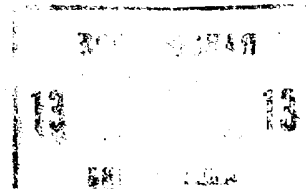




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



(21) 3839668/24-07

(22) 02.01.85

(46) 15.09.86. Бюл. № 34

(71) Ордена Октябрьской Революции  
всесоюзный государственный проектно-  
изыскательский и научно-исследова-  
тельский институт энергетических  
систем и электрических сетей "Энерго-  
сетьпроект"

(72) С.И.Хмельник

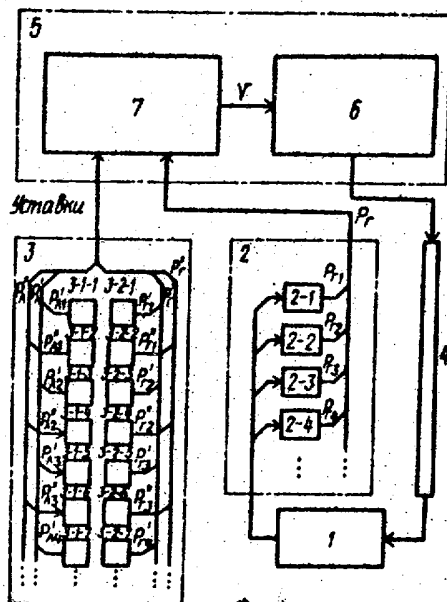
(53) 621.316.728 (088.8)

(56) Авторское свидетельство СССР  
№ 1070641-А, кл. Н 02 J 3/06, 1982.

Авторское свидетельство СССР  
№ 1089698-А, кл. Н 02 J 3/06, 1982.

(54) УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕ-  
ГУЛИРОВАНИЯ ПЕРЕТОКОВ АКТИВНОЙ МОЩ-  
НОСТИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

(57) Изобретение относится к обла-  
сти электротехники. Целью изобретения  
является упрощение устройства и по-  
вышение экономичности и надежности  
энергоснабжения путем улучшения ис-  
пользования пропускной способности  
линий передач и режима работы элект-  
ростанций. Эта цель достигается за  
счет того, что устройство содержит  
соединенный с энергосистемой 1 блок 2  
телеизмерений регулируемых парамет-  
ров и блок 3 задатчиков уставок. С



энергосистемой 1 каналом 4 управления мощностью регулирующих объектов связан управляющий блок 5. Блок 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, 3-2-1, 3-2-2, ... уставок по генерируемым мощностям. Управляющий блок 5 содержит блок 6 корректирующих фильтров и блок 7 формирования управляющих воздействий. При этом блок формирования управляющих воздействий выполнен из имитаторов узлов энергосистемы и имитаторов линий электропередач, количество которых определяется коли-

чеством узлов и линий электропередач энергосистемы. Каждый имитатор узла энергосистемы содержит включенные последовательно между его функциональными входами ограничитель тока и управляемый источник тока, параллельно которому включены последовательно соединенные усилитель и резистор. Каждый имитатор линии электропередач выполнен в виде включенного между его функциональными входами ограничителя тока с двумя управляющими входами. В рассматриваемой электрической цепи устройства минимизируются тепловые потери и решается задача квадратичного программирования. 4 ил.

Изобретение относится к электроэнергетике.

Цель изобретения - упрощение устройства и повышение экономичности и надежности энергоснабжения путем улучшения использования пропускной способности линий передач и режима работы электростанций.

На фиг.1 изображена схема предлагаемого устройства; на фиг.2 - схема блока формирования управляющих воздействий; на фиг.3 и 4 - схемы имитатора узла энергосистемы и ограничителя тока.

Предлагаемое устройство содержит соединенный с энергосистемой 1 блок 2 телеизмерений регулируемых параметров и блок 3 задатчиков уставок. С энергосистемой 1 каналом 4 управления мощностью регулирующих объектов связан 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, 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.

Выходы датчиков 2-1, 2-2, ... образуют выход блока 2 телеизмерений, аналогично выходы задатчиков 3-1-1, 3-1-2, ... и 3-2-1, 3-2-2, ... - выход блока 3 задатчиков уставок.

Управляющий блок 5 содержит блок 6 корректирующих фильтров и блок 7 формирования управляющих воздействий, выход которого соединен с входом блока 6 корректирующих фильтров, выход которого является выходом управляющего блока в целом. Первый и второй входы блока 7 формирования управляющих воздействий являются одновременно соответствующими входами управляющего блока 5 в целом.

Блок формирования управляющих воздействий выполнен из имитаторов 8-1, 8-2, ..., 8-к узлов энергосистемы и имитаторов 9-1, 9-2, ..., 9-1 линий электропередач, количество которых определяется количеством узлов и линий электропередач энергосистемы. Каждый имитатор 9 линий электропередач имеет два функциональных и два управляющих входа, а каждый имитатор 8 узла энергосистемы - два функциональных входа, три управляющих входа и управляющий выход, причем эти выходы образуют вы-

ход блока 7 формирования управляющих воздействий. Первые управляющие входы всех имитаторов 8 узлов энергосистемы в совокупности образуют первый вход блока 7 формирования управляющих воздействий, связанный с выходом блока 2 телеизмерений. Первые функциональные входы всех имитаторов 8 узлов энергосистемы объединены. Вторые функциональные входы имитаторов 8 и первый и второй функциональные входы всех имитаторов 9 линий электропередач объединены аналогично соединению концов имитируемых линий электропередач с имитируемыми узлами энергосистемы: каждая линия электропередач имитируется одним из имитаторов 9- $i$ , а каждый узел энергосистемы имитируется одним из имитаторов 8- $k$ .

Каждый имитатор 8 узла энергосистемы содержит включенные последовательно между его функциональными входами ограничитель 10 тока с двумя управляющими входами и управляемый источник 11 тока, параллельно которому включены последовательно соединенные усилитель 12 и резистор 13.

Каждый имитатор 9 линии электропередач выполнен в виде включенного между его функциональными входами ограничителя тока с двумя управляющими входами.

Управляющие входы ограничителей тока во всех имитаторах в совокупности образуют второй управляющий вход блока 7 формирования управляющих воздействий, соединенный с выходом блока 3 задатчиков уставок.

Ограничитель тока содержит два соединенных последовательно управляемых источника 14 и 15 тока, параллельно каждому из которых присоединены диоды 16 и 17, включенные в противоположных направлениях относительно друг друга, причем управляющие входы управляемых источников 14 и 15 тока являются управляющими входами ограничителя тока. Источники 14 и 15 тока, используемые в устройстве, вырабатывают ток постоянной величины, не зависящей от напряжения на зажимах источника тока и определяемой сигналом на его управляющем входе.

Математическая формулировка задачи регулирования, решаемая предлагаемым

устройством, состоит в обеспечении минимизации  $I$  при условиях:

$$J = \sum_{k=1}^n h_k V_k^2; \quad (1)$$

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

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

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

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

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

$$P_{ГК}^* \leq P_{ГК}^* \leq P_{ГК}^*; \quad (7)$$

где  $V_k$  - управления, вырабатываемые устройством;

$P_{ГК}$  - измеренные узловые мощности;

$P_{ГК}^*$  - узловые мощности, которые установятся после отработки управлений;

$P_{Ai}^*$  - перетоки мощности, которые установятся после отработки управлений;

$P_{ГК}^*$ ,  $P_{ГК}^*$  - предельные значения (наименьшее и наибольшее соответственно) узловых мощностей  $P_{ГК}$ , задаваемые в блоке задатчиков уставок;

$P_{Ai}^*$ ,  $P_{Ai}^*$  - то же, для перетоков мощностей  $P_{Ai}$ ;

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

Таким образом, предлагаемое устройство решает задачу минимизации показателя качества  $I$  при условиях (1)-(7), где неизвестны  $V_k$ ,  $P_{ГК}^*$ ,  $P_{Ai}^*$ , а данными являются  $P_{ГК}$ ,  $P_{ГК}^*$ ,  $P_{ГК}^*$ ,  $P_{Ai}^*$ ,  $P_{Ai}^*$  и коэффициенты  $h_k$  и  $\beta_{ki}$ . Эта задача решается электрической цепью, являющейся моделью энергосистемы и физической моделью этой задачи. Эта электрическая цепь образуется в блоке 7 формирования управляющих воздействий и имеет следующие компоненты и параметры:  $r_k$  - сопротивление резистора 13, входящего в сос-

тав имитатора 8-k узла энергосистемы;  $I_{ГК}$  ток управляемого напряжением источника 11 тока, входящего в состав имитатора 8-k узла энергосистемы;  $I_{ЧК}$  - ток, протекающий через резистор  $r_k$  и усилитель 12, входящий в состав имитатора 8-k узла энергосистемы;  $I_k$  - ток, протекающий через ограничитель 10 тока, входящий в состав имитатора 8-k узла энергосистемы;  $I_{A_i}$  - ток, протекающий через ограничитель 10 тока, входящий в состав имитатора 9-i линии электропередач.

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

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

$$I_k = I_{ГК} + I_{ГК}^0; \quad (9)$$

$$I_k = \sum_{i=1}^l \beta_{ki} I_{A_i}. \quad (10)$$

Соотношение (10) следует из (3), а также из того, что конфигурация электрической цепи повторяет конфигурацию энергосистемы. Уравнение (8) следует из того, что первые функциональные входы всех имитаторов 8-k объединены. Уравнение (9) следует из схемы имитатора 8-k (фиг.3).

Ограничитель тока приведен на фиг.4, причем  $i$  - ток, протекающий через ограничитель тока в целом;  $i_1, i_2$  - токи управляемых напряжением источников 14 и 15 тока;  $d_1, d_2$  - токи, протекающие через диоды 18 и 19.

Очевидно,

$$i = i_1 + d_1; \quad (11)$$

$$i = i_2 - d_2; \quad (12)$$

$$d_1 \geq 0 \quad (13)$$

$$d_2 \geq 0 \quad (14)$$

Из (11)-(14) следует, что

$$i_1 \leq i \leq i_2. \quad (15)$$

Для ограничителей 10 тока обозначают токи  $i_1, i_2$  соответственно через  $I_k, I_k^1, I_k^2$  и  $I_{A_i}, I_{A_i}^1, I_{A_i}^2$ . Тогда из (15) получают

$$I_k^1 \leq I_k \leq I_k^2; \quad (16)$$

$$I_{A_i}^1 \leq I_{A_i} \leq I_{A_i}^2. \quad (17)$$

В рассматриваемой электрической цепи тепловые потери

$$Q = \sum_{k=1}^n r_k I_{ГК}^2. \quad (18)$$

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 (13) и (14), накладываемыми диодами, и минимизируют количество тепла, выделяемого в резисторах.

В соответствии с этим принципом в рассматриваемой электрической цепи минимизируются тепловые потери  $Q$  при условиях (8)-(10), (16)-(18). Таким образом, электрическая цепь предлагаемого устройства решает задачу квадратичного программирования с показателем качества (18), линейными ограничениями (8)-(10) и ограничениями в виде двусторонних неравенств (16) и (17). В этой задаче известны токи источников тока, управляемых напряжением  $I_k^1, I_k^2, I_{A_i}^1, I_{A_i}^2, I_{ГК}$ . В результате решения этой задачи (т.е. при окончании переходного процесса) становятся известными токи  $I_k, I_{A_i}, I_{ГК}$ . Последние могут быть измерены в результате наличия усилителей 12. Входное сопротивление этих усилителей мало и поэтому не влияет на распределение токов, а напряжение  $U_k$  на их выходе пропорционально току  $I_{ГК}$ .

$$\begin{aligned} R_{ГК} &= \alpha I_{ГК}; \\ R_{ГК}^1 &= \alpha I_{ГК}^1; \\ R_{ГК}^2 &= \alpha I_{ГК}^2; \\ R_{ГК}^0 &= \alpha I_{ГК}^0; \\ R_{A_i}^1 &= \alpha I_{A_i}^1; \\ R_{A_i}^2 &= \alpha I_{A_i}^2; \\ R_{A_i}^0 &= \alpha I_{A_i}^0; \\ V_k &= \alpha I_{ГК}; \\ r_k &= h_k / \alpha^2 \end{aligned} \quad (19)$$

а токи  $I_{ГК}$  удовлетворяют условию;

$$\sum_{k=1}^n I_{ГК} = 0 \quad (20)$$

Из (8), (9) и (20) следует, что

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

При этом задача минимизации  $Q$  при условиях (9), (10), (16)-(18), (20) и (21), полностью эквивалентна задаче минимизации показателя качества  $I$  регулирования перетоков активной мощности в энергосистеме при условиях (1)-(7).

Устройство работает следующим образом.

Из блока 2 телеизмерений на управляющие входы источников 11 тока поступают величины  $P_{гк}$ , устанавливают величину тока  $I_{гк}$  этих источников в соответствии с (19). Таким образом токи 11 источников становятся равными величинами  $I_{гк}$ , пропорциональным генерируемым мощностям  $P_{гк}$ . Эти мощности удовлетворяют условию (4). Отсюда и из (19) следует, что токи  $I_{гк}$  удовлетворяют условию (20).

Из блока 3 задатчиков уставок на управляющие входы источников 14 и 15 тока, входящих в состав ограничителей тока, поступают величины уставок  $P_{гк}^1, P_{гк}^2, P_{Л1}^1, P_{Л1}^2$ , устанавливая в соответствии с (19) величины токов источников 14 и 15 тока 14 в ограничителях 10 тока.

Следовательно, реализуются ограничения (16) и (17).

Поскольку соблюдаются условия (19) и (20), задача, решаемая электрической цепью устройства, эквивалентна, как указывалось, задаче регулирования. При этом по окончании переходного процесса в моделирующей цепи токи в резисторах 13 устанавливаются равными величинам  $I_{гк}$ , 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.

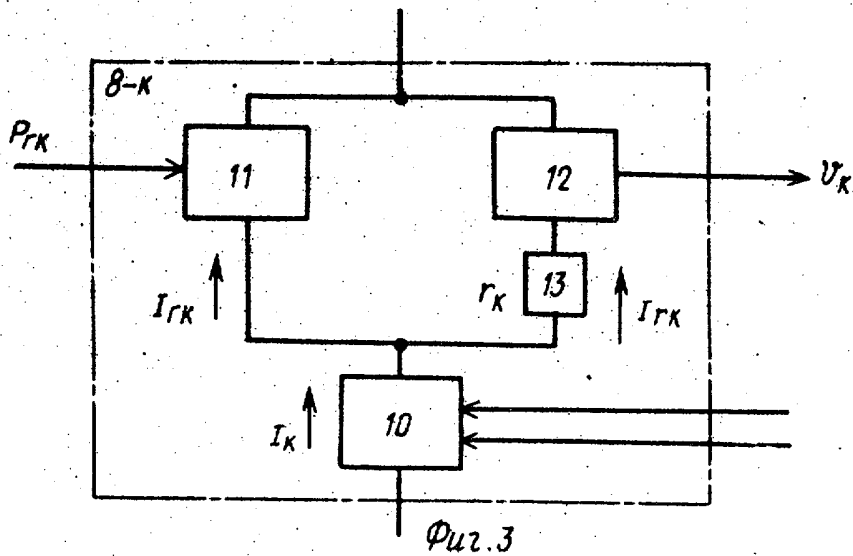
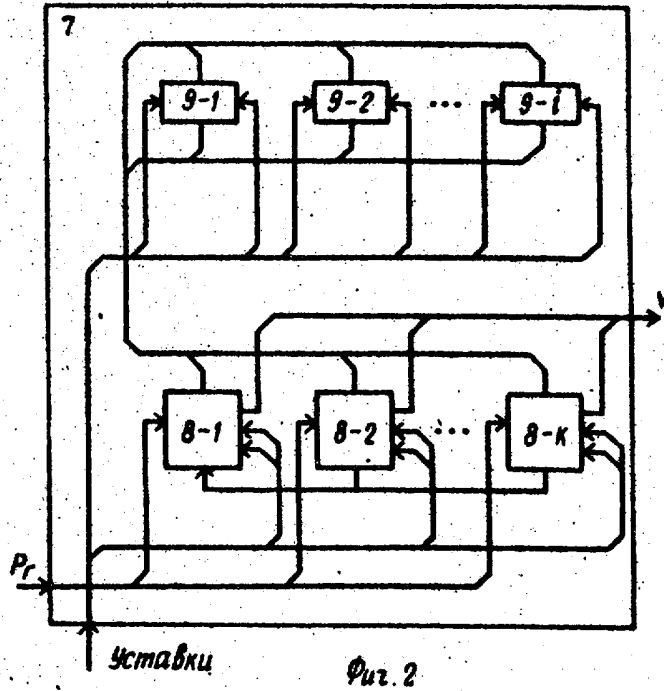
Сигналы с выхода блока корректирующих фильтров 6 поступают через канал 4 в энергосистему 1 для изменения мощности регулирующих объектов. В результате этого меняются текущие значения регулируемых параметров энергосистемы. После следующего цикла измерения соответствующие теле-сигналы вновь подаются на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

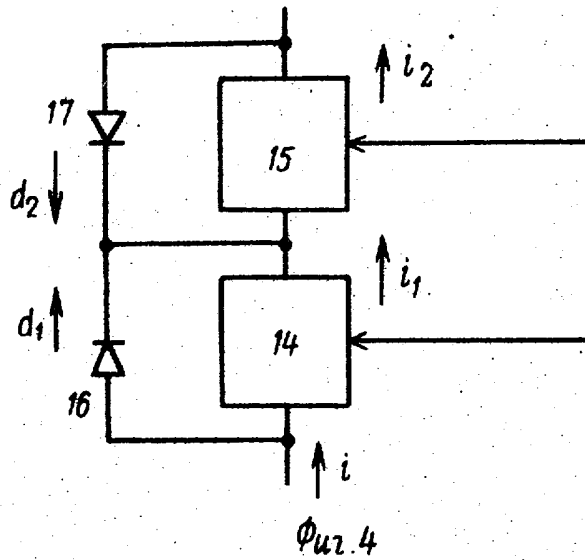
## Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Устройство автоматического регулирования перетоков активной мощности в энергосистеме, содержащее блок телеизмерения регулируемых параметров, состоящий из датчиков генерируемых мощностей энергосистемы, а выход объединяет выходы датчиков генерируемых мощностей, блок задатчиков уставок, состоящий из задатчиков уставок по перетокам мощности и задатчиков уставок по генерирующим мощностям, управляющий блок, связанный своим выходом через канал управления мощностью с регулирующими объектами энергосистемы, причем управляющий блок содержит блок формирования управляющих воздействий, выход которого соединен с входом блока корректирующих фильтров, выход которого является выходом управляющего блока в целом, блок формирования управляющих воздействий 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 входа, а каждый имитатор узла энергосистемы имеет два функциональных входа, первый управляющий вход и управляющий выход, причем эти выходы образуют в совокупности выход блока формирования управляющих воздействий в целом, первые 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 узла энергосистемы содержит усилитель и управляемый источник тока, отличающееся тем, что, с целью упрощения устройства и повышения экономичности и надежности энергоснабжения путем улучшения использования пропускной способности линий электропередач и режима работы

электростанций, каждый имитатор линии электропередач выполнен в виде включенного между его функциональными входами ограничителя тока с двумя управляющими входами, каждый имитатор узла энергосистемы дополнительно содержит резистор и ограничитель тока с двумя управляющими входами, причем этот ограничитель включен последовательно с управляемым источником тока между функциональными входами этого имитатора, а параллельно управляемому источнику тока включены последовательно соединенные усилитель

и резистор, управляющие входы ограничителей тока во всех имитаторах 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.





Редактор Л. Пчелинская      Составитель К. Фотина  
 Техред Л. Сердюкова      Корректор М. Самборская

Заказ 5034/53      Тираж 612      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