

ПРОГНОЗ ТРЕХФАЗНОЙ РЕЗКОПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКИ В РЕГРЕССИОННОМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ БАЗИСЕ

Введение. Сложность управления электрическим режимом дуговой сталеплавильной печи (ДСП) обусловлена следующими факторами:

- наличие параметрической неопределенности (контролируемые электрические параметры представляют собой случайные процессы, значения которых невозможно предопределить заранее детерминированными методами);

- наличие транспортной задержки (высокая скорость изменения электрических параметров ДСП в совокупности с инерционностью элементов системы управления и исполнительных механизмов делает невозможным управление по мгновенным значениям).

В существующих системах автоматического управления (САУ) данная проблема решается путем определения уставок контролируемых параметров (тока и напряжения) на основании директивного графика мощности, представляющего собой усреднение графиков реально потребляемой мощности по множеству плавов и по трем фазам [1]. Такой подход не учитывает резкопеременный вероятностный характер электрических параметров и связей между ними в реальных условиях работы ДСП. Это приводит к неэффективному использованию электроэнергии (энергопотребление втрое превышает показатели зарубежных аналогов), несвоевременному (с запаздыванием) и несогласованному срабатыванию исполнительных механизмов электроприводов, поломкам электродов, снижению качества выпускаемой продукции и др. [2].

Постановка задач исследования. Целью настоящей работы является синтез модели прогноза параметров резкопеременной нагрузки ДСП в регрессионном вычислительном базисе для использования в САУ электрическим режимом.

Материалы исследования. В работе [3] приведена регрессионно-вероятностная модель взаимосвязи контролируемых электрических параметров на примере трехфазной системы токов:

$$\tilde{I}_a = \alpha_1 I_b + \alpha_2 I_c, \quad (1)$$

где t - текущий момент времени; α_1, α_2 - коэффициенты регрессии.

В работе [4] предложена модель прогноза фазного резкопеременного тока по предшествующим значениям:

$$I_b = \sum_{i=1}^p \beta_i I_{b_{t-i}} + \delta_t; \quad I_c = \sum_{i=1}^p \gamma_i I_{c_{t-i}} + \varepsilon_t, \quad (2)$$

где p - порядок регрессии (количество используемых предшествующих значений тока); β_i, γ_i - коэффициенты регрессии при прогнозе; δ_t, ε_t - случайные ошибки прогноза.

Подставляя оценки текущих фазных токов по предшествующим значениям из (2) в уравнение (1), получим прогноз одного из токов трехфазной системы по двум другим в регрессионном вычислительном базисе:

$$\tilde{I}_a = \alpha_1 \cdot \sum_{i=1}^p \beta_i I_{b_{t-i}} + \alpha_2 \cdot \sum_{i=1}^p \gamma_i I_{c_{t-i}}. \quad (3)$$

В силу требований к быстродействию и сложности вычислительного алгоритма прогноза, реальный интерес представляют регрессионные модели первого ($p = 1$) и второго ($p = 2$) порядков:

$$\tilde{I}_a = \alpha_1 \cdot \beta_1 I_{b_{t-1}} + \alpha_2 \cdot \gamma_1 I_{c_{t-1}}; \quad (4)$$

$$\tilde{I}_a = \alpha_1 \cdot (\beta_1 I_{b_{t-1}} + \beta_2 I_{b_{t-2}}) + \alpha_2 \cdot (\gamma_1 I_{c_{t-1}} + \gamma_2 I_{c_{t-2}}). \quad (5)$$

Задачи определения прогноза (4) и (5) содержат две подзадачи: 1) определение коэффициентов регрессионной взаимосвязи α_1, α_2 резкопеременных токов в трехфазной системе; 2) определение коэффициентов регрессионного прогноза $\beta_1, \gamma_1, \beta_2, \gamma_2$ для отдельных фазных токов. Решение первой подзадачи, связанное с нахождением минимума среднеквадратичного отклонения регрессионной модели (1), осуществляется методом наименьших квадратов с применением статистических характеристик трехфазной системы токов [3]:

$$\alpha_1 = \frac{\sigma_a}{\sigma_b} \cdot \frac{r_{ab} - r_{bc} \cdot r_{ac}}{1 - r_{bc}^2}; \quad \alpha_2 = \frac{\sigma_a}{\sigma_c} \cdot \frac{r_{ac} - r_{ab} \cdot r_{bc}}{1 - r_{bc}^2}, \quad (6)$$

где $\sigma_a, \sigma_b, \sigma_c$ - среднеквадратические отклонения фазных токов I_a, I_b, I_c соответственно; r_{ab}, r_{ac}, r_{bc} - взаимные автокорреляции между парами фазных токов.

Вторая подзадача приводит к следующим разностным уравнениям:

$$\text{- для } p = 1: \rho_k = \beta_1 \rho_{k-1}; \rho'_k = \gamma_1 \rho'_{k-1}, \quad (7)$$

$$\text{- для } p = 2: \rho_k = \beta_1 \rho_{k-1} + \beta_2 \rho_{k-2}; \rho'_k = \gamma_1 \rho'_{k-1} + \gamma_2 \rho'_{k-2},$$

(8)

где ρ_k, ρ'_k - k -ые автокорреляции резкопеременных фазных токов I_b, I_c соответственно, $k = 0, 1, \dots, p$.

Решения уравнений (7) и (8) имеют вид:

$$\text{- для } p = 1: \beta_1 = \rho_1; \gamma_1 = \rho'_1, \quad (9)$$

$$\text{- для } p = 2: \beta_1 = \frac{\rho_1(1-\rho_2)}{1-\rho_1^2}, \beta_2 = \frac{\rho_2 - \rho_1^2}{1-\rho_1^2}; \gamma_1 = \frac{\rho'_1(1-\rho'_2)}{1-\rho_1'^2}, \gamma_2 = \frac{\rho'_2 - \rho_1'^2}{1-\rho_1'^2}. \quad (10)$$

Фрагменты графиков реального и спрогнозированного при помощи ПЭВМ на регрессионных моделях первого и второго порядков фазного тока ДСП, а также погрешности прогноза приведены на рис.1 (а, б) и рис.2 (а, б).

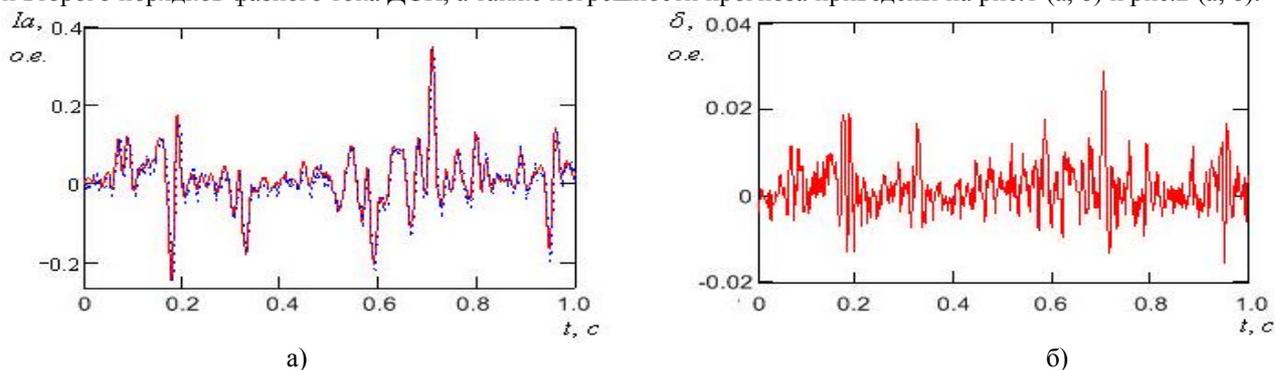


Рис.1 – Фрагменты графиков реального (—) и спрогнозированного (....) на регрессионной модели первого порядка фазного тока ДСП (а); погрешность прогноза (б)

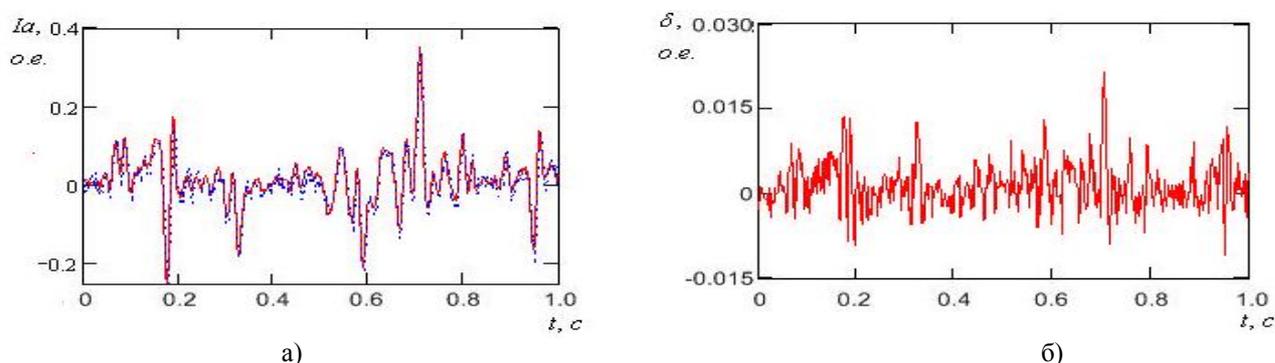


Рис.1 – Фрагменты графиков реального (—) и спрогнозированного (....) на регрессионной модели второго порядка фазного тока ДСП (а); погрешность прогноза (б)

Из данных графиков видно, что максимальная погрешность прогноза при $p = 1$ не превышает 8%, а при $p = 2$ - 5%, что подтверждает эффективность применения регрессионного прогноза для инженерных расчетов.

Выводы. Предложена модель прогноза трехфазной резкопеременной нагрузки в регрессионном вычислительном базисе. Реализация данной модели на ПЭВМ для трехфазной системы токов ДСП подтвердила эффективность ее использования в инженерных приложениях. Максимальная погрешность прогноза не превышает 8% и 5% для регрессионных моделей первого и второго порядков соответственно. Разработанную модель предлагается использовать для синтеза адаптивной САУ электрическим режимом ДСП.

Литература.

1. Wilson E., Kan M., Mirle A. // Intelligent technologies for electric arc furnace. Optimization. ISS Technical paper, 2002, p.1-6.
2. Зиновкин В.В. Вероятностные параметры резкопеременных нагрузок энергоемких электротехнологических комплексов// Праці ІЕД НАН України. - 2005.- №1(10).- С.136-144.
3. Зиновкин В.В., Карпенко В.В. Регрессионно-вероятностная модель взаимосвязи параметров токов резкопеременной нагрузки электротехнологического комплекса//
4. Зиновкин В.В., Карпенко В.В. Регрессионно-вероятностная модель прогноза параметров резкопеременной нагрузки для систем управления электрическим режимом дуговой сталеплавильной печи//

FORECASTING OF THREE-PHASE HIGHLY VARYING LOAD IN REGRESSIVE COMPUTING BASIS

Forecasting model of three-phase highly varying load in regressive computing basis is proposed. Comparative analysis between predicted and measured current values is given. The model is intended for employment in automatic control system of arc furnaces electric modes.