



ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВА ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЛЭП В СЕТЯХ 6-35 кВ

А.О. Задорожный, аспирант,
andihome@mail.ru

М.С. Харитонов, ст. преподаватель,
engineeringlifestyle@gmail.com

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

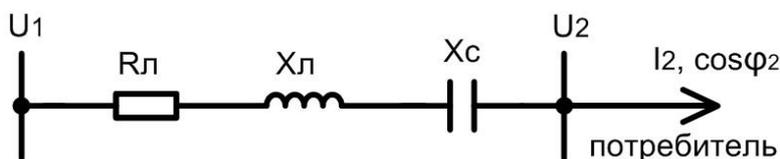
Представлены базовые принципы работы устройства продольной компенсации реактивной мощности ЛЭП 6–35 кВ. Приведены результаты расчета параметров экспериментального стенда для исследований возможностей применения устройства продольной компенсации реактивной мощности на примере ЛЭП 15 кВ в электрической сети Калининградской области.

реактивная мощность, линия электропередачи, устройство продольной компенсации, падение напряжения

В Российской Федерации протяженность линий электропередачи (ЛЭП) всех классов напряжения составляет более 2,5 млн. км. Больше 30% из них приходится на напряжения 6–35 кВ. В частности, на территории Калининградской области на данный момент находятся в эксплуатации порядка 750 ЛЭП среднего класса напряжения общей протяженностью свыше 17,5 тыс. км. Ввиду такого большого количества протяженных воздушных ЛЭП среднего класса напряжения в энергосистеме страны и регионов, в частности, реактивное сопротивление передающего устройства получается весьма значительным, что вызывает немалые потери напряжения и мощности.

Устройство продольной компенсации реактивной мощности (УПК) позволяет увеличить пропускную способность линий электропередачи, снизить потери и нормализовать напряжение сети, обеспечивая качество электроэнергии для конечного потребителя в соответствии с ГОСТ и повышение энергоэффективности [1].

В общем виде схема замещения линии электропередачи 6–35 кВ с устройством продольной компенсации реактивной мощности, приведенная к упрощенному виду, представлена на рис. 1.



U_1 – напряжение в начале линии, U_2 – напряжение в конце линии,
 R_l – активное сопротивление линии, X_l – реактивное сопротивление линии,
 X_c – реактивное сопротивление батареи конденсаторов УПК

Рисунок 1 – Схема замещения ЛЭП 6-35 кВ с УПК

Соотношение напряжений в начале и в конце линии представлено на векторной диаграмме (рис. 2).

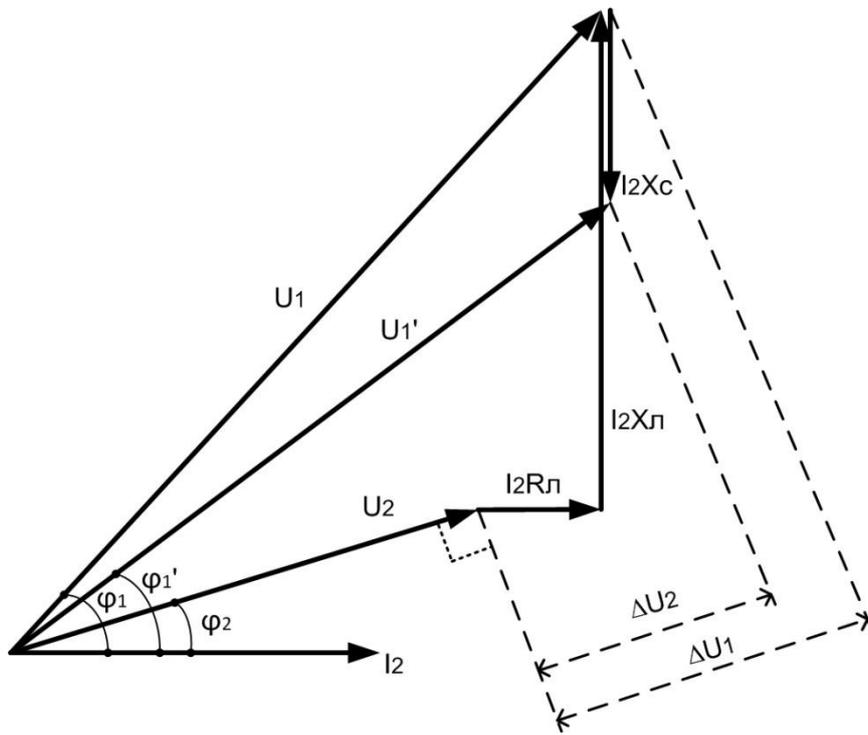


Рисунок 2 – Векторная диаграмма ЛЭП 6-35 кВ при использовании УПК

На диаграмме ΔU_1 и ΔU_2 – падение напряжения в линии без компенсации реактивной мощности и при использовании УПК, соответственно.

Падение напряжения в трехфазной линии рассчитывается по выражению (1):

$$\Delta U_1 = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_n}, \quad (1)$$

где P и Q – активная и реактивная мощности нагрузки; U_n – номинальное напряжение сети.

После применения УПК падение напряжения рассчитывается следующим образом:

$$\Delta U_2 = \frac{P \cdot R + Q \cdot (X - X_c)}{U_n}. \quad (2)$$

Уменьшение потери напряжения в линии определяется по выражению (3):

$$\Delta U_1 - \Delta U_2 = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_n} - \frac{P \cdot R + Q \cdot (X - X_c)}{U_n} = \frac{Q \cdot X_c}{U_n}. \quad (3)$$

Конденсаторы при продольной компенсации включаются в сеть последовательно, и через них проходит полный ток линии [2]. Компенсация индуктивного сопротивления цепи емкостью приводит к повышению токов короткого замыкания (КЗ), что, в свою очередь, особенно опасно для конденсаторов УПК, так как напряжение на них при сквозных токах КЗ возрастает пропорционально кратности тока короткого замыкания по отношению к номинальному току.

Для защиты конденсаторов в УПК при возникновении сквозных токов КЗ предложено использование ограничителей перенапряжения (ОПН). Благодаря высоконелинейной вольт-амперной характеристике варисторов, применяемых в ОПН, при появлении перенапряжений в течение очень короткого промежутка времени (исчисляемого в наносекундах) внутреннее сопротивление ОПН падает на несколько порядков, а ток через аппарат возрастает в разы. Таким образом, устройство ограничивает перенапряжения и защищает конденсаторы от сквозных токов КЗ.

Схема устройства продольной компенсации ЛЭП 6–35 кВ с применением ОПН для защиты конденсаторной батареи представлена на рис. 3.

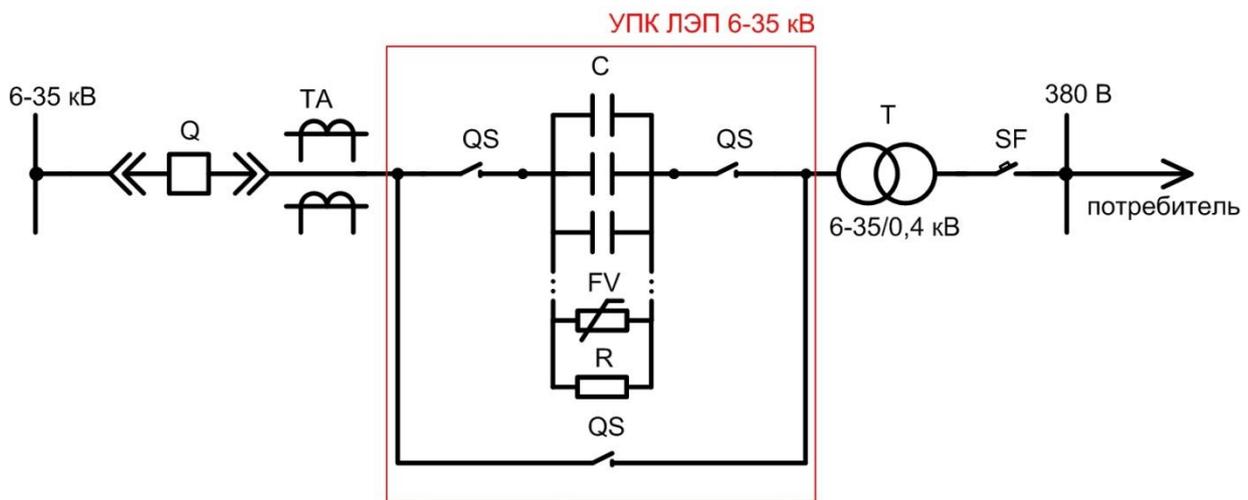


Рисунок 3 – Схема устройства продольной компенсации ЛЭП 6-35 кВ с применением ОПН для защиты конденсаторной батареи

Для расчета технических параметров устройства продольной компенсации реактивной мощности ЛЭП 6–35 кВ разработана методика, состоящая из двух этапов: расчет батареи конденсаторов для УПК; расчет параметров ОПН для защиты конденсаторов УПК от сквозных токов КЗ. При расчете параметров УПК следует учитывать, что в сетях до 35 кВ включительно с изолированной и резонансно–заземленной нейтралью при замыканиях на землю одной из фаз на двух других фазах устанавливается линейное напряжение равно $U_{\text{фмакс}} \cdot \sqrt{3}$, где $U_{\text{фмакс}}$ – максимальное фазное напряжение.

В ходе исследований были разработаны макет устройства УПК и экспериментальный стенд, моделирующий часть электрической сети Калининградской области. В качестве примера была выбрана ЛЭП 15 кВ ВЛ 15-53 (длина линии – 9,6 км, линия одноцепная, марка провода АС-70/11), находящаяся в распоряжении АО «Янтарьэнерго». На рис. 4 представлена схема замещения данной линии, используемая для расчета параметров стенда, на основе схемы нормального режима работы ВЛ 15-53. Напряжение на низкой стороне принимается 15,7 кВ, так как такое напряжение поддерживается в нормальном режиме в начале линии.

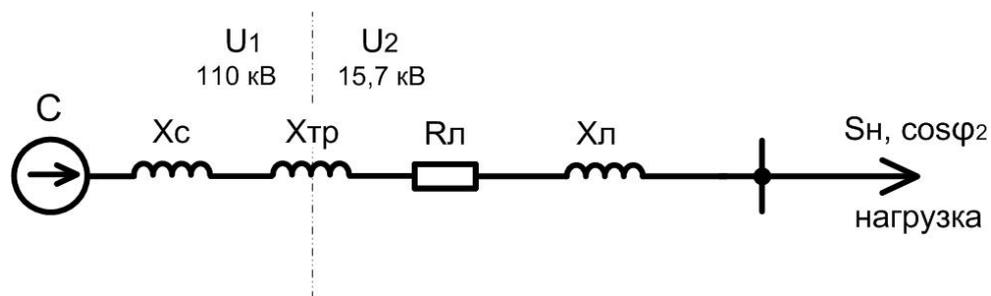


Рисунок 4 – Схема замещения ЛЭП 15 кВ ВЛ 15–53

Для получения параметров макета устройства УПК и экспериментального стенда схема выбранной части электрической сети Калининградской области прошла ряд преобразований: преобразование исходной схемы части электрической сети в схему замещения, на которой все элементы (генераторы, трансформаторы, ЛЭП и потребители) представлены их схемами замещения в соответствии с принятыми стандартами и допущениями; приведение параметров схемы замещения и параметров режима к одной базисной ступени напряжения; получение схемы модели электрической сети путем пересчета параметров схемы и режима через масштабные коэффициенты. Таким образом, была получена схема, предназначенная для воспроизведения на экспериментальном стенде и содержащая все элементы рассчитываемого

участка электрической сети. Трёхфазная схема экспериментального стенда представлена на рис. 5. В табл. 1 указаны параметры схемы замещения ЛЭП 15кВ ВЛ 15–53, в табл. 2 – приведенные параметры схемы экспериментального стенда.

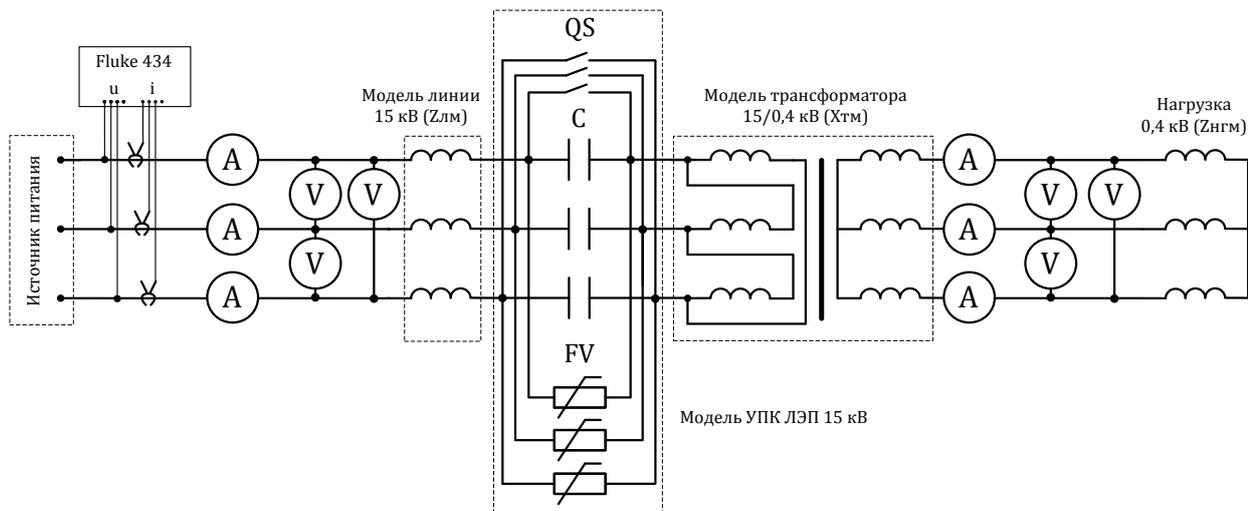


Рисунок 5 – Трёхфазная схема экспериментального стенда

Таблица 1 – Параметры схемы замещения ЛЭП 15 кВ ВЛ 15-53

Система	Трансформатор	Линия	Нагрузка
$X_{с\text{прив}} = j0,696$	$X_{т} = j10,35$	$Z_{л} = 4,05 + j3,68$	$S_{н} = 1895,33 + j1175,62$

Таблица 2 – Приведенные параметры для схемы экспериментального стенда ЛЭП 15 кВ ВЛ15-53

Система	Трансформатор	Линия	Нагрузка
$X_{см} = j1,91$	$X_{тм} = j28,36$	$Z_{лм} = 11,16 + j10,13$	$S_{нм} = 0,41 + j0,25$

В табл. 3 представлены результаты расчетов параметров конденсаторной батареи для экспериментального стенда.

Таблица 3 – Параметры конденсаторной батареи для экспериментального стенда

Реактивное сопротивление, Ом	Мощность, кВАр
$X_{см} = 25,22$	$Q_{Бм} = 0,077$

Результаты исследований показали, что применение устройства продольной компенсации реактивной мощности на ЛЭП 15 кВ ВЛ 15–53 позволяют снизить потери напряжения на линии, а также при шунтировании батареи конденсаторов и правильном расчете параметров ОПН решается вопрос защиты батарей конденсаторов от взрыва при воздействии токов короткого замыкания, что позволяет при определенных значениях тока короткого замыкания не выводить из строя линию электропередачи, на которой установлено устройство. Таким образом, можно сделать вывод, что применение устройства продольной компенсации реактивной мощности в сети 6–35 кВ является целесообразным.

Работа поддержана Фондом содействия инновациям по программе «УМНИК» (ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железко, Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – Москва: ЭНАС, 2009. – 456 с.: ил.

2. Методические указания по применению ограничителей перенапряжений нелинейных в электрических сетях 6–35 кВ, РАО «ЕЭС России», Москва, 2001.

APPLICATION OF SERIES COMPENSATION DEVICE OF REACTIVE POWER FOR TRANSMISSION LINE IN POWER SYSTEMS OF 6–35 kV

A.O. Zadorozhnyy, PhD student,
andihome@mail.ru

M.S. Kharitonov, senior lecturer,
engineeringlifestyle@gmail.com

FGBOU VO “Kaliningrad State Technical University”

Basic principles of the device for series compensation of the reactive power of 6–35 kV transmission lines are presented. The results of calculation of the parameters of the experimental stand for the studies of the expediency of using the device for series compensation of reactive power on the basis of a 15 kV transmission line in the power system of the Kaliningrad region are presented.

reactive power, power line, series compensation device, voltage drop