

ЕЛЕКТРОТЕХНИКА ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

УДК 669.18:621.31

Гаврилов. Ф.А.¹, Цибуля В.В.²

ВЛИЯНИЕ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ МАЛЫХ ОБЪЕМОВ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В статье приведены результаты измерений показателей качества электроэнергии в сети, питающей ЭДСП объемом 25 тонн. Получены результаты о виде случайного процесса и законов распределения уровней показателей качества, автокорреляционных функций.

Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь, качество электроэнергии, колебания напряжения, несинусоидальность напряжения, закон распределения, корреляционная функция.

Гаврилов Ф.А., Цибуля В.В. Вплив дугових сталеплавильних печей малих обсягів на роботу електроустаткування. У статті наведені результати вимірів показників якості електроенергії в мережі, живлячою ЕДСП обсягом 25 тон. Отримані результати про вигляд випадкового процесу і законів розподілу рівнів показників якості, автокореляційних функцій.

Ключові слова: дугова сталеплавильна піч, якість електроенергії, коливання напруги, несинусоїдальність напруги, закон розподілу, кореляційна функція.

Gavrilov F.A., Cybulya V.V. Influence of arc steel-smelting furnaces of small volumes on electric equipment work. In article results of measurements of indicators of quality of the electric power in a network feeding ASF in volume of 25mt are presented. Results were obtained, regarding a type of a random and laws of distribution of levels of indicators of quality, autocorrelation functions were summarized.

Keywords: the arc steel-smelting furnace, quality of the electric power, pressure fluctuation, non-sinusoidal pressure, the distribution law, correlation function.

Постановка проблемы. Одной из важнейших задач развития электроэнергетики является проблема обеспечения электромагнитной совместимости систем электроснабжения. Дуговая сталеплавильная печь является мощным электроприемником с резкопеременным режимом работы. Отклонения от энергосберегающих режимов ДСП приводит к существенным потерям электроэнергии, и может вызвать нарушение условий электромагнитной совместимости в системе электроснабжения.

Анализ последних исследований и публикаций. Влияние нагрузки ДСП на систему электроснабжения исследованы в научных работах известных отечественных и зарубежных ученых. Весомый вклад в решение этой проблемы внесли Ю.Г. Барыбин, Г.Я. Вагин, А.А. Ермаков, И.В. Жежеленко, Ю.С. Железко, В.С. Иванов, И.И. Карташев, Н.А. Мельников, Р.В. Минеев, Ю.М. Миронов, Ю.Л. Рыжнева, М.Я. Смелянского, П. Боджера, Д. Брэдли, G. Dixon, C. Gilke, J. Lemmenmeier, и др..

Показатели качества электроэнергии, определяющие условия обеспечения электромагнитной совместимости дуговой сталеплавильной печи, как источников электромагнитных помех, регламентируются требованиями ГОСТ 13109-97. Наиболее важные из них:

- нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения на выводах приемников электрической энергии,
- несинусоидальность напряжения за счет появления высших гармоник тока и напряже-

¹ к-т тех. наук, доцент, Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

² аспирантка, Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

ния, генерируемых ДСП вследствие нелинейности вольт-амперной характеристики дуги, - колебания напряжения (размахи изменения напряжения), определяемые рабочими токами и токами эксплуатационных коротких замыканиях ДСП.

Цель статьи – на основе измерений проверить аналогичность влияния ДСП-25 на систему электроснабжения печей большого объема.

Изложение основного материала. Металлургические предприятия являются крупными потребителями электроэнергии. Рост потребления электроэнергии определяется увеличением производства электростали за счет применения современных энергетических установок, наиболее мощными из которых являются дуговые сталеплавильные печи (ДСП). Увеличение доли производства стали в ДСП определяется рядом причин, в том числе тем, что ДСП могут выплавлять любые марки стали, включая высококачественные, специальные, а процесс ведения плавки поддается высокой степени автоматизации.

ДСП является электроприемником с резкопеременным характером нагрузки, оказывающей специфическое влияние на качество электрической энергии в питающей сети.

Для анализа влияния печи ДСП на работу электрооборудования на шинах 6 кВ подстанции питающей ДСП-25 произведены измерения следующих показателей качества электроэнергии (ПКЭ): кратковременная доза фликера P_{st} ; коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения k_U ; коэффициенты отдельных гармонических составляющих $k_{U(n)}$ при $n = 1-11$ и 13; коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности k_{2U} .

При сравнении полученных значений ПКЭ с ГОСТом 13109-97 таб.1 за допустимые границы выходят следующие ПКЭ: кратковременная доза фликера P_{st} находится в диапазоне 0...23 при допустимом значении 1,38; коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения k_U составил 7,4% при допустимом значении 5%; превышены допустимые значения коэффициентов отдельных гармонических составляющих $k_{U(n)}$ – для уровней 2, 3, 4, 6, 8, 9 и 10 гармоник.

Таблица 1

Оценка показателей качества электроэнергии

ПКЭ	НДЗ согласно ГОСТ 13109-97	Максимальные значения		
		AB	BC	CA
$k_{2U}, \%$	4,0	7,47		
P_{st}	1,38	19,2	23	18,5
$k_U, \%$	5,0	7,4	7,0	6,8
$k_{U(2)}, \%$	1,5	3,8	4,2	3,8
$k_{U(3)}, \%$	3,0	5,7	5,7	5,1
$k_{U(4)}, \%$	0,7	2,4	2,4	2,6
$k_{U(5)}, \%$	4,0	3,4	3,0	3,1
$k_{U(6)}, \%$	0,3	1,8	1,6	1,7
$k_{U(7)}, \%$	3,0	1,9	1,9	1,6
$k_{U(8)}, \%$	0,3	1,5	1,3	1,5
$k_{U(9)}, \%$	1,0	1,4	1,2	1,3
$k_{U(10)}, \%$	0,3	1,3	1,0	1,2
$k_{U(11)}, \%$	2,0	1,23	0,99	1,11
$k_{U(13)}, \%$	2,0	0,94	0,84	0,84

Поскольку процессы, происходящие в ДСП, носят случайный характер, то использовали

вероятностно-статистическую обработку данных, которая включает в себя анализ суточных графиков изменений ПКЭ, построение гистограмм с целью выявления соответствующих законов распределения и расчета их показателей – числовых характеристик: математического ожидания M_x и среднеквадратического отклонения σ .

Построен суточный график изменения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения $k_U, \%$ (рис.1). Превышение нормально допустимого значения 5% имеет место около 25 мин в начале каждого цикла работы печи.

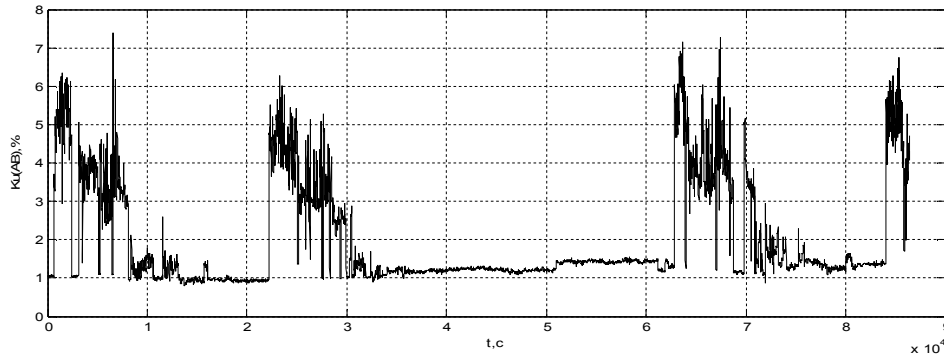


Рис. 1 – Суточный график изменения коэффициента искажения синусоидальности k_U напряжения АВ

Из графиков изменений коэффициентов гармонических составляющих напряжения $k_{U(n)}$ видно, что по форме они идентичны графику коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения k_U .

Из суточных графиков ПКЭ следует наличие 3х циклов работы печи ДСП. Длительность одного цикла работы печи около 4,5 часов. Построен график изменения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения $k_{U(n)}, \%$ соответствующий циклу работы ДСП (рис. 2).

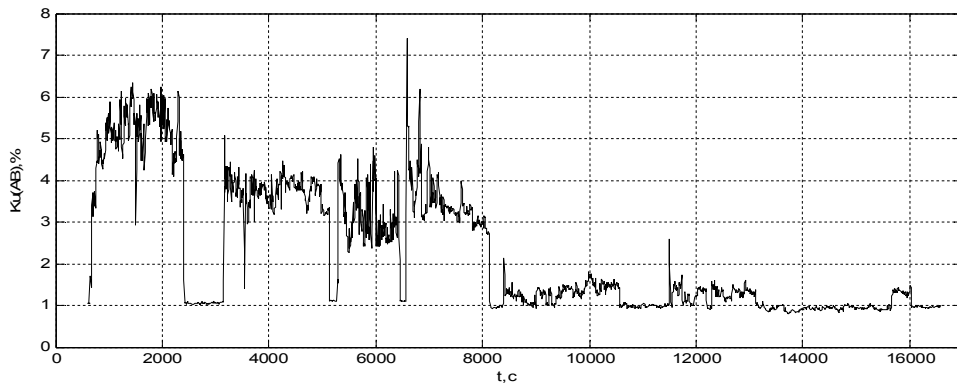


Рис. 2 – График изменения коэффициента искажения синусоидальности k_U напряжения АВ за цикл работы ДСП

Основной характеристикой изменений нагрузки, необходимой для оценки нагрева токоведущих частей, является корреляционная функция.

В результате анализа получены автокорреляционные функции (рис. 3) относящиеся к экспоненциально- косинусному виду и описывается выражением:

$$k(\tau) = e^{-\alpha\tau} \cos \omega_0\tau, \quad (1)$$

где α - коэффициент затухания ω_0 - частота колебаний.

Исследования показали, что автокорреляционные функции, соответствующие периоду расплавления, периоду окисления, периоду восстановления, с течением времени затухают. Затухание «хвоста» функции подтверждает математическое условие эргодичности.

Свойство эргодичности позволяет определять статистические характеристики по одной

реализации.

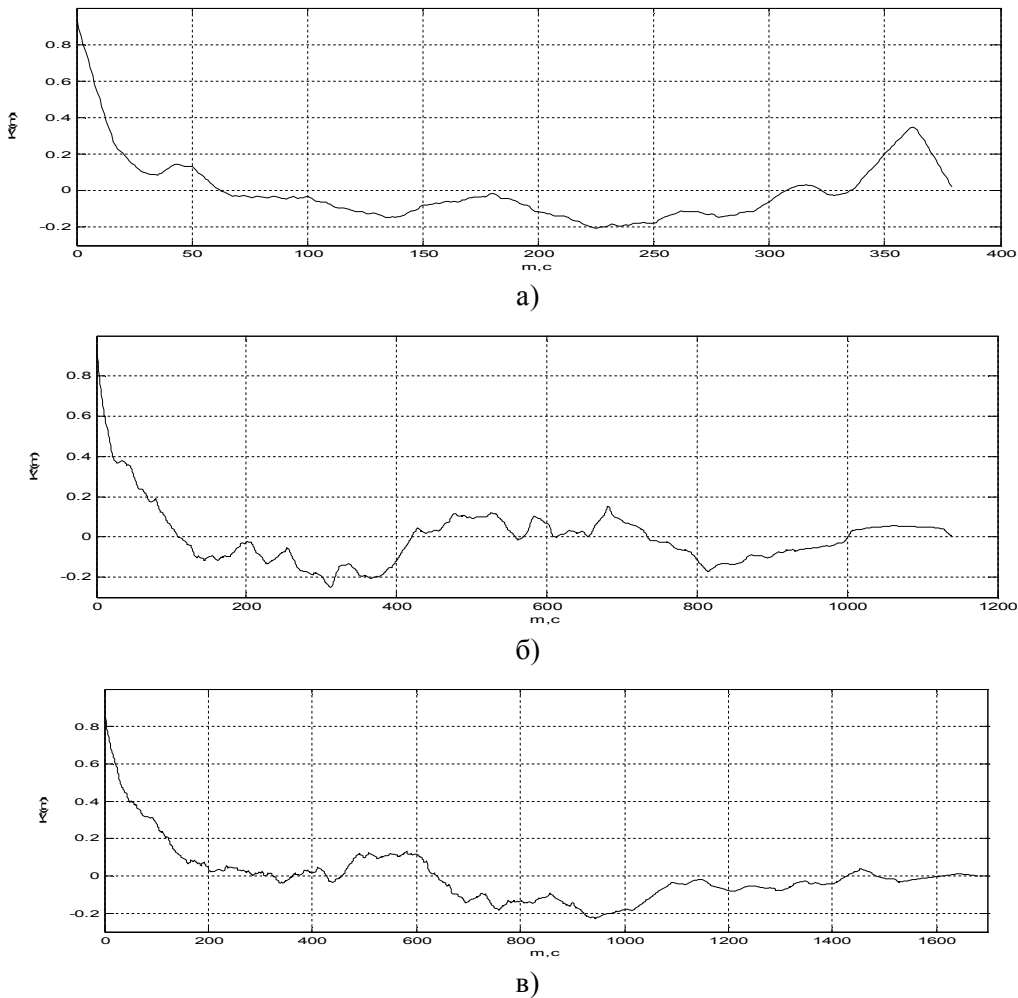


Рис. 3 – Нормированные автокорреляционные функции участков стационарности графика изменения коэффициента искажения синусоидальности k_U напряжения АВ соответствующие трем стадиям работы ДСП: периоду расплавления (а), периоду окисления (б), и (в) периоду восстановления (рафинирования)

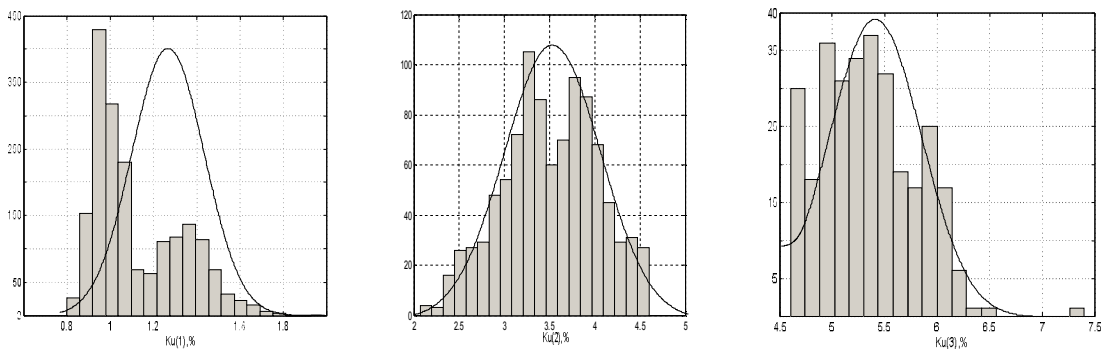


Рис. 4 – Аппроксимация гистограммы изменения коэффициента искажения синусоидальности k_U напряжения АВ по трем стадиям работы ДСП: период расплавления (k_{U_3}), период окисления (k_{U_2}) и период восстановления (рафинирования) (k_{U_1})

Анализ гистограмм указывает на сложный закон распределения суточных графиков изменений напряжения и ПКЭ. Объясняется это нестационарным характером изменений соответствующих графиков во времени. Нестационарность непосредственно связана с режимом работы ДСП. Не-

стационарный график изменения напряжения и ПКЭ может быть разбит на участки стационарности, соответствующие трем стадиям работы ДСП: периоду расплавления, периоду окисления и периоду восстановления (рис. 4).

Установлено по критерию Колмогорова, что на отдельных участках стационарности законы распределения графика изменений исследуемых ПКЭ соответствуют нормальному. Таким образом, закон распределения суточных графиков изменений ПКЭ представляется совокупностью трех нормальных законов распределения (рис. 5).

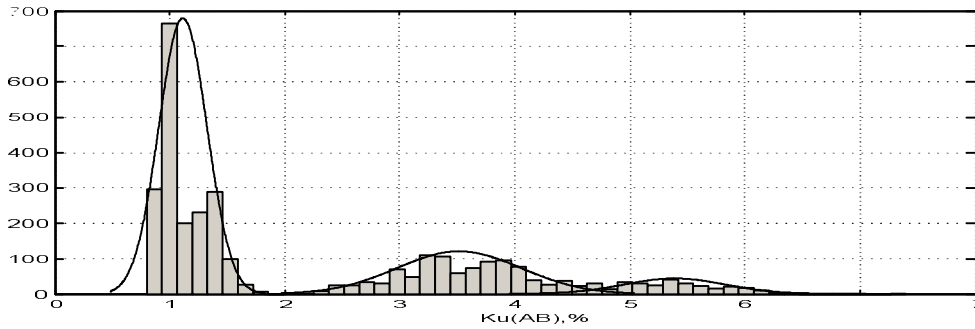
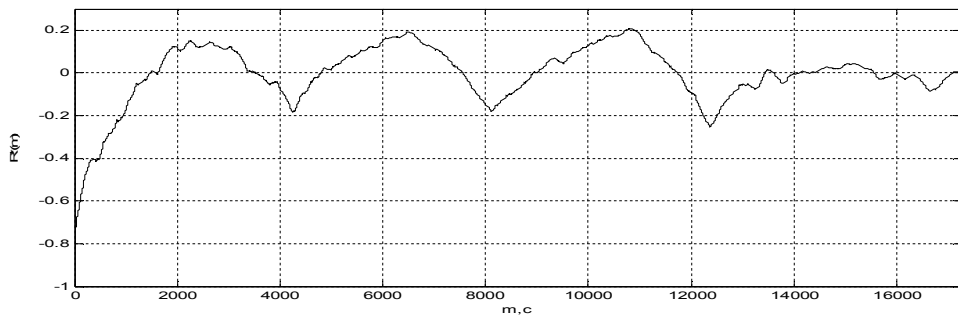
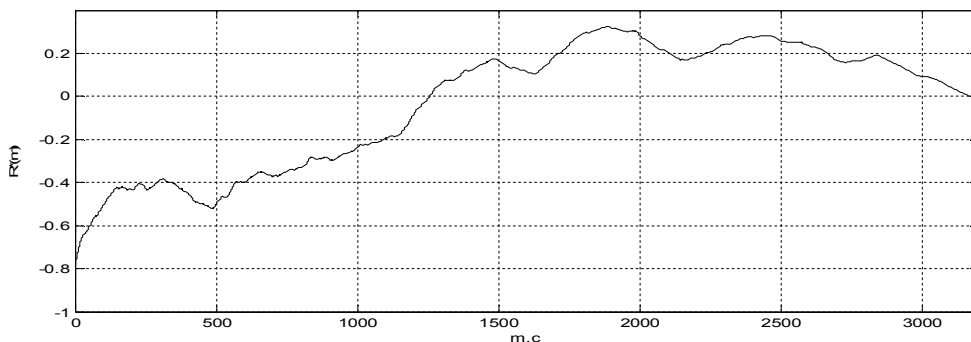


Рис. 5 – Аппроксимация гистограммы изменения коэффициента искажения синусоидальности k_U напряжения АВ соответствующая циклу работы ДСП

Рассмотрены корреляционные связи между уровнем напряжения и другими ПКЭ (рис. 6).



а)



б)

Рис. 6 – Нормированная взаимная корреляционная функция графиков изменений действующего значения напряжения U_{AB} и коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения k_U в течение суток (а) и за время 1-го цикла работы ДСП (б)

Анализ графиков взаимных корреляционных функций показывает наличие достаточно сильных корреляционных связей между случайными процессами изменений действующего значения напряжения U и коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения k_U , напряжением и коэффициентами n -ых гармонических составляющих напряжений $k_{U(n)}$.

Выводы

1. Полученные результаты о виде случайного процесса, законов распределения и автокорреляционных функций ДСП-25 справедливы, так же как и для печей большей емкости 100 и 200 т.
2. Основные помехи, которые необходимо уменьшить являются колебания и несинусоидальность напряжения.
3. С целью снижения колебания напряжения в короткую сеть, между сетевым и печным трансформаторами, питающими ДСП следует включить конденсаторную батарею, входящую основной составной частью в устройство продольной компенсации. Таким образом, сопротивление линии уменьшится и снизится потеря напряжения в ней.
4. Компенсацию высших гармонических составляющих тока можно осуществить, используя фильтрокомпенсирующие устройства. На шинах устанавливается несколько фильтров, каждый из которых настроен на свою резонансную частоту.

Список использованных источников:

1. И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко. Качество электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – 4-е изд., перераб. и доп., М.: Энергоатомиздат, 261с., 2005.
2. Влияние дуговых электропечей на системы электроснабжения / Ю.Л. Рыжнев, Р.В. Минеев, А.П. Михеев, М.Я. Смелянский; под. ред. М.Я. Смелянского и Р.В. Минеева. – М.: Энергия, 1975. – 184 с.
3. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 320 с.
4. И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко, Т.К. Бараненко. Дополнительные потери в элементах электрической сети, обусловленные колебаниями напряжения // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро), 2005, №5, с. 28-33.

Рецензент: В.С. Зайцев
д-р тех.наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 26.04.2010

УДК 621.361.925.2.007

Харламова З.В.¹, Троицкая Л.К.²

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОПЛАТЫ ЗА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

Показано, что минимизация оплаты за потребленную электроэнергию возможна путем правильного распределения потребления электроэнергии в соответствии с выбранным тарифом. Для предприятий, имеющих стабильный прогнозируемый график потребления электроэнергии, решение вопроса о выборе тарифа является результатом экономического аудита. Для крупных предприятий минимизацию оплаты за потребленную электроэнергию можно достичь путем построения оптимизационных динамических моделей.

Ключевые слова: Потребление электроэнергии, себестоимость продукции, графики нагрузок, зонные тарифы, экономический аудит.

Харламова З.В. Тройцька Л.К. Керування технологічними процесами з метою скорочення витрат з оплати електроенергії. Показано, що мінімізація сплати за спожиту електроенергію може бути досягнута шляхом правильного розподілу споживання електроенергії відповідно до обраного тарифу. Для підприємств із стабільними прогнозованими графіками споживання електроенергії розв'язання питання про тариф може бути вирішено за допомогою економічного аудиту. Для великих підприємств мінімізація плати за спожиту електроенергію може бути досягнута шляхом побудови оптимізаційної динамічної моделі.

¹канд. техн. наук, доцент, Приазовського державного технічного університету, г. Маріуполь
²старший преподаватель, Приазовського державного технічного університету, г. Маріуполь