

УДК 621.315

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛЬТОДОБАВОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
THE USE OF A BOOSTER TRANSFORMER TO IMPROVE THE QUALITY
ELECTRIC POWER**

К.А. Марчук, В.В. Люкевич

Научный руководитель - Н.Е. Шевчик, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
neshevchik@gmail.ru

K. Marchuk, V. Liukevich

Supervisor – N. Shevchick, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** применение вольтодобавочного трансформатора в энергосистеме с учетом его векторной диаграммы и недостатков для улучшения качества электроэнергии.*

***Abstract:** the use of a booster transformer in the power system, taking into account its vector diagram and disadvantages to improve the quality of electricity.*

***Ключевые слова:** нагрузка, напряжение, вольтодобавочный трансформатор, векторная диаграмма, несимметрия нагрузок, коэффициент трансформации.*

***Keywords:** load, voltage, booster transformer, vector diagram, unbalance of loads, transformation ratio.*

Введение

Качество электроэнергии в электрических сетях Республики Беларусь регламентируется стандартом ГОСТ 32144–2013 [1]. Показатели качества относятся к частоте тока и напряжению. Частота тока обусловлена работой всей электроэнергетической системы и, практически, не выходит за допустимые пределы, то напряжение в электрических сетях зависит от многих факторов: элементов и конфигурации электрической сети, электроприёмников, несимметрии нагрузок, и т.д.

Основная часть

Из всех показателей напряжения наиболее важным являются медленные изменения напряжения, отклонение напряжения от номинального. Следует отметить, что электрические сети крупных предприятий и сети, питающие коммунально-бытовую нагрузку в городах достаточно мощные.

В сельских же электрических сетях, а также в сетях, питающих дачные массивы и коттеджные застройки имеются проблемы с напряжением. Достаточно часто, к примеру, в уже застроенном дачном массиве выделяются дополнительные участки. И, если на основной массив выполняется проект, в котором правильно подобраны сечения проводов, нагрузка равномерно распределяется по фазам и проблем с напряжением нет, то электроснабжение дополнительных участков часто выполняется в целях экономии двумя проводами, часто меньшего сечения, чем в основной застройке. Это приводит к

тому, что во - первых из-за несимметрии нагрузок искажаются напряжения на участках основной застройки, во-вторых очень сильно "садится" напряжение на дополнительных участках.

Для улучшения качества напряжения предлагается достаточно большое количество устройств и методов: трансформаторы со специальными схемами соединений обмоток, компенсирующие устройства, вольтодобавочный трансформатор и др.

Часто, особенно в рекламных материалах, предлагается использовать для этой цели вольтодобавочный трансформатор. В данной работе проведен анализ целесообразности использования вольтодобавочного трансформатора для повышения качества напряжения.

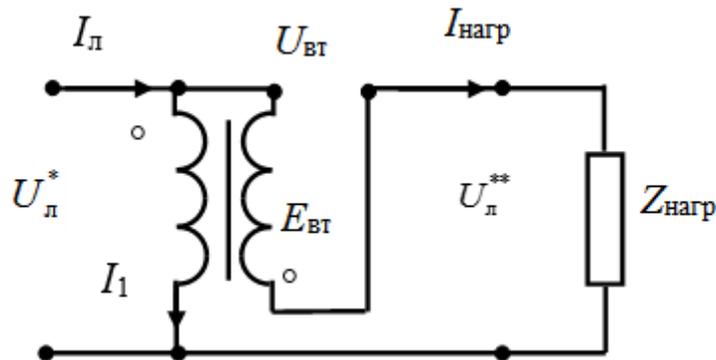


Рисунок. 1 Схема включения вольтодобавочного трансформатора

Напряжение в линии после вольтодобавочного трансформатора $U_{л}^{**}$ определится по следующей формуле:

$$\dot{U}_{л}^{**} = \dot{U}_{л}^{*} + \dot{E}_{вт}, \quad (1)$$

где $\dot{U}_{л}^{*}$ - напряжение в линии до вольтодобавочного трансформатора, В;

$\dot{E}_{вт}$ - напряжение вторичной обмотки вольтодобавочного трансформатора, В.

Из схемы на рисунке 1 видно, что напряжение на нагрузке повысится, но, совершенно очевидно, что повысится и ток в линии $I_{л}$ за счет тока, протекающего по первичной обмотке вольтодобавочного трансформатора I_1 :

$$\dot{I}_{л} = \dot{I}_{нагр} + \dot{I}_1, \quad (2)$$

где $\dot{I}_{нагр}$ - ток нагрузки, А.

Ток в первичной обмотке трансформатора I_1 будет равен намагничивающему току I_0 , току идущему на покрытие потерь трансформатора $I_{ха}$ и току в первичной обмотке, возникающему для поддержания равновесия магнитных потоков создаваемых первичной и вторичной обмоток (назовем его нагрузочным током первичной обмотки $\dot{I}_{1нагр}$).

$$I_1 = I_0 + I_{ха} + I_{нагр}, \quad (3)$$

Составляющие I_0 , $I_{ха}$ в формуле являются током холостого хода трансформатора, который равен от 2 до 4% номинального тока трансформатора.

Нагрузочный ток первичной обмотки определится через коэффициент трансформации K_T :

$$I_{1нагр} = \frac{I_{нагр}}{K_T}, \quad K_T = \frac{W_1}{W_2}, \quad (4)$$

где W_1 и W_2 - число витков соответственно первичной и вторичной обмоток.

Напряжение вторичной обмотки вольтодобавочного трансформатора будет равно:

$$\dot{U}_{вт} = -U_{вт} - I_{нагр} \cdot (r_2 + j \cdot x_2), \quad (5)$$

где $\dot{U}_{вт}$ - электродвижущая сила вторичной обмотки вольтодобавочного трансформатора, В,

r_2, x_2 - соответственно активное и индуктивное сопротивление вторичной обмотки трансформатора, Ом.

Более наглядно демонстрирует физические процессы вольтодобавочного трансформатора векторная диаграмма. Следует отметить, что в многочисленных интернет-источниках приведена упрощенная векторная диаграмма, отражающая только векторы напряжений без векторов токов.

Полная векторная диаграмма вольтодобавочного трансформатора приведена на (рис.2).

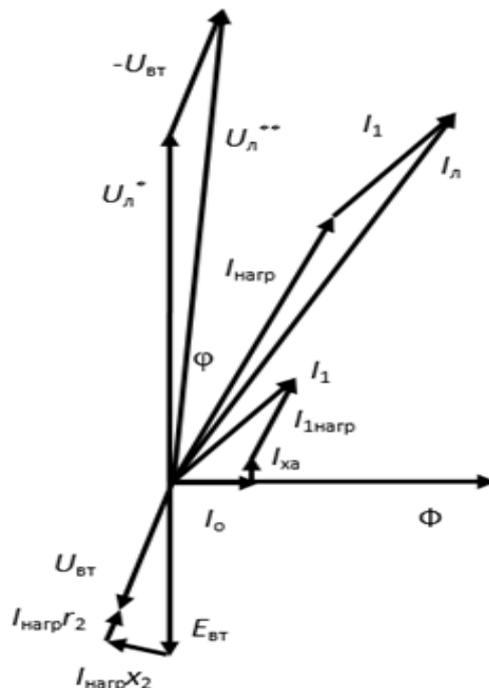


Рисунок 2 – Полная векторная диаграмма вольтодобавочного трансформатора

Построение векторной диаграммы начнем с вектора напряжения в линии до вольтодобавочного трансформатора $\dot{U}_л$. Вектор тока нагрузки $\dot{I}_{нагр}$ отстает от вектора $\dot{U}_л$ на угол φ , нагрузка активно-индуктивная. Напряжение $\dot{U}_л$ приложенное к первичной обмотке вольтодобавочного трансформатора вызывает в ней намагничивающий ток \dot{I}_0 который является реактивным, т.е. отстает от $\dot{U}_л$ на 90° .

Намагничивающий ток \dot{I}_0 создает магнитный поток $\dot{\Phi}$, вектор которого совпадает с вектором намагничивающего тока \dot{I}_0 . В свою очередь, магнитный поток $\dot{\Phi}$ создает ЭДС в обмотках. На векторной диаграмме показан вектор ЭДС вторичной обмотки $\dot{E}_{вт}$, который отстает от вектора магнитного потока $\dot{\Phi}$ на 90° . Отняв от вектора $\dot{E}_{вт}$ падения напряжения $\dot{U}_{нагр \cdot \lambda}$ и $\dot{U}_{нагр \cdot \lambda \cdot \lambda}$ согласно уравнению (5) найдем вектор напряжения вторичной обмотки вольтодобавочного трансформатора $\dot{U}_{вт}$.

Вектор тока, протекающего по первичной обмотке трансформатора \dot{I}_1 определим по уравнению (4). Он имеет важное значение, потому что увеличивает нагрузку в линии до вольтодобавочного трансформатора $\dot{I}_л$, вектор тока которой найдем по уравнению (2).

И, наконец, используя уравнение (1) находим вектор напряжения в линии после вольтодобавочного трансформатора $U_{л}^{**}$.

Из векторной диаграммы видно, что вольтодобавочный трансформатор увеличивает ток в линии электропередач. Если в уравнение (2) подставить уравнения (4) и (5) и сделать преобразования, получим следующее выражение:

$$\dot{I}_л = \dot{I}_{нагр} \left(1 + \frac{1}{K_T} \right), \quad (6)$$

Т.е. увеличение тока в линии зависит от коэффициента трансформации.

Заключение

В завершении подведем итог, что использование вольтодобавочного трансформатора для повышения качества напряжения в сети стоит под вопросом, так как тот увеличивает потери в линии, а также ток нагрузки протекающий по линии, поэтому вольтодобавочный трансформатор не получил особого распространения в электрических сетях.

Литература

1. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — Введ. 2014.07.01. — М.: Стандартинформ, 2013. — 10 с.
2. Беркович М. А. и др. Автоматика энергосистем: Учеб. для техникумов/ М. А. Беркович, В. А. Гладышев, В. А. Семенов. — 3-е изд., [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://electricps.ru/vdt> — Дата доступа: 06.04.2021