

2009

Microcontroladores



Eduardo Hernández Rosales
Instituto Tecnológico de Pachuca
Ingeniería eléctrica
01/01/2009

Tabla de contenido

Objetivo general.....	3
Desarrollo.....	3
Control analógico.....	3
Control digital	6
Descripción del microcontrolador μ BOARD9S12GC de 52 pines a 25 MHz.....	9
Material y equipo utilizado.....	10
Metodología.....	10

PROYECTO

“CONTROL PI DEL SISTEMA WARD-LEONARD”

Objetivo general

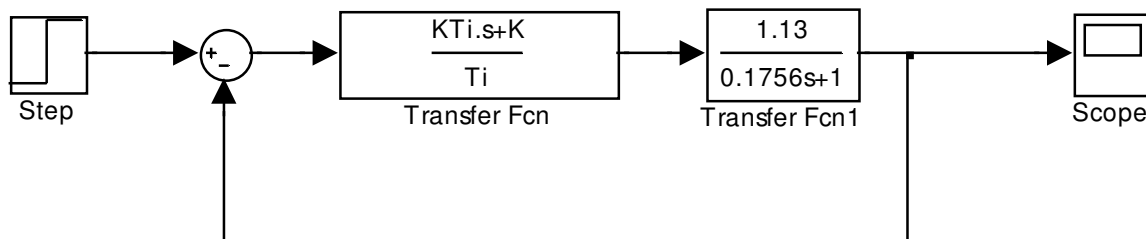
Implementar un control Proporcional Integral a un grupo motor-generador (Ward-Leonard), utilizando un control discreto para su simulación y una referencia de 1200 rpm y su posterior aplicación física mediante un microcontrolador μ BOARDHC12GC32.

Desarrollo

Se presenta el siguiente modelado como formación del control PI que se empleará.

Control analógico

Se tiene el siguiente sistema:



$$G(S) = \left(\frac{K Ti S + K}{Ti S} \right) \left(\frac{1.13}{0.1756 S + 1} \right) = \frac{1.13 K Ti S + 1.13 K}{0.1756 Ti S^2 + Ti S};$$

$$\frac{M(S)}{E(S)} = \frac{K T_i S}{T_i S};$$

$$\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{\left(\frac{K T_i S + K}{T_i S}\right) \left(\frac{1.13}{0.1756 S + 1}\right)}{1 + \frac{(K T_i S + K)(1.13)}{(T_i S)(0.1756 S + 1)}}$$

Lo cual nos proporciona:

$$\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{1.13 K S + \frac{1.13 K}{T_i}}{0.1756 S^2 + (1 + 1.13 K)S + \frac{1.13 K}{T_i}};$$

Entonces se tiene la ecuación característica:

$$S^2 + 2\zeta\omega_n S + \omega_n^2;$$

Se propone un valor de zeta de 0.6:

$$S^2 + 2(0.6)\omega_n S + \omega_n^2;$$

Para encontrar un valor de K de 0.66, se normaliza R(S) y se iguala a 10 el coeficiente de S, es decir:

$$\frac{1 + 1.13 K}{0.1756} = 10 = 2\zeta\omega_n; \quad K = 0.66; \quad \omega_n = 8.33 \text{ rad/seg}$$

Se calcula el tiempo de establecimiento T_s como sigue:

$$T_s = \frac{4}{\zeta\omega_n} = \frac{4}{(0.6)(8.33)} = 0.8 \text{ seg}$$

$$\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{1.13 K S + \frac{1.13 K}{T_i}}{0.1756 S^2 + (1 + 1.13 K)S + \frac{1.13 K}{T_i}} \left(\frac{\frac{1}{0.1756}}{\frac{1}{0.1756}} \right);$$

$$\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{6.435 K S + (6.435) \frac{K}{T_i}}{S^2 + \frac{(1 + 1.13 K)S}{0.1756} + (6.435) \frac{K}{T_i}}$$

Se observa que:

$$\omega_n^2 = (6.435) \frac{K}{T_i};$$

$$(8.33)^2 = (6.435) \frac{K}{T_i};$$

$$T_i = \frac{6.435}{69.38} (0.66) = 0.061$$

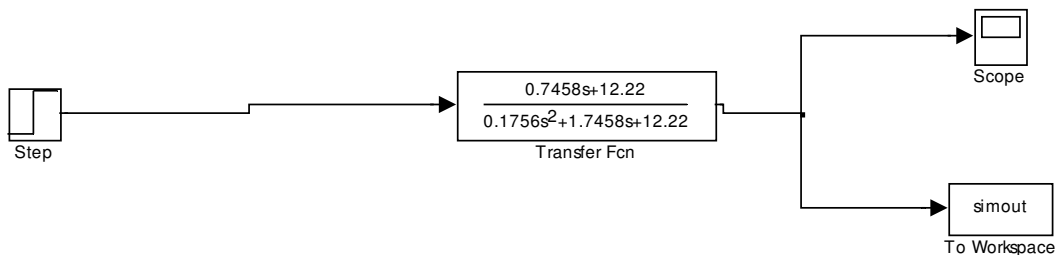
Finalmente se sustituyen los valores de K, Ti en la ecuación principal:

$$\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{1.13 K S + \frac{1.13 K}{T_i}}{0.1756 S^2 + (1 + 1.13 K) S + \frac{1.13 K}{T_i}}$$

$$\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{1.13 (0.66) S + \frac{1.13 (0.66)}{0.061}}{0.1756 S^2 + (1 + 1.13 (0.66)) S + \frac{1.13 (0.66)}{0.061}}$$

$$\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{0.7458 S + 12.22}{0.1756 S^2 + 1.7458 S + 12.22}$$

La ecuación final de C(S)/R(S) se introduce en Simulink y nos muestra la grafica de comportamiento del sistema como sigue:



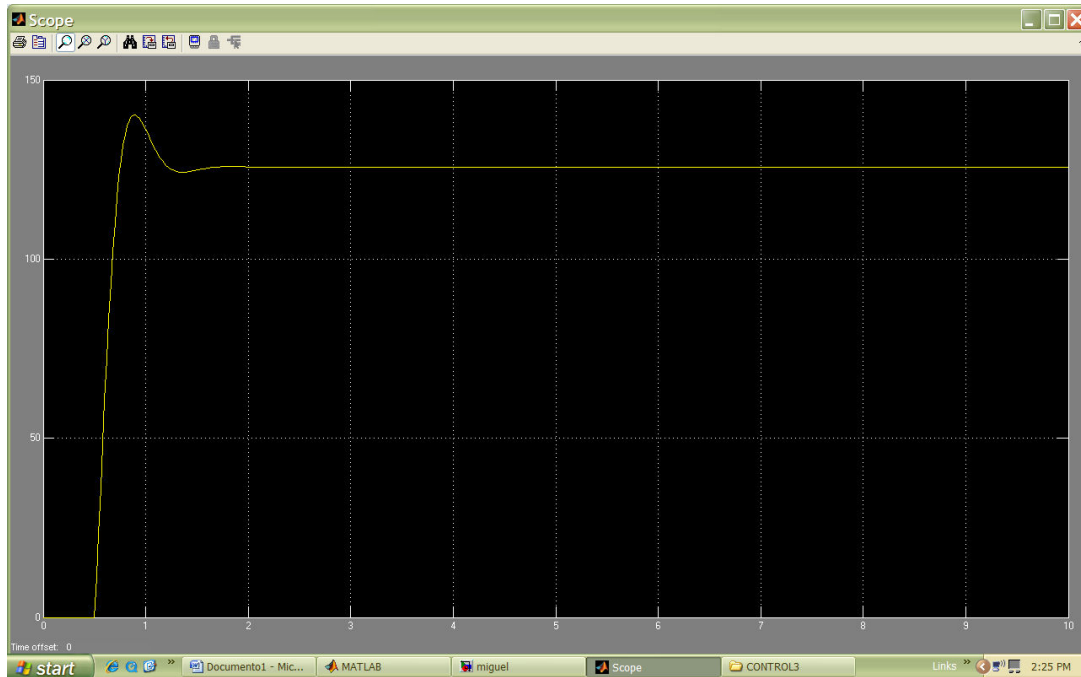
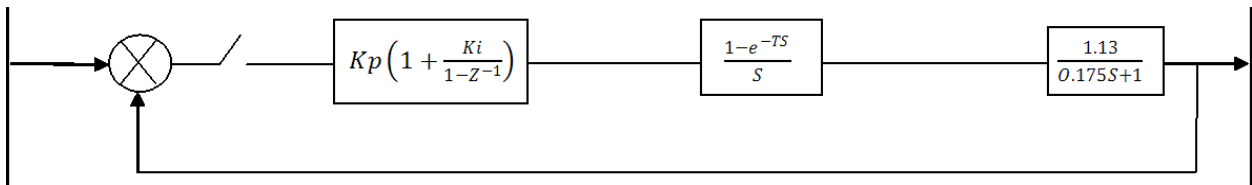


Figura 1: Gráfica de comportamiento del control analógico de la prueba de 1200 rpm

Control digital

Para el control digital se tiene el siguiente sistema:



Donde:

$$Kp = k - \frac{k * T}{Ti}$$

$$Ki = \frac{k * T}{Ti}$$

$$Ti = 0.061$$

$$TS = 0.8 \text{ seg.}$$

Se divide en dos partes, una donde estará el control y otro en donde estará la planta ya discretizada, obteniéndose:

$$\frac{M(Z)}{E(Z)} = Kp \left(1 + \frac{Ki}{1 - Z^{-1}} \right) = Kp + \frac{Kp * Ki}{1 - Z^{-1}} = \frac{Kp(1 - Z^{-1}) + KpKi}{1 - Z^{-1}}$$

Discretizando los elementos del tiempo continuo

$$G_D(Z) = (1 - Z^{-1}) * \left[\frac{1.13}{1 - Z^{-1}} - \frac{1.11}{1 - 0.889Z^{-1}} \right] = \frac{0.02Z + 0.106}{Z - 0.889}$$

Obteniendo Kp y Ki

$$Kp = k - \frac{k * T}{Ti} = (0.66) - \frac{(0.66)(0.02)}{0.061} = 0.4436$$

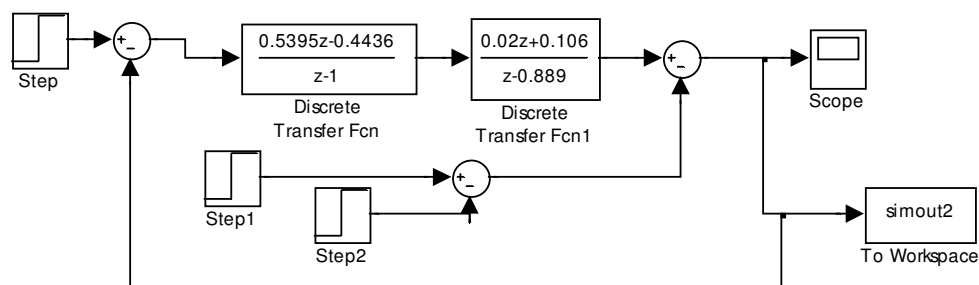
$$Ki = \frac{k * T}{Ti} = \frac{(0.66)(0.02)}{0.061} = 0.2163$$

Realizando el control PI

$$Kp * \left(1 + \frac{Ki}{1 - Z^{-1}} \right) = 0.4436 + \left(1 + \frac{0.2163}{1 - Z^{-1}} \right) = 0.4436 + \left(\frac{0.0959}{1 - Z^{-1}} \right)$$

$$Kp * \left(1 + \frac{Ki}{1 - Z^{-1}} \right) = \frac{0.5395Z - 0.4436}{z - 1}$$

Los resultados obtenidos se introducen en SIMULINK para observar la simulación del sistema, quedando de la siguiente manera:



Dando doble click en scope se puede observa lo siguiente

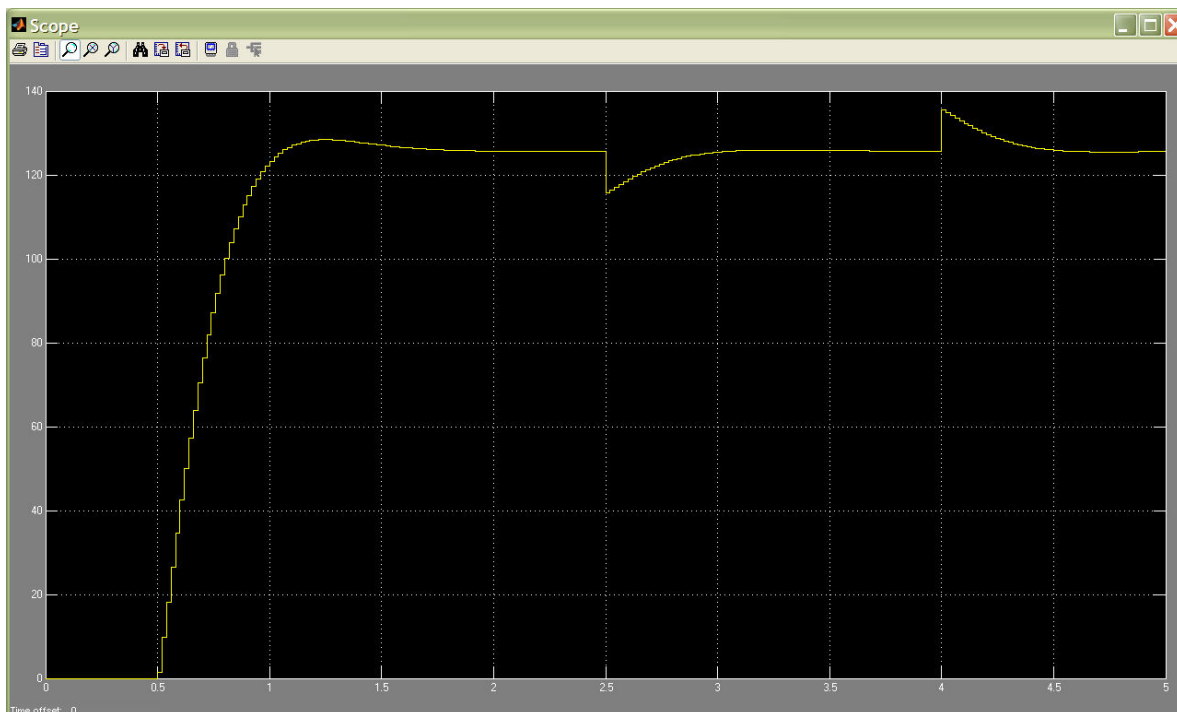
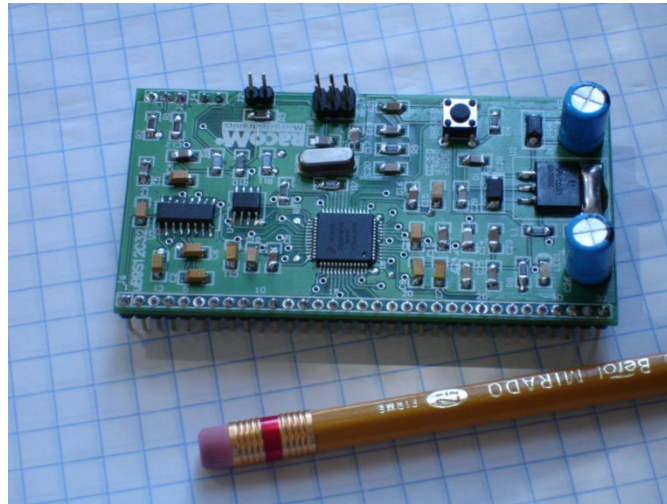


Figura 2: Gráfica de comportamiento del control digital con interrupciones de la prueba de 1200 rpm

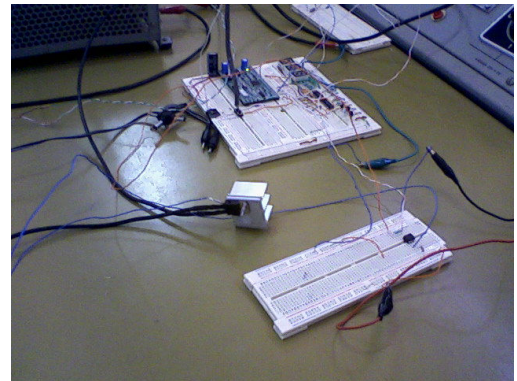
Y se puede apreciar que el sistema se estabiliza en la referencia sin importar las interrupciones que se presenten durante la ejecución del mismo.

Descripción del microcontrolador μ BOARD9S12GC de 52 pines a 25 MHz



Las características del microcontrolador son las siguientes

- *Microcontrolador MC9S12GC32 con 52 pines a 25 MHz*
- *Programación por puerto serie*
- *Voltaje de alimentación de 7 – 15 Vcd.*
- *Modo Monitor/Usuario*
- *4 botones disponibles para usuario*
- *6 leds*
- *1 potenciómetro para pruebas de convertidor AD*
- *Pines para conexión RS232 externo*
- *Interface para Display LCD estándar*
- *Conector para Bocina*
- *1 receptor de infrarrojos*
- *7 puertos AD de expansión*
- *Tiempo de ciclo de instrucción de 40 nsec*
- *25 millones de instrucciones x seg.*
- *Modos de direccionamiento flexibles, multibyte, post-incremento o decremento, manipulación y control de lazos.*
- *Permite la depuración en tiempo real.*
- *Instrucciones de lógica difusa.*
- *Reprogramable en sitio.*
- *No requiere de voltaje adicional para programar la memoria.*
- *Puede operar con baterías.*



- *Protección de bloques de memoria contra lecturas y/o escrituras no permitidas.*
- *Hasta 100K ciclos de escritura.*
- *Elimina la necesidad de memorias seriales EEPROM*

Material y equipo utilizado

- 1 computadora
- Software LabView, Matlab, IDE codewarrior
- 1 microcontrolador (μ BOARDHC12GC32)
- 1 Cable adaptador (USB-SERIAL)
- 1 fuente de voltaje de 130, 112 y 12 VCD
- 1 mosfet (IRF 640)
- 1 opto acoplador (4N28)
- Resistencias 10 k Ω , 220 Ω , 560 Ω
- Grupo Motor-Generador (Ward-Leonard)
- 1 tacómetro
- 1 osciloscopio

Metodología

1. Se adquieren las curvas de comportamiento del grupo Motor-Generador a velocidad de 1200 con la tarjeta de adquisición de datos y LabView, ajustando el voltaje del grupo Motor-Generador para obtener dichas velocidades medidas con el tacómetro.
2. Se transforman los valores de velocidad de rpm a rad/seg, para posteriormente dividir entre el voltaje de referencia y obtener la constante K.
3. Se obtiene el modelo matemático del sistema continuo y discreto del grupo Motor-Generador a las distintas velocidades antes mencionadas con un control Proporcional- Integral (Anexo).
4. Se grafican los modelos matemáticos, tratando se igualar las graficas de comportamiento de estos modelos, a los modelos obtenidos con LabView.
5. Se obtienen los valores de las constantes k_p y k_i del control PI.

6. Se diseña el programa de control para el microcontrolador.

```

**  Filename : Events.C
**  Project  : controlP
**  Processor : MC9S12C32CPB25
**  Beantype  : Events
**  Version   : Driver 01.04
**  Compiler  : CodeWarrior HC12 C Compiler
**  Date/Time : 6/15/2009, 9:52 AM
**  Abstract  :
**      This is user's event module.
**      Put your event handler code here.
**  Settings  :
**  Contents  :
**      Tl1_OnInterrupt - void Tl1_OnInterrupt(void);
**
**  (c) Copyright UNIS, spol. s r.o. 1997-2006
**  UNIS, spol. s r.o.
**  Jundrovská 33
**  624 00 Brno
**  Czech Republic
**  http   : www.processorexpert.com
**  mail   : info@processorexpert.com

```

```

**
#####
#*/
/* MODULE Events */
#include "Cpu.h"
#include "Events.h"
#pragma CODE_SEG DEFAULT

byte datox;
float datoy;
float ref=1200; //referencia en rpm
float m_k=0;
static float m_k_1=0;
float e_k;
static float e_k_1;
float kp=0.44;
float ki=0.21;
byte m_k_int;

```

```

/*
**
=====
=====
**   Event      : TI1_OnInterrupt (module Events)
**
**   From bean  : TI1 [TimerInt]
**   Description :
**       When a timer interrupt occurs this event is called (only
**       when the bean is enabled - "Enable" and the events are
**       enabled - "EnableEvent").
**   Parameters : None
**   Returns    : Nothing
**
=====
=====
*/
void TI1_OnInterrupt(void)
{
    /* Write your code here ... */

    AD1_GetValue8(&datox);

    datoy=(1340.0/255.0)*datox; // velocidad en k en rpm

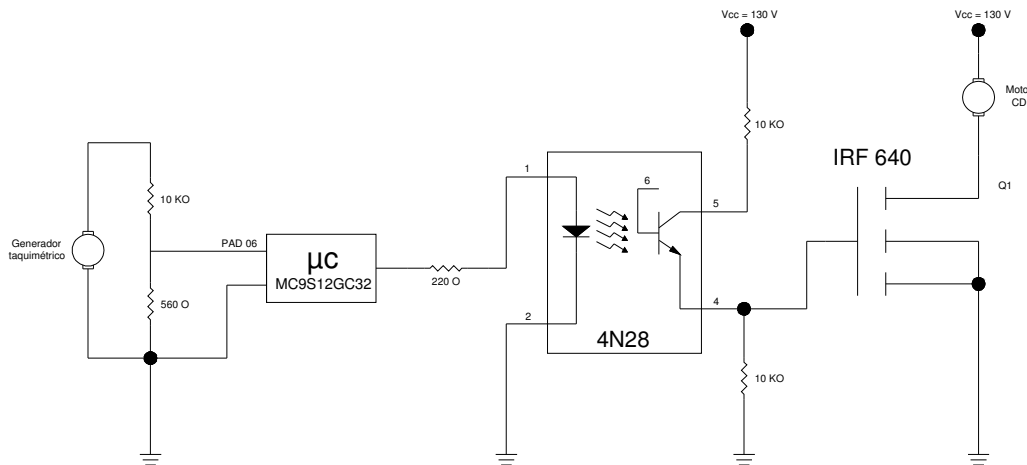
    e_k=(ref-datoy)/ref;
    m_k=m_k_1+(kp*e_k)-kp*e_k_1+ki*e_k;

    if (m_k>1.0)
    {
        m_k=1;
    }
    else if (m_k<0.0)
    {
        m_k=0;
    }

    m_k_int = m_k *255.0;
    PWM6_SetRatio8(255-m_k_int);
    e_k_1=e_k;
    m_k_1=m_k;
}

```

7. Se carga el programa al microcontrolador por medio del cable adaptador (USB-SERIAL), visualizando la señal PWM en el osciloscopio que el ciclo de trabajo aumente y/o disminuya según los programas mencionados anteriormente.
8. Se diseña, se arma y se prueba la interfaz electrónica de potencia para poder aplicar el control PI al grupo Motor-Generador (Ward-Leonard).



9. Una vez verificado el buen funcionamiento de tanto el grupo Motor-Generador como de la interfaz de potencia y por lo tanto del control, entonces se le aplicó carga al grupo Motor-Generador, para simularlo como perturbaciones del sistema y se verificó en cada prueba a las diferentes velocidades que el control compensa automáticamente esas perturbaciones llevando al grupo Motor-Generador a su velocidad de referencia y así demostramos que el control diseñado para cada prueba fue la correcta.