

УДК 681.513.2

Н.В. Смирнова, канд. техн. наук, В.В. Смирнов, доц., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет

Управление процессом горения электрической дуги на нелинейных участках ее вольт-амперной характеристики с использованием массива прецедентов

Приведено описание процесса формирования массива прецедентов для обучения системы управления процессом горения электрической дуги на нелинейных участках ее вольт-амперной характеристики.

электрическая дуга, нелинейный участок, прецедент, объект управления

Н.В. Смірнова, В.В. Смірнов

Кіровоградський національний технічний університет

Управління процесом горіння електричної дуги на нелінійних ділянках її вольт-амперної характеристики з використанням масиву прецедентів

Наведено опис процесу формування масиву прецедентів для навчання системи управління процесом горіння електричної дуги на нелінійних ділянках її вольт-амперної характеристики.

електрична дуга, нелінійн

електрична дуга, нелінійна ділянка, прецедент, об'єкт управління

В управлении процессом обработкой деталей электрической дугой необходим постоянный контроль параметров электрической дуги, вольт-амперная характеристика (ВАХ) которой имеет нелинейные участки, характеризующиеся неустойчивыми режимами работы. Например, при уменьшении тока дуги ниже установленного предела рабочая точка на ВАХ дуги перемещается в область неустойчивого горения, что может привести к обрыву дуги. Увеличение тока дуги выше допустимого предела также перемещает рабочую точку в другую область неустойчивого горения дуги, что может привести к короткому замыканию (КЗ).

Тем не менее, существует необходимость в режимах горения дуги на нелинейных участках ВАХ для расширения диапазона рабочих токов дуги в процессе обработки деталей как в сторону увеличения, для повышения скорости обработки, так и в сторону уменьшения, для повышения чистоты обработки.

Анализ исследований и публикаций. В работе [1] рассмотрено применение предсказывающего фильтра Колмогорова-Габора, который может быть применен для решения задачи стабилизации процесса горения дуги на нелинейных участках ВАХ дуги при условии, что существует возможность определения оптимальных параметров рабочей точки дуги. В работе [2] показано, что экстремум выборочного коэффициента взаимной корреляции R между током I_d и напряжением дуги U_d строго соответствует оптимальному положению рабочей точки на ВАХ дуги.

Для проверки ефективности применения метода была рассмотрена статистическая гипотеза о неравенстве нулю коэффициента корреляции R двумерной нормальной совокупности [3] для тока дуги I_d и напряжения дуги U_d в окрестностях рабочей точки дуги. Для обнаружения корреляционной зависимости двух случайных сигналов определяется выборочный коэффициент корреляции R и по его значению делается вывод о соответствии значения тока и напряжения дуги в пределах выборки искомому положению рабочей точки дуги U_{d_pt} на ее динамической ВАХ и оптимальной величине межэлектродного промежутка (МЭП) в рабочей точке S_{pt} , при $R \rightarrow 1$.

Зависимость значения выборочного коэффициента корреляции R от величины $S_{МЭП}$ МЭП в процессе его изменения представлена на рис. 1.

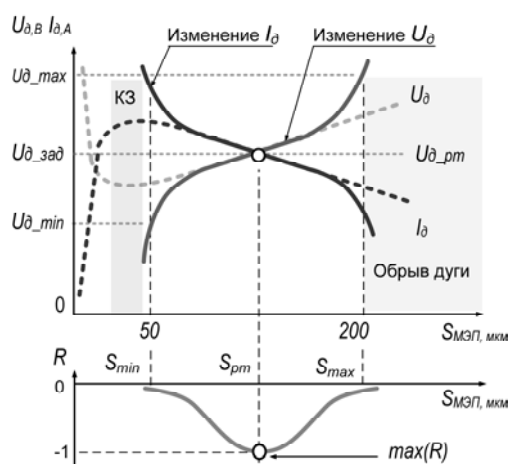


Рисунок 1 - Зависимость значения выборочного коэффициента корреляции R от величины МЭП в процессе его изменения

Из рис. 1 следует, что для каждого заданного значения тока дуги $I_{d_зад}$ существует только одно значение напряжения дуги U_{d_pt} (в рабочей точке), при котором выборочный коэффициент корреляции R имеет экстремум. То есть, положение рабочей точки дуги определяется с достаточной для системы управления точностью. Интерес представляют нелинейные участки ВАХ дуги при величине МЭП около 50 мкм и 200 мкм, для которых выборочный коэффициент корреляции R имеет минимальное значение.

Постановка задачи. Поскольку корреляционный метод определения оптимального режима горения дуги является эффективным, то целесообразно его применение для разработки способа расширения диапазона рабочих токов дуги за счет стабилизации режима горения дуги на нелинейных участках ВАХ. Эти участки ВАХ характеризуются неустойчивыми режимами горения дуги.

Для решения этой задачи возможно применение методов искусственного интеллекта в системе управления процессом размерной обработки деталей (РОД) для принятия решения об изменении величины МЭП в конкретный момент времени с учетом текущих параметров процесса горения дуги и ранее приобретенного опыта в процессе обучения системы управления.

Основная часть. Для решения задачи расширения диапазона рабочих токов дуги за счет использования режимов горения дуги на нелинейных участках ВАХ использован метод обучения системы управления на основе прогнозирования с использованием массива прецедентов [4].

В основу метода положена модель прогнозування на основі вироботки експериментальних даних по значенню виборочного коефіцієнта кореляції R между параметрами реальної ВАХ и ее модели.

Массив виборочних коефіцієнтів кореляції R (протокол спостережень) для нелінійних участків ВАХ дуги отражает множество експериментальних даних, на основанні якого изменение напруги дуги U_δ может характеризовать причину X и следствие Y процесса P , для которого необходимо осуществить прогноз [4].

Прецедент представляє собою об'єднання двох підмножин подій, характеризуючих причину $\{X\}$ и следствие $\{Y\}$:

$$\{P\} = \{X\} \cup \{Y\}. \quad (1)$$

Взаємозалежність тока I_δ и напруги дуги U_δ , а также соответствующее значение виборочного коефіцієнта взаємної кореляції R фіксується в виде протокола спостережень:

$$\{PR\} = \langle X, Y^{t+1} \rangle = \langle Y_i^t, Z_i, K_i, Y_i^{t+1}, i = 1, \dots, N \rangle, \quad (2)$$

где $X = [Y^t, Z, K]^T$ - вектор параметров дуги для данной точки ВАХ;

$Y^t = (y_1^t, \dots, y_n^t)$ - вектор параметров дуги, принимаемых в качестве исходных в i -й зафиксированной ситуации, включающий значение виборочного коефіцієнта кореляції R ;

$Z_i = (z_1, \dots, z_m)$ - вектор интегрального показателя прогнозного фона предшествующего периода (вероятность короткого замыкания или обрыва дуги);

$K_i = (k_1, \dots, k_l)$ - вектор управляющего воздействия регулятора в i -й зафиксированной ситуации;

$Y_i^{t+1} = (y_i^{t+1}, \dots, y_n^{t+1})$ - вектор реальных параметров дуги, принимаемых в качестве следствия в i -й зафиксированной ситуации.

В процессе формирования виборочного коефіцієнта взаємної кореляції R для прецедента используется два компонента: реальная ВАХ дуги, где $(i_1, u_1), (i_2, u_2), \dots, (i_n, u_n)$ - выборка значений тока и напруги в интервале допустимых значений МЭП на реальной ВАХ дуги и модель ВАХ дуги, где $(mi_1, mu_1), (mi_2, mu_2), \dots, (mi_n, mu_n)$ - выборка значений тока и напруги на модели ВАХ дуги. Выборки представляют собой двумерное нормальное распределение.

Значение виборочного коефіцієнта взаємної кореляції R между параметрами модели ВАХ и параметрами реальної ВАХ дуги в определенной точке вычисляется в соответствии с выражением:

$$R = \frac{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (i_k - \bar{i}) \cdot (u_k - \bar{u}) \cdot (mi_k - m\bar{i}) \cdot (mu_k - m\bar{u})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (i_k - \bar{i})^2 \cdot \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (u_k - \bar{u})^2 \cdot \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (mi_k - m\bar{i})^2 \cdot \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (mu_k - m\bar{u})^2}}, \quad (3)$$

$$\text{где } \bar{i} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n i_k; \quad \bar{u} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n u_k; \quad m\bar{i} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n mi_k; \quad m\bar{u} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n mu_k.$$

С целью проверки эффективности предложенного метода была проведена серия экспериментов с помощью моделирования процесса в программной среде "Signal

Explorer” с использованием ранее записанных реальных сигналов процесса размерной обработки деталей электрической дугой. Результаты моделирования подтвердили возможность обучения системы управления и ее способность поддерживать режим стабильного горения дуги на нелинейных участках ВАХ. Количество коротких замыканий и обрывов дуги снизилось в среднем на 15-18% по отношению к их количеству в исходных данных.

Выводы. Использование прецедентов в системе управления процессом горения дуги на нелинейных участках ВАХ дуги показало, что эффективность применения метода не в полной мере удовлетворяет требованиям технологического процесса. Тем не менее, для решения поставленной задачи целесообразно проведение дальнейших исследований в области применения элементов искусственного интеллекта. В частности, представляется перспективным использование нейронных сетей и генетических алгоритмов для обучения системы управления процессом горения дуги и способности ее адаптации к изменяющимся параметрам процесса горения дуги на нелинейных участках ее вольт-амперной характеристики.

Список литературы

1. Ивахненко А. Г. Предсказание случайных процессов / А.Г. Ивахненко, В.Г. Лапа. – К.: «Наукова Думка», 1971. – 416 с.
2. Смірнова Н.В. Автоматизована система керування процесом розмірної обробки деталей електричною дугою: автореф. дис. канд. техн. наук. Н.В. Смірнова – Кіровоград, 2011. – 20 с.
3. Энциклопедия кибернетики. Т. 1 / [В. М. Глушков, Н. М. Амосов, И. А. Артеменко и др.]. – К.: Главная редакция УСЭ, 1974. – 608 с.
4. Назаров А.В. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем / А.В. Назаров, А.И. Лоскутов – СПб.: Наука и техника, 2003. – 384 с.

Nataliya Smirnova, Vladimir Smirnov
Kirovograd National Technical University

The electric arc on the non-linear parts of its current-voltage characteristics burning process control using precedents array

The purpose of this article is the nonlinear plots her current-voltage characteristics to solve problem of stability electric arc process burning. Solving this problem allows to increase the range of operating currents of the arc in the processing parts from increase to increase the processing speed and downward to improve surface finish.

The realization the forming a precedent process for Learning Control System of the machining of parts arc using for determining the optimal arc correlation method.

The results the control system modeling behavior are positive, suggesting the need for further research in the area of "smart" controllers and control systems using neural networks and genetic algorithms.

electric arc, non-linear plot, the precedent, controlled object

Получено 09.10.13