



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) KZ (13) B (11) 35987

(51) H02B 5/00 (2006.01)

H02J 3/00 (2006.01)

H02B 13/065 (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21) 2021/0627.1

(22) 18.10.2021

(45) 09.12.2022, бюл. №49

(72) Барукин Александр Сергеевич; Әмірбек Динара Әмірбекқызы; Клецель Марк Яковлевич; Машрапова Гульнара Наримановна

(73) Некоммерческое акционерное общество «Торайгыров университет»

(56) RU 2744255 C1, 04.03.2021;

RU 2739971 C1, 30.12.2020;

RU 2713447 C1, 05.02.2020;

RU 2744474 C1, 10.03.2021

(54) **ОТКРЫТОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ С ШЕСТЬЮ БЛОКАМИ ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР, СЕМЬЮ ЛИНИЯМИ И АВТОТРАНСФОРМАТОРОМ СВЯЗИ**

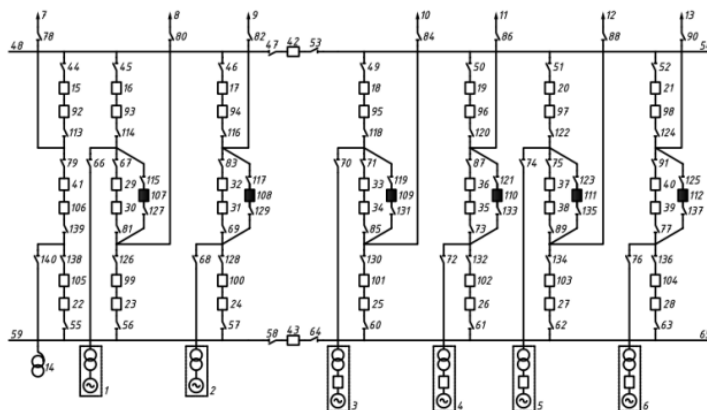
(57) Изобретение относится к электротехнике, а именно к открытым распределительным устройствам (ОРУ) электрических станций, и может быть применено на них для выдачи вырабатываемой электроэнергии.

Технический результат изобретения - снижение частоты потери генерируемой и передаваемой мощности в ОРУ при отказе любого из

выключателей, соединяющих блок генератор-трансформатор, линию или автотрансформатор связи со сборной шиной, в отключении при КЗ на одном из этих присоединений или при его отказе типа «КЗ в обе стороны», а также при ремонте двух выключателей, осуществляющих подключение блока генератор-трансформатор к линии.

Это достигается тем, что в ОРУ электрической станции с шестью блоками генератор-трансформатор, семью линиями и автотрансформатором связи введены тридцатый, тридцать первый, тридцать второй, тридцать третий, тридцать четвертый, тридцать пятый, тридцать шестой, тридцать седьмой, тридцать восьмой, тридцать девятый, сороковой, сорок первый, сорок второй, сорок третий и сорок четвертый выключатели с разъединителем с одной из сторон, а также нормально отключенные сорок пятый, сорок шестой, сорок седьмой, сорок восьмой, сорок девятый и пятидесятый выключатели с разъединителями с каждой из сторон.

Экономический эффект заключается в снижении величины приведенных затрат за счет снижения суммарного аварийного недоотпуска электроэнергии.



Фиг. 1

(19) KZ (13) B (11) 35987

Изобретение относится к электротехнике, а именно к открытым распределительным устройствам (ОРУ) электрических станций, и может быть применено на них для выдачи вырабатываемой электроэнергии.

Наиболее близким к предлагаемому является ОРУ электрической станции с шестью блоками генератор-трансформатор, семью линиями и автотрансформатором связи [RU 2744255, H02B 5/00, H02B 1/24, H02B 13/065, H02H 9/00, опубл. 04.03.2021], содержащее первый, второй, третий, четвертый, пятый, шестой, седьмой, восьмой, девятый, десятый, одиннадцатый, двенадцатый, тринадцатый, четырнадцатый, пятнадцатый, шестнадцатый и семнадцатый выключатели с разъединителями с каждой из сторон, восемнадцатый, девятнадцатый, двадцатый, двадцать первый, двадцать второй, двадцать третий, двадцать четвертый, двадцать пятый, двадцать шестой, двадцать седьмой, двадцать восьмой и двадцать девятый выключатели с разъединителем с одной из сторон. Первые разъединители первого, второго, третьего и четвертого выключателей подключены к первой сборной шине. Первые разъединители пятого, шестого, седьмого, восьмого выключателей и второй разъединитель четвертого выключателя подключены ко второй сборной шине. Первые разъединители девятого, десятого, одиннадцатого и двенадцатого выключателей подключены к третьей сборной шине. Первые разъединители тринадцатого, четырнадцатого, пятнадцатого, шестнадцатого выключателей и второй разъединитель двенадцатого выключателя подключены к четвертой сборной шине. Разъединитель первого блока генератор-трансформатор подключен ко второму разъединителю второго выключателя и к разъединителю восемнадцатого выключателя, включенного последовательно с девятнадцатым выключателем. Разъединитель второго блока генератор-трансформатор подключен ко второму разъединителю одиннадцатого выключателя и к разъединителю двадцатого выключателя, включенного последовательно с двадцать первым выключателем. Разъединитель третьего блока генератор-трансформатор подключен ко второму разъединителю пятого выключателя и к разъединителю двадцать второго выключателя, включенного последовательно с двадцать третьим выключателем. Разъединитель четвертого блока генератор-трансформатор подключен ко второму разъединителю четырнадцатого выключателя и к разъединителю двадцать четвертого выключателя, включенного последовательно с двадцать пятым выключателем. Разъединитель пятого блока генератор-трансформатор подключен ко второму разъединителю седьмого выключателя и к разъединителю двадцать шестого выключателя, включенного последовательно с двадцать седьмым выключателем. Разъединитель шестого блока генератор-трансформатор подключен ко второму разъединителю шестнадцатого выключателя и к разъединителю двадцать восьмого выключателя,

включенного последовательно с двадцать девятым выключателем. Разъединитель первой линии подключен ко второму разъединителю первого выключателя и к первому разъединителю семнадцатого выключателя. Разъединитель второй линии подключен ко второму разъединителю десятого выключателя и к разъединителю девятнадцатого выключателя. Разъединитель третьей линии подключен ко второму разъединителю третьего выключателя и к разъединителю двадцать первого выключателя. Разъединитель четвертой линии подключен ко второму разъединителю тринадцатого выключателя и к разъединителю двадцать третьего выключателя. Разъединитель пятой линии подключен ко второму разъединителю шестого выключателя и к разъединителю двадцать пятого выключателя. Разъединитель шестой линии подключен ко второму разъединителю пятнадцатого выключателя и к разъединителю двадцать седьмого выключателя. Разъединитель седьмой линии подключен ко второму разъединителю восьмого выключателя и к разъединителю двадцать девятого выключателя. Разъединитель автотрансформатора связи подключен ко вторым разъединителям девятого и семнадцатого выключателей.

Недостатком этого устройства является высокая частота потери генерируемой и передаваемой мощности, так как отказ любого выключателя, соединяющего блок генератор-трансформатор, линию или автотрансформатор связи со сборной шиной, в отключении при КЗ на одном из этих присоединений или его отказ типа «КЗ в обе стороны» приводит к одновременному отключению двух присоединений. Надежность устройства низка и в случае нахождения в ремонте двух выключателей, осуществляющих подключение блока генератор-трансформатор к линии, что при отказе выключателя, соединяющего блок и сборную шину, приводит к длительному погашению этого блока. В обоих случаях отказы выключателей ведут к дефициту мощности в энергосистеме (также возможно нарушение её устойчивой работы из-за потери блока) и, как следствие, к недоотпуску электроэнергии конечным потребителям.

Технический результат изобретения – снижение частоты потери генерируемой и передаваемой мощности в ОРУ при отказе любого из выключателей, соединяющих блок генератор-трансформатор, линию или автотрансформатор связи со сборной шиной, в отключении при КЗ на одном из этих присоединений или при его отказе типа «КЗ в обе стороны», а также при ремонте двух выключателей, осуществляющих подключение блока генератор-трансформатор к линии.

Технический результат достигается тем, что в открытое распределительное устройство электрической станции с шестью блоками генератор-трансформатор, семью линиями и автотрансформатором связи, содержащее первый, второй, третий, четвертый, пятый, шестой, седьмой, восьмой, девятый, десятый, одиннадцатый, двенадцатый, тринадцатый, четырнадцатый,

пятнадцатый, шестнадцатый, семнадцатый, восемнадцатый, девятнадцатый, двадцатый, двадцать первый, двадцать второй, двадцать третий, двадцать четвертый, двадцать пятый, двадцать шестой, двадцать седьмой выключатели с разъединителем с одной из сторон, двадцать восьмой и двадцать девятый выключатели с разъединителями с каждой из сторон, при этом разъединители первого, второго, третьего выключателей и первый разъединитель двадцать восьмого выключателя подключены к первой сборной шине, а разъединители четвертого, пятого, шестого, седьмого выключателей и второй разъединитель двадцать восьмого выключателя – ко второй сборной шине, разъединители восьмого, девятого, десятого выключателей и первый разъединитель двадцать девятого выключателя подключены к третьей сборной шине, а разъединители одиннадцатого, двенадцатого, тринадцатого, четырнадцатого выключателей и второй разъединитель двадцать девятого выключателя – к четвертой сборной шине, разъединитель первого блока генератор-трансформатор подключен к разъединителю пятнадцатого выключателя, включенного последовательно с шестнадцатым выключателем, разъединитель второго блока генератор-трансформатор подключен к разъединителю семнадцатого выключателя, включенного последовательно с восемнадцатым выключателем, разъединитель третьего блока генератор-трансформатор подключен к разъединителю девятнадцатого выключателя, включенного последовательно с двадцатым выключателем, разъединитель четвертого блока генератор-трансформатор подключен к разъединителю двадцать первого выключателя, включенного последовательно с двадцать вторым выключателем, разъединитель пятого блока генератор-трансформатор подключен к разъединителю двадцать третьего выключателя, включенного последовательно с двадцать четвертым выключателем, разъединитель шестого блока генератор-трансформатор подключен к разъединителю двадцать пятого выключателя, включенного последовательно с двадцать шестым выключателем, разъединитель первой линии подключен к разъединителю двадцать седьмого выключателя, разъединитель второй линии – к разъединителю шестнадцатого выключателя, разъединитель третьей линии – к разъединителю восемнадцатого выключателя, разъединитель четвертой линии – к разъединителю двадцатого выключателя, разъединитель пятой линии – к разъединителю двадцать второго выключателя, разъединитель шестой линии – к разъединителю двадцать четвертого выключателя, а разъединитель седьмой линии – к разъединителю двадцать шестого выключателя, дополнительно введены тридцатый, тридцать первый, тридцать второй, тридцать третий, тридцать четвертый, тридцать пятый, тридцать шестой, тридцать седьмой, тридцать восьмой, тридцать девятый, сороковой, сорок первый, сорок

второй, сорок третий и сорок четвертый выключатели с разъединителем с одной из сторон, а также нормально отключенные сорок пятый, сорок шестой, сорок седьмой, сорок восьмой, сорок девятый и пятидесятый выключатели с разъединителями с каждой из сторон, причем тридцатый выключатель включен последовательно с первым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя первой линии с разъединителем двадцать седьмого выключателя, тридцать первый выключатель включен последовательно со вторым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя первого блока генератор-трансформатор с разъединителем пятнадцатого выключателя, к которой также подключен первый разъединитель сорок пятого выключателя, тридцать второй выключатель включен последовательно с третьим выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя третьей линии с разъединителем восемнадцатого выключателя, к которой также подключен первый разъединитель сорок шестого выключателя, тридцать третий выключатель включен последовательно с четвертым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя третьего блока генератор-трансформатор с разъединителем девятнадцатого выключателя, к которой также подключен первый разъединитель сорок седьмого выключателя, тридцать четвертый выключатель включен последовательно с пятым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя пятой линии с разъединителем двадцать второго выключателя, к которой также подключен первый разъединитель сорок восьмого выключателя, тридцать пятый выключатель включен последовательно с шестым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя пятого блока генератор-трансформатор с разъединителем двадцать третьего выключателя, к которой также подключен первый разъединитель сорок девятого выключателя, тридцать шестой выключатель включен последовательно с седьмым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя седьмой линии с разъединителем двадцать шестого выключателя, к которой также подключен первый разъединитель пятидесятого выключателя, тридцать седьмой выключатель включен последовательно с девятым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя второй линии с разъединителем шестнадцатого выключателя, к которой также подключен второй разъединитель сорок пятого выключателя, тридцать восьмой выключатель включен последовательно с десятым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя второго блока генератор-трансформатор с разъединителем семнадцатого выключателя, к которой также подключен второй разъединитель сорок шестого выключателя, тридцать девятый выключатель включен

последовательно с одиннадцатым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя четвертой линии с разъединителем двадцатого выключателя, к которой также подключен второй разъединитель сорок седьмого выключателя, сороковой выключатель включен последовательно с двенадцатым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя четвертого блока генератор-трансформатор с разъединителем двадцать первого выключателя, к которой также подключен второй разъединитель сорок восьмого выключателя, сорок первый выключатель включен последовательно с тринадцатым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя шестой линии с разъединителем двадцать четвертого выключателя, к которой также подключен второй разъединитель сорок девятого выключателя, сорок второй выключатель включен последовательно с четырнадцатым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя шестого блока генератор-трансформатор с разъединителем двадцать пятого выключателя, к которой также подключен второй разъединитель пятидесятого выключателя, сорок третий и сорок четвертый выключатели включены последовательно с восьмым и двадцать седьмым выключателями, соответственно, а их разъединители подключены к разъединителю автотрансформатора связи.

На фиг.1 представлена схема предлагаемого ОРУ.

Открытое распределительное устройство электрической станции с шестью блоками 1-6 генератор-трансформатор, семью линиями 7-13 и автотрансформатором 14 связи (фиг.1) содержит первый 15, второй 16, третий 17, четвертый 18, пятый 19, шестой 20, седьмой 21, восьмой 22, девятый 23, десятый 24, одиннадцатый 25, двенадцатый 26, тринадцатый 27, четырнадцатый 28, пятнадцатый 29, шестнадцатый 30, семнадцатый 31, восемнадцатый 32, девятнадцатый 33, двадцатый 34, двадцать первый 35, двадцать второй 36, двадцать третий 37, двадцать четвертый 38, двадцать пятый 39, двадцать шестой 40, двадцать седьмой 41 выключатели с разъединителем с одной из сторон, двадцать восьмой 42 и двадцать девятый 43 выключатели с разъединителями с каждой из сторон. Разъединители 44, 45, 46 первого 15, второго 16, третьего 17 выключателей и первый разъединитель 47 двадцать восьмого выключателя 42 подключены к первой сборной шине 48, а разъединители 49, 50, 51, 52 четвертого 18, пятого 19, шестого 20, седьмого 21 выключателей и второй разъединитель 53 двадцать восьмого выключателя 42 – ко второй сборной шине 54. Разъединители 55, 56, 57 восьмого 22, девятого 23, десятого 24 выключателей и первый разъединитель 58 двадцать девятого выключателя 43 подключены к третьей сборной шине 59, а разъединители 60, 61, 62, 63 одиннадцатого 25, двенадцатого 26, тринадцатого 27, четырнадцатого 28 выключателей и второй разъединитель 64 двадцать девятого выключателя 43 – к четвертой сборной шине 65. Разъединитель 66

первого блока 1 генератор-трансформатор подключен к разъединителю 67 пятнадцатого выключателя 29, включенного последовательно с шестнадцатым выключателем 30. Разъединитель 68 второго блока 2 генератор-трансформатор подключен к разъединителю 69 семнадцатого выключателя 31, включенного последовательно с восемнадцатым выключателем 32. Разъединитель 70 третьего блока 3 генератор-трансформатор подключен к разъединителю 71 девятнадцатого выключателя 33, включенного последовательно с двадцатым выключателем 34. Разъединитель 72 четвертого блока 4 генератор-трансформатор подключен к разъединителю 73 двадцать первого выключателя 35, включенного последовательно с двадцать вторым выключателем 36. Разъединитель 74 пятого блока 5 генератор-трансформатор подключен к разъединителю 75 двадцать третьего выключателя 37, включенного последовательно с двадцать четвертым выключателем 38. Разъединитель 76 шестого блока 6 генератор-трансформатор подключен к разъединителю 77 двадцать пятого выключателя 39, включенного последовательно с двадцать шестым выключателем 40. Разъединитель 78 первой линии 7 подключен к разъединителю 79 двадцать седьмого выключателя 41, разъединитель 80 второй линии 8 – к разъединителю 81 шестнадцатого выключателя 30, разъединитель 82 третьей линии 9 – к разъединителю 83 восемнадцатого выключателя 32, разъединитель 84 четвертой линии 10 – к разъединителю 85 двадцатого выключателя 34, разъединитель 86 пятой линии 11 – к разъединителю 87 двадцать второго выключателя 36, разъединитель 88 шестой линии 12 – к разъединителю 89 двадцать четвертого выключателя 38, а разъединитель 90 седьмой линии 13 – к разъединителю 91 двадцать шестого выключателя 40. Также ОРУ содержит тридцатый 92, тридцать первый 93, тридцать второй 94, тридцать третий 95, тридцать четвертый 96, тридцать пятый 97, тридцать шестой 98, тридцать седьмой 99, тридцать восьмой 100, тридцать девятый 101, сороковой 102, сорок первый 103, сорок второй 104, сорок третий 105 и сорок четвертый 106 выключатели с разъединителем с одной из сторон, нормально отключенные сорок пятый 107, сорок шестой 108, сорок седьмой 109, сорок восьмой 110, сорок девятый 111 и пятидесятый 112 выключатели с разъединителями с каждой из сторон. Тридцатый выключатель 92 включен последовательно с первым выключателем 15, а его разъединитель 113 подключен к точке соединения разъединителя 78 первой линии 7 с разъединителем 79 двадцать седьмого выключателя 41. Тридцать первый выключатель 93 включен последовательно со вторым выключателем 16, а его разъединитель 114 подключен к точке соединения разъединителя 66 первого блока 1 генератор-трансформатор с разъединителем 67 пятнадцатого выключателя 29, к которой также подключен первый разъединитель 115 сорок пятого выключателя 107. Тридцать второй выключатель 94 включен последовательно с третьим выключателем

17, а его разъединитель 116 подключен к точке соединения разъединителя 82 третьей линии 9 с разъединителем 83 восемнадцатого выключателя 32, к которой также подключен первый разъединитель 117 сорок шестого выключателя 108. Тридцать третий выключатель 95 включен последовательно с четвертым выключателем 18, а его разъединитель 118 подключен к точке соединения разъединителя 70 третьего блока 3 генератор-трансформатор с разъединителем 71 девятнадцатого выключателя 33, к которой также подключен первый разъединитель 119 сорок седьмого выключателя 109. Тридцать четвертый выключатель 96 включен последовательно с пятым выключателем 19, а его разъединитель 120 подключен к точке соединения разъединителя 86 пятой линии 11 с разъединителем 87 двадцать второго выключателя 36, к которой также подключен первый разъединитель 121 сорок восьмого выключателя 110. Тридцать пятый выключатель 97 включен последовательно с шестым выключателем 20, а его разъединитель 122 подключен к точке соединения разъединителя 74 пятого блока 5 генератор-трансформатор с разъединителем 75 двадцать третьего выключателя 37, к которой также подключен первый разъединитель 123 сорок девятого выключателя 111. Тридцать шестой выключатель 98 включен последовательно с седьмым выключателем 21, а его разъединитель 124 подключен к точке соединения разъединителя 90 седьмой линии 13 с разъединителем 91 двадцать шестого выключателя 40, к которой также подключен первый разъединитель 125 пятидесятого выключателя 112. Тридцать седьмой выключатель 99 включен последовательно с девятым выключателем 23, а его разъединитель 126 подключен к точке соединения разъединителя 80 второй линии 8 с разъединителем 81 шестнадцатого выключателя 30, к которой также подключен второй разъединитель 127 сорок пятого выключателя 107. Тридцать восьмой выключатель 100 включен последовательно с десятым выключателем 24, а его разъединитель 128 подключен к точке соединения разъединителя 68 второго блока 2 генератор-трансформатор с разъединителем 69 семнадцатого выключателя 31, к которой также подключен второй разъединитель 129 сорок шестого выключателя 108. Тридцать девятый выключатель 101 включен последовательно с одиннадцатым выключателем 25, а его разъединитель 130 подключен к точке соединения разъединителя 84 четвертой линии 10 с разъединителем 85 двадцатого выключателя 34, к которой также подключен второй разъединитель 131 сорок седьмого выключателя 109. Сороковой выключатель 102 включен последовательно с двенадцатым выключателем 26, а его разъединитель 132 подключен к точке соединения разъединителя 72 четвертого блока 4 генератор-трансформатор с разъединителем 73 двадцать первого выключателя 35, к которой также подключен второй разъединитель 133 сорок восьмого выключателя 110. Сорок первый выключатель 103 включен последовательно с тринадцатым выключателем 27, а

его разъединитель 134 подключен к точке соединения разъединителя 88 шестой линии 12 с разъединителем 89 двадцать четвертого выключателя 38, к которой также подключен второй разъединитель 135 сорок девятого выключателя 111. Сорок второй выключатель 104 включен последовательно с четырнадцатым выключателем 28, а его разъединитель 136 подключен к точке соединения разъединителя 76 шестого блока 6 генератор-трансформатор с разъединителем 77 двадцать пятого выключателя 39, к которой также подключен второй разъединитель 137 пятидесятого выключателя 112. Сорок третий 105 и сорок четвертый 106 выключатели включены последовательно с восьмым 22 и двадцать седьмым 41 выключателями, соответственно, а их разъединители 138 и 139 подключены к разъединителю 140 автотрансформатора 14 связи.

ОРУ электрической станции с шестью блоками генератор-трансформатор, семью линиями и автотрансформатором связи работает следующим образом. Если электростанция выдает запланированную мощность при отсутствии ремонтов в ОРУ, то:

1) При КЗ в блоке 1 генератор-трансформатор от действия его релейной защиты (РЗ) отключаются выключатели 16, 29, 30 и 93, после чего оперативный персонал отключает разъединитель 66 (фиг.1). При этом происходит потеря мощности блока $\Delta P_{\text{б.т.}}$ на суммарное время t_1 его аварийного ремонта и пуска из холодного состояния. При КЗ в блоках 2-6 генератор-трансформатор схема работает аналогично.

2) При КЗ на линии 7 от действия её РЗ отключаются выключатели 15, 41, 92 и 106. Если КЗ неустойчивое (успешное АПВ), то через время t_2 срабатывания устройства АПВ выключатели 15, 41, 92 и 106 включаются обратно и восстанавливается нормальный режим работы. Если КЗ на линии 7 устойчивое (неуспешное АПВ), то после отключения этих выключателей оперативный персонал отключает разъединитель 78 и линия выводится в ремонт. При этом в первом случае происходит кратковременная потеря линии 7, а во втором случае – длительная. При КЗ на линиях 8-13 схема работает аналогично.

3) При КЗ на автотрансформаторе 14 связи от действия его РЗ отключаются выключатели 22, 41, 105 и 106, после чего оперативный персонал отключает разъединитель 140. При этом происходит потеря перетока мощности автотрансформатора 14 на время его аварийного ремонта.

4) При КЗ на первой сборной шине 48 от действия её РЗ отключаются выключатели 15-17, 42, 92-94; после чего для проведения ремонта шины и создания видимого разрыва отключают разъединители 44-47; при этом не происходит потери мощности. При КЗ на второй 54, третьей 59 и четвёртой 65 сборных шинах все аналогично.

5) При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 15 от действия РЗ первой сборной шины 48 отключаются выключатели 16, 17, 42, 92-94. После отключения выключателей 15 (для

ремонта) и 92 (для профилактического осмотра) от схемы разъединителями 44 и 113, выключатели 16, 17, 42, 93 и 94 включаются обратно. При отказах типа «КЗ в обе стороны» выключателей 16-28 схема работает аналогично.

6) При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 42 от действия РЗ первой 48 и второй 54 сборных шин отключаются выключатели 15-21, 92-98, которые после отключения выключателя 42 от схемы разъединителями 47 и 53 включаются обратно.

7) При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 92 от действия РЗ линии 7 отключаются выключатели 15, 41 и 106, что приводит к её кратковременному отключению. После отключения выключателей 15 (для профилактического осмотра) и 92 (для ремонта) от схемы разъединителями 44 и 113, выключатели 41 и 106 включаются обратно, и линия 7 подключается к схеме. При отказах типа «КЗ в обе стороны» выключателей 41, 93-106 схема работает аналогично.

8) При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 29 от действия РЗ блока 1 отключаются выключатели 16, 30 и 93, что приводит к его потере. После отключения выключателей 29 (для ремонта) и 30 (для профилактического осмотра) от схемы разъединителями 67 и 81, выключатели 16 и 93 включаются обратно. Также включается нормально отключенный выключатель 107 и осуществляется пуск блока 1 через время t_3 из состояния горячего резерва. При отказах типа «КЗ в обе стороны» выключателей 30-40 схема работает аналогично.

9) Отказ выключателя 15 в отключении КЗ на первой сборной шине 48 не приводит к утяжелению последствий при КЗ на этой шине в условиях безотказного отключения её выключателей, так как включенный последовательно с ним выключатель 92 отключается от действия РЗ шины 48 (также, как и выключатели 16, 17, 42, 93, 94) и разрывает цепь, соединяющую шину 48 и линию 7. При КЗ на первой 48, второй 54, третьей 59 и четвёртой 65 сборных шинах, совпадающих с отказами в отключении выключателей 16-28, схема работает аналогично.

10) Отказ выключателя 42 в отключении КЗ на первой сборной шине 48 приводит к кратковременному отключению второй сборной шины 54, так как от действия УРОВ отключаются выключатели 18-21 и 95-98 (выключатели 15-17 и 92-94 были отключены РЗ первой сборной шины 48). Для проведения ремонта шины и создания видимого разрыва отключают разъединители 44-47; для проведения ремонта выключателя 42 его отключают от схемы разъединителем 53. После этого выключатели 18-21 и 95-98 включаются обратно, и шина 54 подключается к схеме. При КЗ на второй 54, третьей 59 и четвёртой 65 сборных шинах, совпадающих с отказами в отключении выключателей 42 и 43, схема работает аналогично.

11) Отказ выключателя 92 в отключении КЗ на линии 7 не приводит к утяжелению последствий при

КЗ на этой линии в условиях безотказного отключения её выключателей, так как включенный последовательно с ним выключатель 15 отключается от действия РЗ линии 7 (также, как и выключатели 41 и 106) и разрывает цепь, соединяющую линию 7 и первую сборную шину 48. При этом, если КЗ на линии 7 неустойчивое, то через время t_2 выключатели 15, 41 и 106 включаются обратно (выключатель 92 из-за отказа оставался включенным), и восстанавливается нормальный режим работы. При устойчивом КЗ на линии 7 она выводится в аварийный ремонт разъединителем 78; также разъединителями 44 и 113 от схемы отключаются выключатели 15 (для профилактического осмотра) и 92 (для ремонта), а разъединителями 79 и 139 – выключатели 41 и 106. При КЗ на линиях 7-13, совпадающих с отказами в отключении выключателей 15, 41 или 106, 23 или 99, 29 или 30, 17 или 94, 31 или 32, 25 или 101, 33 или 34, 19 или 96, 35 или 36, 27 или 103, 37 или 38, 21 или 98, 39 или 40, схема работает аналогично.

12) Отказ выключателя 93 в отключении КЗ в блоке 1 генератор-трансформатор не приводит к утяжелению последствий при КЗ в этом блоке в условиях безотказного отключения его выключателей, так как включенный последовательно с ним выключатель 16 отключается от действия РЗ блока 1 (также, как и выключатели 29 и 30) и разрывает цепь, соединяющую блок 1 и первую сборную шину 48. Блок 1 выводится в аварийный ремонт разъединителем 66; также разъединителями 45 и 114 от схемы отключаются выключатели 16 (для профилактического осмотра) и 93 (для ремонта), а разъединителями 67 и 81 – выключатели 29 и 30. При КЗ в блоках 1-6 или при КЗ на автотрансформаторе 14 связи, совпадающих с отказами в отключении выключателей 16, 29 или 30, 24 или 100, 31 или 32, 18 или 95, 33 или 34, 26 или 102, 35 или 36, 20 или 97, 37 или 38, 28 или 104, 39 или 40, 22 или 105, 41 или 106, схема работает аналогично.

Принцип работы схемы ОРУ при нахождении в ремонте одного из блоков 1-6 генератор-трансформатор, одной из линий 7-13, автотрансформатора 14 связи или одного из выключателей 15-43, 92-106 аналогичен рассмотренному выше.

Расчёты суммарного аварийного недоотпуска электроэнергии, проведенные по широко известной методике [1] с использованием данных и уточненной модели отказов выключателей из [2] для заявляемого ОРУ напряжением 500 кВ с шестью блоками генератор-трансформатор мощностью по 500 МВт и семью линиями длиной 400 км (переток мощности через автотрансформатор связи - 681 МВт), и для ОРУ, взятого за прототип (напряжение, блоки, автотрансформатор связи и длина линий те же), показали, что в первом случае недоотпуск меньше на $8 \cdot 10^3$ МВт·ч/год. Не считаясь с потерями потребителей, при значении удельного ущерба 1000 тнг./кВт ч [3] заявляемое ОРУ, в сравнении с прототипом, может принести экономический

эффект за счет снижения величины приведённых затрат на 7 млрд. тнг./год.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP09058249).

Список использованных источников

1. Гук Ю.Б. Теория надежности. Введение: учеб. пособие – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 171 с.

2. Балаков Ю.Н., Мисриханов М.Ш., Шунтов А.В. Проектирование схем электроустановок: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 288 с., ил.

3. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.271-2019.

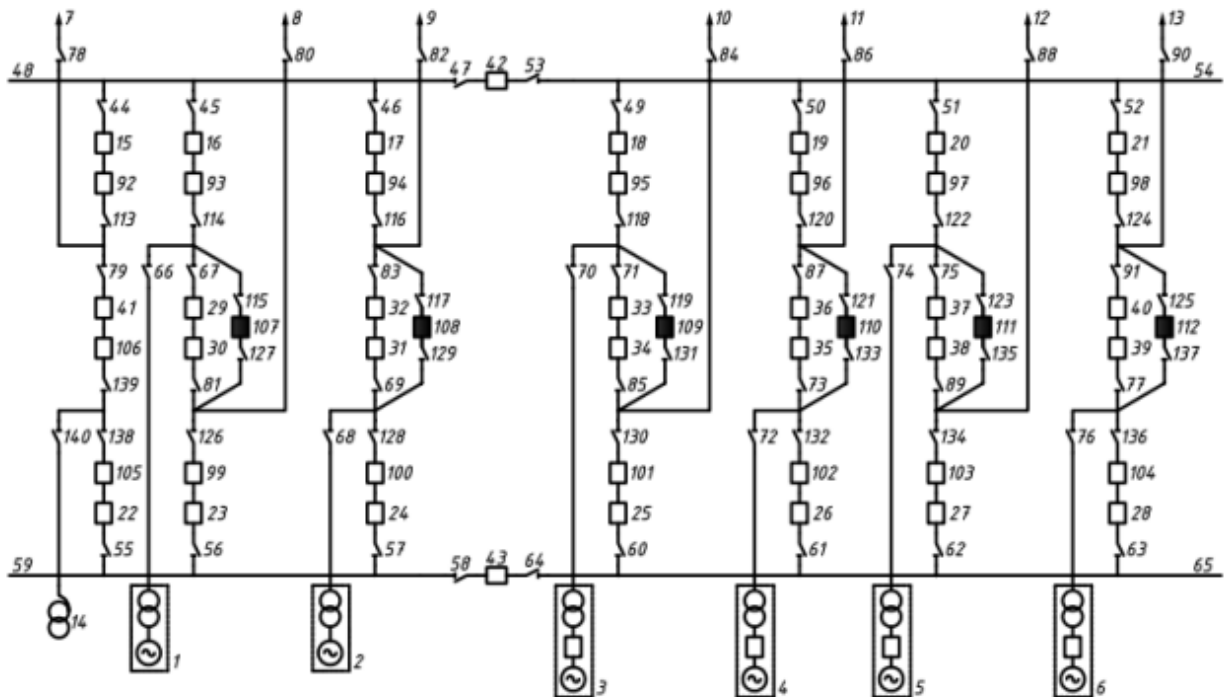
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Открытое распределительное устройство электрической станции с шестью блоками генератор-трансформатор, семью линиями и автотрансформатором связи, содержащее первый, второй, третий, четвертый, пятый, шестой, седьмой, восьмой, девятый, десятый, одиннадцатый, двенадцатый, тринадцатый, четырнадцатый, пятнадцатый, шестнадцатый, семнадцатый, восемнадцатый, девятнадцатый, двадцатый, двадцать первый, двадцать второй, двадцать третий, двадцать четвертый, двадцать пятый, двадцать шестой, двадцать седьмой выключатели с разъединителем с одной из сторон, двадцать восьмой и двадцать девятый выключатели с разъединителями с каждой из сторон, при этом разъединители первого, второго, третьего выключателей и первый разъединитель двадцать восьмого выключателя подключены к первой сборной шине, а разъединители четвертого, пятого, шестого, седьмого выключателей и второй разъединитель двадцать восьмого выключателя – ко второй сборной шине, разъединители восьмого, девятого, десятого выключателей и первый разъединитель двадцать девятого выключателя подключены к третьей сборной шине, а разъединители одиннадцатого, двенадцатого, тринадцатого, четырнадцатого выключателей и второй разъединитель двадцать девятого выключателя – к четвертой сборной шине, разъединитель первого блока генератор-трансформатор подключен к разъединителю пятнадцатого выключателя, включенного последовательно с шестнадцатым выключателем, разъединитель второго блока генератор-трансформатор подключен к разъединителю семнадцатого выключателя, включенного последовательно с восемнадцатым выключателем, разъединитель третьего блока генератор-трансформатор подключен к разъединителю девятнадцатого выключателя, включенного последовательно с двадцатым выключателем, разъединитель четвертого блока генератор-трансформатор подключен к разъединителю двадцать первого выключателя, включенного последовательно с двадцать вторым выключателем,

разъединитель пятого блока генератор-трансформатор подключен к разъединителю двадцать третьего выключателя, включенного последовательно с двадцать четвертым выключателем, разъединитель шестого блока генератор-трансформатор подключен к разъединителю двадцать пятого выключателя, включенного последовательно с двадцать шестым выключателем, разъединитель первой линии подключен к разъединителю двадцать седьмого выключателя, разъединитель второй линии – к разъединителю шестнадцатого выключателя, разъединитель третьей линии – к разъединителю восемнадцатого выключателя, разъединитель четвертой линии – к разъединителю двадцатого выключателя, разъединитель пятой линии – к разъединителю двадцать второго выключателя, разъединитель шестой линии – к разъединителю двадцать четвертого выключателя, а разъединитель седьмой линии – к разъединителю двадцать шестого выключателя, *отличающееся* тем, что введены тридцатый, тридцать первый, тридцать второй, тридцать третий, тридцать четвертый, тридцать пятый, тридцать шестой, тридцать седьмой, тридцать восьмой, тридцать девятый, сороковой, сорок первый, сорок второй, сорок третий и сорок четвертый выключатели с разъединителем с одной из сторон, а также нормально отключенные сорок пятый, сорок шестой, сорок седьмой, сорок восьмой, сорок девятый и пятидесятый выключатели с разъединителями с каждой из сторон, причем тридцатый выключатель включен последовательно с первым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя первой линии с разъединителем двадцать седьмого выключателя, тридцать первый выключатель включен последовательно со вторым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя первого блока генератор-трансформатор с разъединителем пятнадцатого выключателя, к которой также подключен первый разъединитель сорок пятого выключателя, тридцать второй выключатель включен последовательно с третьим выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя третьей линии с разъединителем восемнадцатого выключателя, к которой также подключен первый разъединитель сорок шестого выключателя, тридцать третий выключатель включен последовательно с четвертым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя третьего блока генератор-трансформатор с разъединителем девятнадцатого выключателя, к которой также подключен первый разъединитель сорок седьмого выключателя, тридцать четвертый выключатель включен последовательно с пятым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя пятой линии с разъединителем двадцать второго выключателя, к которой также подключен первый разъединитель сорок восьмого выключателя, тридцать пятый выключатель включен последовательно с шестым выключателем,

а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя пятого блока генератор-трансформатор с разъединителем двадцать третьего выключателя, к которой также подключен первый разъединитель сорок девятого выключателя, тридцать шестой выключатель включен последовательно с седьмым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя седьмой линии с разъединителем двадцать шестого выключателя, к которой также подключен первый разъединитель пятидесятого выключателя, тридцать седьмой выключатель включен последовательно с девятым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя второй линии с разъединителем шестнадцатого выключателя, к которой также подключен второй разъединитель сорок пятого выключателя, тридцать восьмой выключатель включен последовательно с десятым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя второго блока генератор-трансформатор с разъединителем семнадцатого выключателя, к которой также подключен второй разъединитель сорок шестого выключателя, тридцать девятый выключатель включен последовательно с одиннадцатым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя четвертой линии с разъединителем

двадцатого выключателя, к которой также подключен второй разъединитель сорок седьмого выключателя, сороковой выключатель включен последовательно с двенадцатым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя четвертого блока генератор-трансформатор с разъединителем двадцать первого выключателя, к которой также подключен второй разъединитель сорок восьмого выключателя, сорок первый выключатель включен последовательно с тринадцатым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя шестой линии с разъединителем двадцать четвертого выключателя, к которой также подключен второй разъединитель сорок девятого выключателя, сорок второй выключатель включен последовательно с четырнадцатым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя шестого блока генератор-трансформатор с разъединителем двадцать пятого выключателя, к которой также подключен второй разъединитель пятидесятого выключателя, сорок третий и сорок четвертый выключатели включены последовательно с восьмым и двадцать седьмым выключателями, соответственно, а их разъединители подключены к разъединителю автотрансформатора связи.



Фиг. 1

Верстка Д. Женьсова
 Корректор Г. Косанова