

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

В. И. Зацепина, Е. П. Зацепин, О. Я. Шачнев

*Кафедра «Электрооборудование»,
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»,
г. Липецк, Россия; sh.ol.ya@yandex.ru*

Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь; мощность; провал напряжения; резкопеременные нагрузки.

Аннотация: Рассмотрена компьютерная модель провалов напряжения, изображающая возникающие отклонения напряжения в системе электроснабжения с резкопеременными нагрузками. В модели дуговой сталеплавильной печи используются наиболее «тяжелый» режим расплавления и режим средней «тяжести» – окисления.

Воздействие высокоомощных потребителей электрической энергии в системе электроснабжения вызывает снижение ее качества в виде провалов и несимметрии напряжения. При наличии таких негативных факторов возможен выход из строя систем и блоков, основанных на полупроводниковых элементах, а также цифровых систем, включая и системы управления технологическим производственным процессом. Телекоммуникационная аппаратура также подвержена выходу из строя вследствие снижения качества электроэнергии [1].

Наиболее наглядной системой, которой характерны провалы напряжения, является электрическая часть, содержащая резкопеременные нагрузки. Дуговая сталеплавильная печь (ДСП) – один из распространенных элементов в металлургической деятельности [2]. Такому потребителю электрической энергии характерен резкий высокоамплитудный рост потребляемой мощности, что приводит к снижению качества электроэнергии как на прилегаемом участке сети, так и на соседних участках и электрически близких элементах системы электроснабжения [1 – 3]. Нагрев и плавление металла в ДСП осуществляют мощные электрические дуги, горящие между тремя концами электродов и металлом в печи (рис. 1), которые обуславливают резкопеременный характер нагрузки. Электрическая дуга образуется между двумя электродами: катодом и анодом с соответствующими областями, где между ними возникает столб дуги и окружающий его факел. Электрическая дуга может загореться, если напряжение между электродами будет выше напряжения зажигания дуги, то есть $e > U_z$, которое в свою очередь зависит от напряжения устойчивого горения дуги U_d и паров свариваемого металла, обладающих ионизационными потенциалами ϕ_i .

Дуговые сталеплавильные печи непосредственно влияют на электрооборудование, входящее в одну систему электроснабжения. Негативные факторы, возникающие в результате их деятельности, отражаются и на других потребителях, на

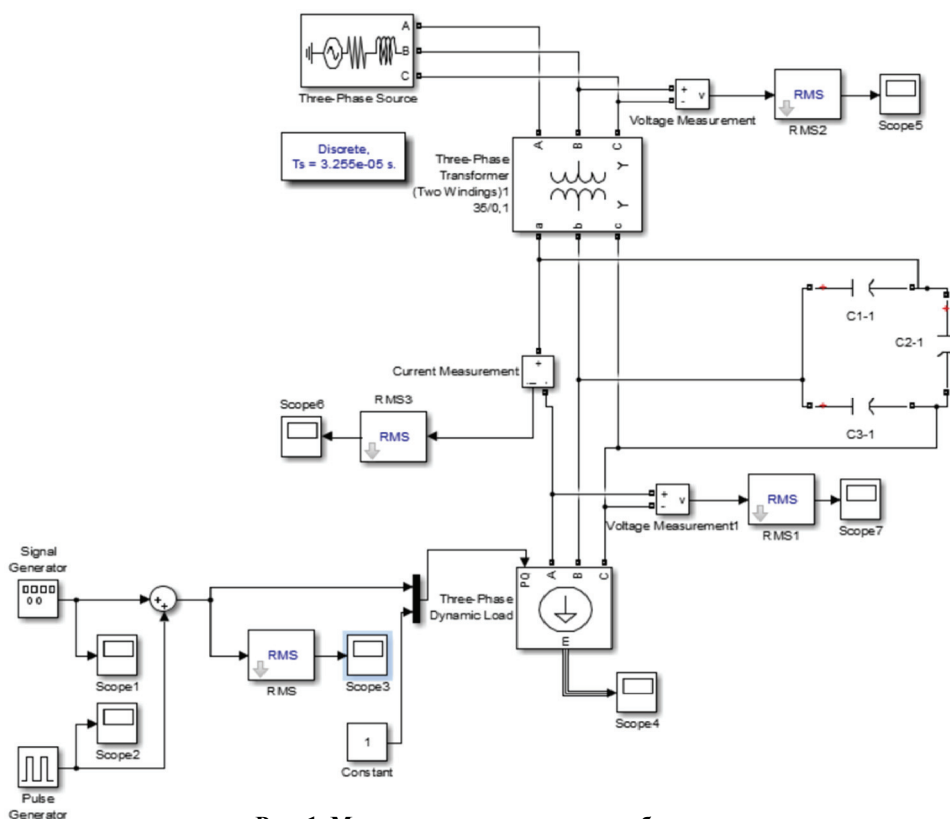


Рис. 1. Модель системы электроснабжения

ходящихся даже на соседних спокойных шинах. Колебания напряжения напрямую связаны с колебанием токов, то есть если в ДСП происходит резкий скачок тока в дуге, то соответственно происходит и провал напряжения в сети. Данный эффект весьма заметен в периоде расплавки, где режим работы ДСП схож с режимом короткого замыкания. Дуговая сталеплавильная печь имеет три режима плавки: расплавление, окисление и рафинирование. В режиме расплавления (близкого к режиму короткого замыкания) происходят броски токов, что приводит к отклонению напряжения ниже номинального значения. Наибольшее негативное влияние от ДСП приходится на компьютеризированные объекты и системы, а также на систему освещения.

Рассмотрим компьютерную модель системы электроснабжения, выполненную в программном пакете MATLAB Simulink R2014a и включающую в себя основные элементы для моделирования провалов напряжения (см. рис. 1). Модель берет начало непосредственно с шины 35 кВ, так как элементы, расположенные выше по иерархии, не имеют большого влияния на результат работы модели, однако существенно снижают ее быстродействие.

Данная модель содержит следующий электрический путь: шина 35 кВ, к которой присоединена ДСП (источник резкопеременной нагрузки), печной трансформатор, ДСП с моделируемой нагрузкой блоками Pulse Generator (ступенчатый график) и Signal Generator (амплитудные колебания), а также несколько блоков Scope для изображения получаемого сигнала. К блокам Scope присоединен блок RMS для отображения действующего значения сигналов, так как амплитудные значения при удобном для восприятия масштабе изображаются сплошными линиями.

Представленные на рисунке 2 графики потребляемой мощности S_d , тока I_d и провалов напряжения на вторичной обмотке трансформатора U_d наглядно показывают, что в моменты резкого возрастания мощности в дуговой сталеплавильной печи и резких бросков токов (соответствующих режиму расплавки шихты)

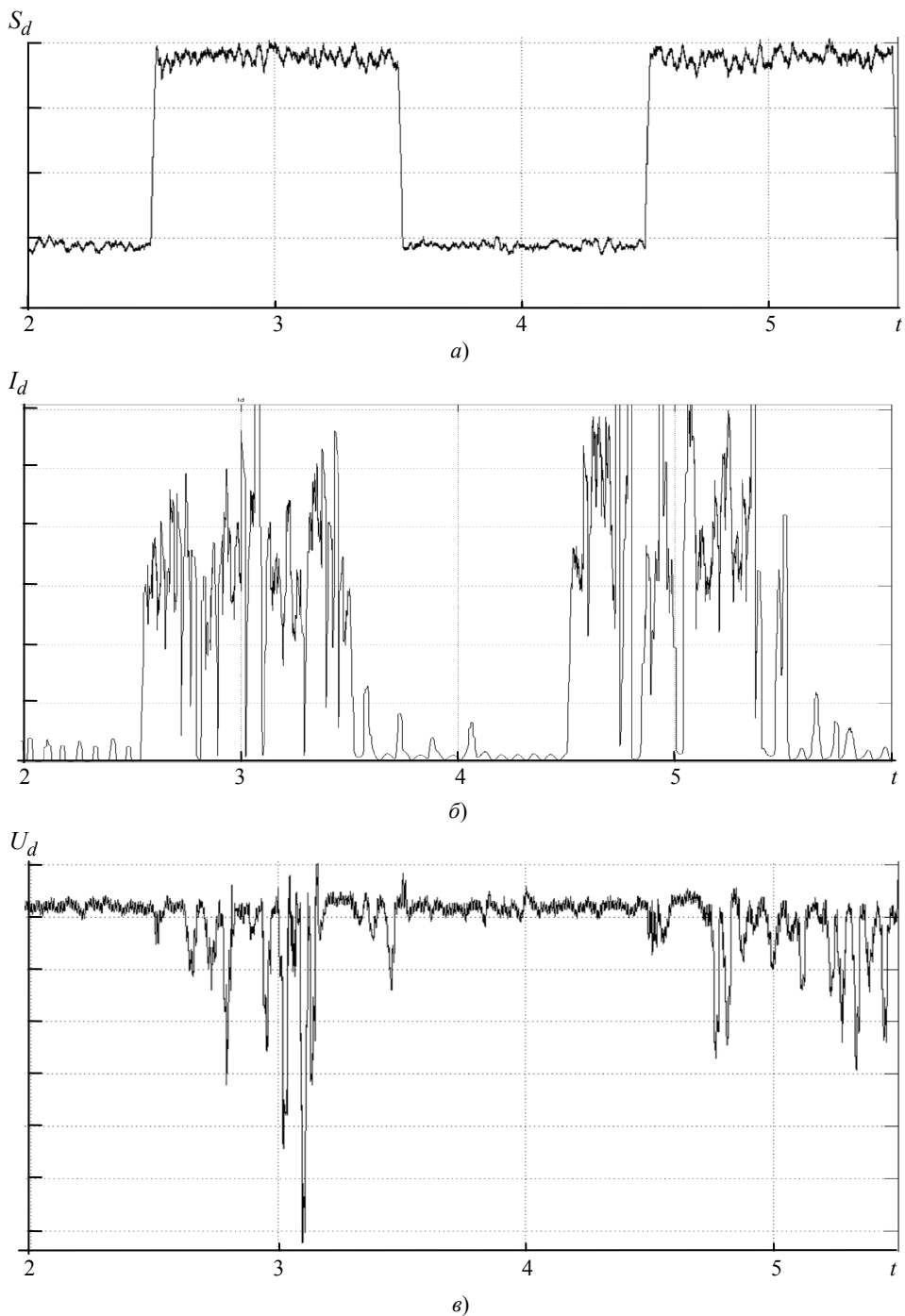


Рис. 2. Графики потребляемой мощности (а), тока (б) и провалов напряжения на вторичной обмотке печного трансформатора (в)

во временные промежутки $t = [2,5...3,5; 4,5...5,5]$ происходят характерные провалы напряжения (с последующей несимметрией напряжения). Режим окисления, соответствующий временным промежуткам $t = [2...2,5; 3,5...4,5]$ относительно провалов напряжения менее выражен. Полученные провалы напряжения влияют на объекты системы электроснабжения, расположенные выше по уровню.

Учитывая, что процесс плавки, включающий в себя расплав, окисление и рафинирование (наиболее «легкий» режим, не рассматривался в данной модели), является непрерывным, снижение качества электроэнергии будет весьма ощутимым [4, 5]. Данная модель может быть применена непосредственно в технологической сфере, например при термообработке металлов, при условии, что появление тепла будет обусловлено электрическим током [6]. Отметим, что дуговые сталеплавильные печи обычно работают параллельно, следовательно, снижение их влияния на систему электроснабжения является весьма актуальной задачей, требующей вложения капитальных средств, а также мер по повышению общей энергоэффективности металлургических производств.

Список литературы

1. Зацепин, Е. П. Минимизация провалов напряжения при совместной работе группы дуговых сталеплавильных печей / Е. П. Зацепин, В. И. Зацепина // Пром. энергетика. – 2009. – № 1. – С. 22 – 24.

2. Зацепин, Е. П. Колебания и отклонения напряжения в дуговых сталеплавильных печах / Е. П. Зацепин // Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета / М-во образования и науки Рос. Федерации, ФГБОУ ВПО «Липецкий гос. техн. ун-т» : в 2-х ч. – Липецк, 2012. – Ч. 1. – С. 96 – 97.

3. Зацепин, Е. П. Качество электрической энергии по напряжению в системах электроснабжения металлургических предприятий / Е. П. Зацепин, В. И. Зацепина // Вести высш. учеб. заведений Черноземья. – 2013. – № 1. – С. 21 – 25.

4. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б. И. Кудрин. – М. : Интермет Инжиниринг, 2005. – 672 с.

5. Шпиганович, А. Н. Электроснабжение металлургических предприятий / А. Н. Шпиганович, К. Д. Захаров. – Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2006. – 568 с.

6. Володин, И. М. Разработка и внедрение качество-повышающей технологии термической обработки поковок / И. М. Володин // Изв. Тул. гос. университета. Сер. Математика. Механика. Информатика. – 2003. – № 1. – С. 100.

Simulation of Voltage Dips in the System Supply of Metallurgical Production

V. I. Zatsepina, E. P. Zatsepin, O. Ya. Shachnev

*Department of Electrical Equipment, Lipetsk State Technical University,
Lipetsk, Russia: sh.ol.ya@yandex.ru*

Keywords: electric arc furnace; power; variable load; voltage SAG.

Abstract: The article describes a computer model of brownout, depicting the resulting fluctuations in the power system with abruptly variable loads. The model of the electric arc furnace uses the most severe gravity mode of melting and the average gravity mode of oxidation.

References

1. Zatsepin, E.P., Zatsepina V.I. [Minimizing voltage dips with the joint work of the group of electric arc furnaces], *Promyshlennaya energetika* [Industrial power], 2009, no. 1, pp. 22-24. (In Russ.)
2. Zatsepin, E.P. [Oscillations and voltage deviations in electric arc furnaces], *Sbornik tezisov dokladov nauchnoi konferentsii studentov i aspirantov Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of the scientific conference of students and graduate students of Lipetsk state technical University], part 1 of 2, Lipetsk, 2012, pp. 96-97. (In Russ.)
3. Zatsepin E.P., Zatsepina V.I. [Power quality of the voltage in the power supply systems of metallurgical enterprises], *Vesti vysshikh uchebnykh zavedenii Chernozem'ya* [News of Higher Educational Institutions of the Chernozem Region], 2013, no. 1, pp. 21-25. (In Russ.)
4. Kudrin B.I. *Elektrosnabzhenie promyshlennykh predpriyatii* [The supply of industrial enterprises], Moscow: Intermet Inzhiniring, 2005, 672 p. (In Russ.)
5. Spiranovic A.N., Zakharov K.D. *Elektrosnabzhenie promyshlennykh predpriyatii* [The power supply of the metallurgical enterprises], Lipetsk: LGTU, 2006, 568 p. (In Russ.)
6. Volodin I.M. [Development and implementation of quality-enhancing technology of heat treatment of forgings], *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika. Mekhanika. Informatika* [News of the Tula state university. Series: Mathematics. Mechanics. Informatics], 2003, no. 1, pp. 100. (In Russ.)

Modellierung der Misserfolge der Anstrengung in den Systemen der Elektrizitätsversorgung der metallurgischen Produktionen

Zusammenfassung: Es ist das Computermodell der Misserfolge der Anstrengung, das die entstehenden Abweichungen der Anstrengung im System der Elektrizitätsversorgung mit den scharfveränderlichen Belastungen darstellt, betrachtet. Im Modell des Bogenstahlwerkofens werden „das schwerste“ Regime des Schmelzens und das Regime der mittleren „Schwere“ – der Oxydierung verwendet.

Simulation des chutes de tension dans les systèmes de l'approvisionnement électrique des productions de la métallurgie

Résumé: Est considéré un modèle informatique des chutes de tension qui montre des variations de la tension dans le système de l'approvisionnement électrique avec des charges variables. Dans le modèle de four à arc électrique est utilisé le plus «difficile» régime de la fusion et celui de la «gravité moyenne» – l'oxydation.

Авторы: *Зацепина Виолетта Иосифовна* – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудование»; *Зацепин Евгений Петрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование»; *Шачнев Олег Ярославович* – аспирант кафедры «Электрооборудование», ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, Россия.

Рецензент: *Шпиганович Александр Николаевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование», ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, Россия.