

ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК 621.316.94: 621.373.0142

Ю.П. Журавлев, Г.П. Корнилов, А.С. Карандаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА НА ШИНАХ 10 кВ ШИРОКОПОЛОСНОГО СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Необходимым условием нормального электроснабжения промышленного предприятия является надежное обеспечение его электроприемников электрической энергией в необходимом количестве и определенного качества, которое регламентируется ГОСТ 13109-97 [1]. При этом основное влияние на качество электроэнергии оказывают электроприемники с нелинейными вольтамперными характеристиками – тиристорные преобразовательные агрегаты, применяемые для питания мощных электроприводов постоянного тока.

Характерным примером являются системы электроснабжения листопрокатных цехов, где от одного источника питания осуществляется электроснабжение «спокойных» нагрузок (насосов гидросбива, вентиляторов и КТП) и клеток прокатного стана, имеющих электропривод по системе «тиристорный преобразователь – двигатель». Поэтому в распределительных сетях цеха наблюдаются колебания и отклонения напряжения, источниками которых являются тиристорные преобразователи (ТП). Кроме того, указанные агрегаты имеют невысокий коэффициент мощности, что вызывает дефицит реактивной мощности в системе.

Как известно, искажения питающего напряжения при работе ТП являются следствием коммутации вентилей, подключенных в соседние фазы, при котором происходит кратковременное короткое замыкание фаз. Форма и амплитуда искажений зависят от схемы выпрямления, мощности преобразователей и параметров питающей сети. Эти искажения имеют периодический характер, что позволяет проводить их гармонический анализ. Наиболее явно такие искажения проявляются в электропитающих сетях станов горячей прокатки, установленная мощность тиристорных электроприводов которых достигает сотен МВт.

Установленная мощность тиристорных ЭП стана 2000 горячей прокатки ЛПЦ-10 ОАО «ММК» превышает 140 мВт, а их энергетические характеристики далеки от оптимальных. В соответствии с техническим проектом для сети 10 кВ стана 2000 были предусмотрены 3 комплекта тиристорных компенсаторов реактивной мощности типа ТКРМ-20/10, каждый из которых содержит тиристорно-реакторную группу мощностью 20 Мвар, а также фильтры 5-й, 7-й, 11-й и 13-й гармоник мощностью по 6,3 Мвар каждый.

Суммарная мощность конденсаторных батарей для стана должна была составлять порядка 90 Мвар, что в соответствии с проектом обеспечивало бы:

- повышение коэффициента мощности ($\cos \varphi$) до уровня 0,93 – на шинах 10 кВ и 0,91 – на шинах 6 кВ;
- снижение колебаний напряжения в сети 10 кВ до $\delta U \leq 5,0\%$, а в сети 110 кВ – до величины $\delta U \leq 1,0\%$.
- уменьшение несинусоидальности напряжения на шинах 6–10 кВ до величины 4–5%.

Однако при вводе стана в эксплуатацию запроектированные фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ) на шинах 10 кВ, к которым подключены все главные приводы, не были установлены. Отсутствие ФКУ приводит к ухудшению гармонического состава тока и напряжения, увеличению потерь, что в условиях складывающегося дефицита электроэнергии является недопустимым. Дефицит реактивной мощности согласно расчетам превышает 120 Мвар, а несинусоидальность кривой напряжения составляет 16–18%.

С учетом изложенного представляет интерес оценка фактического гармонического состава тока, а также несинусоидальности напряжения на секциях 10 кВ стана 2000 с целью разработки мероприятий по их улучшению. Запись сигналов

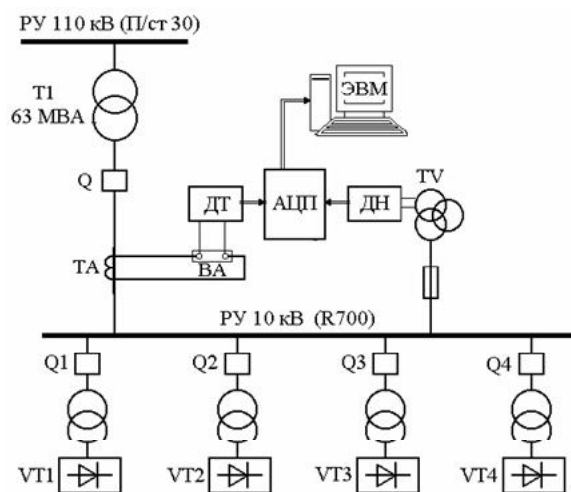


Рис. 1. Схема подключения прибора РЭС-3 для записи осциллограмм токов и напряжений

производилась с помощью регистратора электрических сигналов РЭС-3 с частотой дискретизации 4,5 кГц. Схема подключения прибора приведена на рис. 1. Последующая обработка сигналов осуществлялась в среде Matlab по специально разработанным программам.

На рис. 2 представлены осциллограммы токов и напряжений 1 секции РУ-10 кВ (R 700) ЛПЦ-10. Анализ осциллограмм показал отклонение формы токов и напряжений на всех секциях РУ-10 кВ от синусоидальных в результате преобладания нелинейной нагрузки.

С помощью спектроанализатора были определены наиболее значимые гармоники, присутствующие в кривой тока – это 5-я, 11-я и 13-я гармоники (рис. 3). Принцип работы спектроанализатора основан на быстром преобразовании Фурье исследуемого сигнала на заданном интер-

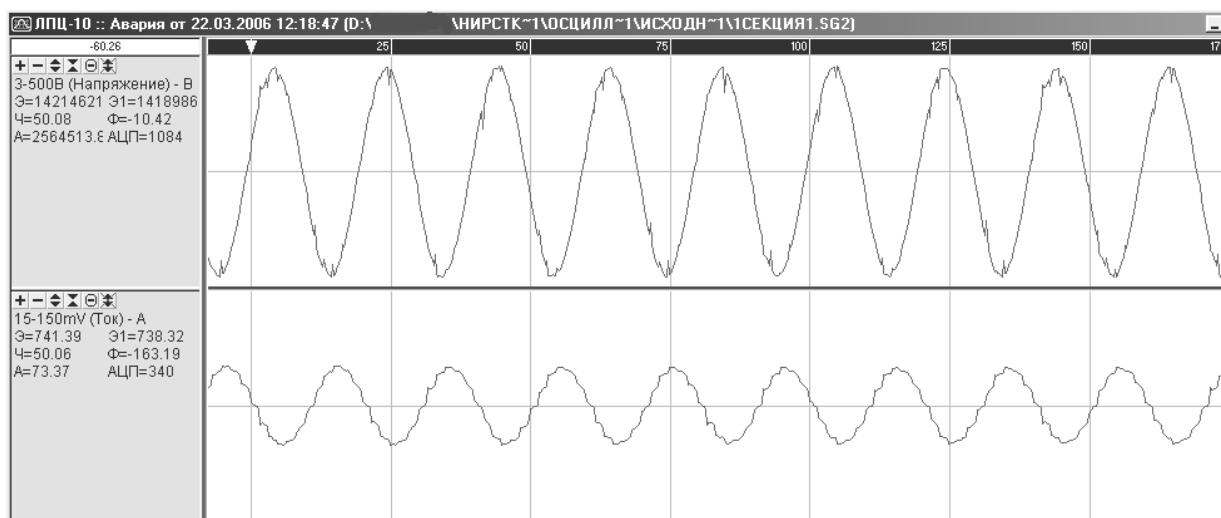


Рис. 2. Осциллограмма токов и напряжений 1 секции РУ-10 кВ ЛПЦ-10

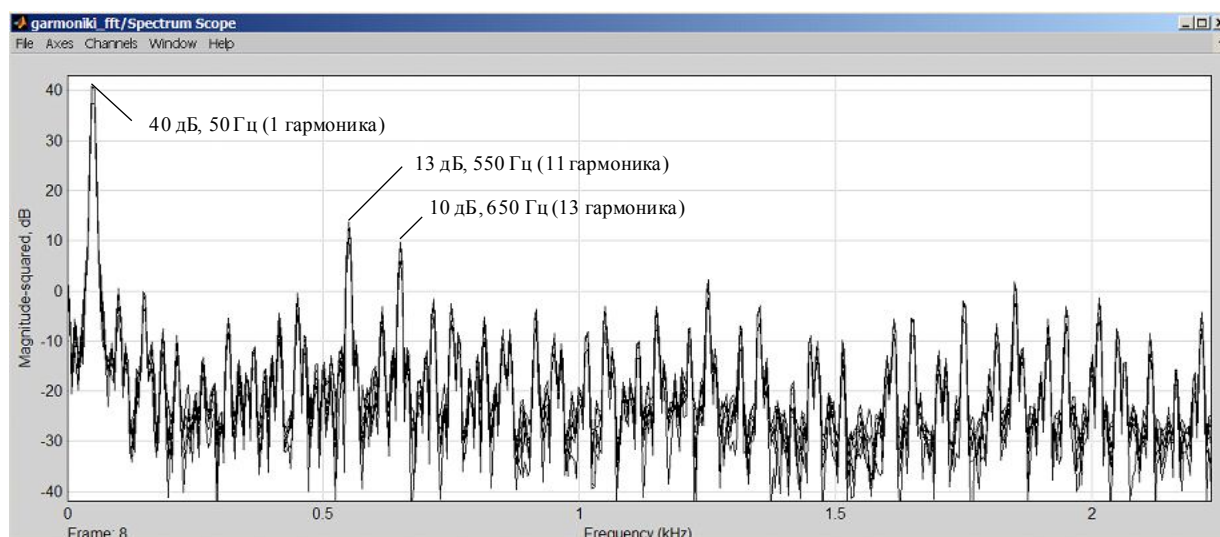


Рис. 3. Спектрограмма токов первой секции РУ-10 кВ

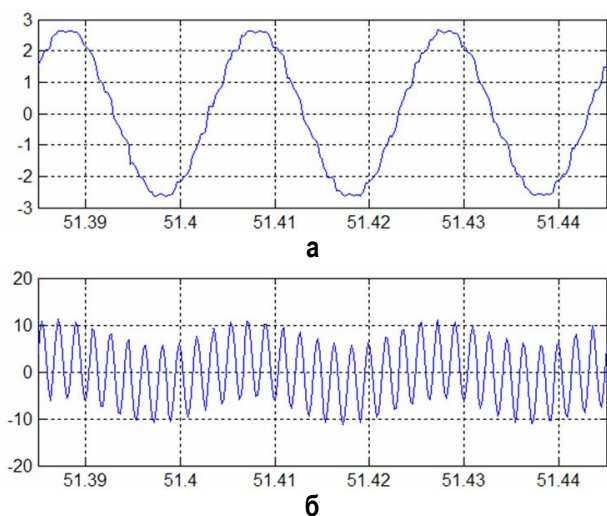


Рис. 4. Выделение высших гармонических из несинусоидального периодического сигнала:
а – исходный сигнал с частотой 50 Гц;
б – выделенная синусоида 11-й гармоники

вале, длительность которого составляет 10–15 периодов основной частоты. Использование наложения на исходный сигнал так называемого «окна Хана» позволяет ослабить краевой эффект, возникающий при неравенстве периода основной частоты периоду выборки.

Однако спектроанализатор позволяет лишь выделить наиболее значимые гармоники, но не дает возможности проследить их изменение с течением времени. Для решения этой задачи использовались резонансные фильтры, настроенные на частоту выделяемой гармоники, реализованные в среде Matlab Simulink [2].

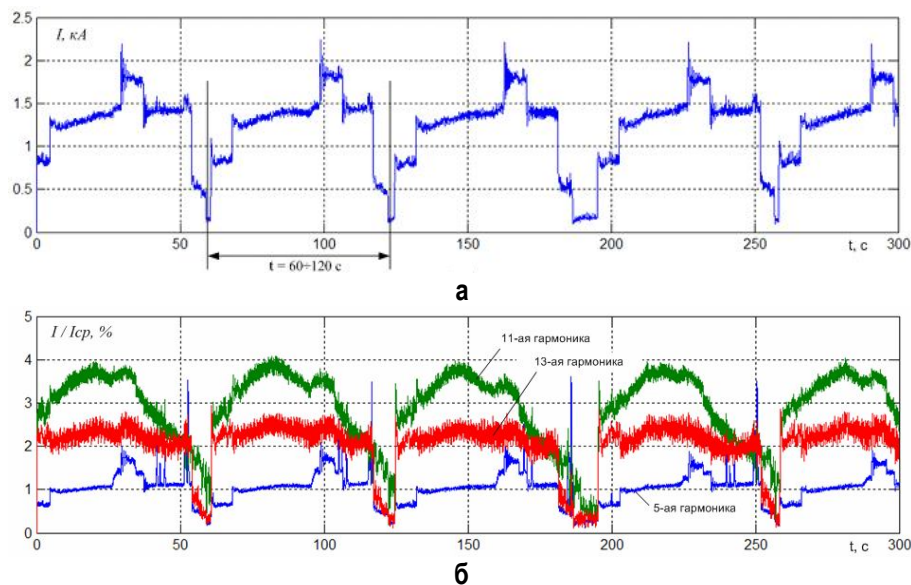


Рис. 5. Осциллограмма действующих значений тока (а) 1 секции РУ-10 кВ и его 5-й, 11-й и 13-й гармонических составляющих (б)

Работа фильтра по выделению 11-й гармоники иллюстрируется с помощью рис. 4.

На рис. 5, 6 приведены осциллограммы действующих значений тока (а) и его гармонических составляющих (б) на интервалах времени 5 мин и 1 мин для 1 секции РУ-10 кВ. Аналогичные осциллограммы получены для всех четырех секции РУ-10 кВ (секции 1, 2А, 2Б, 3).

Анализ осциллограмм, представленный в [3], позволил выделить следующие положения:

1. В кривых тока основной гармоники наблюдаются циклические изменения с периодом 50–100 с, определяемым технологическим циклом прокатки (меньшие значения – для 1–5 клетей, большие – для выходных клетей).

2. Характер изменения уровня высших гармонических в целом соответствует изменению тока основной гармоники. По всем секциям уровень 5-й гармоники не превышает 1%, 13-й – не более 2% и 11-й – не более 5%. Уровень 7-й гармоники – менее 1%, поэтому в процессе анализа она не исследовалась.

3. На секции №1 наблюдается явная зависимость между токами 5-й и основной гармоник, однако на некоторых участках диаграммы при сбросе нагрузки возникают выбросы токов 5-й гармоники. При этом на 11-ю и 13-ю гармоники эти набросы нагрузки не оказывают заметного влияния, поведение 11-й, 13-й гармоник отличается большей стабильностью и соответственно выбор и настройка фильтров могут быть произведены по средним значениям токов только этих гармоник.

На основании выполненных исследований предложена комбинированная система управления реактивной мощности и улучшения гармонического состава напряжения путем ступенчатого изменения емкости батарей конденсаторов в составе ФКУ и последующей плавной подстройки тока возбуждения крупных синхронных двигателей черновых клетей.

Перед включением в работу фильтр настраивают в резонанс напряжения изменением числа витков воздушного реактора. Фильтры включаются в сеть через ячейки КРУ и щитовые устройства последовательно в порядке возрастания номеров гармоник.

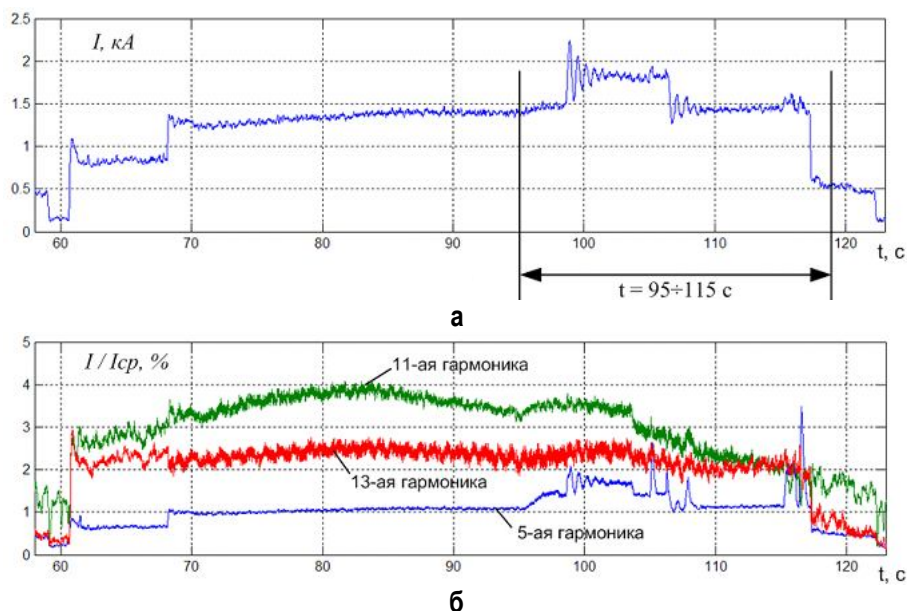


Рис. 6. Фрагмент осциллограммы действующих значений тока 1-й секции РУ-10 кВ (а) и его 5-й, 11-й и 13-й гармонических составляющих (б). Длительность записи 60 с

Вопросы, касающиеся управления реактивной мощностью (в том числе и тиристорных ключей), заслуживают отдельного рассмотрения.

Выводы

1. В результате осциллографирования токов и напряжений секций шин 10 кВ ЛПЦ-10 ОАО «ММК» показано существенное влияние резкопеременных нелинейных нагрузок на отклонения, колебания и несинусоидальность напряжения питающей сети. При этом существующие в

цехе компенсирующие устройства не позволяют в полной мере компенсировать реактивную мощность и регулировать уровень напряжения.

2. Для исследования гармонического состава тока и напряжения секций шин 10 кВ предложен оригинальный программно-технический комплекс, обеспечивающий запись и анализ мгновенных значений тока нагрузки и напряжения сети, выполненный на базе регистратора электрических сигналов РЭС-3 и персонального компьютера. В состав программного обеспечения входит пакет Matlab Simulink, который позволяет не только оценивать наличие высших гармонических составляющих, но также отслеживать динамику их изменения в процессе работы электроприемников.

3. Предложена комбинированная система компенсации реактивной мощности и улучшения гармонического состава напряжения путем ступенчатого изменения емкости батарей конденсаторов ФКУ и последующей плавной подстройки тока возбуждения синхронных двигателей черновых клетей стана.

Библиографический список

1. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Гультяев А. Визуальное моделирование в среде MATLAB: учебный курс. СПб.: Питер, 2001.
3. Разработка методов и устройств улучшения энергетических характеристик мощных тиристорных электроприводов в системе промышленного электроснабжения с применением статических компенсирующих устройств: Отчет по НИР / ГОУ ВПО «МГТУ»; Руководитель работы. А.С. Карандаев. № ГР 81100374. Магнитогорск, 2006.