

Horizon Research Publishing Corporation USA. 2015. Vol. 3. № 5. P. 146–148. URL: <http://www.hrpub.org>.

3. Siddikov I. Kh, Anarbaev M. A., Bedritskiy I. M., Khasanov M. Y. The analysis of base characteristics and inaccuracies of electromagnetic transducers current to voltage with flat measuring windings // European Sciences review, Scientific journal, "East West" Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna, Austria. 2015. № 7–8 (July–August). P. 137–139. URL: <http://www.ew-a.org>.

УДК 621.314

АЛГОРИТМЫ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ЕЕ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕТЯМ И КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

И. Х. Сиддиков, Х. А. Саттаров, Х. Э. Хужаматов

Ташкентский университет информационных технологий (Узбекистан)

В работе приведена методика и расчет сверхнормативно потребленной реактивной мощности электрических нагрузок на примере ООО «Чиназ». Приведен расчет дополнительных затрат.

Ключевые слова: *трехфазный ток, электрические сети, электромагнитные преобразователи, реактивный компонент тока.*

The paper presents a method and calculation of excess reactive power consumption of electrical loads on the example of "Chinaz". The calculation of additional costs is given.

Keywords: *three-phase current, electrical networks, electromagnetic converters, reactive current component.*

Электрическая энергия, вырабатываемая электрическими станциями, передается в электрическую сеть потребителей одновременно в виде активной и реактивной мощности. Часть потребителей из сети используют чисто активную мощность (электрические лампы накаливания, нагревательные приборы, печи сопротивления), при этом ток совпадает по фазе с приложенным напряжением. Другая часть потребителей, при наличии в цепи индуктивного сопротивления, в процессе работы потребляет не только активную, но и реактивную мощность, необходимую для создания электромагнитных полей (электродвигатели, сварочные и силовые трансформаторы) [1–2].

При подключении к электрической сети активно-индуктивной нагрузки ток I отстаёт от напряжения U на угол сдвига φ . Косинус этого угла ($\cos \varphi$) называется коэффициентом мощности. Электроприёмники с такой нагрузкой потребляют как активную P , так и реактивную Q мощность. Коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P}$.

Прохождение в электрических сетях реактивных токов обуславливает добавочные потери активной мощности в линиях, трансформаторах, генера-

торах электростанций, дополнительные потери напряжения, требуют увеличения номинальной мощности или числа трансформаторов, снижает пропускную способность всей системы электроснабжения [3]:

полная мощность: $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = P / \cos \varphi$;

потери активной мощности: $\Delta P = (P^2 + Q^2)R / U^2$;

коэффициент активной мощности: $\cos \varphi = P / S = P / \sqrt{P^2 + Q^2}$;

потери напряжения: $\Delta U = (PR + QX) / U$,

где P , Q , S – соответственно активная, реактивная и полная мощности;
 R и X – соответственно активное и реактивное сопротивления элементов электрической сети;

U – напряжение сети.

Расчет технологического расхода электроэнергии при ее транспортировке по электрическим сетям и выбор компенсирующих устройств производится на основе расчетных данных расчета компенсации реактивной мощности в электрических сетях по следующим значениям реактивной мощности: в режиме наибольшей активной нагрузки энергосистемы при расчетах экономических значений реактивной мощности в ее узлах [4].

Основная часть реактивной мощности индуктивного характера на промышленных предприятиях потребляется асинхронными двигателями (60-65 % общего её потребления), трансформаторами, включая сварочные (20-25 %), вентильные преобразователи, реакторы и прочие электроустановки.

Одним из основных вопросов, решаемых как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации систем электроснабжения, является вопрос компенсации реактивной мощности, включающий выбор типа компенсирующих устройств, расчет и регулирование их мощности, а также их размещение в схеме электроснабжения. При этом передача реактивной мощности от мест генерации до мест потребления существенно ухудшает технико-экономические показатели систем электроснабжения.

При расчете и выборе необходимой мощности компенсирующих устройств следует исходить из нормативных значений средневзвешенного коэффициента мощности. Необходимая мощность компенсирующего устройства определяется на основе следующего соотношения:

$$Q_{\text{кв}} = K_{\text{м}} P_{\text{ср}} (\text{tg } \varphi_1 - \text{tg } \varphi_{\text{н}}),$$

где: $K_{\text{м}}$ – коэффициент максимальной нагрузки, определяемый из справочника [3].

$P_{\text{ср}}$ – среднегодовая активная мощность, потребляемая электроустановкой, кВт (величина P определяется расчетным путем);

$\text{tg } \varphi_1$ – тангенс угла сдвига фаз, соответствующий средневзвешенному коэффициенту мощности за год, и определяемый по следующей формуле:

$$\text{tg } \varphi_1 = (W_{\text{р.г.}} - W'_{\text{р.г.}}) / W_{\text{г}}$$

где: $W_{\text{р.г.}}$ – годовое потребление реактивной энергии без учета работы синхронных двигателей,

$W'_{p.g.}$ – годовая выработка реактивной энергии синхронными двигателями при их наивыгоднейшем $\text{tg } \varphi$ ($\cos \varphi$),

W_r – годовое потребление электроэнергии (величины в использованной формуле определяются расчетным путем),

$\text{tg } \varphi_n$ – нормативное значение тангенса угла сдвига фаз, соответствующий коэффициенту мощности после компенсации.

Компенсирующие устройства должны размещаться в местах непосредственной близости от потребляющих реактивную мощность электроустановок.

Батареи конденсаторов напряжением 0,22 – 0,66 кV должны устанавливаться в цехе у групповых распределительных щитков либо присоединяться в определенных точках к магистральным шинопроводам. Централизованная установка на подстанциях с присоединенным к распределительному щиту напряжением до 1000 V или к головному участку шинной магистрали может применяться лишь при недопустимости установки конденсаторов в цехе по условиям пожарной безопасности. При этом должна быть рассчитана оптимальная мощность батареи конденсаторов.

Конденсаторные батареи в целях безопасности обслуживания должны быть обеспечены специальными разрядными индуктивными и активными сопротивлениями, при этом величина разрядного сопротивления (Ом) определяется на основе следующего выражения:

$$r_{\text{разр}} = 15 * U_{\text{ф}}^2 / Q * 10^6 ,$$

где: $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение, кV,

Q – мощность конденсаторной батареи, кVAг.

Регулирование мощности средств компенсации реактивной мощности (конденсаторных установок) применять в тех случаях, когда у потребителя необходимо одновременно регулировать реактивную мощность и напряжения. Регулирование мощности источников реактивной мощности – конденсаторных установок может быть автоматическое, ручное или диспетчерское с использованием средств телемеханики или телефонной связи. Автоматическое регулирование может быть выполнено по напряжению, по реактивной мощности, по углу φ между током электрической нагрузки и приложенным напряжением, по времени суток, и по комбинированным схемам в зависимости от нескольких факторов.

Методикой и алгоритмом расчета технологического расхода электроэнергии при наличии и отсутствии компенсирующего устройства (ККУ) и экономического эффекта ознакомимся на основе примера предприятия ООО «Чиназ»:

Нормативные потери электроэнергии, установленная для электрических сетей ОАО «Ташгорэлектросеть» АК Узбекэнерго до подстанции составляет – 9 %.

За расчетный период по фидерам ООО «Чиназ» протекала электроэнергия в следующих объемах:

$$W_a = 4\,029\,000 \text{ кВт.ч} - \text{активная электроэнергия}$$

$$W_p = 4\,100\,000 \text{ кВАр.ч} - \text{реактивная электроэнергия}$$

На основе этих данных определяем значение коэффициента реактивной мощности:

$$\text{tg } \varphi = W_p / W_a = 4\,100\,000 / 4\,029\,000 = 1,02$$

Нормативное значение коэффициента реактивной мощности $\text{tg } \varphi_n$ для электрических сетей напряжением 6 – 10 кВ, согласно [6] составляет:

$$\text{tg } \varphi_n = 0.32$$

На значение $\text{tg } \varphi = 1,02$, определенного для расхода электроэнергии потребленные ООО «Чиназ» согласно положения N 1864 соответствует коэффициент роста потерь электроэнергии и мощности вследствие выделяемого током тепла - $K = 2,01$ (т.е. на 1,01 значение увеличивается потери электроэнергии при передаче реактивной мощности больше нормативного, значение которой определяется коэффициентом реактивной мощности $\text{tg } \varphi_n = 0.32$).

Для сетей ООО «Чиназ» нормативное значение потери активной электроэнергии, определенный ГИ Уздаэнергоснабжения для электрических сетей ОАО «Ташэлектросеть» ГАК Узбекэнерго (процентное значение равен – 9 %), определяемый на основе потребляемой – расходуемой активной электроэнергии, составляет:

$$\Delta W_{a \text{ норма}} = (9 \% / 100) * W_a = (9 \% / 100) * 4\,029\,000 = 362\,610 \text{ кВт.ч.}$$

Нормативное значение реактивной электроэнергии, потребляемые электроприемниками ООО «Чиназ» составляет:

$$W_{p \text{ норма}} = W_a * \text{tg } \varphi_n = 4\,029\,000 * 0.32 = 1\,289\,280 \text{ кВАр.ч.}$$

По сетям ООО «Чиназ» за 11 месяцев 2010 года протекала следующая сверх нормативная – выше установленной нормы реактивная энергия, соответствующая коэффициенту $\text{tg } \varphi_n = 0.32$:

$$W_{p \text{ сверх норма}} = W_p - W_{p \text{ норма}} = 4\,100\,000 - 1\,289\,280 = 2\,810\,720 \text{ кВАр.ч.}$$

Стоимость 1 кВАр.ч. реактивной электроэнергии определяется на основе стоимости 1 кВт.ч активной т.е. составляет 5 % от стоимости действующего тарифа на электроэнергию (стоимость 1 кВт.ч электроэнергии составляет 68 сумов 48 тийин, 1 кВАр.ч реактивной электроэнергии потребленной в пределах установленной нормы 3 сумов 43 тийин, стоимость потребленной сверх нормы реактивной электроэнергии составляет 10 % от стоимости активной электроэнергии т.е. 6 сумов 85 тийин).

Суммарная стоимость реактивной электроэнергии, потребленной сверх установленного норматива в течении 11 месяцев 2010 года составляет:

$$\begin{aligned} C_{W_p \text{ сверх норма}} &= W_{p \text{ сверх норма}} \times 10 \% \text{ от стоимости активной электроэнергии} = \\ &= 2\,810\,720 \text{ кВАр.ч} \times 6 \text{ сумов } 85 \text{ тийин} = 19\,254\,432 \text{ сум} \end{aligned}$$

Сверхнормативная потребляемая реактивная электрическая энергия $W_{p \text{ сверх норма}}$, протекая по сетям ООО «Чиназ» привел к сверх нормативному увеличению значения потери активной электрической энергии:

$$\Delta W_{a \text{ сверх норма}} = (K - 1) \Delta W_{a \text{ норма}} = (2,01 - 1) * 362\ 610 = 366\ 236,1 \text{ кВт.ч.}$$

Суммарная стоимость активной электроэнергии, потеряемая вследствие протекания сверхнормативного реактивного тока и электроэнергии по фидеру ООО «Чиназ»

$$\begin{aligned} C_{\Delta W_{a \text{ сверх норма}}} &= \Delta W_{a \text{ сверх норма}} \times \text{Стоимость 1 кВт.ч электроэнергии} \\ &= \\ &= 366\ 236,1 \text{ кВт.ч} \times 60 \text{ сум 48 тийин} = 22\ 149\ 959 \text{ сум} \end{aligned}$$

Сверхнормативно потребляемая активная электроэнергия привел к увеличению заявленной активной мощности:

$$\begin{aligned} P_{\text{сверх заявленная}} &= \Delta W_{a \text{ сверх норма}} / T_{\text{за 11 месяцев 2010 г}} = \\ &= 366\ 236,1 / 4576 = 80 \text{ кВт} \end{aligned}$$

где $T_{\text{за 11 месяцев 2010 г}} = 8 \text{ часов} \times 2 \text{ смены} \times 26 \text{ дней} \times 11 \text{ месяцев} = 4576 \text{ часов.}$

Суммарная стоимость сверхнормативной заявленной активной мощности

$$\begin{aligned} C_{P_{\text{сверх заявленная}}} &= P_{\text{сверхзаявленная}} \times \text{Стоимость 1 кВт заявленной активной} \\ &\text{мощности} \times \text{Время штрафа (12 месяцев)} = 80 \text{ кВт} \times 10550 \text{ сум} \times 11 \text{ месяцев} \\ &= 9\ 284\ 000 \text{ сум.} \end{aligned}$$

Для уменьшения потребляемой электроэнергии и улучшения показателей качества электроэнергии, режимов работы электрической сети и электрооборудовании (повышение пропускной способности электрооборудовании и электрической сети, уменьшение потерь электроэнергии, повышение срока службы и надежности электродвигателей, линии электропередачи и электрооборудовании) ООО «Чиназ» требуется установка источника реактивной мощности и энергии, величина которой определяется на основе методики, приведенной в Положении [6] :

$$\begin{aligned} Q_{\text{ку расч}} &= K_m * (\text{tg } \varphi - \text{tg } \varphi_n) * (W_a / T_{\text{за 11 месяцев 2010 г}}) = \\ &= 1 * (1,02 - 0,32) * (4\ 029\ 000 / 4576) = 616 \text{ кВАр} \end{aligned}$$

т. е. $Q_{\text{ку н}} = 600 \text{ кВАр}$ – номинальная реактивная мощность ККУ, необходимой для установки на ООО «Чиназ».

Определяем экономическую отдачу от внедрения на ООО «Чиназ» источников реактивной мощности и энергии, себестоимость, срок окупаемости в последующие годы после завершения работы [7]:

- Расчеты проведем для источников реактивной мощности и энергии для ООО «Чиназ» устанавливаемые на подстанциях (результаты расчета приведены на отдельном листе).

- Как показал расчет на основе данных о электропотреблении электроприемниками ООО «Чиназ», требуется устанавливать энергосберегающие источники реактивной мощности - ККУ с номинальной мощностью 600 кВАр.

- Экономические расчеты приведем в следующей последовательности:

- Расчетная инвестиция на коммутационные аппараты, соединительные провода, разрядные сопротивления и наконечники составляет – 10 062 000 сум.

- Расчетная инвестиция на 12 штук по 50 кВАр источников мощности и энергии 600 кВАр = 15 000 000 сум.

1. Суммарная инвестиция (капиталовложение) И = 23 062 000 сум (см. табл.).

Таблица

Калькуляция цен мероприятия по внедрению источников реактивной мощности и энергии (12 штук по 50 кВАр (600 кВАр))

№	Наименование электрооборудования и аппарата	Кол-во	Сумма, сум (один шт.)	Общая сумма, сум.
1	2	3	4	5
Основные электрооборудования и коммутационные аппараты				
1	Источник реактивной мощности и энергии ККУ по 50 кВАр	12 шт	1250000	15000000
2	Автоматические выключатели 125 А	12 шт.	245000	2940000
3	Соединительные провода медные 3x35 мм ²	50 м	25000	1275000
4	Наконечники медные 35 мм ²	12x15=180 шт	5000	900000
5	Разрядное сопротивление	36 шт	12000	432000
6	Соединительные провода медные 2.5 мм ²	30 м	500	15000
Стоимость работ			2 500 000	
Итого				23 062 000
Коммутационные и релейные аппараты, необходимые для автоматизации				
1	Магнитные пускатели 125 А	12 шт.	350000	4200000
2	Электронные реле напряжения и мощности – регуляторы	12 шт.	640000	7680000
3	Соединительные провода медные 2.5 мм ²	100 м	500	50000
4	Автоматы 10 А	12 шт.	5100	61200
5	Шкафы управления	6 шт.	159000	954000
6	Магнитные пускатели 0 габарит	12 шт.	19600	235200
Стоимость работ (установки АР)			5 500 000	
Итого				18680400

2. Количество реактивной электроэнергии W_p , вырабатываемая источниками реактивной мощности 600 кВАр за год составляет :

$$W_p = Q * t = 600 * 4576 = 2\,745\,600 \text{ кВАр.ч.}$$

где : Q – реактивная мощность, кВАр;

t – время использования максимальной нагрузки за год, $t = 4576$ час при двухсменной работе [5];

3. Цена выработанной источником реактивной мощности и энергии:

$$Ц = W_p * c_{уд} = 2\,745\,600 * 3,43 = 9\,417\,408 \text{ сум}$$

где: $c_{уд}$ – тариф реактивной составляющей электроэнергии,

$$c_{уд} = 5\% \text{ от стоимости активной энергии (т.е. к 1.12.2010}$$

г. 1 кВт час. активной энергии стоит 60,48 сум.) .

4. Эксплуатационные затраты:

$$З = З_1 + З_2 + З_3 = 3\,000\,000 + 668\,798 + 691\,860 = 4\,360\,658 \text{ сум.}$$

где: $З_1$ – годовая заработная плата,

$$• З_1 = m * З_1 * 12 = 1 * 250\,000 * 12 = 3\,000\,000 \text{ сум.}$$

где: m – количество работников, $m = 1$,

$З_1$ – месячная заработная плата обслуживающего персонала,

$$З_1 = 250\,000 \text{ сум.}$$

• $З_2$ – амортизационные расходы:

$$З_2 = 0,029 * И = 0,029 * 23\,062\,000 = 668\,798 \text{ сум.}$$

где : $K_1 = 0,029$ – коэффициент отчисления на амортизационные расходы

• $З_3$ – ремонтные работы

$$З_3 = 0,03 * И = 0,03 * 23\,062\,000 = 691\,860 \text{ сум.}$$

где : $K_2 = 0,3$ – коэффициент отчисления на ремонтные работы

5. Чистая прибыль от внедрения источников реактивной мощности - 600 кВАр:

$$Чп = Ц - З = 9\,417\,408 - 4\,360\,658 = 5\,056\,750 \text{ сум.}$$

6. Сопоставительный экономический коэффициент эффективности :

$$E = Чп/И = 5\,056\,750 / 23\,062\,000 = 0,22$$

7.Срок окупаемости выполненных мероприятий по внедрению источников реактивной мощности и энергии:

$$T_{о.к.} = 1/E = 1 / 0,21 = 4,5 \text{ мес.}$$

Как видно из представленных расчетов, сверхнормативно потребленная реактивная мощность электрических нагрузок ООО «Чиназ» приводил к дополнительным затратам в объеме 50 688 391 сумов за 11 месяцев 2010 года.

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок. 6-е изд. М. : Энергоатомиздат, 1986, 2002.
2. RN 34-351-502:2005 Руководящий документ. Инструкция, расчет и учет расхода электроэнергии на её транспорт при производстве, передаче и распределении в Узбекской энергосистеме ГАК Узбекэнерго. Ташкент, 2005.
3. Ермилов А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятия. М. : Энергоатомиздат, 1983.
4. Цигельман И. Е. Электроснабжение гражданских зданий и коммунальных предприятий. М. : Высшая школа, 1982.

5. Федорова А. А. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. М. : Энергия, 1980. С. 243.
6. Положение о компенсации реактивной мощности ГИ Узгосэнергонадзор, приказ № 168 от 9.09.2008, утвержденное Минюстом РУз № 1864 от 10.10.2008.
7. Siddikov I. Kh. The Electromagnetic Transducers of Asymmetry of Three-phases Electrical Currents to Voltage. Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering. Horizon Research Publishing Corporation USA. 2015. Vol. 3. № 5. P. 146–148. URL: <http://www.hrpub.org>.

УДК 621.314

MODELING OF THE ELEMENTS AND DEVICES OF ENERGY CONTROL SYSTEMS

I. Kh. Siddikov, Kh. A. Sattarov, Kh. E. Khujamatov
Tashkent University of Information Technologies (Uzbekistan)

Целью исследования является разработка теорий моделирования и проектирования элементов преобразований одно-и многофазного первичного тока для многофункционального управления источниками энергии и создания их базы энерго-и ресурсосбережения. В статье приведены результаты анализа и исследования принципов моделирования магнитных трансформирующих цепей как элементов преобразования тока в напряжение.

Ключевые слова: *элементы преобразований, многофазный первичный ток, многофункциональное управление источником питания, компонент реактивного тока.*

The Purpose of research are developing of theories of modeling and designing the transformations elements one and multiphase's primary current for multifunction control of power source and creation of their base of energy and recourse saving. In the article given results of analyze and explore principles of modeling of magnetic transforming circuits as transformations elements of current to voltage.

Keywords: *transformations elements, multiphase's primary current, multifunction control of power source, reactive current component.*

The input value of transformations elements of the current and voltages serves: primary alternating current of electric nets $I_{e\ in}$ value from 1 before 1000 A and primary voltage $U_{e\ in}$ value from 0,4 - 35 sq, but output signal $U_{e\ out}$ - a secondary output electric voltage from secondary measuring windings, which in principal depends on uniformities of the sharing the magnetic flow F along way of the magnetic system of the transformation i.e. on length magnetic core, corner of the crossing the magnetic flow area of secondary measuring windings. The Portioned magnetic system of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measuring windings is presented in the manner of graph of the models.

The dynamic graphs model of the transformation of the primary current in voltage of the electric network of power system on base of transformations elements of the current to voltage is presented in fig.1. At transformation of the primary current on base of the calculation of the values of the portioned magnetic system at the input, according to designed graphic models area transformations, is determined expressions for calculation of the voltage $U_{e\ out}$ on output of flat measurer