



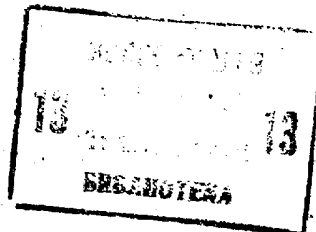
СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) **SU** (11) **1164822** **A**

4(51) Н 02 J 3/06

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



(21) 3685049/24-07

(22) 03.01.84

(46) 30.06.85. Бюл. № 24

(72) С.И.Хмельник

(71) Ордена Октябрьской Революции
всесоюзный государственный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт "Энергосетьпроект"

(53) 621.316.728(088.8)

(56) Авторское свидетельство СССР
по заявке № 3462293/07,
кл. Н 02 J 3/06, 1982.

Авторское свидетельство СССР
по заявке № 3507058/07,
кл. Н 02 J 3/06, 1982.

(54)(57) УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРЕТОКОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ, содержащее блок телеизмерения регулируемых параметров, состоящий из датчиков перетоков мощности и датчиков генерируемых мощностей, вход которого соединен с энергосистемой, первый выход объединяет выходы датчиков перетоков мощности, а второй - выходы датчиков генерирующих мощностей, блок задатчиков уставок, выход которого объединяет выходы задатчиков уставок, и управляющий блок, связанный своим выходом через канал управления мощностью регулируемых объектов с энергосистемой, причем управляющий блок содержит блок корректирующих фильтров и блок расчета фактических уставок и весовых коэффициентов, у которого имеется первый вход, связанный с первым выходом блока телеизмерений, объединяющим выходы датчиков перетоков мощности,

второй вход, связанный с вторым выходом блока телеизмерений, объединяющим выходы датчиков генерируемых мощностей, третий вход, связанный с выходом задатчика уставок, четвертый вход, соединенный с входом блока корректирующих фильтров, первый выход фактических уставок и второй выход весовых коэффициентов, а выход блока корректирующих фильтров является выходом управляющего блока в целом, отличающееся тем, что, с целью повышения надежности энергоснабжения путем увеличения быстродействия и точности регулирования, в управляющий блок дополнительно включен блок формирования управляющих воздействий, который выполнен из имитаторов узлов энергосистемы и имитаторов линий электропередач, количество которых определяется количеством узлов и линий электропередач энергосистемы, каждый имитатор линии электропередач имеет два функциональных и два управляющих входа, а каждый имитатор узла энергосистемы имеет еще и управляющий выход, причем эти выходы образуют в совокупности выход блока формирования управляющих воздействий в целом, соединенный с входом блока корректирующих фильтров, первые управляющие входы всех имитаторов образуют в совокупности первый вход блока формирования управляющих воздействий, связанный с вторым выходом весовых коэффициентов блока расчета фактических уставок и весовых коэффициентов, вторые управляющие входы всех имитаторов линий электропередачи образуют в

(19) **SU** (11) **1164822** **A**

совокупности второй вход блока формирования управляющих воздействий, связанный с первым выходом фактических уставок блока расчета фактических уставок и весовых коэффициентов, вторые управляющие входы всех имитаторов узлов энергосистемы образуют в совокупности третий вход блока формирования управляющих воздействий, связанный с вторым выходом блока телеизмерений, объединяющим выходы датчиков генерирующих мощностей, первые функциональные входы всех имитаторов узлов энергосистемы объединены, вторые функциональные входы этих имитаторов и первый и второй функциональные входы всех имитаторов линий электропередач соединены между собой аналогично соединению концов имитируемых линий электропередач с имитируемыми узлами энергосистемы, при этом каждый имитатор

узла энергосистемы выполнен в виде последовательно соединенных усилителя и управляемого резистора, включенных параллельно с управляемым источником тока между двумя функциональными входами имитатора, управляющие входы управляемого резистора и управляемого источника тока являются соответственно первым и вторым управляющими входами имитатора в целом, а выход усилителя является управляющим выходом имитатора в целом, каждый имитатор линии электропередач выполнен в виде параллельно соединенных управляемого резистора и управляемого источника тока, подключенных между двумя функциональными входами имитатора, а управляющие входы управляемого резистора и управляемого источника тока являются соответственно первым и вторым управляющими входами имитатора в целом.

1

Предлагаемое устройство относится к электроэнергетике.

Цель изобретения - повышение надежности энергоснабжения путем увеличения быстродействия и точности регулирования.

На фиг. 1 схематически изображено предлагаемое устройство; на фиг. 2 - блок формирования управляющих воздействий; на фиг. 3 и 4 - узлы, входящие в состав блока формирования управляющих воздействий, (в частности, на фиг. 3 - имитатор узла энергосистемы, а на фиг. 4 - имитатор линии электропередач), на фиг. 5 - пример некоторой энергосистемы; на фиг. 6 - электрическая цепь, эквивалентная этой энергосистеме.

Предлагаемое устройство (фиг. 1) содержит соединенный с энергосистемой 1 блок 2 телеизмерений регулируемых параметров и блок 3 задатчиков уставок. С энергосистемой 1 каналом 4 управления мощностью регулируемых объектов связан управляющий блок 5. Входы управляющего блока 5 присоединены к выходам блока 2 телеизмерений регулируемых параметров

2

и блока 3 задатчиков уставок. Блок 2 телеизмерений состоит из отдельных датчиков 2-1-1; 2-1-2, ... регулируемых перетоков и 2-1-1; 2-2-2, ... генерируемых мощностей. Блок 3 задатчиков уставок состоит из отдельных задатчиков 3-1-1; 3-1-2, ... уставок по перетокам мощности и 3-2-1; 3-2-2, ... уставок по генерируемым мощностям.

Множество выходов датчиков 2-1-1; 2-1-2, ... назовем первым выходом блока 2 телеизмерений, а множество выходов датчиков 2-2-1; 2-2-2, ... - вторым выходом этого блока. Аналогично, множество выходов задатчиков 3-1-1; 3-1-2, ..., 3-2-1; 3-2-2, ... назовем выходом блока 3 задатчиков уставок.

Управляющий блок 5 содержит блок 6 корректирующих фильтров 6-1, 6-2, ... блок 8 формирования управляющих воздействий и блок 7 расчета фактических уставок и весовых коэффициентов, у которого к трем первым входам присоединены выходы блока 2 телеизмерений и выход задатчика 3 уставок, а четвертый вход соединен с входом

блока 6 корректирующих фильтров, выход которого является выходом управляющего блока в целом. У блока 8 формирования управляющих воздействий выход соединен с объединенными входами блока 6 корректирующих фильтров и блока 7 расчета фактических уставок и весовых коэффициентов, два первых входа подключены к выходам этого блока 7, третий вход соединен с первым выходом блока 2 телеизмерений. При этом блок формирования управляющих воздействий (фиг.2) выполнен из имитаторов узлов энергосистемы 9-1; 9-2, ..., 9-K, ... и имитаторов линий электропередач 10-1; 10-2, ..., 10-4, ..., количество которых определяется количеством узлов и линий электропередач энергосистемы. Каждый имитатор 10 линий электропередач имеет два функциональных и два управляющих входа, а каждый имитатор 9 узла энергосистемы имеет еще и управляющий выход, причем эти выходы образуют в совокупности выход блока 8 формирования управляющих воздействий в целом. Первые управляющие входы всех имитаторов образуют в совокупности первый вход этого блока, вторые управляющие входы всех имитаторов 9 узлов энергосистемы - третий вход этого блока. Первые функциональные входы всех имитаторов 9 узлов энергосистемы объединены. Вторые функциональные входы этих имитаторов 9 и первый и второй функциональные входы всех имитаторов 10 линий электропередач соединены между собой аналогично соединению концов имитируемых линий электропередач с имитируемыми узлами энергосистемы: каждая линия электропередач имитируется одним из имитаторов 10-*i*, а каждый узел энергосистемы имитируется одним из имитаторов 9-K. Каждый имитатор узла энергосистемы 9 выполнен (фиг.3) в виде управляемого источника 11 тока, соединенного параллельно с последовательно соединенными усилителем 12 и управляемым резистором 13, включенным между двумя функциональными входами имитатора. Управляющие входы управляемого резистора 13 и управляемого источника тока 11 являются соответственно первым и вторым управляющими входами имитатора 9 в целом, а выход усилителя 12 является управляющим выходом имитатора 9 в целом. Каждый имитатор 10

линии электропередач (фиг.4) выполнен в виде параллельно соединенных управляемого источника 14 тока и управляемого резистора 15, подключенных между двумя функциональными входами имитатора, а управляющие входы управляемого резистора и управляемого источника тока являются соответственно первым и вторым управляющими входами имитатора в целом. Блок 7 расчета фактических уставок и весовых коэффициентов выполнен в полном соответствии с прототипом. Этот блок содержит две группы схем сравнения, входы которых являются входами блока расчета фактических уставок и весовых коэффициентов в целом. Кроме того, этот блок 7 содержит блоки регистров, выходы которых являются выходами блока 7 расчета фактических уставок и весовых коэффициентов в целом. Источники 11 и 14 тока, используемые в устройстве, вырабатывают ток постоянной величины, не зависящей от напряжения на зажимах источника тока и определяемой сигналом на его управляющем входе.

Прежде всего рассмотрим постановку задачи регулирования, решаемую предлагаемым устройством.

Задача регулирования частоты и перетоков активной мощности в энергосистеме имеет следующую математическую формулировку: минимизировать J при условиях

$$P_{Ai}^* = P_{Ai} + \sum_{k=1}^n \delta_{ik} V_k, \quad (1)$$

$$f^* = f + \beta \sum_{k=1}^n V_k, \quad (2)$$

$$J = \sum_{i=1}^p q_i (P_{Ai}^0 - P_{Ai}^*)^2 + q_f (f^0 - f^*)^2 + \sum_{k=1}^n h_k V_k^2, \quad (3)$$

где P_{Ai} - измеренные перетоки мощности;
 f - измеренная частота;
 V_k - управления, вырабатываемые устройством;
 P_{Ai}^* - перетоки мощности, которые устанавливаются после отработки управлений;
 f^* - частота, которая устанавливается после отработки управления;
 P_{Ai}^0 - фактические уставки перетоков;
 f^0 - фактическая уставка частоты;

β_{ik} - коэффициенты влияния;
 q_i, q_f, h_k - весовые коэффициенты;
 β - статизм энергосистемы.

В прототипе показано, что весовые коэффициенты q_i, q_f, h_k и фактические уставки P_{Ai}^0 и f^0 определяются блоком 7 расчета фактических уставок и весовых коэффициентов в зависимости от предельных значений перетоков (P_{Ai}^I, P_{Ai}^II) и частоты (f^I, f^{II}), а также от измеренных значений узловых мощностей и от их предельных значений ($P_{ГK}^I, P_{ГK}^{II}, P_{ГK}$).

Выполним некоторые преобразования уравнений (1) - (3).

Сумма перетоков по линиям электропередач, сходящихся в данном узле, равна узловой мощности. Таким образом

$$P_{ГK}^* = \sum_{i=1}^p \beta_{ki} P_{Ai}^* \quad (4)$$

где $\beta_{ki} = (0, 1-1)$ в зависимости от наличия соединения К-го узла с i-й линией электропередач и от направления перетока, принятого за положительное.

По определению управления V_k имеем $P_{ГK}^* = P_{ГK} + V_k$ (5)
 Из (4) и (5) следует, что

$$P_{ГK} + V_k = \sum_{i=1}^p \beta_{ki} P_{Ai}^* \quad (6)$$

Заметим еще, что

$$\sum_{k=1}^n P_{ГK} = 0 \quad (7)$$

Теперь рассмотрим частный случай указанной задачи, когда частота в процессе регулирования не должна изменяться. Это требование, как правило, предъявляется к регуляторам энергосистем. При этом из (2) и (3) следует, что

$$\sum_{k=1}^n V_k = 0 \quad (8)$$

$$J = \sum_{i=1}^p q_i (P_{Ai}^* - P_{Ai}^0)^2 + \sum_{k=1}^n h_k V_k^2 \quad (9)$$

Уравнение (6), эквивалентное уравнению (1) для энергосистем, у которых коэффициенты влияния таковы, что уравнение (1) имеет единственное решение относительно переменных V_k . В частности, такому требованию удовлетворяют энергосистемы без кольцевых связей.

Таким образом, задача регулирования перетоков мощности по линиям

электропередач при постоянной частоте состоит в следующем: минимизировать J при условиях (8), (6) и (9).

В этой задаче неизвестны V_k и P_{Ai}^* , а данными являются P_{Ai}^0 и $P_{ГK}$, причем последние связаны уравнением (7).

В предлагаемом устройстве указанная задача решается электрической цепью, являющейся моделью энергосистемы, и одновременно физической моделью этой задачи.

Пример. Пусть энергосистема (фиг.5) состоит из узлов, в которых находятся источники генерирующих мощностей $P_{Г1}, P_{Г2}, P_{Г3}$. Узлы соединены линиями электропередач с перетоками P_{A1}, P_{A2}, P_{A3} . Очевидно,

$$P_{Г1} = P_{A1} + P_{A2}, P_{Г2} = P_{A3} - P_{A1}, P_{Г3} = -P_{A2} - P_{A3} \quad (10)$$

$$P_{Г1} + P_{Г2} + P_{Г3} = 0 \quad (11)$$

В этой энергосистеме задача регулирования перетоков имеет вид: минимизировать J при условиях:

$$\left. \begin{aligned} P_{Г1} + V_1 &= P_{A1}^* + P_{A2}^* \\ P_{Г2} + V_2 &= P_{A3}^* - P_{A1}^* \\ P_{Г3} + V_3 &= -P_{A2}^* - P_{A3}^* \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$V_1 + V_2 + V_3 = 0 \quad (13)$$

$$J = \sum_{i=1}^3 q_i (P_{Ai}^* - P_{Ai}^0)^2 + \sum_{k=1}^3 h_k V_k^2 \quad (14)$$

Рассмотрим теперь электрическую цепь (фиг.6), которая должна быть образована в блоке 8 формирования управляющих воздействий для данной энергосистемы. В этой электрической цепи приняты следующие обозначения, R_k - сопротивление резистора 13, входящего в состав имитатора 9-К; R_i - сопротивление резистора 15, входящего в состав имитатора 10-i; $I_{ГK}$ - ток источника 11 тока, входящего в состав имитатора 9-К; I_{Ai}^0 - ток источника 14 тока, входящего в состав имитатора 10; $I_{ГK}$ - ток, протекающий через резистор R_k ; I_{Ri} - ток, протекающий через резистор R_i ,

$$I_{Ai} = I_{Ai}^0 + I_{Ri} \quad (15)$$

Применяемые источники 11 и 14 тока в этой цепи вырабатывают ток постоянной величины, не зависящий от напряжения на зажимах источника 10- i тока.

По первому закону Кирхгофа находим

$$\left. \begin{aligned} I_{r1} + I_{r4} &= I_{A1} + I_{A2}, \\ I_{r2} + I_{r2} &= I_{A3} - I_{A1}, \\ I_{r3} + I_{r3} &= -I_{A2} - I_{A3} \end{aligned} \right\} \quad (16) \quad 5$$

$$I_{r1} + I_{r2} + I_{r3} + I_{r4} + I_{r2} + I_{r3} = 0 \quad (17)$$

Тепловые потери в электрической цепи

$$Q = R_1(I_{A1} - I_{A1}^0)^2 + R_2(I_{A2} - I_{A2}^0)^2 + R_3(I_{A3} - I_{A3}^0)^2 + r_1 I_{r1}^2 + r_2 I_{r2}^2 + r_3 I_{r3}^2 \quad (18)$$

Если, кроме того, токи источников тока выбраны так, что

$$I_{r1} + I_{r2} + I_{r3} = 0, \quad (19)$$

то из (18) следует, что

$$I_{r1} + I_{r2} + I_{r3} = 0 \quad (20)$$

Электрическая цепь, содержащая только сопротивления и источники тока постоянной величины, удовлетворяет принципу минимума тепловых потерь, т.е. токи в такой цепи распределяются так, что удовлетворяют первому закону Кирхгофа и минимизируют количество тепла, выделяемого в резисторах.

В соответствии с этим принципом величина Q в цепи, изображенной на рис. 6, минимизируется. Таким образом, этой цепью решается следующая задача квадратичного программирования: минимизировать (18) при условиях (16) и (20), где известны токи $I_{r1}, I_{r2}, I_{r3}, I_{A1}^0, I_{A2}^0, I_{A3}^0$ источников тока, удовлетворяющие условию (20). В результате решения этой задачи (т.е. по окончании переходного процесса) становятся известны токи $I_{r1}, I_{r2}, I_{r3}, I_{A1}, I_{A2}, I_{A3}, I$, которые могут быть измерены. Эта задача полностью эквивалентна сформулированной задаче регулирования для энергосистемы, изображенной на фиг. 5. Таким образом, если токи источников 11 и 14 установить пропорционально мощностям P_{rK}, P_{A1}^0 энергосистемы, то токи, протекающие через резисторы r_k , оказываются пропорциональными управлениям V_k .

Рассмотрим теперь общий случай. Итак, рассматривается электрическая цепь, состоящая из источников 11 и 14 тока и резисторов 13 и 15, входящих в состав блока 8 формирования управляющих воздействий.

В этой цепи соблюдаются следующие соотношения:

$$\sum_{k=1}^n I_{rK} = 0 \quad (21)$$

$$\sum_{k=1}^n I_{rK} = 0 \quad (22)$$

$$I_{rK} + I_{rK} = \sum_{i=1}^{\ell} \beta_{ki} (I_{A_i}^0 + I_{R_i}), \quad (23)$$

$$Q = \sum_{i=1}^{\ell} R_i I_{R_i}^2 + \sum_{k=1}^n r_k I_{rK}^2 \quad (24)$$

Пусть

$$P_{rK} = \alpha I_{rK},$$

$$V_k = \alpha I_{rK},$$

$$I_{A_i}^0 = \alpha P_{A_i}^0,$$

$$R_i = q_i / \alpha^2,$$

$$r_k = h_k / \alpha^2.$$

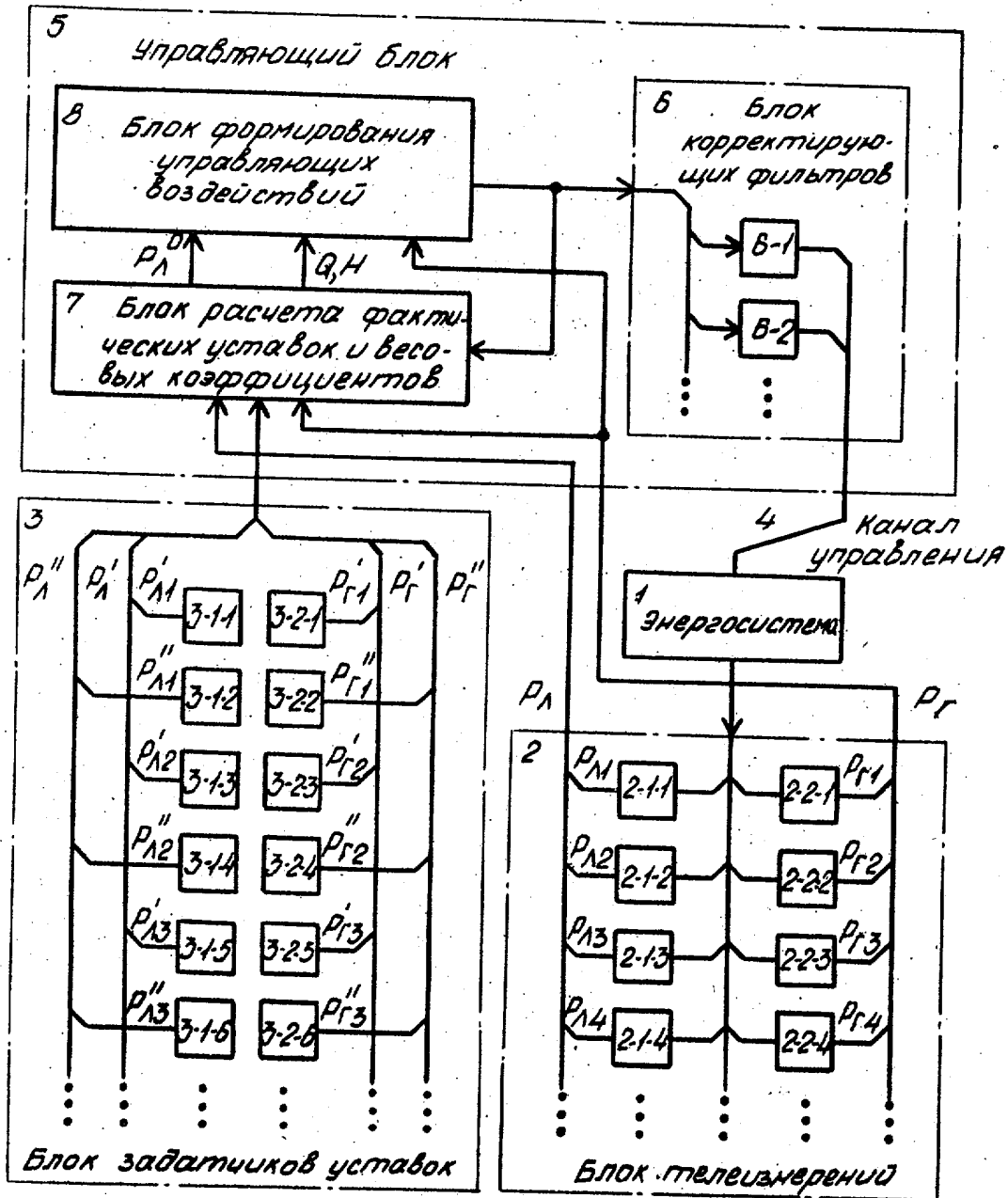
При этом задача минимизации тепловых потерь Q при условиях (21)–(24) полностью эквивалентна задаче минимизации показателя качества J регулирования перетоков в энергосистеме при условиях (7), (8), (6), (9).

Устройство в целом функционирует следующим образом.

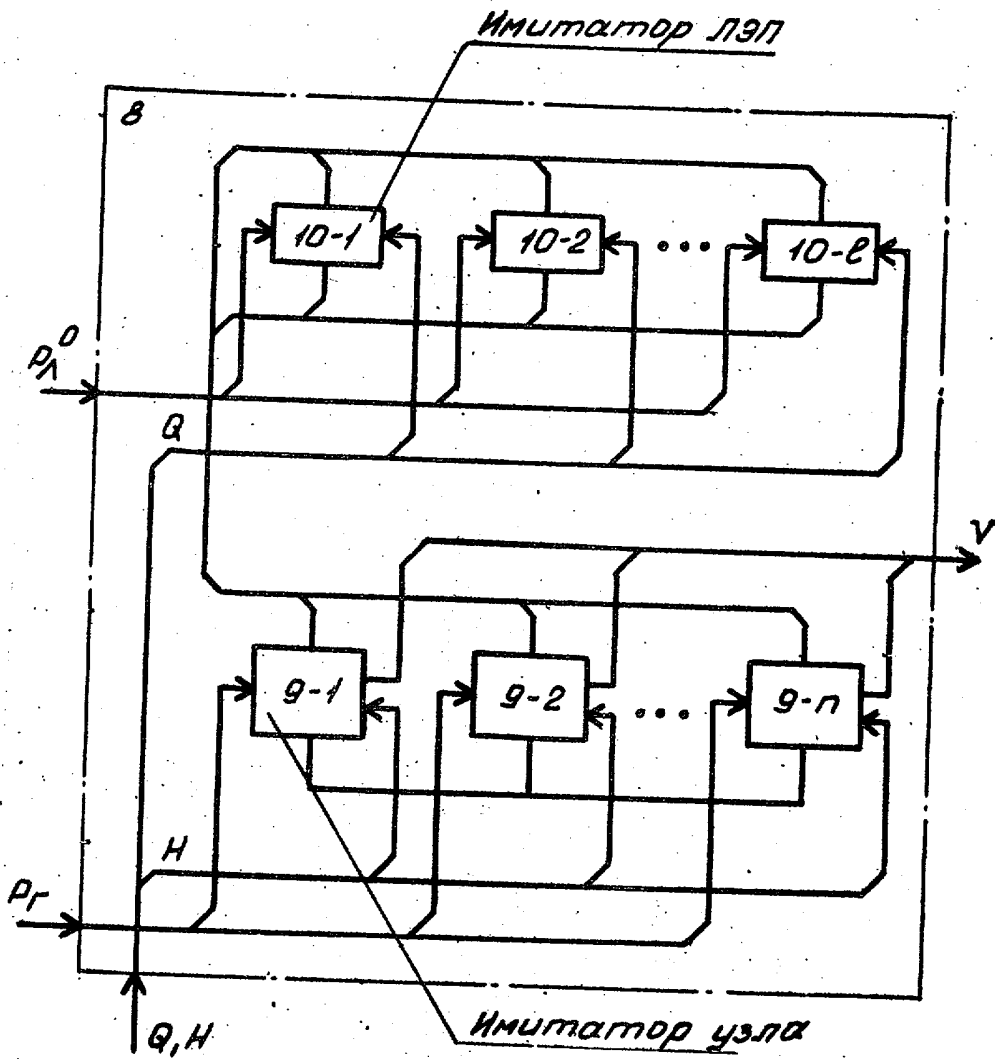
Из блока 2 телеизмерений на управляющие входы источников 11 тока поступают величины P_{rK} , устанавливая величину тока I_{rK} этих источников. Таким образом, токи источников 11 становятся равными величинам I_{rK} , пропорциональным генерируемым мощностям P_{rK} . Из блока 7 расчета фактических уставок и весовых коэффициентов на управляющие входы источников 14 подаются величины $P_{A_i}^0$ уставок перетоков. Таким образом, токи источников 14 становятся равными величинам $I_{A_i}^0$, пропорциональным уставкам перетоков $P_{A_i}^0$. Кроме того, из блока 7 расчета фактических уставок и весовых коэффициентов на управляющие входы резисторов 13 и 15 подаются величины весовых коэффициентов h_k и q_i соответственно. Таким образом, величины сопротивлений r_k и R_i этих резисторов становятся пропорциональными коэффициентам h_k и q_i . Как указывалось, по окончании переходного процесса в моделирующей цепи тока в резисторах 13 устанавливаются равными величинам I_{rK} , пропорциональным управлениям V_k . Эти токи протекают также через усилители 12

(с малым входным сопротивлением). Таким образом, сигналы на выходах усилителей 12 оказываются пропорциональными управлениям V_k . Эти сигналы подаются на входы блока корректирующих фильтров 6. Блок 6 выбирается известным в технике автоматического регулирования образом из соображений обеспечения необходимого качества динамического процесса регулирования (устойчивости, быстродействия, величины перерегулирования).

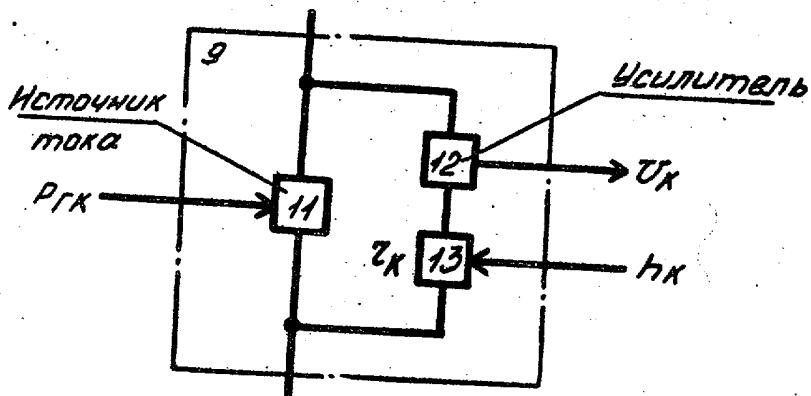
Сигналы с выхода блока 6 корректирующих фильтров поступают через канал 4 в энергосистему 1 для изменения мощности регулирующих объектов. В результате этого меняются текущие значения регулируемых параметров энергосистемы. После следующего цикла измерения соответствующие теле-сигналы вновь подаются на входы источников 11 и 14 тока, в результате чего образуется замкнутый контур системы регулирования.



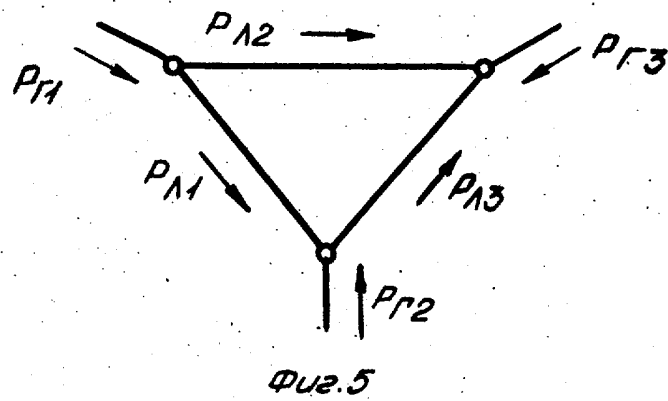
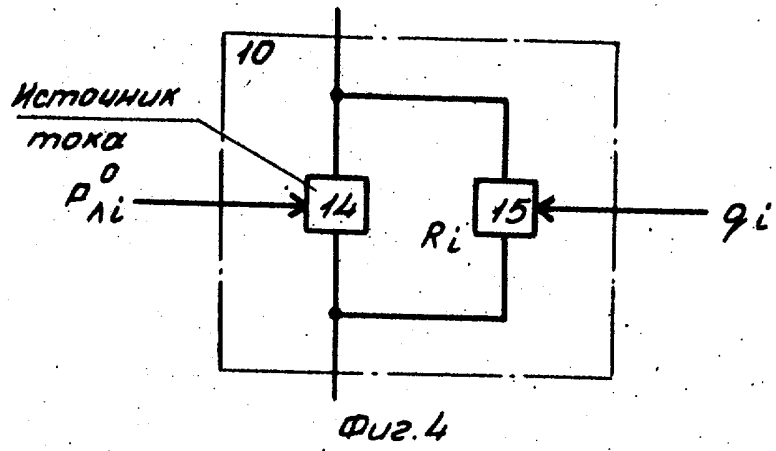
Фиг.1

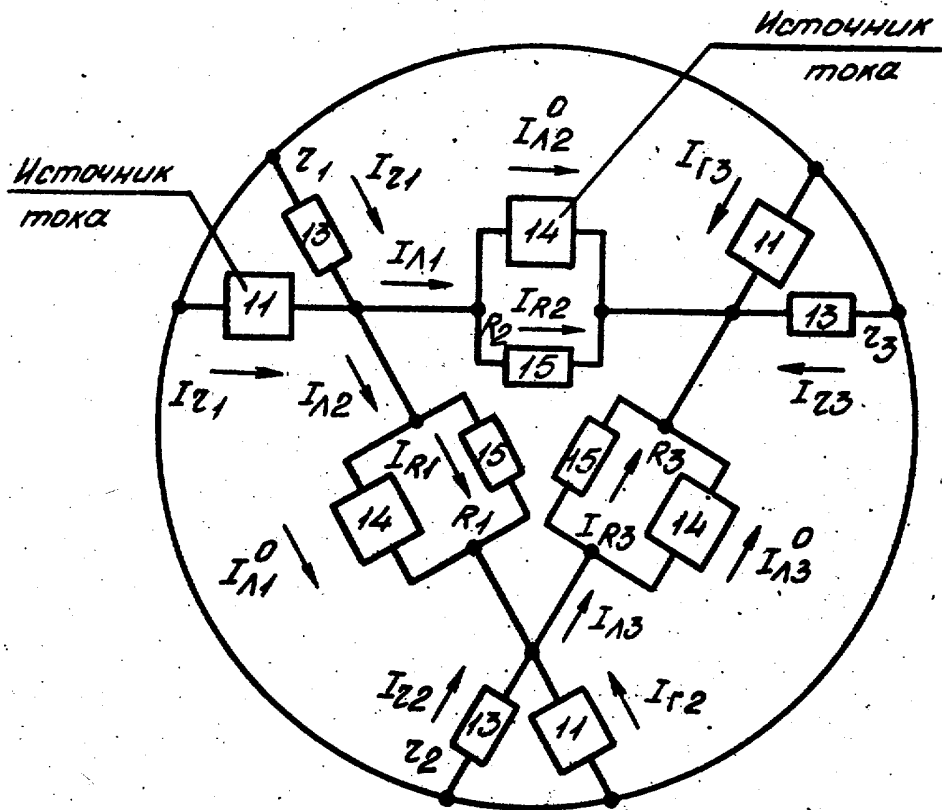


Фиг. 2



Фиг. 3





Фиг. 6

Составитель К. Фотина
 Редактор С. Лисина Техред А. Бабинец Корректор М. Демчик

Заказ 4195/51 Тираж 620 Подписное
 ВНИИП Государственного комитета СССР
 по делам изобретений и открытий
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ИПИ "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4