



The state is shown the perspectives of using of forms of arc voltage and current for control of arc steel furnace.

А. И. РОЖКОВ, В. В. КОРОТКЕВИЧ, РУП «БМЗ»

УДК 669.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОРМ НАПРЯЖЕНИЯ ДУГИ И ТОКА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДСП

Несмотря на то что дуговая сталеплавильная печь питается синусоидальным напряжением, зависимости тока и напряжения дуги от времени сильно отличаются от синусоиды. Это объясняется нелинейностью вольтамперной характеристики электрической дуги. Долгое время их несинусоидальностью пренебрегали [1–3] либо считали, что напряжение дуги имеет прямоугольную или трапециевидную форму, что равносильно введению поправочного коэффициента [4]. И лишь достаточно недавно электрометаллурги начали заниматься исследованием формы дуги, а также поиском связи между ней и процессами, происходящими в печи [5].

Для анализа несинусоидальности напряжения дуги и тока используется метод гармонического анализа, состоящий в том, что несинусоидальная периодическая функция представляется в виде суммы основной гармоники (50 Гц), постоянной составляющей (постоянного напряжения или тока) и гармонических составляющих, частота которых кратна основной частоте (50*N*, где *N* — любое целое число от 2 и выше). Для этого используется стандартное электронное устройство, содержащее ряд электрических фильтров.

Как выяснилось, четные гармоники (100, 200, 400, 500, 600 Гц и т.д.) не несут никакой полезной информации. Из нечетных гармоник самыми информативными оказались седьмая (350 Гц) и девятая (450 Гц). Их исчезновение в конце плавки — это сигнал о выходе на жидкую ванну. Также выяснилось, что увеличение амплитуды высших гармоник при горении дуг на жидком металле является индикатором их раскрытия, т.е. превышения длины дуги над высотой вспененного шлака, сигналом к принятию соответствующих технологических решений по изменению длины дуги или толщины шлака.

Появление высших гармоник при работе с открытыми дугами, видимо, связано с изменением тепловых условий горения дуги, что сказывается на форме кривых напряжения и тока.

Подобный метод позволяет точно определить время начала или окончания очередной технологической операции: подвалки шихты, продувки металла и т.д., что можно использовать в качестве контролируемого параметра для разработки замкнутой системы управления электрическим режимом, что позволяет экономить от 7 до 11 % электроэнергии в ходе одной плавки [6].

На ДСП-3 РУП «Белорусский металлургический завод» была создана система автоматического управления, которая при уменьшении девятой гармоники ниже заданного параметра уменьшает напряжение трансформатора переключением его на одну ступень вниз. Это позволило снизить время под током и угар металла, увеличить производительность печи и выход годного.

На Златоустовском металлургическом заводе разработано и внедрено устройство контроля окисленности металла. Была выявлена линейная зависимость между постоянной составляющей напряжения дуги и содержанием FeO в шлаке [7].

Переход от аналоговой к микропроцессорной элементной базе позволил записывать данные о поведении всех высших гармоник на протяжении всех плавов и проводить статистический анализ зависимости гармонического состава токов и напряжений от всех периодов технологического цикла в любой необходимый момент времени [8].

Благодаря использованию системы слежения за уровнем закрытия дуги с помощью высших гармоник на заводе фирмы EWK в Виттене (Германия) удалось создать технологию выплавки под пенистым шлаком высокохромистых и коррозионностойких сталей. Это позволило снизить удельный расход электроэнергии (благодаря

сокращению продолжительности плавки), расход восстановителей, а также повысить степень извлечения хрома [9, 10].

Вместе с тем подобный метод содержит массу недостатков.

При разложении тока и напряжения дуги в ряд Фурье не учитываются фазы высших гармоник, что не полностью отражает картину происходящего. На рис. 1 показаны графики, на которых сплошной линией изображена первая гармоника, точками — третья, а пунктиром — суммарная кривая.

На рис. 1, а сдвиг по фазе между гармониками равен нулю, поэтому суммарная кривая имеет «двугорбый» вид с провалом в центре, на рис. 1, б сдвиг по фазе между гармониками равен 180° , поэтому результирующая кривая имеет провалы по бокам. На рис. 1, в рассмотрен промежуточный вариант, когда сдвиг по фазе между первой и третьей гармони-

ками больше нуля, но меньше 180° . Суммарная кривая имеет два различных по величине горба. Современные системы управления ДСП с помощью высших гармоник фиксируют только амплитуду, поэтому при различных формах напряжения дуги они будут выдавать одинаковый сигнал.

Может наблюдаться и противоположная картина. На рис. 2 показано изменение тока во времени при подключении активно-индуктивной цепи к источнику переменного напряжения. Как видно из рисунка, из-за переходных процессов «зарядки индуктивности» в течение нескольких периодов ток отличается от синусоидального. Разложение каждого полупериода в ряд Фурье даст постоянную составляющую, которая говорит об окисленности шлака, и ряд высших гармоник, которые можно интерпретировать по-разному.

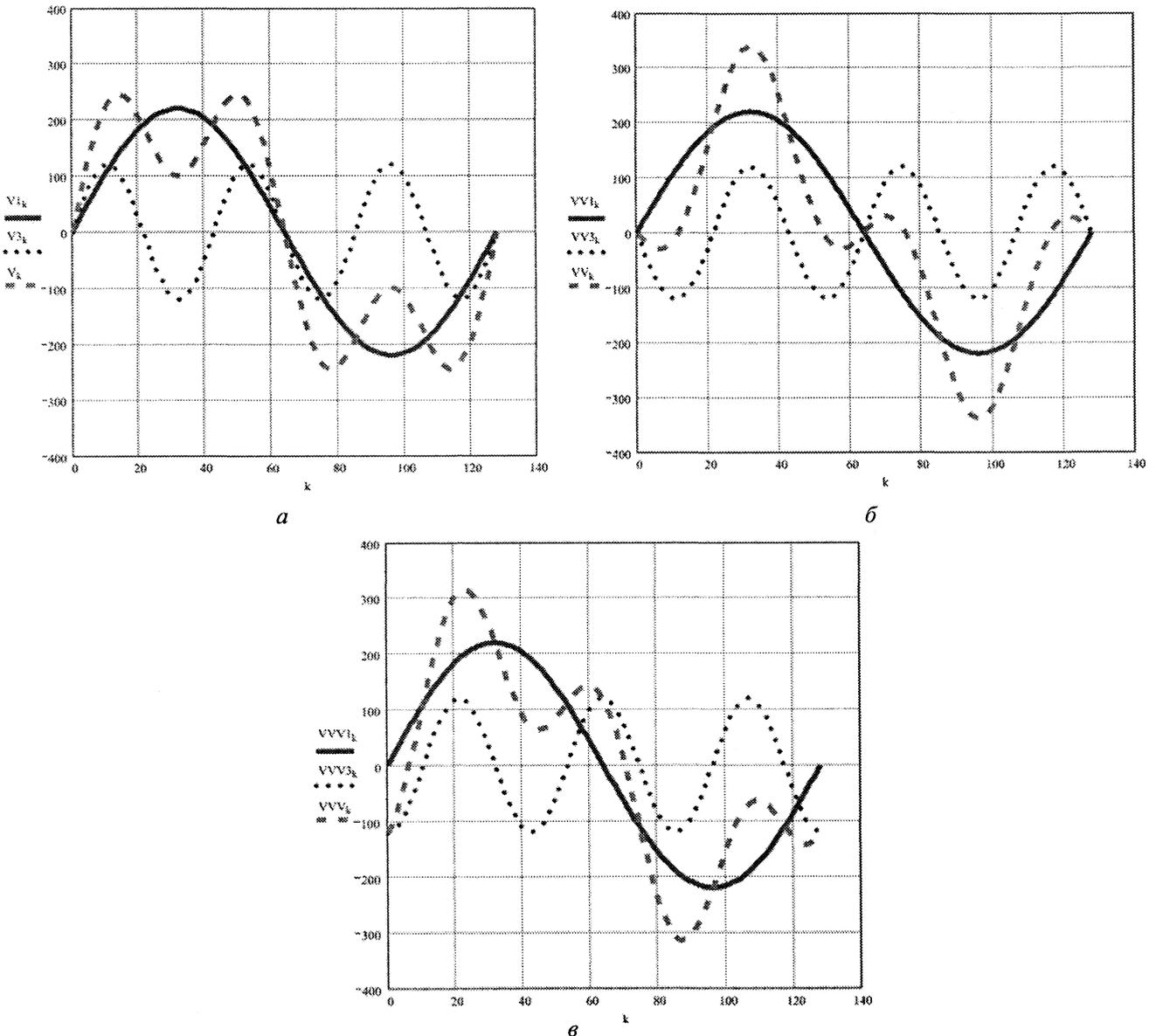


Рис. 1. Зависимость формы напряжения дуги от фазы третьей гармоники

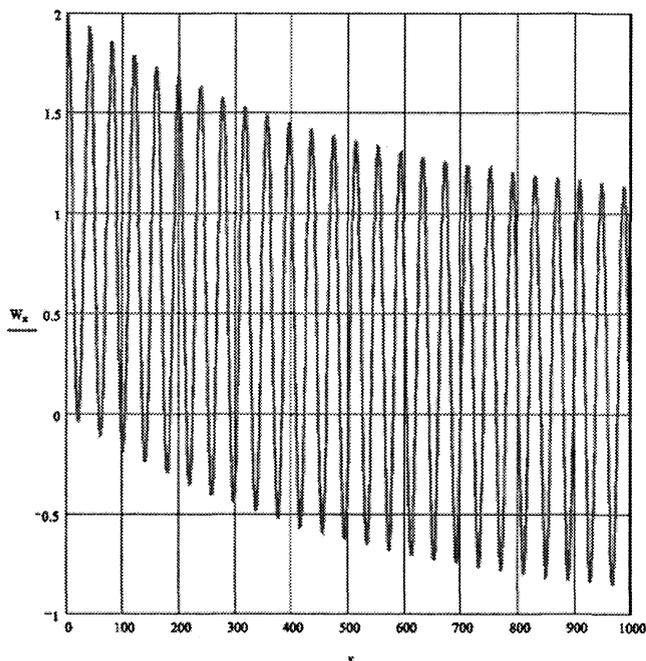


Рис. 2. Форма тока при подключении активно-индуктивной нагрузки

Для расчета постоянной составляющей напряжения дуги необходимо подключить провода к электродам и корпусу печи, что вызывает целый ряд электротехнических проблем.

Зависимость напряжения дуги от времени показана на рис. 3. Из-за разного химического состава электрода и шихты в положительный полупериод напряжение достигает большей амплитуды, чем в отрицательный. В нашем случае это +675 и -440 В. Но из-за кратковременности этих пиков разложение в ряд Фурье дает постоянную составляющую всего в несколько вольт, которую очень сложно отфильтровать и измерить.

Если при аналоговой элементной базе возможен только такой анализ форм напряжения и тока, то микропроцессорная техника позволяет расширить возможности и ликвидировать перечисленные выше недостатки. Зависимости тока и напряжения от времени есть ни что иное, как проекция вольтамперной характеристики (ВАХ) на ось времени. Верхняя положительная точка ВАХ характеризует работу выхода электрона с графитового электрода, нижняя крайняя точка — работу выхода электрода из шихты. Сравнивая эти две точки, можно получать некоторую информацию о химическом составе шихты. Конечно, точность такой информации по сравнению с химической пробой невелика, но это можно делать оперативно и непрерывно, что важно для различных прогнозов и динамических моделей печи.

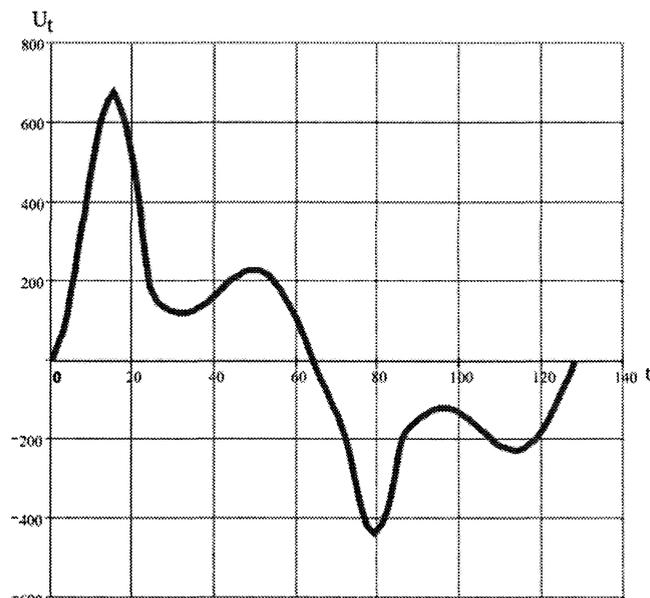


Рис. 3. Изменение напряжения дуги за период

Таким образом, анализ формы ВАХ, а не зависимостей тока и напряжения от времени позволит не только ликвидировать недостатки существующих систем, но отслеживать изменение химического состава шихты и рассчитывать мощность излучения дуг.

Литература

1. Егоров А.В. Электроплавильные печи черной металлургии. М.: Металлургия, 1985.
2. Сисоян Г.А. Электрическая дуга в электрической печи. М.: Металлургия, 1974.
3. Андрианова А.Я., Эдемский В.М. О свойствах электрических цепей с дугами и вопросы управления ДСП // Электротехнология. 2002. № 10. С. 29–32.
4. Ридингер Д., Бок М. Измерение мощности на первичной и вторичной сторонах трехфазных дуговых печей // Черные металлы. 2002. № 8. С. 24–29.
5. Матросов А.П., Миронов Ю.М. Компьютерное моделирование процессов в электрических цепях дуговых печей // Электротехнология. 2006. №6. С. 27–32.
6. Волкодаев А.Н., Евсеева Н.В., Токовой О.К. Использование амплитуд высших гармоник в напряжении дуги высокоомной дуговой печи для управления энерготехнологическим процессом // Сталь. 2000. №2. С. 24–27.
7. Свиридов С.Б. и др. Использование устройства непрерывного контроля окисленности шлака при выплавке электростали // Сталь. 1997. № 10. С. 32–33.
8. Зацепин Е.П., Ладанов А.С., Захаров К.Д. Информационно-измерительный комплекс для дуговых сталеплавильных печей // Сталь. 2004. №3. С. 23–24.
9. Крюгер К., Хомайер К., Бандуш Л. Система обнаружения и управления образованием пенного шлака в электродуговых печах переменного тока // Черные металлы. 2005. № 2. С. 19–23.
10. Мерц М., Пипер Т., Штейн В. и др. Новые данные по использованию пенного шлака при выплавке высокохромистых сталей // Черные металлы. 2006. № 6. С. 46–49.