

УДК 621.314

В.В. Мартынов, канд. техн. наук¹, Ю.В. Руденко, канд. техн. наук¹, Т.В. Руденко, канд. техн. наук²

Системы электропитания мощного электротехнологического оборудования

Рассмотрены особенности электропитания мощного электротехнологического оборудования. Показаны некоторые пути повышения качества электропитания на примере электронно-лучевого, ионно-плазменного оборудования.

The particularities of power supply for powerful electro-technological equipment are considered. Some ways for improve the power supply are rotined on the example of electron-beam and ion-plasma equipment.

Ключевые слова: *высокочастотные системы электропитания электронно-лучевое ионно-плазменное технологическое оборудование*

Введение

Широкое использование в промышленности современных электротехнологий, в которых применяются электронно-лучевые, плазменные, дуговые, лазерные и другие методы обработки материалов, требует создания специализированных источников электропитания.

Во многих случаях от качества параметров электроэнергии, которая используется в технологическом оборудовании, зависит качество технологического процесса. Источники электропитания являются важнейшим элементом в названных категориях электротехнологического оборудования, где плазма, электронный луч, как элементы нагрузки, непосредственно подключены к выходу источника электропитания. Поэтому, источники электропитания, также как и ряд других устройств технологических установок, непосредственно ответственны за результаты технологического процесса. Такие системы электропитания должны максимально удовлетворять специальным потребностям технологических процедур, обеспечивая высокую надежность и эффективность управления параметрами электроэнергии.

Использование известных устройств силовой электроники, работающих для целей электротехнологий на частоте промышленной сети, часто не позволяет реализовать все преимущества новых технологических процессов и ограничивает их производительность.

Поэтому проблема создания эффективных систем электропитания для современного элек-

тротехнологического оборудования имеет актуальное значение.

Рассмотрим некоторые основные проблемы [1,2] в процессах взаимодействия технологического оборудования и систем его электропитания.

1. Источники электропитания для вакуумно-дуговых систем. Системы вакуумно-дугового напыления

При вакуумно-дуговом осаждении необходимо организовать, как минимум три процесса. Предварительную очистку обрабатываемой поверхности за счет бомбардировки ионами. Формирование управляемого однородного ионного потока (плазменного облака), который в рассматриваемых технологических установках осуществляется с помощью вакуумного дугового разряда, благодаря которому в катодных пятнах происходит интенсивное испарение материала мишени и его ионизация. Само осаждение осуществляется из плазмы испаряемого материала, процессы могут проходить как самостоятельно, так и с дополнительной ионизацией, в среде реакционного газа, а так же с использованием напряжения смещения.

Электрическое поле, создаваемое источником смещения, сосредоточенно близ поверхности изделия, на которое наносится покрытие. При сложном профиле обрабатываемой поверхности возникает неравномерность поля. Вторичные электроны, образованные в результате столкновения ионов с атомами кристаллической решетки, могут вызвать повышение электропроводности пограничного слоя, что может привести к искровому разряду и дефекту покрытия. В некоторых случаях, искровые разряды переходят в дуговые, что приводит к локализации тока и существенному разрушению покрытия. Поэтому, качество наносимого покрытия в значительной мере зависит от свойств источника смещения. Источник смещения, должен поддерживать, на выставленном уровне, стабильное напряжение в широком диапазоне изменения токов. Источник должен обеспечивать быстрое формирование паузы в выходном токе для разрушения дуговых разрядов. Кроме того, эффективным способом снижения вероятности возникновения искровых разрядов, в некоторых случаях, является кратковременный

реверс выходного напряжения источника смещения для смены ионного тока электронным. Этот режим препятствует накоплению вторичных электронов в пограничном слое. Таким образом, создание специальных источников электропитания, которые удовлетворяют перечисленным выше требованиям, является необходимой и сложной научно-технической задачей при проектировании технологического оборудования.

В качестве испарителей металла и источников ионного потока в ионно-плазменном оборудовании находят применение дуговые испарители. Устойчивость дугового разряда таких испарителей определяется двумя условиями. Во-первых, способностью внешней цепи источника питания поддержать напряжение, необходимое для горения разряда. Во-вторых, способностью эмиссионных процессов, которые обеспечивают ток катода, величина которого ограничена внешней цепью. Существует минимальное значение тока (ток среза), при котором дуговой разряд разрушается. Устойчивость дуги сильно зависит от параметров электрической цепи источника питания. Так, включение конденсатора даже незначительной емкости параллельно промежутку значительно увеличивает ток среза. Одна из возможных причин этого явления состоит в ограничении амплитуды импульсов шумового напряжения, необходимых для возбуждения горячих пятен. Считается, что повышению устойчивости дугового разряда оказывает содействие увеличение максимального напряжения источника питания и индуктивности его исходной цепи.

Величина тока испарителя определяет плотность ионного потока на обрабатываемой поверхности. Управление технологическим процессом требует изменения тока испарителя в широких границах при обеспечении постоянства дугового разряда в широком диапазоне токов. Эти условия являются одними из важнейших требований, которым должны удовлетворять источники электропитания вакуумного дугового испарителя.

2. Источники электропитания для электронно-лучевых систем.

Важное влияние на работу электронно-лучевого оборудования оказывает стабильность ускоряющего напряжения. Наличие пульсаций и отклонения напряжения приводят к разфокусировке электронного луча и, как следствие, изменению плотности теплового потока. Это наиболее существенно в сварочных установках. Так, по различным оценкам, изменение ускоряющего напряжения в пределах 4% приводит к заметно изменению глубины проплавления и смеще-

нию луча на несколько десятых миллиметра. Для мощных пушек с углом сходимости $>10^{-2}$ рад. увеличение коэффициента пульсаций ускоряющего напряжения от 0,2 до 0,4% приводит к изменению глубины проплавления на 20% с одновременным увеличением ширины шва. Для установок электронно-лучевого напыления при допустимых 5% колебаниях толщины напыленного слоя нестабильность ускоряющего напряжения должна быть не хуже 1% при коэффициенте пульсаций 0,5-1%.

Так же чрезвычайно важной особенностью процессов в электронно-лучевых пушках есть возникновение периодических пробоев между электродами, которые не позволяют использовать стандартные источники в цепях их электропитания. Мощность современных электронно-лучевых пушек превышает сотни киловатт при напряжении в несколько десятков киловольт и межэлектродные пробойи при таких больших мощностях требуют быстродействующего ограничения тока при минимальном запасе энергии в цепях электропитания. Эти требования вступают в противоречие с показателями качества электроэнергии, в частности по уровню пульсаций напряжения, который традиционно обеспечивается применением в цепях электропитания энергоемких электрических фильтров. Кроме того, некоторые электрические разряды в межэлектродном промежутке переходят в продолжительный дуговой разряд, который создает дефекты поверхности электродов и, как следствие, это вызывает снижение ресурса электронно-лучевой пушки. Согласно проведенным расчетам, при индуктивности фильтра 3 Гн, амплитуде тока пробоя 100А, продолжительность протекания тока 0,1 сек и периодичности пробоев 5-7 в минуту срок службы катода снижается до 50 часов.

Преодолеть противоречивые требования качеству электроэнергии и влиянию пробоев на надежность пушки позволяет применение специализированных устройств электропитания, учитывающих особенности процессов в электронно-лучевых пушках. Однако выбор параметров источников электропитания требует не только качественного понимания электрофизических процессов в пушке, но и их количественной оценки. Изучение причин возникновения и развития пробоя, разработка способов его предотвращения и подавления остаются актуальной задачей.

Выводы

За период проведенных исследований были разработаны и переданы в эксплуатацию системы электропитания для различного применения [1]. Среди них – системы электропитания

для электронно-лучевых пушек с холодным катодом мощностью до 500кВт с уменьшенным запасом энергии в выходных цепях. Такие системы электропитания имеют в своем составе быстродействующую регулируемую защиту от коротких замыканий в нагрузке, а также систему автоматического повторного пуска.

Разработаны и внедрены в эксплуатацию эффективные источники смещения и источники для генераторов плазмы для pvd-технологии мощностью до 20кВт. Источники смещения позволяют регулировать выходное напряжение по требуемым законам и при необходимости осуществлять реверс выходного напряжения. Источники оснащены высокоэффективной защитой от коротких замыканий и имеют существенно сниженный запас энергии в выходных цепях.

Разработана концепция построения мощных (200-400кВт) источников электропитания систем индукционного нагрева для получения слитков монокристаллического кремния. Была показана целесообразность перехода цепей питания на сети среднего напряжения 10 кВ с использованием отдельного распределительного трансформатора и 12-пульсного выпрямителя. Это позволило уменьшить искажения формы входного тока и существенно снизить пульсации выпрямленного напряжения источника.

Разработаны и внедрены высокочастотные системы питания для оборудования плазменной газификации (переработки промышленных отходов), обеспечивающие повышенную устойчивость работы технологических плазмотронов и улучшающие условия поджига дуги.

Многолетний опыт сотрудничества с технологическими фирмами Украины, России, США показал высокую эффективность разработанных систем электропитания для технологических установок.

Литература

1. *Липківський К.О., Мартинов В.В., Руденко Ю.В., Халіков В.А., Лебедєв Б.Б. Можаровський А.Г. Дослідження та розробка напівпровідниково-трансформаторних перетворювачів для живлення електротехнологічного обладнання // Праці Інституту електродинаміки НАНУ: зб. наук. праць. – Київ: ІЕД НАНУ, 2009. – Вип. 23. – С.72 – 82.*
2. *Мартинов В.В., Руденко Ю.В., Монжеран Ю.П. Дослідження взаємодії силових транзисторних перетворювачів з дуговими, плазмовими та променевими технологічними навантаженнями // Праці Інституту електродинаміки НАНУ: зб. наук. праць. – Київ: ІЕД НАНУ, 2010. – Вип.25. – С.- 145 – 159.*

¹ *Институт Электродинамики НАН Украины, г.Киев*

² *Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»*