

УДК: 621.311; 621.316

А.К. Асанов, asanov_ak@mail.ru

У.Ф. Айдаров

*Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова,
Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66*

КОЭФФИЦИЕНТ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Статья посвящена вопросам контроля и анализа качества электроэнергии и режимным параметрам электрических сетей. В работе приводятся результаты исследований графиков нагрузки и коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности городских сетей. Выведены коэффициенты активной и реактивной мощности, коэффициенты неравномерности и заполнения графика нагрузки, число часов использования наибольшей нагрузки, коэффициенты корреляции между медленным изменением напряжения от графика нагрузки. Из анализа полученных результатов по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности следует, что превышает нормально допустимое значение, установленное ГОСТом по качеству электрической энергии.

Ключевые слова: график нагрузок, качество электроэнергии, обратная последовательность, отклонение напряжения, коэффициенты: неравномерности, заполнения графиков нагрузки, корреляции, несимметрии.

Введение

В настоящее время электроэнергетика Кыргызстана испытывает острый дефицит электроэнергии и мощности, это обусловлено также низкой эффективностью использования электрической энергии. Режимы потребления мощности и электроэнергии существенно влияют на потери и качество электроэнергии, т.к. именно эти показатели определяют эффективность работы электрических сетей. Поставляемая потребителю электроэнергия должна удовлетворять требованиям ГОСТ 32144-2013 [1]. Данный стандарт устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (КЭ) в точках передачи электрической энергии во всех классах напряжений систем электроснабжения общего назначения. Одними из основных показателей КЭ являются: медленные изменения напряжения, коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности. По ГОСТу для этих показателей устанавливаются нормы:

— положительные $\delta U_{(+)}$ и отрицательные $\delta U_{(-)}$ отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10 % номинального или согласованного значения напряжения в течение 100 % времени интервала в одну неделю;

— коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, нормально допустимые значения не должны превышать 2 % в течение 95 % времени интервала в одну неделю и предельно допустимые значения не должны превышать 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Воздушные и кабельные сети 0,4—6—10 кВ имеют значительную протяженность и несимметричную по фазам нагрузку, также медленные изменения графика нагрузки в течение суток приводят к установившемуся отклонению напряжения и коэффициентов несимметрии напряжения, значения которых превышают установленные ГОСТом.

В данной работе произведен анализ и оценка графиков нагрузки и КЭ по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности секции шин 6 кВ подстанции (ПС) 110/35/6 кВ «Абдыкалыкова».

ПС расположена в юго-восточной части г. Бишкека. На ПС установлены два силовых трансформатора мощностью 40 МВА. Основными потребителями ПС являются жилые многоквартирные дома, торговые центры, центры развлечений и др.

Исследование графиков электрических нагрузок

Приведенные ниже графики электрических нагрузок (рис. 1) с января по май 2023 года, получены по данным ПО Альфа ЦЕНТР Web. По ним вычислен ряд показателей[3], результаты расчетов представлены в таблице 1.

Средневзвешенные значения коэффициента мощности ($\cos\varphi_{cp}$) и коэффициента реактивной мощности ($tg\varphi_{cp}$) определены по формулам:

$$\cos\varphi_{cp} = \frac{\sum P_i t_i}{\sqrt{\sum P_i^2 + \sum Q_i^2} \sum t_i}, \quad (1)$$

$$tg\varphi_{cp} = \frac{\sum Q_i t_i}{\sum P_i \sum t_i}, \quad (2)$$

где P_i, Q_i — значения активной и реактивной мощности за каждые 30 мин в течение суток; t_i — интервал усреднения, равный 30 мин.

Коэффициенты неравномерности графика нагрузки α рассчитаны как отношение наименьшей активной нагрузки P_{nm} к наибольшему значению P_{nb} ; коэффициент заполнения графика нагрузки $k_{з.г}$ — отношение среднесуточного значения нагрузки P_{cp} к наибольшему значению P_{nb} . Число часов использования наибольшей нагрузки T_{nb} равно $T_{nb} = k_{з.г} T$ (для суточного графика $T = 24$ ч). Также определены коэффициенты корреляции между суточным графиком нагрузки и медленным изменением напряжения (рис. 2), характеризующие зависимость величин P и U ($r_{P,U}$). При этом отрицательное значение указывает на то, что с ростом нагрузки напряжение снижается, а с ее уменьшением — возрастает.

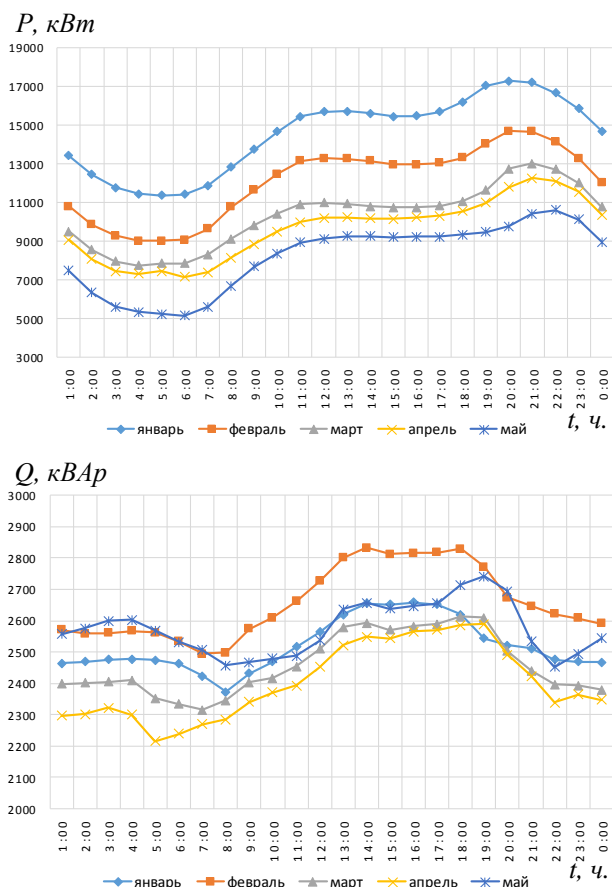


Рисунок 1 — Графики нагрузок ПС 110 кВ «Абдыкалыкова» (ПСШ 6 кВ).

Таблица 1— Показатели графиков нагрузки по месяцам 2023 года

Месяцы	P_{cp} , кВт	$\cos\varphi_{cp}$	$tg\varphi_{cp}$	α	$k_{з.г}$	T_{max} , ч.	$r_{P,U}$
Январь	14556	0,98	0,22	0,66	0,84	20	-0,89

Февраль	12072	0,98	0,22	0,61	0,82	20	-0,88
Март	10300	0,97	0,24	0,6	0,79	19	-0,87
Апрель	9643	0,96	0,25	0,58	0,79	19	-0,87
Май	8189	0,95	0,31	0,49	0,77	18	0,88

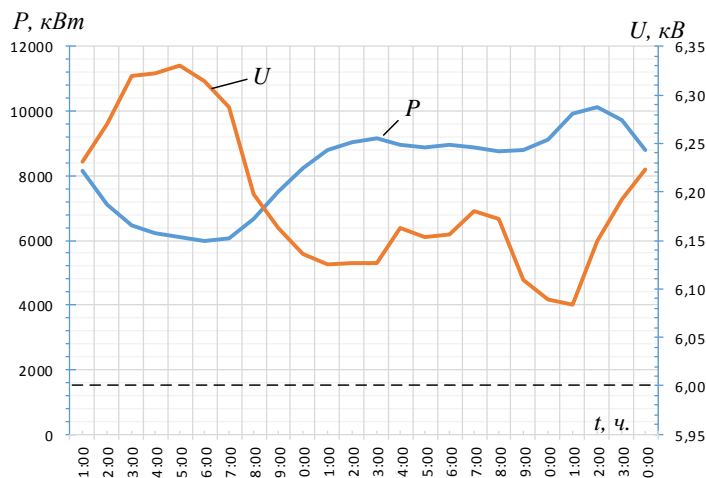


Рисунок 2 — Напряжение и график нагрузки на шинах 6 кВ

Исследование коэффициентов несимметрии напряжения

По данным ПО Альфа ЦЕНТР Web, произведен расчет коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности на основании данных почасового контроля напряжения для 2-й секции шин 6 кВ ПС 110 кВ «Абдыкалыкова».

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} , % может быть рассчитан по формуле[2]:

$$K_{2U} = \sqrt{\frac{1-\sqrt{3-6\beta}}{1+\sqrt{3-6\beta}}} 100\% , \quad (3)$$

$$\text{где } \beta = \frac{U_{12fund}^4 + U_{23fund}^4 + U_{31fund}^4}{(U_{12fund}^2 + U_{23fund}^2 + U_{31fund}^2)^2} , \quad (4)$$

U_{ijfund} – основная составляющая напряжения между фазами i и j .

Результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2 — Результаты расчета коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности на шинах 6 кВ

Время производства замера	Значение междуфазных напряжений,кВ			β	K_{2U} , %
	U_{ABi}	U_{BCi}	U_{CAi}		
01:00	6,42	6,29	6,51	0,33360	2,0094
02:00	6,45	6,27	6,54	0,33374	2,4822
03:00	6,45	6,32	6,54	0,33360	2,0007
04:00	6,45	6,32	6,54	0,33360	1,9904
05:00	6,47	6,33	6,56	0,33361	2,0387
06:00	6,45	6,31	6,54	0,33362	2,0778
07:00	6,42	6,29	6,51	0,33360	2,0064
08:00	6,35	6,20	6,45	0,33369	2,3215
09:00	6,30	6,16	6,37	0,33359	1,9461
10:00	6,27	6,14	6,37	0,33365	2,1762
11:00	6,26	6,13	6,34	0,33361	2,0311
12:00	6,24	6,13	6,33	0,33357	1,8867
13:00	6,25	6,13	6,35	0,33361	2,0355

14:00	6,28	6,16	6,37	0,33358	1,9428
15:00	6,26	6,15	6,37	0,33360	2,0160
16:00	6,28	6,16	6,38	0,33362	2,0914
17:00	6,29	6,18	6,40	0,33360	1,9961
18:00	6,29	6,17	6,39	0,33360	2,0048
19:00	6,26	6,11	6,36	0,33371	2,3675
20:00	6,24	6,09	6,33	0,33366	2,2245
21:00	6,23	6,08	6,33	0,33369	2,3233
22:00	6,26	6,15	6,36	0,33359	1,9499
23:00	6,31	6,19	6,42	0,33362	2,0714
24:00	6,35	6,22	6,45	0,33363	2,1150

Определим результирующее значение коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} в процентах как результат усреднения 24 наблюдений K_{2Ui} на интервале времени $T_w = 24$ часа по формуле:

$$K_{2U} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N=24} K_{2Ui}^2}{N=24}} . \tag{5}$$

Полученное в результате расчета значение $K_{2U} = 2,1\%$ превышает нормально допустимое значение $K_{2U\ доп} = 2\%$, следовательно, необходимо предусмотреть мероприятия по снижению несимметрии напряжений, например, путем включения несимметричных установок поперечной емкостной компенсации, регулирование напряжений и пр.

Для контроля несимметрии напряжений, как оговаривалось выше, необходимо знать не только величину K_{2U} , но и относительное время превышения нормируемых по ГОСТ 32144-2013 нормально и предельно допустимых значений. Для этого необходимо построить гистограмму (рис. 3) плотности распределения коэффициента K_{2U} и на основании ее анализа определить относительное время выхода T_1 и T_2 за нормально и предельно допустимые значения по ГОСТ 32144-2013.

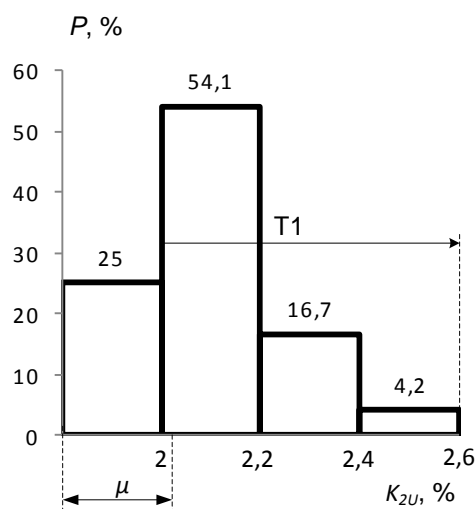


Рисунок 3 — Оценка соответствия K_{2U} требованиям ГОСТ 32144-2013 и определение относительного времени превышения нормированных значений T_1 и T_2

Если провести границу нормально допустимых значений так, как показано на рис. 3, то по площади фигуры, выходящей за эти пределы, можно в первом приближении оценить время выхода T_1 за нормы ГОСТ 32144-2013. Согласно ГОСТ 32144-2013, нормально допустимое значение разрешается превышать в течение не более 5% от расчетного периода, равного 24 часам.

Выводы

Из анализа результатов расчетов, приведенных в таблицах и графиках, следует, что площадь фигуры, вышедшая за отметку нормально допустимого значения $K_{2U_{норм}}=2\%$, намного превышает допустимые 5%, что свидетельствует о неблагоприятной ситуации по несимметрии напряжений, существующей на данной подстанции. А превышение предельно допустимого значения $K_{2U_{пред}}=4\%$ не наблюдалось.

Полученные данные коэффициентов несимметрии напряжения по обратной последовательности и графикам нагрузки можно использовать при расчете реальных значений потерь электроэнергии и для обеспечения электромагнитной совместимости на высоковольтных подстанциях. Именно реальные потери электроэнергии определяют выбор и разработку обоснованных мероприятий по повышению эффективности работы предприятий электрических сетей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта МОиН КР №0007818.

Литература

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. — М.: Стандартинформ, 2014.
2. ГОСТ 30804.4.30-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. — М.: Стандартинформ, 2014.
3. Асанов А.К., Жусупбекова Н.К., Тохтамов С.С. Характерные графики электрических нагрузок потребителей г. Бишкек. // Вестник Кыргызско - Российского Славянского университета. – Бишкек, 2013. – Т.13. – №7 – С. 80 – 83.
4. Асанов А.К., Омокеева А.А. Экспериментально-расчетное определение электромагнитной обстановки ПС 110 кВ «Ананьево» // Проблемы автоматики и управления. — Бишкек, 2022. – №3 (45). – С. 42—51.
5. Тульский В.Н., Асанов А.К., Насыров Р.Р., Кайдуев Н.К. Определение причин снижения качества электрической энергии в распределительных сетях (на примере г. Бишкек). // Известия вузов. – Бишкек, 2012. – №6. – С. 23 – 29.
6. Асанов А.К., Суеркулов М.А., Эсеналиева Ч.Т. Современное состояние и основные направления развития электрических сетей г. Бишкек. // Наука и новые технологии. – Бишкек, 2012. – №4. – С. 47 – 52.