

УСТРОЙСТВО СТАБИЛИЗАЦИИ ДУГОВОГО РАЗРЯДА НА ОСНОВЕ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Николаев Н.С.¹, Колоненко А. Л.², Внукова Н.Г.², Зайцев Н.К.³

научный руководитель д-р техн. наук Чурилов Г.Н.

¹ФГАОУ ВПО «Сибирский Федеральный Университет», ²ИФ СО РАН, ³СКТБ
«Наука»

Стабилизация дугового разряда магнитным полем необходима для решения задач в областях атомно-эмиссионной спектроскопии, металлургии, машиностроения, высокоэнергетическом синтезе и т.д. В настоящее время, стабилизация дугового разряда постоянного тока обычно осуществляется вращающимся магнитным полем.

Так как, частицами ответственными за ионизацию в электрической дуге служат электроны, траектории их движения образуют проводящий канал, т.е. шнур дуги. Воздействие внешнего магнитного поля изменит траектории электронов, на которые со стороны поля будет действовать сила Лоренца,

$$\vec{F}_L = q_e (\vec{E} + [\vec{v}_e \times \vec{B}]), \quad (1)$$

отклоняющая их от прямолинейного движения, тем самым изменит форму дугового шнура. В силу выше сказанного дуговой разряд примет форму, повторяющую траекторию движения электрона, показанную на рисунке 1а. Т.е. под воздействием магнитного поля дугой шнур отклонится от прямолинейного движения.

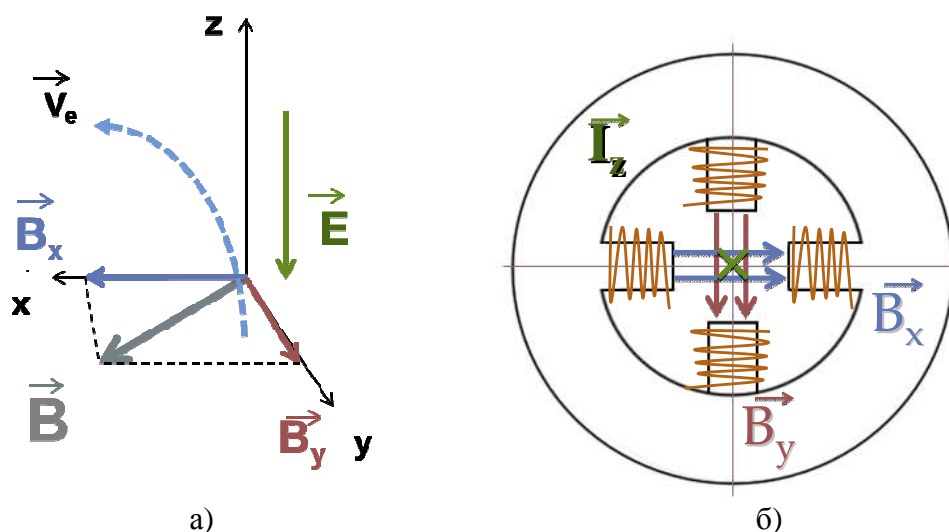


Рис. 1. а) Траектория движения электрона. б) Магнитное поля прикладываемое к дуговому разряду.

Под влиянием вращения магнитного поля, согласно закону Ампера:

$$d\vec{F} = [\vec{I}_z dl \times \vec{B}] \quad (2)$$

вращается и дуга разряда постоянного тока. Что в свою очередь и приведёт к локализации плазменного шнура.

Было показано, что при наложении вращающегося магнитного поля к дуговому разряду происходит его стабилизация. [1]

Вращение магнитного поля возможно суперпозицией двух полей перпендикулярных друг другу, и изменяющихся по гармоническому закону с постоянной частотой.

$$\vec{B} = \vec{B}_x \cos(\omega t) + \vec{B}_y \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (3)$$

Согласно формуле (3) обеспечивается вращение вектора \vec{B} , в плоскости перпендикулярной плоскости обмоток катушек электромагнита. А значит, существует возможность собрать магнитный стабилизатор, представляющей собой генератор вращающегося магнитного поля (ВМП), на основе двух электромагнитов, с частотой вращения, совпадающей с частотой тока промышленной сети (50 Гц).

Нами был собран генератор ВМП, на основе двух электромагнитов, создававших конфигурацию поля, показанную на рисунке 1б. Сердечники электромагнитов были изготовлены путём лазерной резки, из листа трансформаторной стали толщиной 0,5 мм. Резка выполнялась в СКТБ «Наука», технологическим лазером ЛН-1.2 мощностью 1кВт. Каждый электромагнит имел две катушки по 500 витков, соединенных последовательно. На рисунке 2 представлена электрическая схема генератора ВМП.

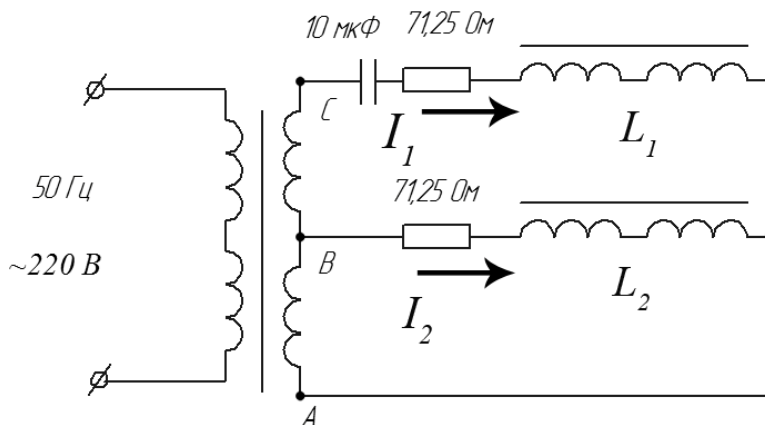


Рис.2. Электрическая схема генератора ВМП.

Токи I_1 и I_2 , питающие электромагниты L_1 и L_2 разнесены по фазе. В сборке сердечники наложены друг на друга, генерируют поля как показано на рисунке 3 т.е. обеспечивают вращение магнитного поля, согласно формуле (2), в плоскости сердечников электромагнитов (3), перпендикулярной направлению тока дуги.

Величина вектора магнитной индукции создаваемого магнитным стабилизатором, измерялась по величине ЭДС наведенной в замкнутом контуре, подключенном к осциллографу.

$$\varepsilon(t) = -N \frac{d\Phi}{dt}; \quad (4)$$

$d\Phi$ - магнитный поток через один виток рамки.

Интегрируя выражение (4), выводим формулу (9) для максимального значения магнитного поля, создаваемого катушкой.

$$\Phi = B(t)\Delta S; \quad (5)$$

$$B(t) = B_m \cos \omega t; \quad (6)$$

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_m \sin \omega t; \quad (7)$$

$$\varepsilon_m \sin \omega t = N\omega\Delta S \cdot B_m \sin \omega t; \quad (8)$$

$$B_m = \frac{\varepsilon_m}{\omega \cdot N \cdot \Delta S}; \quad (9)$$

где B_m - величина вектора магнитной индукции,

ε_m - максимальное значение ЭДС в рамке,
 N – количество витков в рамке,
 ω - частота переменного тока,
 ΔS - площадь рамки.

Для измерения использовалась рамка с 27 витками медной проволоки диаметром 0,2 мм, со средней площадью витков 144,63 мм². Рамка располагалась в центре промежутка между катушками перпендикулярно их торца. С учётом приборной погрешности, получаем величину максимальной индукции каждой катушки $B_x = 0,01461 \pm 0,00004$ Тл, $B_y = 0,01519 \pm 0,00003$ Тл соответственно. По показаниям осциллографа определялась разность фаз $\Delta\varphi = 90 \pm 1,5$ °.

Генератор ВМП также возможно использовать для стабилизации ВЧ разряда. Для этого потребуется к ВЧ компоненте тока дуги добавить постоянную составляющую, формула (10).

$$I_z = I_{\max} \sin(\omega_{\text{ВЧ}} t) + I_{\text{const}} \quad (10)$$

Источником постоянной составляющей (ПС) служит фильтр низкой частоты (НЧФ), питаемый от сети.

Осуществляем ВЧ дуговой разряд между двумя медными водоохлаждаемыми электродами на частоте 66 кГц.[2,3] Электрическая схема питания килогерцового разряда представлена на рисунке 4.

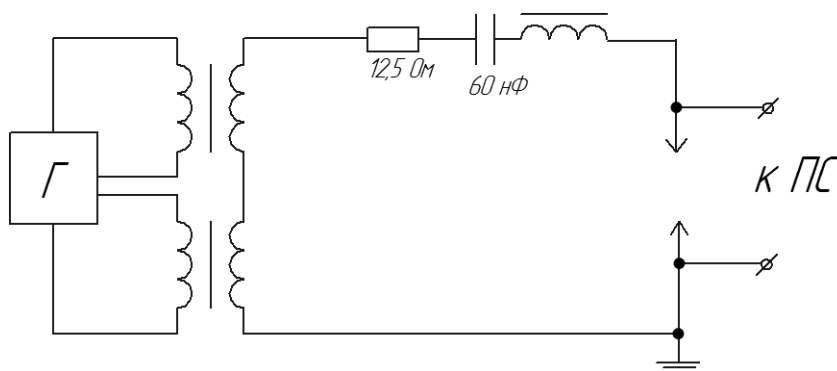


Рис. 4. Электрическая схема питания ВЧ дугового разряда.

Постоянная компонента добавляется благодаря подключению в схему питания разряда НЧФ, схема которого приведена на рисунке 5.

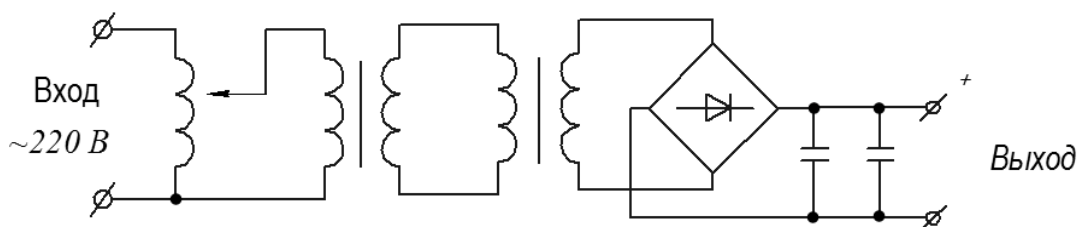


Рис. 5. Электрическая схема НЧФ, для постоянной составляющей.

При сравнении ВЧ разряд с ПС во вращающемся магнитном поле, и без поля, визуально наблюдалось удлинение области более яркой светимости разряда (области

высокой температуры), при включении генератора ВМП. В случае отсутствия ВМП добавление к ВЧ составляющей, постоянной компоненты тока, не приводило к видимым изменениям разряда. Однако, детально о влиянии на разряд ПС и ВМП, имеет смысл говорить только после получения спектральной характеристики разрядов, что планируется выполнить в дальнейшем.

Список используемой литературы:

1.Повышение точности спектрального анализа магнитной стабилизацией. Н.В. Буянов., В.П.Замараев, А. К. Туманов – М.: изд-во «Металлургия» - 1971.

2.Методика и устройство для исследования динамики разрядов переменного тока. Стратификация разряда в потоке аргона при атмосферном давлении. Г.Н.Чурилов, В.А.Лопатин, П.В.Новиков, Н.Г.Внукова. – Приборы и техника эксперимента. 2001. № 4. С.105-109.

3.Внукова Н.Г. Установка для атомно-эмиссионного анализа. Методика обработки спектров.//Диссертация на соискания степени к.т.н. – Красноярск 2003.