

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОНДЕНСАТОРНЫХ БАТАРЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассматривается один из способов повышения эффективности функционирования компенсирующих устройств за счет уменьшения влияния высших гармоник на электрооборудование. Снижение перегрузки конденсаторных батарей от высших гармоник тока и напряжения основано на изменении мощности самой конденсаторной установки в зависимости от спектрального состава тока и напряжения, параметров электрической сети и мощности нагрузки.

Ключевые слова: высшие гармоники, перегрузка, конденсаторные батареи, реактивная мощность, компенсация, электрическая сеть, нагрузка, качество электрической энергии.

EFFICIENCY INCREASING OF CONDENSER BATTERIES OPERATION IN MINING ENTERPRISE'S ELECTRIC CIRCUITS

This work contains the method of effective reactive power compensation at the expense of high harmonics reduction. The decrease of condenser batteries overloading from the high harmonics is based on variation of condenser power depending on current and voltage spectral structure, electric network parameters and load power.

Key words: high harmonics, overloading, condenser batteries, reactive power, compensation, electric network, load, power quality.

Компенсация реактивной мощности в настоящее время является немаловажным фактором, позволяющим решить вопрос энергосбережения и снижения нагрузок на электросеть. Наличие реактивной мощности является неблагоприятным фактором для сети в целом. В результате этого возникают дополнительные потери в проводниках, снижается пропускная способность распределительной сети, увеличивается падение напряжения в сети [2].

Для борьбы с этими явлениями выполняется компенсация реактивной мощности. Одним из основных источников реактивной мощности являются конденсаторные установки, которые имеют сравнительно низкую стоимость, малые потери энергии и могут быть установлены практически любой мощности в любой точке сети.

Дополнительной проблемой, тесно связанной с уровнем реактивной мощности, является наличие высших гармоник как следствие применения частотно-регулируемых приводов, нагрузок, управляемых тиристорами, и других нелинейных электроприемников. Наиболее уязвимым приемником относительно высших гармоник являются конденсаторные батареи (КБ), т.к. емкостное сопротивление с повышением частоты подводимого напряжения уменьшается. Поэтому задача компенсации реактивной мощности должна решаться в комплексе с одновременным улучшением качества потребляемой электрической энергии в сетях промышленных предприятий.

Работа КБ в условиях появления высших гармонических составляющих напря-

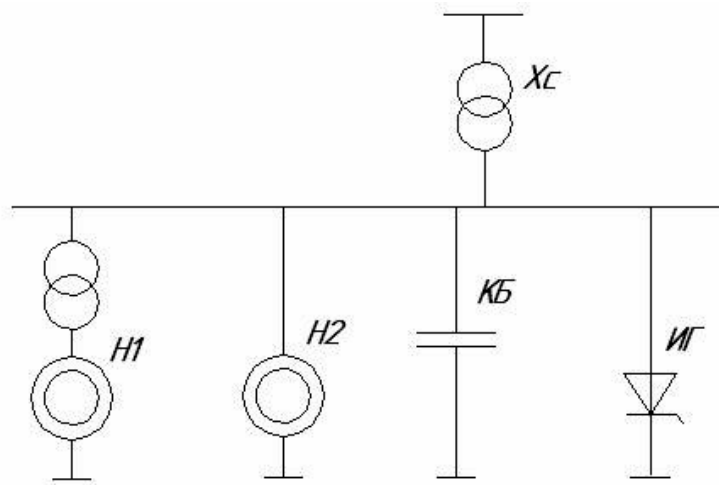


Рис.1. Однолинейная принципиальная схема сети

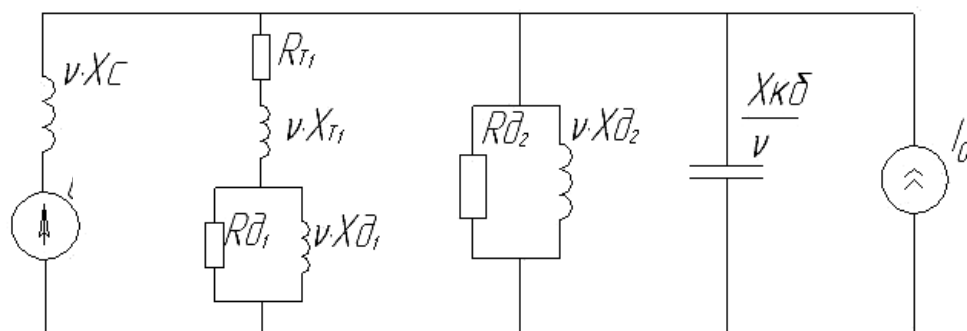


Рис.2. Схема замещения сети

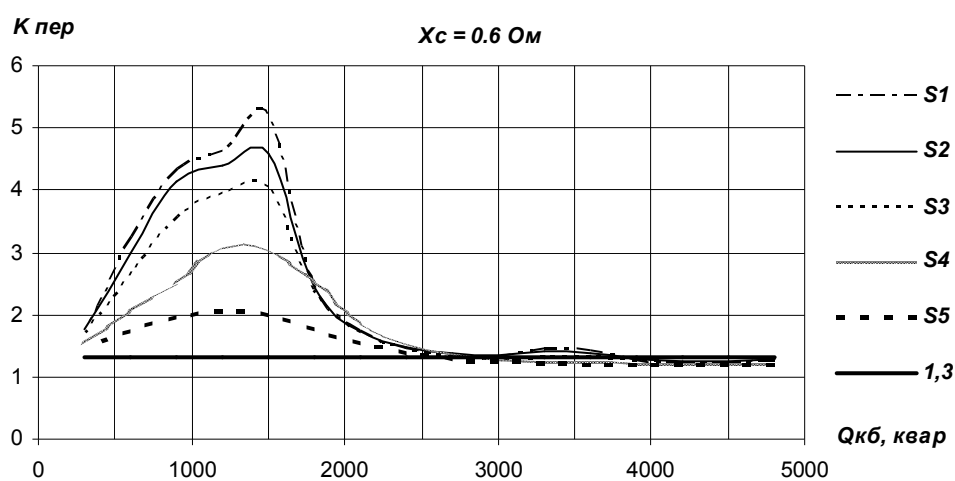


Рис. 3. Зависимость $K_{пер}$ от $Q_{кб}$ при $X_c = 0,6 \text{ Ом}$

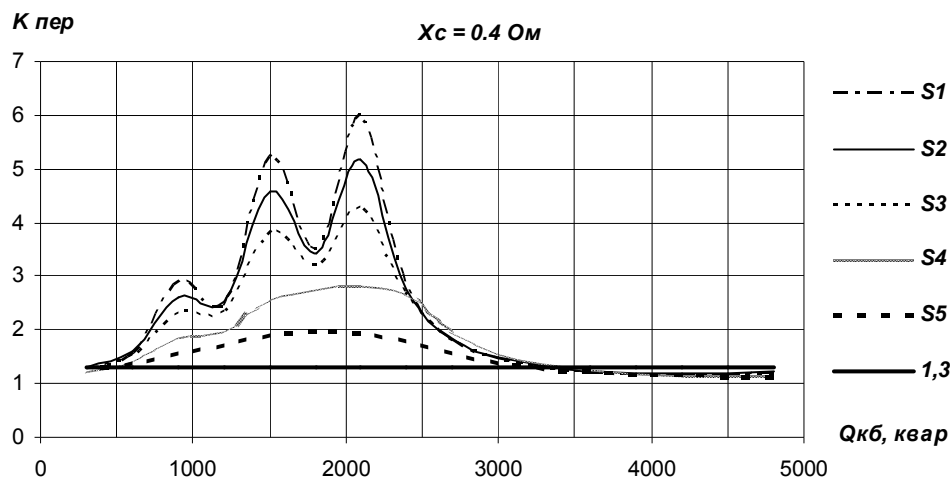


Рис.4. Зависимость $K_{пер}$ от $Q_{кб}$ при $X_c = 0,4 \text{ Ом}$

жения и тока значительно затрудняется, что приводит к неэффективной компенсации реактивной мощности. Возрастает количество отключений конденсаторных установок вследствие перегрузки их токами высших гармоник, увеличиваются потери мощности и напряжения, сокращается срок их службы. В этой связи очевидна необходимость разработки и реализации мероприятий по повышению эффективности функционирования батарей конденсаторов.

Уменьшения влияния высших гармоник на работу КБ можно достичь с помощью средств повышения качества электрической энергии, к которым относятся, прежде всего, фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ) [1] и активные фильтры. Для каждого порядка гармоник требуется отдельный силовой фильтр в составе ФКУ, настроенный на эту гармонику. Как правило, устанавливаются несколько фильтров, что приводит к увеличению стоимости оборудования. Активные фильтры основаны на применении силовых полупроводниковых систем, что также приводит к значительной стоимости оборудования.

Поэтому, учитывая критерий экономической эффективности, имеющий немаловажную роль в развитии и функционировании предприятий промышленности, исследования в работе направлены на снижение перегрузок КБ токами высших гармоник в первую очередь рациональным построением схемы электроснабжения.

В соответствии с техническими условиями эксплуатации батарей конденсаторов, принятых в большинстве европейских стран (в том числе и в России), коэффициент перегрузки конденсатора токами высших гармоник определяется величиной [3]:

$$K_{пер} = \frac{\sqrt{\sum_{v=1}^n I_v^2}}{I_{нб}} \leq 1,3,$$

где I_v — действующее значение тока v -й гармоники; $I_{нб}$ — номинальный ток конденсаторной батареи; n — порядковый номер последней из учитываемых гармоник.

Принципиальная схема электрической сети, характерная для предприятий горнодобывающей промышленности приведена на рис.1, где X_c — сопротивление системы, $H1$ — низковольтный асинхронный двигатель (АД), $H2$ — высоковольтный асинхронный двигатель, КБ — конденсаторная батарея, ИГ — источник высших гармоник.

Соответствующая принципиальная однофазная схема замещения электрической сети может быть представлена в виде, показанном на рис.2, где U_0 — фазное напряжение источника рассматриваемой сети; R_{H1}, R_{H2} — активные сопротивления АД; $v \cdot X_H, v \cdot X_C, X_{кб} / v$ — реактивные сопротивления на v -гармонике АД, системы и конденсаторной батареи соответственно; $R_{T1},$

$v \cdot X_{T1}$ – активное и реактивное сопротивление трансформатора на v -гармонике.

Для расчета данной схемы замещения используется метод наложения, при этом индуктивные сопротивления на v -й гармонике увеличиваются в v – раз, а емкостные – уменьшаются в v – раз. При расчете определяется коэффициент перегрузки КБ ($K_{пер}$) в функции мощности нагрузки ($P_{1,2,3,4,5}$), сопротивления системы (X_c) и величины компенсированной реактивной мощности ($Q_{кб}$). Параметры схемы приняты характерные для предприятий горной промышленности. Полная мощность нагрузки изменяется от P_1 до P_5 в сторону увеличения: $P_1 - P_{H1} = 1\text{МВт}$, $Q_{H1} = 0,7\text{Мвар}$, $P_{H2} = 0,75\text{МВт}$, $Q_{H2} = 0,5\text{Мвар}$; $P_2 - P_{H1} = 0,5\text{МВт}$, $Q_{H1} = 0,35\text{Мвар}$, $P_{H2} = 1,5\text{МВт}$, $Q_{H2} = 1\text{Мвар}$; $S_3 - P_{H1} = 1\text{МВт}$, $Q_{H1} = 0,7\text{Мвар}$, $P_{H2} = 1,5\text{МВт}$, $Q_{H2} = 1\text{Мвар}$; $P_4 - P_{H1} = 4\text{МВт}$, $Q_{H1} = 2,8\text{Мвар}$, $P_{H2} = 1,5\text{МВт}$, $Q_{H2} = 1\text{Мвар}$; $P_5 - P_{H1} = 1\text{МВт}$, $Q_{H1} = 0,7\text{Мвар}$, $P_{H2} = 6\text{МВт}$, $Q_{H2} = 4\text{Мвар}$. В результате получено семейство характеристик, представленное на рис.3, 4, где указана граница допустимой перегрузки КБ, равная 1,3.

Из графиков видно, что при определенном сочетании параметров нагрузки, сети и конденсаторных батарей можно обеспечить режим без перегрузок на конденсаторах. Причем, из результатов исследований следует, что далеко не все сочетания вышеуказанных параметров удовлетворяют условиям безопасной работы КБ.

Пики, полученные при построении указанных выше зависимостей, представляют собой не что иное, как резонанс на различных гармониках. Заметим, что при уменьшении сопротивления системы резонансов становится больше и, следовательно, возрастает ток, протекающий через КБ на этих гармониках.

Также, исходя из полученного семейства характеристик видно, что при уменьшении мощности нагрузки в электрической сети и

соответствующем изменении мощности конденсаторных установок возрастает перегрузка КБ высшими гармоническими составляющими тока.

На основании полученных зависимостей можно определить – в какой зоне мощностей конденсаторных установок их работа обеспечивается без перегрузок. Это справедливо как для нерегулируемых КБ, так и для регулируемых. В последнем случае, возможен выбор диапазона регулирования КБ, при котором не возникает перегрузка их токами высших гармоник.

Таким образом, проведенные расчеты показали, что с помощью рационального выбора мощности компенсирующих устройств в зависимости от параметров электрической сети, мощности нагрузки и спектрального состава тока и напряжения сети можно обеспечить режим работы КБ без перегрузок.

Разработанный метод выбора мощности КБ можно распространить на любую электрическую сеть с условием, что при переменном характере нагрузки выбранные ступени КБ будут работать без перегрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. М.: ЭНАС, 2009.
3. Правила устройства электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 2002.

REFERENCES

1. Zhezhelenko I.V. High harmonics in electrical power systems of industrial enterprises. Moscow: Energoatomizdat, 1986.
2. Zhelezko U.S. Electrical power losses. Reactive power. Electric power quality. Moscow: ENAS, 2009. 456 p.
3. Rules of the device electroinstallations, 7 edition. Moscow: Energoatomizdat, 2002.