

Акматов Баатыр Жороевич – к.т.н. доцент,
Ошский технологический университет,
Аширбеков Мундузбек Аширбекович – магистрант группы ЭСиС-1-16 (М)
Ошский технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ РПН

В статье рассматриваются вопросы исследование регулирования напряжение в электрической сети с помощью РПН.

Ключевые слова: электрические сети, электроэнергия, электростанция, компенсирующая устройства, регулирования напряжения.

B.Zh. Akmatov - candidate of economic sciences, associate professor,
Osh technological university,
Ashirbekov Munduzbek Ashirbekovich M. Ashirbekov - graduate of the group
EPNandS-1-16 (M), Osh technological university

ADJUSTING OF ELECTRIC NETWORK RESEARCH BY MEANS OF RPN

The questions of adjusting tension research in an electric network by means of RPN. Is concerned in this article.

Key words: electricity of the net, electric power, power station, compensating device, regulation of voltage.

Основная цель в современных электрических сетях регулирование напряжения является необходимым условием обеспечения технически допустимых режимов работы. Это связано, прежде всего, с резким увеличением протяженности сетей и числа последовательных трансформаций в них, а также с достаточно узкими пределами допустимых отклонений напряжения у отдельных элементов электрооборудования и, в частности, у электроприёмников. В принципе регулирование напряжения имеет целью в какой-то мере компенсировать изменение потерь напряжения в сети, которое автоматически получается с связи изменением нагрузок. При этом используя устройства для регулирования напряжения, можно одновременно и повышать экономичность рабочих режимов сети.

Для целей регулирования напряжения можно использовать как собственно регулирующие устройства, позволяющие изменять коэффициенты трансформации под нагрузкой, так и автоматически управляемые компенсирующие устройства, генерирующие реактивную мощность, величину которой можно изменять. Регулирующие устройства действуют на режим напряжений непосредственно.

В условиях проектирования и эксплуатации электрических сетей невозможно осуществить контроль качества напряжения у каждого электроприемника, поэтому при рассмотрении режимов сетей 110-750 кВ качество напряжения должно обеспечиваться на шинах вторичного напряжения подстанций 110-750/35-6 кВ, т.е. в центрах питания распределительных сетей. Для этого должны быть нормированы режимы регулирования напряжения и допустимые отклонения напряжения на шинах вторичного напряжения подстанций.

Режимы напряжения выбирают в зависимости от характера подключенных к сети потребителей и их удаленности от центра питания.

Для поддержания необходимого режима напряжения в электрических системах используются следующие принципы регулирования напряжения:

- централизованное регулирование, когда воздействие оказывается на большое количество узлов сети. Такое регулирование осуществляется генераторами и трансформаторами ОРУ электростанций, трансформаторами крупных системных и районных подстанций, синхронными компенсаторами;
- местное регулирование используется в связи с тем, что централизованного регулирования оказывается недостаточно для поддержания напряжения в требуемом диапазоне во всех узлах. Такое регулирование осуществляется трансформаторами понижающих подстанций и батареями статических конденсаторов;
- смешанное регулирование, использующее оба принципа.
- Регулирование напряжения осуществляется:
 - генераторами электростанций, в которых увеличение тока возбуждения ведет к увеличению ЭДС и напряжения на шинах генераторного напряжения U_G . Автоматическое регулирование возбуждения (АРВ) позволяет плавно регулировать напряжение U_G или поддерживать его постоянное значение;
 - трансформаторами и автотрансформаторами;
 - компенсирующими устройствами (синхронными компенсаторами - плавно, батареями статических конденсаторов - ступенчато);
 - изменением параметров сети применением установок продольной компенсации (УПК);
 - в замкнутых сетях - перераспределением потоков активной и реактивной мощности.

Генераторы электростанций являются только вспомогательным средством регулирования, потому что имеют недостаточный диапазон регулирования напряжения, кроме того, трудно согласовать требования по напряжению удаленных и близких потребителей. Как единственное средство регулирования генераторы применяются только для нагрузки, питающейся от шин генераторного напряжения.

Повышающие трансформаторы на электростанциях с номинальным напряжением обмотки ВН 110-220кВ также являются вспомогательным средством регулирования напряжения, потому что имеют предел регулирования $\pm 2 \times 2,5 \% U_{в.ном}$, и с их помощью нельзя согласовать требования по напряжению близких и удаленных потребителей. Повышающие трансформаторы 330, 500, 750кВ выпускаются без устройств для регулирования напряжения. Поэтому основным средством регулирования напряжения являются трансформаторы и автотрансформаторы районных подстанций. По конструктивному выполнению различают два типа трансформаторов понижающих подстанций:

- с переключением регулировочных ответвлений без возбуждения, т.е. с отключением от сети (трансформаторы с ПБВ);
- переключением регулировочных ответвлений под нагрузкой (трансформаторы с РПН). Обычно их регулировочные ответвления выполняются на стороне высшего напряжения, которая имеет меньший рабочий ток. При этом облегчается работа переключающего устройства.

Для нормальной работы потребителей необходимо поддерживать определенный уровень напряжения на шинах подстанций. В электрических сетях предусматриваются способы регулирования напряжения, одним из которых является изменение коэффициента трансформации трансформаторов.

Известно, что коэффициент трансформации определяется как отношение первичного напряжения ко вторичному, или

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}, \quad \text{где } w_1, w_2 - \text{число витков первичной и вторичной обмоток соответственно. Отсюда } U_2 = U_1 w_2 / w_1.$$

Обмотки трансформаторов снабжаются дополнительными ответвлениями, с помощью которых можно изменять коэффициент трансформации. Переключение ответвлений может происходить без возбуждения (ПБВ), т.е. после отключения всех обмоток от сети или под нагрузкой (РПН). [3]

Трансформаторы без регулирования под нагрузкой (ПБВ) изготавливают с основным и четырьмя дополнительными ответвлениями. Основное ответвление имеет напряжение, равное номинальному напряжению первичной обмотки трансформатора $U_{в.ном}$. Для понижающих трансформаторов $U_{в.ном}$ равно номинальному напряжению сети, к которой присоединяется данный трансформатор, для повышающих $U_{в.ном}$ на 5-10% выше $U_{ном}$ сети. Чтобы переключить регулировочное ответвление в трансформаторе с ПБВ, требуется отключить его от сети. Такие переключения производятся редко, при сезонном изменении нагрузок. Поэтому в режиме наибольших и наименьших нагрузок в течение суток (например, днем и ночью) трансформатор с ПБВ работает на одном регулировочном ответвлении и соответственно с одним и тем же коэффициентом трансформации. При этом нельзя осуществить требование встречного регулирования, т.к. встречное регулирование можно осуществлять, только изменяя $U_{отв}$ и коэффициент трансформации в течение суток.

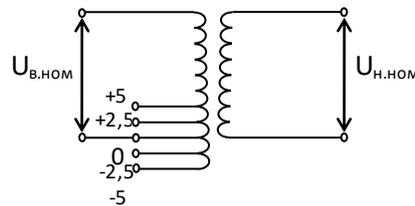


Рис. 1. Схема обмоток трансформатора с ПБВ.

По условиям встречного регулирования желаемое напряжение на шинах низшего напряжения в режиме наибольших нагрузок: $U_{2ж\ell нб} \geq (1,05-1,1) U_{ном}$ сети; (1)

для режима наименьших нагрузок: $U_{2ж\ell нм} \geq U_{ном}$ сети

Напряжение на стороне НН в режиме наибольших нагрузок, приведенное к ВН $U_{2н.нб}$ и напряжение на стороне НН в режиме наименьших нагрузок, приведенное к ВН $U_{2н.нм}$: $U_{2н.нб} = U_{нб}^B - \Delta U_{Т.нб}^B$, $U_{2н.нм} = U_{нм}^B - \Delta U_{Т.нм}^B$ (2)

Где $U_{нб}^B$, $U_{нм}^B$ - определяемые из электрического расчета сети напряжения на стороне ВН трансформатора в режимах наибольших и наименьших нагрузок,

$\Delta U_{Т.нб}^B$, $\Delta U_{Т.нм}^B$ - соответственно потери напряжения в трансформаторе в этих режимах.

Требуемое ответвление вычисляют и округляют до ближайшего стандартного:

$$U_{отв} = \frac{U_{2нб}^B + U_{2нм}^B}{U_{ж\ell нб} + U_{ж\ell нм}} U_{НН} \rightarrow U_{СТ}, \quad (3) \text{ где } U_{НН} - \text{номинальное напряжение на шинах НН трансформатора в режиме холостого хода паспортные данные).}$$

Стандартное ответвление $U_{СТ}$ определяет коэффициент трансформации:

$$n = \frac{U_{СТ}}{U_{НН}} \quad (4) \text{ при котором реальные напряжения на шинах НН в режимах}$$

$$\text{наибольших и наименьших нагрузок составят: } U_{2нб} = \frac{U_{2нб}^B}{n}; \quad U_{2нм} = \frac{U_{2нм}^B}{n} \quad (5)$$

Трансформаторы с регулированием напряжения под нагрузкой, со встроенным устройством РПН (2 а) отличаются от трансформаторов с ПБВ наличием специального переключающего устройства, а также увеличенным числом ступеней регулировочных ответвлений и диапазоном регулирования. Например, для трансформаторов с номинальным напряжением основного ответвления обмотки ВН, равным 115кВ,

предусматривается диапазон регулирования +16 % при 18 ступенях регулирования по 1,78 % каждая.

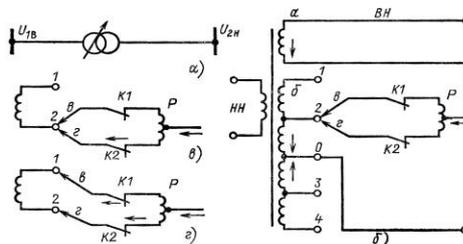


Рис. 2. Трансформатор с РПН:

а - условное обозначение; б - схема обмоток трансформатора с РПН;
в, г - переключение ответвлений

На рис. 2 б изображена схема обмоток трансформатора с РПН. Обмотка ВН этого трансформатора состоит из двух частей: нерегулируемой (а) и регулируемой (б). На регулируемой части имеется ряд ответвлений с неподвижными контактами 1...4. Ответвления 1, 2 соответствуют части витков, включенных согласно с витками основной обмотки (направление тока указано стрелками). При включении ответвлений 1,2 коэффициент трансформации увеличивается. Ответвления 3,4 соответствуют части витков, соединенных встречно по отношению к виткам основной обмотки. Их включение уменьшает коэффициент трансформации, так как компенсирует действие части витков основной обмотки. Основным выводом обмотки ВН трансформатора является точка 0[2].

На регулируемой части обмотки имеется переключающее устройство, состоящее из подвижных контактов (в) и (г), контактов К1 и К2 и реактора Р. Середина обмотки реактора соединена с нерегулируемой частью обмотки (а) трансформатора. Нормально ток нагрузки обмотки ВН распределяется поровну между половинами обмотки реактора. Поэтому магнитный поток мал и потеря напряжения в реакторе также мала.

Допустим, что требуется переключить устройство с ответвления 2 на ответвление 1. При этом отключают контактор К1 (рис. 2 в), переводят подвижный контакт в на контакт ответвления 1 (рис. 2 г) и вновь включают контактор К1. Таким образом, временно секция 1-2 обмотки оказывается замкнутой на обмотку реактора Р. Значительная индуктивность реактора ограничивает уравнивающий ток, который возникает вследствие наличия напряжения на секции 1-2 обмотки. После этого отключают контактор К2, переводят подвижный контакт (г) на контакт ответвления 1 и включают контактор К2.

С помощью РПН можно изменять ответвления и коэффициент трансформации под нагрузкой в течение суток, выполняя, таким образом, требования встречного регулирования. При выборе ответвлений опираются на два крайних режима: наибольших и наименьших нагрузок. Все другие ответвления в течение суток будут выбираться между ними.

По условиям встречного регулирования (1) принимают $U_{2\text{жел.нм}}$; $U_{2\text{жел.нб}}$.

По значениям $U_{2\text{н.нб}}$ и $U_{2\text{н.нм}}$ определяют желаемые ответвления регулируемой обмотки высшего напряжения трансформатора в режимах наибольших и наименьших нагрузок:

$$U_{\text{отв.нб}} = U_{2\text{н.нб}}^B \frac{U_{\text{НН}}}{U_{2\text{н.нб}}^{\text{жел}}}, \quad (6) \text{ Желаемые ответвления, определенные по (6),}$$

округляются до таких ближайших стандартных значений

$$U_{\text{отв.нм}} = U_{2\text{н.нм}}^B \frac{U_{\text{НН}}}{U_{2\text{н.нм}}^{\text{жел}}}.$$

$$U_{2н.нб} = U_{2н.нб}^B \frac{U_{НН}}{U_{СТНБ}}, \quad (7) \text{ Реальные напряжения на шинах НН в режимах}$$

нб, наибольших и наименьших нагрузок при выбранных $U_{ст}$
 $U_{2н.нм} = U_{2н.нм}^B \frac{U_{НН}}{U_{СТНМ}}$ $U_{ст}$ нм:

Автотрансформаторы 220-330кВ выпускаются с РПН, встроенным на линейном конце обмотки среднего напряжения. Ранее для автотрансформаторов устройство РПН выполнялось встроенным в нейтраль, при этом изменение коэффициентов трансформации между обмотками ВН и СН и обмотками ВН и НН нельзя было производить независимо друг от друга и нельзя было осуществлять встречное регулирование одновременно на среднем и низшем напряжениях. В настоящее время с помощью РПН, встроенного на линейном конце обмотки СН, можно изменять под нагрузкой коэффициент трансформации только для обмоток ВН-СН. Если требуется одновременно изменить под нагрузкой коэффициент трансформации между обмотками ВН и НН, то необходимо установить дополнительно последовательно с обмоткой НН автотрансформатора линейный регулятор. С экономической точки зрения такое решение оказывается более целесообразным, чем изготовление автотрансформаторов с двумя встроенными устройствами РПН.

Учитывая, выше сказанное, можно сделать следующие выводы:

- 1). Сущность регулирования напряжения с помощью трансформаторов заключается в том, что при необходимости изменения напряжения на вторичной стороне трансформатора изменяют его коэффициент трансформации. РПН позволяет переключать ответвления обмотки трансформатора без разрыва цепи. Устройство РПН предусматривает регулирование напряжения в различных пределах в зависимости от мощности и напряжения трансформатора (от ± 10 до $\pm 16\%$ ступенями приблизительно по 1,5%)
- 2). Устройство ПБВ не позволяет регулировать напряжение в течение суток, так как это потребовало бы частого отключения трансформатора для производства переключений, что по условиям эксплуатации практически недопустимо. Обычно ПБВ используется только для сезонного регулирования напряжения.

Литература:

1. Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии. Учебное пособие. – [Текст] / В.Т. Федин. // Ростов на Дону: Издательские проекты, 2006г.-715с.
2. Идельчик, В.И. Электрические системы и сети. – [Текст] М.: Энергоатомиздат, 1989г. - 272с.
3. Веникова, В.А. Электрические системы и сети. Электрические сети. – [Текст] / В.А. Строева // М.: ВШ, 1998 - 511стр.