

УДК 621.311

КОРНЕЕВ А.С., студент гр. ЭПм-191 (КузГТУ)
ВОРОНИН В.А., старший преподаватель (КузГТУ)
г. Кемерово

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ
ВЫСШИХ ГАРМОНИК В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых №МК-236.2020.8 по теме «Исследование и разработка энергоэффективных схем электроснабжения выемочных участков угольных шахт с применением технологий интеллектуального управления потоками электроэнергии и мощности».

Промышленность горнодобывающего сектора относится к числу наиболее энергоёмких отраслей экономики. В данной отрасли основными электроприёмниками являются электроприводы постоянного и переменного тока, работающие от управляемых выпрямителей, частотных преобразователей [1], состоящих из полупроводниковых элементов преобразования электрических характеристик питания привода. Массовое внедрение силовых статических преобразователей в составе органов управления приводными механизмами установок привело к появлению новой проблемы в системах электроснабжения горнодобывающей промышленности. Большие объёмы нагрузки нелинейного характера создают проблему помехоэмиссии в сеть высших гармоник, как следствие, повышение несинусоидальной составляющей токов и напряжения высших гармоник.

Частотно регулируемый привод (ЧРП) получил широкое распространение в горной промышленности в связи с увеличением надёжности работы механизмов и устройств, упрощением регулировки и пуска двигателей и снижению расхода электроэнергии примерно на 15-20% [4].

Непосредственно работу в горной промышленности можно обобщенно разделить на три группы процессов: добычу полезных ископаемых, обогащение и транспортировку продукции. В данных группах производятся следующие процессы: вскрытие и перемещение пород, откачка сточных вод, механическое измельчение и обогащение, перемещение готовой продукции. Зачастую, техника, требующаяся для проведения перечисленных производственных процессов, включает в себя ЧРП. Примером такой тех-

ники является транспортеры и конвейеры, дозаторы и питатели, вентиляционные установки, дробилки, экскаваторы и т.д.

Как правило, наиболее распространённым методом нейтрализации высших гармонических составляющих тока и напряжения является использование фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ), состоящих из реактора и комплекта конденсаторов, настраиваемых на резонансную частоту определенной гармоники. Схема одной из цепочек ФКУ приведена на (рис. 1).

Как правило, наиболее распространённым методом нейтрализации высших гармонических составляющих тока и напряжения является использование фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ), состоящих из реактора и комплекта конденсаторов, настраиваемых на резонансную частоту определенной гармоники. Схема одной из цепочек ФКУ приведена на (рис. 1).

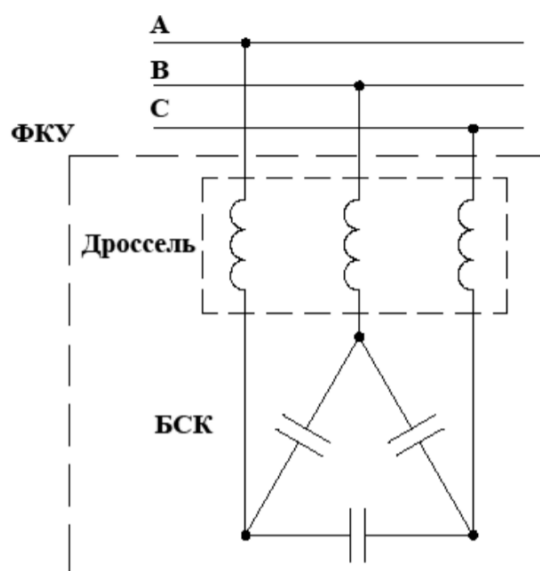


Рис.1. Принципиальная схема ФКУ

ФКУ можно подразделить на *пассивные* (ПФКУ) и *активные* (АФКУ). ПФКУ отличаются своей простотой и экономичностью. Низкая стоимость, простое обслуживание, подавления гармоник дополняется коррекцией коэффициента мощности. Однако, данные устройства являются статическими, что влечет за собой ряд проблем при их эксплуатации [2].

Основными недостатками ПФКУ являются:

1. Снижение эффективности при изменении гармонического состава токов и напряжений, а также при изменении параметров сети;
2. Возможность возникновения резонанса в параллельном колебательном контуре, образуемом фильтром и индуктивностью питающей сети, на частотах, близких к частотам высших гармоник;

3. Возможность возникновения перекомпенсации реактивной мощности при мощности потребителя ниже установленной, или, возникновения недокомпенсации при превышение установленной мощности потребителем.

Согласно проведенному в работе [3] моделированию функционирования привода скиповой подъемной установки с установленным пассивным фильтром и без него на диаграммах (рис. 2, а) активной мощности мы видим различие только в величине дополнительных потерь активной мощности в следствии эффективной компенсации гармоник тока и напряжения высших порядков. Наиболее эффективная компенсация гармоник и снижение добавочных потерь наблюдается во время торможения и разгона.

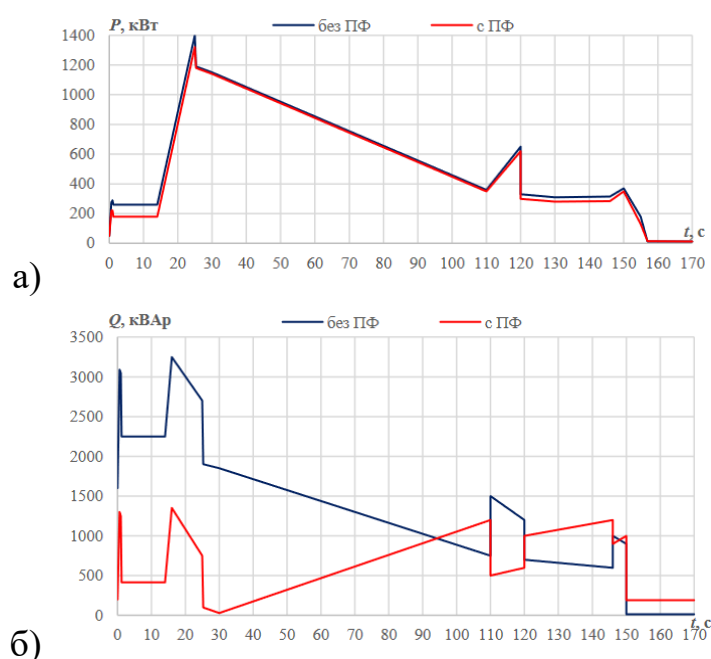


Рис. 2. Зависимость мощности от скорости движения скиповой подъемной установки при цикле «подъём-опускание»

Так же, на диаграмме (рис. 2, б) видно, что на некоторых участках цикла работы установки происходит перекомпенсация реактивной мощности. Причиной для этого является с снижение ниже установленной мощности доли активной мощности, потребляемой приводом, в момент неуравновешенного подъёма и остановки. Это подтверждает факт возможности создания пассивным фильтром режимов перекомпенсации или недокомпенсации реактивной мощности при изменении режима потребления активной мощности из сети.

Установка ПФКУ на прямую никак не влияет на основные характеристики работы привода горнодобывающей отрасли, в данном случае: скорость и плавность работы подъемной установки. Однако, снижает дополнительные потери активной мощности в элементах электроснабжения,

продлевает срок службы оборудования, уменьшает вероятность ложных срабатываний релейной защиты, а так же неконтролируемо изменяет объём реактивной мощности, что негативно влияет на баланс мощности в питающей сети.

Альтернативой способом компенсации высших гармоник является применение активных фильтрокомпенсирующих устройств (АФКУ). В отличие от пассивного, активное фильтрокомпенсирующее устройство может изменять свои параметры в зависимости от гармонического состава сети. Данный факт позволяет определить АКФУ как адаптивное устройство, параметры которых изменяются в зависимости от режима работы сети и характеристик нагрузки и, как следствие, избежать недостатков пассивных ФКУ, таких как. Фильтр может выполнять одновременно несколько функций: подавлять высшие гармоники, корректировать коэффициент мощности, уменьшать фликер и др.

Принцип действия АФКУ основан на генерации токов и напряжении диссонансных для токов и напряжении высших гармоник, тем самым, происходит компенсация искажения параметров питающей сети.

Силовая часть активного ФКУ представляет собой инвертор с последовательно включенным сглаживающим фильтром. На выходе инвертора формируется ток i_{ϕ} , изменяющийся по закону, задаваемому системой управления. В качестве коммутируемых элементов используются силовые МОП транзисторы или биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT)[5].

Основным узлом АКФУ, предопределяющим его характеристики в переходном и в установившемся режимах, является система формирования сигналов управления инвертором.

Порядок формирования управляющих сигналов включает в себя операции:

- 1) получения цифровых сигналов, пропорциональных несинусоидальному току нагрузки i_n и напряжению сети u_c ;
- 2) формирования компенсирующего сигнала;
- 3) формирования сигнала управления ключами инвертора.

Структурная схема показана на рис. 3.

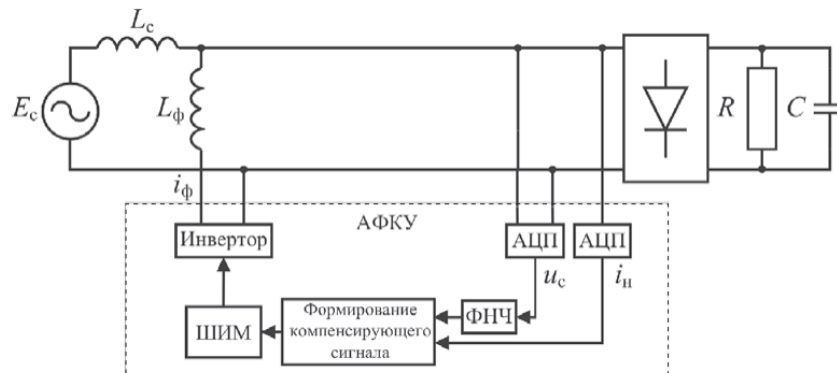


Рис. 3. Структурная схема активного ФКУ

ФКУ формирует сигнал управления системой, который спектрально совпадает с гармоническим составом несинусоидальных токов, эмитируемых от нелинейных электроприемников. В гармонический состав компенсирующего тока входят гармоники всех порядков, кроме основной гармоники тока.

Использование пассивных фильтрокомпенсирующих устройств в системе электроснабжения горнодобывающего предприятия позволяет компенсировать долю высокочастотных гармонических составляющих в токе и напряжении. Однако, в процессе использования ПФКУ, проявляются такие негативные явления, как снижение эффективности и нарушение баланса мощности при изменении параметров потребления и параметров сети, а также, возникновение резонанса параллельном колебательном контуре, образуемом фильтром и индуктивностью питающей сети.

С ростом энерговооруженности механизированных комплексов выемочных участков угольных шахт, а также с широким внедрением частотно-регулируемого электропривода горных машин становится актуальной проблема ограничения гармонических искажений в системах электроснабжения угольных шахт. В связи с резкопеременным характером работы горношахтного оборудования, частыми запусками и остановками, целесообразно использовать для ограничения высших гармоник управляемые ФКУ.

Список литературы:

1. Харлов Н.Н., Акимжанов Т.Б. Инструментальная оценка эффективности работы фильтрокомпенсирующих устройств в системах электроснабжения горнодобывающих предприятий // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 322, № 4. С.99-103.
2. Довгун В.П., Темербаев С.А. Адаптивные алгоритмы управления характеристиками активных фильтрокомпенсирующих устройств // Электричество. 2012. No11. С.32–38.
3. Прасол Д.А., Погорелов А.В. Анализ работы пассивных фильтров высших гармоник в рудничной системе электроснабжения подъемных установок // Научные технологии и инновации: Междунар. науч. – практ. конф., Белгород, 2019. Ч. 11. С. 39-43. [Электронный ресурс]. URL: http://conf.bstu.ru/material_conf/XXIII_nauchnye_chteniya (дата обращения 30.03.2021)
4. Стручаев И.В. Частотно-регулируемый привод в горной промышленности // Материалы VIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016021426> (дата обращения: 30.03.2021).

Информация об авторах:

Корнеев Антон Сергеевич, студент гр. ЭПм-191, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, korneevvas@kuzstu.ru

Воронин Вячеслав Андреевич, старший преподаватель, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28.