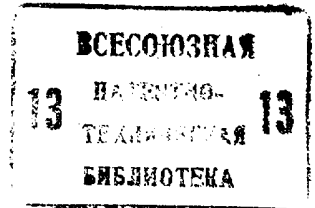




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ



ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 3845565/24-07.

(22) 14.11.84

(46) 23.11.87. Бюл. № 43

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

(72) С.И.Хмельник

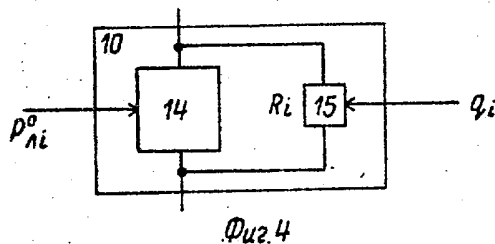
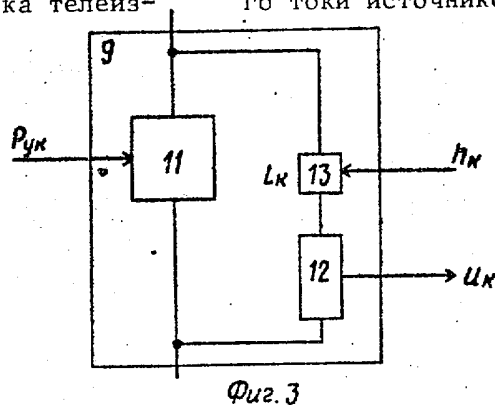
(53) 621.316.728(088.8)

(56) Авторское свидетельство СССР
№ 1164822, кл. Н 02 J 3/06, 1984.

(54) УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ПЕРЕТОКОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

(57) Изобретение относится к области электротехники.
Цель изобретения - упрощение у-ва и повышение точности
регулирования. Из блока телеиз-

мерений на вход блока расчета фактических уставок и весовых коэффициентов поступают измеренные значения перетоков P_{Λ_i} и узловых мощностей P_{Ψ_k} . На другие входы этого же блока поступают из блока задатчиков уставок $P_{\Lambda_i}^1$, $P_{\Lambda_i}^0$, $P_{\Psi_k}^1$, $P_{\Psi_k}^0$. В результате рассчитываются фактические уставки $P_{\Lambda_i}^0$ и весовые коэффициенты q_i и p_k , значения которых подаются на входы блока формирования управляющих воздействий, выполненного из имитаторов (И) 9 узлов энергосистемы и И 10 линий электропередачи, количество которых определяется количеством узлов и линий электропередач энергосистемы. На управляющие входы источников тока 14 И 10 подаются величины $P_{\Lambda_i}^0$, в результате чего токи источников 14 становятся про-



порциональными $P_{\Lambda_i}^0$. На управляющие входы индуктивностей 13 и 9 и резисторов 15 и 10 подаются величины весовых коэффициентов q_i и p_k соответственно, в результате чего величины индуктивностей 13 и резисторов 15 становятся пропорциональными p_k и q_i . На управляющий вход источника тока 11 и 9 поступают величины $P_{y_k}(t - \tau)$, устанавливая соответствующую величину тока (τ - пери-

од измерения). В электрической цепи у-ва от момента $t - \tau$ до момента t протекает переходный процесс, в результате чего к моменту t в индуктивностях 13 устанавливаются токи, которые протекают через усилители 12. Выходные сигналы этих усилителей используются как фактические управляющие воздействия для изменения мощности регулирующих объектов. 6 ил.

1

Изобретение относится к электроэнергетике.

Цель изобретения - уменьшение объема устройства и улучшение надежности энергоснабжения за счет повышения точности регулирования.

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

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 выходом управляющий блок 5. Входы управляющего блока 5 присоединены к выходам блока 2 телеизмерений регулируемых параметров и блока 3 задатчиков уставок.

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

Множество выходов датчиков 2-1-1, 2-1-2, ... - это первый выход блока

2

2 телеизмерений, а множество выходов датчиков 2-2-1, 2-2-2, ... - второй выход этого блока.

Аналогично множество выходов задатчиков 3-1-1, 3-1-2, ... и 3-2-1, 3-2-2, ... - это выход блока 3 задатчиков уставок.

Управляющий блок 5 содержит блок 6 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 блока 3 задатчиков уставок, а четвертый вход соединен с выходом блока 6 формирования управляющих воздействий. У этого блока 6 выход является выходом 8 управляющего блока 5 в целом, два первых входа подключены к выходам блока 7 расчета фактических уставок и весовых коэффициентов, а третий вход соединен с первым выходом блока 2 телеизмерений.

Блок формирования управляющих воздействий (фиг.2) выполнен из имитаторов 9-1, 9-2... 9-к, ... узлов энергосистемы и имитаторов 10-1, 10-2, ... 10-1, ... линий электропередач, 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 выходы образуют в совокупности выход блока 6 формирования управляющих воздействий в целом. Первые

управляющие входы всех имитаторов 9 и 10 образуют в совокупности первый вход этого блока, вторые управляющие входы всех имитаторов 10 линий электропередач - второй 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 9 узла энергосистемы (фиг.3) выполнен в виде управляемого источника 11 тока, включенного между функциональными входами имитатора, параллельно источнику 11 тока подключена цепь из последовательно соединенных усилителя 12 и управляемой индуктивности 13. Управляющие входы управляемой индуктивности 13 и управляемого источника 11 тока являются соответственно первым и вторым управляющими входами имитатора 9, а выход усилителя 12 является управляющим выходом имитатора 9.

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 15 и управляемого источника 14 тока являются соответственно первым и вторым управляющими входами имитатора.

Блок 7 расчета фактических уставок и весовых коэффициентов выполнен в полном соответствии с известным. Этот блок содержит две группы схем сравнения, входы которых являются входами блока расчета фактических уставок и весовых коэффициентов. Кроме того, блок 7 содержит блоки регистров, выходы которых являются выходами блока 7 расчета фактических уставок и весовых коэффициентов.

Важно отметить, что источники 11 и 14 тока, используемые в устройстве, вырабатывают ток постоянной величины, не зависящий от напряжения на зажимах источника тока и определяемый сигналом на его управляющем входе.

В известном устройстве задача регулирования перетоков активной мощности в энергосистеме без кольцевых связей имеет следующую математическую формулировку: минимизировать при условиях

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

$$P_{y_k}^* = P_{y_k} + V_k; \quad (2)$$

$$P_{y_k}^* = \sum_{k=1}^n \beta_{k_i} P_{\Lambda_i}^*; \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^n P_{y_k} = 0; \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^n V_k = 0, \quad (5)$$

где P_{Λ_i} - измеренные перетоки мощности;

P_{y_k} - измеренные узловые мощности;

V_k - управления, вырабатываемые устройством,

$P_{y_k}^*$ - узловые мощности, которые устанавливают после отработки управлений V_k ;

$P_{\Lambda_i}^*$ - перетоки мощности, которые устанавливают после отработки управления V_R ;

$P_{\Lambda_i}^0$ - фактические уставки перетоков;

q_i, h_k - весовые коэффициенты, причем $\beta_{k_i} = (0, 1-1)$ в зависимости от наличия соединения k -го узла с i -й линией электропередач и от направления перетока по ней, принятого за положительное.

В отличие от известного устройства здесь и далее узловые мощности обо-

значаются символом P_{yk} для отличия их от генерируемых мощностей $P_{Гk}$ и мощностей нагрузки $P_{Нk}$, причем

$$P_{yk} = P_{Гk} - P_{Нk}. \quad (6)$$

Кроме того, имеет место уравнение

$$P_{yk}(t) = \sum_{k=1}^n \beta_{ki} P_{\Lambda_i}(t), \quad (7)$$

аналогичное уравнению (3), т.е. в любой момент времени t узловая мощность равна сумме перетоков по линиям передач, сходящимся в данном узле.

Эта математическая модель не учитывает динамику процесса регулирования и поэтому в известном устройстве применяются корректирующие фильтры, которые обеспечивают необходимые качества динамического процесса регулирования - устойчивость, быстродействие, величину перерегулирования.

При этом управляющие воздействия V_k преобразуются корректирующими фильтрами в ограниченные по величине фактические управляющие воздействия U_k таким образом, чтобы фактическое управление U_k могло быть отработано энергоузлом полностью за время τ , где τ - период измерений контролируемых величин и расчета управляющих воздействий. Это требование приводит к увеличению длительности переходного процесса регулирования. Для обеспечения номинальной частоты во время этого процесса необходимо удовлетворить условию

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

в каждый момент выдачи управляющих воздействий.

Оба эти требования (условие (8) и ограниченность U_k) должны учитываться при конструировании корректирующих фильтров.

При принятом (в том случае и в известном устройстве) способе построения блока корректирующих фильтров в каждом канале управления устанавливается автономный корректирующий фильтр, а его параметры выбираются в соответствии с динамическими характеристиками определенного и единственного энергоузла. При этом не удается соблюдать указанные требова-

ния одновременно. Кроме того, само наличие корректирующих фильтров усложняет известные устройства.

Математическая формулировка задачи регулирования, которая решается в предлагаемом устройстве, учитывает требования по ограничению фактических управляющих воздействий, по обеспечению номинальной частоты в переходный период регулирования и по обеспечению минимума отклонения контролируемых перетоков от заданных уставок.

Она заключается в следующем. В энергосистеме узловые мощности $P_{yk}(t)$ и перетоки $P_{\Lambda_i}(t)$ в каждый момент времени t связаны соотношением (7). Регулятор в каждый момент времени t вырабатывает производную $\dot{P}_{Гk}(t)$ по времени от генерируемой в k -ом узле мощности $P_{Гk}(t)$. Энергосистема реализует эту производную, т.е.

$$P_{yk}(t) = \int_{-\infty}^t \dot{P}_{Гk}(t) dt - P_{Нk}(t) \quad (9)$$

а также формула (6).

Регулирование необходимо выполнять таким образом, чтобы минимизировался функционал вида

$$\Phi = \int_0^t \left(\sum_{i=1}^p q_i (P_{\Lambda_i}^* - P_{\Lambda_i}^0)^2 + \sum_{k=1}^n h_k \dot{P}_{Гk}^2 \right) dt, \quad (10)$$

где

$$P_{yk}^*(t) = \sum_{i=1}^p \beta_{ki} P_{\Lambda_i}^*(t); \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^n \dot{P}_{Гk}(t) = 0; \quad (12)$$

$$P_{yk}^*(t) = P_{yk}(t) \pm \tau \dot{P}_{Гk}(t); \quad (13)$$

t_0 - начальный момент регулирования;
 t - текущий момент регулирования;
 q_i, h_k - весовые коэффициенты;

$$I_3 = I_{\Lambda_1} + I_{\Lambda_2}; \quad (27)$$

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0. \quad (28)$$

Предположим, что

$$I_{y_1} + I_{y_2} + I_{y_3} = 0 \quad (29)$$

Тогда из (28) и (29) получим

$$I_{L_1} + I_{L_2} + I_{L_3} = 0 \quad (30)$$

По второму закону Кирхгофа находим

$$\left. \begin{aligned} L_3 \dot{I}_{L_3} + I_{R_1} R_1 - L_1 \dot{I}_{L_1} &= 0 \\ L_3 \dot{I}_{L_3} + I_{R_2} R_2 - L_2 \dot{I}_{L_2} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

Таким образом, электрическая цепь, изображенная на фиг.6, решает систему уравнений (25), (26), (27), (30), (31), где известны токи I_{y_1} , I_{y_2} , I_{y_3} , $I_{\Lambda_1}^0$, $I_{\Lambda_2}^0$ источников тока.

Усилители 12 УС_k, входящие в состав этой электрической цепи, обладают малым входным сопротивлением, не влияющим на распределение токов в электрической цепи. Эти усилители вырабатывают пропорциональные токам I_{L_k} напряжения U_k , которые могут быть измерены в каждый момент времени.

Очевидно, задача, решаемая рассматриваемой электрической цепью, эквивалентна задаче, решаемой регулятором для энергосистемы, изображенной на фиг.5. Действительно, если в (21) - (23), (15), (24) U_k , $P_{\Lambda_i}^*$, $P_{\Lambda_i}^0$, q_i , h_k , $P_{y_k}^*$, P_{y_k} преобразовать соответственно на $(-I_{L_k})$, I_{Λ_i} , $I_{\Lambda_i}^0$, R_i , L_k , I_k , $(I_{y_k} + 2I_{L_k})$, то получим (25), (26), (27), (30), (31).

Рассмотрим теперь общий случай. Рассматривается электрическая цепь, состоящая из источников 14 и 11 тока $I_{\Lambda_i}^0$ и I_{y_k} , резисторов 15 R_i , индуктивностей 13 L_k , входящих в состав блока 6 формирования управляющих воздействий. В этой цепи соблюдаются следующие отношения:

$$I_k = I_{y_k} + I_{L_k}; \quad (32)$$

$$I_k = \sum_{i=1}^n \beta_{ki} I_{\Lambda_i}; \quad (33)$$

$$(I_{\Lambda_i} - I_{\Lambda_i}^0) R_i = - \sum_{k=1}^n \beta_{ki} L_k \dot{I}_{L_k}; \quad (34)$$

$$\sum_{k=0}^n I_k = 0. \quad (35)$$

Токи I_{y_k} источников 11 тока, как будет показано далее, удовлетворяют соотношению

$$\sum_{k=0}^n I_{y_k} = 0 \quad (36)$$

Из (35) и (36) следует, что

$$\sum_{k=1}^n I_{L_k} = 0. \quad (37)$$

Пусть

$$P_{y_k} = \alpha (I_{y_k} + 2I_{L_k}), \quad (38)$$

или, учитывая, что

$$\begin{aligned} I_{y_k} &\gg 2I_{L_k}, \\ P_{y_k} &\approx \alpha I_{y_k}. \end{aligned} \quad (39)$$

Пусть, далее

$$P_{y_k}^* = \alpha I_k; \quad (40)$$

$$P_{\Lambda_i}^* = \alpha I_{\Lambda_i}; \quad (41)$$

$$P_{\Lambda_i}^0 = \alpha I_{\Lambda_i}^0; \quad (42)$$

$$U_k = -\alpha I_{L_k}; \quad (43)$$

$$\dot{P}_{r_k} = \frac{\alpha}{\tau} I_{L_k}; \quad (44)$$

$$\ddot{P}_{r_k} = \frac{\alpha}{\tau^2} \dot{I}_{L_k}; \quad (45)$$

$$q_i = R_i; \quad (46)$$

$$h_k = \tau L_k. \quad (47)$$

Сравнивая уравнения (11) - (14) и (32) - (34), (37), а также учитывая уравнения (17), (38), (40) - (47), замечаем попарную эквивалентность уравнений (11) и (33), (12) и (37), (13) и (32), (14) и (34).

Таким образом, задача (32) - (34), (37), решаемая электрической цепью, полностью эквивалентна задаче (11) - (14), решаемой регулятором для регулирования потоков мощности в энергосистеме.

Устройство в целом функционирует следующим образом.

Из блока 2 телеизмерения на входы блока 7 расчета фактических уставок и весовых коэффициентов поступают измеренные значения перетоков P_{Λ_i} и узловых мощностей P_{y_k} . На другие входы этого же блока 7 поступают из блока 3 задатчиков уставок уставки $P_{\Lambda_i}^I$, $P_{\Lambda_i}^0$, $P_{y_k}^I$, $P_{y_k}^0$. В результате этого блок 7 рассчитывает фактические уставки $P_{\Lambda_i}^0$ и весовые коэффициенты q_i и h_k . Из блока 7 расчета фактических уставок и весовых коэффициентов на управляющие входы источников 14 тока подаются величины $P_{\Lambda_i}^0$ уставок перетоков. Таким образом, токи источников 14 становятся равным величинам $I_{\Lambda_i}^0$, пропорциональным уставкам перетоков $P_{\Lambda_i}^0$.

Кроме того, из блока 7 расчета фактических уставок и весовых коэффициентов на управляющие входы индуктивностей 13 и резисторов 15 подаются величины весовых коэффициентов h_k и q_i соответственно. Таким образом, величины L_k и R_i становятся пропорциональными коэффициентам h_k и q_i .

В момент времени $(t - \tau)$ из блока 2 телеизмерения на управляющие входы источников 11 тока поступают величины $P_{y_k}(t - \tau)$, устанавливая величину тока

$$I_{y_k}(t - \tau) = \frac{1}{\alpha} P_{y_k}(t - \tau).$$

этих источников (также величина (39)). Эта величина поддерживается постоянной в течение времени τ вплоть до следующего акта измерения величины $P_{y_k}(t)$.

В электрической цепи устройства от момента $(t - \tau)$ до момента (t) протекает переходный процесс, в результате чего к моменту (t) в индуктивностях 13 устанавливаются токи $L_k(t)$ - эти токи из-за наличия индуктивностей не изменяются скачкообразно, несмотря на скачкообразное изменение токов I_{y_k} в момент измерения P_{y_k} . Токи $I_{L_k}(t)$ протекают также через усилители 12 (с малым входным сопротивлением). Сигналы $U_k(t)$ с выходов этих усилителей в качестве фактических управляющих воздействий поступают через канал 4 в энергосистему 1 для изменения мощности регулируемых объектов (так-

же выражение (43). Эти мощности изменяются за время τ на величину фактических управляющих $U_k(t)$ и величину возмущения $y_k(t + \tau)$, т.е. реализуется уравнение (18). Одновременно меняются значения регулируемых параметров P_{Λ_i} энергосистемы. Измененные значения P_{Λ_i} и P_{y_k} через период τ вновь измеряются датчиками блока 2 телеизмерений и т.д. При этом в течение периода τ эти измерения остаются неизменными, так как выполняется соотношение (20).

Коэффициенты пропорциональности усилителей 12 и управляемых напряжением источников 11 и 14 тока обеспечивают выполнение условий (39) - (47). Поэтому электрическая цепь, решая задачу (32) - (34), (37), решает тем самым задачу оптимизации перетоков мощности (система уравнений (11), (12), (13), (14), (17), (18), (19), (20)).

Таким образом, электрическая цепь устройства и энергосистема образуют замкнутый контур системы регулирования. При этом переходный процесс в электрической цепи устройства развивается синхронно с переходным процессом в энергосистеме при реализации фактических управляющих воздействий.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

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 генерируемых 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 формирования управляющих воздействий и блок расчета фактических уставок и весовых коэффициентов, у которого имеется первый вход, связанный с первым выходом блока телеизмерений, объединя

β_{k_i} — коэффициенты, имеющие тот же смысл, что и в задаче (1) — (5);

τ — заданный интервал времени.

В функционале (10) величины $P_{\psi_k}^*(t)$, $P_{\Lambda_i}^*(t)$ — это величины, прогнозируемые в момент t на момент $(t + \tau)$, величины $P_{\psi_k}(t + \tau)$, $P_{\Lambda_i}(t + \tau)$ — это величины, которые вычисляются в предположении отсутствия изменения нагрузки P_{H_k} и постоянства \dot{P}_{Γ_k} на интервале $(t, t + \tau)$. Формула (12) аналогична формуле (8) и отражает требования постоянства частоты в прогнозируемый момент $(t + \tau)$, а формула (11) аналогична формуле (3).

Функционал (10) выбран таким образом, что его минимизация на всем интервале регулирования соответствует минимизации отклонения перетоков $P_{\Lambda_i}^*$ от уставок $P_{\Lambda_i}^0$ (первый член суммы) и минимизации скоростей изменения \dot{P}_{Γ_k} генерируемых мощностей (второй член суммы).

В установившемся режиме при $t \geq t_0 + T$ и отсутствии возмущений переменные в задаче (9) — (13) принимают постоянные значения

$$P_{\psi_k}(t) = P_{\psi_k}(t + \tau);$$

$$P_{\Lambda_i}^*(t) = P_{\Lambda_i}^*(t + \tau);$$

$$\dot{P}_{\Gamma_k}(t) = 0.$$

В этом режиме функционал (10) принимает вид

$$\Phi^* = \int_{t_0+T}^t \sum_{i=1}^{\ell} q_i (P_{\Lambda_i}^* - P_{\Lambda_i}^0)^2 dt.$$

Функция (1) после реализации управлений, т.е. при $V_k = 0$, принимает вид

$$I^* = \sum_{i=1}^{\ell} q_i (P_{\Lambda_i}^* - P_{\Lambda_i}^0).$$

Таким образом, величины Φ^* и I^* достигают минимума при одних и тех же значениях величин $P_{\Lambda_i}^*$, т.е. установившееся решение задачи минимизации Φ при (9) — (13) совпадает с решением задачи минимизации I при (1) — (5). Эти замечания подтверждают правильность выбора функционала. Они же свидетельствуют о том, что коэффициенты h_k и q_k должны вы-

бираться так же, как и в известном устройстве.

Таким образом, регулирование перетоков является вариационной задачей минимизации функционала (10) при ограниченных (9), (11) и (13). Применяя для решения этой задачи метод множителей Лагранжа, находим, что она эквивалентна решению системы уравнения (9), (11) — (13) и

$$q_i (P_{\Lambda_i}^* - P_{\Lambda_i}^0) = \sum_{k=1}^n \beta_{k_i} h_k \ddot{P}_{\Gamma_k}, \quad (14)$$

где \ddot{P}_{Γ_k} — вторая производная мощности P_{Γ_k} .

При выводе формулы (14) используется допущение о малых величинах \dot{P}_{Γ_k} и τ вида

$$P_{\Gamma_k} \gg \tau \dot{P}_{\Gamma_k}, \quad (15)$$

а также соотношение

$$\sum_{k=1}^n \beta_{k_i} = 0, \quad (16)$$

следующее из того, что линия передач соединена только с двумя узлами.

Итак, задача регулирования перетоков состоит в решении системы уравнений (9), (11) — (14) с неизвестными $P_{\Lambda_i}^*$, $P_{\psi_k}^*$, P_{Γ_k} и измеряемыми P_{H_k} . Регулятор должен решать систему уравнений (11) — (14), непрерывно измеряя величины P_{ψ_k} и непрерывно выработывая величины \dot{P}_{ψ_k} . Энергосистема при этом формирует узловые мощности P_{ψ_k} по формуле (9). Обозначим

$$U_k = \tau \dot{P}_{\Gamma_k}. \quad (17)$$

Упростим задачу, полагая, что регулятор непрерывно вырабатывает величины \dot{P}_{Γ_k} , но в энергосистему выдает периодически через интервал τ фактические управляющие воздействия U_k , а эти воздействия малы и потому успевают обрабатываться энергосистемой за время τ . Это условие обеспечивается выбором коэффициентов h_k в функционале (10).

Следующее упрощение состоит в том, что величины P_{ψ_k} можно измерять не непрерывно, а тоже с периодом τ .

полагая, что на интервале $(t, t+\tau)$ величина P_{yk} остается постоянной.

Таким образом, если t_j - моменты выдачи фактических управляющих воздействий $U_k(t_j)$ и измерения узловых мощностей $P_{yk}(t)$, то

$$P_{yk}(t_j + \tau) = P_{yk}(t_j) + U_k(t_j) + \eta_k(t_j + \tau), \quad (18)$$

где

$$\eta_k(t_j + \tau) = P_{nk}(t_j + \tau) - P_{nk}(t_j), \quad (19)$$

причем

$$P_{yk}(t) = P_{yk}(t_j) \quad (20)$$

при $t_j \leq t \leq t_j + \tau$

Величина $\eta_k(t + \tau)$ характеризует увеличение нагрузки k -го узла за время τ и рассматривается далее как случайное возмущение.

Таким образом, задача регулирования перетоков математически эквивалентна решению системы уравнений (11), (12), (13), (14), (17), (18), (19), (20).

Итак, регулятор должен решать систему уравнений (11) - (14), непрерывно вырабатывая P_{rk} , но периодически выдавая их в энергосистему в качестве фактических управляющих воздействий $U_k(t)$ (выражение (17), а также периодически измеряя узловые мощности $P_{yk}(t_j)$ и фиксируя их на время τ в соответствии с формулой (20). Энергосистема формирует при этом узловые мощности по формулам (18) и (19).

В предлагаемом устройстве система уравнений (11) - (14) решается электрической цепью, являющейся моделью энергосистемы, и, одновременно, физической моделью этой задачи. В отличие от известного устройства процесс регулирования возложен на корректирующие фильтры, описываемая ниже электрическая цепь решает динамическую задачу, выполняя функции электрической цепи известного устройства и его корректирующих фильт-

ров, а также соблюдая требования к постоянству частоты в переходном периоде регулирования. Этим достигается упрощение устройства и улучшение качества регулирования.

Пример. Пусть энергосистема (фиг.5) состоит из узлов, в которых находятся источники узловых мощностей P_{y1}, P_{y2}, P_{y3} . Узлы соединены линиями электропередач и перетоками $P_{\Lambda 1}, P_{\Lambda 2}$. Очевидно, что

$$P_{yk}^* = P_{yk} + U_k; \quad (21)$$

$$P_{y1}^* = -P_{\Lambda 1}^*; \quad P_{y2}^* = -P_{\Lambda 2}^*; \quad (22)$$

$$P_{y3}^* = P_{\Lambda 1}^* + P_{\Lambda 2}^*;$$

$$U_1 + U_2 + U_3 = 0. \quad (23)$$

В этой энергосистеме необходимо минимизировать функционал (10) при $l = 2$ и $k = 3$. Поэтому уравнения (14) для этой энергосистемы имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} q_1(P_{\Lambda 1}^* - P_{\Lambda 1}^0) &= -h_1 \ddot{P}_{r1} + h_3 \ddot{P}_{r3}, \\ q_2(P_{\Lambda 2}^* - P_{\Lambda 2}^0) &= -h_2 \ddot{P}_{r2} + h_3 \ddot{P}_{r3} \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

При этом регулятор должен решать систему уравнений (21) - (23), (15), (24) при известных $P_{y1}, P_{y2}, P_{y3}, P_{\Lambda 1}^0, P_{\Lambda 2}^0$.

Рассмотрим теперь электрическую цепь (фиг.6), которая должна быть образована в блоке формирования управляющих воздействий для предлагаемой энергосистемы. В этой электрической цепи приняты следующие обозначения: R_i - сопротивление резистора 15, входящего в состав имитатора 10; L_k - индуктивность 13, входящая в состав имитатора 9; I_{y1}^0 - ток источника 11 тока ИТУН y_k , входящего в состав имитатора 9; I_{yk}^0 - ток источника 14 тока ИТУН y_k , входящего в состав имитатора 14; I_{Ri} - ток, протекающий через резистор R_i ; I_{Lk} - ток, протекающий через индуктивность L_k .

По первому закону Кирхгофа находим

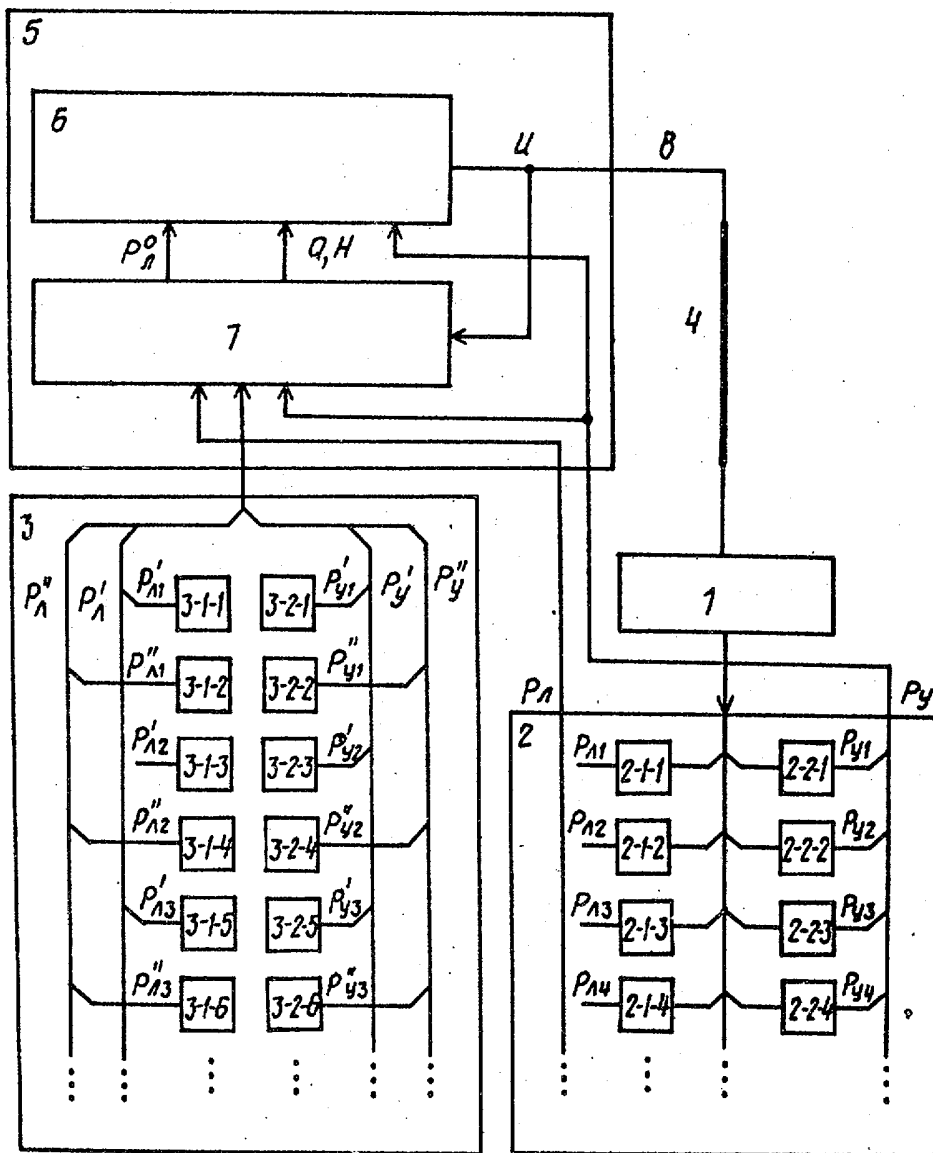
$$I_{\Lambda 1} = I_{\Lambda 1}^0 + I_{R1}; \quad (25)$$

$$I_k = I_{yk} + I_{Lk}; \quad (26)$$

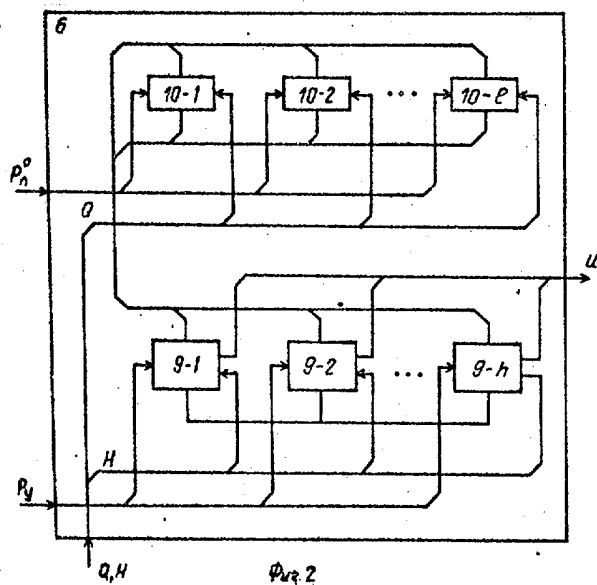
$$I_1 = -I_{\Lambda 1}; \quad I_2 = -I_{\Lambda 2};$$

ющим выходы датчиков перетоков мощ-
 ности, второй вход, связанный с вто-
 рым выходом блока телеизмерений, объ-
 единяющим выходы датчиков генериру-
 емых мощностей, третий вход, связан-
 ный с выходом блока задатчиков ус-
 тавок, четвертый вход, связанный с
 выходом блока формирования управляю-
 щих воздействий, первый выход факти-
 ческих уставок и второй выход весо-
 вых коэффициентов, блок формирования
 управляющих воздействий выполнен из
 имитаторов узлов энергосистемы и ими-
 таторов линий электропередач, количе-
 ство которых определяется количест-
 вом узлов и линий электропередач
 энергосистемы, каждый имитатор ли-
 нии электропередач имеет два функцио-
 нальных и два управляющих входа, а
 каждый имитатор узла энергосистемы
 имеет еще и управляющий выход, при-
 чем эти выходы образуют в совокупно-
 сти выход блока формирования управля-
 ющих воздействий в целом, первые
 управляющие входы всех имитаторов
 образуют в совокупности первый вход
 блока формирования управляющих воз-
 действий, связанный с вторым выходом
 весовых коэффициентов блока расчета
 фактических уставок и весовых коэф-
 фициентов, вторые управляющие входы
 всех имитаторов линий электропереда-
 чи образуют в совокупности второй
 вход блока формирования управляющих
 воздействий, связанный с первым вы-
 ходом блока расчета фактических ус-
 тавок и весовых коэффициентов, вто-
 рые управляющие входы всех имитато-
 ров узлов энергосистемы образуют в
 совокупности третий вход блока фор-
 мирования управляющих воздействий,
 связанный с вторым выходом блока
 телеизмерений, объединяющим выходы
 датчиков генерируемых мощностей,

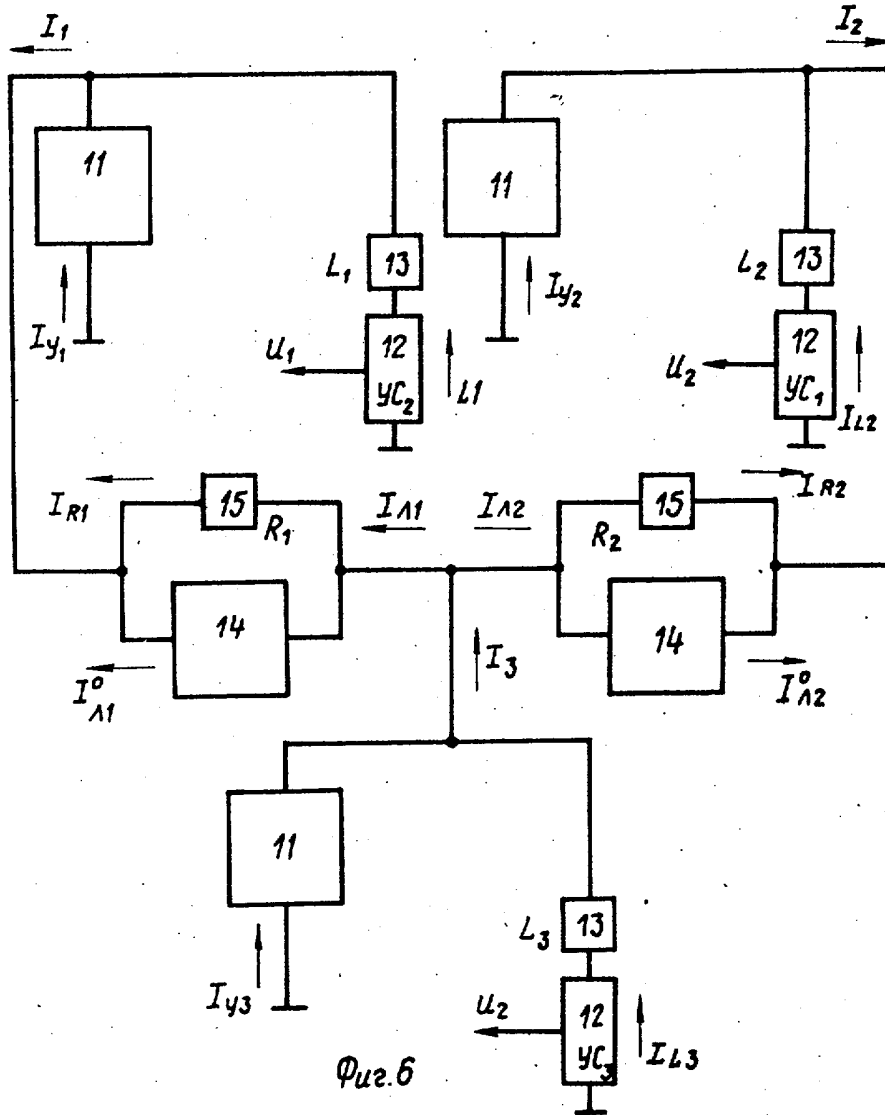
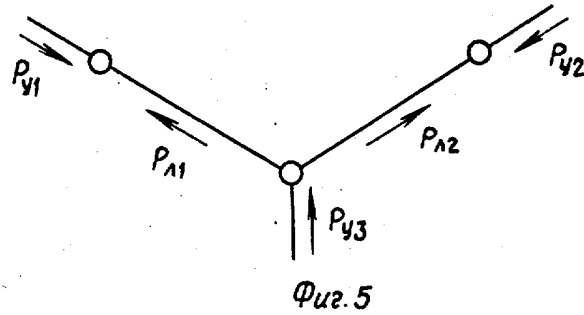
первые функциональные входы всех ими-
 таторов узлов энергосистемы объеди-
 нены, вторые функциональные входы
 этих имитаторов и первый и второй
 функциональные входы всех имитато-
 ров линий электропередачи соединены
 между собой аналогично соединению
 концов имитируемых линий электро-
 передач с имитируемыми узлами энер-
 госистемы, при этом каждый имитатор
 узла энергосистемы содержит усили-
 тель и управляемый источник тока,
 включенный между двумя функциональ-
 ными входами имитатора, управляю-
 щий вход управляемого источника то-
 ка является вторым управляющим вхо-
 дом имитатора в целом, а выход уси-
 лителя является управляющим выходом
 имитатора в целом, каждый имитатор
 линии электропередач выполнен в ви-
 де параллельно соединенных управля-
 емого резистора и управляемого ис-
 точника тока, подключенных между
 двумя функциональными входами ими-
 татора, а управляющие входы управ-
 ляемого резистора и управляемого ис-
 точника тока являются соответствен-
 но первым и вторым управляющими вхо-
 дами имитатора в целом, о т л и -
 ч а ю щ е е с я тем, что, с целью
 упрощения устройства и повышения
 точности регулирования, в нем вы-
 ходом управляющего блока в целом
 является выход блока формирования
 управляющих воздействий, а в каждый
 имитатор узла энергосистемы дополни-
 тельно включена управляемая индук-
 тивность, управляющий вход которой
 является первым управляющим входом
 имитатора в целом, причем усилитель
 и управляемая индуктивность соедине-
 ны в последовательную цепь, которая
 включена параллельно с управляемым
 источником тока.



Фиг. 1



Фиг. 2



Редактор Е.Папп Составитель К.Фотина
 Техред А.Кравчук Корректор О.Кравцова

Заказ 5708/51 Тираж 618 Подписное
 ВНИИПИ Государственного комитета СССР
 по делам изобретений и открытий
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д.4/5

Производственно-полиграфическое предприятие, г.Ужгород, ул.Проектная, 4