

Регулировочные характеристики секционированного источника питания для электронно-лучевых технологий

Проведено моделювання електромагнітних процесів в високовольтному секціонованому джерелі електроживлення для електронно-лучевих технологій. Определены регулировочные характеристики источника в зависимости от внутренних параметров силового трансформатора.

Проведено моделювання електромагнітних процесів у високовольтному секціонованому джерелі електроживлення для електронно-променевої технології. Визначені регульовальні характеристики джерела в залежності від внутрішніх параметрів силового трансформатора.

Современное электронно-лучевое технологическое оборудование обладает достаточной энергоемкостью [1,2] и требует применения соответствующих систем электропитания, рассчитанных на мощности порядка 0,5—1МВт. С другой стороны, специфика электронно-лучевых технологий требует использования систем электропитания с высоким выходным напряжением (до 30 кВ и выше). В настоящее время для электропитания мощных высоковольтных установок в электрометаллургии используются высокочастотные преобразователи, работающие от сети 380В/50 Гц [5]. В них высокий уровень выходного напряжения формируется благодаря высокочастотному высоковольтному трансформатору и выходному высоковольтному выпрямителю. Основной узел преобразования — высокочастотный инвертор — выполняется на доступной в настоящее время элементной базе с максимальными рабочими напряжениями до 2 кВ. Такие высокочастотные системы питания имеют преимущества по сравнению с традиционными источниками, работающими на частоте питающей сети (50 Гц), которые заключаются в уменьшении габаритов, увеличении быстродействия, однако несколько хуже традиционных по энергоэффективности из-за большего числа звеньев преобразования энергии.

В работе [3] описывается структура высоковольтного источника питания на основе секционированного трансформатора. В данной системе питания с помощью такого специализированного трансформатора осуществляется преобразование уровня напряжения 10 кВ входной распределительной сети в уровень напряжения более высокого значения, необходимого для питания конкретной технологической установки. Особенностью такого трансформатора является то, что его вторичная сторона выполнена в виде N числа вторичных обмоток, половина из которых соединена в "звезду", а

вторая половина — в "треугольник". На выходах вторичных обмоток трансформатора включены выпрямители и узлы токоограничения на основе высокочастотных импульсных регуляторов. Эти импульсные регуляторы работают на высокой частоте только при перегрузках, в стационарных режимах они находятся полностью в открытом состоянии и поэтому дополнительных потерь в таких режимах не создают. Тем самым, описанная система питания приближается по позитивному свойству — энергоэффективности — к традиционным системам питания. По выходу все N каналов описанного источника соединены последовательно. Их количество определяется необходимым уровнем напряжения на нагрузке и допустимым уровнем рабочего напряжения используемой элементной базы. В сравнении с существующими системами питания на основе высокочастотных инверторов, описанная структура источника представляется более эффективной по величине суммарных потерь энергии в узлах преобразования, если оценивать весь путь преобразования от общей распределительной сети 10 кВ до технологической нагрузки.

Так как описанная в работе [3] система питания содержит N выходных ячеек, то появляется возможность изменением этого числа N повышать стабильность напряжения на технологической нагрузке при отклонениях величины сетевого напряжения или тока нагрузки. В связи с этим возникает задача анализа показателей качества электроэнергии на входе и выходе источника в зависимости от числа включенных ячеек.

Рассмотрим количественные характеристики секционированного источника питания для электронно-лучевого оборудования напряжением 30 кВ и мощностью 450 кВт с условием использования стандартной элементной базы с допустимым напряжением 2 кВ и с учетом внутренних параметров

силового трансформатора. Структура такого источника питания показана на рис. 1.

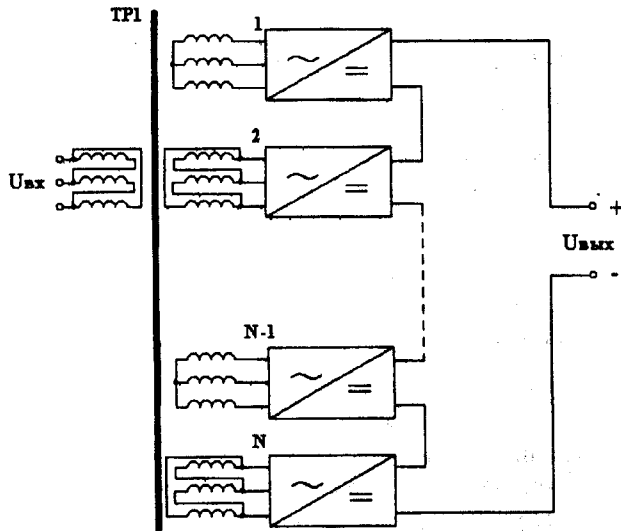


Рис. 1

Для анализа регулировочных характеристик источника воспользуемся справочными данными реального силового трансформатора ТСЗЛ — 630/10 [4]. Для этого типа трансформатора величина тока холостого хода составляет 1,4 % от номинального значения, напряжение короткого замыкания — 5,5 % от номинального значения, потери холостого хода — 1,65 кВт, потери короткого замыкания — 6,8 кВт. Эти характеристики трансформатора определяются его внутренними параметрами — индуктивностью рассеяния обмоток, активными потерями в обмотках, индуктивностью намагничивания, сопротивлением магнитных по-

терь. Учитывая эти параметры в эквивалентных схемах замещения, можно определить, каковы же величины вышеназванных характеристик исследуемого трансформатора.

В настоящей работе с помощью численных методов проведено моделирование процессов и рассчитаны регулировочные характеристики секционированного источника питания при различных значениях напряжения короткого замыкания силового трансформатора, интегрального показателя, который характеризуется, в первую очередь, индуктивностью рассеяния обмоток трансформатора и активными потерями в них. Индуктивность рассеяния в основном определяется геометрическими показателями конструкции обмоток. Поэтому при проектировании источника питания важно знать, как конструкция силового трансформатора (с учетом конструкции обмоток) через параметр напряжения короткого замыкания влияет на характеристики источника. На рис. 2 показаны графики изменения выходного напряжения (*a, б*), коэффициента гармоник входного тока (*в*) и коэффициента пульсаций выходного напряжения (*г*) в зависимости от относительного изменения входного напряжения в интервале $\pm 10\%$, обусловленного нормами ГОСТ 13109-97, при номинальном токе нагрузки 12 А. Из рисунков 2, *a, б* видно, что поддержание уровня выходного напряжения в пределах области стабилизации в окрестности 30 кВ при изменении входного напряжения в названном интервале возможно благодаря изменению количества включенных секций на выходе источника от $N=14$ до $N=18$ при параметрах трансформатора, соответствующих напряжению короткого замыкания $U_{кз} = 2\%$. При параметрах, соответствующих

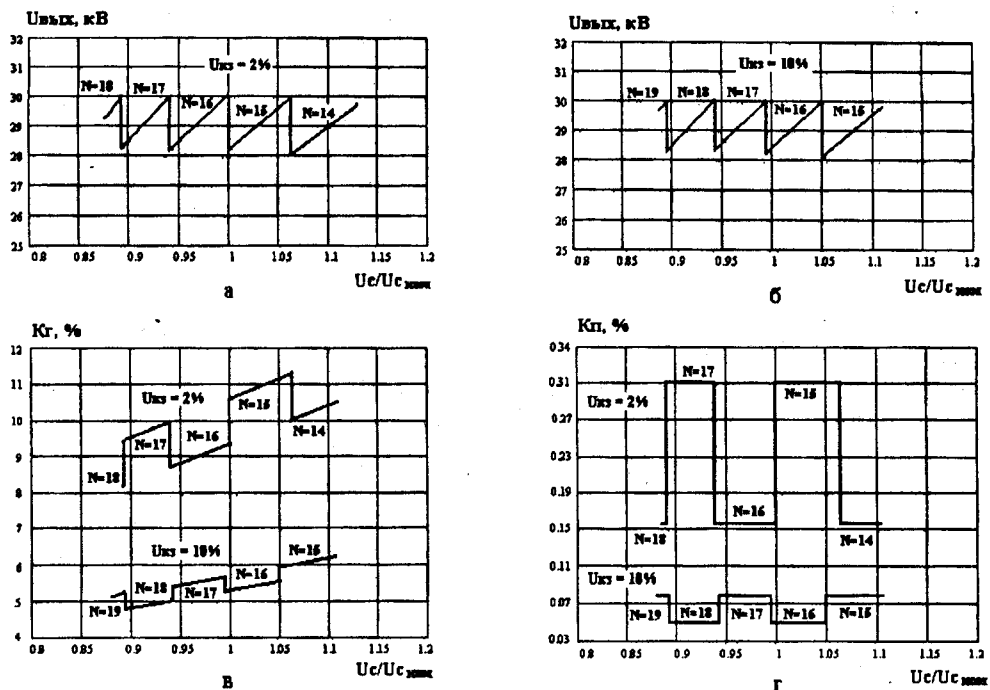


Рис. 2

$U_{K3} = 10\%$, необходимое число работающих секций источника больше и составляет ряд от $N=15$ до $N=19$. Размер области стабилизации выходного напряжения определяется величиной напряжения на выходе одной секции. При минимальном уровне входного напряжения область стабилизации составляет 1740 В в случае $U_{K3} = 2\%$ и 1600 В в случае $U_{K3} = 10\%$. При максимальном входном напряжении область стабилизации составляет 2000 В в случае $U_{K3} = 2\%$ и 1950 В в случае $U_{K3} = 10\%$. Таким образом, область стабилизации выходного напряжения данного источника питания уменьшается при увеличении индуктивности рассеяния силового трансформатора.

Коэффициент гармоник K_r и коэффициент пульсаций K_p при изменении входного напряжения зависят от количества работающих секций источника (рис. 2, в, з). При нечетном количестве секций эти коэффициенты имеют большие значения, чем при четном количестве. Это связано с тем, что при четном количестве секций в форме входного тока помимо первой гармоники содержатся только 11-я, 13-я, 23-я, 25-я и другие нечетные гармоники малого порядка. При нечетном количестве работающих секций в форме входного тока появляются также существенные по величине 5-я и 7-я гармоники, характерные для формы тока во вторичных обмотках трансформатора, соединенных в "звезду" или "треугольник". Таким образом, если при четном N , когда в источнике работает одинаковое число вторичных обмоток соединенных в "звезду" и "треугольник", в суммарном токе первичной обмотки 5-я и 7-я гармоники взаимно компенсируются, то при нечетном N и неодинаковом числе работающих вторичных обмоток в форме входного тока появляются нескомпенсированные составляющие 5-й и 7-й гармоники. Различия величины коэффициента гармоник при четном и нечетном N составляет 1,5% при $U_{K3} = 2\%$ и до

0,5% при $U_{K3} = 10\%$.

Коэффициент пульсаций K_p при четном N формируется суммарной амплитудой выпрямленного напряжения одинакового количества секций, включенных выпрямителем на вторичные обмотки в "звезду" или "треугольник". Как известно, в таком случае формируется 12-и пульсная система выходного выпрямленного напряжения. При нечетном N в форме выходного напряжения появляется нескомпенсированная составляющая напряжения, резко увеличивающая размах пульсаций выходного напряжения. При $U_{K3} = 2\%$ изменение размаха пульсаций составляет 0,15%, а при $U_{K3} = 10\%$ — порядка 0,03%.

Нестабильность нагрузочной характеристики рассматриваемого секционированного источника также может быть уменьшена за счет изменения числа N подключаемых секций. На рис. 3, а показаны зависимости изменения выходного напряжения источника при изменении тока нагрузки при различных значениях напряжения короткого замыкания силового трансформатора. Ширина области стабилизации выходного напряжения при изменении тока нагрузки от 1 А до 12,5 А составляет величину, равную напряжению на одной секции источника — 1940 В при $U_{K3} = 2\%$ и 1390 В — при $U_{K3} = 10\%$.

Изменение выходного напряжения секционированного источника при пошаговом подключении секций и постоянстве тока нагрузки (12 А) носит пропорциональный характер (рис. 3, б). В каждом состоянии включения секций (от $N=2$ до $N=17$) просчитаны значения коэффициента гармоник и коэффициента пульсаций выходного напряжения (рис. 3, в, з).

Из анализа приведенных зависимостей следует, что при четных значениях N указанные коэффициенты неизменны, при нечетных N они уменьшаются по экспоненциальному закону, причем

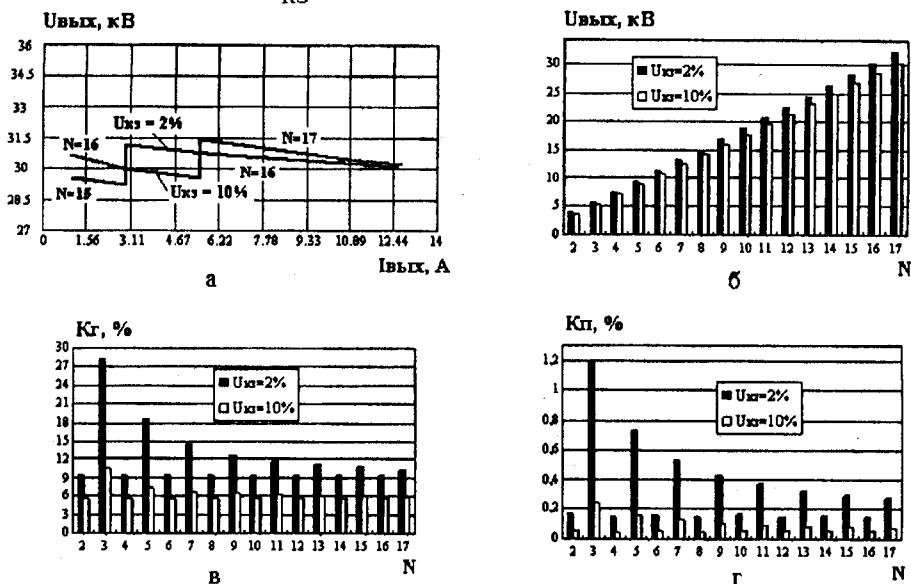


Рис. 3

при $N > 10$ разница между значениями этих коэффициентов минимальна. Это связано с тем, что при больших N гармонические составляющие входных фазных токов и переменная составляющая выходного напряжения одной секции существенно меньше относительно суммарных составляющих входного тока и постоянной составляющей выходного напряжения источника соответственно. Следовательно, влияние этих составляющих в параметрах одной нечетной секции при больших N несущественно. Значит, чем больше степень секционирования рассмотренной структуры источника питания, тем лучше его характеристики коэффициента гармоник входного тока и коэффициента пульсаций выходного напряжения.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Секционированная структура источника электропитания позволяет поддерживать стабильность напряжения на нагрузке при изменении тока нагрузки и входного напряжения. Размер области стабилизации при этом составляет величину, равную напряжению на выходе одной секции.

2. Отличие значений коэффициента гармоник входного тока и коэффициента пульсаций выходного напряжения при четном и нечетном количестве работающих секций незначительно и им можно пренебречь, если общее количество этих секций достаточно велико ($N > 10$).

3. Секционированная структура источника позволяет дискретно, пошагово изменять выходное напряжение источника, что позволяет формировать заданную крутизну фронта нарастания вы-

ходного напряжения после пробоев в нагрузке и одновременно по характеру нарастания выходного напряжения диагностировать работоспособность каждой секции источника.

4. Внутренние параметры трансформатора неоднозначно влияют на показатели качества энергии на входе и выходе источника питания, так как с увеличением индуктивности рассеяния трансформатора возрастает нестабильность выходного напряжения, но уменьшается коэффициент гармоник входного тока. Поэтому при проектировании подобных систем питания необходимо искать компромиссные решения.

1. Завьялов М.А., Лукьянов Л.А., Мурашов А.С. и др. Электронная пушка мощностью 500кВт // Приборы и техника эксперимента. — 1980. — №2. — С. 223.

2. Перевозчиков В.И., Григорьев Ю.В., Гусев С.И. и др. Электронно-лучевое оборудование для металлургии и модификации поверхности // Электротехника. — 1992. — №1. — С. 34—39.

3. Руденко Ю.В. Показатели качества электроэнергии на входе и выходе секционированного высоковольтного источника электропитания для электротехнологий // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. — 2008. — № 19. — С. 99—105.

4. Трансформаторы силовые общего назначения напряжением до 35 кВ включительно. / Техн. справочник, часть 2. — М.: ВНИИ Стандартэлектро, 1990. — 144 с.

5. Чайка Н. К. Блок смещения и питания катода электронно-лучевой сварочной пушки с использованием инверторных преобразователей // Автоматическая сварка. — 2007. — №7. — С. 40—43.

Надійшла 02.07.20и08

УДК 621.314

КОМАРОВ Н.С., докт.техн.наук (Ин-т электродинамики НАН Украины, Киев)

Устройства электропитания мощных дуговых нагревателей для установок газификации отходов

Рассматриваются структуры устройств электропитания дуговых нагревателей постоянного тока (плазмотронов) мощностью 0,5—1 МВт, используемых в установках газификации для переработки торфа, сланцев, бурого угля, промышленных и бытовых отходов. Обоснована перспективная структура и выполнена оценка основных показателей устройства электропитания.

Розглядаються структури пристроїв електроживлення дугових нагрівачів постійного струму (плазмотронів) потужністю 0,5—1 МВт, що використовуються в установках газифікації для переробки торфу, сланців, бурого вугілля, промислових і побутових відходів. Обґрунтовано перспективну структуру і виконано оцінку основних показників пристрою електроживлення.

© Комаров Н.С., 2009