



## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21) 2019/0755.1

(22) 14.10.2019

(45) 27.11.2020, бюл. №47

(72) Барукин Александр Сергеевич (KZ); Богдан Александр Владимирович (RU); Динмуханбетова Айгуль Жумагельдыевна (KZ); Калтаев Абдулла Габдылманапулы (KZ); Клецель Марк Яковлевич (KZ)

(73) Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова» Министерства образования и науки Республики Казахстан (KZ)

(56) Электрическая часть электростанций: Учебник для вузов // Под ред. С.В. Усова. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. стр 117-122

SU 349053 A1, 28.08.1972

SU 247367 A1, 04.07.1969

KZ 869 U, 15.10.2012

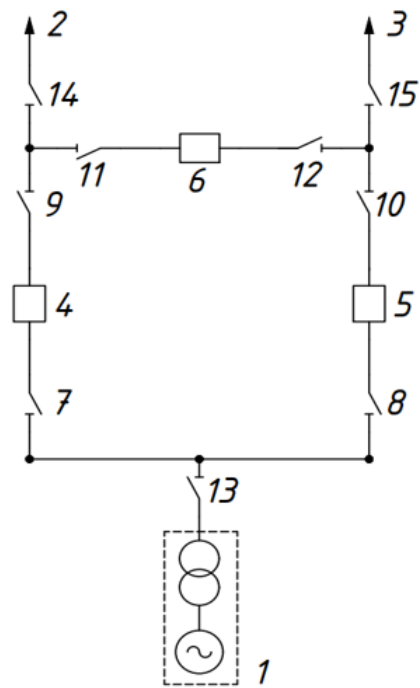
**(54) ОТКРЫТОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ С БЛОКОМ ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР И ДВУМЯ ЛИНИЯМИ**

(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 – схема ОРУ, позволяющая за счет введения дополнительных выключателей с разъединителями уменьшить недоотпуск электроэнергии при возникновении

отказов в отключении КЗ на присоединении или отказов типа «КЗ в обе стороны» любого из выключателей, а также при их нахождении в ремонте.

ОРУ электрической станции с блоком генератор-трансформатор и двумя линиями содержит первый, второй, третий, четвертый, пятый и шестой выключатели с разъединителем с одной из сторон, а также седьмой, восьмой и девятый выключатели с разъединителями по их обоим сторонам. Разъединитель блока генератор-трансформатор подключен к разъединителям первого и второго выключателей, а разъединитель первой линии – к разъединителю третьего выключателя. Четвертый выключатель включен последовательно с первым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя первой линии с разъединителем третьего выключателя, к которой также подключены первые разъединители седьмого и восьмого выключателей. Пятый выключатель включен последовательно с третьим выключателем, а его разъединитель подключен к разъединителю второй линии, к которому также подключены второй разъединитель восьмого выключателя, первый разъединитель девятого выключателя и разъединитель шестого выключателя, включенного последовательно со вторым выключателем. Вторые разъединители седьмого и девятого выключателей подключены к точкам соединения разъединителей первого и второго выключателей с разъединителем блока генератор-трансформатор.



Фигура 1 – Открытое распределительное устройство электрической станции с блоком генератор-трансформатор и двумя линиями

Изобретение относится к электротехнике, а именно к открытым распределительным устройствам (ОРУ) электрических станций, и может быть применено на них для выдачи вырабатываемой электроэнергии одним блоком генератор-трансформатор и двумя линиями.

Известно распределительное устройство повышенного напряжения с трансформатором связи и двумя линиями [Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.], содержащее три выключателя с разъединителями с каждой из сторон, соединенных в кольцо.

Недостатком этого устройства является недоотпуск электроэнергии в аварийных режимах, так как отказ любого выключателя в отключении при коротком замыкании (КЗ) на любом присоединении или его отказ типа «КЗ в обе стороны» приводит к полному погашению распределительного устройства.

Известно ОРУ электрической станции с блоком генератор-трансформатор и двумя линиями [Электрическая часть электростанций: Учебник для вузов // Под ред. С.В. Усова. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 616 с.], выбранное в качестве прототипа, содержащее первый, второй и третий выключатели с разъединителями с каждой из сторон. Разъединитель блока генератор-трансформатор подключен к первым разъединителям первого и второго выключателей. Разъединитель первой линии подключен к первому разъединителю третьего выключателя и ко второму разъединителю первого выключателя. Разъединитель второй линии подключен ко вторым разъединителям второго и третьего выключателей (фигура 1).

Недостатком этого устройства является недоотпуск электроэнергии в аварийных режимах таких, как: 1) отказ любого выключателя в отключении при коротком замыкании (КЗ) на любом присоединении или его отказ типа «КЗ в обе стороны», которые приводят к полному кратковременному погашению распределительного устройства; 2) в случае нахождения в ремонте одного из двух выключателей, осуществляющих подключение блока генератор-трансформатор к линиям, что при возникновении отказа второго выключателя приводит к длительному погашению распределительного устройства.

Технический результат изобретения – схема ОРУ, позволяющая за счет введения дополнительных выключателей с разъединителями уменьшить недоотпуск электроэнергии при возникновении отказов в отключении КЗ на присоединении или отказов типа «КЗ в обе стороны» любого из выключателей, а также при их нахождении в ремонте.

Технический результат достигается тем, что в ОРУ электрической станции с блоком генератор-трансформатор и двумя линиями, содержащее первый, второй и третий выключатели с разъединителем с одной из сторон, разъединитель блока генератор-трансформатор, подключенный к

разъединителям первого и второго выключателей, и разъединитель первой линии, подключенный к разъединителю третьего выключателя дополнительно введены четвертый, пятый и шестой выключатели с разъединителем с одной из сторон, а также седьмой, восьмой и девятый выключатели с разъединителями с каждой из сторон, причем четвертый выключатель включен последовательно с первым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя первой линии с разъединителем третьего выключателя, к которой также подключены первые разъединители седьмого и восьмого выключателей. Пятый выключатель включен последовательно с третьим выключателем, а его разъединитель подключен к разъединителю второй линии, к которому также подключены второй разъединитель восьмого выключателя, первый разъединитель девятого выключателя и разъединитель шестого выключателя, включенного последовательно со вторым выключателем. Вторые разъединители седьмого и девятого выключателей подключены к точкам соединения разъединителей первого и второго выключателей с разъединителем блока генератор-трансформатор.

На фиг.1 представлена схема предлагаемого ОРУ.

ОРУ электрической станции с блоком генератор-трансформатор 1 и двумя линиями 2 и 3 (фиг.1) содержит первый 4, второй 5, третий 6, четвертый 7, пятый 8 и шестой 9 выключатели с разъединителями 10, 11, 12, 13, 14 и 15, соответственно. Разъединитель 16 блока генератор-трансформатор 1 подключен к разъединителям 10 и 11 первого 4 и второго 5 выключателей, а разъединитель 17 первой линии 2 – к разъединителю 12 третьего выключателя 6. Четвертый выключатель 7 включен последовательно с первым выключателем 4, а его разъединитель 13 подключен к точке соединения разъединителя 17 первой линии 2 с разъединителем 12 третьего выключателя 6, к которой также подключены первые разъединители 18 и 19 седьмого 20 и восьмого 21 выключателей. Пятый выключатель 8 включен последовательно с третьим выключателем 6, а его разъединитель 14 подключен к разъединителю 22 второй линии 3, к которому также подключены второй разъединитель 23 восьмого выключателя 21, первый разъединитель 24 девятого выключателя 25 и разъединитель 15 шестого выключателя 9, включенного последовательно со вторым выключателем 5. Вторые разъединители 26 и 27 седьмого 20 и девятого 25 выключателей подключены к точкам соединения разъединителей 10 и 11 первого 4 и второго 5 выключателей с разъединителем 16 блока генератор-трансформатор 1.

Использование четвертого 7, пятого 8 и шестого 9 выключателей с разъединителями 13, 14 и 15, а также седьмого 20, восьмого 21 и девятого 25 выключателей с разъединителями 18 и 26, 19 и 23, 24 и 27, и их соответствующее подключение позволяет, по сравнению с прототипом, уменьшить недоотпуск электроэнергии за счет снижения частоты потери мощности, вырабатываемой

генератором, при отказах любого из выключателей и при их нахождении в ремонте. Докажем это ниже, рассмотрев работу предлагаемого ОРУ и ОРУ принятой за прототип в различных режимах и сравним недоотпуск энергии и приведенные затраты, рассчитав их по широко известной методике [Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике: Учеб. пособие для вузов – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.].

Пусть напряжение ОРУ – 750 кВ, мощность блока генератор-трансформатор – 1200 МВт, длина двух линий – по 600 км. Пусть в нормальном режиме работы электростанция выдает запланированную мощность 1200 МВт (выключатели 4-9 включены, выключатели 20, 21 и 25 отключены). Тогда: при КЗ в блоке от действия его релейной защиты (РЗ) отключаются выключатели 4, 5, 7 и 9 (фиг.1), после чего оперативный персонал отключает разъединитель 16. При этом происходит потеря мощности блока  $\Delta P_{\text{бл.}} = 1200 \text{ МВт}$  на суммарное время  $t_1$  его аварийного ремонта и пуска из холодного состояния. При устойчивом и неустойчивом КЗ на линии 2 (3) не происходит потери мощности. При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 4 от действия РЗ блока отключаются выключатели 5, 7 и 9, перегорают предохранители, установленные в цепи выключателя нагрузки блока, что приводит к его потере ( $\Delta P_{\text{бл.}} = 1200 \text{ МВт}$ ). После отключения цепочки выключателей 4 (для ремонта) и 7 (для профилактического осмотра) и замены предохранителей выключатели 5 и 9 включаются обратно, также включают нормально отключенный выключатель 20, и блок запускается через  $t_2$  из состояния горячего резерва. При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 5 все аналогично. При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 6 (7, 8 и 9) не происходит потери мощности. При КЗ на линиях 2 и 3, совпадающих с отказами в отключении выключателей 4 или 7, 6 или 8 и 5 или 9, не происходит потери мощности. В аварийном и плановом ремонте блока ОРУ полностью выводится в ремонт. При аварийном и плановом ремонте линии 2 выключатели 4, 6, 7 и 8 также выводятся в плановые ремонты (выключатели 20, 21 и 25 нормально отключены). Тогда: в случае КЗ в блоке мощность  $\Delta P_{\text{бл.}}$  теряется на время  $t_1$ . При устойчивом КЗ на линии 3 от действия её РЗ отключаются выключатели 5 и 9, при этом происходит потеря мощности блока на суммарное время  $t_3$  аварийного ремонта линии 3 и пуска блока из холодного состояния. Если КЗ на линии 3 неустойчивое, то выключатели 5 и 9 включаются обратно, при этом блок запускается через  $t_2$ . При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 5 от действия РЗ блока отключается выключатель 9, также перегорают упомянутые предохранители, что приводит к потере блока. После отключения цепочки выключателей 5 (для ремонта) и 9 (для профилактического осмотра) и замены предохранителей включается выключатель 25, и блок запускается через  $t_2$ . При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 9 все аналогично. При

отказе выключателя 9 (5) в отключении КЗ на линии 3 от действия её РЗ отключается выключатель 5 (9). Если КЗ на линии 3 неустойчивое, после соответствующих оперативных переключений включают выключатель 25 и блок запускается через  $t_2$ . В случае устойчивого КЗ линия 3 и цепочка выключателей 5 и 9 выводятся в ремонт. После аварийного ремонта линии 3 (время которого в несколько раз меньше времени ремонта выключателя), включают выключатель 25 и блок запускается через  $t_3$ . При аварийном и плановом ремонте линии 3 ОРУ работает аналогично. При аварийном ремонте выключателя 4 или 7 выключатель 20 включен. Тогда: в случае КЗ в блоке мощность  $\Delta P_{\text{бл.}}$  теряется на время  $t_1$ . При устойчивом и неустойчивом КЗ на линии 2 (3) потери мощности не происходит. При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 5 от действия РЗ блока отключаются выключатели 9 и 20, перегорают предохранители, что приводит к потере блока. После проведения соответствующих оперативных переключений включают выключатели 20 и 25, и блок запускается через  $t_2$ . При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 6 (8 или 9) потери мощности не происходит. При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 20 от РЗ линии 2 и блока отключаются выключатели 5, 6, 8 и 9, перегорают предохранители, что приводит к потере блока. После вывода в ремонт выключателя 20 и замены предохранителей выключатели 5, 6, 8 и 9 включаются обратно, и блок запускается через  $t_2$ . При КЗ на линиях 2 и 3, совпадающих с отказами в отключении выключателей 5, 6, 8 или 9, не происходит потери мощности. При КЗ на линии 2 и отказе в отключении выключателя 20 от действия УРОВ отключаются выключатели 5 и 9, перегорают предохранители, что приводит к потере блока (выключатели 6 и 8 были отключены РЗ линии 2). После проведения оперативных переключений блок запускается через  $t_2$ . При устойчивом КЗ линия 2 выводится в ремонт. При аварийном ремонте выключателя 5 или 9 принцип работы ОРУ аналогичен. При аварийном ремонте выключателя 6 или 8 выключатель 21 включен. Тогда: в случае КЗ в блоке и на линии 2 (3) всё происходит так же, как в предыдущем режиме. При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 4 от действия РЗ блока отключаются выключатели 5, 7 и 9, перегорают предохранители, что приводит к потере блока. После отключения цепочки выключателей 4 (для ремонта) и 7 (для профилактического осмотра) и замены предохранителей выключатели 5 и 9 включаются, также включают выключатель 20, и блок запускается через время  $t_2$ . При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 5 все аналогично. При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 7 (9) не происходит потери мощности. При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 21 от действия РЗ линии 2 и 3 отключаются выключатели 4, 5, 7 и 9, что приводит к отключению блока. После вывода в ремонт выключателя 21 выключатели 4, 5, 7 и 9 включаются, и блок запускается через  $t_2$ . Отказ выключателя 4 или 7 (5 или 9) в отключении КЗ на

линии 2 (3) не приводит к потере мощности. При КЗ на линии 2 и отказе в отключении выключателя 21 от действия УРОВ отключаются выключатели 5 и 9, что приводит к кратковременной потере блока (выключатели 4 и 7 были отключены РЗ линии 2). В результате оперативных переключений блок запускается через  $t_2$ . При КЗ на линии 3 и отказе в отключении выключателя 21 все аналогично.

Точно также рассматривается схема (фигура 1), принятая за прототип, в различных режимах. Пусть в нормальном режиме работы электростанция выдает запланированную мощность 1200 МВт при отсутствии ремонтов в ОРУ (выключатели 4-6 включены). Тогда: при КЗ в блоке от действия его РЗ отключаются выключатели 4, 5. При этом происходит потеря мощности блока на время  $t_1$ . При устойчивом и неустойчивом КЗ на линии 2 (3) не происходит потери мощности. При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 4 от РЗ линии 2 и блока отключаются выключатели 6 и 5, перегорают предохранители, что приводит к потере блока. В результате оперативных переключений через время  $t_2$  блок запускается. При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 5 (6) все аналогично. При КЗ на линии 2 и отказе в отключении выключателя 4 от действия УРОВ отключается выключатель 5, перегорают предохранители, что приводит к потере блока. Если КЗ на линии 2 неустойчивое, то после вывода в ремонт выключателя 4 и замены предохранителей выключатели 5, 6 включаются и блок запускается через  $t_2$ . При устойчивом КЗ линия 2 также выводится в ремонт. В аварийном и плановом ремонте блока ОРУ выводится в ремонт. При аварийном и плановом ремонте линии 2 выключатели 4 и 6 также выводятся в ремонт. Тогда: в случае КЗ в блоке мощность  $\Delta P_{\text{бл.}}$  теряется на время  $t_1$ . При устойчивых КЗ на линии 3 теряется блок на время  $t_3$ . При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 5 перегорают предохранители, на время  $t_1$ . При отказе выключателя 5 в отключении устойчивого и неустойчивого КЗ на линии 3 потери мощности аналогичны, как при КЗ на линии 3. При аварийном ремонте линии 3 ОРУ работает аналогично. При аварийном ремонте выключателя 4 последний выводится разъединителями 7 и 9. Тогда: в случае КЗ в блоке мощность  $\Delta P_{\text{бл.}}$  теряется на время  $t_1$ . При устойчивом и неустойчивом КЗ на линии 2 не происходит потери мощности. При устойчивом и неустойчивом КЗ на линии 3 от действия её РЗ отключаются выключатели 5 и 6, теряемая мощность  $\Delta P_{\text{бл.}}$ . После соответствующих оперативных переключений блок запускается через  $t_2$ . При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 5 отключается выключатель 6, перегорают предохранители, теряемая мощность  $\Delta P_{\text{бл.}}$  на время  $t_1$ . При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 6 от действия РЗ линии 3 отключается выключатель 5, после соответствующих оперативных переключений блок запускается через  $t_2$ . При устойчивом и неустойчивом КЗ на линии 2 и отказе в отключении выключателя 6 от действия УРОВ отключается выключатель 5, что приводит к потере

блока. После вывода в ремонт выключателя 6 выключатель 5 включается обратно, блок запускается через  $t_2$ . При КЗ на линии 3 и отказе в отключении выключателя 5 от действия её РЗ отключается выключатель 6, перегорают предохранители, происходит потеря блока на время  $t_1$ . При аварийном ремонте выключателя 5 все аналогично. При аварийном ремонте выключателя 6 последний выводится в ремонт разъединителями 11 и 12. Тогда: в случае КЗ в блоке мощность  $\Delta P_{\text{бл.}}$  теряется на время  $t_1$ . При устойчивом и неустойчивом КЗ на линии 2 (3) не происходит потери мощности. При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 4 (5) от РЗ блока отключается выключатель 5 (4), перегорают предохранители, что приводит к потере блока. После соответствующих оперативных переключений блок запускается через  $t_2$ . При КЗ на линии 2 (3) и отказе в отключении выключателя 4 (5) от действия УРОВ отключается выключатель 5 (4), перегорают предохранители, что приводит к потере блока. Если КЗ на линии 2 (3) неустойчивое, то после вывода в ремонт выключателя 4 и замены предохранителей выключатель 5 (4) включается и блок запускается через  $t_2$ . При устойчивом КЗ линия 2 также выводится в ремонт.

При сопоставлении режимов прототипа и заявляемого устройства оказалось, что в заявляемом устройстве, в противоположность прототипу, уменьшилось количество режимов, в которых полностью теряется мощность станции. Это позволит снизить величину приведенных затрат  $Z$ , расчет которых проводится по общеизвестной формуле

$$Z = K_{\Sigma} \cdot (E + a + b) + Y_{\Sigma}, \quad (1)$$

где  $K_{\Sigma} = n_{\text{в}} \cdot K_{\text{в}}$  – суммарные капиталовложения в ОРУ. Так как по своему составу известное и заявляемое ОРУ отличаются только количеством выключателей, при определении  $K_{\Sigma}$  будем учитывать лишь их стоимость, где  $n_{\text{в}}$  – количество выключателей в рассматриваемом ОРУ ( $n_{\text{в}} = 3$  для прототипа и  $n_{\text{в}} = 9$  для заявляемого ОРУ);  $K_{\text{в}}$  – стоимость одного выключателя. На основе данных [ЗАО «РАДИУС Автоматика – www.rza.ru], для ОРУ напряжением 750 кВ  $K_{\text{в}} = 76680000$  тенге;  $E = 0,12$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;  $a = 0,064$  – норма амортизационных отчислений;  $b = 0,002$  – норма отчислений на обслуживание;  $Y_{\Sigma}$  – суммарное математическое ожидание ущерба от ненадежности элементов ОРУ определяется по следующему выражению

$$Y_{\Sigma} = y_{\text{с}} \cdot \Delta W_{\Sigma}, \quad (2)$$

где  $Ус$  – удельный ущерб энергосистемы;  $\Delta W_{\Sigma}$  – суммарный аварийный недоотпуск электроэнергии в системе.

Однако фактический суммарный ущерб помимо ущерба энергосистемы также включает в себя ущерб конечных потребителей, что предлагается учитывать вводом слагаемого  $Уп \cdot \Delta W_{\Sigma}$  в (2) (где  $Уп$  – удельный ущерб конечных потребителей, связанный с недоотпуском электроэнергии). Средние значения  $Ус$  и  $Уп$  на основе [Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 3-е изд. – М.: ЭНАС, 2009. – 392 с.] принимаются равными 910 тнг./кВт·ч и 3500 тнг./кВт·ч, соответственно.

Величина  $\Delta W$  определяется как:

$$\Delta W = 8760 \cdot \sum \Lambda_{(k)} (\Delta P_{o.p.(k)} \cdot \tau_{o.p.} + \Delta P_{в.p.(k)} \cdot \tau_{в.p.(k)}), \quad (3)$$

где  $\Lambda_{(k)}$ ,  $\Delta P_{o.p.(k)}$  и  $\Delta P_{в.p.(k)}$ ,  $\tau_{o.p.}$  и  $\tau_{в.p.(k)}$  – частоты k-ых расчетных аварий, значения теряемых мощностей и среднее время восстановления нормального режима выдачи мощности при оперативных переключениях и при восстановительных ремонтах, соответственно. Необходимо отметить, что вывод расчетных выражений для определения  $\Lambda_{(k)}$  и  $\tau_{в.p.(k)}$  основывается на последовательном применении формулы полной вероятности при рассмотрении множества возможных наложений событий.

На основе упомянутого пособия Гука Ю.Б. частота расчетных аварий ОРУ-прототипа определяем: 1) при длительном характере аварии

$$\begin{aligned} \Lambda_{1(1200)} &= \lambda_{6л} \cdot q_0 + (\lambda_{6л} + \lambda_{л,УКЗ} + \lambda_{в} + \lambda_{л,НУКЗ} \cdot Q_{в,КЗ}) \cdot (q_2 + q_3) + \\ &+ \lambda_{6л} \cdot q_4 + (\lambda_{6л} + \lambda_{в} + 2 \cdot \lambda_{л,УКЗ} \cdot Q_{в,КЗ} + \lambda_{л,НУКЗ} \cdot Q_{в,КЗ}) \cdot q_5 = \\ &= \lambda_{6л} \cdot (q_0 + 2 \cdot q_2 + q_4 + 2 \cdot q_5) + 2 \cdot \lambda_{л,УКЗ} \cdot (q_2 + 2 \cdot Q_{в,КЗ} \cdot q_5) + \\ &+ 2 \cdot (\lambda_{л,НУКЗ} \cdot Q_{в,КЗ} + \lambda_{в}) \cdot (q_2 + q_5); \quad (4) \end{aligned}$$

2) при кратковременном характере аварии

$$\begin{aligned} \Lambda_{2(1200)} &= (3 \cdot \lambda_{в} + 4 \cdot \lambda_{л,УКЗ} \cdot Q_{в,КЗ} + 4 \cdot \lambda_{л,НУКЗ} \cdot Q_{в,КЗ}) \cdot q_0 + \\ &+ \lambda_{л,НУКЗ} \cdot (q_2 + q_3) + (2 \cdot \lambda_{в} + 2 \cdot \lambda_{л,УКЗ} \cdot Q_{в,КЗ} + 2 \cdot \lambda_{л,НУКЗ} \cdot Q_{в,КЗ}) \cdot q_4 + \\ &+ (\lambda_{л,УКЗ} + \lambda_{л,НУКЗ} + \lambda_{в} + \lambda_{л,УКЗ} \cdot Q_{в,КЗ} + \lambda_{л,НУКЗ} \cdot Q_{в,КЗ}) \cdot (q_5 + q_6) = \\ &= 2 \cdot (\lambda_{л,УКЗ} + \lambda_{л,НУКЗ}) \cdot (2 \cdot Q_{в,КЗ} \cdot q_0 + Q_{в,КЗ} \cdot q_4 + q_5 + Q_{в,КЗ} \cdot q_5) + \\ &+ 2 \cdot \lambda_{л,НУКЗ} \cdot q_2 + \lambda_{в} \cdot (3 \cdot q_0 + 2 \cdot q_4 + 2 \cdot q_5), \quad (5) \end{aligned}$$

где  $\lambda_{6л} = 10 \frac{1}{\text{год}}$ ,  $\lambda_{л,УКЗ} = \lambda_{л,НУКЗ} = 1,8 \frac{1}{\text{год}}$ ,  $\lambda_{в} = 0,3 \frac{1}{\text{год}}$  – частоты отказов блока, линии и выключателя, соответственно, при этом индексы «л,УКЗ» и «л,НУКЗ» означают устойчивые и неустойчивые КЗ на линии;  $q_1 = 0,15$  и  $q_2 = q_3 = 0,04414$ ,  $q_4 = q_5 = q_6 = 0,0042$  – относительные вероятности режимов, соответствующих аварийному и плановому ремонту

блока и линий и аварийному ремонту выключателей, соответственно (все данные, как и в дальнейшем, взяты из [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.]);  $q_0 = 1 - q_1 - 2 \cdot q_2 - 3 \cdot q_4 = 0,74912$  – относительная вероятность нормального режима выдачи мощности;  $Q_{в,КЗ} = 0,02$  – относительная вероятность отказа выключателя в отключении КЗ.

Для заявляемого ОРУ:

$$\begin{aligned} \Lambda_{1(1200)} &= \lambda_{6л} \cdot q_0 + (\lambda_{6л} + \lambda_{л,УКЗ}) \cdot (q_2 + q_3) + \lambda_{6л} \cdot q_4 + \lambda_{6л} \cdot (q_5 + q_6) = \\ &= \lambda_{6л} \cdot (q_0 + 2 \cdot q_2 + q_4 + 2 \cdot q_5) + 2 \cdot \lambda_{л,УКЗ} \cdot q_2. \quad (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Lambda_{2(1200)} &= 2 \cdot \lambda_{в} \cdot q_0 + (\lambda_{л,НУКЗ} + 2 \cdot \lambda_{в}) \cdot (q_2 + q_3) + \\ &+ (3 \cdot \lambda_{в} + 2 \cdot \lambda_{л,УКЗ} \cdot Q_{в,КЗ} + 2 \cdot \lambda_{л,НУКЗ} \cdot Q_{в,КЗ}) \cdot q_4 + \\ &+ (2 \cdot \lambda_{в} + \lambda_{л,УКЗ} \cdot Q_{в,КЗ} + \lambda_{л,НУКЗ} \cdot Q_{в,КЗ}) \cdot (q_5 + q_6) = \\ &= 2 \cdot Q_{в,КЗ} \cdot (\lambda_{л,УКЗ} + \lambda_{л,НУКЗ}) \cdot (q_4 + q_5) + \\ &+ 2 \cdot \lambda_{л,НУКЗ} \cdot q_2 + \lambda_{в} \cdot (2 \cdot q_0 + 4 \cdot q_2 + 3 \cdot q_4 + 4 \cdot q_5). \quad (7) \end{aligned}$$

где  $q_4 = q_5 = q_6 = 0,0084$  – относительная вероятность режимов, соответствующих аварийному ремонту цепочек из двух последовательно включенных выключателей;  $q_0 = 1 - q_1 - 2 \cdot q_2 - 3 \cdot q_4 = 0,73652$ .

Для прототипа и заявляемого ОРУ значение  $\tau_{o.p.}$  принимается равным  $1,71 \cdot 10^{-4}$  год. Величины  $\tau_{в.p.(k)}$  для ОРУ-прототипа определяются так:

$$\begin{aligned} \tau_{в.p.(1200)} &= [\lambda_{6л} \cdot \tau_{6л} \cdot (q_0 + 2 \cdot q_2 + q_4 + 2 \cdot q_5) + \\ &+ 2 \cdot \lambda_{л,УКЗ} \cdot \tau_{л} \cdot q_2 + 4 \cdot \lambda_{л,УКЗ} \cdot \tau_{в} \cdot Q_{в,КЗ} \cdot q_5 + \\ &+ 2 \cdot \lambda_{л,НУКЗ} \cdot \tau_{в} \cdot Q_{в,КЗ} \cdot (q_2 + q_5) + 2 \cdot \lambda_{в} \cdot \tau_{в} \cdot \\ &+ q_2 + q_5] / \Lambda_{1(1200)}, \quad (8) \end{aligned}$$

где  $\tau_{6л} = 0,013$  год,  $\tau_{л} = 0,0023$  год,  $\tau_{в} = 0,014$  год – среднее время восстановления блока, линии и выключателя при их повреждении.

Для заявляемого ОРУ:

$$\tau_{в.p.(1200)} = [\lambda_{6л} \cdot \tau_{6л} \cdot (q_0 + 2 \cdot q_2 + q_4 + 2 \cdot q_5) + 2 \cdot \lambda_{л,УКЗ} \cdot \tau_{л} \cdot q_2] / \Lambda_{1(1200)} \quad (9)$$

Расчеты, проведенные по формулам (1-9) для блока 1200 МВт, показывают, что суммарный аварийный недоотпуск электроэнергии и величина приведенных затрат для ОРУ-прототипа составляют  $\Delta W_{\Sigma \text{прот.}} = 13,13 \cdot 10^8$  кВт·ч/год и  $Z_{\text{прот.}} = 5,79$  трлн. тнг./год, а для заявляемого  $\Delta W_{\Sigma \text{заявл.}} = 13,09 \cdot 10^8$  кВт·ч/год и

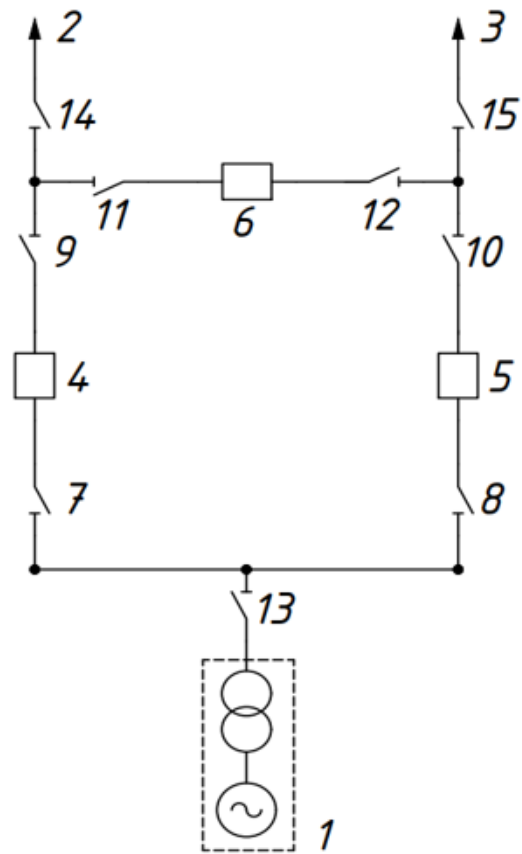
$Z_{\text{заявл.}} = 5,77$  трлн. тенг./год, соответственно. Откуда видно, что  $W_{\text{прот}} > W_{\text{заявл}}$  на  $4 \cdot 10^6$  кВт · ч/год и за 25 лет (средний срок службы оборудования)  $Z_{\text{заявл}} < Z_{\text{прот}}$  на 500 млрд. тенге.

Таким образом, предлагаемое ОРУ в сравнении с взятым за прототип должно принести значительный экономический эффект.

### **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

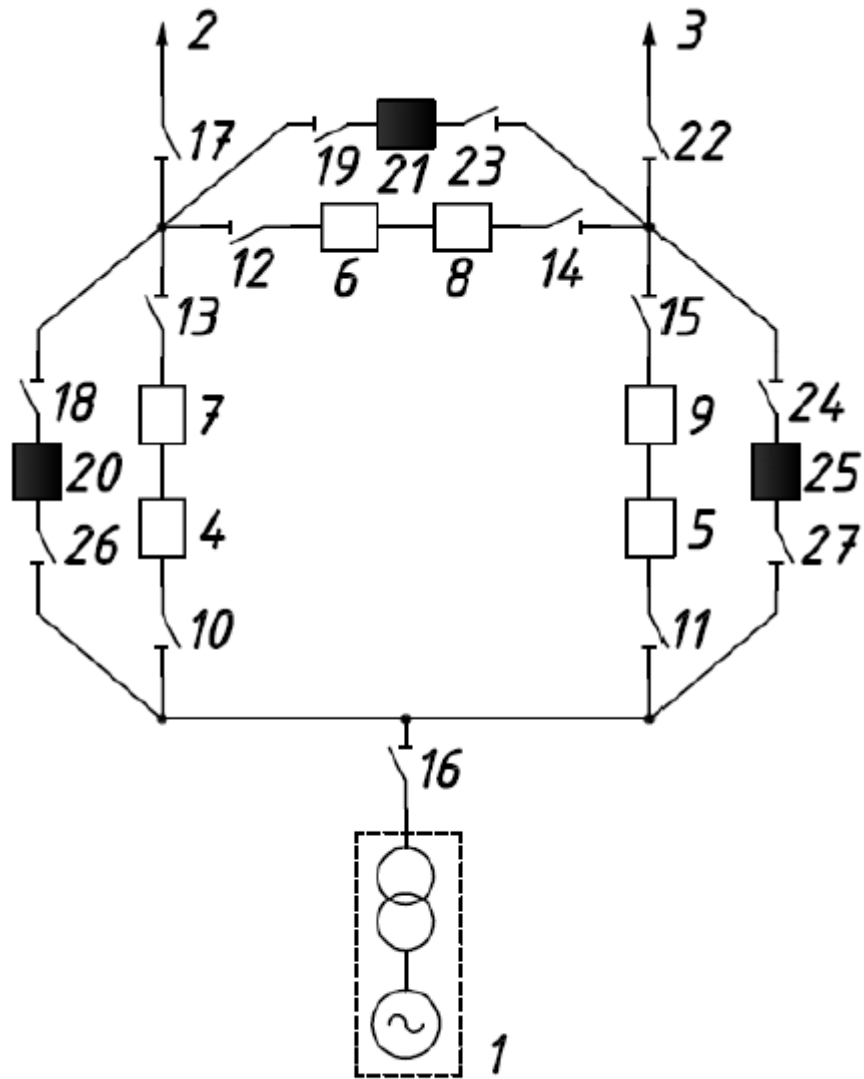
Открытое распределительное устройство электрической станции с блоком генератор-трансформатор и двумя линиями, содержащее первый, второй и третий выключатели с разъединителем с одной из сторон, разъединитель блока генератор-трансформатор, подключенный к разъединителям первого и второго выключателей, и разъединитель первой линии, подключенный к разъединителю третьего выключателя, **отличающееся** тем, что введены четвертый, пятый и шестой выключатели с разъединителем с одной из

сторон, а также седьмой, восьмой и девятый выключатели с разъединителями с каждой из сторон, причем четвертый выключатель включен последовательно с первым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя первой линии с разъединителем третьего выключателя, к которой также подключены первые разъединители седьмого и восьмого выключателей, пятый выключатель включен последовательно с третьим выключателем, а его разъединитель подключен к разъединителю второй линии, к которому также подключены второй разъединитель восьмого выключателя, первый разъединитель девятого выключателя и разъединитель шестого выключателя, включенного последовательно со вторым выключателем, при этом вторые разъединители седьмого и девятого выключателей подключены к точкам соединения разъединителей первого и второго выключателей с разъединителем блока генератор-трансформатор.



Фигура 1 – Открытое распределительное устройство электрической станции с блоком генератор-трансформатор и двумя линиями





Фиг. 2