

Относительно проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- потери, полученные методом эквивалентных сопротивлений больше потерь полученных методом графического интегрирования на 15 %;
- коэффициент формы графика  $k_{\phi}$  на головном участке ВЛ больше чем на остальных ветвях, максимальное отличие 3,4 %;
- предлагается введение корректирующего коэффициента в формулу (2) для уточнения  $k_{\phi}$  и получения более точных результатов расчета методом эквивалентных сопротивлений.

### Литература

1. Фурсанов, М.И. Методология и практика расчетов потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем. – Минск: Тэхналогія, 2000. – 247 с.
2. Жерко, О.А. Методическое пособие к курсовой работе по дисциплине «Автоматизация электрических сетей». – Минск: БНТУ, 2006. – 95 с.

УДК 621.3

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗВЕСТНЫХ СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ В ЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

*Высоцкая Т.В.*

Научный руководитель – **МЫШКОВЕЦ Е.В.**

Современная энергосистема имеет сложно-замкнутые электрические сети с номинальными напряжениями 110–750 кВ. Такие сети, содержащие несколько номинальных напряжений, характеризуются высокой степенью неоднородности. В них естественное распределение мощностей значительно отличается от экономичного, соответствующего минимуму потерь мощности.

Для оптимизации режима в замкнутых неоднородных сетях могут быть применены следующие способы: управление генерацией на электростанциях, размыкание сетей в оптимальных местах, применение различных компенсирующих и регулирующих устройств.

В качестве критерия оптимального распределения активных мощностей между тепловыми электростанциями принимается минимальное значение суммарного расхода топлива в энергосистеме при соблюдении баланса мощности. Основным достоинством данного метода является то, что он не требует дополнительных капиталовложений. Однако такой способ управления потоками мощности позволяет оптимизировать потокораспределение только для сети в целом, при этом в отдельных замкнутых контурах оно может не соответствовать минимуму потерь мощности. За счет генераторов электрических станций могут быть осуществлены также покрытие реактивных нагрузок потребителей и компенсация потоков реактивной мощности в элементах электрической сети. Однако выдача или потребление реактивной мощности генераторами в значительной степени ограничена режимом активной мощности.

К наиболее простым способам управления потоками мощности относится частичное размыкание сети. Для нахождения наиболее выгодных точек деления исследуемую схему сети принимают за однородную. Поскольку при экономичном распределении мощности пропорциональны активным сопротивлениям, расчетную схему составляют только с активными нагрузками подстанций и активными сопротивлениями. Потокораспределение

распределение в такой сети приближается к экономичному. По найденному потокораспределению определяют наименее нагруженную линию, примыкающую к точкам токораздела, и размыкают ее. Сравнивая потери мощности в полученном и исходном режимах для заданной неоднородной сети, устанавливают целесообразность такого деления. Если потери мощности в результате деления оказались меньше, чем в замкнутой сети, то аналогичным путем находят точку размыкания следующего контура и так далее.

Способ деления сети для повышения экономичности имеет ряд недостатков. Места деления зависят от величины нагрузок потребителей и нагрузок электростанций, поэтому при изменении режима энергосистемы места размыкания должны перемещаться, это требует организации автоматики включения резерва в каждой точке размыкания. Отключение части линий приводит к снижению надежности электроснабжения отдельных узлов нагрузки и снижению устойчивой работы отдельных частей системы.

Согласно [1] по способу воздействия на систему регулирующие устройства можно разделить на четыре группы.

К первой группе относятся сосредоточенные устройства, воздействующие на систему путем изменения собственной реактивной мощности. Такими устройствами являются синхронные компенсаторы, управляемые батареи статических конденсаторов, управляемые реакторы.

Влияние второй группы, к которой можно отнести фазосдвигающие устройства, проявляется в изменении эквивалентных параметров собственно линий электропередачи с фазовым сдвигом, за счет чего регулируется баланс реактивной мощности и соответствующее воздействие на систему. Сюда же можно отнести изменение реактивного сопротивления линий электропередачи традиционной конструкции с помощью устройств продольной компенсации (УПК) и реакторов продольного включения.

Третья группа регулирующих устройств характерна тем, что в соответствующих частях системы создается дополнительная ЭДС, влияющая на перераспределение реактивных и активных мощностей. Такими устройствами служат трансформаторы и автотрансформаторы с РПН, трансформаторы поперечного и продольно-поперечного регулирования. Сюда же можно отнести и преобразовательные мосты электропередач и вставок постоянного тока, с помощью которых можно управлять потоками активной мощности, а через ее величину воздействовать также на баланс реактивной мощности.

И, наконец, к четвертой группе относятся устройства, способные достаточно длительно накапливать активную энергию, которая затем может быть использована для повышения качества переходных процессов, надежности электроснабжения и выравнивания графиков активной нагрузки системы. Такими устройствами являются сверхпроводящие линии электропередачи, представляющие собой распределенные (линейные) накопители энергии.

Использование управляемых электропередач с переменным фазовым сдвигом, гибких электропередач, вставок постоянного тока и сверхпроводящих линий для оптимизации покораспределения требует значительных капитальных вложений. В большинстве случаев полноценной заменой данным устройствам является установка в расщелку линии различных трансформаторных устройств управления потоками мощности. Известно большое количество схем таких устройств. Условно их можно классифицировать по следующим признакам:

- по способу установки (подключенные к силовому трансформатору (автотрансформатору) и самостоятельные устройства);
- по напряжению на контактах переключателя ответвлений (устройства с фазным потенциалом на контактах переключателя ответвлений и устройства с пониженным потенциалом на контактах переключателя ответвлений);

– по способу регулирования напряжения (устройства со ступенчатым регулированием (трансформаторные устройства с ПБВ, РПН или тиристорным управлением), нерегулируемые (или регулируемые с помощью выключателей), с плавным регулированием напряжения);

– по расчетной мощности устройств (магнитопробод может рассчитываться на полную проходную мощность устройства или на ее часть).

Из всех схем данных устройств более предпочтительными являются устройства с пониженным потенциалом на контактах переключателя ответвлений и с расчетной мощностью магнитопровода меньшей, чем проходная мощность устройства, так как при этом снижается их стоимость. Остальные параметры зависят от требуемого места установки устройства и режима регулирования напряжения.

Кроме того, относительно дешевым способом оптимизации потокораспределения может оказаться применение УПК и реакторов продольного включения. Однако при их использовании нужно учитывать, что сильное снижение сопротивлений линий приводит к росту токов короткого замыкания. При увеличении сопротивления снижается устойчивость а также чувствительность защит к токам коротких замыканий.

Проанализировав возможность применения изложенных выше способов и устройств управления потоками мощности для оптимизации потокораспределения в сетях Белорусской энергосистемы можно отметить следующее:

1. Оптимизация потокораспределения реактивных мощностей с помощью генераторов электрических станций, синхронных компенсаторов, различных устройств поперечной компенсации и регулирования продольных коэффициентов трансформации на силовых трансформаторах в Белорусской энергосистеме широко используется в настоящее время, поэтому в данном исследовании дополнительная проверка по данным устройствам не проводилась.

2. Из всех возможных способов оптимизации потокораспределения активных мощностей в настоящее время используются управление генерацией на электростанциях и коэффициентами трансформации на силовых трансформаторах, а также размыкание сети (последний используется в сетях с номинальным напряжением до 110 кВ включительно).

3. Результаты численных экспериментов проведенных с режимами зимнего максимума и минимума, а также летнего максимума и минимума Белорусской энергосистемы показали:

– для оптимизации потокораспределения в системообразующей сети возможно применение устройств с углами сдвига фаз напряжения порядка  $5-10^\circ$  при этом имеет место снижение потерь до 1 МВт (для одиночных устройств в режиме максимальных нагрузок);

– в большинстве случаев требуется наличие устройства РПН, так как в разных режимах оптимальные значения углов (и соответственно коэффициентов трансформации) отличаются;

– на части ветвей применение реакторов продольного включения позволяет добиться того же снижения потерь, что и применение трансформаторных устройств, при этом в большинстве случаев регулирование сопротивления не требуется;

– применение УПК оказалось неэффективным, снижение потерь почти во всех случаях оказывается в пределах погрешности использованной программы расчета режимов;

– применение трансформаторных устройств и продольных реакторов вместо замыкания контуров позволяет добиться практически того же снижения потерь.

На рисунке 1 приведена схема одного из трансформаторных устройств, которые можно применить для управления потокораспределением в замкнутой сети [2].

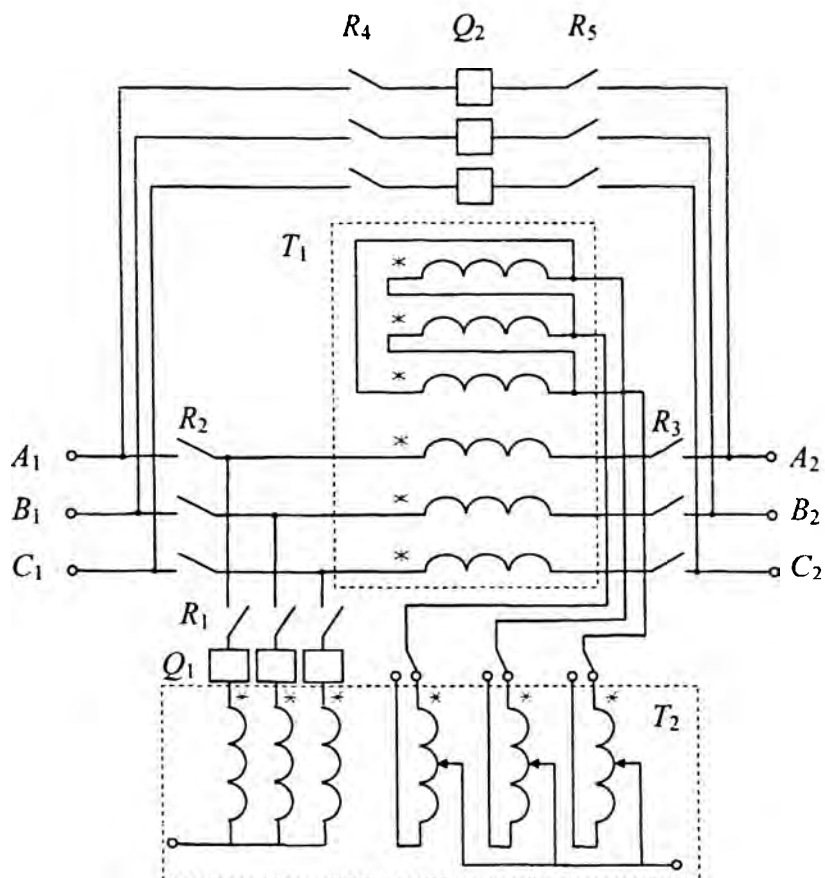


Рисунок 1. Схема двухтрансформаторного устройства поперечного регулирования напряжения

### Литература

1. Поспелов, Г.Е., Федин, В.Т. Передача энергии и электропередачи: Учеб. пособие для студентов энергет. специальностей вузов. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2003. – 544 с.
2. Пекеліс В.Г., Мышковец Е.В. Управление потоками активной мощности в замкнутых электрических сетях белорусской энергосистемы // Наука – энергетике 1999–2000: сборник научных трудов. – Минск: Институт тепло- и массообмена им. В.А. Лыкова НАНБ, 2001. – С. 29–35.