Я.Э.ШКЛЯРСКИЙ, Д.А.СИТНИКОВ, А.Н.СКАМЬИН
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

УМЕНЬШЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассматривается один из способов подавления высших гармоник в электрических сетях промышленных предприятий. С учетом содержания в сети как индуктивных, так и емкостных элементов, предлагаемый способ основан на изменении амплитудно-частотной характеристики узла сети. Такое изменение возможно при подключении дополнительных реакторов, параметры которых определяются путем решения вариативной задачи. Предлагаемый способ является более экономичным по сравнению с применением фильтрокомпенсирующих устройств.

This work contains one of methods reduction high harmonics in electric networks of the industrial enterprises. Considering the maintenance of inductive and capasitor elements in a network the offered way is based on changing peak-frequency characteristic of network unit. Such changing is possible connecting additional reactors which parameters are defined by deciding various problems. The offered way is more economic in comparison with filter-compensating devices.

Цель аналитических исследований – выявление рациональных средств уменьшения влияния высших гармоник на работу наиболее уязвимых в этом отношении конденсаторных батарей (КБ).

Практически все конденсаторы для повышения коэффициента мощности, выпускаемые как отечественными, так и зарубежными производителями, допускают перегрузку по току до 1,3 от его номинального значения, в том числе и при наличии высших гармоник.

Основными источниками высших гармоник на горном предприятии могут быть трансформаторы, асинхронные и синхронные двигатели, сварочные и тяговые нагрузки. Отмечается, что уровень высших гармоник, создаваемых вентильными преобразователями, значительно выше всех остальных источников, которыми при расчетах несинусоидальных режимов можно пренебречь. Мощность вентильных преобразователей может достигать 10 МВА, что делает необходимым их учет в условиях достаточно мягких (мощность КЗ до 300 МВА) рудничных сетей.

Принципиальная схема электрической сети, характерная для предприятий горнодобывающей промышленности, приведена на рис.1, где Р – реактор (или сопротивление системы); Тр1, Тр2 – понижающие трансформаторы; С1, С2 – соответственно низковольтные и высоковольтные КБ; АД1, АД2 – низковольтные двигатели; АД3 – высоковольтный двигатель; ИГ – источник высших гармоник.

Схема замещения сети, соответствующая принципиальной, приведена на рис.2. В схему замещения включены активные составляющие нагрузки в виде сопротивлений $R_{Д1}$, $R_{Д2}$, $R_{Д3}$.

На рис.2 U_0 – фазное напряжение источника рассматриваемой сети; $R_{Тр1}$, $R_{Тр2}$, $R_{Д1}$, $R_{Д2}$, $R_{Д3}$ – активные сопротивления; $\nu X_{Р1}$, $\nu X_{Р2}$, $\nu X_{Тр1}$, $\nu X_{Тр2}$, $\nu X_{Д1}$, $\nu X_{Д2}$, $\nu X_{Д3}$, $X_{с1}/\nu$, $X_{с2}/\nu$ – реактивные сопротивления на ν-гармонике; $I_0(\nu)$ – составляющая тока ν-гармоник вентильных приводов.

При исследовании кратность токов высших гармоник в долях от тока основной гармоники для 5, 7, 11, 13 и 17 гармоник принята соответственно равной 0,2; 0,14;

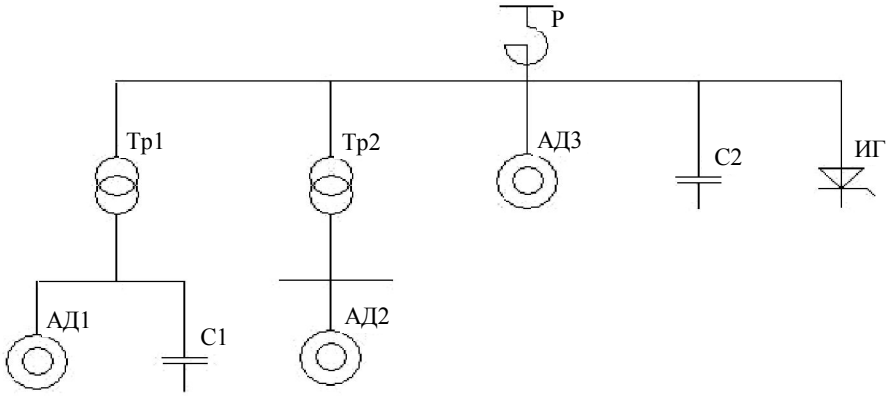


Рис.1. Однолинейная принципиальная схема сети

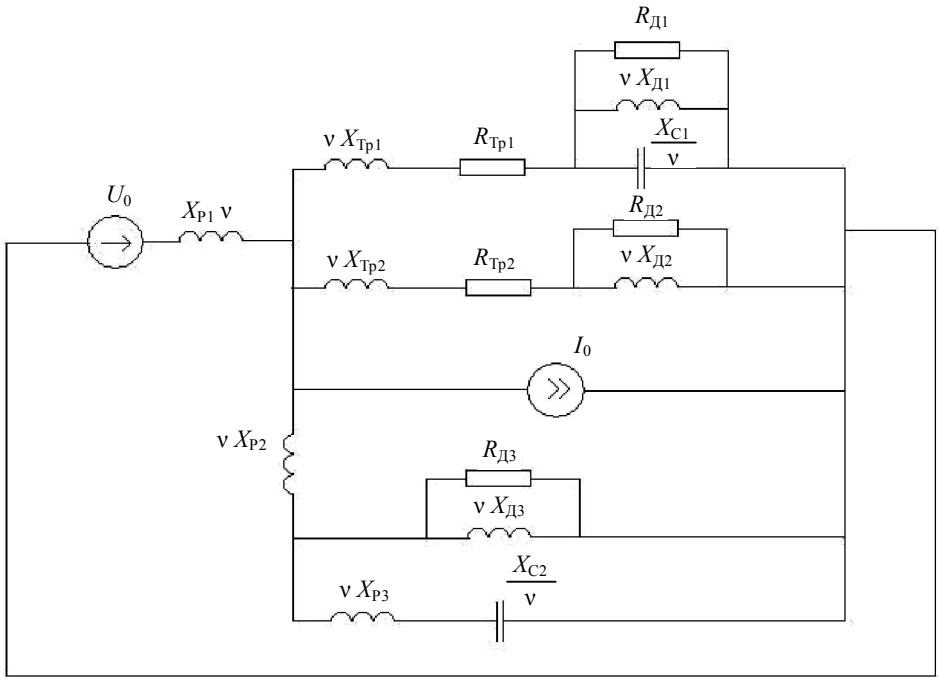


Рис.2. Схема замещения сети

0,1; 0,07; 0,06[*]. Расчет действующих значений токов через КБ производится по известному выражению:

$$I_n = \sqrt{\sum (I_n^{(i)})^2} ,$$

где $I_n^{(i)}$ – соответствующие токи ν-гармоники.

Очевидно, что если источник высших гармоник является нагрузкой предприятия, то для уменьшения влияния высших гармоник на работу электрооборудования (включая сопряженные предприятия, питающиеся от совместной сети), оптимально уменьшить сопротивление системы в питающей сети. Подчеркнем, что при этом уменьшаются составляющие высших гармоник в напряжении питающей сети.

Решение такой задачи является трудоемким, так как требует создания установки продольно-емкостной компенсации[**]. При-

[*] *Железко Ю.С.* Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. М.: Энергоатомиздат, 1985.

[**] *Шклярский Я.Э.* Управление потоками реактивной мощности на горных предприятиях. СПб: Изд-во СПбГТУ, 2002.

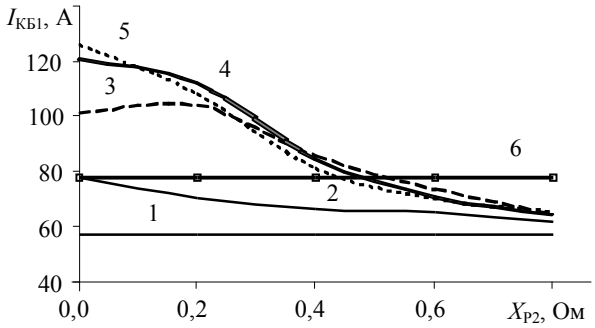


Рис.3. Зависимость $I_{КБ1}$ от $X_{Р2}$ при неизменном $X_{Р1}$ и отсутствии $X_{Р3}$

1 – $X_{Р1}$ = 0; 2 – $X_{Р1}$ = 0,2; 3 – $X_{Р1}$ = 0,4; 4 – $X_{Р1}$ = 0,6; 5 – $X_{Р1}$ = 0,8; 6 – Допустимое значение

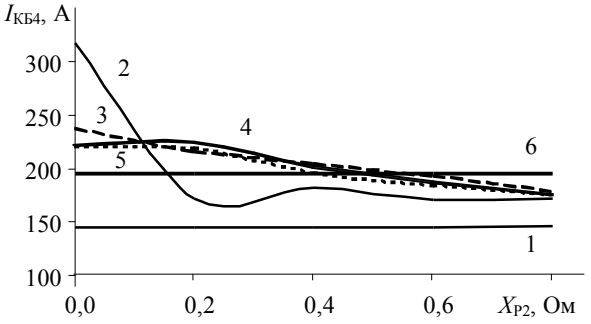


Рис.4. Зависимость $I_{КБ4}$ от $X_{Р2}$ при неизменном $X_{Р1}$ и отсутствии $X_{Р3}$

1 – $X_{Р1}$ = 0; 2 – $X_{Р1}$ = 0,2; 3 – $X_{Р1}$ = 0,4; 4 – $X_{Р1}$ = 0,6; 5 – $X_{Р1}$ = 0,8; 6 – Допустимое значение

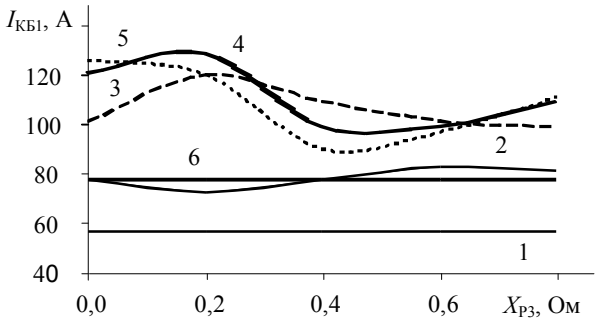


Рис.5. Зависимость $I_{КБ1}$ от $X_{Р3}$ при неизменном $X_{Р1}$ и отсутствии $X_{Р2}$

1 – $X_{Р1}$ = 0; 2 – $X_{Р1}$ = 0,2; 3 – $X_{Р1}$ = 0,4; 4 – $X_{Р1}$ = 0,6; 5 – $X_{Р1}$ = 0,8; 6 – Допустимое значение

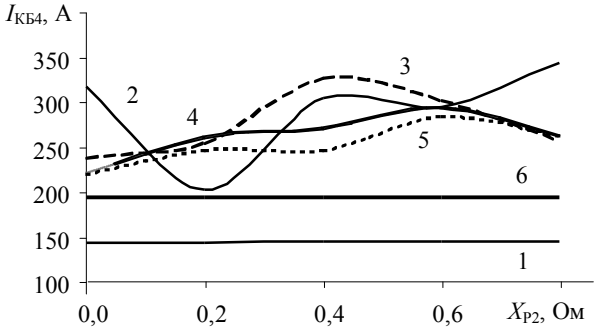


Рис.6. Зависимость $I_{КБ4}$ от $X_{Р3}$ при неизменном $X_{Р1}$ и отсутствии $X_{Р2}$

1 – $X_{Р1}$ = 0; 2 – $X_{Р1}$ = 0,2; 3 – $X_{Р1}$ = 0,4; 4 – $X_{Р1}$ = 0,6; 5 – $X_{Р1}$ = 0,8; 6 – Допустимое значение

менение фильтро-компенсирующих устройств (ФКУ) влечет за собой большие затраты, поскольку одно ФКУ ограничивает только определенную гармонику, а значит таких ФКУ необходимо включать несколько. Исходя из того, что в представленной схеме замещения присутствуют различного рода реактивные сопротивления, реально получить полюсы для различных гармоник путем включения дополнительных реакторов, что може уменьшить ток через КБ. Место включения реактора показано на рис.2.

Исходными данными для дальнейшего анализа приняты: $U_0 = 6/\sqrt{3}$ кВ; для первого и второго трансформаторов $U_{КЗ}$ = 300 В; $I_Н$ = 100 А; $P_{КЗ}$ = 11,2 кВт; для первого и второго двигателя $P_Д$ = 1000 кВт, $Q_{ДВ}$ = = 700 квар; для третьего двигателя $P_Д$ = = 1500 кВт, $Q_{ДВ}$ = 1000 квар; для КБ1 $Q_{ДВ}$ = = 600 квар; для КБ2 $Q_{ДВ}$ = 1500 квар; $I_Н$ = 500 А.

В результате расчетов, основанных на методах наложения и эквивалентирования схемы замещения, были получены зависимости токов через низковольтный ($I_{КБ1}$) и высоковольтный ($I_{КБ4}$) конденсаторы от величин $X_{Р1}$, $X_{Р2}$ и $X_{Р3}$. Графики действующих значений $I_{КБ1}$ и $I_{КБ4}$ приведены на рис.3-6.

На рис.3-6 обозначены границы допустимых значений $I_{КБ1}$ и $I_{КБ2}$, составляющих соответственно 78 и 195 А. Из полученных результатов расчета следует, что при определенном сочетании реактивных сопротивлений системы и добавочных реакторов ($X_{Р2}$ и $X_{Р3}$) можно добиться уменьшения токов конденсаторных батарей до их допустимого значения.

Вывод

При фиксированном сочетании электрической нагрузки, содержащей источники высших гармоник, можно подобрать такое сочетание дополнительных реакторов, которое позволит уменьшить до безопасных значений токи на конденсаторных батареях. Этот способ значительно экономичнее, чем применение фильтрокомпенсирующих устройств и установок продольноемкостной компенсации.