

CURRENT REGULATION ELECTRONIC SYSTEM FOR ELECTRICAL ARC WELDING EQUIPMENT

SISTEMA ELECTRÓNICO DE REGULACIÓN DE CORRIENTE PARA UN EQUIPO DE SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO

**Ing. Alberto Nicolás Figueroa Cuello, MSc. Ing. Antonio Gan Acosta.
Ing. Wilson Antonio Gan Cuba**

Universidad de Pamplona

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 156

E-mail: {alberto.figueroa.cuello, antoniogan, gancuba}@gmail.com

Abstract: The current regulation system is based on the principle of phase angle control of a SCR controlled power rectifier by means galvanic connection (transforming of pulses), with local control user interface and in the distance microcontroller commanded; for power transformer calculation a novel method is show, it is very simple and effective.

Resumen: El sistema de regulación de corriente esta basado en el principio de control de potencia por ángulo de fase de un rectificador controlado a base de SCR por medios de acoples galvanicos (transformadores de pulsos), con interfaz de usuario de mando local y a distancia gobernada por microcontroladores; se muestra un método novedoso, por su simplicidad y efectividad para el cálculo del transformador de potencia.

Keywords: Weld, Arc Welding, Transformer, SCR.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años, la demanda de los sistemas electrónicos para el control de la soldadura por arco eléctrico ha tendido a crecer. La necesidad de realizar el una soldadura de forma, eficiente y de mejor calidad, nos ha llevado a un desarrollo y perfeccionamiento de técnicas y sistemas para el control del proceso de soldadura por arco eléctrico.

Con respecto a esto podemos decir que Colombia al igual que todos los países tercer mundista, es un país consumidor o asimilador de tecnologías del mundo desarrollado, el cual tiende a comercializar y ofertar sus productos a precios muy elevados lo cual se agrava por los costos de importación, entre otros aranceles aduaneros y transporte (hasta el

orden de los 30 millones de pesos colombianos). Por tal motivo, las ofertas existentes en el mercado nacional de equipos de soldadura por arco eléctrico para electrodo revestido, no satisfacen las necesidades, ni los requerimientos y normas técnicas, debido a las características deficientes en la calidad de la soldadura que producen, e incomodidad para los operarios.

La soldadura por arco eléctrico está relacionada con casi todas las actividades industriales, además de ser una importante industria en sí misma. Gracias al desarrollo de nuevas técnicas durante la primera mitad del siglo XX, la soldadura por arco sustituyó al atornillado y al remachado en la construcción de muchas estructuras, como puentes, edificios y barcos.

Es una técnica fundamental en la industria automotriz, en la aerospacial, en la fabricación de maquinaria y en la de cualquier tipo de producto hecho con metales. De igual manera podemos decir que en el mundo industrial existe gran cantidad de aplicaciones donde se requiere la regulación de la corriente alterna, entre ellas, el control de velocidad de motores, la soldadura eléctrica y la cantidad de iluminación.

Esto se puede lograr con el uso de autotransformadores o introduciendo resistencias variables (potenciómetros); Pero ninguno de estos dos métodos resultan aconsejables, el primero resulta muy costoso y el segundo muy ineficiente. Con el aumento y desarrollo de las tecnologías electrónicas, los SCR y los Triac han hecho del control de potencia eléctrica un proceso relativamente sencillo, económico y de fácil manejo y control.

El presente sistema esta basado bajo el principio de regulación de potencia en los SCR, cimentando su control y operación en los Chip Microcontroladores, bajo el acople a través de ellos por medios de transformadores de pulsos. La técnica de nuestro sistema se basa en que la potencia de salida puede variarse regulando la fase de conducción de los SCR.

2. SOLDADURA

2.1. Definición

La soldadura la podemos definir como un procedimiento o proceso mediante el cual dos o más piezas de metal se unen por aplicación de calor, presión, o una combinación de ambos, con o sin el aporte de otro metal, sustancia o material ajeno a las piezas o de su misma naturaleza, llamado metal de aportación, cuya temperatura de fusión es inferior a la de las piezas que han de soldarse. Debido a que el objetivo trascendental de este artículo son los equipos de soldaduras por arco eléctrico, vamos a ser más sustanciales y específicos en el análisis respectivo para este caso.

3. SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO PARA ELECTRODOS REVESTIDOS

3.1. Definición

La soldadura por arco eléctrico es un proceso, en el que la energía obtiene por medio del calor que produce un arco eléctrico funde un material de aporte, llamado electrodo, que se deposita entre las

dos piezas fijando su unión. La fusión del metal se produce como consecuencia del calor generado por un arco voltaico o eléctrico que se hace saltar entre el electrodo y el metal base, pudiéndose alcanzar temperaturas elevadas que superan los 4.000 a 4.500 °C, permitiendo así su ensamblado mediante un metal de aportación de la misma naturaleza.

3.2. Principio básico de la soldadura por arco eléctrico

Para describir el principio de la soldadura por arco eléctrico (ver Fig. 1) podemos decir que al acercar el electrodo a la pieza que se va a soldar, se induce una diferencia de potencial entre el electrodo y la pieza a soldar, con lo cual se ioniza el aire entre ellos y pasa a ser conductor, de modo que se cierra el circuito produciéndose así un cortocircuito y se crea de esta manera el arco eléctrico, que desprende una intensa luz y un calor muy fuerte. El calor del arco provocará la fusión (Fundir) parcial del material de base así como la del material de aporte del electrodo, el cual se deposita y crea el cordón de soldadura.

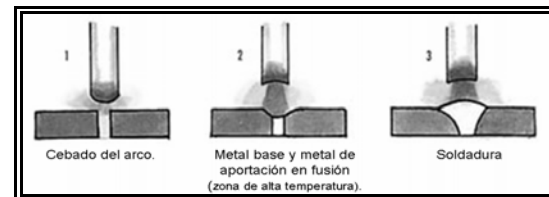


Fig. 1. Descripción del principio básico de la soldadura

3.4. Proceso y partes que influyen en la soldadura por arco eléctrico

Para este caso vamos a resaltar el proceso que sucede cuando se está realizando la soldadura o se esta soldando una pieza o material cualesquiera. Partiendo del principio de la soldadura por arco eléctrico podemos describir las siguientes partes que influyen o intervienen de manera directa o indirecta en el proceso real de la soldadura por arco eléctrico.

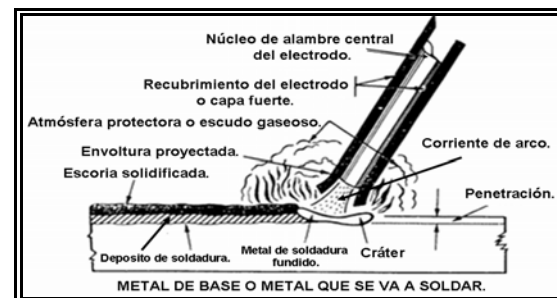


Fig. 2. Proceso de soldadura por arco eléctrico

4. PRINCIPIO DEL CONTROL POR FASE DE LOS SCR

En el sistema de regulación se controla el flujo de la potencia hacia la carga, demorando el ángulo de encendido del SCR. Los términos populares para describir la operación de un SCR son ángulo de conducción y ángulo de retardo de disparo. El ángulo de conducción es el número de grados de un ciclo de CA durante los cuales el SCR está encendido.

El ángulo de retardo de disparo es el número de grados de un ciclo de CA que transcurren antes de que el SCR sea encendido. Por supuesto estos términos están basados en la noción de que el tiempo total del ciclo es igual a 360° .

Al momento que el ciclo de CA inicia su parte positiva, el SCR está apagado. Por tanto tiene un voltaje instantáneo a través de sus terminales de ánodo y cátodo igual al voltaje de la fuente. Esto es exactamente lo que se vería si se coloca un interruptor abierto en el circuito en lugar del SCR. Dado que el SCR interrumpe en su totalidad el suministro de voltaje; por lo que el voltaje a través de la carga es cero durante ese lapso.

En general, antes de que el SCR se dispare, el voltaje es retirado de entre los terminales del SCR, y la carga ve un voltaje cero. Después de haberse disparado el SCR, la totalidad del suministro de voltaje es retirado a través de la carga, y el SCR presenta voltaje cero. El SCR se comporta como un interruptor de acción rápida.

5. SISTEMA DE REGULACIÓN DE CORRIENTE

Los bloques funcionales del sistema se muestran en la figura.

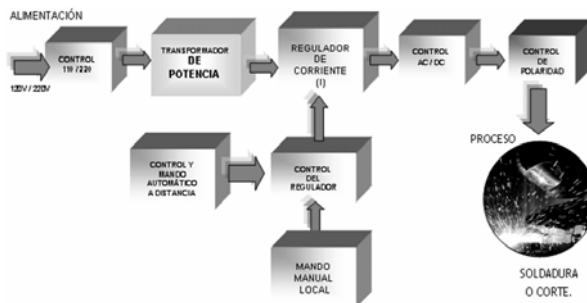


Fig. 3: Diagrama en bloques del sistema de regulación de corriente para soldadura por arco eléctrico de electrodos revestidos

Después de la fuente de alimentación, se encuentra un variador de los valores de tensión, por ejemplo 110 V y 220 V. Luego de esto encontramos el transformador de potencia eléctrica para adaptar la red eléctrica a los valores requeridos para el proceso de soldadura por arco eléctrico. Seguido de esto el regulador de corriente que nos permita variar digitalmente los valores de corriente en dependencia de las características físicas y químicas del material a soldar y, del tipo de soldadura necesaria a utilizar.

En seguida de esto tenemos el variador de género de corriente que permite establecer el tipo de corriente a utilizar el cual puede ser DC o AC. Inmediatamente el bloque de variación de polaridad solo para DC de la tensión en los electrodos.

Saliéndonos de la línea del proceso, también encontramos el bloque de control para el regulador de corriente que ajusta el mismo para obtener los valores requeridos de corriente según el ángulo de disparo y poder así regular la potencia de salida.

El control de mando manual y local nos permite ajustar por medio de una interfaz de usuario los valores requeridos de corriente. El bloque de control y mando a distancia es para ajustar los valores de corriente utilizando métodos inteligentes de operación.

El sistema en su conjunto cuenta de los siguientes subsistemas: Eléctrico, Térmico, Regulación Electrónica, Control Electrónico y Comunicación Digital.

5.1. Método de diseño simplificado del transformador de potencia

Utilizando la expresión general para la fuerza electromotriz:

$$E = 4.44 f N \phi_m \quad (1)$$

Donde, $E = FEM$ f = Frecuencia nominal de la red eléctrica. N = Número de vueltas. ϕ_m = Flujo magnético [Weber].

Asumiendo por análisis físico-matemático que la $E \approx V$.

A partir de la Ecuación 1 obtenemos la ecuación para calcular el número de vueltas en un devanado:

$$N = \frac{V}{4.44 f \phi_m} \quad (2)$$

Aplicando esta ecuación al primario del transformador, tenemos que:

$$N_1 = \frac{V_1}{4.44 f \phi_m} \quad (3)$$

Donde, N_1 = Numero de vueltas del primario
 V_1 = Voltaje nominal del primario.

Procedimiento para el cálculo de ϕ_m (Ley de Ampere).

$$\phi_m = \beta \cdot S \quad (4)$$

Donde, β = Inducción magnética [Tesla].

S = Área de la sección transversal del núcleo [m²]

Procedimiento práctico para la selección de la inducción magnética (β), si no se disponen de datos técnicos del catalogo del núcleo. Para este caso tomamos como referencia la curva de saturación electromagnética del peor núcleo de Hierro, y Según la siguiente grafica podemos encontrar el valor de β , teniendo en cuenta la Ley de Ampere, de tal manera que debido a las condiciones de operabilidad podemos escoger un valor por medio del rango promedio de 1 (ver Fig.1).

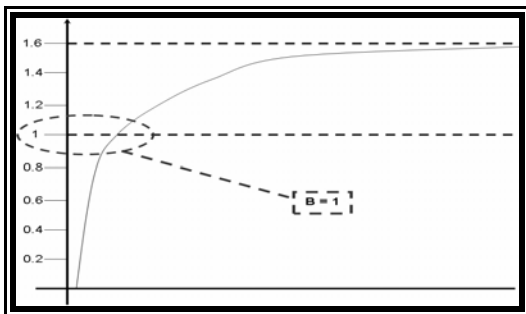


Fig. 2. Curva de saturación del núcleo

De esta forma reemplazamos β en la ec. 4:

$$\phi_m = S \quad (5)$$

Reemplazando ϕ_m en la ecuación 3, obtenemos el número de vueltas de primario:

$$N_1 = \frac{V_1}{4.44 f S} \quad (6)$$

Para $f = 60$ Hz, $B = 1$ Tesla y S [cm²], la ecuación se simplifica ha: $N_1 = \frac{37.5 V_1}{S}$ (7)

Teniendo N_1 , se puede calcular el valor de N_2 , o el número de vueltas de cualquier otro devanado, utilizando la relación que define el coeficiente de transformación: $K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2}$ (8)

Donde:

K = Coeficiente de transformación.

N_2 = Numero de vueltas del secundario.

V_2 = Voltaje nominal del secundario.

I_1 = Corriente del primario.

I_2 = Corriente del secundario.

En el transformador real debe considerarse la eficiencia y aumentarse la potencia del primario entre un 15% y 20% al inicio de los cálculos, debido a las pérdidas en Hierro y Cobre y por corrientes parásitas.

El cálculo térmico del transformador es lo más complejo de todo el proceso, un procedimiento práctico es seguir las recomendaciones de densidades de corrientes aconsejables en dependencia de la potencia (ver Tabla 1.):

Tabla 1. Densidad de corriente aconsejable

P [VA]	D [A/mm ²]
10-50	4
50-100	3.5
100-200	3
200-500	2.5
500-1000	2

La potencia que puede manejar el transformador esta definida por la sección transversal de los conductores, la relación Hierro-Cobre y el espacio disponible para introducir los devanados

En su mínima expresión la potencia que maneja el transformador depende de la tensión aplicada a los devanados y de la corriente que circula por los conductores, donde:

$$P = E * I \quad (9)$$

A partir de la Ecuación 1 y sustituyendo Φ por su expresión (Ec. 4), se observa la relación que existe en la tensión aplicada o generada en un devanado depende del número de vueltas y de la sección transversal del núcleo, donde:

$$E = 4.44 f N B S \quad (10)$$

Si aumenta el número de vueltas y se disminuye la sección transversal del núcleo, la tensión permanece constante o viceversa, si se aumenta la sección transversal del núcleo y disminuye el número de vueltas, la tensión también permanece constante. O sea que:

$$\text{Si } N \rightarrow \downarrow \text{ y } S \rightarrow \uparrow \rightarrow E = \text{Constante}$$

$$\text{Si } N \rightarrow \uparrow \text{ y } S \rightarrow \downarrow \rightarrow E = \text{Constante}$$

Por tanto, la potencia que puede manejar el transformador depende de la relación o compromiso del hierro (sección transversal) del núcleo y del cobre de los devanados (sección transversal de los conductores), siempre y cuando haya espacio para su ubicación, el costo en el

mercado internacional si se fuera a construir del Hierro y el Cobre sería el indicador que definiría la proporción de utilización de cada uno de ellos.

Si se construye a partir de un núcleo recuperado la potencia del transformador estaría limitada por el área de la ventana interior que define el espacio disponible para la ubicación de los devanados, pues a más potencia el diámetro de los conductores sería mayor y las dimensiones de los devanados también.

5.2. Diseño del circuito del circuito de regulación

Después de calculados y determinados los parámetros de diseño del circuito electrónico, se procede a la selección de los SCR de potencia teniendo en cuenta el estado de funcionamiento.

Estado de bloqueo

Estas condiciones son primordiales para la selección del SCR, ya que deben ser superiores a los valores máximos que se quieren controlar. Se maneja un coeficiente de seguridad entre 2 y 2.5, para las siguientes características:

V_{RRM} : Tensión inversa repetitiva máxima. Valor máximo que soporta el SCR de tensión negativa.

V_{DRM} : Tensión directa repetitiva máxima. Valor de tensión máximo que puede soportar el SCR sin cebarse.

V_{DSM} : Tensión directa máxima de pico repetitivo. Valor máximo de tensión directa con circuito de puerta abierto que se puede aplicar durante un cierto tiempo sin provocar el disparo.

V_{RSM} : Tensión inversa de pico no repetitiva. Tensión máxima inversa que se puede aplicar durante un cierto tiempo sin que haya avalancha.

V_{BO} : Tensión directa de basculamiento. Tensión directa que produce el cebado del SCR sin la intervención de la puerta.

V_{BR} : Tensión inversa de ruptura o avalancha.

I_D : Corriente directa de saturación, bloqueo o fugas. Valor máximo de la corriente del tiristor en sentido directo y estado de bloqueo directo referida a una T_j determinada y a una tensión directa determinada.

I_R : Corriente inversa de bloqueo, fugas o saturación. Valor máximo de la corriente inversa del tiristor en estado de bloqueo inverso, referida a una T_j y tensión inversa determinada.

Estado de conducción:

I_{TAVM} : Corriente directa media máxima. Valor máximo de la corriente media en sentido directo bajo una T_j y factor de forma de la corriente concretas.

I_{TRMSM} : Valor eficaz máximo de la corriente directa máxima. Valor máximo que en valor eficaz puede alcanzar la corriente directa en unas condiciones de T determinadas.

I_{TSM} : Corriente directa de choque máxima. Valor eficaz máximo de la corriente que puede soportar el SCR durante un tiempo y una T_j determinada.

r_f : Resistencia de la pendiente de la característica de conducción.

I^2t : Integral de carga límite. Sirve para elegir lo fusibles que se colocaran en las ramas donde estén los SCR.

V_{TO} : Tensión umbral. Caída de tensión mínima del SCR en sentido directo.

V_T : Caída de tensión directa.

Características térmicas

T_j : Temperatura de la unión.

T_{STG} : Temperatura de almacenamiento.

P_G : Potencia disipada por el diodo G-K.

P_Q : Potencia de desconexión.

P_S : Potencia de conexión.

P_D : Potencia de bloqueo directo.

P_R : Potencia de bloqueo inverso.

P_T : Pérdidas de paso

$$P_{total} = P_T + P_G + P_Q + P_S + P_D + P_R$$

Características de puerta o de control

I_{GNTM} : Máxima corriente de puerta que no ceba el tiristor ni en las mejores condiciones de tensión y temperatura.

V_{GNTM} : Máxima tensión de puerta que no ceba el SCR ni en las mejores condiciones de tensión directa y temperatura.

I_{GT} : Corriente mínima que ceba el SCR para una T_j y una tensión directa dada.

V_{GT} : Tensión mínima del SCR para T_j dada.

P_{GM} : Máxima potencia instantánea que soporta el diodo puerta-canal.

P_{GAVM} : Potencia media máxima que puede soportar la unión puerta-canal.

V_{GFM} : Máxima tensión directa en la puerta.

I_{GFM} : máxima corriente directa en la puerta.

V_{GRM} : Máxima tensión inversa que es capaz de bloquear el diodo puerta-canal.

Parámetros de conmutación:

t_{on} : Tiempo de encendido. Tiempo que transcurre hasta que la corriente alcanza el 90% de su valor final.

$t_{off} = t_q$: Tiempo de apagado. Tiempo que transcurre desde que la corriente pasa por cero hasta que la reaplicación de una V_{AK} con una pendiente y un valor determinado no produce el cebado del SCR sin la aplicación de un impulso.

di/dt = Valor máximo admisible de la pendiente de corriente por debajo de la cual no se producen puntos calientes.

du/dt = Pendiente de establecimiento de la V_{AK} por debajo de la cual el SCR no se ceba sin la aplicación de un impulso.

6. CONCLUSIONES

El método de diseño para la operación y control digital de equipos de soldadura por arco eléctrico para electrodos revestidos, es un aporte tecnológico que puede mejorar la calida del proceso, la facilidad y efectividad de operación con que se lleva a cabo el mando y la disminución de los costos, con respecto a las ofertas existentes en el mercado nacional e internacional.

La adaptación de microcontroladores a este sistema se facilita la eficiencia, versatilidad y economía del equipo.

El uso de los SCR de potencia posibilita, por medio de transformadores de pulsos y bajo el control de los chip microcontroladores, con un sincronismo aportado por un circuito de detección de cruce por cero, la opción de controlar el ángulo de disparo del rectificador con el objeto de obtener un control adecuado de los intervalos de operación de cada tiristor y lograr así ejercer control directo sobre la potencia de salida.

El método de diseño del transformador de potencia es un procedimiento novedoso por su sencillez y simplicidad, sin dejar de ser riguroso y efectivo. Se recomienda para el diseño de transformadores a partir de núcleos recuperados, donde no se dispone de la información de las características técnicas del hierro electrotécnico con el cual fue fabricado.

REFERENCIAS

- Maloney Timothy J. *Electrónica Industrial Moderna*. Prentice Hall. 2004.
- Muhamad Rashid. *Electrónica de potencia de circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Segunda edición. Pearson Education. 2005.
- Pelly, B.R. "Thyristor Phase-Controlled Converters and Cycloconverters" [621.381.528P393t], primera edición, Editorial Wiley-Interscience, Estados Unidos de América, 1971.
- Boylestad Robert y Nashelsky Louis. *Electrónica. Teoría de Circuitos*. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1998.
- Fundamentos de electrónica Robert L. Boylestad Louis Nashelsky Cuarta edición. 2001.
- Principios de electrónica. Malvino. Quinta Edición. 2000
- Circuitos Electrónicos. Schilling-Belove. Segunda Edición. 1998.
- Electrónica Industrial Técnicas de Potencia. Gualda-Martínez. Segunda Edición. 2003.
- Microelectrónica. Jacob Millman. Cuarta Edición. 2001.