

## О СНИЖЕНИИ КОМПЕНСИРУЮЩЕГО ЭФФЕКТА БАТАРЕЙ КОСИНУСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ПРИ НАЛИЧИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

Г. З. МАРКМАН

(Представлена научным семинаром кафедры электрических систем и сетей)

Условия работы конденсаторных установок в системах электро-снабжения с большим удельным весом вентильно-преобразовательной нагрузки осложняются опасностью возникновения явлений, близких к резонансным. Выбор мощности батарей для таких сетей производится по методике, предложенной в [1]. Однако она не учитывает существенного снижения компенсирующего эффекта батареи при высоком уровне высших гармоник.

На рис. 1 изображен участок схемы электроснабжения предприятия, где к шинам одной из подстанций, питающей вентильный преобразователь (ВП) и некоторую эквивалентную активно-индуктивную нагрузку ( $Z_H$ ), подключена конденсаторная батарея мощностью  $Q_K$

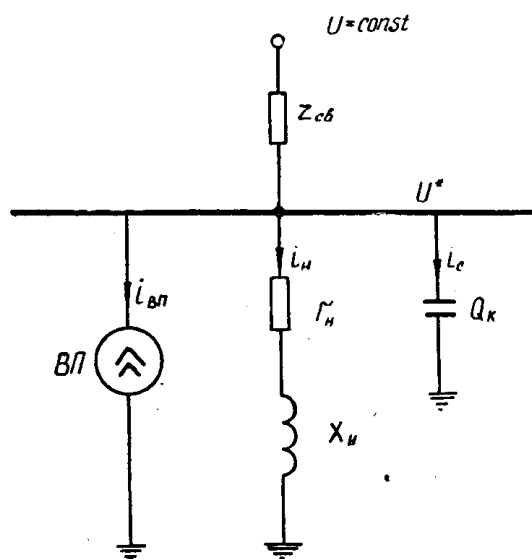


Рис. 1.

Напряжение  $U^*$  на шинах подстанции, кроме основной гармоники напряжения, содержит целый ряд высших, обусловленных потреблением ВП несинусоидального тока  $i_{вп}$ . Естественно предположить, что и форма кривой тока нагрузки должна быть существенно искажена, т. е. содержать высшие гармоники.

Активная мощность первой гармоники (основной волны), потребляемая нагрузкой, равна

$$P_{1н} = U_1 \cdot I_{1н} \cdot \cos \varphi_{1н} = U^* \cdot I_n^* \cdot \cos \varphi_{1н} \cdot \frac{U_1 \cdot I_{1н}}{U^* \cdot I_n^*},$$

где  $U_1, I_{1н}$  — напряжение и ток основной частоты;

$U^*, I_n^*$  — действующие значения напряжения и тока нагрузки с учетом высших гармоник

$$U^* = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_v^2},$$

$$I_n^* = \sqrt{I_{1н}^2 + I_{2н}^2 + I_{3н}^2 + \dots + I_{vн}^2}.$$

Обозначим

$$\gamma_1 = \frac{U_1 \cdot I_{1н}}{U^* \cdot I_n^*},$$

тогда

$$P_{1н} = U^* \cdot I_n^* \cdot \gamma_1 \cdot \cos \varphi_{1н}. \quad (1)$$

Величина  $\gamma_1$  оказывается тем меньше единицы, чем выше уровень гармоник.

Аналогично (1) для всех остальных гармоник

$$P_2 = U^* \cdot I_n^* \cdot \gamma_2 \cdot \cos \varphi_{2н};$$

.....

$$P_v = U^* \cdot I_n^* \cdot \gamma_v \cdot \cos \varphi_{vн}.$$

Коэффициент мощности нагрузки тогда равен

$$\alpha_n = \frac{U^* \cdot I_n^* \cdot \gamma_1 \cdot \cos \varphi_{1н} + U^* \cdot I_n^* \cdot \gamma_2 \cdot \cos \varphi_{2н} + \dots + U^* \cdot I_n^* \cdot \gamma_v \cdot \cos \varphi_{vн}}{U^* \cdot I_n^*}$$

или

$$\alpha_n = \gamma_1 \cdot \cos \varphi_{1н} + \gamma_2 \cdot \cos \varphi_{2н} + \dots + \gamma_v \cdot \cos \varphi_{vн}. \quad (2)$$

Из (2) следует, что величина коэффициента мощности при наличии высших гармоник оказывается меньше, чем если бы действовали напряжения и токи частоты только 50 гц, и определяется уровнем гармоник.

Так как значения коэффициентов  $\gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_v$  на порядок меньше коэффициента  $\gamma_1$ , то с точностью, достаточной для практических расчетов, можно записать

$$\alpha_n = \gamma_1 \cdot \cos \varphi_{1н}. \quad (3)$$

Используя метод эквивалентных синусоид (МЭС), заменим несинусоидальные кривые напряжения и тока нагрузки на эквивалентные синусоидальные так, чтобы действующие значения заменяемых кривых и заменяющих их синусоид были равны. При замене необходимо выполнить условие, чтобы  $\cos \varphi_0$  эквивалентных синусоид был равен коэффициенту мощности  $\alpha_n$  [2], то есть

$$\cos \varphi_3 = \alpha_n. \quad (4)$$

Подключение батарей конденсаторов приводит к изменению частотных характеристик сети, что, как показывают расчеты, выполненные в [3], вызывает усиление несинусоидальности напряжения сети в два и более раза.

Кроме этого, емкость батареи и индуктивность сети образуют параллельные резонансные контуры на частоте какой-либо из высших гармоник, что приводит не только к перегрузке конденсаторных батарей (а порой и к выходу их из строя), а также к усилению за счет резонанса, несинусоидальности тока нагрузки и, как следствие этого, дополнительному увеличению несинусоидальности напряжения на шинах питания.

Все вышеперечисленное в конечном итоге еще больше уменьшает значение коэффициента  $\gamma_1$ , что приводит к дополнительной загрузке реактивной мощностью потребителя.

Как известно, мощность конденсаторной батареи для повышения коэффициента мощности со значения  $\cos \varphi_1$  до значения  $\cos \varphi_2$  определяется из выражения

$$Q_k = P_{cp}(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2). \quad (5)$$

Но поскольку подключение батареи вызывает дополнительное увеличение несинусоидальности напряжения и тока нагрузки, то повышать значение коэффициента мощности уже будет нужно не со значения  $\cos \varphi_1$ , а со значения коэффициента мощности, равного

$$\cos \varphi'_3 = \gamma'_1 \cdot \cos \varphi_1,$$

где  $\gamma'_1 < \gamma_1$  вследствие дополнительного искажения формы кривых напряжения и тока нагрузки батарей конденсаторов.

Следовательно,  $\cos \varphi'_3 < \cos \varphi_3 < \cos \varphi_1$ , а

$$\varphi'_3 > \varphi_3 > \varphi_1.$$

Таким образом, для того, чтобы получить значение коэффициента мощности, равное  $\cos \varphi_2$ , потребуется большая мощность батареи косинусных конденсаторов, нежели значение мощности, вычисляемое по формуле (5). Это новое значение реактивной мощности батарей будет определяться как

$$Q'_k = P_{cp}(\operatorname{tg} \varphi'_3 - \operatorname{tg} \varphi_2). \quad (6)$$

Итак, за счет несинусоидальности напряжения сети и дополнительного влияния емкости батареи на форму кривой тока нагрузки для получения заданного значения  $\cos \varphi_2$  потребуется дополнительная мощность батареи, равная

$$\Delta Q_k = Q'_k - Q_k = P_{cp}(\operatorname{tg} \varphi'_3 - \operatorname{tg} \varphi_1). \quad (7)$$

Отношение

$$\frac{\Delta Q_k}{Q_k} = \frac{\operatorname{tg} \varphi'_3 - \operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2} = \frac{\operatorname{tg}[\arccos(\gamma'_1 \cdot \cos \varphi_1)] - \operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2}. \quad (8)$$

характеризует снижение компенсирующей способности батарей косинусных конденсаторов и позволяет построить зависимость изменения

компенсирующего эффекта батарей при воздействии высших гармоник от коэффициента  $\gamma_1$ , который, в свою очередь, характеризует уровень несинусоидальности напряжения и тока. Измерения спектрального состава токов и напряжений в системе электроснабжения Западно-Сибирского металлургического завода, выполненные автором этой статьи, а также проведенные расчеты показывают, что в ряде случаев компенсирующая способность батарей косинусных конденсаторов снижалась более чем на 50%. Наблюдались также случаи отключения конденсаторных батарей от токовых перегрузок вследствие явлений резонанса.

### Выводы

1. Включение батарей косинусных конденсаторов на несинусоидальное напряжение приводит к дополнительному увеличению несинусоидальности кривых напряжений и токов сети. Это отрицательно сказывается на условиях работы не только батарей, но и других электроприемников.

2. При установке конденсаторов в сетях с высшими гармоническими компенсирующий эффект батарей оказывается ниже, чем при работе в сетях с синусоидальными токами и напряжениями. При решении вопросов компенсации реактивной мощности следует либо идти на увеличение установленной мощности батарей, либо принимать меры по уменьшению уровня гармоник. Решение этого вопроса лучше производить на основании технико-экономического расчета.

### ЛИТЕРАТУРА

1. И. В. Жежеленко, К. К. Шевцов. Проектирование установки батарей косинусных конденсаторов на подстанциях с источниками гармоник. «Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок». Тяжпромэлектропроект. М., 1970, № 9.

2. Л. Р. Нейман, П. Л. Калантаров. Теоретические основы электротехники. М., ГЭИ, 1959.

3. С. И. Гамазин, В. В. Черепанов. Влияние батарей статических конденсаторов на несинусоидальность напряжения в системах электроснабжения промышленных предприятий с источниками гармоник. Материалы конференции «Компенсация реактивных нагрузок в электрических сетях промпредприятий». М., МДНТП им. Дзержинского, 1972.

---