

Control Power of a Carbon-Fiber Infrared Heating Film

Students: Carlos Otero Verdejo, Rodrigo Sainz Méndez

Advisers: Manuel Rico-Secades , Antonio Javier Calleja Rodriguez

Work Reference: WRE-2013-05

WRE - Workroom on Renewable Energy

Gijón Polytechnic Campus of Engineering (EPI Gijón)

Abstract

There are plenty of systems that need a power control nowadays in order to adapt to this technologic world we are living. The goal of this project is to design a power control applied to a Carbon-Fiber infrared heating film. This heating film is a modern technology, that has just appeared on sale and it gives us a chance to make a power control depending on the temperature we want. This project includes the design, a potential enforcement and the implementation of the whole system to reach our goals. In the future, it may be possible to make a prototype that puts this theoretical development into practice.

Keywords

AC Power control, TRIAC, Heating Foil,

I.- INTRODUCCIÓN

El sistema de control de potencia está optimizado para su uso con la nueva tecnología de suelo radiante HeatFlow. Este tipo de suelo consiste en una base de fibra de carbono, que junto con otros muchos componentes y unas finísimas pletinas de cobre está diseñado para disipar calor emitiendo radiación en el espectro infrarrojo.

En la figura uno, podemos ver un ejemplo de la estructura interna de este suelo radiante.

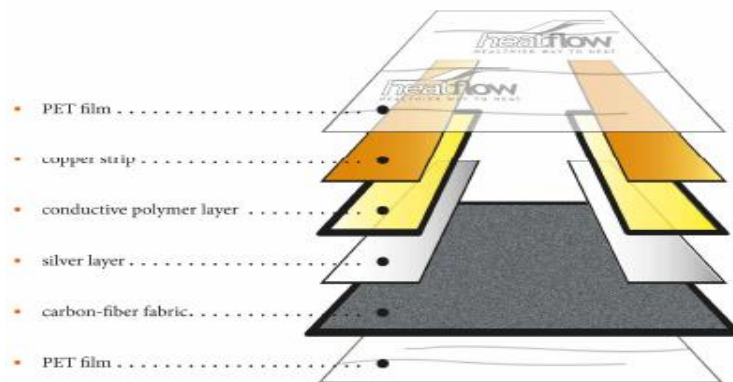


Fig. 1. Estructura interna del suelo HeatFlow

El compuesto basado en fibra de carbono (Carbon Fiber-Fabric) es el punto clave en el funcionamiento de este suelo radiante puesto que es la capa que emite la radiación infrarroja y por tanto, radia el calor al ser excitada por la corriente eléctrica que circula por las láminas de cobre.

Mucha diferencia existe entre este tipo de suelo térmico y los primeros modelos que aparecieron en el mercado basados en la tecnología del hilo radiante. Éstos se sirven básicamente de una resistencia eléctrica colocada bajo el suelo, que al paso de la corriente se calienta a alta temperatura y emite calor en forma de radiación. Si bien es cierto que el principio de funcionamiento es similar, hay una evidente diferencia tecnológica y de aplicación de ese principio entre un suelo de hilo radiante y la tecnología HeatFlow. La tecnología HeatFlow funciona a temperaturas mucho más bajas lo cual permite, entre otras cosas un menor consumo y un mejor rendimiento.

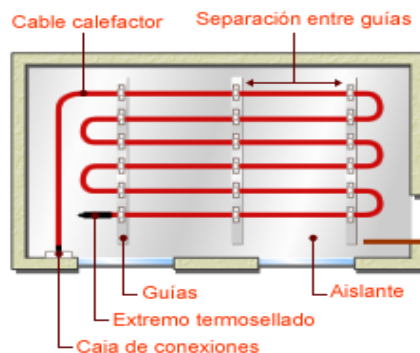


Fig. 2. Estructura interna de un suelo Hilo Radiante

En la figura dos, podemos ver el esquema típico de un sistema calefactor basado en la tecnología del hilo radiante.

Nuestro control se hace sobre la potencia entregada al suelo HeatFlow desde la red eléctrica en función de la temperatura exterior. Esto permitirá entregar más o menos calor desde el suelo térmico hacia nuestra sala o lugar a calefactar en función del frío exterior, además de ayudarnos a ahorrar en consumos innecesarios si la temperatura ya es adecuada.

II. APLICACION SUGERIDA

Entre todas las posibles aplicaciones que se le pueden dar a nuestro diseño, nos atrevemos a sugerir una que creemos podría tener éxito en el mercado. Nuestra propuesta consiste en instalar este tipo de suelos en la terraza de una cafetería o bar, ya sea en una zona con alguna mesa, o en una pequeña zona para estar de pie mientras la gente sale a fumar. Es algo muy común que la gente salga fuera de los bares a fumar un cigarro, y que lo hagan con abrigos para intentar escapar del frío, sobre todo en invierno. ¿Por qué no instalar una pequeña zona con suelo térmico para dar algo de calor en esa situación?



Fig. 3. Sugerencia de aplicación

En la figura tres podemos ver una imagen tridimensional de nuestra propuesta de aplicación del suelo térmico. Podemos ver una pequeña terraza situada delante del bar con algunas mesas y bajo el suelo de la terraza podemos ver colocado el suelo térmico.

Nuestro control de potencia permitirá que mediante un pulsador el fumador solicite por ejemplo cinco minutos de acción del suelo. Por supuesto, esa temporización podría modificarse en función de los deseos del propietario. Incluso podríamos tener el suelo entregando muy poco calor constantemente a fin de reducir el consumo y que en el momento que se acciona el pulsador se entregue más potencia. Todo esto son variaciones sencillas de hacer sobre nuestro sistema, que actualmente decide inteligentemente que potencia aplicar cuando se acciona el pulsador en función de la temperatura exterior medida con un sensor.

III. EL CONTROL DE POTENCIA

El control de potencia, que es la base de nuestro proyecto, lleva años siendo aplicado en distintos tipos de aparatos de uso común. Especialmente importante ha sido siempre en aparatos de calefacción, control de cantidad de luz entregada por bombillas, etc.

El proyecto se basa en la utilización de un TRIAC, elemento de la electrónica de potencia que es perfecto para este uso por la facilidad con la que se puede controlar para que conduzca o no en función de nuestras necesidades.

El TRIAC es un tiristor bidireccional, su modelo simplificado lo podemos asimilar por un interruptor y dos diodos en anti-serie con la peculiaridad de que el interruptor se cierra con un impulso de corriente por la puerta y se abre al paso por cero. Por decirlo de una manera sencilla es un interruptor que se controla por corriente, pero que a diferencia de un SCR que solo puede conducir en un sentido, el TRIAC puede conducir en cualquiera de los sentidos.

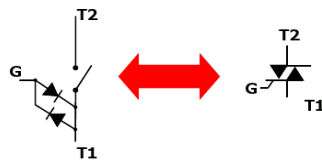


Fig. 4. Modelo ideal de un TRIAC

Estas características hacen del TRIAC un elemento que es muy utilizado en el control de la tensión de fase sobre una carga. También da la opción de hacer un control de potencia en base a los ciclos de la tensión que bloqueamos mediante el uso del dispositivo.

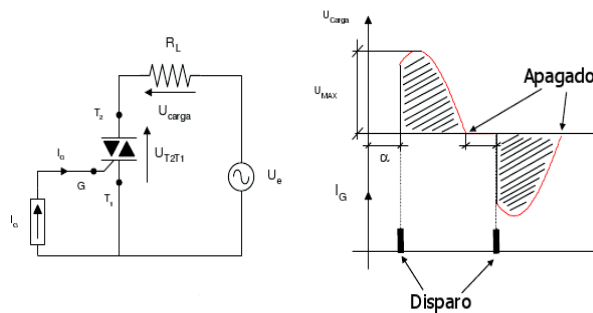


Fig. 5. Uso del TRIAC en control de Potencia

En la figura 5 vemos un ejemplo del uso del TRIAC para controlar la tensión de fase entregada a una carga. En la grafica se muestra como la onda senoidal de la fuente se ve “cortada“ y solo aparece tensión en la carga en el momento del disparo del TRIAC que se produce mediante pequeños pulsos de corriente aplicados sobre la puerta del elemento.

Esto es la base de nuestro proyecto, ya que mediante un TRIAC controlaremos la cantidad de ciclos de tensión que le llegan a nuestro suelo térmico, de este modo haremos uso del TRIAC para controlar la potencia entregada. En nuestro caso, podremos controlar cuantos ciclos de cada diez queremos que lleguen a la carga mediante el uso de un microprocesador. Es decir, utilizaremos un programa del micro para controlar los disparos del TRIAC y por ende cuanta potencia entregaremos al suelo térmico.

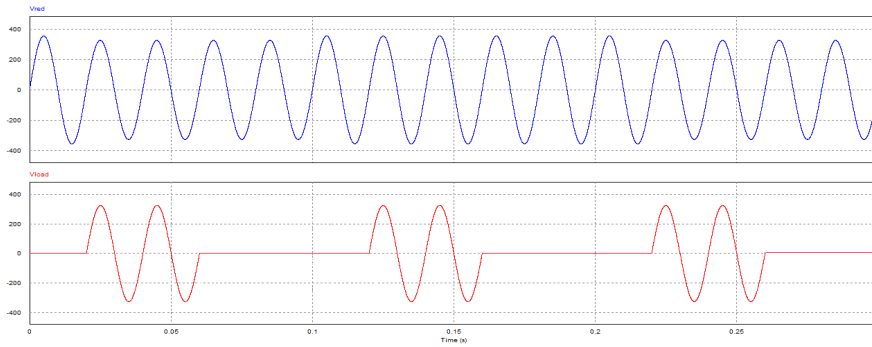


Fig. 6. Control de potencia al 40%

En la figura seis podemos ver el ejemplo de la aplicación en nuestro proyecto. En ese caso aplicando una potencia del 40% sobre la potencia total. Vemos en azul la onda senoidal producida por nuestra fuente, que no es otra que la tensión de red. En rojo vemos la forma de la tensión que le llegará al suelo térmico cuando este trabaja al cuarenta por ciento. Vemos que de cada diez ciclos de la tensión de red, llegan cuatro ciclos al suelo térmico. Estos llegan además espaciados en dos veces, con el fin de mantener la tensión media más estable. En la figura siete vemos exactamente lo mismo, pero aplicando esta vez el sesenta por ciento de la tensión total.

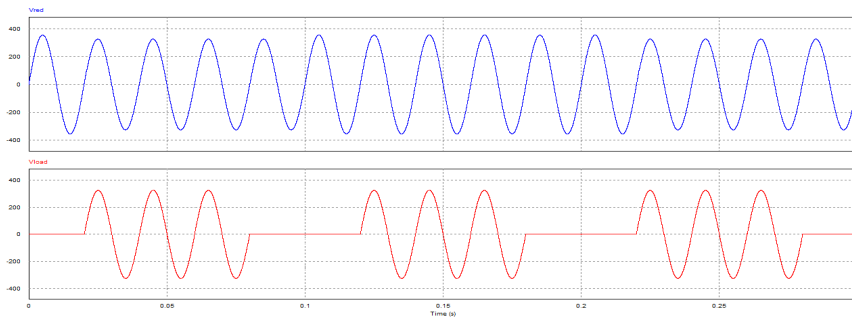


Fig. 7. Control de potencia al 60%

III.- ESQUEMA ELECTRÓNICO

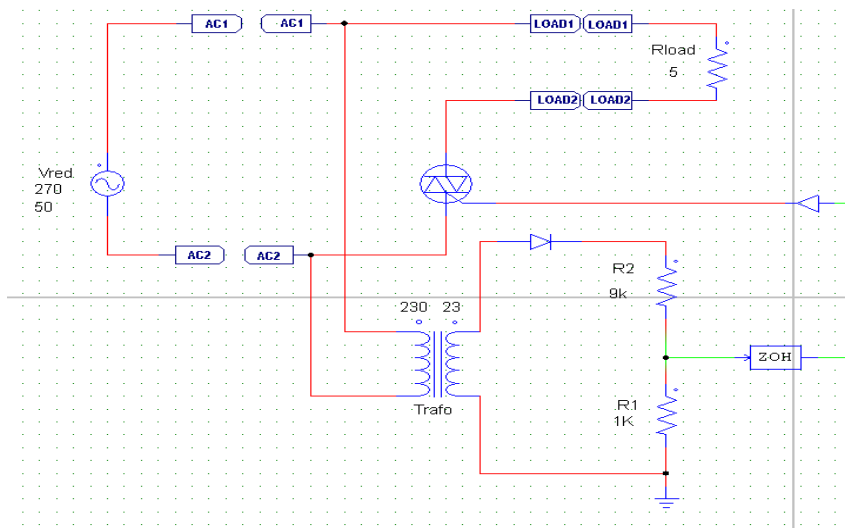


Fig. 8. Esquema básico del proyecto

El esquema básico del proyecto es lo que podemos ver en la figura ocho. En él, observamos una fuente que simula la tensión de la red eléctrica conectada directamente a una carga resistiva que representa nuestro suelo térmico. Entre ambos observamos el TRIAC, para el cual la señal de disparo llega desde un microprocesador que no se ve en la imagen. Por otro lado tenemos un transformador que nos ayudará a adaptar la tensión de red. En el ejemplo de la imagen, el transformador mide la tensión de red y la envía al micro para que éste pueda operar con ella. En nuestro caso el transformador lo utilizaremos simplemente para alimentar el microprocesador, por tanto necesitaremos adaptar la tensión de red de los 230 voltios a 5 voltios que nos pide el micro para la alimentación.

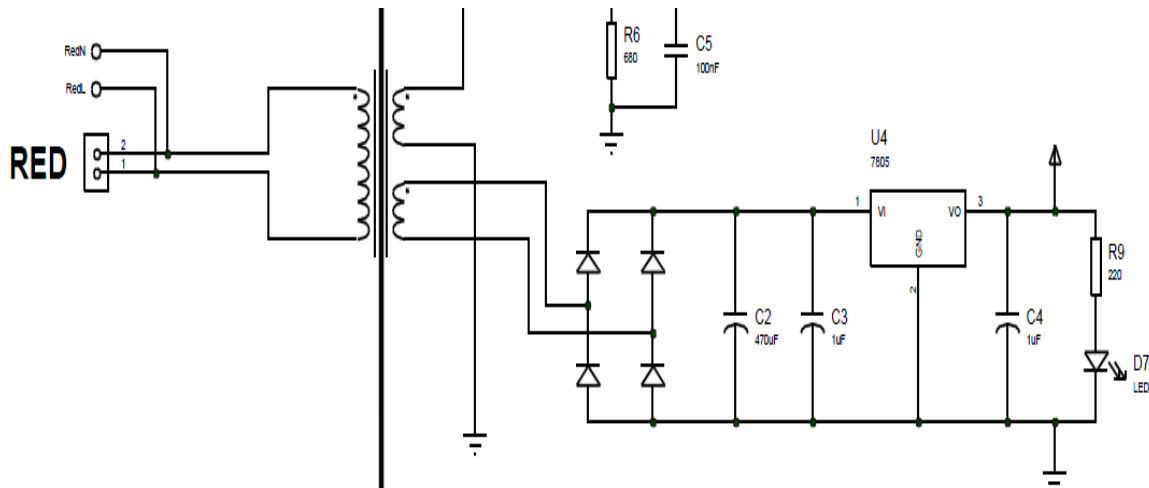


Fig. 9. Esquema de alimentación del microprocesador

En la figura nueve se observa el esquema utilizado para la alimentación del microprocesador. Detallando un poco este sistema, observamos las tomas para la conexión a la red pues este esquema corresponde a parte del diseño de la placa de circuito impreso creada para el proyecto. A continuación tenemos un transformador con tres bobinados, uno de ellos nos permite la adaptación de la tensión de red a 7,5 voltios. El otro bobinado de salida nos sirve para llevar la tensión de red a una de las patas del micro y poder medir con ella los ciclos de la tensión de red. Continuando con el esquema de alimentación, observamos un rectificador monofásico de doble onda hecho a partir de diodos. Esto nos permite generar ondas con componente positiva únicamente. Luego observamos dos condensadores de filtro y finalmente pasamos la tensión por un 7805 que nos fija a la salida los cinco voltios que necesitamos. Una vez obtenida esta tensión podemos conectar la alimentación del microprocesador.

Con esto tenemos el noventa por ciento de nuestro esquema completado. Solo nos falta un último problema por solucionar que es el disparo del TRIAC, que opera a 230 voltios desde el microprocesador. Para evitar posibles riesgos, debemos aislar en la placa la parte que se encuentra conectada a la tensión de red, por ello utilizaremos para el disparo del TRIAC un optoacoplador.

El optoacoplador es un elemento electrónico que tradicionalmente se compone de un diodo LED y de un fototransistor o fototriac. El LED al conducir y emitir una cantidad de luz concreta satura el fototransistor o el fototriac y por tanto, nos permite controlar dos circuitos aislados eléctricamente mediante la emisión de luz desde un diodo led que es lo que necesitamos para nuestra placa.

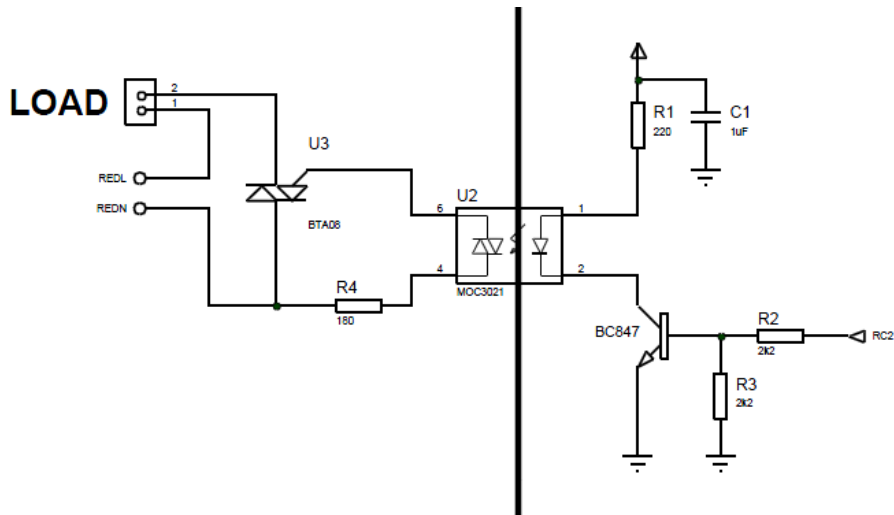


Fig. 10. Esquema de disparo del TRIAC mediante optoacoplador

En la figura diez podemos observar el esquema de disparo del TRIAC. Podemos observar que el circuito nos permite controlar el TRIAC mediante un optoacoplador desde una de las patas del microprocesador que está conectada a la base del transistor bipolar situado en la parte inferior derecha del esquema. En función de que la pata del micro saque un cero o un uno lógico, es decir que ponga o no tensión en la salida el transistor conducirá o entrará en corte, de este modo, cuando conduce circulará corriente por el LED del optoacoplador y éste emitirá luz que sature el fototriac, de este modo llegará corriente a la puerta del TRIAC de potencia y éste se disparará y comenzará a conducir. Mientras este conduzca le llegará corriente a los dos conectores situados en la parte izquierda del esquema, conectores que se han de utilizar para conectar el suelo térmico. Es de este modo como haremos un sencillo pero inteligente control de la potencia aplicada sobre el suelo térmico.

El esquema es, por supuesto, sólo el cincuenta por ciento del trabajo, pues el otro cincuenta por ciento necesario para que el sistema funcione correctamente depende del programa implementado en el microprocesador que controla todo el circuito.

A parte de los diseños y las pertinentes simulaciones mediante programas de computador, también fue parte del objeto de este proyecto el diseño de la placa de circuito impreso que construida nos servirá para poder llevar a cabo todo lo que aquí vemos sobre el papel.

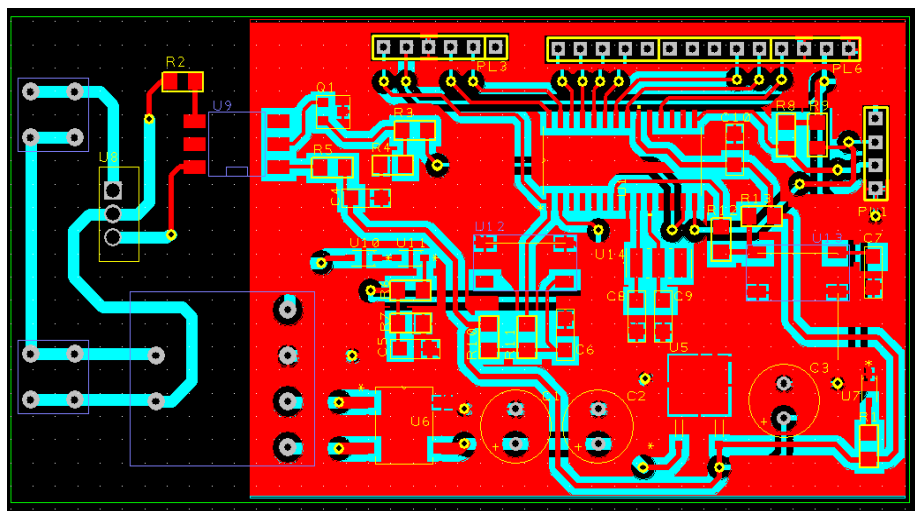


Fig. 11. Esquema de la placa de circuito impreso diseñada.

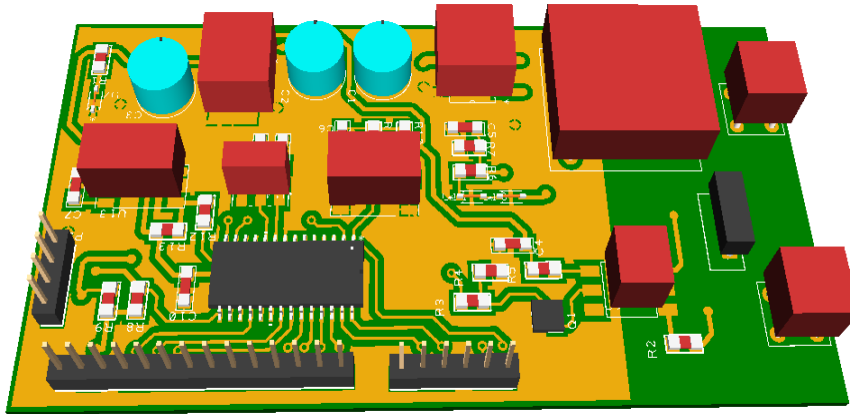


Fig. 12. Vista 3D de la PCB diseñada para el proyecto.

En las figuras doce y trece observamos imágenes de la placa de circuito impreso que se ha diseñado de cara a la elaboración del proyecto. La figura doce nos muestra como ha quedado el esquema de diseño. La trece muestra una vista en tres dimensiones de la parte superior de la placa. Cabe reseñar que en rojo se ven aquellos componentes que al no tener un esquema PCB que permitiera incluirlos en la placa, su esquema ha sido creado por los autores del proyecto.

IV.- SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES

La selección de los componentes electrónicos es otro de los aspectos que cabe reseñar en este proyecto. Si bien en algunos componentes las características del proyecto dan lugar a la posibilidad de elegir entre varias opciones, en determinados casos la selección del componente es clave.

Es evidente que el caso en el que la selección del componente es crucial es en el TRIAC que controla la potencia transferida al suelo térmico. Es crucial que el componente elegido sea capaz de soportar la corriente que el suelo térmico demande y también de disipar el calor generado por el paso de esa corriente, aunque eso ya es un tema de cálculo de un disipador apropiado, tema en el que nos meteremos posteriormente.

Lo primero que necesitamos saber es, por tanto, cuantos metros cuadrados de suelo vamos a necesitar. Por tanto es obvio que el TRIAC a utilizar dependerá notablemente del tipo de aplicación que se vaya a dar al control de potencia. No será el mismo si queremos controlar una pequeña zona para fumar en el exterior de un bar, que si queremos controlar la calefacción de una casa entera.

Para nuestra aplicación bastará con unos pocos metros cuadrados, pongamos por ejemplo que queremos utilizar seis metros cuadrados. El cálculo es muy sencillo pues sabemos que el suelo se alimenta a 230V y que de los modelos que tiene el fabricante el que más consume es 290W/m² (obtenido del Datasheet del suelo térmico). Por tanto:

$$P = V \cdot I \rightarrow I = \frac{W}{V} = \frac{290}{230} = 1,26A$$

Esa será la corriente consumida por cada metro cuadrado de suelo térmico. Por tanto, si queremos seis metros de suelo deberemos contar con un TRIAC que soporte 7,56 A al menos.

El TRIAC que hemos escogido es el BTA08 cuyas principales características son las siguientes:

Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	8	A
V_{DRM}/V_{RRM}	600 and 800	V
$I_{GT} (Q_1)$	5 to 50	mA

Fig. 13. Características del TRIAC escogido.

El resto de la elección de los componentes es bastante sencilla pues habría multitud de elementos en el mercado que nos servirían para poder realizar su función.

En el caso del optoacoplador por ejemplo, solo hemos de tener en cuenta que el fototriac sea capaz de soportar trabajar con la tensión de red y debe ser capaz de conducir un pico de corriente capaz de disparar el TRIAC de potencia. Por eso hemos elegido trabajar con el MOC3020 que soporta 400V y que es capaz de conducir un pico de 1,2 amperios.



Fig. 14. Imagen del MOC3020 usado en el proyecto.

El siguiente componente de reseñable importancia en el trabajo es el microprocesador. Para nuestro caso, no tenemos un programa de gran complejidad, ni necesitamos una gran cantidad de memoria por lo que la mayor limitación a la hora de elegir el micro es contar con el número necesario de patas para conectar el resto de componentes. Hemos elegido trabajar por tanto con el PIC16F876A, un micro que ya conocíamos antes de iniciar este trabajo, con el que nos sentíamos cómodos y que nos proporciona las prestaciones que necesitamos.

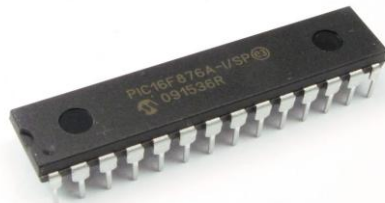


Fig. 15. Imagen del PIC16F876A.

Otro componente a seleccionar es el transformador, aunque como en otros casos, hay montones en el mercado que permiten pasar de 230V a 7,5V. Valdrá por tanto cualquiera que tenga 3 bobinados y cumpla esos requisitos.

El último componente que tiene cabida en este apartado es el transistor que acompaña al MOC3020. El datasheet del MOC sugiere un NPN de propósito general. Como el sugerido no nos servía para realizar simulaciones en proteus, lo hemos sustituido por uno similar que si nos daba esa opción. Usamos un BC847.

V.- EL SOFTWARE DEL SISTEMA.

El programa que incorpora el PIC no tiene una gran complejidad de programación pero sin embargo es la clave del control de potencia.

El microprocesador recibe por una de las patas mediante una conversión A/D la tensión de red y va contando los ciclos que se producen en la misma. Por otro lado recibe de un sensor de temperatura I2C la temperatura ambiente. En función de la temperatura que reciba se decide la potencia que se ha de entregar al suelo térmico. Esta potencia se aplica en porcentaje dejando pasar el porcentaje correspondiente de cada diez ciclos de red. Además como explicamos antes, se separan a fin de mantener lo más constante posible la potencia en el tiempo. Finalmente, en función del porcentaje de potencia que se haya decidido usar se controla mediante la pata conectada al optoacoplador los disparos del TRIAC para que este solo deje pasar aquellos ciclos que nos interesan.

VI.- CÁLCULOS INTERESANTES.

En nuestro caso, cabe reseñar dos cálculos principalmente. Aquellos referidos al cálculo de resistencias y los referidos a la disipación del calor del TRIAC.

El cálculo de las resistencias es muy sencillo pues generalmente no es más que una simple aplicación de la ley de Ohm. Detallaremos el cálculo de la resistencia que acompaña al fototriac del optoacoplador en el circuito de disparo del TRIAC de potencia, entiendo que los demás cálculos de resistencias son similares.

Para ese caso, el TRIAC se dispara con picos de corriente inferiores a 4A. El fototriac limita los picos que puede dar a 1,2A por tanto trabajaremos con esa corriente al ser la más restrictiva. Para calcular la resistencia aplicamos directamente la ley de Ohm siendo el voltaje el de la red eléctrica.

$$R \geq \frac{V}{I} \geq \frac{230V}{1,2A} \geq 191,7\Omega$$

Es decir, la resistencia en cuestión ha de ser mayor de 191,7 ohmios.

Otro cálculo interesante se refiere al disipador que debe acompañar al TRIAC para que no se estropee por el calor. En nuestro caso el TRIAC puede circular como máximo, de acuerdo a sus hojas de características, 8A con una caída de tensión de 1,55V. Por tanto, hemos de disipar 12,4W. La resistencia térmica unión-ambiente es de 45°C por lo que con esa potencia la unión alcanzaría 558°C lo que destruiría el TRIAC. Por ello debemos calcular un disipador teniendo en cuenta que la resistencia unión-capsula es de 2,5°C/W y capsula-disipador usaremos 0,5°C/W. Sabiendo también que la temperatura máxima de funcionamiento es 125°C y aplicando el método del circuito eléctrico equivalente obtendremos:

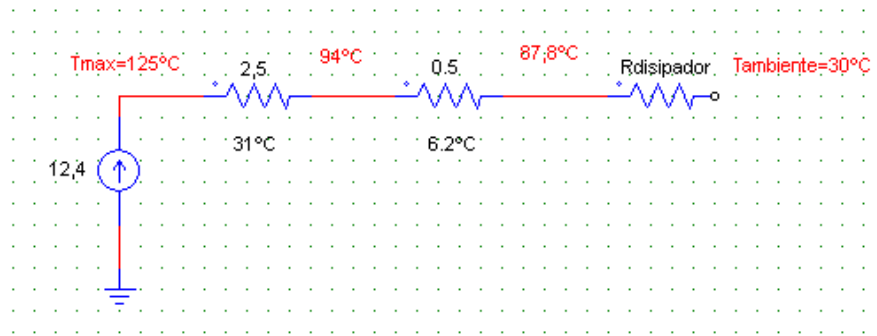


Fig.16. Equivalente eléctrico para el cálculo de resistencias térmicas

Y por tanto, el disipador a utilizar debe tener una resistencia térmica tal que:

$$R_{disipador} \leq \frac{87,8 - 30}{12,4} \approx 5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Por ejemplo, el disipador MA3 de Semikron cumple las características demandadas.

VII. CONCLUSIÓN

En este proyecto se ha propuesto un circuito para el control de potencia de un suelo térmico basado en una tecnología reciente que permite mediante un microprocesador controlar a nuestro gusto la entrega y demanda del calor que se emite al ambiente. Se trata de un sistema versátil con la proposición de una aplicación real para el mismo.

REFERENCIAS

- [1] “Compilador de CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC”. Eduardo Gracia Breido.
- [2]” TRIAC BTA08 Snubberless datasheet.”
- [3] Semikron "Radiadores y accesorios datasheet"
- [4] NAOS EUROPE "HeatFlow Infrared Heating Film Technical datasheet"
- [5] MICROCHIP "PIC16F876A datasheet"
- [6] TEXAS INSTRUMENTS "MOC3020 optocouplers datasheet"