии и минимизировать величину и длительность отклонений напряжения. Таким образом, блок 19, обладая информацией о величине и фазе напряжения на первичной обмотке питающего трансформатора 17, величинах и фазах напряжения в начале и конце протяженной линии электропередачи 2, времени регулирования, осуществляет синхронизацию регулирования уровней напряжения в начале и конце линии 2 и вырабатывает сигнал о величине напряжения ΔU_2 на которую вольтодобавочный трансформатор 4 с устройством РПН должен увеличить или уменьшить напряжение в конце линии 2 в зависимости от уровня и фазы напряжения U_1 в начале линии 2 на вторичной обмотке трансформатора 17, уровня и фазы напряжения U_2 в конце линии 2 и ступени регулирования напряжения на первичной обмотке трансформатора 17.

Кроме того, в случае незначительных изменений значения напряжения в конце питающей линии 2 посредством тиристорного коммутатора 21, который подключен параллельно вторичной обмотке второго питающего вольтодобавочного трансформатора 4, обеспечивается замыкание вторичной обмотки. При этом достигается низкое сопротивление части обмотки, последовательно соединенной с сетью, чем

обеспечивается снижение потерь в линии, а когда происходит провал напряжения, на тиристорный коммутатор 21 с блока 19 поступает сигнал, цепь размыкается, что обеспечивает повышение эффективности использования вольтодобавочного трансформатора. Также тиристорный коммутатор 21 используется для шунтирования вторичной обмотки второго питающего вольтодобавочного трансформатора 4 при отсутствии необходимости добавления напряжения в конце питающей линии при выводе трансформатора 4 из работы.

Далее с выхода первого блока управления 14 на изолированные затворы биполярных транзисторов первого трехфазного инвертора 7 поступают импульсы управления, изменяющие частоту и длительность открытия транзисторов инвертора 7, с выхода переменного тока которого напряжение ступенчатой формы, близкой к синусоидальной, подается на вторичную обмотку трансформатора 3, величина напряжения первичной обмотки которого с учетом значения ΔU_2 оказывает влияние на значение напряжения в конце протяженной линии 2, которое регулируется устройством РПН силового трансформатора 17 со стороны сборных шин 1. Через реактивное сопротивление сети 1 протекает суммарный ток, фаза и величина которого определяет реактивную мощность, необходимую для поддержания заданного уровня напряжения на сборных шинах сети переменного тока 1 и в конце протяженной линии 2 с учетом потерь в линии $2 \Delta U_{\text{пот}}$. В данном режиме устройство осуществляет синхронизированное регулирование уровней напряжения в начале и конце протяженной линии 2.

По второму сигналу с диспетчерского пункта, поступающему на вход блока логики 16, с выхода 1 этого блока прекращается подача сигнала на вход 2 первого блока управления 14, с выхода которого перестают поступать импульсы управления. Первый трехфазный инвертор 7 отключается. Одновременно с выхода 2 блока логики 16 на вход 1 второго блока управления 15 поступает сигнал, активизирующий вход 2 второго блока управления 15, на который с выхода блока измерения мощности 13, передаваемой по линии, вход 1 которого соединен со вторичной обмоткой измерительного трансформатора тока 11, а вход 2 - с выходом второго измерительного трансформатора напряжения 10, поступает сигнал, соответствующий значению передаваемой активной мощности по линии 2. При этом с выхода блока управления 15 на изолированные затворы биполярных транзисторов второго трехфазного инвертора 8 поступают импульсы управления, изменяющие частоту и длительность открытия транзисторов инвертора 8, с выхода переменного тока которого напряжение ступенчатой формы, близкой к синусоидальной, подается на вторичную обмотку второго силового вольтодобавочного трансформатора 4 с устройством РПН 20. Величина этого напряжения корректируется устройством РПН 20, установленным на вторичной обмотке второго силового вольтодобавочного трансформатора, на основании сигнала с блока управления РПН 20, который, в свою очередь, получает сигнал с блока синхронизации регулирования напряжений 19. Ток первичной обмотки второго силового вольтодобавочного трансформатора 4, складываясь с током протяженной линии 2, увеличивает или уменьшает передаваемую по ней активную мощность. В данном режиме устройство осуществляет синхронизированное регулирование уровня активной мощности, передаваемой по протяженной линии 2.

По третьему сигналу с диспетчерского пункта, поступающему на вход блока логики 16, с выходов 1, 2 этого блока на вход 2 первого блока управления 14 и на вход 1 второго блока управления 15 поступают сигналы, активизирующие входы 1, 2 первого и второго блоков управления 14 и 15 соответственно. При этом с выходов первого и второго блоков управления 14 и 15 импульсы управления поступают на изолированные затворы

биполярных транзисторов первого и второго трехфазных инверторов 7 и 8, с выходов которых напряжение ступенчатой формы, близкой к синусоидальной, подается на вторичные обмотки силовых трансформаторов 3 и 4 соответственно. Напряжение первичной обмотки силового трансформатора 3 взаимодействует с сетевым напряжением, которое регулируется устройством РПН третьего силового трансформатора 17, и за счет реактивного сопротивления питающей сети 1 создается ток в общей цепи. Фаза и величина этого тока определяет реактивную мощность, необходимую для поддержания заданного уровня напряжения на сборных шинах сети переменного тока 1. Ток первичной обмотки второго силового вольтодобавочного трансформатора 4, складываясь с током линии, увеличивает или уменьшает передаваемую по ней активную мощность, с учетом сигнала от блока синхронизации регулирования напряжений 19. В данном режиме устройство осуществляет синхронизированное совместное регулирование напряжения на сборных шинах сети переменного тока 1 и мощности, передаваемой по протяженной линии 2.

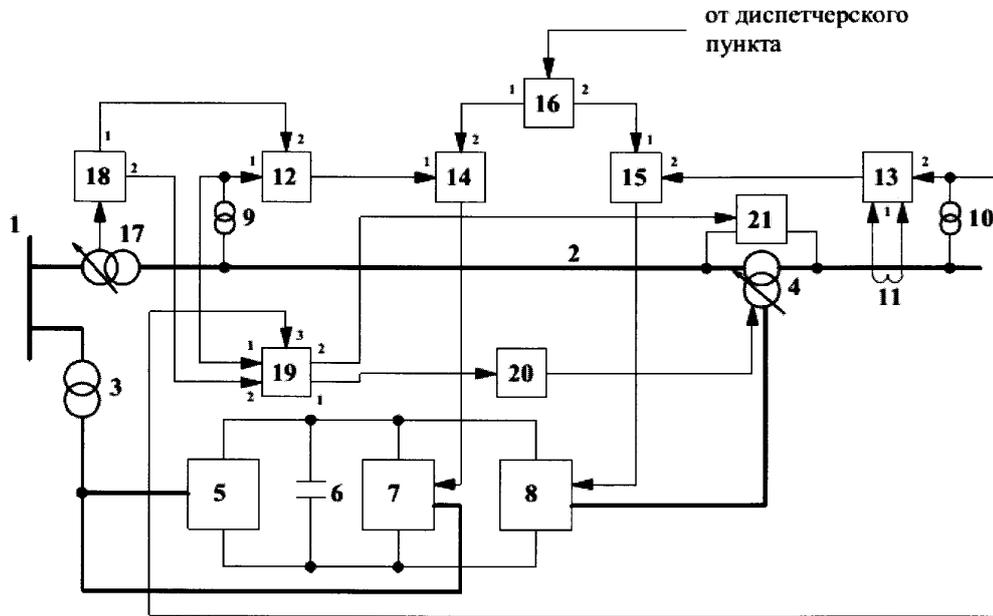
Таким образом, благодаря совокупному использованию третьего питающего силового трансформатора 17 с устройством РПН, блока управления 18 устройством РПН трансформатора 17, блока синхронизации регулирования напряжений 19, блока управления 20 устройством РПН второго силового вольтодобавочного трансформатора 4, тиристорному коммутатору 21, предлагаемое устройство позволяет осуществлять более эффективное синхронизированное регулирование уровня напряжения и передаваемой мощности в условиях протяженной питающей линии со значительными потерями напряжения. Синхронизация регулирования напряжения и передаваемой мощности также позволяет повысить коэффициент мощности сети.

Аппаратная реализация предлагаемого устройства может быть осуществлена с помощью существующих силовых электротехнических, электронных и микропроцессорных устройств при надлежащем выборе и настройке соответствующих параметров.

Формула изобретения

Устройство регулирования напряжения и передаваемой мощности электрической сети, содержащее первый силовой, второй и третий силовые вольтодобавочные трансформаторы, блоки управления устройств регулирования напряжения под нагрузкой второго и третьего силового вольтодобавочного трансформатора, выпрямитель, конденсатор, первый и второй инверторы, первый и второй измерительные трансформаторы напряжения, измерительный трансформатор тока, первый и второй блоки управления инверторами, блок измерения напряжения, блок измерения мощности, блок логики, блок синхронизации регулирования напряжения, отличающееся тем, что оно дополнительно снабжено тиристорным коммутатором, который подключен параллельно первичной обмотке второго силового вольтодобавочного трансформатора, а выход блока синхронизации регулирования напряжения соединен с входом тиристорного коммутатора.

**УСТРОЙСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И
ПЕРЕДАВАЕМОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
СЕТИ**



Фиг. 1