

В. И. ЯЦЕНКО

ИСКРО-ДУГОВОЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Источники света играют очень важную роль в спектральном анализе. Они испаряют вещество и возбуждают его спектр. От источников света в значительной мере зависит точность и чувствительность анализа, а также его быстрота. Поэтому не случайно, что «проблема источника,— по выражению академика Ландсберга,— является центральной для современного спектрального анализа».

Дальнейшее развитие спектрального анализа неразрывно связано с улучшением старых источников света и созданием новых.

В настоящее время выработалось два типа таких источников: искровые и дуговые. Первые дают возможность как возбуждать элементы с высокими потенциалами, так и получать довольно точные количественные результаты, вторые обладают высокой чувствительностью определений, хотя и возбуждают элементы с более низкими потенциалами [6,7].

Создание промежуточного источника света, обладающего свойством дуги и искры, принадлежит Н. С. Свентицкому [11]. Им был сделан первый шаг по пути разработки универсального источника света, стремление к созданию которого проявляется и теперь [3, 5, 13, 14]. Необходимо отметить, что совмещение в одном агрегате различных режимов, расширяющих диапазон возможных изменений условий разряда — одно из требований, предъявляемых к современному источнику света. Перед нами стояла задача разработать и сконструировать на базе известных схем отдельных режимов генератор, позволяющий путем простых переключений получать различные виды разряда.

ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ГЕНЕРАТОРА

В основу конструкции генератора была положена схема дуги переменного тока двойного питания с отдельными изменениями и добавлениями; учитывались некоторые данные генератора ДГ-1 [6].

Преследовалась цель получить следующие режимы: 1) дугу переменного тока, 2) искру по трансформаторной схеме, 3) искру по автотрансформаторной схеме, 4) высокочастотную искру, 5) маломощную высоковольтную искру, 6) дугу постоянного тока.

Три из этих шести режимов свойственны генераторам ДГ-1. Прежде чем перейти к характеристике данных режимов, остановимся на схеме двойного питания — основе генератора, в которую нами были внесены главные изменения (рис. 1). Учитывая опыт эксплуатации генератора ПС-39, построенного по этой схеме [2], мы стремились устранить его недостатки в нашей конструкции.

Первый недостаток генератора ПС-39 — отсутствие возможности получения дуги переменного тока ниже 1 а. С. И. Абрамсон [1] выяснил причину нестабильной работы генератора при малых силах тока и предложил ставить параллельно блокировочному конденсатору C емкости с последовательно включенным оптическим сопротивлением. В нашем случае дополнительная емкость равнялась $2\mu\text{F}$, а сопротивление $200\ \text{ом}$. В результате был получен стабильный дуговой разряд силой тока $0,4\ \text{а}$.

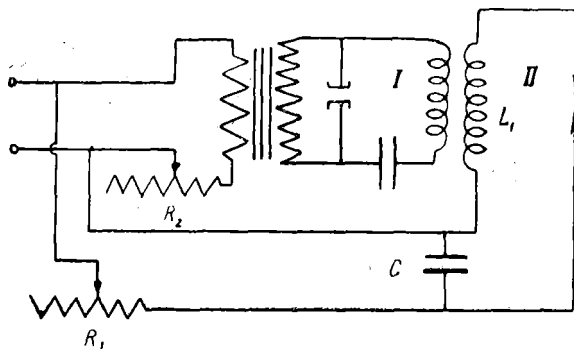


Рис. 1. Принципиальная схема генератора с двойным питанием.

Обеспечение стабильности работы генератора при малых силах тока имеет большое практическое значение для анализа легкоплавких сплавов и исследования покрытий [1, 2].

Второй недостаток — не совсем точная и спокойная работа генератора, особенно в дуговом режиме. Практика показывает, что целесообразно применять трансформатор, повышающий от $110\ \text{в}$,

питая его через достаточно большое сопротивление от $220\ \text{в}$. Из-за отсутствия сетевого напряжения в $220\ \text{в}$, повышающий трансформатор питается в нашем генераторе через автотрансформатор мощностью в $300\ \text{вт}$.

Мощность повышающего трансформатора равнялась $100\ \text{вт}$. Она выбиралась в соответствии с требованиями, предъявленными конструкцией генератора в целом. Мощность порядка $25\text{--}40\ \text{вт}$, применяемая в генераторе ПС-39, была бы недостаточной для отдельных режимов сконструированного генератора. Большие мощности, используемые, как правило, в заграничных конструкциях [13, 14], могут привести к тому, что спектр основного разряда будет маскироваться спектром свечения поджигающего импульса, особенно тогда, когда мощность основного разряда невелика.

Третий существенный недостаток генератора ПС-39 относится к разряднику и заключается в неудобстве регулировки и невозможности прямого отсчета зазора, что усложняет вариацию условий возбуждений спектра. Нами был построен специальный разрядник с микрорегулировкой. Он применяется для точного количественного анализа. Для менее точных работ существует другой разрядник, отсчитывающий величины зазора, при этом предусмотрено их переключение.

НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ ОБ ОТДЕЛЬНЫХ РЕЖИМАХ

Выясним целесообразность применения и достоинства указанных выше режимов.

Дуга переменного тока оправдала себя на практике, о чем свидетельствует повсеместное ее применение. Она является промежуточным источником между дугой постоянного тока и высоковольтной конденсированной искрой и обладает не только большой чувствительностью возбуждения, но и очень высокой чувствительностью количественных

определений. Дуга переменного тока имеет двойную схему питания. Для питания разряда энергия подводилась прямо из сети, а для поджигания дуги служит ток высокой частоты от искрового генератора. Схема ее показана на рис. 1.

Искра по трансформаторной и автотрансформаторной схеме.

Известно, что характер спектра, усиление и ослабление линий, принадлежащих разным степеням ионизации, определяется плотностью тока в канале разряда [2], зависящей от самоиндукции L_1 разрядной цепи (рис. 1). Чем меньше индуктивность, тем жестче искровой режим, интенсивнее возбуждаются линии с высокими потенциалами возбуждения и тем слабее дуговые линии. Основная схема дуги переменного тока позволяет получить искровой разряд различной жесткости и мощности в зависимости от величины индуктивности L_1 и емкости конденсатора C .

Искру по трансформаторной схеме можно получить в двух режимах, воспользовавшись всей вторичной обмоткой высокочастотного трансформатора, имеющей 90 витков и индуктивность 370 мкГн, или взяв от нее отвод (30 витков, 70 мкГн). Дальнейшее уменьшение индуктивности ведет к срыву искры, и только переход на автотрансформаторную схему снова дает искру еще большей жесткости, с помощью которой можно определять углерод в сталях [4], а также другие металлоиды. Искровой режим с успехом применяется при эрозийном отборе пробы [12].

Высокочастотный разряд и высоковольтная маломощная искра могут быть получены, если основное питание дуги отключается. При данных видах разряда можно проводить анализ нержавеющей стали, покрытий [8] и образцов малой массы без их повреждения.

Дуга постоянного тока обладает большой чувствительностью и является одним из самых подходящих источников для качественного анализа неметаллических проб [9]. Дуга постоянного тока поджигается в нашем генераторе кратким переменным импульсом, что является более удобным, чем сдвигать электроды для ее зажигания. Работает дуга довольно спокойно, без особых блужданий катодного пятна.

Все упомянутые режимы можно получить простым переключением. Принципиальная схема генератора представлена на рис. 2.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА

При исследовании работы генераторов и подборе наиболее эффективных стабильных условий разряда отдельных режимов, нами был широко использован катодный осциллограф. Осциллограммы тока наглядно отражали ход процесса разряда и служили точным критерием работы генератора. На рис. 3 и 4 приведены осциллограммы тока дуги и искры.

Осциллограмма тока дуги (рис. 3) показывает изменение амплитуды тока на искровом промежутке, за период T . Мы видим, что время горения дуги составляет не весь полупериод, а только часть его, примерно 0,5, следовательно, длительность дугового разряда равна $5,10^{-3}$ сек. Совершенно иной характер имеет осциллограмма тока искры. Искровой разряд — это короткий импульс. Он значительно отличается от дугового по своей длительности и амплитуде. И это не случайно, так как разряд конденсаторов без наличия значительного сопротивления происходит довольно быстро. С уменьшением зарядного сопротивления R_1 характер

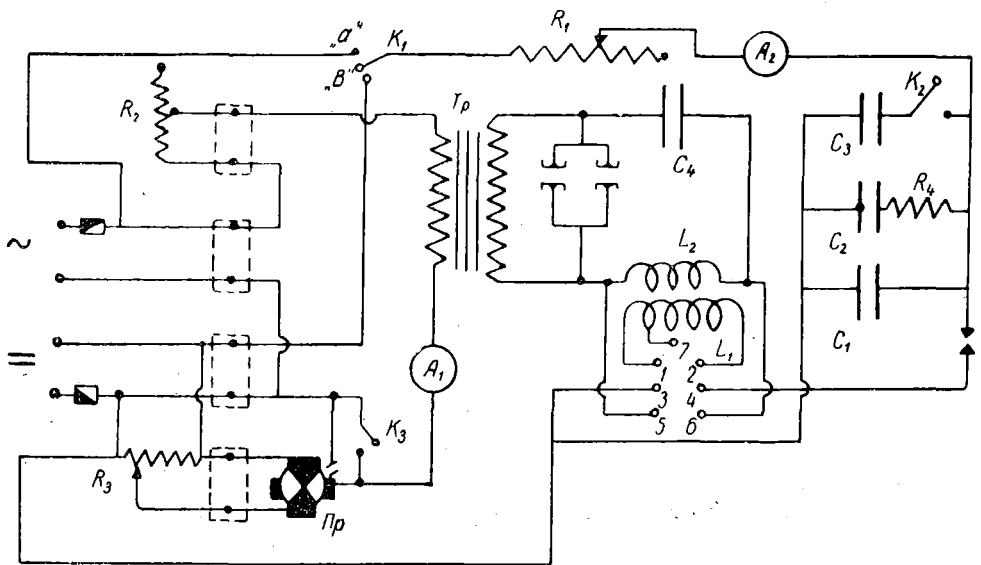


Рис. 2. Принципиальная схема генератора.

Емкости: $C_1 = 0,25 \mu\text{F}$, $C_2 = 2 \mu\text{F}$, $C_3 = 12 \mu\text{F}$, $C_4 = 0,005 \mu\text{F}$; индуктивности: $L_1 = 370 \mu\text{H}$, $L_2 = 10 \mu\text{H}$; сопротивления: $R_1 = 60 \text{ ом}$, $R_2, R_3 = 450 \text{ ом}$, $R_4 = 200 \text{ ом}$. T_p — высоковольтный трансформатор 4400/127, Pr — мотор с прерывателем.

Переключение на различные режимы:

- 1) Дуга переменного тока. Ключ K_1 в положении *a*, клеммы 1 и 3, 2 и 4 — замкнуты, ключ K_2 — разомкнут.
- 2) Искра по трансформаторной схеме. а) Индуктивность $L_1 = 370 \mu\text{H}$; ключ K_1 в положении *a*, клеммы 1 и 3, 2 и 4 — замкнуты, ключ K_2 — замкнут, б) Индуктивность $L = 70 \mu\text{H}$; ключ K_1 в положении *a*, клеммы 1 и 3, 7 и 4 — замкнуты, ключ K_2 — замкнут.
- 3) Искра по автотрансформаторной схеме. Ключ K_1 в положении *a*, клеммы 3 и 5, 4 и 6 — замкнуты, ключ K_2 — замкнут.
- 4) Высокочастотная искра. Ключ K_1 в положении *a*, клеммы 1 и 3, 2 и 4 — замкнуты, ключ K_2 — замкнут.
- 5) Высоковольтная, маломощная искра. Высокочастотный контур подводится непосредственно к электродам.
- 6) Дуга постоянного тока. Ключ K_1 в положении *a*, поджигающий контур — режим 2а.

Примечание: При работе с прерывателем ключ K_3 — разомкнут, без прерывателя — ключ K_3 — замкнут.

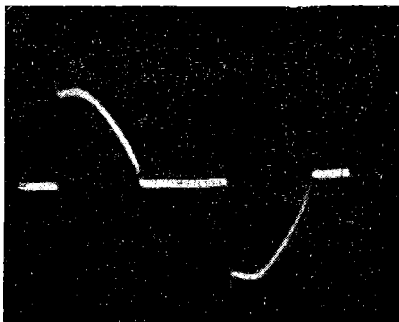


Рис. 3. Осциллограмма тока дуги переменного тока.

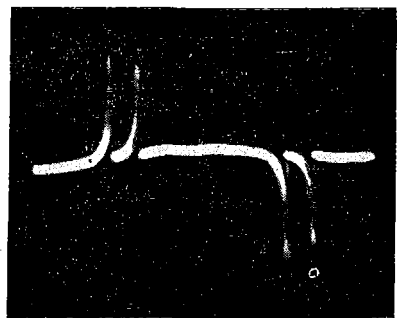


Рис. 4. Осциллограмма тока искры

разряда будет приближаться к дуговому, и при силе тока выше $2 a$ искра переходит в дугу, о чем свидетельствуют осциллографические наблюдения. Таким образом, увеличивать яркость спектра в искровом режиме путем увеличения числа поджигающих импульсов можно только до некоторого предела. Таким пределом служат обычно 3—4 искры. Наиболее точные результаты анализа в дуговом режиме были получены при одном поджигающем импульсе, в искровом — при одном — двух.

Изменять число поджигающих импульсов можно двумя путями: регулировкой зазора разрядника или изменением сопротивлений в первичной цепи повышающего трансформатора. Наблюдать картину разряда и подбирать число искр можно, благодаря стробоскопическому эффекту, в колеблющемся зеркале. При хорошей тренировке это можно делать на слух. При подборе оптимальных условий разреза отдельных режимов мы пришли к следующим выводам.

Дуга переменного тока работает стабильно при одном поджигающем импульсе в пределах силы тока $0,5—5 a$, сила тока в первичной цепи трансформатора равна $0,2—0,25 a$. Промежуток между электродами — до 3 мм . Колебание силы тока в основной цепи не превышает $\pm 0,05 a$. Искра по трансформаторной схеме (режим *a*) работает наиболее устойчиво при $1—1,5 a$. Колебание силы тока $\pm 0,02 a$. Искра (режим *b*) работает стабильно при тех же условиях, но при этом междуэлектродный промежуток не должен превышать $1,5 \text{ мм}$. Для работы по автотрансформаторной схеме силу тока в цепи трансформатора следует взять не менее $0,4 a$. Зазор между электродами измеряется в миллиметрах.

Для дугового режима, как основного режима генератора, была определена стабильность работ. Определение стабильности велось по воспроизводимости относительной интенсивности двух стандартных линий меди: одной дуговой — $\text{Cu } 2492,2\text{\AA}$, другой искровой — $\text{Cu } 2486,6\text{\AA}$. Для фототрафирования спектров применялись спектральные пластинки НИКФИ, чувствительностью 4 Xи D ; съемка проводилась на кварцевом спектрографе ИСП-22; фотометрирование — на микрофотометре МФ-2.

Ход вычисления средней квадратической ошибки был обычным [7].

Разность почернений между стандартными линиями меди определена для 72 снимков. На основании полученных данных вычислена средняя квадратическая ошибка разностей почернений и сделана оценка ошибки по отношению к концентрации. Она составляет 4% . Следует указать, что эта ошибка учитывает не только погрешности в концентрации, происходящие под влиянием возбуждения, но и ошибки пластинок и фотометрирования. Ошибка возбуждения будет ниже полученной. Как показывает опыт эксплуатации генератора, ошибка в концентрации за счет возбуждения не превышает 2% .

* * *

Построенный генератор относится к управляемому типу генераторов; управление ведется поджигающей высокочастотной искрой. Испытания на длительность работы и воспроизводимость анализа показали, что внесенные в схему генератора ПС-39 конструктивные изменения улучшают работу генератора, повышая стабильность его работы.

Конструкция генератора позволяет простым переключением получить шесть различных режимов. Генератор 4 года успешно используется для спектрального анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамсон И. С. Журн. «Заводская лаборатория» № 2, 1950.
2. Абрамсон И. С., Мандельштам С. Л. Изв. АН СССР, сер. физ. № 2 1947.
3. Альшиц М. И., Воронцов Е. Б. Журн. «Заводская лаборатория» № 9, 1951.
4. Борбат А. М., Головченко В. П. Журн. «Заводская лаборатория» № 9, 1951.
5. Клименко М. Е. Изв. АН СССР, сер. физ. № 5, 1950.
6. Мандельштам С. Л. Введение в спектральный анализ, Гостехиздат, 1946
7. Прокофьев В. К. Фотографические методы количественного анализа металлов и их сплавов, т. 1, 2, Гостехиздат, 1951.
8. Прокофьев В. К., Таганов К. М. «Заводская лаборатория» № 3, 1949.
9. Русанов А. К. Спектральный анализ руд и минералов, Госгеолыздат, 1948.
10. Русанов А. К. Изв. АН СССР, сер. физ. № 3, 1947.
11. Свентицкий Н. С. Изв. АН СССР, сер. физ. № 2, 1941
12. Свентицкий Н. С., Таганов К. И. Изв. АН СССР, сер. физ. № 4, 1948.
13. Hasler M. F. and Dieterg H. W. JOSA, 33, 218 (1943).
14. Sinclair D. A. JOSA, 38, 547 (1948).