УДК 621.311
DOI: 10.53015/18159958_2024_20_1_3

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ТОЧНОСТЬ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

ANALYSIS OF THE FACTORS DETERMINING THE ACCURACY OF ELECTRICITY METERING

©2024

Сазонова Татьяна Леонидовна, старший преподаватель кафедры электромеханических систем и электроснабжения
Горемыкин Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры электромеханических систем и электроснабжения
Ситников Николай Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры электромеханических систем и электроснабжения
Sazonova Tatyana Leonidovna, Senior Lecturer at the Department of Electromechanical Systems and Power Supply
Goremykin Sergey Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electromechanical Systems and Power Supply
Sitnikov Nikolay Vasilyevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electromechanical Systems and Power Supply

Воронежский государственный технический университет, Воронеж (Россия)
Voronezh State Technical University, Voronezh (Russia)

E-mail: sazonova.tl@yandex.ru
E-mail: goremykinsa@yandex.ru
E-mail: nvs17939@mail.ru

Аннотация: Экономические изменения, происходящие в электроэнергетике, определяют необходимость повышения точности учета электрической энергии электрооборудования. Решение этой задачи помогает оптимизировать затраты на электроснабжение и упорядочить расчеты по потребляемой электроэнергии, а также позволяет создать дополнительные возможности для использования энергосберегающих технологий, включая техническое обоснование затрат на производство, передачу, распределение и потребление электроэнергии. В настоящее время сложилась «неприятная» ситуация для энергетических компаний, и она считается нормальной, когда при снижении нагрузки до 10% от номинальной происходит увеличение коммерческих потерь электроэнергии. Это связано с действующей нормативной документацией по учету электроэнергии.

Данная работа посвящена исследованию повышения точности учета потребления электроэнергии в электроэнергетических системах. Если погрешности выражаются с отрицательным знаком, то зарегистрированная энергия меньше фактической, значит, часть электроэнергии передается потребителю бесплатно. Неточности в измерениях могут привести к значительным ошибкам в техническом и коммерческом учете электроэнергии, это определяет необходимость корректировки регистрируемых значений мгновенной мощности при расчете режимов энергообъектов в соответствии с уравнениями Кирхгофа. Ошибки в измерении мгновен-

ной мощности генераторов могут привести к неоптимальному распределению нагрузки между ними. В работе рассмотрены возможные неточности, связанные со схемой связи измерительных трансформаторов с приборами учета. Приведены результаты расчета погрешности, а также показана возможность выбора характеристик измерительных трансформаторов для значительного уменьшения погрешности.

Ключевые слова: линия электропередачи, трансформаторы напряжения, трансформаторы тока, активная мощность, электросчетчик, погрешность измерения.

Для цитирования: Сазонова Т.Л., Горемыкин С.А., Ситников Н.В. Анализ факторов, определяющих точность учета электроэнергии // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2024. – Т. 20, № 1 (75). – С. 18–28. DOI: 10.53015/18159958_2024_20_1_18.

Abstract: The economic changes taking place in the electric power industry determine the need to improve the accuracy of accounting for electric energy of power equipment. Solving this problem helps to optimize power supply costs and streamline calculations for electricity consumption, and also allows you to create additional opportunities for the use of energy-saving technologies, including technical justification of the costs of production, transmission, distribution and consumption of electricity. Currently, the situation has developed for energy companies, and it is considered normal when, when the load is reduced to 10% of the nominal load, there is an increase in commercial electricity losses. This is due to the current regulatory documentation on electricity accounting.

This work is devoted to the study of improving the accuracy of accounting for electricity consumption in electric power systems. If the errors are expressed with a negative sign, then the registered energy is less than the actual one, which means that part of the electricity is transferred to the consumer for free. Inaccuracies in measurements can lead to significant errors in the technical and commercial accounting of electricity, this determines the need to adjust the recorded values of instantaneous power when calculating the modes of power facilities in accordance with the Kirchhoff equations. Errors in measuring the instantaneous power of generators can lead to suboptimal load distribution between them. The paper considers possible inaccuracies related to the communication scheme of measuring transformers with metering devices. The results of the error calculation are presented, and the possibility of selecting the characteristics of measuring transformers to significantly reduce the error is shown.

Keywords: power transmission line, voltage transformers, current transformers, active power, electric meter, measurement error.

For citation: Sazonova T.L., Goremykin S.A., Sitnikov N.V. Analysis of the factors determining the accuracy of electricity metering // Vesti of Higher Educational Institutions of the Chernozem region. – 2024. – Vol. 20, № 1 (75). – P. 18–28. DOI: 10.53015/18159958_2024_20_1_18.

ВВЕДЕНИЕ

Во многих странах для повышения точности измерений напряжения используются различные методы компенсации погрешностей трансформаторов, что позволяет увеличить нагрузочную способность трансформаторов напряжения до максимальной мощности в условиях нагрева. В связи с отсутствием необходимой нормативно-методической базы для отечественной электроэнергетики этому вопросу уделяется недостаточно внимания. Предлагаемое схемотехническое решение является неполным и требует дополнительных исследований и усовершенствований. Существует острая необходимость разработать такое устройство, которое способно быстро реагировать на изменения и автоматически компенсировать ошибки измерений [1, 2].

Точность учета мощности определяется погрешностью в измерении активной мощности. При её измерении с отрицательной погрешностью, часть энергии передается потребителю бесплатно. Ошибки в определении мощности высоковольтных сетей приводят к ошибкам в техническом

учете электроэнергии. «Промахи» при измерении мощности генераторов приводят к неправильному распределению нагрузки между ними. В сетях среднего напряжения регистрация электрической энергии производится с помощью электросчетчика. Сейчас повсеместно проводят замену индукционных счетчиков энергии на электронные с более высокой точностью. Это уменьшит погрешность, но его замена не даст нам требуемой точности [3, 4, 5].

Одной из причин ошибки может быть схема связи трансформатора напряжения и трансформатора тока, а также его счетчика, подключенного к преобразователю активной и реактивной мощности, что может привести к дополнительной ошибке [5, 6].

Другая причина возникновения ошибки заключается в том, что трансформаторы напряжения и тока работают вне допустимого ГОСТом диапазона номинальных параметров, и это приводит к увеличению их погрешности, которая может достигать 3%, что в свою очередь служит причиной искажений показаний счетчика [7, 8] (в соответствии с допустимым ГОСТом диапазоном изменения номинальных параметров).

Из вышесказанного следует, что анализ погрешностей трансформаторов напряжения и тока, а также их снижение является актуальной проблемой [9, 10]. Погрешности при измерении электроэнергии вызывают трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, электросчетчики, погрешности от линий, соединяющих электросчетчики с трансформаторами.

Перечислим основные составляющие погрешностей измерения.

К первой группе погрешностей измерений мощности относятся измерения при нормальных условиях эксплуатации измерительного комплекса, определяемые уровнем точности трансформаторов [10, 11].

Ко второй группе относятся погрешности измерения мощности в реальных условиях эксплуатации измерительного комплекса, то есть появляются дополнительные погрешности, обусловленные влиянием магнитных и электромагнитных полей различных частот, дополнительная угловая погрешность, недостаточная чувствительность измерителя при низких нагрузках, особенно ночью [11].

Третью группу составляют системные ошибки из-за технического износа измерительного комплекса.

К четвертой группе можно отнести неточность в схеме подключения измерительного комплекса, а также отдельных устройств, входящих в этот комплекс [11].

Последнюю группу составят ошибки в показаниях счетчика [12] из-за ряда дополнительных погрешностей: неправильное или намеренное искажение записи показаний; нарушение порядка снятия показаний счетчика, нарушение графика обхода счетчика; ошибочность при определении коэффициента преобразования показаний счетчика электроэнергии.

УЧЕТ ФОРМИРОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ

Погрешность измерения физической величины складывается из систематических и случайных компонентов. Определим погрешность активной, реактивной, полной мощности и представим её в виде суммы [13, 14, 15].

Для тока и напряжения:

$$\Delta I = \Delta I_c + \Delta I_s, \quad (1)$$

$$\Delta U = \Delta U_c + \Delta U_s, \quad (2)$$

В расчетах используем формулы определения мощностей и теорию относительных погрешностей:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi, \quad (3)$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi, \quad (4)$$

$$S = U \cdot I. \quad (5)$$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta \cos\varphi}{\cos\varphi}, \quad (6)$$

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta \sin\varphi}{\sin\varphi}, \quad (7)$$

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}. \quad (8)$$

Погрешность sinφ и cosφ равны соответственно:

$$\Delta\cos\varphi = (-\sin\varphi)\Delta\varphi, \quad (9)$$

$$\Delta\sin\varphi = (-\cos\varphi)\Delta\varphi, \quad (10)$$

Определяем угловую погрешность суммой угловых погрешностей трансформаторов напряжения и тока:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_c + \Delta\varphi_s, \quad (11)$$

При совместном решении предыдущих уравнений получим:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta U_c + \Delta U_s}{U} + \frac{\Delta I_c + \Delta I_s}{I} - \\ -\mathrm{tg}\varphi(\Delta\varphi_c + \Delta\varphi_s), \quad (12)$$

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta U_c + \Delta U_s}{U} + \frac{\Delta I_c + \Delta I_s}{I} + \\ +\mathrm{ctg}\varphi(\Delta\varphi_c + \Delta\varphi_s), \quad (13)$$

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta U_c + \Delta U_s}{U} + \frac{\Delta I_c + \Delta I_s}{I}. \quad (14)$$

Энергия определяется суммированием активных мощностей $A = \int_0^t P_t dt$.

Полное измеренное значение мощности — это сумма истинного значения и погрешности:

$$P_t = P_{и1} + \Delta P_1. \quad (15)$$

Отсюда электроэнергия:

$$A = \int_0^t (P_{и1} + \Delta P_1)dt = \int_0^t P_{и1}dt + \int_0^t P_t dt, \quad (16)$$

$$A = A_и + \int_0^t [\frac{\Delta U_c + \Delta U_s}{U} + \frac{\Delta I_c + \Delta I_s}{I} - \\ \mathrm{tg}\varphi(\Delta\varphi_c + \Delta\varphi_s)]P_t dt, \quad (17)$$

где $A_и$- истинное значение электроэнергии.

Величины, обозначенные индексом s это случайные величины, среднее значение которых равно нулю.

$$\int_0^t \frac{\Delta U_s}{U} P_t dt = \int_0^t \frac{\Delta I_s}{I} P_t dt = \\ = \int_0^t \Delta\varphi_s \mathrm{tg}\varphi P_t dt = 0, \quad (18)$$

Поэтому, погрешность измерения энергии:

$$\Delta A = A_и + \int_0^t \left[\frac{\Delta U_c + \Delta U_s}{U} + \frac{\Delta I_c + \Delta I_s}{I}\right] P_t dt - \\ - \int_0^t \mathrm{tg}\varphi(\Delta\varphi_c + \Delta\varphi_s)P_t dt - A_и = \\ = \int_0^t \left[\frac{\Delta U_c}{U} + \frac{\Delta I_c}{I} - \mathrm{tg}\varphi(\Delta\varphi_c)\right] P_t dt. \quad (19)$$

Величины U и ΔU_cможно считать неизменными, поэтому $\frac{\Delta U_c}{U}$ не зависит от времени:

$$\int_0^t \frac{\Delta U_c}{U} \cdot P_t dt = \frac{\Delta U_c}{U} \int_0^t P_t dt, \quad (20)$$

Изменение P_t возможно при изменении I и ΔI:

$$\int_0^t \frac{\Delta I_c}{I} \cdot P_t dt = U \int_0^t \Delta I_c \cdot \cos\varphi \, dt. \quad (21)$$

Так как реактивная мощность емкостного характера отрицательна, а для индуктивного - положительна, то $\mathrm{tg}\varphi = -\frac{Q}{P}$ и

$$\int_0^t \Delta\varphi_c \cdot \mathrm{tg}\varphi \cdot P_t dt = -\int_0^t \Delta\varphi_c \cdot Q_t dt. \quad (22)$$

Используя теорему о среднем значении, погрешность измерения электроэнергии найдем по формуле:

$$\int_0^t P_t dt = [[\frac{\Delta U_c}{U} + \left(\frac{\Delta I_c}{I}\right)_{ср} - \\ -(\Delta\varphi_c \mathrm{tg}\varphi)_{ср}] \int_0^t P_t dt] = П \int_0^t P_t dt. \quad (23)$$

Используя приведенные формулы, построим зависимости погрешностей трансформатора напряжения и тока на примере заводских характеристик, применяемых на

воздушных линиях 750 кВ, класса точности 0,5.

В результате аппроксимации кривых погрешностей:

1) для трансформатора напряжения

$$\delta_U = \frac{\Delta U_c}{U} 100 = \begin{cases} 0{,}3 - 0{,}00163 N_U \text{ сред.} \\ 0.57 - 0.0024 N_U \text{ max} \\ 0.11 - 0.00137 N_U \text{ min} \end{cases},$$

$$f'_U = \begin{cases} 0{,}4 - 0{,}0053 N_U \text{ сред.} \\ 3{,}7 - 0.051 N_U \text{ max} \\ -0.51 - 0.00167 N_U \text{ min} \end{cases}.$$

2) для трансформатора тока

$$\delta_I = \frac{\Delta I_c}{I} 100 = \begin{cases} -0{,}08 - \frac{0.137}{I} + \frac{0.00647}{I^2} \text{ сред.} \\ -0{,}346 - \frac{0.144}{I} + \frac{0.007087}{I^2} \text{max,} \\ 0.196 - \frac{0.209}{I} + \frac{0.0128}{I^2} \text{min} \end{cases}$$

$$f'_I = \begin{cases} 1.775 + \frac{3.37}{I} - \frac{0.145}{I^2} \text{ сред.} \\ 1.24 + \frac{7.24}{I} - \frac{0.475}{I^2} \text{max} \\ -2.34 + \frac{3.55}{I} - \frac{0.21}{I^2} \text{min} \end{cases}.$$

где N_U - нагрузка трансформатора напряжения, ВА; f' - угловая погрешность, мин.

На рис.1,2,3,4 отрицательные угловые погрешности имеют знак плюс, хотя в принятых координатах они должны иметь отрицательное значение. Объясняется это тем, что в формулах величины ΔφU и ΔφI заданы в безразмерном виде, т.е. в радианах, то:

$$\Delta\varphi U = f'_U \cdot 0.000291, \quad (24)$$

$$\Delta\varphi I = f'_I \cdot 0.000291. \quad (25)$$

Поэтому $\Delta\varphi c = -0.000291(f'_I - f'_U)$ и для средних характеристик трансформаторов тока и напряжения рис.1,2,3,4 запишем:

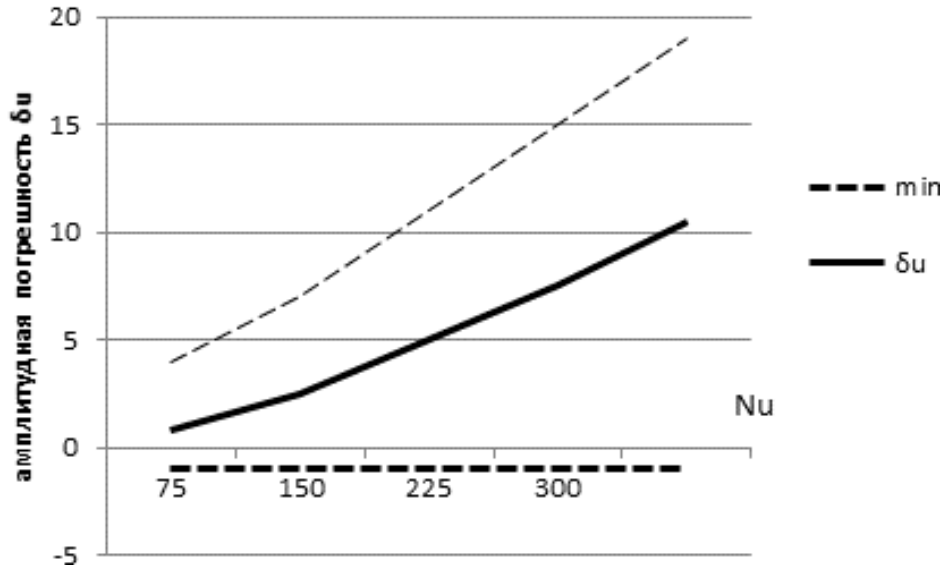


Рис. 1. Зависимость амплитудной погрешности δU трансформатора тока 750 кВ класса точности 0,5 от нагрузки

Fig. 1. Dependence of the amplitude error δU of a 750 kV current transformer of accuracy class 0.5 on the load

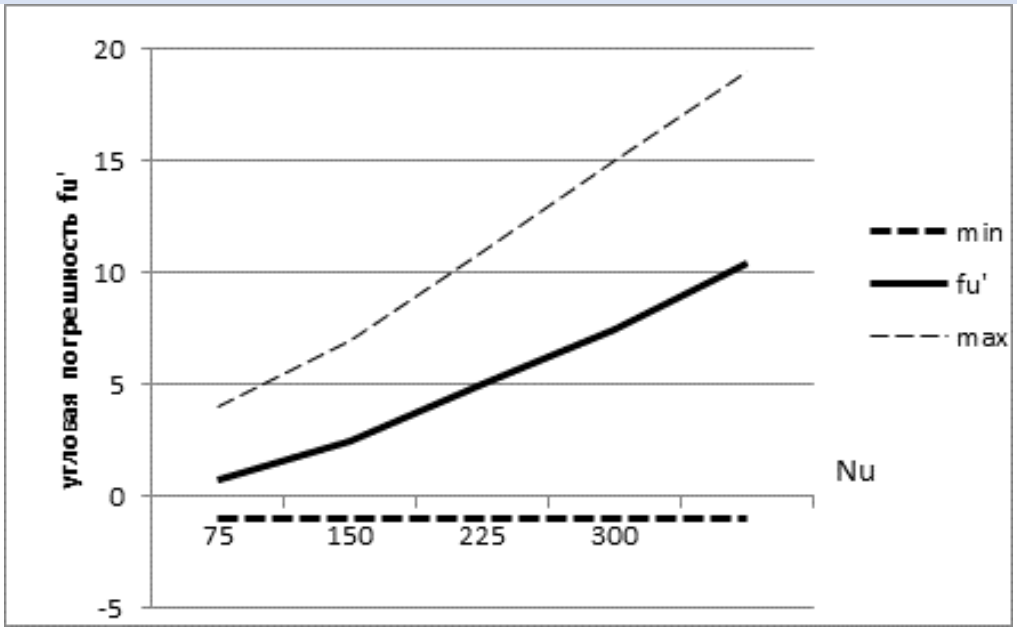


Рис. 2. Зависимость угловой погрешности f_I' трансформатора тока 750 кВ класса точности 0,5 от нагрузки
Fig. 2. Dependence of the angular error f_I' of a 750 kV current transformer of accuracy class 0.5 on the load

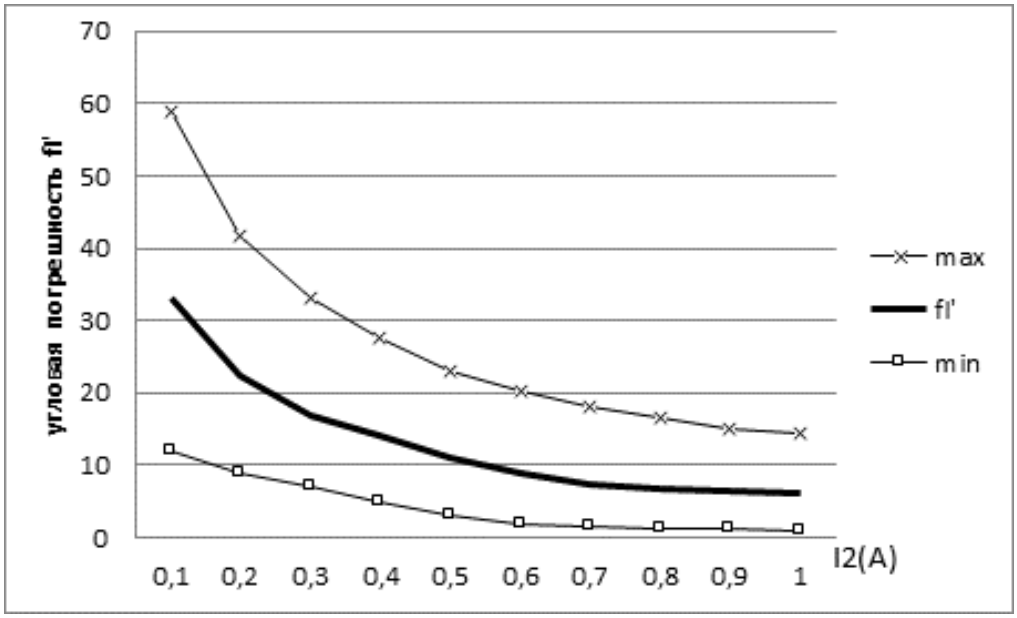


Рис. 3. Зависимость угловой погрешности трансформатора тока 750 кВ класса точности 0,5 от вторичного тока
Fig. 3. Dependence of the angular error of a 750 kV current transformer of accuracy class 0.5 on the secondary current

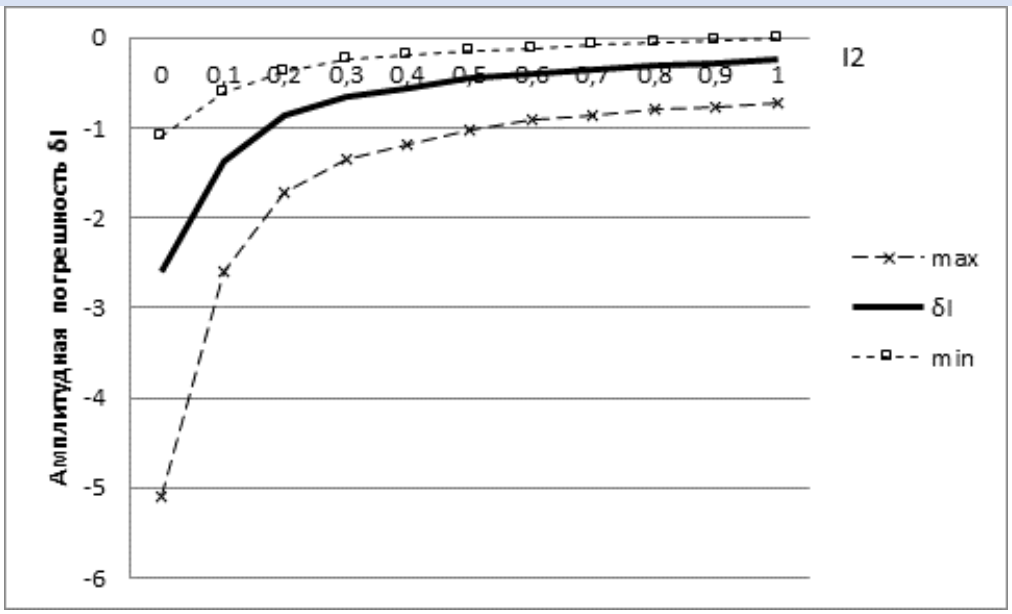


Рис. 4. Зависимость амплитудной погрешности трансформатора тока 750 кВ класса точности 0,5 от вторичного тока
Fig. 4. Dependence of the amplitude error of a 750 kV current transformer of accuracy class 0.5 on the secondary current

$$П = 0{,}003 \cdot 0{,}0000163 \cdot N_U - 0{,}0008 - \\ - \frac{0.00137}{I} + \frac{0.0000647}{I^2} - 0{,}000291 \cdot \\ \cdot \left(1{,}775 + \frac{3{,}37}{I} - \frac{0{,}145}{I^2} - 0{,}4 - 0{,}035N_U\right) \\ \cdot c \cdot \frac{Q}{p}, \quad (26)$$

Вторичный ток трансформатора равен:

$$I = \frac{\sqrt{P^2+Q^2}}{k_j U}, \quad (27)$$

где k_j – коэффициент трансформации трансформатора тока.

Если по воздушной линии пропускается активная мощность Рн, то ток будет равен:

$$I_H = \frac{P_H}{k_j U}, \quad (28)$$

Относительное значение тока определяем как:

$$\frac{I}{I_H} = \sqrt{\left(\frac{P}{P_H}\right)^2 + \left(\frac{Q}{P_H}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{P}{P_H}\right)^2 + k^2}, \quad (29)$$

где Q= РН·k.

Так как при эксплуатации линий высокого напряжения Q меняется не так сильно, как Р, то погрешность П=f(P) при k= const.

При k =±0,1 (знак минус соответствует емкостной составляющей мощности, плюс – индуктивной), а $N_U = 0$, что имеет место при использовании современных цифровых защит:

$$П = 0{,}003 + [-0{,}008 - \frac{0{,}00137}{\sqrt{\left(\frac{P}{P_H}\right)^2 + 0{,}01}} + \\ + \frac{0{,}0000647}{\left(\frac{P}{P_H}\right)^2 + 0{,}01}] - 0{,}000291[1{,}775 + \\ + \frac{3{,}37}{\sqrt{\left(\frac{P}{P_H}\right)^2 + 0{,}01}} - \frac{0{,}0145}{\left(\frac{P}{P_H}\right)^2 + 0{,}01} - 0{,}4] \cdot \\ \cdot c \cdot \frac{\pm 0{,}1 P_H}{P}, \quad (30)$$

Результаты расчета погрешности представлены на рис.5. Кривая 1 соответствует реактивной мощности индуктивного характера, кривая 2 – емкостной составляющей. Кривая 3 – это суммарная погрешность, которая определяется амплитудными составляющими погрешностей трансформаторов напряжения и тока.

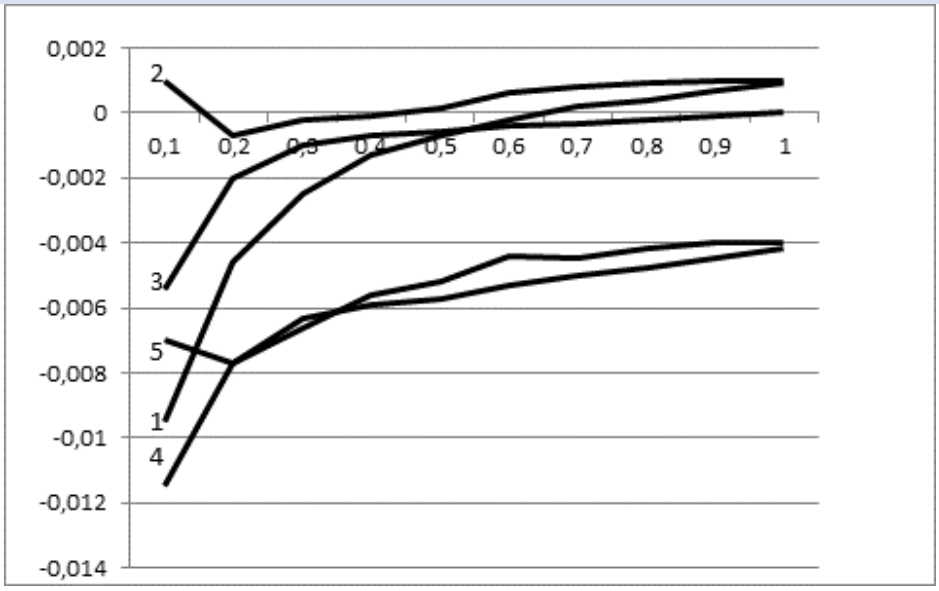


Рис. 5. Зависимости погрешности измерения мощности P от отношения P/Pн, рассчитанной
1 - по средним характеристикам погрешностей трансформаторов напряжения и тока для мощности индуктивного характера;
2 - по средним характеристикам погрешностей трансформаторов напряжения и тока для емкостной мощности;
3 - без учета угловых погрешностей трансформаторов напряжения и тока;
4 - по средним характеристикам погрешностей трансформаторов напряжения и тока, нагруженного до номинальных значений (для Q_L);
5 - по средним характеристикам погрешностей трансформаторов напряжения и тока, нагруженного до номинальных значений (для Q_C).

Fig. 5. Dependences of the power measurement error P on the P/Pn ratio of the calculated
1 - according to the average error characteristics of voltage and current transformers for inductive power,
2 - according to the average error characteristics of voltage and current transformers for capacitive power,
3 - excluding angular errors of voltage and current transformers,
4 - according to the average error characteristics of voltage and current transformers loaded to nominal value for inductive power,
5 - according to the average error characteristics of voltage and current transformers loaded to nominal value for capacitive power.

Если принять, что трансформатор напряжения нагружен до номинальных значений и $\frac{\Delta U}{U} = -0.2$, $f'_U = 11$, то:

$$П = 0{,}002 + [-0{,}008 - \frac{0{,}00137}{\sqrt{\left(\frac{P}{P_H}\right)^2 + 0{,}01}} + \frac{0{,}0000647}{\left(\frac{P}{P_H}\right)^2 + 0{,}01}] - 0{,}000291[1{,}775 + \frac{3{,}37}{\sqrt{\left(\frac{P}{P_H}\right)^2 + 0{,}01}} - \frac{0{,}0145}{\left(\frac{P}{P_H}\right)^2 + 0{,}01} - 11] \cdot c \cdot \frac{\pm 0{,}1 P_H}{P}. \quad (31)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Из кривых рис.5 следует, что угловая составляющая погрешности влияет на суммарную погрешность измерения мощности, а нагруженный трансформатор напряжения

дополнительно увеличивает погрешность. Изменение направления реактивной мощности при определённых условиях может эту погрешность уменьшить.

Согласно теореме о среднем значении, погрешность измерения электроэнергии приближенно [9, 11] находим по формуле (31).

Используя эту формулу, найдем погрешность трансформатора напряжения, которая обеспечивает минимум погрешности измерения электроэнергии в диапазоне изменения тока от 0,1 до1А или от $\frac{P}{P_H} = 0{,}1$ до $\frac{P}{P_H} = 1$.

Среднее значение погрешности П при изменении тока должно быть равно нулю. Если среднее значение погрешности П пропорционально $\int_{0.1}^{1} \Pi dI$, то искомое значение $\frac{\Delta U}{U}$ можно получить из уравнения:

$$\int_{0.1}^{1} \Pi dI = \int_{0,1}^{1} \left[\frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}\Delta\varphi_c tg\varphi\right] dI = 0. \quad (32)$$

Для средней погрешности трансформатора тока принимаем tgφ = -1 и $f'_U = 0$, то

$$\int_{0.1}^{1} \Pi dI = \frac{\Delta U}{U} \cdot I + 0{,}01(-0{,}081 - -0{,}137 \ln I - \frac{0{,}00647}{I}) - 0{,}000291 \cdot \cdot (1.775 + 3.37 \ln I + \frac{0.145}{I})\Big|_{0,1}^{1}, \quad (33)$$

Из этой формулы следует, что в данном случае $\frac{\Delta U}{U} = 0.0063$.

Для того, чтобы определить среднюю погрешность электроэнергии за сутки, надо знать, как меняется активная мощность Р.

Активная мощность, используемая потребителями в максимальном режиме гораздо меньше активной мощности, передаваемой по ЛЭП. При не нагруженном трансформаторе напряжения, большую часть времени погрешности измерения мощности оказываются отрицательными, то есть счетчик не учитывает всю электроэнергию, отдаваемую потребителю.

Погрешности измерения электроэнергии могут изменяться в широких пределах и существует возможность такого подбора характеристик трансформаторов напряжения и тока, при котором погрешность измерения электроэнергии может быть сведена к минимуму.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение точности счетчиков электроэнергии целесообразно только тогда, когда они подключаются к силовым цепям без применения трансформаторов. Повышение точности измерения мощности и электроэнергии можно достичь путем подбора характеристик погрешностей трансформаторов измерительных комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добрусин Л.А. Проблема качества электроэнергии и электросбережения в России // Энергоэксперт. – 2008. – № 4(9). – С. 30-35.

2. Коверникова Л.И. Качество электрической энергии: современное состояние, проблемы и предложения по их решению / Л.И. Коверникова, В.В. Суднова, Р.Г. Шамонов и др.; отв. ред. Н.И. Воропай. – Новосибирск: Наука, 2017. – 219 с.

3. Уразова Н.Г., Галаган А.О. Актуальность инвестирования в установку приборов учета электроэнергии бытовым абонентам //Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость – 2016-№ 3 (18)–с.99-46.

4. Исследование факторов, способных влиять на работу электросчетчиков [Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://habarok.com/issledovaniya/issledovaniya.shtm.

5. Targosz R., Chapman D. Application note. Cost of poor power quality. European Copper Institute. Leonardo Energy, 2015. [Электронныйресурс]. – URL: http://www.leonardoenergy.org/resources/297/the-cost-of-poor-power-quality5800e490f1e14

6. Базыль И.М. Повышение эффективности функционирования электротехнических устройств электропитающих систем, обеспечивающих снижение потерь элек-

трической энергии: диссертация канд. техн. наук. Тула, 2015. 108 с.

7. Белицын И.В., Белицын А.И. Современные способы снижения потерь электроэнергии в линиях электропередачи// Современные инновации – 2020- № 3(37)- С. 5-7.

8. ГОСТ 32144–2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

9. IEEE Std 1459–2010. Definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal,balanced, or unbalanced conditions. – March 2010 IEEE Standard 1459 – 40 p.

10. Thinh Dao, H. Abdull Halim, Z. Liu, B.T. Phung, Voltage harmonic effect on losses in distribution transformers // International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS), Bali, Indonesia, 6-8 October, 2016, pp. 27-32.

11. Эбель Д. Обнаружение дефектов и ошибок в цепях подключения приборов учета электроэнергии. Метрологическое обеспечение электрических измерений в электроэнергетике: Доклады 4-го науч.-техн. семинара. - М.: "Изд-во НЦЭНАС", 2000. 152 с.

12. Железко Ю. С., Артемьев А. В., Савченко О. В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчетов. – М.: Энас, 2008. – 280с.ISBN: 978-5-93196-910-7

13. Загорский Я.Т., Комкова Е.В. Границы погрешности измерений при расчетном и техническом учете электроэнергии. Электричество, 2001, № 8, с. 14-17.

14. Информационно-измерительная техника и электроника : учебникдля вузов / Г.Г. Раннев [и др.] ; под ред. Г.Г. Раннева. – 2-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2007 – 511 с.

REFERENCES

1. Dobrusin L.A. The problem qualities ambigueslectro Canberrans in Russia // Ambigueslectrosbergias in Russia. – 2008. – № 4(9). - S. 30-35.

2. A. N.And. Quality bangladeshlectricoparalympnergy: current domain, problem aposematic and IH solutions / L.And. Kovernikova, V.V. Sudnova, R.G. Chamonix and others.; rev. red. N.And. Voropai. Novosibirsk: Nauka, 2017. - 219 PP.

3. Urazova N.G. Galagan A.Oh. Actuality of investments in zattu priborov ucheta. Investments. Construction. Real estate-2016-4 (18) - C.99-46.

4. Is an investigation of factorov, able to influence the work of asbelektroschetchikovs. - Access mode: http: / / habarok. com/issledovaniya/issledovaniya.shtm –

5. Targosz R., Chapman D. Application note. Cost of poor power quality. European Copper Institute. Leonardo Energy, 2015. [Электронныйресурс]. – URL: http://www.leonardoenergy.org/resources/297/the-cost-of-poor-power-quality5800e490f1e14

6. Basing It On.M. Improving the efficiency of the functioning of electrical devices of power supply systems that reduce the power of electrical energy: PhD thesis. tech. science. Tula, 2015. 108 PP.

7. Belitz.V., Belitz Urgant A.And. Modern ways to reduce the power of electricity in linear power transmission / / Modern innovations-2020 - No. 3 (37)- p. 5-7.

8. GOST 32144-2013. Shuttlectromagnetic. Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems. - M.: Standardinform, 2014. - 20 p.

9. IEEE Std 1459–2010. Definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced, or unbalanced conditions. – March 2010 IEEE Standard 1459 – 40 p.

10. Thinh Dao, H. Abdull Halim, Z. Liu, B.T. Phung, Voltage harmonic effect on losses in distribution transformers // International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS), Bali, Indonesia, 6-8 October, 2016, pp. 27-32.

11. Asbel D. Defenestration and oshibok in the cut-off subclassification of devices. Metrological treatment ambiglectrical measurement in extravlectronergetic: report Ambiglectronergetic: 4th scientific report.- tech. the seminar. - M.: "Ed-Vo NC ASBAHNAS", 2000. 152 p.

12. Zhelezko Yu. S., Artemyev A. V. Savchenko O. V. Raschet, analysis and normalization potterlektro-mysteriergy in urgentlectricheskichet: management of practical raschetov. - M.: Apostille, 2008. – 280c.ISBN: 978-5-93196-910-7

13. Zagorsky.T. It's Komkova.V. Limit ambiguities measure when computed and technically learn ambiguities. Ambiglectricity, 2001, apostille 8, p. 14-17.

14. Informational and measurement technique and apostilletronics : textbookG. Rannev [etc.]; in order. G.G. Ranneva. - 2nd ed. stereotype. - M. : Academy, 2007 - 511 p.