

УДК 621.311

## СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Вильданов Р.Г., Ионцева О.А., Исхаков Р.Р., Бикметов А.Г.

*Филиал ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Салават, Россия (453250, Салават, ул. Губкина, 22б), email: vildanov.rauf@yandex.ru*

---

Рассмотрены мероприятия, направленные на снижение потерь мощности и электроэнергии на примере распределительно-трансформаторной подстанции завода. Приводятся примеры двух вариантов компенсации реактивной мощности: при помощи установки высоковольтных батарей конденсаторов и при помощи установки низковольтных батарей конденсаторов. В результате моделирования в среде Simulink получены значения коэффициентов мощности на высоковольтной 6 кВ и низковольтной 0,4 кВ сторонах. Показано, что при использовании высоковольтных батарей конденсаторов коэффициент мощности на низковольтной стороне не изменяется. Произведен выбор низковольтных и высоковольтных конденсаторных батарей. Показано, что применение мероприятия по компенсации реактивной мощности позволит уменьшить потери активной энергии. Сделан вывод о полезности моделирования в Simulink для оценки эффективности компенсации реактивной мощности.

---

Ключевые слова: Simulink, низковольтные батареи конденсаторов (НБК), высоковольтные батареи конденсаторов (ВБК), коэффициент мощности.

## REDUCTION OF ELECTRICITY LOSSES WITH THE HELP OF REACTIVE POWER COMPENSATION

Vildanov R.G., Iontseva O.A., Iskhakov R.R., Bikmetov A.G.

*Salavat Branch of "Ufa State Petroleum Technical University", Russia (22b Gubkin Str., Salavat, Republic of Bashkortostan, 453250), e-mail: vildanov.rauf@yandex.ru*

---

We have considered the measures of reduction of electricity losses, using a plant distribution-transformer substation as an example. The examples of two options for reactive power compensation are given: to install high-voltage capacitor bank or to install low-voltage capacitor bank. As a result of modelling in Simulink the values of the power factors reached with high-voltage (6 kV) and low-voltage (0.4 kV) sides were determined. It is shown that the use of the high-voltage capacitor bank does not change the power factor on the low-voltage side. The high-voltage and the low-voltage capacitor banks were selected. It is illustrated that if measures of the reactive power compensation are applied active power losses will be reduced. It was concluded that the modelling in Simulink is very useful for the efficiency evaluation of the reactive power compensation.

---

Keywords: Simulink, low-voltage capacitor bank, high-voltage capacitor bank, power factor.

Большинство потребителей электрической энергии обладает активными и реактивными сопротивлениями, поэтому в процессе потребления электрические установки наряду с активной мощностью потребляют и реактивную, которая непосредственно работы не производит, однако необходима для создания магнитных полей, без которых принципиально невозможна работа многих электрических машин и аппаратов.

По статистике основными потребителями реактивной мощности являются электродвигатели переменного тока, преимущественно асинхронные электродвигатели, на долю которых приходится около 70 % потребляемой реактивной мощности, около 20 % потребляют трансформаторы и около 10 % – различные электрические машины и аппараты, обладающие индуктивностью, и электрические сети, что является причиной снижения коэффициента мощности [3].

При снижении коэффициента мощности потребителей увеличиваются потери электрической энергии не только в питающих сетях, но и в трансформаторах и генераторах, установленных на электростанциях, так что при значительном снижении коэффициента мощности трансформаторы и генераторы оказываются настолько загруженными реактивными токами, что получение от них активной мощности, на которую они рассчитаны, становится невозможным. Вместе с тем, при снижении коэффициента мощности увеличиваются и потери напряжения в питающих электрических сетях вследствие возрастания тока.

Вместе с тем при повышении коэффициента мощности за счет уменьшения реактивной составляющей полного тока возможно увеличить его активную составляющую путем подключения дополнительных потребителей электроэнергии и тем самым обеспечить полную загрузку генераторов и трансформаторов в системе электроснабжения производства.

Таким образом, коэффициент мощности показывает, какую часть полной мощности составляет активная мощность, которая полностью преобразуется потребителем электроэнергии в другие виды энергии и не возвращается в питающую сеть.

Рассмотрим распределительно-трансформаторную подстанцию на одном из предприятий. С АСКУЭ «Нева» были сняты показания коэффициента мощности на высоковольтной и низковольтной сторонах, которые представлены в таблице 1. В работе рассмотрены два варианта компенсации реактивной мощности:

- при помощи установки высоковольтных батарей конденсаторов (ВБК);
- при помощи установки низковольтных батарей конденсаторов (НБК).

**Таблица 1**

Данные действующего коэффициента

| I секция |      |        | II секция |       |        |
|----------|------|--------|-----------|-------|--------|
|          | 6 кВ | 0,4 кВ |           | 6 кВ  | 0,4 кВ |
| По факту | 0,73 | 0,75   | По факту  | 0,75  | 0,69   |
| Модель   | 0,72 | 0,748  | Модель    | 0,775 | 0,706  |

На рисунке 1 представлена модель компенсации I секции с использованием ВБК.

В результате моделирования в среде Simulink, на высоковольтной 6 кВ и низковольтной 0,4 кВ сторонах получили значения коэффициентов мощности 0,928 и 0,748, значения коэффициентов мощности на II секции 0,93 и 0,706 соответственно. Коэффициент мощности на низковольтной стороне не изменился.

На рисунках 2 и 3 изображены диаграммы  $\cos \varphi$  на высоковольтной и низковольтной сторонах для I секции при установке НБК.

После установки НБК на высоковольтной 6 кВ и низковольтной 0,4 кВ сторонах I секции получили значения коэффициентов мощности 0,74 и 0,93 соответственно. После установки

НБК на высоковольтной 6 кВ и низковольтной 0,4 кВ сторонах II секции получили значения коэффициентов мощности 0,86 и 0,944 соответственно.

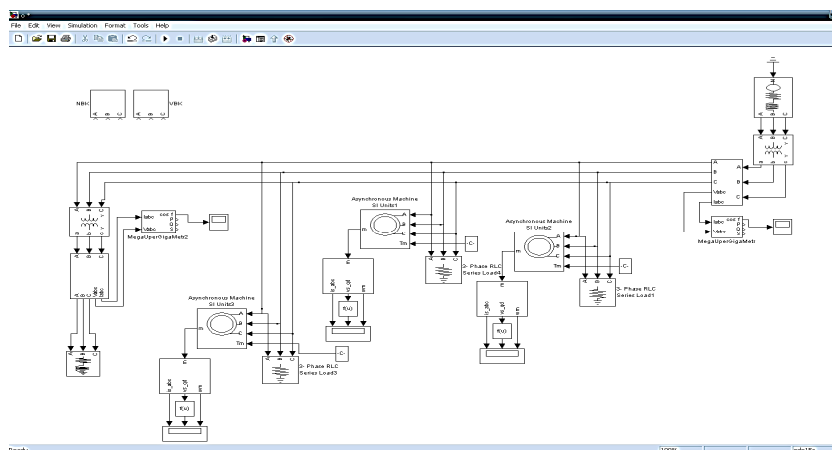
В таблице 2 представлены результаты моделирования.

**Таблица 2**

Результаты моделирования

|                 | Исходный<br>cos φ | Cos φ при<br>ВБК | Cos φ при<br>НБК | Емкость<br>ВБК, мкФ | Емкость<br>НБК, мкФ |
|-----------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------|---------------------|
| I секция 6кВ    | 0,72              | 0,928            | 0,74             | 14,2                |                     |
| I секция 0,4кВ  | 0,748             | 0,748            | 0,93             |                     | 3195,13             |
| II секция 6кВ   | 0,75              | 0,93             | 0,86             | 15,59               |                     |
| II секция 0,4кВ | 0,706             | 0,706            | 0,944            |                     | 3506,77             |

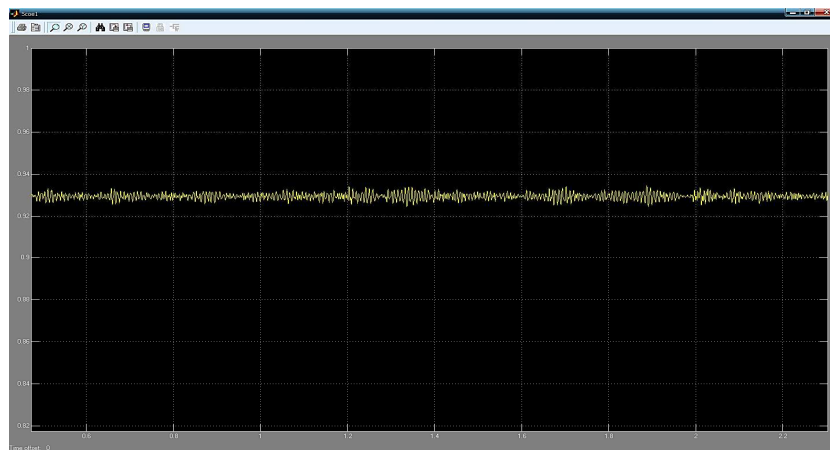
Для достижения требуемого коэффициента мощности необходимо использовать конденсаторные установки как на низковольтной, так и на высоковольтной сторонах.



*Рис. 1. Модель компенсации I секции с использованием ВБК*



*Рис. 2. Диаграммы cos φ , активной, реактивной, полной мощностей на стороне 6 кВ I секции при установке НБК*



*Рис. 3. Диаграммы  $\cos \varphi$  , активной, реактивной, полной мощностей на стороне 0,4 кВ I секции при установке НБК*

Наиболее распространены схемы присоединения батарей конденсаторов через отдельные выключатели при напряжении 6–10 кВ или через рубильники и предохранители или автоматы при напряжении 380 В. Схемы с подсоединением под общий выключатель применяются очень редко, в основном при индивидуальной компенсации реактивной мощности электродвигателей или при установке батарей на работающей подстанции, когда нет свободной камеры для установки выключателя. Конденсаторные батареи напряжением 380–660 В присоединяются к цеховым групповым щиткам или к токопроводам и в отдельных случаях к шинам вторичного напряжения цеховых подстанций [5].

Для управления конденсаторными установками применяются быстродействующие выключатели, имеющие повышенную износоустойчивость контактной и механической частей и допускающие частые и быстрые переключения. Обычные масляные и воздушные выключатели не удовлетворяют полностью всем требованиям для коммутации емкостных нагрузок. Наиболее пригодны и перспективны вакуумные выключатели. Но они маломощны и применяются пока лишь для секционирования конденсаторных батарей. Весьма пригодными для регулирования конденсаторных батарей являются быстродействующие бесконтактные тиристорные выключатели. Обычные выключатели на напряжение 6–10 кВ, выбранные с запасом по номинальному току не менее чем на 50 %, удовлетворительно работают при коммутации КБ мощностью до 2500 кВАр. Представляет интерес регулирование мощности компенсаторов реактивной мощности обработкой информации о потреблении реактивной мощности на основе нейронных сетей [1].

Для I секции необходима конденсаторная батарея с  $Q_{рас.} = 481,57$  квар, для II секции необходима конденсаторная батарея с  $Q_{рас.} = 528,54$  квар. Выбираем низковольтную конденсаторную батарею для I секции марки АКУ 0,4-500-25 УХЛЗ[31] и для II секции – АКУ 0,4-550-25 УХЛЗ фирмы Еrcos (бывшее подразделение Siemens). Каждая конденсаторная ступень снабжена индивидуальной защитой.

Произведем выбор высоковольтных конденсаторных батарей. Необходимая мощность для I секции конденсаторной батареи должна быть не меньше  $Q_{рас.} = 481,57$  квар, для II секции мощность конденсаторной батареи должна быть не меньше  $Q_{рас.} = 528,54$  квар. Для I и II секций выбираем высоковольтную конденсаторную установку марки АКУ 6,3-600-75 УХЛЗ фирмы Ercos (бывшее подразделение Siemens). Каждая конденсаторная ступень снабжена индивидуальной защитой. Таким образом, стоимость конденсаторной установкой вместе с ячейкой КРУ составит 455 тыс.руб. для одной секции. Для регулирования мощности высоковольтных компенсаторов реактивной мощности могут быть использованы статистические методы регулирования или контрольные карты [2, 4].

Рассмотрим мероприятия, направленные на снижения потерь мощности электроэнергии на примере распределительно-трансформаторной подстанции завода. В таблице 3 представлены данные потребления активной и реактивной энергий за расчетный период, равный 12 месяцам.

**Таблица 3**

Потребление активной и реактивной мощностей за 2011 год

| Месяц    | Активная мощность, кВт |              | Реактивная мощность, кВар |             |
|----------|------------------------|--------------|---------------------------|-------------|
|          | I ввод                 | II ввод      | I ввод                    | II ввод     |
| Январь   | 1020634,3              | 761 534,5    | 847 493,3                 | 684 111,5   |
| Февраль  | 726 481,6              | 680 198,2    | 803 831,8                 | 673 713,1   |
| Март     | 873 792,5              | 789 242,8    | 802 483,8                 | 697 635,2   |
| Апрель   | 998 146,71             | 1 127 599,24 | 899 834                   | 815 910     |
| Май      | 1 040 250,6            | 1 107 377,24 | 933 222,76                | 830 332,39  |
| Июнь     | 1 045 693,6            | 1 118 083,12 | 939 835,8                 | 851 771,8   |
| Июль     | 1 111 943,82           | 1 318 910,59 | 973 066,06                | 973 109,2   |
| Август   | 1 063 174,69           | 1 239 870,62 | 949 387,8                 | 930 861,6   |
| Сентябрь | 582 383,76             | 631 948,84   | 535 251,45                | 485 001,42  |
| Октябрь  | 369 468,22             | 362 667,76   | 586 067,6                 | 471 139     |
| Ноябрь   | 841 281,96             | 689 545,56   | 811 650,69                | 682 630,73  |
| Декабрь  | 855 321,04             | 522 415,19   | 800 537,88                | 488 940,76  |
| Итого    | 10 528 572,8           | 9 882 662,94 | 10 349 393,66             | 8 585 156,7 |

Таблица 4 содержит данные по кабельным линиям вводов.

**Таблица 4**

Данные по кабельным линиям вводов

| Данные | I ввод | II ввод |
|--------|--------|---------|
|--------|--------|---------|

|                                 |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|
| Длина КЛ, м                     | 1750  | 1560  |
| Сечение жил                     | 150   | 150   |
| Количество линий                | 2     | 2     |
| Удельное сопротивление, Ом / км | 0,135 | 0,135 |

Согласно приказу МинПромЭнерго РФ №49 от 22.02.2007 г. «О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии регламентирует коэффициент мощности ( $\text{tg } \varphi$ ), который для напряжения 6 кВ должен быть равен 0,4, это соответствует  $\cos \varphi = 0,928$ ). Подсчитаем, насколько можно снизить потери активной электроэнергии, произведя мероприятия по компенсации реактивной мощности. При  $\text{tg } \varphi = 0,96$  ( $\cos \varphi = 0,72$ ) потери активной энергии в активном сопротивлении линии при передаче реактивной мощности по I секции составляют 40443,558 кВт·час. Тогда при  $\text{tg } \varphi = 0,4$  ( $\cos \varphi = 0,928$ ) они будут равны 16851,48 кВт·час. Таким образом, применяя мероприятия по КРМ можно уменьшить потери на 23592,08 кВт·час. При  $\text{tg } \varphi = 0,88$  потери активной энергии в активном сопротивлении линии при передаче реактивной мощности по II секции составляют 24808,62 кВт·час. Тогда при  $\text{tg } \varphi = 0,4$  они будут равны 11276,64 кВт·час. Таким образом, применяя мероприятия по КРМ можно уменьшить потери на 13531,97 кВт·час. В таблице 5 приведены итоги расчетов.

**Таблица 5**

Результаты вычислений потерь

| Номер секции | Потребление в кВт·час до мероприятий по КРМ | Потребление в кВт·час после мероприятий по КРМ | Снижение потребления активной мощности, кВт·час |
|--------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| I секция     | 40443,558                                   | 16851,48                                       | 23592,076                                       |
| II секция    | 24808,62                                    | 11276,64                                       | 13531,97                                        |

**Выводы**

Применяя мероприятия по компенсации реактивной мощности, путем установки конденсаторных батарей получили:

- увеличение пропускной способности сетей, в результате уменьшения тока, протекающего через сеть;
- разгруженное электрооборудование подстанций;
- уменьшение потерь активной мощности;
- рациональное использование электрической энергии;

- моделирование было полезно для оценки эффективности того или иного способа компенсации.

### Список литературы

1. Вильданов, Р. Г., Исхаков Р. Р. Обработка диагностической информации на основе нейронных сетей // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – № 12-1 (19). – С. 94-95.
2. Вильданов Р. Г., Капустин Г. В. Применение статистических методов для регулирования производства пропилена // Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов: межвузовский сборник научных трудов / редкол.: В. А. Шабанов и др.– Уфа: УГНТУ, Мир печати. – 2014. – С. 188-190.
3. Данилов Н. И., Щелоков Я. М. Энергосбережение. Теория и практика: учебное пособие. Т. 1. Теоретические основы энергосбережения; под общ. ред. Н. И. Данилова. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – 296 с.
4. Лукьянцев М. А., Капустин Г. В., Вильданов Р. Г. Применение контрольный карт всистеме управления установки по получению полиэтилена высокой плотности // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – № 3-1 (10). – С. 59-61.
5. Киреева Э. А., Юнес Т., Айюби М. Автоматизация и экономия электроэнергии в системах промышленного электроснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 320 с.

### Рецензенты:

Баширов М.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ЭАПП филиала ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Салават;

Жирнов Б.С., д.х.н., профессор, заведующий кафедрой ХТП филиала ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Салават.