



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) KZ (13) B (11) 35131  
(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) 2020/0261.1

(22) 27.04.2020

(45) 09.07.2021, бюл. №27

(72) Клецель Марк Яковлевич; Ленков Юрий Аркадьевич; Динмуханбетова Айгуль Жумагельдыевна; Барукин Александр Сергеевич

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

(56) RU 2713447 C1, 05.02.2020

SU 349053 A1, 23.08.1972

SU 1288782 A1, 07.02.1987

SU 450273 A1, 15.11.1974

(54) **ОТКРЫТОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ, ВЫПОЛНЕННОЕ ПО СХЕМЕ ПЯТИУГОЛЬНИКА**

(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 и линию, в отключении при КЗ на любом из них или при его отказе типа «КЗ в обе стороны», а также при ремонте этого выключателя или двух выключателей, осуществляющих подключение блока генератор-трансформатор к линии.

Это достигается тем, что в ОРУ электрической станции, выполненное по схеме пятиугольника, введены девятый и десятый выключатели с разъединителем с одной из сторон, а также нормально отключенные одиннадцатый, двенадцатый, тринадцатый, четырнадцатый и пятнадцатый выключатели с разъединителями с каждой из сторон, причем девятый 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 одиннадцатого и двенадцатого выключателей, десятый выключатель включен последовательно со вторым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя второй линии с разъединителем шестого выключателя, к которой также подключены второй разъединитель двенадцатого выключателя и первый разъединитель тринадцатого выключателя, при этом вторые разъединители одиннадцатого и тринадцатого выключателей подключены к точкам соединения разъединителей четвертого и пятого выключателей с разъединителями первого и второго блоков генератор-трансформатор, соответственно, к которым также подключены первые разъединители четырнадцатого и пятнадцатого выключателей, а их вторые разъединители подключены к точке соединения разъединителей седьмого и восьмого выключателей с разъединителем третьей линии.

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

(19) KZ (13) B (11) 35131

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

Известно ОРУ электрической станции, выполненное по схеме пятиугольника [Электрические станции: учебное пособие / А.В. Новиков, Р.В. Медов. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2006 – 70 с.], содержащее два блока генератор-трансформатор, три линии и пять выключателей с разъединителями с каждой из сторон, соединенных в кольцо.

Недостатком этого устройства является высокая частота потери генерируемой и передаваемой мощности 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 одновременному отключению двух присоединений.

Наиболее близким к предлагаемому является ОРУ электрической станции с двумя блоками генератор-трансформатор и тремя линиями [RU 2713447, H02B 5/00, H02J 3/00, H02B 13/065, опубл. 05.02.2020], содержащее первый и второй выключатели с разъединителями с каждой из сторон, а также третий, четвертый, пятый, шестой, седьмой и восьмой выключатели с разъединителем с одной из сторон. Разъединитель первого блока генератор-трансформатор подключен к первому разъединителю первого выключателя и к разъединителю четвертого выключателя. Разъединитель второго блока генератор-трансформатор подключен к первому разъединителю второго выключателя и к разъединителю пятого выключателя. Разъединитель первой линии подключен ко второму разъединителю первого выключателя и к разъединителю третьего выключателя. Разъединитель второй линии подключен ко второму разъединителю второго выключателя и к разъединителю шестого выключателя, включенного последовательно с третьим выключателем. Разъединитель третьей линии подключен к разъединителям седьмого и восьмого выключателей, включенных последовательно с четвертым и пятым выключателями, соответственно.

Недостатком этого устройства является высокая частота потери генерируемой и передаваемой мощности, так как отказ любого выключателя, соединяющего блок генератор-трансформатор и линию, в отключении при КЗ на любом из них или его отказ типа «КЗ в обе стороны» приводит к одновременному отключению двух присоединений. Надежность устройства низка и в случае нахождения в ремонте этого выключателя или двух выключателей, осуществляющих подключение блока генератор-трансформатор к линии, что при отказе этих двух выключателей или выключателя, соединяющего блок и линию, 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 и линию, в отключении при КЗ на любом из них или при его отказе типа «КЗ в обе стороны», а также при ремонте этого выключателя или двух выключателей, осуществляющих подключение блока генератор-трансформатор к линии.

Технический результат достигается тем, что в открытое распределительное устройство электрической станции, выполненное по схеме пятиугольника, содержащее два блока генератор-трансформатор, три линии, первый, второй, третий, четвертый, пятый, шестой, седьмой и восьмой выключатели с разъединителем с одной из сторон, разъединитель первого блока генератор-трансформатор, подключенный к разъединителям первого и четвертого выключателей, разъединитель второго блока генератор-трансформатор, подключенный к разъединителям второго и пятого выключателей, разъединитель первой линии, подключенный к разъединителю третьего выключателя, разъединитель второй линии, подключенный к разъединителю шестого выключателя, включенного последовательно с третьим выключателем, разъединитель третьей линии, подключенный к разъединителям седьмого и восьмого выключателей, включенных последовательно с четвертым и пятым выключателями, соответственно, дополнительно введены девятый и десятый выключатели с разъединителем с одной из сторон, а также нормально отключенные одиннадцатый, двенадцатый, тринадцатый, четырнадцатый и пятнадцатый выключатели с разъединителями с каждой из сторон, причем девятый 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 одиннадцатого и двенадцатого выключателей, десятый выключатель включен последовательно со вторым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя второй линии с разъединителем шестого выключателя, к которой также подключены второй разъединитель двенадцатого выключателя и первый разъединитель тринадцатого выключателя, при этом вторые разъединители одиннадцатого и тринадцатого выключателей подключены к точкам соединения разъединителей четвертого и пятого выключателей с разъединителями первого и второго блоков генератор-трансформатор, соответственно, к которым также подключены первые разъединители четырнадцатого и пятнадцатого выключателей, а их вторые разъединители подключены к точке

соединения разъединителей седьмого и восьмого выключателей с разъединителем третьей линии.

На фиг.1 представлена схема предлагаемого ОРУ.

Открытое распределительное устройство электрической станции, выполненное по схеме пятиугольника, содержит два блока 1 и 2 генератор-трансформатор (фиг.1), три линии 3-5 и первый 6, второй 7, третий 8, четвертый 9, пятый 10, шестой 11, седьмой 12, восьмой 13, девятый 14, десятый 15 выключатели с разъединителем с одной из сторон. Разъединитель 16 первого блока 1 генератор-трансформатор подключен к разъединителям 17 и 18 первого 6 и четвертого 9 выключателей. Разъединитель 19 второго блока 2 генератор-трансформатор подключен к разъединителям 20 и 21 второго 7 и пятого 10 выключателей. Разъединитель 22 первой линии 3 подключен к разъединителю 23 третьего выключателя 8, разъединитель 24 второй линии 4 подключен к разъединителю 25 шестого выключателя 11, включенного последовательно с третьим выключателем 8, а разъединитель 26 третьей линии 5 подключен к разъединителям 27 и 28 седьмого 12 и восьмого 13 выключателей, включенных последовательно с четвертым 9 и пятым 10 выключателями, соответственно. Девятый выключатель 14 включен последовательно с первым выключателем 6, а его разъединитель 29 подключен к точке соединения разъединителя 22 первой линии 3 с разъединителем 23 третьего выключателя 8, к которой также подключены первые разъединители 30 и 31 одиннадцатого 32 и двенадцатого 33 выключателей. Десятый выключатель 15 включен последовательно со вторым выключателем 7, а его разъединитель 34 подключен к точке соединения разъединителя 24 второй линии 4 с разъединителем 25 шестого выключателя 11, к которой также подключены второй разъединитель 35 двенадцатого выключателя 33 и первый разъединитель 36 тринадцатого выключателя 37. Вторые разъединители 38 и 39 одиннадцатого 32 и тринадцатого 37 выключателей подключены к точкам соединения разъединителей 18 и 21 четвертого 9 и пятого 10 выключателей с разъединителями 16 и 19 первого 1 и второго 2 блоков генератор-трансформатор, соответственно, к которым также подключены первые разъединители 40 и 41 четырнадцатого 42 и пятнадцатого 43 выключателей, а их вторые разъединители 44 и 45 подключены к точкам соединения разъединителей 27 и 28 седьмого 12 и восьмого 13 выключателей с разъединителем 26 третьей линии 5.

ОРУ электрической станции, выполненное по схеме пятиугольника, 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 6, 9, 12 и 14, после чего оперативный персонал отключает разъединитель 16 (фиг.1). При этом происходит потеря мощности блока  $\Delta P_{\text{бл.}}$  на суммарное время  $t_1$  его аварийного ремонта и пуска из холодного состояния. При КЗ в блоке 2

генератор-трансформатор схема работает аналогично.

2) При КЗ на линии 3 от действия её РЗ отключаются выключатели 6, 8, 11 и 14. Если КЗ неустойчивое (успешное АПВ), то через время  $t_2$  срабатывания устройства АПВ выключатели 6, 8, 11 и 14 включаются обратно, и восстанавливается нормальный режим работы. Если КЗ на линии 3 устойчивое (неуспешное АПВ), то после отключения этих выключателей оперативный персонал отключает разъединитель 22, и линия выводится в ремонт. При этом в первом случае происходит кратковременная потеря линии 3, а во втором – длительная. При КЗ на линиях 4 и 5 схема работает аналогично.

3) При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 6 от действия РЗ блока 1 отключаются выключатели 9, 12 и 14; также перегорают предохранители, установленные в цепи выключателя нагрузки блока 1 (на фиг.1 не показано), что приводит к его потере. После отключения выключателей 6 (для ремонта) и 14 (для профилактического осмотра) от схемы разъединителями 17 и 29, и замены предохранителей выключатели 9 и 12 включаются обратно. Также включается нормально отключенный выключатель 32 и осуществляется пуск блока 1 через время  $t_3$  из состояния горячего резерва. При отказах типа «КЗ в обе стороны» выключателей 7, 9 и 10 схема работает аналогично.

4) При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 8 от действия РЗ линии 3 отключаются выключатели 6, 11 и 14, что приводит к её кратковременному отключению. После отключения выключателей 8 (для ремонта) и 11 (для профилактического осмотра) от схемы разъединителями 23 и 25 выключатели 6 и 14 включаются обратно. Также включается нормально отключенный выключатель 33 и линия 3 подключается к схеме. При отказах типа «КЗ в обе стороны» выключателей 11-15 схема работает аналогично.

5) Отказ выключателя 8 в отключении КЗ на линии 3 не приводит к утяжелению последствий при КЗ на этой линии в условиях безотказного отключения её выключателей, так как включенный последовательно с ним выключатель 11 отключается от действия РЗ линии 3 (также, как и выключатели 6 и 14) и разрывает цепь, соединяющую линии 3 и 4. При этом, если КЗ на линии 3 неустойчивое, то через время  $t_2$  выключатели 6, 11 и 14 включаются обратно (выключатель 8 из-за отказа оставался включенным), и восстанавливается нормальный режим работы. При устойчивом КЗ на линии 3 она выводится в аварийный ремонт разъединителем 22; также разъединителями 23 и 25 от схемы отключаются выключатели 8 (для ремонта) и 11 (для профилактического осмотра), а разъединителями 17 и 29 – выключатели 6 и 14. При КЗ на линиях 3-5, совпадающих с отказами в отключении выключателей 6-15, схема работает аналогично. При КЗ в блоках 1 и 2, совпадающих с

отказами в отключении выключателей 6 или 14, 7 или 15, 9 или 12 и 10 или 13 принцип работы схемы также аналогичен.

Принцип работы схемы ОРУ при нахождении в ремонте одного из блоков 1 и 2 генератор-трансформатор, одной из линий 3-5 или одного из выключателей 6-15 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 двумя блоками генератор-трансформатор мощностью по 500 МВт и тремя линиями длиной 400 км (две из которых передают по 40% суммарной мощности, а третья – 20%), и для ОРУ, взятого за прототип (напряжение, блоки и длина линий те же), показали, что в первом случае недоотпуск меньше на  $53 \cdot 10^3 \text{ МВт} \cdot \text{ч/год}$ . 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 6% в год.

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, выполненное по схеме пятиугольника, содержащее два блока генератор-трансформатор, три линии, первый, второй, третий, четвертый, пятый, шестой, седьмой и восьмой выключатели с разъединителем с одной из сторон,

разъединитель первого блока генератор-трансформатор, подключенный к разъединителям первого и четвертого выключателей, разъединитель второго блока генератор-трансформатор, подключенный к разъединителям второго и пятого выключателей, разъединитель первой линии, подключенный к разъединителю третьего выключателя, разъединитель второй линии, подключенный к разъединителю шестого выключателя, включенного последовательно с третьим выключателем, разъединитель третьей линии, подключенный к разъединителям седьмого и восьмого выключателей, включенных последовательно с четвертым и пятым выключателями, соответственно, *отличающееся* тем, что введены девятый и десятый выключатели с разъединителем с одной из сторон, а также нормально отключенные одиннадцатый, двенадцатый, тринадцатый, четырнадцатый и пятнадцатый выключатели с разъединителями с каждой из сторон, причем девятый 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 одиннадцатого и двенадцатого выключателей, десятый выключатель включен последовательно со вторым выключателем, а его разъединитель подключен к точке соединения разъединителя второй линии с разъединителем шестого выключателя, к которой также подключены второй разъединитель двенадцатого выключателя и первый разъединитель тринадцатого выключателя, при этом вторые разъединители одиннадцатого и тринадцатого выключателей подключены к точкам соединения разъединителей четвертого и пятого выключателей с разъединителями первого и второго блоков генератор-трансформатор, соответственно, к которым также подключены первые разъединители четырнадцатого и пятнадцатого выключателей, а их вторые разъединители подключены к точке соединения разъединителей седьмого и восьмого выключателей с разъединителем третьей линии.

