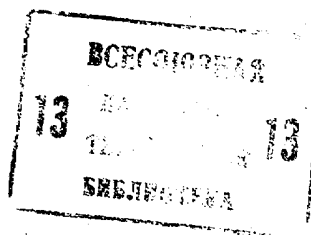




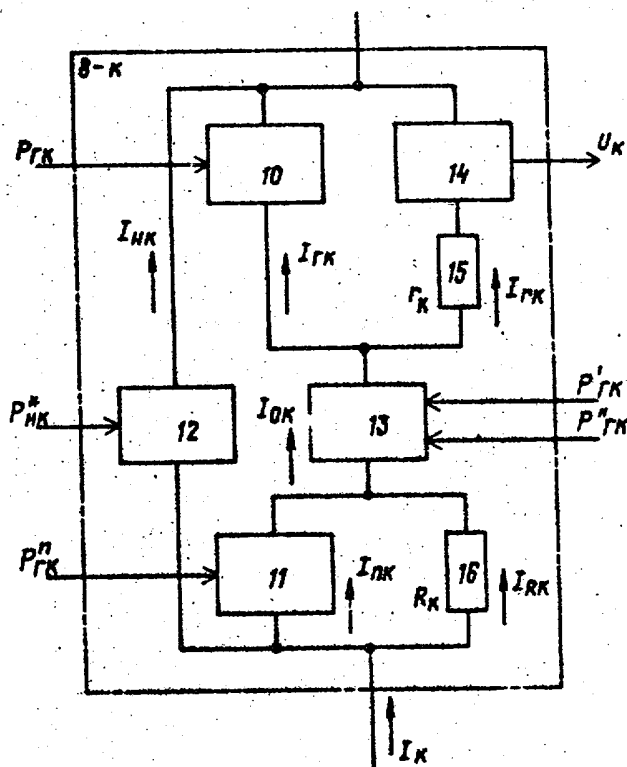
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



(21) 4050692/24-07  
(22) 07.04.86  
(46) 07.04.88. Бюл. № 13  
(71) Всесоюзный государственный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт энергетических систем и электрических сетей "Энергосетьпроект"  
(72) С.И. Хмельник и В.Н. Жилейкина  
(53) 621.316.728(088.8)  
(56) Авторское свидетельство СССР № 1150700, кл. H 02 J 3/06, 1984.  
Авторское свидетельство СССР № 1257744, кл. H 02 J 3/06, 1985.

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ  
(57) Изобретение относится к области электротехники. Цель изобретения - повышение экономичности электроснабжения путем оптимизации распределения активной мощности в энергосистеме. Устройство содержит блок формирования управляющих воздействий, к входам которого присоединены выходы блоков задатчиков уставок, плановых значений генерируемых мощностей, прогнозируемых значений нагрузок и теленизмерения регулируемых парамет-



Фиг. 3

ров. Блок формирования управляющих воздействий выполнен из имитаторов узлов энергосистемы и имитаторов линии электропередачи. Каждый имитатор линии электропередачи представляет собой управляемый источник тока. Каждый имитатор узла энергосистемы содержит первый 10, второй 11 и третий 12 управляемые источники тока, ограничитель тока 13, усилитель 14, резисторы 15, 16. Ток источников 10 устанавливается пропорциональным генерируемым мощностям, ток источника 11 — пропорциональным плановому зна-

чению генерируемой мощности, а источника 12 устанавливается пропорциональным прогнозируемому значению мощности нагрузки соответствующего узла. На управляющие входы источников тока, входящих в состав ограничителей тока 13 и имитаторов линии электропередачи, поступают величины уставок генерируемых мощностей и перетоков мощности. Перечисленные элементы образуют модель энергосистемы, с выхода которой поступает сигнал на изменение мощности энергосистемы. 5 ил.

1

Изобретение относится к электротехнике и предназначено для оперативной коррекции распределения генерируемой активной мощности.

Целью изобретения является повышение экономичности электроснабжения путем оптимизации распределения активной мощности в энергосистеме.

На фиг. 1 изображено предлагаемое устройство; на фиг. 2 — блок формирования управляющих воздействий; на фиг. 3 — имитатор узла энергосистемы; на фиг. 4 — имитатор линии электропередачи; на фиг. 5 — ограничитель тока.

Устройство содержит соединенный с энергосистемой 1 блок 2 телеизмерений регулируемых параметров, блок 3 задатчиков уставок, блок 4 задатчиков плановых значений генерируемых мощностей, блок 5 задатчиков прогнозируемых значений нагрузок и блок 6 формирования управляющих воздействий, выход которого через канал 7 управления мощностью регулирующих объектов 25 связан с энергосистемой 1. Четыре входа блока 6 соединены с выходами блоков 2-5.

Блок 2 телеизмерений состоит из отдельных датчиков 2-1, 2-2, ... генерируемых мощностей. Блок 3 задатчиков уставок состоит из отдельных задатчиков 3-1-1, 3-1-2, ... уставок по перетокам мощности, задатчиков 3-2-1, 3-2-2, ... уставок по генерируемым мощностям. Блок 4 задатчиков плановых значений генерируемых мощностей сос-

2

тоит из отдельных задатчиков 4-1, 4-2, ... плановых значений генерируемых мощностей. Блок 5 задатчиков прогнозируемых значений нагрузок состоит из отдельных задатчиков 5-1, 5-2, ... прогнозируемых значений нагрузок.

Блок 6 формирования управляющих воздействий (фиг. 2) выполнен из имитаторов 8-1, 8-2, ... 8-k узла энергосистемы и имитаторов 9-1, 9-2, ..., 9-i линий электропередач количество которых определяется количеством узлов и линий электропередач энергосистемы. Каждый имитатор 8-k узла энергосистемы имеет два функциональных входа, управляющий выход и пять управляющих входов. Каждый имитатор 9-i линии электропередач имеет два функциональных входа и два управляющих входа и представляет собой ограничитель тока с двумя управляющими входами (фиг. 4).

Первые функциональные входы всех имитаторов 8k узлов энергосистемы объединены. Вторые функциональные входы этих имитаторов 8-k и первый и второй функциональные входы всех имитаторов 9i линий электропередач соединены между собой аналогично соединению концов имитируемых линий электропередач с имитируемыми узлами энергосистемы: каждая линия электропередач имитируется одним из имитаторов 9-i, а каждый узел энергосисте-

мы имитируется одним из имитаторов 8-к.

Управляющие выходы имитаторов 8 узла энергосистемы образуют в совокупности выход блока 6.

Первые и вторые управляющие входы всех имитаторов 8к и 9-і образуют в совокупности первый вход блока 6, связанный с выходом блока 3, причем первые и вторые управляющие входы имитаторов 9-і линий электропередач подключены к выходам задатчиков 3-2-1 3-2-2, ... уставок по генерируемым мощностям.

Третьи, четвертые и пятые управляющие входы всех имитаторов 8 узла энергосистемы образуют в совокупности соответственно второй, третий и четвертый входы блока 6 в целом, причем второй вход связан с выходом блока 2, третий вход - с выходом блока 4, четвертый вход - с выходом блока 5.

Каждый имитатор 8-к узла энергосистемы (фиг.3) содержит первый, второй, третий и четвертый управляемые источники тока с управляющими входами, ограничитель тока с двумя управляющими входами, усилитель, первый и второй резисторы. Управляемые источники 10 и 11 тока и ограничитель 13 тока включены последовательно между функциональными входами имитатора 8-к. Параллельно этой цепочке включен управляемый источник 12 тока. Параллельно управляемому источнику 10 тока включены последовательно соединенные усилитель 14 и резистор 15, а параллельно управляемому источнику 11 тока включен резистор 16.

Два управляющих входа ограничителей 13 тока являются первым и вторым управляющими входами имитатора 8-к.

Управляющие входы управляемых источников 10-12 тока являются соответственно третьим, четвертым и пятым управляющими входами имитатора 8-к.

Ограничитель тока (фиг.5) содержит два соединенных последовательно управляемых источника 17 и 18 тока, параллельно каждому из которых присоединены диоды 19 и 20 соответственно, включенные в противоположных направлениях относительно друг друга, причем управляющие входы управляемых источников 17 и 18 тока являются управляющими входами ограничителя тока в целом.

Вначале рассмотрим математическую постановку задач оперативной коррекции, решаемой предлагаемым устройством. Она состоит в следующем. Необходимо найти генерируемые мощности  $P_{гк}^*$  k-х узлов в определенный будущий момент времени  $t^*$ , для которого известны прогнозируемые нагрузки  $P_{нк}^*$  в этих же узлах и плановые значения генерируемых мощностей  $P_{гк}^n$  этих же узлов. Генерируемые мощности  $P_{гк}^*$  должны быть выбраны таким образом, чтобы минимизировать показатель качества I при условиях

$$I = \sum_{k=1}^n h_k (P_{гк}^* - P_{гк}^n)^2 + g_k (P_{гк}^* - P_{гк}^n)^2; \quad (1)$$

$$P_{гк}^* = P_{гк}^* + P_{нк}^* ; \quad (2)$$

$$P_{гк}^* = \sum_{i=1}^p \beta_{ki} P_{Ai}^* ; \quad (3)$$

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

$$P_{Ai}^* \leq P_{Ai}^* \leq P_{Ai}^n ; \quad (5)$$

$$P_{гк}^* \leq P_{гк}^* \leq P_{гк}^n ; \quad (6)$$

где  $h_k, g_k$  - известные коэффициенты;  
 $P_{гк}$  - генерируемая мощность k-го узла в текущий момент времени  $t$ ;  
 $P_{гк}^*$  - генерируемая мощность k-го узла в расчетный момент времени  $t^*$ ;  
 $P_{нк}^*$  - прогнозируемое значение мощности нагрузки k-го узла в расчетный момент времени  $t^*$ ;  
 $P_{гк}^*$  - узловая (суммарная) мощность k-го узла в расчетный момент времени  $t^*$ ;  
 $P_{Ai}$  - переток мощности по i-й линии электропередач в текущий момент времени  $t$ ;  
 $P_{Ai}^*$  - переток мощности по i-й линии электропередач в расчетный момент времени  $t^*$ ;  
 $P_{гк}^n$  - плановое значение генерируемой мощности k-го узла в расчетный момент времени  $t^*$ ;  
 $P_{гк}^i, P_{гк}^n$  - предельные значения (наименьшее и наибольшее соответственно) генерируемых мощностей  $P_{гк}^*$ ;  
 $P_{Ai}^i, P_{Ai}^n$  - то же для  $P_{Ai}^*$ ;  
 $\beta_{ki} = (0, 1-1)$  - в зависимости от соединения k-го узла с i-й линией электропередач и от

направления перетока, принятого за положительное.

В этой задаче показатель качества (1) отражает требования по минимизации изменения генерируемых мощностей (первый член формулы) и по минимизации отклонения от планового режима (второй член формулы). При этом, выбирая определенным образом коэффициенты  $h_k$  и  $g_k$  можно для некоторых (маневренных) электростанций снять последнее требование, а для других (базовых) электростанций сделать это требование превалирующим над первым.

Предлагаемое устройство применимо для энергосистем, в которых значения перетоков однозначно определяются значениями узловых мощностей (3). Это относится, в основном, к энергосистемам без кольцевых связей. Условие (4) отражает требование по стабилизации частоты.

Предлагаемое устройство решает задачу минимизации показателя качества  $I$  при условиях (1)-(6), где неизвестны  $R_{гк}^*$ ,  $R_{лi}^*$ ,  $R_{гк}^*$ , а данными являются  $R_{гк}$ ,  $R_{гк}'$ ,  $R_{гк}''$ ,  $R_{лi}'$ ,  $R_{лi}''$  и коэффициенты  $h_k$ ,  $g_k$ ,  $\beta_{ki}$ . Эта задача решается электрической цепью, являющейся моделью энергосистемы и одновременно физической моделью задачи. Эта электрическая цепь образует в блоке 6 формирования управляющих воздействий и имеет следующие компоненты и параметры:

- $r_k, R_k$  - сопротивления резисторов 15 и 16 соответственно, входящих в состав имитатора 8-к узла энергосистемы;
- $I_{гк}, I_{Rк}$  - токи, протекающие через резисторы  $r_k$  и  $R_k$  соответственно;
- $I_{ок}$  - ток, протекающий через ограничитель тока 13, входящий в состав имитатора 8-к узла энергосистемы;
- $I_{гк}, I_{пк}, I_{нк}$  - токи, источников 10-12 тока, соответственно, входящих в состав имитатора 8-к узла энергосистемы;
- $I_k$  - ток, протекающий через имитатор 8-к узла энергосистемы;
- $I_{лi}$  - ток, протекающий через ограничитель тока, входящий

в состав имитатора 9-и линии электропередачи.

В этой цепи соблюдается, естественно, первый закон Кирхгофа, т.е.

$$I_k = I_{пк} + I_{ок}; \quad (7)$$

$$I_{ок} = I_{пк} + I_{Rк}; \quad (8)$$

$$I_{ок} = I_{пк} + I_{Rк}; \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0; \quad (10)$$

$$I_k = \sum_{i=1}^p \beta_{ki} I_{лi}. \quad (11)$$

Последнее соотношение следует из (3) и того, что конфигурация электрической цепи повторяет конфигурацию энергосистемы. Уравнение (10) следует из того, что первые функциональные входы всех имитаторов 8-к объединены. Наконец, уравнения (7) - (9) следуют из схемы имитатора 8-к (фиг.3).

Рассмотрим теперь ограничитель тока (фиг.5), где  $i$  - ток, протекающий через ограничитель тока в целом;  $i_1, i_2$  - токи управляемых напряжением источников 17 и 18 тока соответственно;  $d_1, d_2$  - токи, протекающие через диоды  $D_1, 19$  и  $D_2, 20$  соответственно.

Очевидно,

$$i = i_1 + d_1; \quad (12)$$

$$i = i_2 - d_2; \quad (13)$$

$$d_1 \geq 0 \quad (14)$$

$$d_2 \geq 0. \quad (15)$$

Из (12)-(15) следует, что

$$i_1 \leq i \leq i_2. \quad (16)$$

Для ограничителей 13 и 9 тока обозначим токи  $i, i_1, i_2$  соответственно через  $I_{ок}, I_{ок}', I_{ок}''$  и  $I_{лi}, I_{лi}', I_{лi}''$ . Тогда из (16) получим

$$I_{ок}' \leq I_{ок} < I_{ок}''; \quad (17)$$

$$I_{лi}' \leq I_{лi} \leq I_{лi}''. \quad (18)$$

В рассматриваемой электрической цепи тепловые потери

$$Q = \sum_{k=1}^n (r_k I_{гк}^2 + R_k I_{Rк}^2). \quad (19)$$

Объединяя (8), (9) и (19) получаем

$$Q = \sum_{k=1}^n r_k (I_{ок} - I_{гк})^2 + R_k (I_{ок} - I_{пк})^2. \quad (20)$$

Электрическая цепь, содержащая сопротивления, диоды и источники тока постоянной величины, удовлетворяет

принципу минимума тепловых потерь, т.е. токи в такой цепи распределяются так, что удовлетворяют первому закону Кирхгофа, ограничениям вида (14) и (15), накладываемым диодами, и минимизируют количество тепла, выделяемого в резисторах.

В соответствии с этим принципом в рассматриваемой электрической цепи минимизируются тепловые потери  $Q$  при условиях (7), (10), (11), (17), (18) и (20).

Таким образом, электрическая цепь предлагаемого устройства решает задачу квадратичного программирования с показателем качества (20), линейными ограничениями (7), (10), (11) и ограничениями в виде двусторонних неравенств (17) и (18). В этой задаче известны токи  $I_k^I, I_k^II, I_{A_i}^I, I_{A_i}^{II}, I_{ГК}, I_{НК}, I_{НК}^*$  источников 17, 18, 10, 11 и 12 тока. В результате решения этой задачи (т.е. при окончании переходного процесса, становятся известными токи  $I_{ОК}, I_{ОК}^*, I_k, I_{A_i}, I_{ГК}, I_{ГК}^*$ . Последние могут быть измерены благодаря наличию усилителей 14. Входное сопротивление этих усилителей мало и поэтому не влияет на распределение токов, а напряжение  $V_k$  на их входе пропорционально току  $I$

Пусть

$$\left. \begin{aligned} P_{ГК} &= \alpha I_{ГК}; \\ P_{ГК}^n &= \alpha I_{НК}; \\ P_{НК}^* &= \alpha I_{НК}; \\ P_{ГК}^* &= \alpha I_{ОК}; \\ P_{КГ}^I &= \alpha I_k^I; \\ P_{КГ}^{II} &= \alpha I_k^{II}; \\ P_{ГК}^* &= \alpha I_k; \\ P_{A_i}^* &= \alpha I_{A_i}; \\ P_{A_i}^I &= \alpha I_{A_i}^I; \\ P_{A_i}^{II} &= \alpha I_{A_i}^{II}; \\ r_k &= p_k / \alpha^2; \\ R_k &= g_k / \alpha^2. \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

При этом задача минимизации  $Q$  при условиях (20), (7) (11), (10), (18) и (17) полностью эквивалентна задаче минимизации показателя качества  $I$  при распределении перетоков активной мощности в энергосистеме при условиях (1) - (7).

Устройство работает следующим образом.

Из блока 2 телеизмерений на управляющие входы источников 10 тока поступают величины  $P_{ГК}$ , устанавливая величину тока  $I_{ГК}$  этих источников в соответствии с (21). Таким образом, токи источников 10 тока становятся равными величинам  $I_{ГК}$ , пропорциональным генерируемым мощностям  $P_{ГК}$ .

Аналогично, из блока 4 задатчиков плановых значений генерируемых мощностей на управляющие входы источников 11 поступают величины  $P_{ГК}^n$ , устанавливая величину тока  $I_{НК}$  этих источников в соответствии с (21). Из блока 5 задатчиков прогнозируемых значений нагрузок на управляющие входы источников 12 тока поступают величины  $P_{НК}^*$ , устанавливая величину тока  $I_{НК}$  этих источников в соответствии с (21).

Из блока 3 задатчиков уставок на управляющие входы источников 17 и 18 тока, входящих в состав ограничителей 13 и 9 тока поступают величины уставок  $P_{ГК}^I, P_{ГК}^{II}, P_{A_i}^I, P_{A_i}^{II}$ , устанавливая в соответствии с (21) величины токов соответственно

$I_{ОК}$  источника 17 тока в ограничителе 13 тока;  
 $I_{ОК}^*$  источника 18 тока в ограничителе 13 тока;  
 $I_{A_i}^I$  источника 17 тока в ограничителе 9 тока;  
 $I_{A_i}^{II}$  источника 18 тока в ограничителе 9 тока.

Тем самым реализуются ограничения (18) и (17). По окончании переходного процесса в моделирующей цепи токи в резисторах 15 устанавливаются равными величинам  $I_{ГК}$ . Эти токи протекают также через усилители 14 (с малым входным сопротивлением). Таким образом, сигналы на выходах усилителей 14 оказываются пропорциональными токам  $I_{ГК}$  или, как следует из (8) и (21), величинам

$$V_k = P_{ГК}^* - P_{ГК}. \quad (22)$$

Эти сигналы поступают через канал 7 в энергосистему 1 для изменения мощности регулирующих объектов на величину (22) к тому моменту, для которого в блоках 4 и 5 установлены плановые значения генерируемых мощностей и прогнозируемые значения нагрузок.

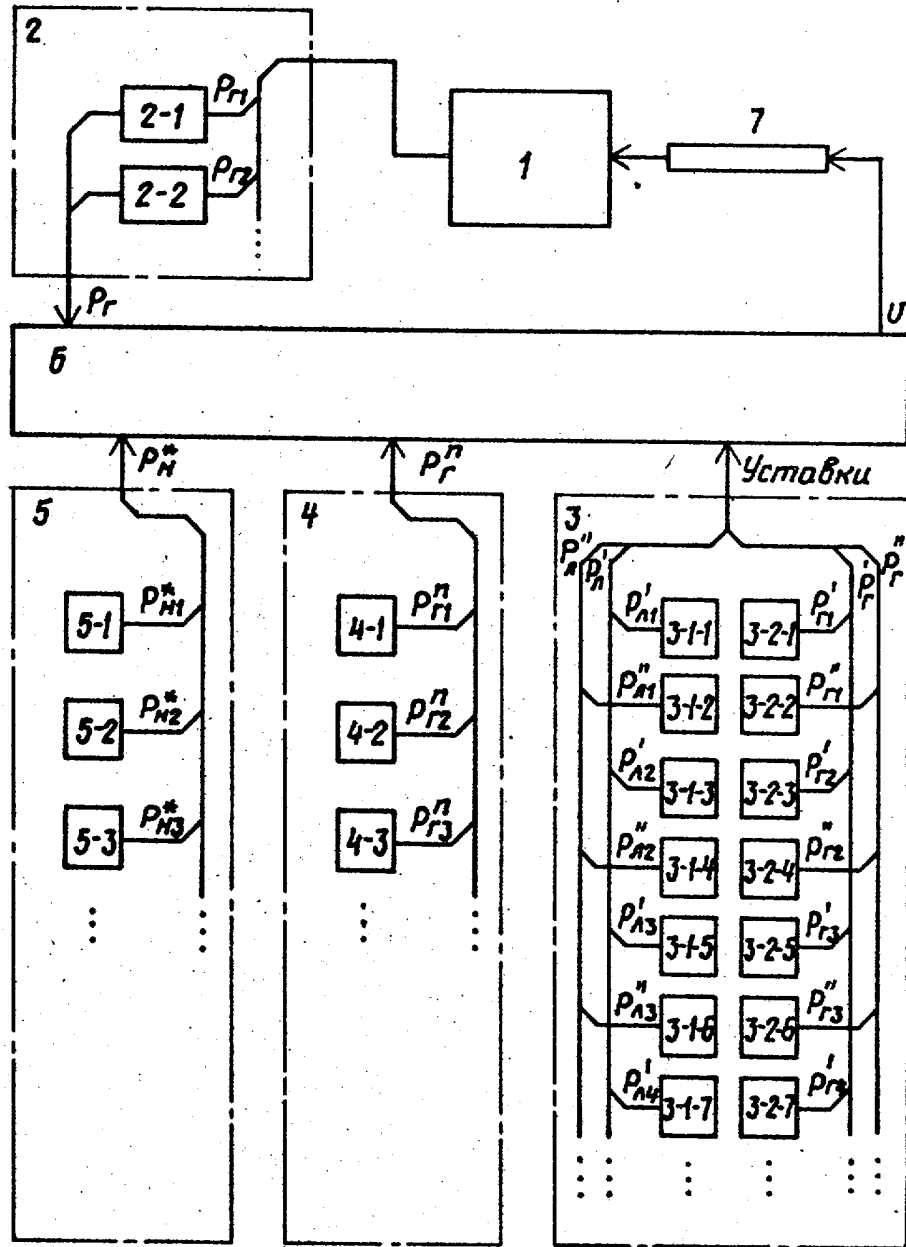
## Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Устройство для распределения активной мощности в энергосистеме, содержащее блок телеизмерения регулируемых параметров, состоящий из датчиков генерируемых мощностей, вход которого соединен с энергосистемой, имеющей канал управления мощностью регулирующих объектов, а выход объединяет выход датчиков генерируемых мощностей, блок задатчиков уставок, выход которого объединяет выходы задатчиков уставок, и блок формирования управляющих воздействий, выполненный из имитаторов узлов энергосистемы и имитаторов линий электропередач, количество которых определяется количеством узлов и линий электропередач энергосистемы, каждый имитатор линии электропередачи имеет два функциональных входа и два управляющих входа, а каждый имитатор узла энергосистемы имеет два функциональных входа, три управляющих входа и управляющий выход, причем эти выходы образуют в совокупности выход блока формирования управляющих воздействий в целом, третьи управляющие входы всех имитаторов узлов энергосистемы образуют в совокупности первый вход блока формирования управляющих воздействий, связанный с выходом блока телеизмерений, 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, каждый имитатор линии электропередач выполнен в виде включенного между его функциональными входами ограничителя тока с двумя управляющими входами, каждый имитатор узла энергосистемы содержит усилитель, первый управляемый источник тока, первый резистор и ограничитель тока с двумя управляющими входами, причем этот ограничитель включен последовательно с первым управляемым источником тока, а параллельно первому управляемому источнику тока включены последовательно соединенные усилитель и первый резистор, управляющие входы ограничителей тока во всех имитаторах явля-

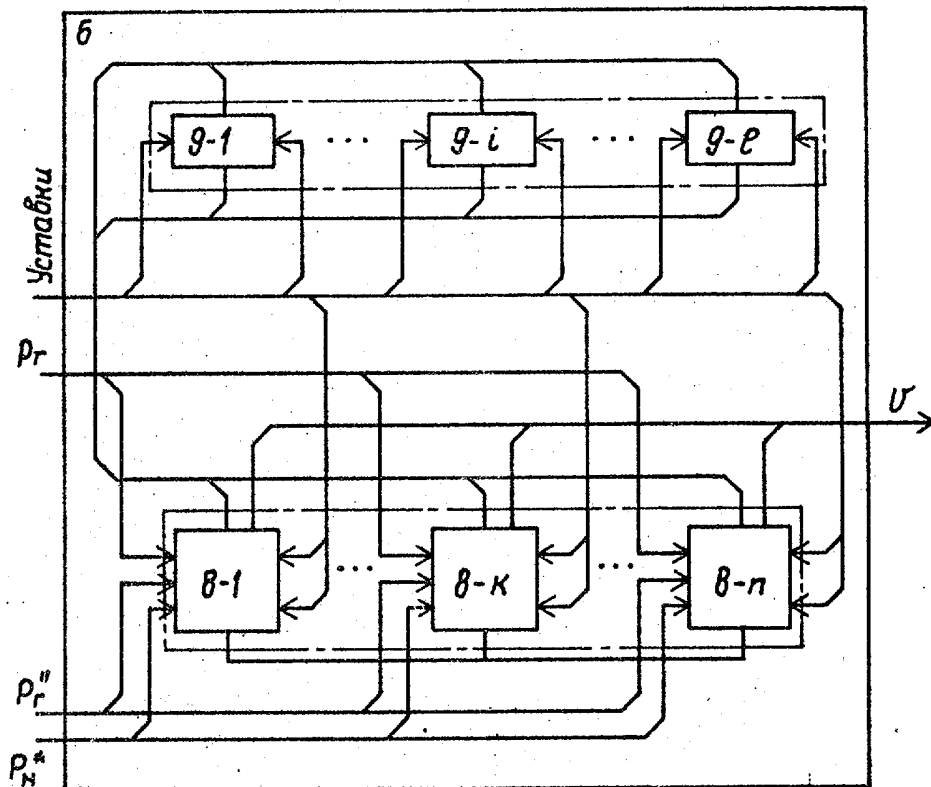
ются первым и вторым управляющими входами этих имитаторов и образуют в совокупности второй управляющий вход блока формирования управляющих воздействий в целом, соединенный с выходом блока задатчиков уставок, причем управляющие входы ограничителей тока имитатора линий электропередач подключены к выходам задатчиков уставок по перетокам мощности, а управляющие входы ограничителей тока имитатора узла энергосистемы подключены к выходам задатчиков уставок по генерируемым мощностям, отличающееся тем, что, с целью повышения экономичности электроснабжения путем оптимизации распределения активной мощности в энергосистеме, в него дополнительно введены блок задатчиков плановых значений генерируемых мощностей, выход которого объединяет выходы задатчиков плановых значений генерируемых мощностей, блок задатчиков прогнозируемых значений нагрузок, выход которого объединяет выходы задатчиков прогнозируемых значений нагрузок, в каждый имитатор узла энергосистемы дополнительно введены второй и третий управляемые источники тока и второй резистор, причем второй управляемый источник тока включен последовательно с ограничителем тока и первым управляемым источником тока между функциональными входами этого имитатора, третий управляемый источник тока включен также между функциональными входами этого имитатора, второй резистор включен параллельно второму управляемому источнику тока, управляющие входы второго и третьего управляемых источников тока являются соответственно четвертым и пятым управляющими входами этого имитатора, при этом четвертые управляющие входы всех имитаторов узлов образуют в совокупности третий управляющий вход блока формирования управляющих воздействий, соединенный с выходом блока задатчиков плановых значений генерируемых мощностей, пятые управляющие входы всех имитаторов узлов образуют в совокупности четвертый управляющий вход блока формирования управляющих воздействий соединенный с выходом блока задатчиков прогнозируемых значений нагрузок, а выход блока формирования управ-

ляющих воздействий подключен к энергосистеме через канал управ-

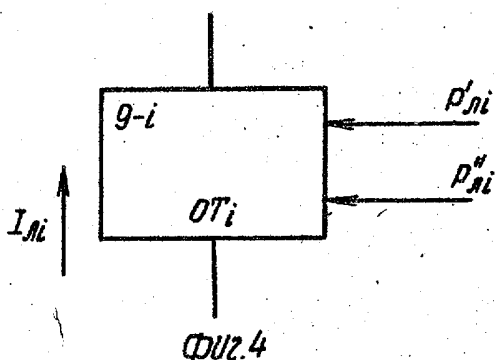
ления мощностью регулирующих объектов.



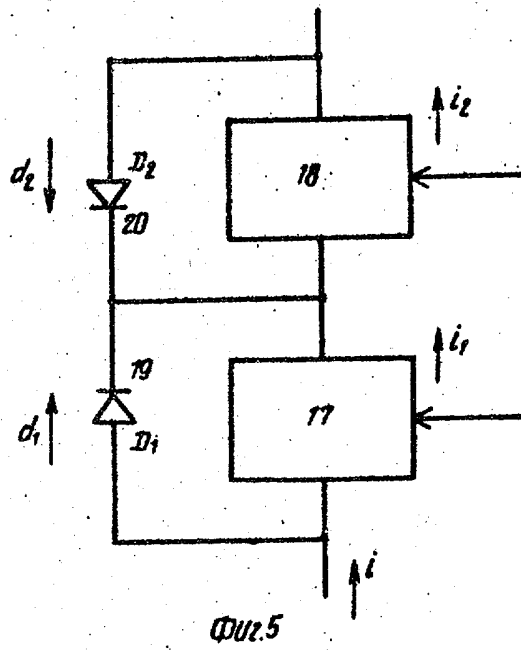
Фиг.1



Фиг. 2



Фиг. 4



Фиг. 5

Составитель К. Фотина

Редактор А. Шандор

Техред Л. Сердюкова    Корректор Г. Решетник

Заказ 1501/53

Тираж 650

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