

2. Гаркуша, А. В. Проблемы санитарно-бытового оснащения ремонтных мастерских / А. В. Гаркуша, К. В. Гаркуша, А. Н. Гурина // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции : сборник статей V Международной научно-практической конференции, Минск, 25-26 марта 2021 г. - Минск : БГАТУ, 2021. - С. 206-208.
3. Шерьязов С.К. Определение энергетической характеристики ветрового потока в зависимости от продолжительности солнечного сияния/ С.К. Шерьязов, Р.А. Ахметжанов // Достижения науки - агропромышленному производству: мат-лы XLIV междунар. науч.-техн. конф. ЧГАУ - Челябинск, 2005. - Ч. 2. - С. 221-226.
4. Саплин Л.А. Структура системы энергоснабжения фермерских хозяйств с использованием ВИЭ / Л.А. Саплин, С.К. Шерьязов, Р.А. Ахметжанов // Сб. науч. тр. ЧГАУ. - Челябинск, 2001. - С.241 – 243/

УДК 621.311

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,4 кВ

Наумов^{1,2} И.В., д.т.н., профессор

¹Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского,

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск

Введение. На современном этапе развития электроэнергетики большое внимание уделяется развитию нового направления – созданию «умных» электрических сетей, оснащенных новейшими средствами управления, позволяющими интеллектуализировать режимы работы этих сетей, способных в автоматическом режиме обеспечивать требования надежности и качества функционирования компонентов систем электроснабжения.

Неоднократно в многочисленных публикациях о режимах работы действующих сельских электрических сетей 0,4 кВ констатировалось, что объективной характеристикой этих режимов является несимметрия фазных токов и напряжений. При этом несимметрия трехфазной системы приводит к значительному изменению показателей качества, характеризующих уровень несимметрии и значение которых устанавливаются государственным стандартом [1]. В дополнение к этому, установлено, что использование современных электроприемников на производстве и в быту, в силу их нелинейного характера электропотребления, приводит к дополнительным несинусоидальным искажениям, вызванными эмиссией токов высших гармонических составляющих (ВГС). В результате такого дополнительного возмущения в значительной степени нарушаются балансовые характеристики режима работы СНН за счет протекания дополнительных совокупностей токов прямой, обратной и нулевой последовательностей, обусловленных не только основной частотой напряжения электропитания, но и токами ВГС. Наиболее подробно характеристика объединенных несимметрично-несинусоидальных режимов, создающих несбалансированное электропотребление, представлена в [2]. Здесь же предложено устройство балансирования режима работы сети за счет снижения дополнительных совокупностей токов прямой, обратной и нулевой последовательностей. В результате работы такого устройства в значительной степени происходит снижение показателей несбалансированности токов и напряжений, которые определяют основные критерии качества электрической энергии и возникновения ее дополнительных потерь:

$$K_{2U(UOM)} = \frac{(U_2 + \sum_2^{38} U_{ANS})}{U_1} \cdot 100\%; \quad K_{0U(UOM)} = \frac{(U_0 + \sum_3^{39} U_{AZS})}{U_1} \cdot 100\%. \quad (1)$$

$$K_{P(UOM)} = 1 + K_{APS}^2 + K_{2i}^2 + K_{ANS}^2 + \{K_{0i}^2 + K_{AZS}^2\}K_R, \quad (2)$$

где $\underline{K}_{2U(UOM)}$ и $\underline{K}_{0U(UOM)}$ – комплексные коэффициенты несбалансированности напряжения по обратной и нулевой последовательностям; $\underline{U}_1, \underline{U}_2$ и \underline{U}_0 – комплексные значения напряжения прямой, обратной и нулевой последовательности основной частоты; $\sum_2^{38} \underline{U}_{ANS}$ и $\sum_3^{39} \underline{U}_{AZS}$ – суммарные комплексные значений симметричных составляющих напряжения, обусловленных совокупностями ВГС напряжений, соответственно дополнительных прямой, обратной и нулевой последовательностей; $K_{APS} = \frac{\sum_4^{40} I_{APS}}{I_1}$, $K_{ANS} = \frac{\sum_2^{38} I_{ANS}}{I_1}$ и $K_{AZS} = \frac{\sum_3^{39} I_{AZS}}{I_1}$ – коэффициенты, представляющие собой отношение сумм гармонических составляющих, формирующих дополнительные прямую, обратную и нулевую последовательности к гармонической составляющей тока прямой последовательности основной частоты; $K_{2i} = \frac{I_2}{I_1}$ и $K_{0i} = \frac{I_0}{I_1}$ – коэффициенты, представляющие собой отношение токов, соответственно обратной и нулевой последовательностей к току прямой последовательности основной частоты. При этом, выражения для определения значений симметричных составляющих токов и напряжений при несимметричном режиме с достаточной степенью достоверности могут быть определены в соответствии с модульным методом расчета, предложенным профессором Ф.Д. Косоуховым [3]. А выражения $\sum_4^{40} I_{APS}$, $\sum_2^{38} I_{ANS}$, $\sum_3^{39} I_{AZS}$, $\sum_2^{38} \underline{U}_{ANS}$ и $\sum_3^{39} \underline{U}_{AZS}$ определяются на основании измерения параметров электроэнергии сертифицированным прибором в действующих СНН.

Результаты исследования. Осенью 2023 г. в действующих СНН Иркутской области на шинах 0,4 кВ одной из трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ, питающей группу домов в сельской местности, был установлен сертифицированный прибор PQ-701, который фиксировал в течение суток на жестком диске требуемые показатели (рис.1).



Рисунок 1 – Измерение параметров в исследуемой электрической сети: а) шины 0,4 кВ силового трансформатора 10/0,4 кВ; б) прибор PQ-701

На основе полученной исследовательской информации, с использованием авторского программного обеспечения [4] произведена имитация подключения усовершенствованной модели БУ в исследуемую электрическую сеть. При этом параметры устройства в каждый момент времени автоматически изменяются в зависимости от уровня несбалансированного электропотребления:

$$\begin{aligned} & \underline{Y}_{\text{БУННР}} \left(\left\{ \underline{U}_1 + \sum_4^{40} \underline{U}_{APS} \right\}, \left\{ I_1 + \sum_4^{40} I_{APS} \right\}, t_0, \bar{t}_i \right) = \\ & = \frac{1}{14,1428 \cdot (\bar{t}_i - t_0)} \cdot \int_{t_0}^{\bar{t}_i} \frac{\{I_1 + \sum_4^{40} I_{APS}\}(t)}{\{\underline{U}_1 + \sum_4^{40} \underline{U}_{APS}\}(t)} dt; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \underline{Y}_{2\text{БУНРР}} \left(\left\{ \underline{U}_2 + \sum_2^{38} \underline{U}_{ANS} \right\}, \left\{ \underline{L}_2 + \sum_2^{38} \underline{L}_{ANS} \right\}, t_0, \bar{t}_i \right) = \\
 & = \frac{1}{14,1428 \cdot (\bar{t}_i - t_0)} \cdot \int_{t_0}^{\bar{t}_i} \frac{\{ \underline{L}_2 + \sum_2^{38} \underline{L}_{ANS} \}(t)}{\{ \underline{U}_1 + \sum_2^{38} \underline{U}_{ANS} \}(t)} dt; \\
 & \underline{Y}_{0\text{БУНРР}} \left(\left\{ \underline{U}_0 + \sum_3^{39} \underline{U}_{AZS} \right\}, \left\{ \underline{L}_0 + \sum_3^{39} \underline{L}_{AZS} \right\}, t_0, \bar{t}_i \right) = \\
 & = \frac{6}{(\bar{t}_i - t_0)} \cdot \int_{t_0}^{\bar{t}_i} \frac{\{ \underline{L}_0 + \sum_3^{39} \underline{L}_{AZS} \}(t)}{\{ \underline{U}_0 + \sum_3^{39} \underline{U}_{AZS} \}(t)} dt, \tag{3}
 \end{aligned}$$

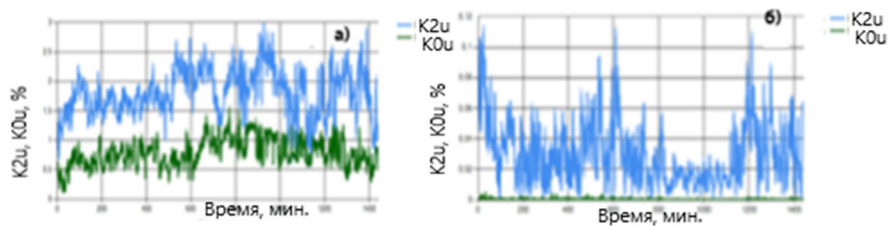


Рисунок 2 – Изменение коэффициентов несбалансированности напряжений по обратной и нулевой последовательностям: а) сеть без БУ; б) сеть с БУ

Анализ рисунка 2 показал, что при отсутствии в сети БУ значения модулей коэффициентов $K_{2U(UOM)}$ и $K_{0U(UOM)}$ (рис. 2, а), составляли, соответственно 1,8% и 0,8%¹. При включении БУ (рис. 2, б) эти же значения составили, соответственно 0,03% и 0,0004%. Таким образом, эффект балансирования по этим двум показателям превысил 98%.

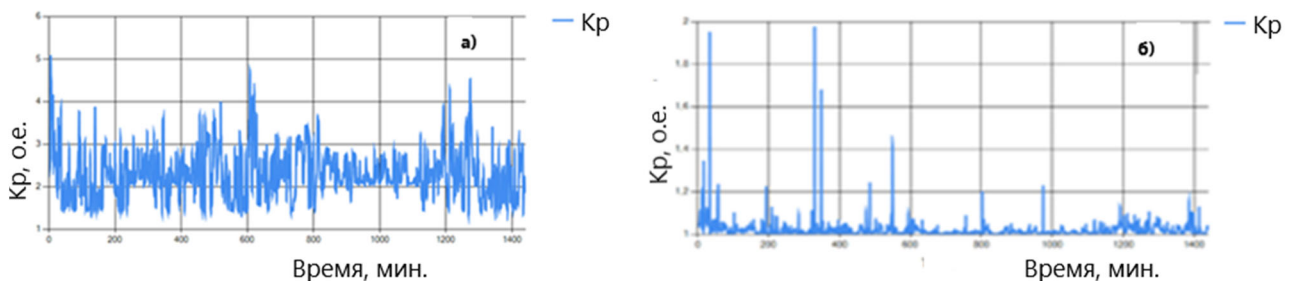


Рисунок 3 – Изменение коэффициента потерь мощности: а) сеть без БУ; б) сеть с БУ

Аналогичная ситуация и с коэффициентом потерь мощности: при отсутствии Бу в сети (рис 3, а) его значение составляло 2,3. То есть, превышение активных потерь в исследуемой сети в несбалансированном режиме в 2,3 раза превышает аналогичные потери в условно симметричном и сбалансированном режиме. При имитации включения БУ в исследуемую действующую СНН значение этого показателя составило 1,02. То есть, эффект балансирования по потерям активной мощности и электроэнергии составил более 65%.

Более реально изменение коэффициента потерь можно продемонстрировать на примере изменения потерь активной и реактивной мощностей в исследуемой сети (рис. 4).

Анализ рисунка 4 показывает, что при отсутствии БУ в исследуемой сети потери активной и реактивной мощности составляли, соответственно 1,84 кВт и 14,8 квар. При включении БУ в сети эти значения составили, соответственно 0,9 кВт и 6,6 квар. Таким

¹ Здесь и далее под значением показателя принимается его усредненная величина за весь исследуемый период, в течении 1400 одноминутных интервалов усреднения за одни сутки.

образом, снижение потерь активной и реактивной мощности при включении БУ составило 51% и 55%, соответственно.

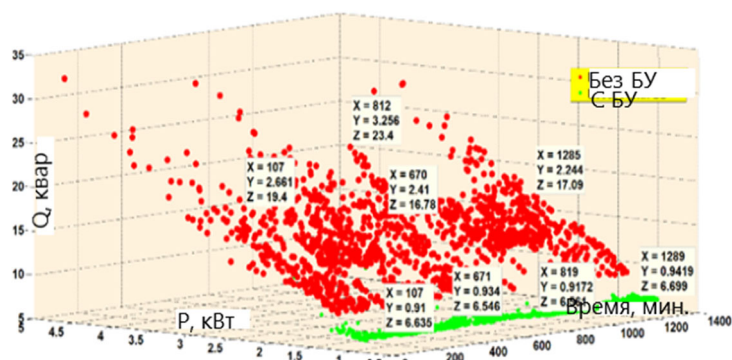


Рисунок 4 – Изменение потерь активной и реактивной мощности в исследуемой электрической сети до и после подключения БУ

Заключение. Таким образом, в результате произведенных исследований установлено следующее.

1. Режимы работы электрических сетей низкого напряжения характеризуются значительным несбалансированным электропотреблением.
2. Разработанная smart-grid технология управления этими режимами, основанная на использовании авторских балансирующего устройства и программного обеспечения позволяет эффективно производить минимизацию последствий несбалансированных режимов работы низковольтных сетей, повышая показатели, характеризующие качество электрической энергии более чем на 90%, и снижая соответствующие потери мощности и энергии более, чем на 50%.

Литература

1. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Дата введения 2014.07.01. [Электронный ресурс]. Режим доступа: (дата обращения: 13.01.2024 г.).
2. Наумов И.В. Устройство для снижения потерь в электрических сетях с нелинейно-несимметричной нагрузкой. *Электричество*, 2023, 6, 57-66.
3. Косоухов Ф.Д. Методы расчета и анализа показателей несимметрии токов и напряжений в сельских распределительных сетях. Учеб. Пособие. Ленинград: ЛСХИ. 1984. 42 с.
4. Наумов И.В. “Unbalance-3”. Программа расчета несбалансированных режимов работы низковольтных электрических сетей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023684122 от 13.11.23 г.

УДК 631.171

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ВИТАМИНИЗИРОВАННОГО МОЛОКА

Якубовская Е.С., Щепко Н.Ю., студент

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Качество производства молочной продукции определяется точностью поддержания технологических параметров, строгим соблюдением технологического регламента. Обеспечить эти условия можно с помощью эффективной системы автоматизации приемлемого уровня, которая учитывает особенности технологических процессов того или иного производства.