Rectificador Trifásico Totalmente controlado

Nicolas David Pastran Zamora Cod. 20151005087
Benigno Alexander Corrales Cod. 20142005093
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería
Laboratorio de Electrónica de Potencia
Bogotá, Colombia

Objetivos

Generales

- Diseñar e implementar un rectificador trifásico totalmente controlado con carga resistiva y voltaje de fase 120Vrms.
- Diseñar el circuito de control de tal forma que el ángulo de disparo se pueda modificar de 0 a 180° con respecto al ángulo mínimo de disparo. De tal forma que se pueda usar para transmisión de corriente continua en configuración back to back.

Específicos

- Seleccionar los SCR' s que permita entregar la corriente que requerida por la carga y soporte las tensiones trifásicas de bloqueo.
- Identificar los requerimientos para disparar los SCR' s de un circuito de potencia, donde su cátodo no está referenciado a la tierra del circuito.
- Diseñar un circuito que permita identifique de las señales trifásicas el momento donde se tiene el ángulo mínimo para los disparos.
- Proponer un circuito que permita disparar de forma controlada los 6 SCR´ s del rectificador trifásico.
- Diseñar una etapa drive que de potencia a los disparos generados por la etapa de control hacia la etapa de potencia y aislé las tierras de ambas etapas.

Planteamiento del Problema

Se debe diseñar un rectificador trifásico controlado para una carga resistiva en este caso un bombillo. El nivel Tensión de trabajo Fase a Neutro es 120Vrms, y lo que se desea es la modificación manual del ángulo disparo alfa (α).

Solución

El sistema constara de tres etapas: 1) la etapa de control y sincronización 2) la etapa de drive y por último 3) la etapa de potencia, estas se explicarán detalladamente a continuación:

Etapa de Control y Sincronización

Debido a las alteraciones leves que presenta la red en cuanto a frecuencia o niveles de señal, es necesario sincronizar constantemente, de modo es muy importante para el diseño de la etapa de control cómo y en que instante del periodo de la señal nos vamos a sincronizar.

La sincronización se puede hacer en dos instantes de la señal, el primer caso sería encontrar el cruce por cero de la señal de referencia para este caso R y con un circuito análogo o digital hacer un retardo de 60° para encontrar el alfa mínimo, sin embargo, esta alternativa necesita gastar algo de recursos del circuito digital o un circuito extra análogo. Otra alternativa para diseño es un comparador entre las fases y que se active en el instante donde la fase R sea la mayor de todas, esta alternativa es la que se va a aplicar al circuito propuesto.

Si notamos en la señal trifásica el instante donde R es mayor que S y que T, es el mismo donde R es mayor a T como se ve en la figura 1.

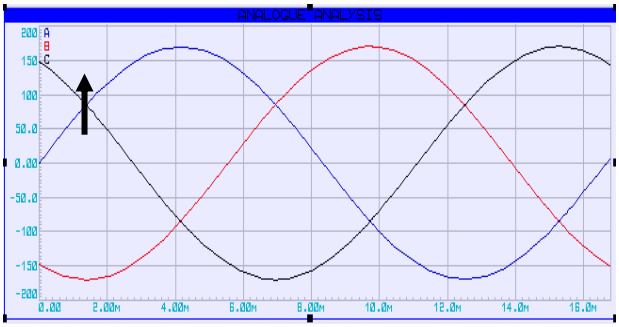


Figura 1: Identificación de ángulo mínimo de disparo

Para identificar ese instante usaremos un amplificador operacional como comparador con su respectivo acondicionamiento de señales.

Como la salida del operacional va a ir a la entrada de un microcontrolador este debe estar en un rango entre 0 y 5 voltios, entonces se debe seleccionar una fuente de alimentación para el operacional, aproximadamente de 6.5V, para el diseño usaremos una de 7 V y un operacional polarizado con fuente única (lm358) para que el Vol sea lo más cercano posible a 0V.

Del acondicionamiento de señales de la entrada tenemos que tener en cuenta que el rango de voltaje debe estar entre 2V y 5V, entonces se debe acondicionar las fases que están en el rango de -170 V y 170V al rango de entrada del operacional. El diseño del acondicionamiento de señales se realiza a continuación:

$Vcc := 5\ V$

$m := \frac{5-2}{180-(-180)} = 0.008$ $\qquad Vdc := (5 - m \cdot 180)\ 1\ V = 3.5\ V$

$J := \frac{Vcc - Vdc}{Vdc} = 0.429$ $\qquad K := \frac{1-m}{m} = 119$

$Rc := 24\ k\Omega$

$Ra := Rc \cdot \frac{(J \cdot K - 1)}{J+1} = 840\ k\Omega$

$Rb := \frac{-m \cdot Ra \cdot Rc}{(m-1) \cdot Rc + m \cdot Ra} = 10\ k\Omega$

El circuito Resultante se puede observar en la figura 2.

Es decir, se desea reducir notoriamente la amplitud de las fases y montarlas sobre un nivel D.C. donde solo se presenten valores apropiados para el micro.

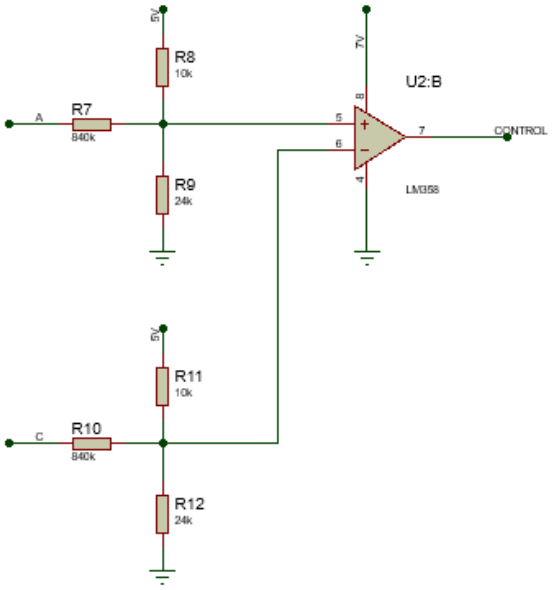


Figura 2: Entrada del operacional

El circuito presenta como salida un Pwm correspondiente al cruce de señales:

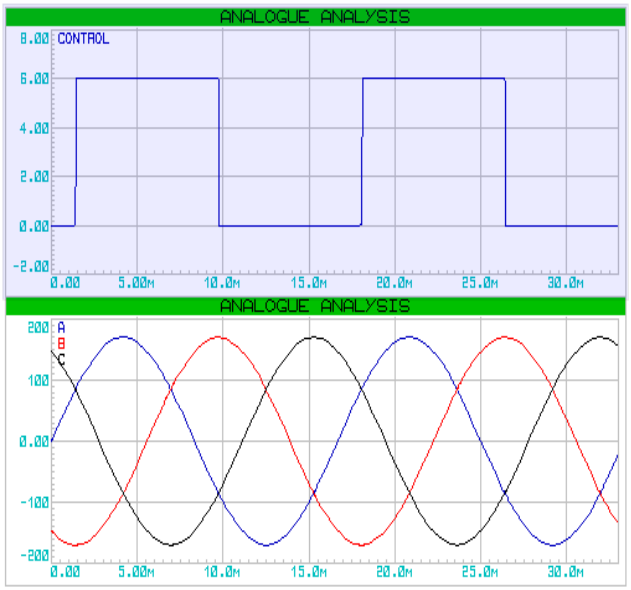


Figura 3: Red trifásica y salida del opAmp.

La señal de control entonces estará dada por el flanco de subida de la salida del operacional.

Una vez establecida la señal de control se realizará el diseño del circuito encargado de genera los pulsos de disparo para el ángulo seleccionado.

Como circuito encargado de generar los pulsos de disparo se usará un PIC16F628A, ya que cuenta con 2 módulos de conteo timer y módulo de interrupción externa, los cuales se usarán para detectar el flanco de subida, contar el tiempo al cual le corresponde el ángulo de disparo seleccionado y el tiempo que hay entre los pulsos de cada dispositivo. Mientras que el procesador estará encargado de contar el tiempo que duran en alto los pulsos (aproximadamente 300µs) y escuchar cuando se pulse un botón para modificar el ángulo de disparo.

Pines de los puertos A y B de dicho Pic entregaran las salidas controladas.

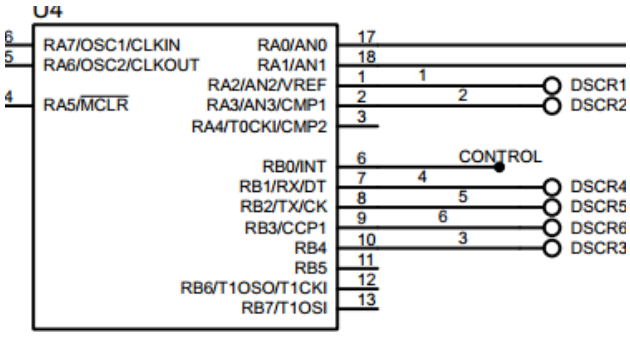


Figura 4: Pic16f628A

El lenguaje de mayor facilidad e implementado para la programación es C CCs orientado para microcontroladores.

En términos generales, el amplificador operacional proporciona un flanco de subida que activa la interrupción, ésta activa un timer contador del tiempo correspondiente al ángulo alfa, culminado ese tiempo se envían pulsos y se activa un segundo timer establecido con el tiempo para la nueva orden de pulsos. Así pues, la interrupción externa garantiza el sincronismo, el primer timer garantiza un alfa variable pues se plantean botones para modificar su parámetro, y el segundo timer tiene parámetro constante y es quien establece los 60 grados entre pulsos.

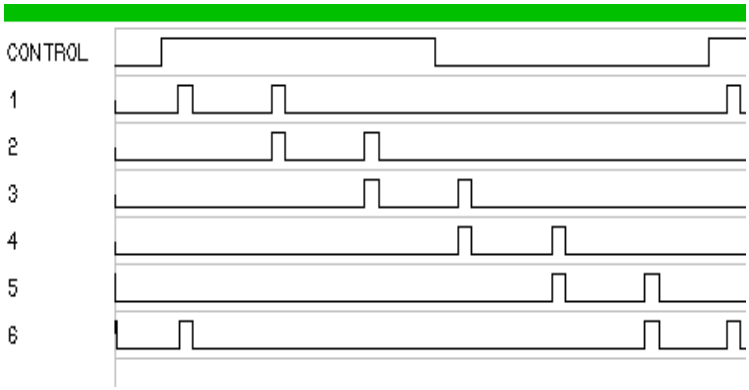


Figura 5: Salida del opAmp y serie de pulsos

Finalmente, para el circuito se proponen un nivel de tensión de 5 V para el Pic y 7v para el operacional

Etapa Drive:
Como para la detección de cruce señales propuesta, se conecta el neutro de la red trifásica directamente con la tierra de los niveles D.C., se hace necesario la incorporación de elementos de acople de tierras, sin contar que además es imposible conectar los pines del micro directamente a los SCR.

Se presentan transistores npn 2n904 saturados por las salidas del Pic a través de resistencias de 10K en su base. Como carga entre colector y Vcc de 7V, se tiene el primario de un transformador de pulsos. Adicionalmente se tiene como elementos de protección en paralelo al primario un diodo Zener para evitar sobretensiones, y un diodo de conmutación rápida para evitar el efecto conocido patada inductiva (diodo volante).

Así pues, el secundario garantiza una salida apropiada para la conexión con los elementos principales del rectificador los SCR, pues presenta desacople de tierras.

Para garantizar un consumo de corriente se tiene resistencias de 22K entre los terminales de la bobina de salida, y en paralelo a esta, salen un diodo que evita flancos negativos o parásitos generados por el $\frac{\Delta V}{\Delta t}$, y una resistencia de 100 ohms limitando la corriente de gate. La conexión propuesta se repite 6 veces, una por cada SCR.

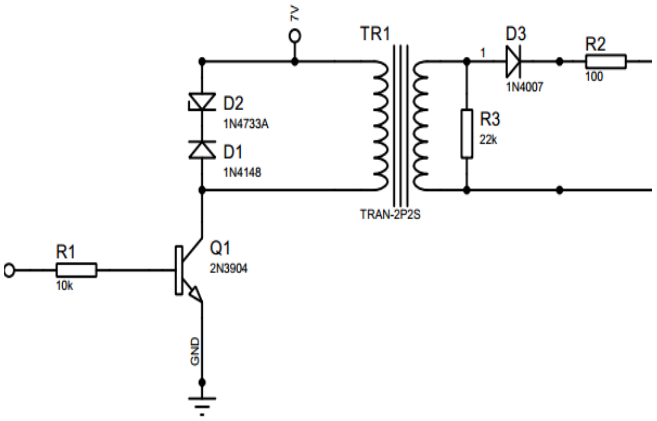


Figura 6: Etapa drive entre el Pic y los Scr

Etapa Potencia:
Conformada por los SCR, la referencia seleccionada son los TYN412, SCR's con empaquetado TO-220 y capaces de trabajar con cualquier nivel de tensión no mayor a 400V .
La conexión del rectificador es la propuesta en bibliografías como "Electrónica de Potencia" de Hart, es decir la numeración impar 1,3,5 en la parte superior, y 4,6,2 en la inferior:

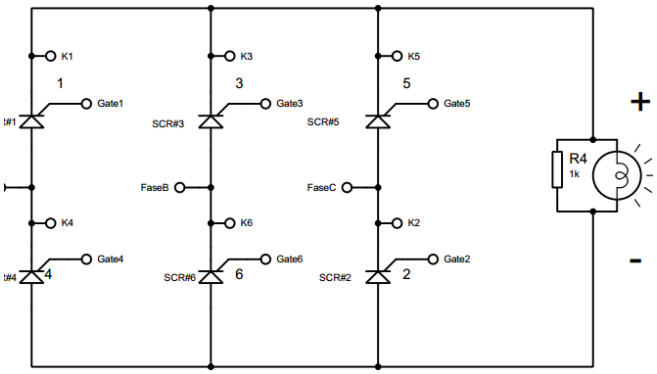


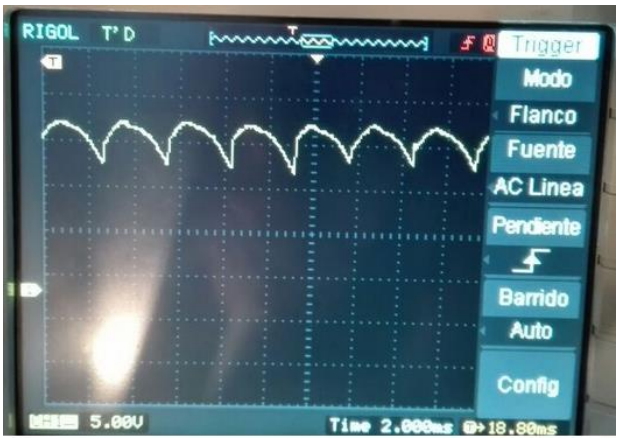
Figura 7: Conexión de SCR's

Así pues, cada juego Gate-cátodo está conectado a un secundario de un transformador de pulsos. Es decir, posee su propio pulso, pero la conexión no es arbitraria pues debe conectarse acorde con el que posee en su primario el pin de control específico del micro.

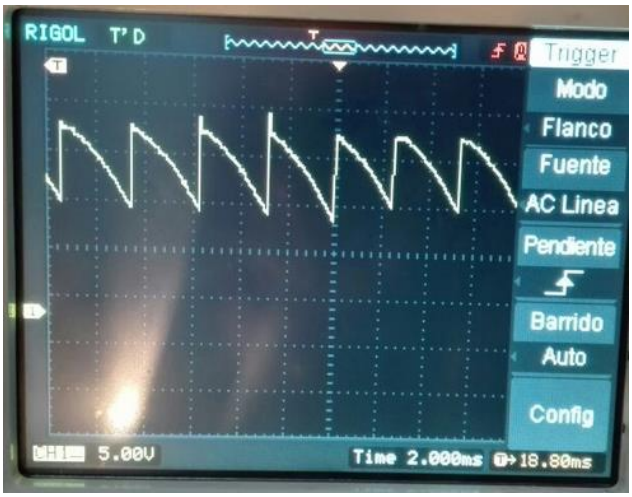
Resultados:

Se adjuntan algunas imágenes resultado de algunos ángulos:

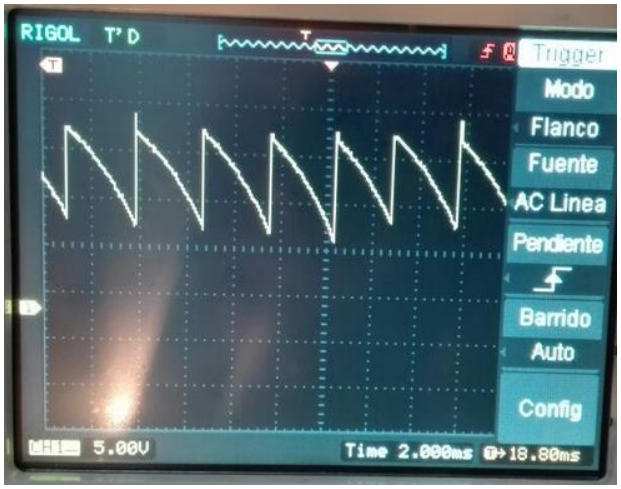
Con α=15°



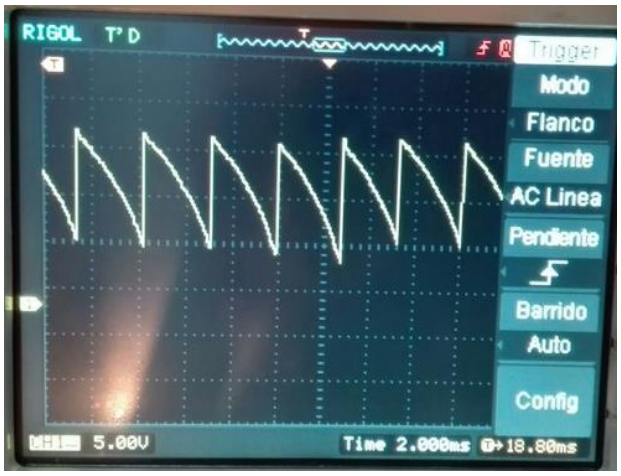
Con α=25°



Con α=30°

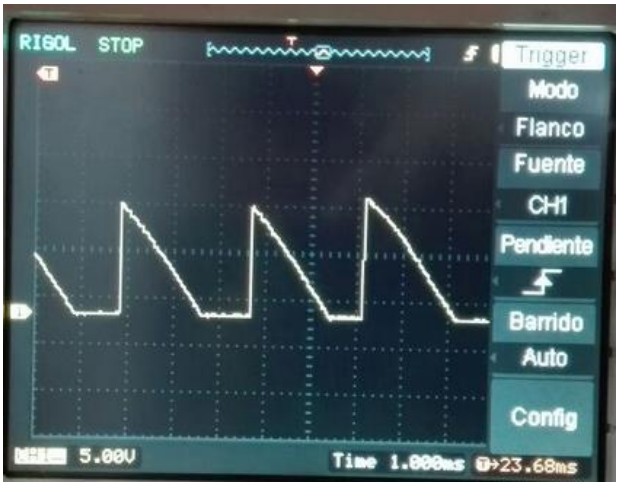


Con α=40°



Con α=60°

Con α=80°



Conclusiones

- Se realizaron pruebas con pulso sencillo y doble pulso a la entrada de los transformadores, la mejor respuesta en el secundario de los transformadores se obtuvo con el doble pulso, pues como se incrementó la frecuencia se evitó la saturación de los mismos.

- Es importante destacar que el tiempo equivalente a los grados entre pulsos debe estar lo más exacto posible, pues disparos erróneos con retardo o anterioridad causan fluctuaciones e irregularidades con la señal esperada.

- Dada la frecuencia de los pulsos de disparo, es importante que los diodos en la etapa drive sean de conmutación rápida, pues cualquier retardo en tiempo de recuperación inversa aquí si es notorio.

- Los secundarios de los transformadores presentan fluctuaciones bruscas debido a la variación de voltaje, es necesario destacar la necesidad de diodos en dicha salida para eliminar picos negativos

Referencias:

[1]Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC – Eduardo García Breijo

[2] Electrónica de potencia. Daniel W. Hart

[3] Apuntes y notas de clase

Anexos

Código en C CCs para el 16f628a, IDE de compilación Pic C compiler:

```c
#include <16F628a.h>

#use delay (clock=4000000)

#fuses XT, NOWDT  //Se ind

#Byte TRISA = 0x85
#Byte PORTA = 0x05
#Byte TRISB = 0x86
#Byte PORTB = 0x06
#DEFINE Incremento PIN_A0
#DEFINE Decremento PIN_A1
#DEFINE S1 PIN_A2
#DEFINE S2 PIN_A3
#DEFINE S3 PIN_B4
#DEFINE S4 PIN_B1
#DEFINE S5 PIN_B2
#DEFINE S6 PIN_B3
int a=1;
int cont=0;
int16 g=249;

#int_EXT
void control(){
output_high(PIN_B5);
SET_TIMER0(g);
}
#int_TIMER0
void timer0(){
   output_low(PIN_B5);
   output_high(S1);
   output_high(S6);
   SET_TIMER1(64148);
   delay_us(400);
   output_low(S1);
   output_low(S6);
   cont++;
}
#int_TIMER1
void timer1(){
   if(cont==1){
   output_high(S1);
   output_high(S2);
   SET_TIMER1(64148);
   delay_us(400);
   cont++;
   output_low(S1);
   output_low(S2);
   }
   else if(cont==2){
   output_high(S2);
   output_high(S3);
   SET_TIMER1(64148);
   delay_us(400);
   cont++;
   output_low(S2);
   output_low(S3);

   }
   else if(cont==3){
   output_high(S3);
   output_high(S4);
   SET_TIMER1(64148);
   delay_us(400);
   output_low(S3);
   output_low(S4);
   cont++;

   }
   else if(cont==4){
   output_high(S4);
   output_high(S5);
   SET_TIMER1(64148);
   delay_us(400);
   output_low(S4);
   output_low(S5);
   cont++;
   }else if(cont==5){
   output_high(S5);
   output_high(S6);
   delay_us(400);
   output_low(S5);
   output_low(S6);
   cont=0;
   }
}


void main ()
{
//Entradas y salidas
TRISA = 0b00011; //1 =
TRISB = 0b00000001; //1
output_low(S1);
output_low(S2);
output_low(S3);
output_low(S4);
output_low(S5);
output_low(S6);
```

```
100  output_low(PIN_B5);
101  setup_timer_0(RTCC_INTERNAL |RTCC_DIV_64 |RTCC_8_BIT );
102  enable_interrupts(INT_TIMER0);//habilitamos la interrupc
103  enable_interrupts(GLOBAL);
104  setup_timer_1 ( T1_INTERNAL | T1_DIV_BY_2);//Setup timer
105  enable_interrupts(INT_TIMER1);//habilitamos la interrupc
106  enable_interrupts(GLOBAL);
107  enable_interrupts(int_ext);      //activar interrupcion e
108  ext_int_edge(L_TO_H);         //configuracion:interrupcio
109  enable_interrupts(GLOBAL);      //todas las interrupcione
110  while(TRUE){
111  if(input(Incremento)==1){               //¿se ha pulsado
112     while(input(Incremento)==1){}
113     if(a==18){
114     g=130;
115     a=18;
116     }else{
117     g=g-7;
118     a++;}
119  }
120
121  if(input(Decremento)==1){               //¿se ha pulsado
122     while(input(Decremento)==1){}
123     if(a==1){
124     a=1;
125     g=249;
126     }
127     else{
128     g=g+7;
129     a--;
130     }}
131  }}
```