

Práctica N^o2

Puente de Tiristores - Control Comando Arco-coseno

Instructivo

13 de octubre de 2024

1. Objetivos

- Estudiar el funcionamiento de un convertidor 6 pulsos 2 vías de tiristores, que utiliza para los disparos un comando arco-coseno.
- Observar el funcionamiento del convertidor controlando una máquina de continua. Se aplicarán dos controles —en lazo abierto y en lazo cerrado—, y se operará la máquina como generador y como motor.
- Analizar el comportamiento de una máquina asíncrona (acoplada mecánicamente a la máquina de continua) en dos configuraciones: aislada y conectada a la red de alterna.

2. Materiales

- Planta física del convertidor.
- Controlador del convertidor.
- Grupo máquina de continua - máquina de inducción (conjunto usualmente llamado grupo Ward-Leonard).
- Fuente (variable) de continua para la excitación del motor de continua (variac-rectificador).
- Protección del motor de continua (contactor).
- Transformador aislador de potencia.
- Inductancia de potencia.
- Instrumentos de medida.
- Bancos de condensadores y resistencias.

3. Descripción de la planta física y del sistema de control

El esquema de la Figura 1 muestra el circuito y componentes a utilizar durante la práctica. Como se puede ver, el puente de tiristores se alimenta de la red mediante un transformador de potencia de forma que queda aislado galvánicamente de esta.

La llave en paralelo con la bobina L_1 (3,5 mH) está a los efectos de observar cómo cambia la corriente de salida al variar la inductancia del circuito. Es equivalente a cambiar la inductancia del modelo del motor de continua.

La corriente de excitación de la máquina de continua es controlada por un variac rectificado, tal como se ve en la parte inferior de la figura (recordar que un debilitamiento del campo produce un aumento de la velocidad del motor).

El motor de inducción se puede alimentar con una red directa o inversa según se accione el correspondiente contactor; de este modo se tiene control sobre su sentido de giro.

El banco de condensadores y resistencias está a los efectos de mostrar cómo el motor de inducción puede llegar a generar tensión de frecuencia variable en un sistema aislado de la red de distribución.

Todos los contactores que aparecen en el circuito son comandados desde un mismo tablero en donde también se encuentra el variac para controlar la corriente de excitación así como también los medidores de corriente y tensión mostrados en el circuito.

En bornes de la máquina de inducción se conecta un analizador de red de modo de poder medir en cada instante la tensión, corriente y flujo de potencia por ella.

El sistema de control del convertidor controla su corriente de salida (la que circula por la armadura de la máquina de continua), y está implementado en una placa Arduino Mega; esta muestrea la variable de control cada unos $300 \mu s$. La placa recibe la señal del sensor de efecto hall luego de pasada por un filtro de segundo orden con tiempo de levantamiento de 3 ms, de modo de obtener el valor de continua de corriente sin mayores retrasos en el lazo. También se mide la velocidad mediante un encoder rotatorio; esta medida es, para los fines de esta práctica, meramente informativa y de seguridad. Seguridad pues si la placa detecta una sobrecorriente o una velocidad excesiva es capaz de abrir un relé de estado sólido en serie con la energización del contactor de alimentación del motor de continua, y de este modo funciona como protección del motor y del puente de tiristores.

El sistema tiene además un circuito capaz de detectar si se está en modo de conducción continua o discontinua y en función de esto el controlador implementado digitalmente en la Arduino pasa de ser proporcional-integral (PI) a ser integral (I) (ver Figura 2).

Como resultado del control la placa impone en una de sus salidas la tensión de referencia para el comando arco-coseno.

La comunicación con la placa se hace en tiempo real desde un puerto serie de una PC. De esta forma es posible operar el sistema en lazo abierto —en cuyo caso el usuario impone la tensión de control— o en lazo cerrado caso en el que solamente se puede imponer la corriente objetivo. También se puede solicitar a la placa que envíe el estatus de funcionamiento, donde informa los valores medidos de velocidad y corriente, modo de conducción, constantes de los controladores implementados y estado del lazo. Por último, la placa provee al usuario dos señales. Una con la tensión de control enviada al comando arco-coseno, y otra con la señal de corriente medida sin filtrar.

Nota: en el anexo se adjunta esquemático de la placa de control así como también del comando arco-coseno.

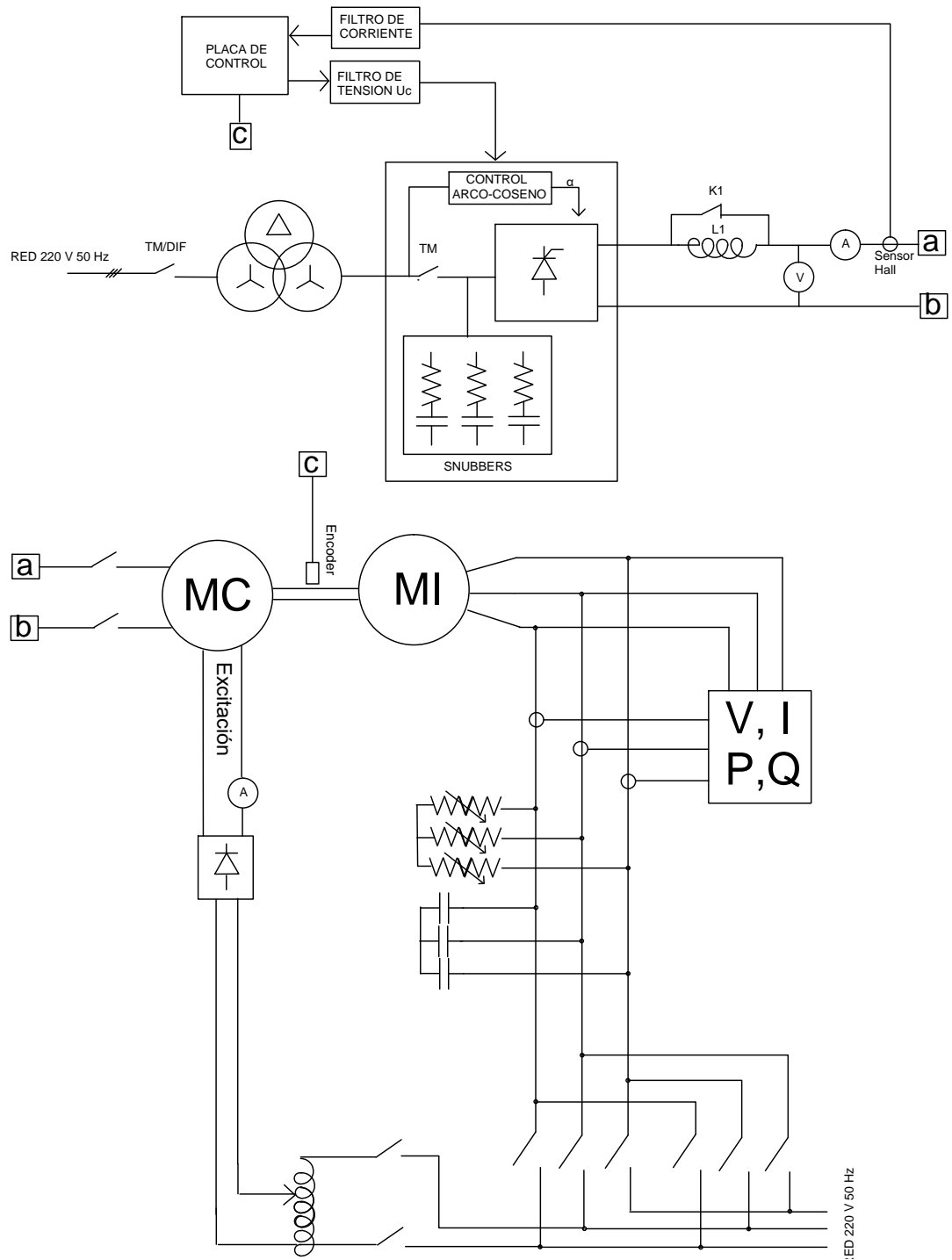


Figura 1: Montaje de la práctica.

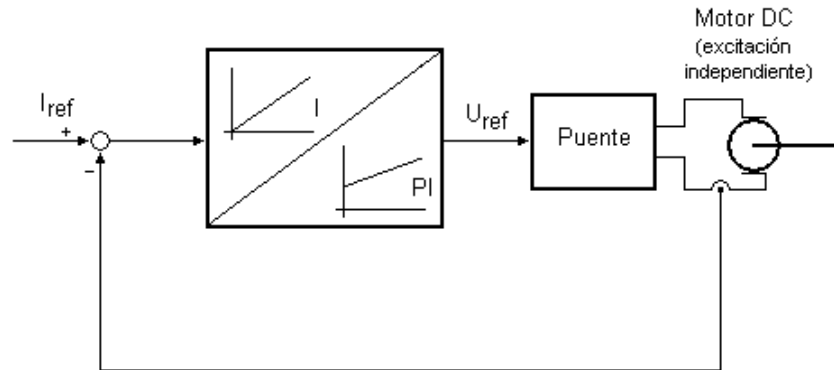


Figura 2: Lazo de control de corriente.

4. Descripción del equipamiento de potencia

El transformador de potencia:

Relación: 240V/220V

$S_n = 25,7 \text{ kVA}$

$z_{cc} = 1,6 \%$

La máquina de continua:

$P = 3,68 \text{ kW}$

$L_a = 8,5 \text{ mH}$

$J = 0,22 \text{ kgm}^2$

$I = 20,6 \text{ A}$

$R_a = 0,9 \Omega$

Fricción constante = 2,2 Nm

$V = 220 \text{ V}$

$R_{exc} = 220 \Omega$.

$n = 1500 \text{ rpm}$

4 polos

$I_{exc} = 1 \text{ A}$

La constante k_e , definida como $E = k_e \times \omega$, con ω la velocidad angular en rad/s y E la tensión inducida, se muestra en la Figura 3 para distintas corrientes de excitación junto con la tensión inducida para una velocidad angular de 1497 rpm.

La máquina de inducción:

$U_n = 220 \text{ V}$

$I_n = 14 \text{ A}$

$P = 4 \text{ kW}$

El puente de tiristores:

6 tiristores CD431690B

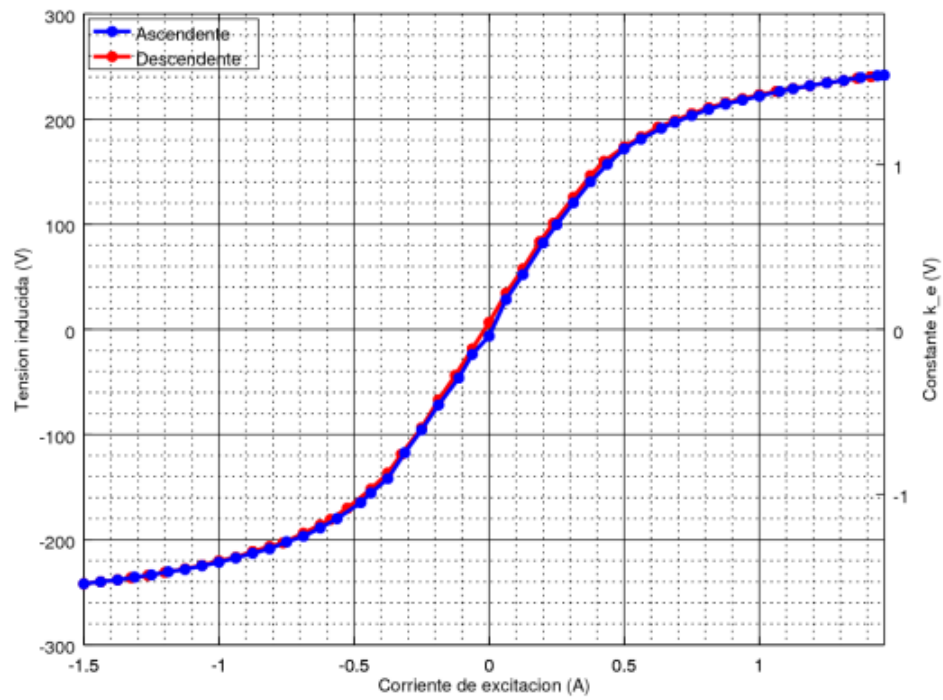


Figura 3: Tensión inducida y constante k_e de la máquina de continua en función de la corriente de excitación a una velocidad fija.

5. Desarrollo de la práctica

Al llegar al laboratorio, el estudiante debe conocer el funcionamiento del convertidor, la distinción entre los modos de conducción continua y discontinua, y las características de operación de los motores a utilizar en la práctica. Para ello se proponen en la siguiente sección una serie de consignas que deberán ser realizadas previamente.

5.1. Preinforme

Para todos los cálculos se asume que la impedancia de cortocircuito del transformador es nula ($X_{CC}=0$). Además, el modelo de la armadura del motor de continua a utilizar es una inductancia (L_M) en serie con la f.e.m. del rotor (E).

- a. Explicar en qué consiste el comando arco-coseno y qué principal beneficio se obtiene de aplicarlo.
- b. Durante la práctica el convertidor tendrá dos tipos de carga: una resistencia y una máquina de continua. ¿Cómo será el comportamiento con cada una de ellas? ¿qué forma de onda tendrá la corriente de salida? ¿qué diferencias ocurren al operar en modo de conducción discontinua?
- c. Para $E=150\text{ V}$, $L_M=8.5\text{ mH}$, $U=220\text{ V}$ calcular la corriente media que hace que el puente esté en el límite de conducción continua–discontinua.
- d. Simular el circuito y verificar lo estudiado en las partes anteriores. Incluir en el preinforme las formas de onda de corriente y tensión de salida. En el eva del curso se pueden encontrar archivos de spice que se pueden adaptar a estas simulaciones. Adjuntar los archivos utilizados.
- e. Estudio del grupo Ward-Leonard
 - c1. Analizar qué pasa si con el convertidor controlando la corriente de la máquina de continua en un valor fijo se conecta la llave que alimenta la máquina de inducción.
 - c2. ¿Qué sucede si se invierten la fases de alimentación de la máquina de inducción?
 - c3. ¿En qué sentido fluye la energía (potencia) para cada uno de los órdenes de fase de alimentación?
 - c4. ¿Cómo debe actuar el control del convertidor sobre el ángulo de disparo de los tiristores para lograr el funcionamiento en las dos configuraciones planteadas?
 - c5. Explicar cómo se puede utilizar la máquina de inducción como generador sin conectarse a la red.

Para las partes c1-c3, se recomienda realizar el estudio teniendo presente cómo son las curvas par-velocidad del motor de inducción. Es útil graficarlas y encontrar el punto de operación (puede ser a mano). Recordar además que un motor de continua con excitación fija y corriente de armadura constante produce un par constante.

5.2. Laboratorio

Precaución: no accionar el contactor sin estar corriendo el programa de control. Al accionar el contactor, hacerlo con tensión de control nula.

5.2.1. Técnica

Carga resistiva: Previo a trabajar con el grupo conecte una carga resistiva en bornes del convertidor. Establezca comunicación con la placa y en lazo abierto releve la transferencia del sistema comando Arco-coseno + puente de tiristores.

Carga L-E:

1. Montar el circuito según el esquema de conexionado de la figura 1 y cortocircuitar L_1 .

Establecer comunicación con la placa de control y seleccionar lazo abierto.

2. Variar la tensión de referencia y verificar que a partir de cierta velocidad, el motor de inducción genera tensión de frecuencia variable de acuerdo a la velocidad del mismo.
3. Poner al sistema en el límite de conducción continua y observar qué pasa si se intercala L_1 en el circuito.

Para L_1 cerrada y en el límite de la conducción continua:

4. Medir U , $\langle I_o \rangle$, velocidad, corriente de excitación y el ángulo alfa.
5. Obtener una estimación de la inductancia L_M .

Para L_1 intercalada en el circuito y en el límite de la conducción continua:

6. Medir U , $\langle I_o \rangle$, velocidad, corriente de excitación y el ángulo alfa.
7. Obtener una estimación de la inductancia $L_1 + L_M$.

Pasar a lazo cerrado.

8. Cerrar la llave de alimentación del motor de inducción. Observar que pasa con la tensión del convertidor durante el transitorio y verificar que el sistema funciona de acuerdo al estudio realizado en el preinforme para ambas posiciones de la llave inversora.

Para el caso en que la máquina de continua trabaja como generador tener la precaución de disminuir la tensión de excitación a 100 V.

6. Informe

- Graficar la ganancia del conjunto comando Arco-coseno + puente de tiristores para carga resistiva, explicitando la ganancia para conducción continua.

- Explicitar los cálculos para las partes 5 y 7 de la técnica.

- Contrastar los valores calculados para el preinforme con los datos relevados en el laboratorio justificando posibles diferencias.

- Resuma someramente las enseñanzas y conceptos adquiridos durante la práctica.

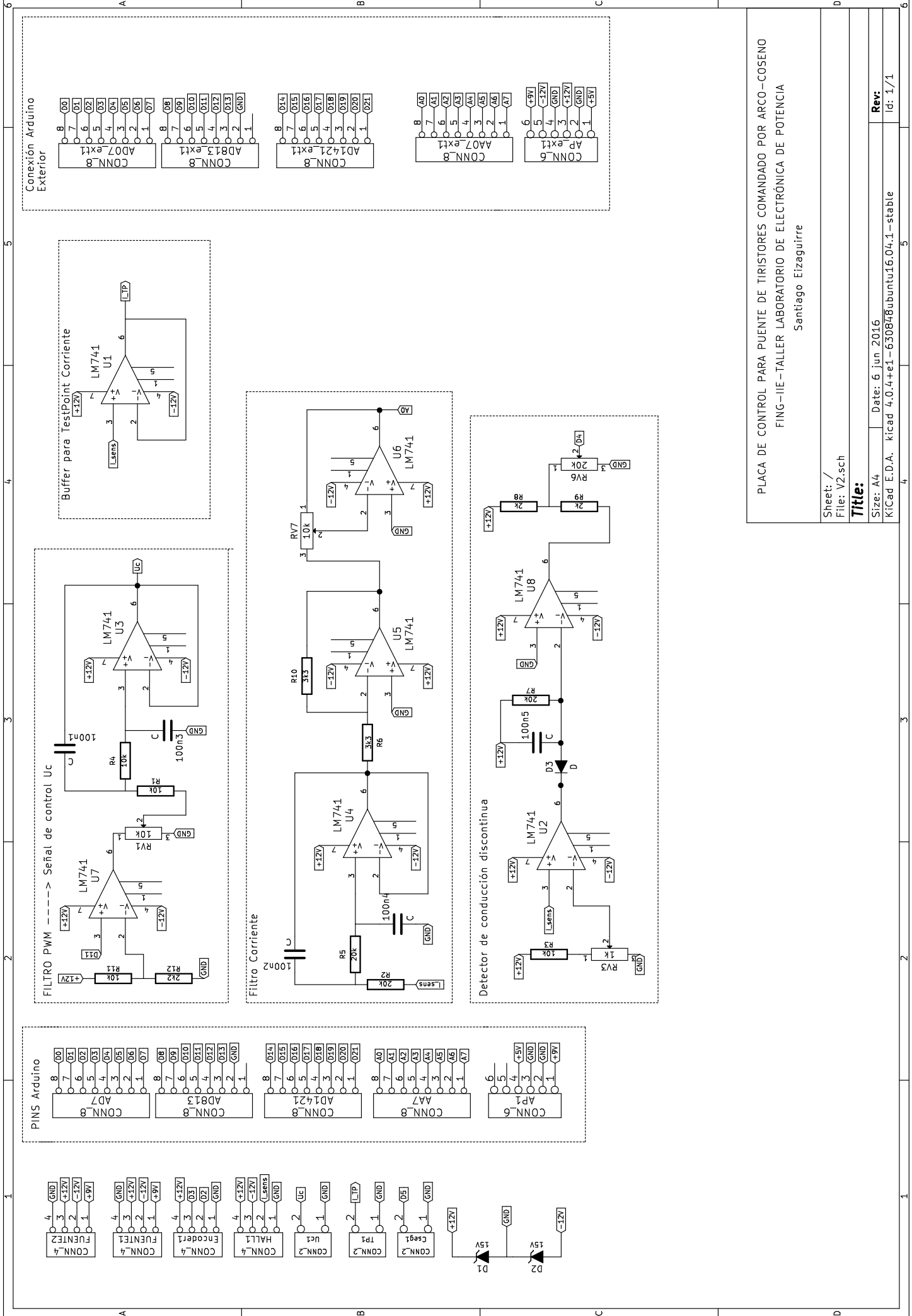
ANEXO

7. Archivo de referencia para la simulación

Se adjunta un ejemplo del circuito a simular.

8. Esquemáticos

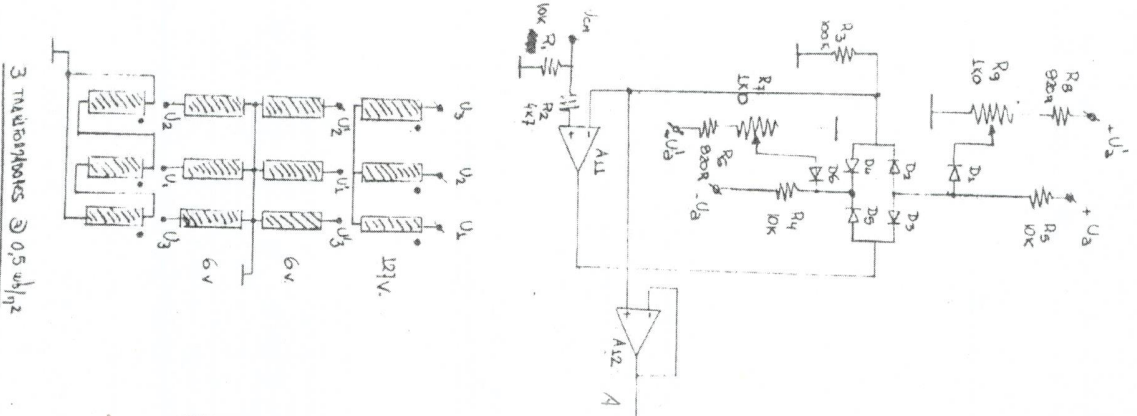
En las siguientes figuras se muestra el esquemático de la placa de control y seguidamente el de la placa de comando arco-coseno.



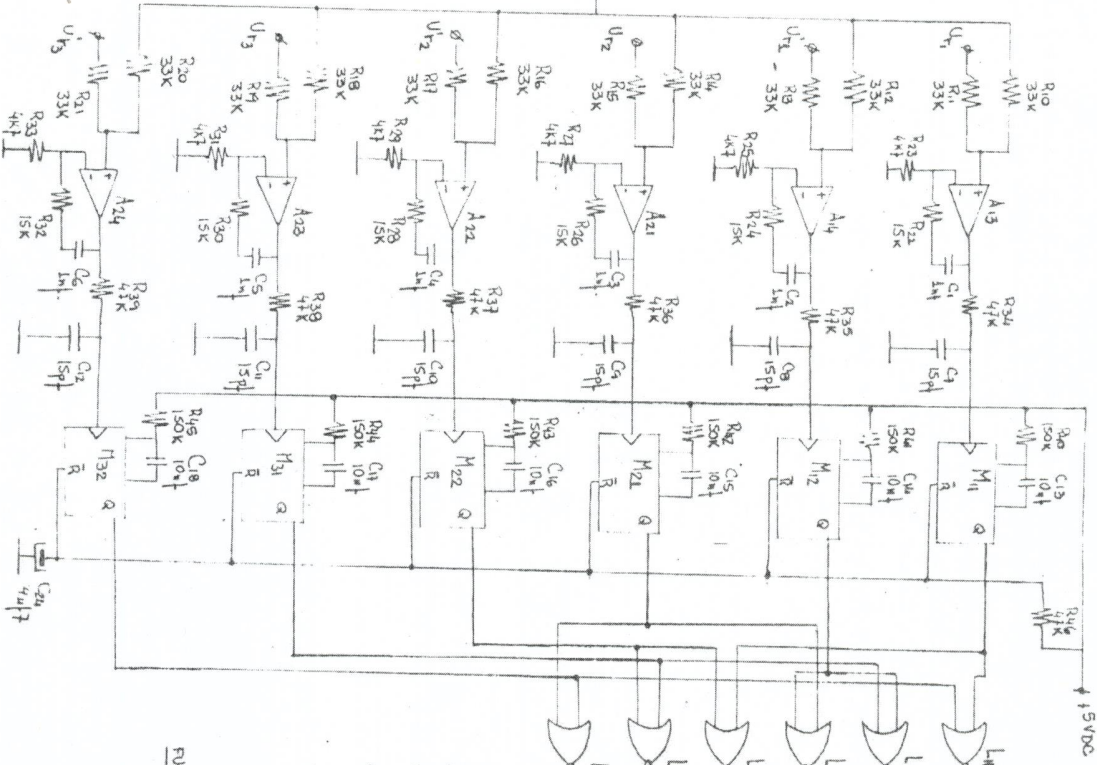
PLACA DE CONTROL PARA PUENTE DE TIRISTORES COMANDADO POR ARCO-COSENOS
 FING-II-E-TALLER LABORATORIO DE ELECTRONICA DE POTENCIA
 Santiago Eizaguirre

Sheet: /
 File: V2.sch
Title:
 Size: A4 | Date: 6 jun 2016
 KiCad E.D.A. kicad 4.0.4+e1-630848ubuntu16.04.1-stable
 Rev: | Id: 1/1

DISTRIBUCION DE CORRIENTE DE CORRIENTE
[Amplificador]



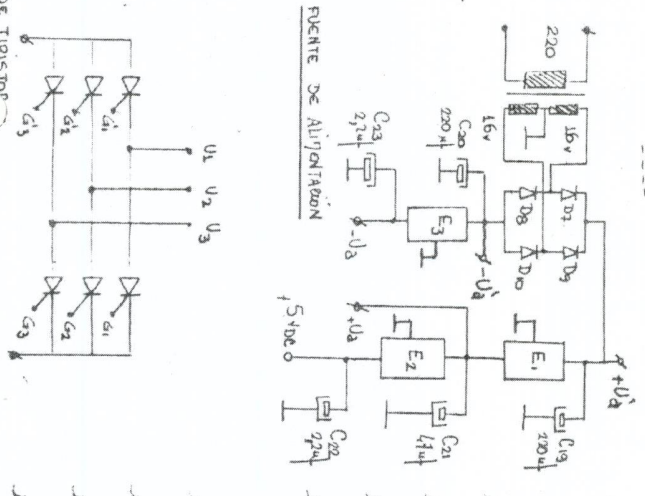
3 TRANSISTORES @ 0,5 mA/1/2



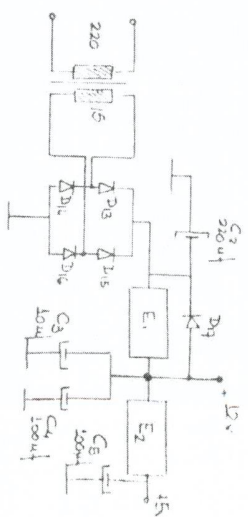
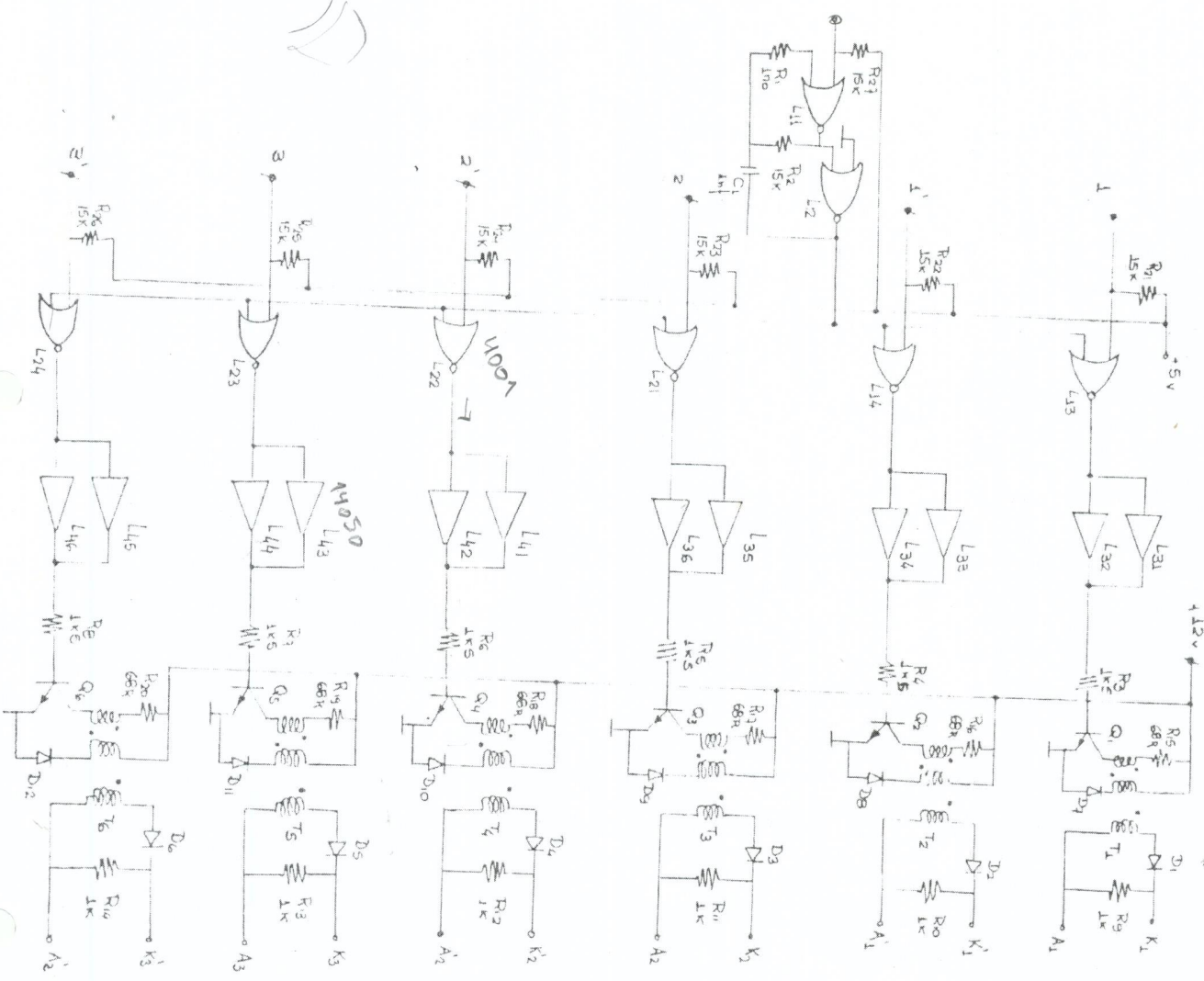
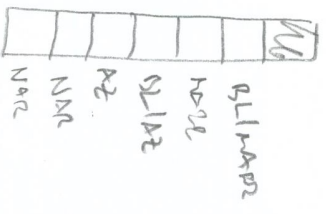
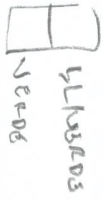
INTERFASE : LOGICA NEGATIVA PULSOS DE DISPARO

NOTA: LOS CAPACITORES C25 a C31 SON DESCARRO DE FUENTE (2µ/50V) Y NO FIGURAN EN ESTE ESQUEMA.

FUENTE DE TIPISTO



INTERFASE - LOGICA INVERTIDA - CONTROL DE PULSOS



FUENTE DE ALIMENTACION

- BL / MARRON
- MARRON
- BL / CELE
- AZUL
- BL / NARANJA
- NARANJA

- BL / MARRON
- MARRON
- BL / COLORES
- AZUL
- BLANCO
- NARANJA