

УСТРОЙСТВО РЕАЛИЗАЦИИ РЕЖИМА РЕВЕРСИРОВАНИЯ ТОКА С ЗАДАННОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ИМПУЛЬСА

Ю.В. Литовка, А.С. Егоров

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор В.Ф. Першин

Ключевые слова и фразы: никелевое гальваническое покрытие; равномерность гальванического покрытия; устройство реверсирования тока.

Аннотация: Описано новое устройство, позволяющее наносить гальванические покрытия в режиме с реверсированием тока при длительностях прямого и обратного токов от 1 мс без необходимости замены имеющихся выпрямительных агрегатов на реверсивные.

Обозначения: I_k , I_a – сила тока прямого и обратного направлений соответственно, А; R – неравномерность гальванического покрытия; S_k – площадь поверхности катода, см²; t_k – время осаждения металла (катодный период), с; t_a – время анодной поляризации (анодный период), с; δ^{\min} – минимальная толщина покрытия, мкм; $\delta(x, y, z)$ – толщина покрытия в точке с координатами (x, y, z) , мкм; μ – микротвердость гальванического покрытия, кг/мм².

Одним из важных качественных показателей гальванических покрытий является равномерность, зависящая от многих факторов. При протекании электрического тока через систему «электроды – электролит» как внутри электродов, так и внутри электролита возникают электрические поля. В общем случае конфигурация электрического поля в электролитах зависит от ряда условий, связанных с геометрическими параметрами электролизера (формы электролизера; формы, количества, размеров и взаимного расположения электродов), со свойствами электролита и режимом процесса электролиза [4]. Неоднородность электрического поля, неизбеж-

Литовка Юрий Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования»; Егоров Андрей Сергеевич – аспирант кафедры «Системы автоматизированного проектирования», e-mail: polychem@list.ru, ТамбГТУ, г. Тамбов.

но возникающая вследствие краевых эффектов, приводит к неравномерности гальванического покрытия и, как следствие, к дополнительному расходу электроэнергии и металла покрытия, а при толщине покрытия на некоторых участках меньше заданной приводит к браку. Для устранения данных недостатков применяются следующие методы повышения равномерности:

1) электрохимические (изменение плотности тока, применение нетрадиционных источников тока);

2) геометрические (использование фигурного анода, биполярного электрода, токонепроводящего перфорированного экрана, многоанодных систем).

Примерами нетрадиционных источников тока являются реверсивный, асимметричный переменный и импульсный токи. Для многоанодных систем используются: разные потенциалы, поочередное включение (выключение) и изменение расположения анодных секций.

Геометрические способы являются сложными в технологическом плане и связаны с выбором конфигурации и перемещением анодных секций.

Применение импульсных режимов повышает качество покрытия, однако, как показывает работа [1], для таких процессов, как меднение, хромирование, никелирование, цинкование, серебрение, золочение и многих других, применение реверсивных токов дает еще лучшие результаты.

Рассмотрим процесс никелирования при использовании электролита Уоттса без блескообразующих добавок. Для улучшения качества никелевого покрытия будем применять реверсивный ток, так как применение такого режима является наиболее предпочтительным [1, 4]. График изменения реверсивного тока показан на рис. 1.

Периодическое изменение полярности электродов приводит к подщелачиванию прикатодного пространства в катодный период и увеличению концентрации ионов никеля в результате растворения металла в анодный период, а, следовательно, образованию коллоидной гидроокиси никеля. Ее адсорбция на поверхности металла способствует получению гладких осадков в отсутствие органических добавок в электролите.

Согласно работе [2], для получения твердых никелевых покрытий из электролита Уоттса при реверсировании тока следует выбирать такие значения периода включения прямого и обратного токов, при которых часто-

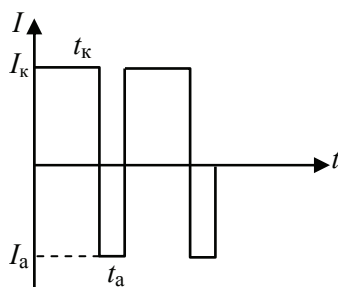


Рис. 1. График изменения реверсивного тока

та импульсов будет от 10^{-2} до 10^{-1} Гц, а скважность – от 80 до 95 %. То есть общая длительность включения прямого и обратного токов будет от 10 до 100 секунд, при этом длительность прямого тока от 80 до 95 % от общей. Однако согласно исследованиям [6], для получения твердых блестящих никелевых покрытий следует использовать длительность прямого тока не более 2 с, длительность обратного – от 4 до 50 % от длительности прямого, а в работе [1] оптимальным считают время $t_k = 20...35$ мс и $t_a = 4...6,5$ мс для прямого и обратного токов соответственно, при этом амплитуда прямого и обратного токов одинакова.

Для проведения исследований при таких длительностях прямого и обратного токов необходим выпрямительный агрегат, способный выдавать импульсы прямого и обратного токов длительностью менее одной секунды с возможностью уменьшения до нескольких миллисекунд. Однако лаборатории часто не имеют выпрямительных агрегатов с такими характеристиками. Например, используемый выпрямительный агрегат Flex Kraft (Kraftelektronik, Швеция) способен выдавать импульсы прямого и реверсивного токов длительностью не менее одной секунды. Приобретение нового оборудования с необходимыми техническими характеристиками для предприятий с небольшими объемами производства или для исследовательских целей бюджетных учреждений является чрезмерно затратным.

Цель разработки нового устройства – повышение технических характеристик имеющихся выпрямительных агрегатов для использования их в режиме реверсирования тока с длительностью импульса от 1 мс. Схема разработанного устройства представлена на рис. 2.

Устройство работает следующим образом. Анод и катод гальванической ванны, обозначенные R_H , подключаются к диагонали моста, состоя-

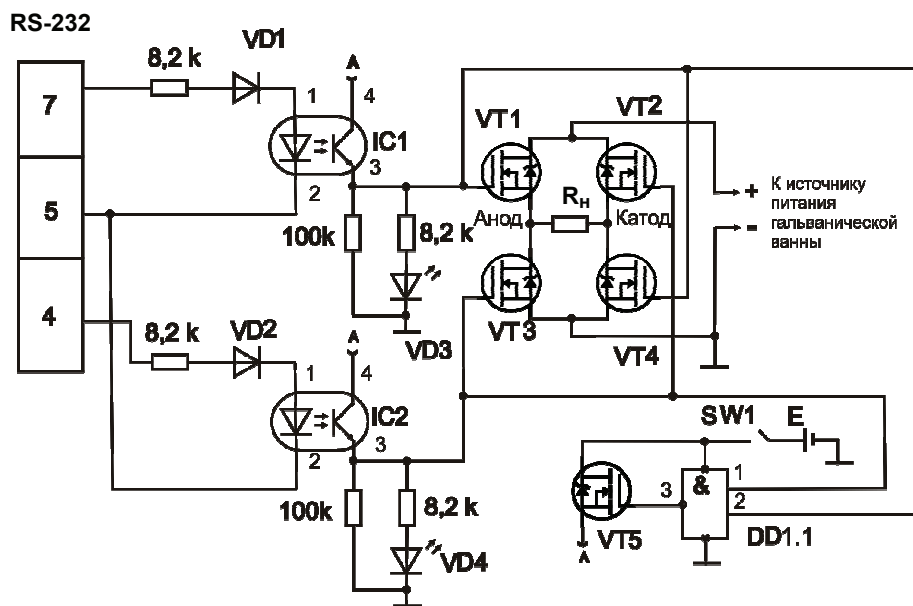


Рис. 2. Схема разработанного устройства

щего из MOSFET-транзисторов VT1 – VT4. Источник питания нагрузки R_n подключается ко второй диагонали моста с соблюдением полярности, указанной на рис. 2. Транзисторы VT1 – VT4 управляются устройством управления через оптоэлектронные ключи управления IC1 и IC2.

Пусть режим работы R_n , при котором потенциал напряжения на аноде выше, чем на катоде, будет прямым, тогда режим работы, при котором потенциал напряжения на катоде – выше, чем на аноде, и реверсивный.

Для реализации *прямого режима* устройство управления через ключ управления IC1 открывает MOSFET-транзисторы VT1 и VT4 и через ключ управления IC2 закрывает MOSFET-транзисторы VT2 и VT3. В этом случае положительный потенциал выпрямительного агрегата подается на анод через открытый VT1, а отрицательный – на катод через открытый VT4. Таким образом, потенциал на аноде будет выше, чем на катоде, следовательно, устройство R_n будет работать в прямом режиме.

Для реализации *реверсивного режима* устройство управления через ключ управления IC1 закрывает MOSFET-транзисторы VT1 и VT4 и через ключ управления IC2 открывает MOSFET-транзисторы VT2 и VT3. В этом случае положительный потенциал выпрямительного агрегата подается на катод через открытый VT2, а отрицательный – на анод через открытый VT3. Таким образом, потенциал на катоде будет выше, чем на аноде, следовательно, устройство R_n будет работать в реверсивном режиме.

Из описания алгоритма работы модели видно, что ключи IC1 и IC2 должны работать в оппозитном режиме. Исключением является режим отключения нагрузки R_n , при котором устройство управления через ключи управления IC1 и IC2 подает на затворы транзисторов VT1 – VT4 запирающие потенциалы. В этом случае, вследствие высокого сопротивления закрытых транзисторов VT1 – VT4, через R_n будет проходить ток утечки порядка 1 мА.

Так как MOSFET-транзистор является прибором, управляемым напряжением, то амплитуда напряжения на аноде и катоде и длительность заданного режима зависят от амплитуды напряжения и длительности импульса, формируемого устройством управления и передаваемого через ключи управления IC1 и IC2 на затворы MOSFET-транзисторов VT1 – VT4. Это позволяет легко реализовать преимущества цифровых устройств управления, таких как ПЭВМ и микроконтроллеры, и более точно формировать длительность режима и реализовать сложные алгоритмы управления амплитудой и полярностью напряжения на R_n (в том числе несимметричные). Кроме того, технические характеристики современных MOSFET-транзисторов, в частности рабочие температуры (до 175 °С), низкое сопротивление канала сток–исток в открытом состоянии (мОм) и большие рабочие токи (десятки и сотни ампер), позволяют реализовать предлагаемое устройство в виде простых, компактных и надежных конструкций.

Устройство подключается к персональному компьютеру по интерфейсу RS-232. Для управления устройством написана программа в среде разработки Delphi 2007. Интерфейс программы представлен на рис. 3.

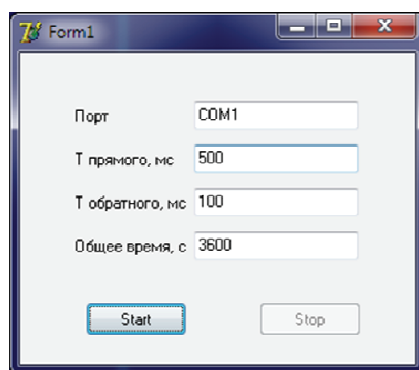


Рис. 3. Интерфейс программы управления устройством

В программе задаются порт управления устройством, длительности прямого и обратного импульсов и общее время нанесения покрытия. Также программа имеет кнопки запуска и остановки процесса нанесения покрытия. Работа программы проверялась под управлением операционной системы Windows XP и Windows 7.

Разработанным устройством можно управлять не только с персонального компьютера, но и с аппаратно-вычислительной платформы типа Arduino. Например, на рис. 4 изображено разработанное устройство, подключенное к платформе Arduino UNO.

В ходе проведения экспериментальных исследований при плотности тока 5 A/дм^2 , для периодов длительности прямого и обратного токов согласно [1, 2, 6] получены параметры никелевых гальванических покрытий (таблица).

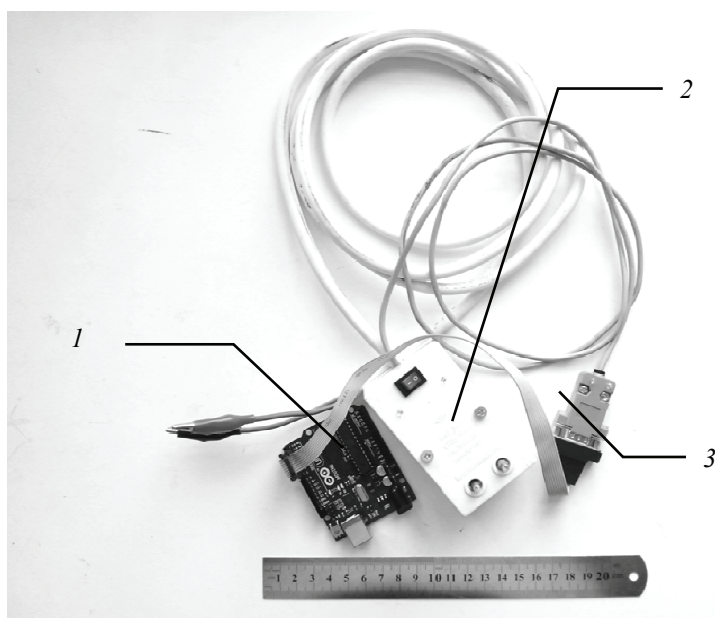


Рис. 4. Вид устройства, подключенного к Arduino UNO:

1 – плата Arduino UNO; 2 – разработанное устройство; 3 – разъем RS-232

Результаты экспериментов

№ эксперимента	t_k	t_a	R	μ , кг/мм ²
	с			
1	9	1	0,272	262,7
2	15	1	0,208	251,1
3	19	2	0,257	185,1
4	30	3	0,236	272,1
5	32	6	0,269	270,4
6	37	7	0,265	268,0
7	48	7	0,291	256,5
8	52	9	0,251	311,8
9	54	12	0,224	273,5
10	65	13	0,225	208,7
11	83	6	0,203	268,5
12	2	0,2	0,218	238,9
13	0,4	0,04	0,204	238,4
14	0,02	0,004	0,201	233,7

Для измерения толщины покрытия применялся прибор «Константа К5», а для измерения микротвердости μ – микротвердомер «ПМТ-3М».

Для расчета неравномерности R покрытия применялась формула

$$R = S_k^{-1} \int_{S_k} ((\delta(x, y, z) - \delta^{\min}) / \delta^{\min}) dS_k.$$

Проведенные экспериментальные исследования показали, что использование реверсивного тока при малых длительностях прямого и обратного токов приводит к повышению равномерности никелевого гальванического покрытия на 18,9 % по сравнению с нанесением покрытия только прямым током.

Выводы

1. Разработано новое устройство, позволяющее наносить гальванические покрытия в режиме реверсирования тока при длительностях прямого и обратного токов от 1 мс без необходимости замены имеющихся выпрямительных агрегатов на реверсивные.

2. Результаты экспериментов показали, что данное устройство работоспособно.

3. Применение в схеме устройства MOSFET-транзисторов позволяет использовать его при высоких рабочих токах и температурах, а его размеры сделать компактными.

4. Конструкция данного устройства позволяет применять его для работы в многоанодных гальванических ваннах [3] в новом режиме: в качестве управляемых выходных каскадов одного выпрямительного агрегата [5, 7], что позволит осуществить режим работы, при котором могут работать несколько анодных секций одновременно в индивидуальных режимах в соответствии с выбранным критерием оптимизации процесса.

Список литературы

1. Бахвалов, Г.Т. Новая технология электроосаждения металлов / Г.Т. Бахвалов. – М. : Металлургия, 1966. – 151 с.
2. Коллиа, С. Электроосаждение блестящих никелевых покрытий с использованием реверсивного импульсного тока / С. Коллиа, Ф. Котзиа, Н. Спиреллис // Гальванотехника и обработка поверхности. – 1992. – № 5–6. – С. 23–26.
3. Литовка, Ю.В. Метод расчета потенциалов анодов в многоанодной гальванической ванне / Ю.В. Литовка, И.А. Дьяков // Теоретические основы химической технологии. – 1997. – Т. 31. – № 2. – С. 218–221.
4. Литовка, Ю.В. Моделирование и оптимальное управление технологическими процессами гальванотехники : дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.07, 05.17.08 : защищена 06.08.1999 : утв. 11.02.2000 / Литовка Юрий Владимирович. – Тамбов, 1999. – 341 с.
5. Манукян, А.Б. Оптимальное управление объектами одного класса с распределенными параметрами при смешанных краевых условиях : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 : защищена 08.12.1983 : утв. 20.04.1984 / Манукян Анаит Бабкеновна. – М., 1983. – 145 с.
6. Пат. 2470775 США, МПК С 25 D. Electroplating Nickel and Cobalt with Periodic Reverse Current / G.W. Jernstedt, Myron Ceresa ; заявитель и патентообладатель Westinghouse electric corp. – № 759796 ; заявл. 09.07.1947 ; опубл. 24.05.1949. – 12 с.
7. Соловьев, Д.С. Система оптимального управления гальванической ванной с циклическим включением анодных секций / Д.С. Соловьев, Ю.В. Литовка, И.В. Милованов // Радиотехника. – 2010. – № 12. – С. 44–48.

The Device for Realization of the Reverse Current Mode with the Given Pulse Length

Yu.V. Litovka, A.S. Egorov

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: current reversing device; nickel electroplating; uniformity of galvanic coating.

Abstract: The new device enabling to apply electroplating in a current reverse mode at duration of direct and reverse currents from 1 ms without the need for replacement of available rectifier units by the reversible is developed.

© Ю.В. Литовка, А.С. Егоров, 2013