

### Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 621.316

#### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ВРЕМЕННЫХ КОЛЬЦЕВЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-10 КВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРЕТОКОВ МОЩНОСТЕЙ

Арифов<sup>1</sup> А. М., Бекиров<sup>2</sup> Э. А.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,  
Физико-технический институт.  
295007, Республика Крым, г. Симферополь, просп. Академика Вернадского, д. 4.  
E-mail: <sup>1</sup>arifov.alim@inbox.ru, <sup>2</sup>bekirov.e.a@cfuv.ru.

**Аннотация.** В работе предложен метод предварительного расчета для определения возможности включения трансформаторов на параллельную работу и создание временных кольцевых режимов в электрических сетях 6 - 10 кВ, с целью обеспечения перевода электрического питания потребителей без перерывов в электроснабжении.

**Предмет исследования:** кольцевой режим работы линий электропередачи (ЛЭП) в электрически не связанных распределительных сетях 6-10 кВ.

**Материалы и методы:** в работе впервые предложен метод создания кольцевых режимов ЛЭП в электрических сетях 6-10 кВ, получающих электрическое питание от разных питающих центров, между которыми отсутствует возможность создания временной электрической связи путем включения секционного выключателя или отдельной шунтирующей связи (ремонтной перемычки), для последующего создания кольцевого режима.

**Результаты:** получены результаты, позволяющие осуществить предварительную оценку возможности создания кольцевого режима ЛЭП 6-10 кВ между электрически не связанными центрами питания (ЦП).

**Выводы:** предложенный в работе метод, предварительных расчетов установившихся режимов позволяет произвести оценку возможности создания кратковременного кольцевого режима, в электрически не связанных распределительных сетях 6-10 кВ.

**Ключевые слова:** кольцевой режим; параллельная работа трансформаторов; надежность; переток мощности.

#### ВВЕДЕНИЕ

Основной проблемой создания кольцевых режимов ЛЭП в электрических сетях напряжением 6-10 кВ является организация режимов между двумя трансформаторами, включенными на раздельную работу, между которыми отсутствует возможность предварительного обеспечения электрической связи между обмотками низшего класса напряжения (НН), но при этом обмотки высшего класса напряжения (ВН) имеют электрическую связь.

Как известно данный режим допускается создавать в случае предварительного обеспечения работы трансформаторов или автотрансформаторов на параллельную работу, когда обмотки (ВН) и обмотки (НН) двух трансформаторов имеют электрическую связь через включенные ремонтные перемычки или секционные выключатели [1].

В целях правильного распределения нагрузки между параллельно работающими трансформаторами пропорционально их номинальным мощностям параллельная работа двухобмоточных трансформаторов рекомендуется в следующих случаях [2]:

— равенства номинальных первичных и вторичных напряжений (допускается разность коэффициентов трансформации не более  $\pm 0,5\%$ );

— тождественности групп соединения обмоток;

— равенства напряжений КЗ (допускается отклонение не более чем на  $\pm 10\%$  от средней величины).

При несоблюдении первых двух условий в обмотках трансформаторов возникают неравномерные токи, которые в отдельных случаях, особенно при несовпадении групп соединения обмоток, могут превысить значения токов КЗ. Несоблюдение третьего условия приводит к тому, что общая нагрузка распределяется между трансформаторами непропорционально их номинальным мощностям. Рекомендуется, чтобы отношение номинальных мощностей параллельно работающих трансформаторов не превышало 3:1.

Включение на параллельную работу трансформаторов, имеющих разные параметры, требует проведения предварительных оценок целесообразности и возможности такой работы.

Параллельная работа трансформаторов с разными коэффициентами трансформации влечет к перегрузке одного из трансформаторов. Экспериментально это было показано в [3]. Для исследования были взяты два трансформатора мощностью 4 кВА и 2,5 кВА напряжением 380/220 кВ и схемой соединения обмоток Y/Y с коэффициентами трансформации 1,674 и 1,910, соответственно. Показано, что увеличение нагрузки влечет за собой снижение потребляемого тока обмотками трансформатора с большим коэффициентом трансформации. При определенном соотношении параметров параллельно работающих

двухобмоточном и трехобмоточном трансформаторов с разными коэффициентами трансформации, может возникнуть емкостный эффект. Это, в свою очередь, приведет к тому, что трехобмоточный трансформатор будет потреблять активную мощность своей вторичной обмоткой и через первичную обмотку передавать эту мощность в первичную обмотку двухобмоточного трансформатора [4].

В случае включения на параллельную работу трансформаторов, которые имеют разные схемы соединения обмоток на стороне низшего напряжения, в цепи возникает значительная разностная ЭДС, соизмеримая по значению с фазным напряжением обмоток [5]. В результате действия этой ЭДС образуется уравнивающий ток, сила которого в несколько раз превышает номинальный.

При параллельной работе трансформаторов с разными напряжениями короткого замыкания и отличающимися номинальными мощностями существует риск перегрузки одного из трансформаторов или неэффективного перераспределения нагрузки между ними [6]. Авторами [6] в качестве примера были выбраны 4 трансформатора марки ТМГ, с напряжениями короткого замыкания  $U_k$  равными 4,5; 5,5; 5,5; 6 %; исходными данными являлась общая нагрузка группы трансформаторов и их паспортные данные. Приведены таблицы с допустимым сочетанием выбранных трансформаторов для каждого конкретного случая.

Существует необходимость перевода питания потребителей от одного питающего центра на смежный, без предварительного кратковременного отключения одной из ЛЭП 6-10 кВ. Проблема заключается в том, что до создания кольцевого режима, в большинстве случаев нет возможности обеспечить временную электрическую связь между обмотками НН для предварительного включения трансформаторов на параллельную работу, в виду конструктивных особенностей подстанций и значительного расстояния между ними.

Предварительное включение трансформаторов подстанций на параллельную работу путем включения шунтирующих связей необходимо для обеспечения перетоков мощностей, а также уравнивающих токов между трансформаторами через ремонтную перемычку или секционный выключатель [1, 7].

Исходя из указаний, существующих нормативно технических документов и инструкций, в электрически не связанных распределительных электрических сетях перед включением «в кольцо» ЛЭП или участков сетей должна создаваться временная электрическая связь между центрами питания путем включения секционного выключателя, ЛЭП, непосредственно соединяющей шины двух центров питания. Как показывает многолетняя практика данное требование влечет за собой необходимость выполнения предварительных расчетов перераспределения нагрузки по

кольцу электрической связи между центрами питания, а обеспечение перевода электрического питания потребителей методом вхождения в кольцо между удаленными подстанциями необходимо в 50 % случаев.

В работе исследован метод предварительного получения данных о возможности создания кольцевого режима в электрически не связанных распределительных сетях для обеспечения перевода питания потребителей от одного питающего центра на другой без предварительного отключения. В рассмотренном случае переток мощности между трансформаторами и уравнивающие токи будут протекать через ЛЭП 6-10 кВ, включенных в кольцевой режим.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как и для разомкнутых сетей, электрические расчеты замкнутых сетей выполняются для наиболее характерных нормальных установившихся режимов наибольших и наименьших нагрузок. Однако, в отличие от разомкнутых, при анализе замкнутых сетей дополнительно требуется проведение расчетов послеаварийных режимов при отключении отдельных участков сети. Это связано с тем, что отключение участка замкнутой сети может вызвать существенное изменение режима напряжений и потоков мощности, которые могут оказаться недопустимыми.

Также данный режим опасен тем, что при возникшем перетоке мощности, наличии уравнивающих токов из-за разности напряжений между трансформаторами Т-1 и Т-2, возможен недопустимый перегруз одного из трансформаторов на питающем центре, с последующим его повреждением [1, 2, 7].

Создание кольцевых режимов (включение «в кольцо») ЛЭП 6 или 10 кВ питающихся от разных питающих центров допускается только на время, необходимое для перевода нагрузки потребителей или выполнения неотложных ремонтных работ.

Суть предлагаемого метода заключается в следующем:

- произвести анализ пропускной способности кольцующихся ЛЭП, а также определить токоограничивающие элементы в линии;
- установить одинаковые уровни напряжений между питающими центрами подстанций ПС на обмотках НН;
- произвести предварительный расчет уравнивающих токов трансформаторов Т-1 и Т-2;
- произвести предварительный расчет перераспределения мощности между трансформаторами Т-1 и Т-2;
- произвести анализ уставок максимальной токовой защиты (МТЗ) на присоединениях ПС, с учетом максимально возможного перетока нагрузки;

■ произвести анализ полученных величин уравнильных токов и перетоков мощности.

Если по результатам полученных расчетов создание временной электрической связи невозможно, операции по переводу нагрузки с одной линии электропередачи на другую, должны осуществляться с кратковременным (на время производства переключений в электроустановках) отключением нагрузки (потребителей).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

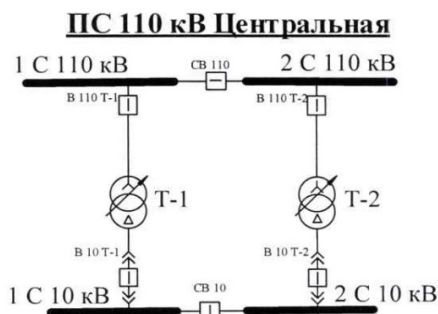
**Порядок действий для включения на параллельную работу трансформаторов (автотрансформаторов) следующий:**

1. Автоматику РПН трансформаторов (автотрансформаторов) с автоматического режима регулирования напряжения (АРН) переводим на дистанционное управление (ДУ);

2. Устанавливаем с помощью устройства регулирования под нагрузкой напряжения трансформатора (РПН) одинаковые значения уровней напряжения, по сторонам низшего напряжения (НН) трансформаторов (автотрансформаторов) для максимально возможного снижения величины уравнильных токов.

**Произведем расчет электрических режимов для включения на параллельную работу трансформаторов (автотрансформаторов).**

В качестве примера рассмотрим параллельное включение трехфазных трансформаторов по схеме, приведенной на рис.1.



**Рис. 1.** Представлена однолинейная схема включения на параллельную работу трансформаторов Т-1 и Т-2 на ПС 110 кВ Центральная путем включения секционного выключателя СВ 110 и секционного выключателя СВ 10.

**Fig. 1.** A single-line diagram is presented for connecting transformers T-1 and T-2 for parallel operation at the 110 kV Tsentralnaya substation by connecting the sectional switch PS 110 and the sectional switch PS 10.

Нагрузка между трансформаторами, работающими параллельно, распределяется пропорционально их мощностям и обратно пропорционально напряжениям короткого замыкания согласно выражению (1) [8]:

$$\frac{S_{1нагр}}{S_{2нагр}} = \left( \frac{S_{1ном}}{S_{2ном}} \right) \left( \frac{U_{k2}}{U_{k1}} \right),$$

где  $S_{1ном}$ ,  $S_{2ном}$  — номинальные мощности трансформаторов (МВА);  $U_{k1}$ ,  $U_{k2}$  — напряжения

короткого замыкания трансформаторов, включаемых на параллельную работу (%).

Некоторое перераспределение нагрузки между параллельно работающими трансформаторами с различными напряжениями короткого замыкания возможно осуществить изменением их коэффициентов трансформации путем переключения ответвлений первичных обмоток. Переключение ответвлений необходимо выполнять так, чтобы у недогруженных трансформаторов вторичное напряжение при холостом ходе было выше, чем у трансформаторов, работающих с перегрузкой.

Рассмотрим два варианта распределения мощности между трансформаторами Т-1 и Т-2 включенных на параллельную работу.

### Вариант № 1

На параллельную работу включены два трансформатора одинаковой мощности  $S_{1ном} = S_{2ном} = 40$  МВА, с одинаковыми напряжениями короткого замыкания  $U_{k1} = U_{k2} = 6,5\%$ . Суммарная нагрузка объекта  $S$  равна 16 МВА. Рассмотрим, как распределяется нагрузка между трансформаторами. Считаем, что активное сопротивление электрической связи по стороне НН между трансформаторами равно 0.

Рассчитаем эквивалентное напряжение короткого замыкания  $U'_k$  по следующей формуле [8, 9]:

$$U'_k = \frac{S}{\frac{S_{1ном}}{U_{k1}} + \frac{S_{2ном}}{U_{k2}}} = 1,3\%. \quad (1)$$

Определяем распределение нагрузки между трансформаторами Т-1 и Т-2 по следующим формулам [8, 9]:

$$S' = \frac{S_{1ном}}{U_{k1}} U'_k = 8000 \text{ кВА}; \quad (2)$$

$$S'' = \frac{S_{2ном}}{U_{k2}} U'_k = 8000 \text{ кВА}, \quad (3)$$

Где  $S'$  и  $S''$  — фактические нагрузки на трансформаторах в установившемся режиме.

По результатам расчетов определяем, что фактические нагрузки трансформаторов будут распределены равномерно.

### Вариант № 2

На параллельную работу включены два трансформатора одинаковой мощности  $S_1 = S_2 = 40$  МВА, но с разными напряжениями короткого замыкания  $U_{k1} = 6,5\%$ ,  $U_{k2} = 8,5\%$ . Суммарная нагрузка энергообъекта  $S$  равна 16 МВА. Рассмотрим, как распределяется нагрузка между трансформаторами. Считаем, что активное сопротивление электрической связи по стороне НН между трансформаторами равно 0.

Рассчитаем эквивалентное напряжение короткого замыкания по формуле (1):

$$U'_k = 1,47\%.$$

Определяем распределение нагрузки между трансформаторами Т-1 и Т-2 по формулам (2) и (3):

$$S' = 9046 \text{ кВА};$$

$$S'' = 6954 \text{ кВА}.$$

По результатам расчетов определяем, что фактические нагрузки трансформаторов не будут распределены равномерно, по причине разных значений  $U_{k1}$  и  $U_{k2}$ .

Из полученных расчетных данных можно произвести не только анализ перераспределения нагрузки между двумя трансформаторами, но и получить расчетную величину перетока (А) нагрузки по организованной временной связи через секционный выключатель (СВ) или временную шунтирующую связь (ремонтную перемычку).

### Расчет электрических режимов для кратковременного создания кольцевого режима работы в электрических сетях 6/10 кВ.

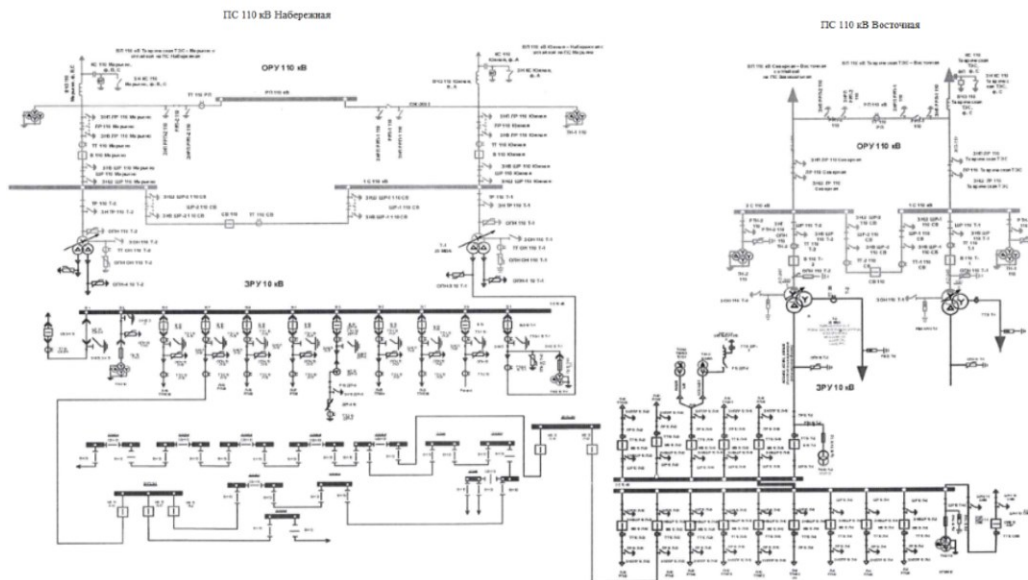
Произведем расчет кратковременного кольцевого режима работы Л-13 и Л-30 (рис. 2) от

смежных питающих центров ПС 110 кВ Набережная и ПС 110 кВ Восточная, при переводе нагрузки Л-30 ПС 110 кВ Восточная на Л-13 ПС 110 кВ Набережная, без отключения потребителей.

Примечание: данная схема не предполагает предварительного создания временной шунтирующей электрической связи по стороне НН между трансформаторами при организации кольцевого режима ввиду значительного расстояния между объектами.

Исходные данные ПС 110 кВ Восточная:

- номинальная мощность трансформатора Т-2  $S_{2\text{ном}} = 25 \text{ МВА}$ ;
- фактическая нагрузка Т-2  $S_{2\text{факт}} = 1,3 \text{ МВА}$ ;
- номинальное напряжение обмотки ВН трансформатора Т-2  $U_{\text{ВН}2} = 115 \text{ кВ}$ ;
- номинальное напряжение обмотки НН трансформатора Т-2  $U_{\text{НН}2} = 11 \text{ кВ}$ ;
- напряжение короткого замыкания обмоток ВН-НН трансформатора Т-2  $U_{\text{к}2} = 17,7\%$ ;



**Рис. 2.** Однолинейная схема распределительной сети 10 кВ ПС 110 кВ Набережная и ПС 110 кВ Восточная с кольцуемыми ЛЭП 10 кВ Л-13 и Л-30.

**Fig. 2.** Single-line diagram of the 10 kV distribution network of the 110 kV Naberezhnaya substation and the 110 kV Vostochnaya substation with ringing 10 kV power lines L-13 and L-30.

- фактическое напряжение обмотки НН трансформатора Т-2  $U_{\text{ф}2} = 10,6 \text{ кВ}$ ;
- соединение групп обмоток трансформатора – УН/УН/Д-0-11;
- возможность дистанционно управлять РПН – Да;
- количество ступеней РПН – 6;
- фактическая нагрузка на Л-30 ПС 110 кВ Восточная – 65 А в сети 10 кВ;
- нормальный разрыв: ВН 10 ТП-574 в ст.ТП-739; ВН 10 ТП-320 в ст.ТП-65.
- уставка МТЗ Л-30 – 600А;
- Л-30 ТТ 10 400/5
- транзит осуществляется через РП-20,
- токоограничивающим элементом на Л-13 является головной участок воздушной линии,

выполненный проводом марки АС 50 (ВЛ) (ДДТН 210 А).

Исходные данные ПС 110 кВ Набережная:

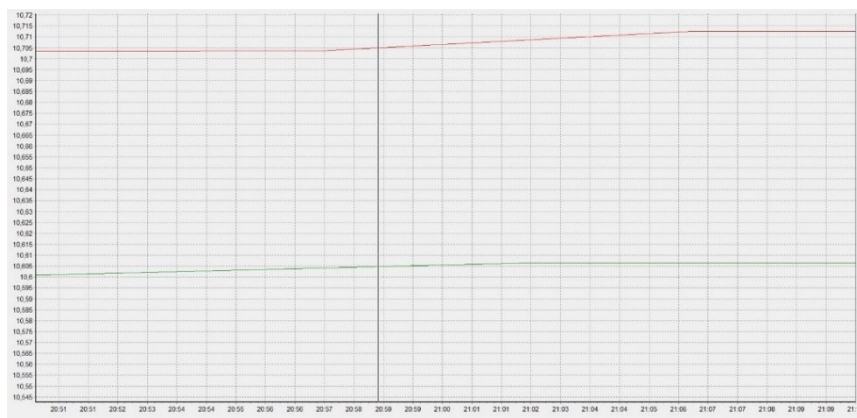
- номинальная мощность трансформатора Т-1  $S_{1\text{ном}} = 25 \text{ МВА}$ ;
- фактическая нагрузка Т-1  $S_{1\text{факт}} = 3,5 \text{ МВА}$ ;
- номинальное напряжение обмотки ВН трансформатора Т-1  $U_{\text{ВН}1} = 115 \text{ кВ}$ ;
- номинальное напряжение обмотки НН трансформатора Т-1  $U_{\text{НН}1} = 11 \text{ кВ}$ ;
- напряжение короткого замыкания обмоток ВН-НН трансформатора Т-1  $U_{\text{к}1} = 17,7\%$ ;
- фактическое напряжение обмотки НН трансформатора Т-1  $U_{\text{ф}1} = 10,7 \text{ кВ}$ ;
- соединение групп обмоток трансформатора – УН/УН/Д-0-11;
- возможность дистанционно управлять РПН

– Да;

- количество ступеней РПН – 6;
- фактическая нагрузка на Л-13 ПС 110 кВ Набережная – 78 А в сети 10 кВ;
- нормальный разрыв ТП-65 СВН 10;
- уставка МТЗ Л-13 – 400 А;
- Л-13 ТТ 10 300/5;
- транзит осуществляется через РП- 20;
- токоограничивающим элементом на Л-13 является кабельная линия КЛ 10 Л-13 (ДДТН 247 А).

1. Осуществляем перевод автоматики РПН трансформатора Т-2 ПС 110 кВ Восточная, РПН Т-1 ПС 110 кВ Набережная с автоматического на дистанционное управление.

2. Устанавливаем с помощью РПН Т-1 ПС 110 кВ Набережная (РПН Т-2 ПС 110 кВ Восточная) максимально близкие по уровню значения напряжения на стороне НН трансформаторов Т-1 ПС 110 кВ Набережная и Т-2 ПС 110 кВ Восточная (рис 3).



**Рис. 3.** График установившихся уровней напряжений после регулировки, на ТН 10 кВ ПС 110 кВ Восточная (зеленый цвет) и ТН 10 кВ ПС 110 кВ Набережная (красный цвет).

**Fig. 3.** Graph of steady-state voltage levels after adjustment, on a 10 kV transformer transformer at the 110 kV Vostochnaya substation (green) and a 10 kV transformer at the 110 kV Naberezhnaya substation (red).

3. Выполняем расчет распределения мощности между трансформаторами Т-1 и Т-2 включенных на параллельную работу для оценки перетока мощности и загрузки трансформаторов Т-1 и Т-2:

4. Рассчитаем эквивалентное напряжение короткого замыкания по формуле (1):

$$U'_k = 1,7\%.$$

Определяем распределение нагрузки между трансформаторами Т-1 и Т-2 по формулам (2) и (3):

$$S' = 2400 \text{ кВА};$$

$$S'' = 2400 \text{ кВА}.$$

Нагрузка между трансформаторами Т-1 и Т-2 распределяется равномерно, без учета уравнивающих токов. Это связано с тем что у трансформатора Т-2 и Т-1 идентичные значения  $U_k$ .

5. Выполняем предварительный расчет уравнивающих токов:

Выполним расчет сопротивления обмоток трансформатора на ПС 110 кВ Восточная и ПС 110 кВ Набережная по следующим формулам [10]:

$$Z_{k1} = \frac{U_{k1} U_{\phi 1}^2}{100 S_{1ном}} = 0,79 \text{ Ом};$$

$$Z_{k2} = \frac{U_{k2} U_{\phi 2}^2}{100 S_{2ном}} = 0,81 \text{ Ом}.$$

Определим разности вторичных напряжений на стороне НН между трансформаторами Т-1 и Т-2 по следующей формуле:

$$\Delta U = U_{\phi 1} - U_{\phi 2} = 0,1 \text{ В}.$$

Рассчитаем значения уравнивающего тока между трансформаторами Т-1 и Т-2 по следующей формуле [11]:

$$I_y = \frac{\Delta U}{Z_{k1} + Z_{k2}} = 62,5 \text{ А}.$$

6. Определяем действующее значение тока по щитовым приборам на Л-3 ПС 110 кВ Набережная и Л-30 ПС 110 кВ Восточная до создания кольцевой схемы.

$$I_{Л-13 \text{ ПС } 110 \text{ кВ Набережная}} = 78 \text{ А};$$

$$I_{Л-30 \text{ ПС } 110 \text{ кВ Восточная}} = 65 \text{ А}.$$

7. Производим анализ существующих нагрузок ЛЭП ПС 110 кВ Набережная и ПС 110 кВ Восточная. Суммарная нагрузка обеих кольцующихся ЛЭП, а также возможный переток, полученный расчетным путем, не должны превышать длительно допустимую токовую нагрузку (ДДТН) токоограничивающих элементов и уставку максимальной токовой защиты (МТЗ) устройств релейной защиты отдельно на каждом из присоединений, так как в случае, если при создании кольцевого режима отключится один из выключателей присоединения, оставшийся в работе выключатель будет отключен действием МТЗ, вследствие превышения уставочного значения.

По результатам анализа:

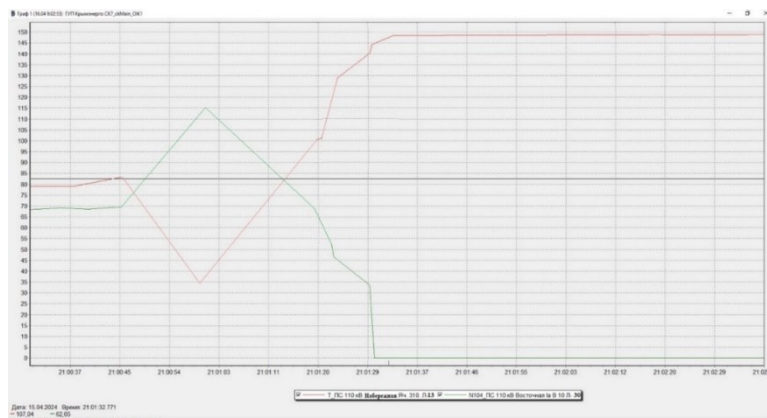
$$I_{Л-13} + I_{Л-30} + I_y = 205,5 \text{ А} < I_{уст} \text{ МТЗ}.$$

Полученное значение меньше значений длительно допустимых токовых нагрузок ДДТН для

линий Л-15 и Л-30.

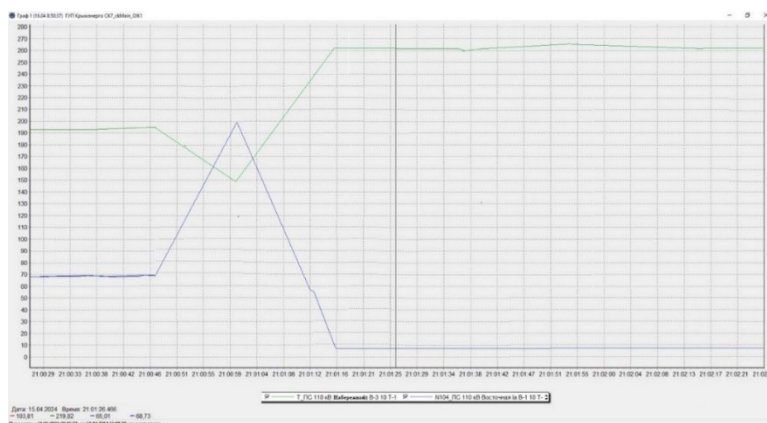
Таким образом, исходя из полученных данных, кольцевой режим для рассмотренных ЛЭП 10 кВ, с

принятыми параметрами электрической сети осуществлять допускается (Рис. 4, 5).



**Рис. 4.** График перевода нагрузок Л-30 на Л-13 до создания кольцевого режима, в процессе создания и после размыкания транзита ПС 110 кВ Восточная Л-30 (зеленый цвет) и ПС 110 кВ Набережная Л-13 (красный цвет).

**Fig. 4.** Schedule for the transfer of loads L-30 to L-13 before the creation of a ring mode, during the creation process and after opening the transit of the 110 kV Vostochnaya L-30 substation (green) and the 110 kV Naberezhnaya L-13 (red).



**Рис. 5.** График загрузки трансформаторов Т-2 ПС 110 кВ Восточная и Т-1 ПС 110 кВ Набережная до создания кольцевого режима, в процессе создания и после размыкания транзита ПС 110 кВ Восточная Т-2 (фиолетовый цвет) и ПС 110 кВ Набережная Т-1 (светло-зеленый цвет).

**Fig. 5.** Loading schedule of transformers T-2 110 kV Vostochnaya substation and T-1 110 kV Naberezhnaya substation before the creation of a ring mode, during the creation process and after disconnecting the transit 110 kV Vostochnaya substation T-2 (purple) and 110 kV Naberezhnaya substation T-1 (light green color).

## ВЫВОДЫ

В работе осуществлена попытка решения проблемы создания кольцевого режима работы трансформаторов, не имеющих электрической связи на стороне низшего напряжения, с целью перевода питания потребителей от одного питающего центра на другой без их предварительного отключения. Данную связь предложено обеспечить посредством ЛЭП.

Реализация предложенного метода рассмотрена на примере двух подстанций классом напряжения 110/10 кВ. Показана возможность осуществления предварительного анализа электрических режимов для включения двух силовых трансформаторов (автотрансформаторов) на параллельную работу, а

также для создания кольцевых режимов в электрических сетях 6-10 кВ.

По результатам анализа были определены величина перетоков мощности и вероятные загрузки трансформаторов. Данный алгоритм расчетов позволит заблаговременно предотвратить недопустимые перегрузы трансформаторов и линий электропередачи, по которым будет осуществляется перевод нагрузки, исключая аварийные режимы работы оборудования, тем самым повышая надежность при выполнении подобных операций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила переключений в электроустановках. Утверждены приказом Минэнерго России от 13 сентября 2018 года № 757. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201811230023>
2. СО 34.35.502-2005. Инструкция для оперативного персонала по обслуживанию устройств релейной защиты и электроавтоматики энергетических систем. Методические указания. Утверждены РАО «ЕЭС России» 01.10.2005.
3. Ромодин А.В., Кузнецов М.И. Исследование параллельной работы трехфазных трансформаторов с различными коэффициентами трансформации // Электротехника. – 2016. – № 11. – С. 16-21.
4. Ромодин А.В., Кузнецов М.И. Параллельная работа трехобмоточного и двухобмоточного трансформаторов с разными коэффициентами трансформации // Электротехника. – 2017. – № 11. – С. 14-18.
5. Рак А.Н., Корощенко А.В. Особенности режима параллельной работы трансформаторов при различных схемах соединения // Взрывозащищенное электрооборудование. – 2016. – № 1. – С. 46-50.
6. Плотников И.И. Подбор силовых трансформаторов с разными напряжениями короткого замыкания для параллельной работы // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. – 2022. – № 4. – С. 97-104.
7. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Утверждены приказом Минэнерго России от 04 октября 2022 года № 1070. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202212060056>.
8. Токарев, Б.Ф. Электрические машины / Б.Ф. Токарев. - М.: Энергоатомиздат, 1989 – 672 с.
9. Копылов, И.П. Электрические машины / И.П. Копылов. - М.: Энергоатомиздат, 1986 – 360 с.
10. Герман Л.А., Серебряков А.С., Лоскутов А.Б., Осокин В.Л., Субханвердиев К.С. Расчет токов короткого замыкания в тяговой сети с двухсторонним питанием // Электричество. – 2019. – №5. – С. 19–23.
11. Федорова В.А., Кириченко В.Ф., Глазырин Г.В. Разработка автоматического устройства ускоренной синхронизации генераторов // Интеллектуальная Электротехника. – 2022. – № 3. – С. 32-48.

## REFERENCES

1. Rules of switching in electrical installations. Approved by the Order of the Ministry of Energy of Russia dated September 13, 2018 No. 757. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201811230023>
2. FROM 34.35.502-2005. Instructions for operational personnel on maintenance of relay protection devices and electrical automation of energy systems. Methodological guidelines. Approved by RAO UES of Russia on 01.10.2005.
3. Romodin A.V., Kuznetsov M.I. Investigation of parallel operation of three-phase transformers with different transformation coefficients // Electrical engineering. - 2016. – No. 11. – pp. 16-21.
4. Romodin A.V., Kuznetsov M.I. Parallel operation of three-winding and two-winding transformers with different transformation coefficients // Electrical engineering. – 2017. No. 11. pp. 14-18.
5. Rak A.N., Koroshchenko A.V. Features of the parallel operation of transformers with different connection schemes // Explosion-proof electrical equipment. 2016. No. 1. pp. 46-50.
6. Plotnikov I.I. Selection of power transformers with different short-circuit voltages for parallel operation // Bulletin of the AGTU. Series: Marine engineering and Technology. – 2022. – No. 4. – pp. 97-104.
7. Rules of technical operation of electric power plants and networks of the Russian Federation. Approved by the order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated October 04, 2022 No. 1070. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202212060056>
8. Tokarev, B.F. Electric machines / B.F. Tokarev. Moscow: Energoatomizdat, 1989 - 672 p.
9. Kopylov, I.P. Electric machines / I.P. Kopylov. Moscow: Energoatomizdat, 1986 - 360 p.
10. German L.A., Serebryakov A.S., Loskutov A.B., Osokin V.L., Subkhanverdiev K.S. Calculation of short-circuit currents in a traction network with two-way power supply // Electricity. – 2019. – No. 5. – pp. 19-23.
11. Fedorova V.A., Kirichenko V.F., Glazyrin G.V. Development automatic device for accelerated synchronization of generators // Intelligent Electrical Engineering. - 2022. – No. 3. – pp. 32-48.

## METHOD OF PRELIMINARY CALCULATIONS FOR CREATION OF TEMPORARY RING MODES IN ELECTRICAL NETWORKS 6-10 kV

Arifov<sup>1</sup>A.M., Bekirov<sup>2</sup>E. A.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,  
Physics and Technology Institute.  
295007, Republic of Crimea, Simferopol, p. Vernadsky, 4.  
<sup>1</sup>arifov.alim@inbox.ru, <sup>2</sup>bekirov.e.a@cfuv.ru.

**Abstract:** The work explores a preliminary calculation method to determine the possibility of switching on transformers for parallel operation and creating temporary ring modes in electrical networks of 6 - 10 kV, in order to ensure the transfer of electrical power to consumers without interruptions in power supply.

**Subject: of research:** ring mode of operation of power transmission lines (PTLs) in electrically unconnected distribution networks of 6-10 kV.

**Materials and methods:** the work first proposed a method for creating ring modes of power lines in 6-10 kV electrical networks receiving electrical power from different power centers, between which there is no possibility of creating a temporary electrical connection, by turning on a sectional switch or a separate shunt connection (repair jumper) , for subsequent creation of a ring mode.

**Results:** using the method of preliminary calculations, results were obtained that allow a preliminary assessment of the possibility of creating a ring mode of 6-10 kV power lines between electrically unconnected power centers (CPs).

**Conclusions:** the method proposed in the work for preliminary calculations of steady-state modes makes it possible to assess the possibility of creating a short-term ring mode in electrically unconnected 6-10 kV distribution networks.

**Key words:** ring mode; parallel operation of transformers; reliability; power flow