

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

EL CONTROL DIFUSO DE TEMPERATURA DE UNA INCUBADORA

Avilés Cortez Juan Carlos, Ing.

Universidad Mayor de San Andrés - Facultad de Ingeniería
La Paz – Bolivia

RESUMEN

El objetivo del proyecto es el diseño de un circuito para el monitoreo y control difuso de temperatura de una incubadora, utilizando un microcontrolador, un sensor de temperatura digital y se realiza la administración a través de una PC.

Como características principales son la utilización del microcontrolador, el sensor de temperatura digital STH-11 y lo más importante el Control Difuso Mandani de la Temperatura, se utilizó el protocolo de comunicación I2C entre el sensor y el microcontrolador, el cual se comunica a la PC mediante el puerto serial, en la cual se tiene la interfaz al usuario, visualización de la temperatura y ajustar los diferentes parámetros de control.

Palabras Clave: Control Difuso, Incubadora, Temperatura, Incubadora.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal es controlar la temperatura en una incubadora utilizando lógica difusa una de las ramas de la Inteligencia Artificial. Se utiliza un sistema lógico que generaliza la lógica clásica de dos valores para el razonamiento bajo incertidumbre.

El corazón del circuito es un Atmel AT59C52 el que se tiene en nuestro mercado de manera económica, para implementar el control difuso, el tratamiento de las señales mediante los puertos que posee y conectarlo a la PC para el monitoreo mediante su puerto serial.

La temperatura sensada por el STH – 11 ingresa al Microcontrolador de manera

serial, utilizando el protocolo de comunicación I2C, a través de la PC se realiza la interfaz con el operador, el circuito detecta el cruce por cero de la línea de tensión y controla el ángulo de disparo de la señal a la etapa de potencia, el cual se mantiene de manera eficiente y estable ante las perturbaciones externas.

También posee dentro de la incubadora un ventilador para uniformizar el aire. Esto es muy importante para la incubadora ya que debe mantener la temperatura uniforme dentro del habitáculo.

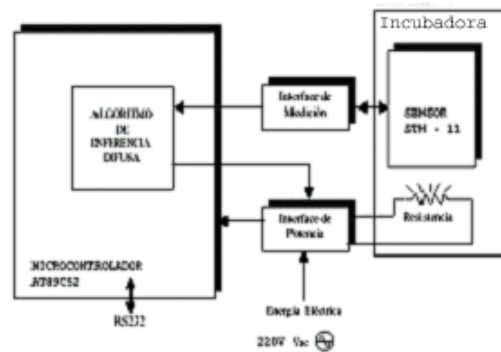


Fig 1. Diagrama en bloque del circuito del control de la incubadora.

1.1 Control Difuso

Generalmente se usa en los sistemas de control clásico el controlador PID, el proporcional para establecer una ganancia, el derivativo para la etapa transitoria y el integral para la etapa de régimen permanente.

En un controlador difuso se emplea dos de estos conceptos: el error y el cambio de error, el cual se conoce como gradiente. Provee una morfología de inferencia que permite aproximar las capacidades de

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

razonamiento humano para ser aplicado a sistemas de base de conocimientos. Además, provee una fuerza matemática para capturar incertidumbres asociadas con los procesos cognitivos humanos tales como pensamiento y razonamiento.

El diagrama de bloques del algoritmo de inferencia del controlador difuso implementado se muestra en la Fig. 2. La ejecución del algoritmo es realizada de forma secuencial, porque el tiempo requerido para la ejecución total del algoritmo es mucho menor que el tiempo requerido para la ejecución de la señal de actuación en el horno, lo cual garantiza que no se presenten desfases entre la señal de entrada y la señal de salida.

El fuzzificador toma el valor actual del sensor de entrada, los compara con las funciones de membresía de los conjuntos difusos de las variables de entrada y almacena el valor de la entrada fuzzificada en una estructura de datos. La máquina de inferencia difusa procesa una lista de reglas de la base de reglas difusas usando la información fuzzificada de las variables de entrada y produce una salida también se trata de variables difusas (razonamiento difuso).

El Defuzzificador usa las salidas difusas obtenidas en la evaluación de reglas y las funciones de membresía de los conjuntos difusos de la variable de salida para generar un valor único como salida del sistema.

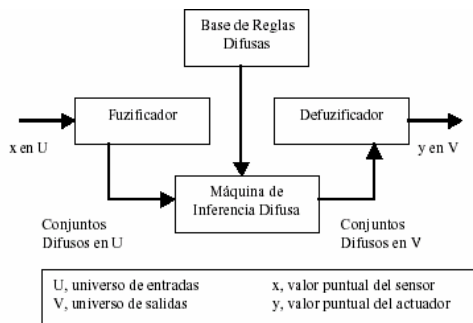


Fig. 2. Diagrama de bloques del controlador difuso.

Se consideraron dos variables de entrada, el error (e) de la temperatura actual respecto a un valor deseado y el gradiente (ge) de temperatura. Como variable de salida se

tiene a la potencia eléctrica necesaria para mantener el horno en la temperatura deseada. En la Fig. 3 se muestra la integración del controlador difuso al proceso que se desea controlar. La señal de salida es un pulso que está sincronizado con la línea eléctrica y es aplicado a un TRIAC con un retardo necesario para aumentar o disminuir la cantidad de potencia suministrada a la incubadora (2)

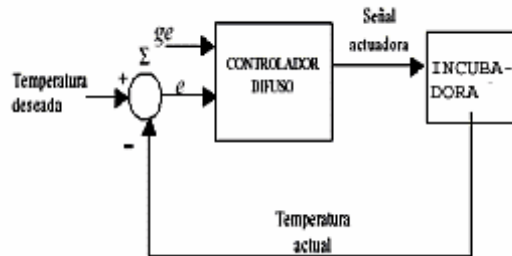


fig. 3 Integración del controlador difuso al proceso

2. DESCRIPCION DEL CIRCUITO

2.1 Detector cruce por cero

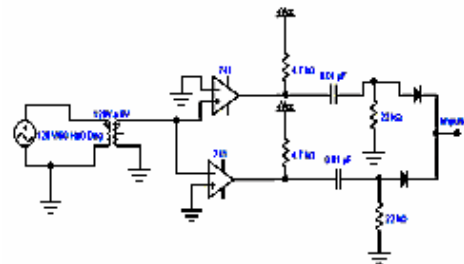


Fig. 4. Detector de cruce por cero.

Este generador es alimentado por una señal con la misma fase y frecuencia que la que alimenta al calefactor. Para este fin se utiliza el transformador, cuya señal se alimenta a dos comparadores. Como ambos comparadores tienen a tierra como referencia para una de sus entradas funcionan como detectores de cruce por cero, es decir mandan un pulso positivo mientras la señal sea mayor o menor que cero, según sea el caso. El op-amp de la parte superior de la imagen manda un pulso positivo mientras la señal presenta un semi-ciclo positivo, y carga el capacitor el cual se descarga cuando el semi-ciclo positivo termina y la señal tiene un cruce por cero. El

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

funcionamiento del op-amp de la parte inferior es análogo pero para el semi-ciclo negativo. La señal de salida es alimentada a un punto común, por lo que es necesario poner diodos que impidan que la corriente de un capacitor cargue al otro e impidan el funcionamiento correcto del circuito, ver la figura 4 donde se muestra en detalle el circuito de la parte de detección de cruce por cero de la línea de alimentación.

Esta señal ingresa al microcontrolador Atmel para realizar el control respectivo de la potencia de salida calefactor. Fig.5.

2.2 Etapa de potencia

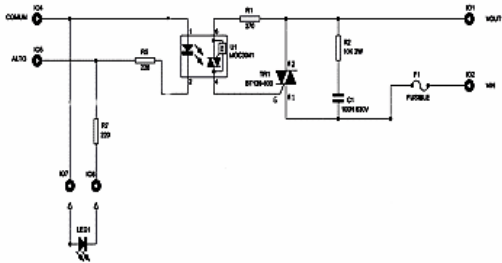


Fig. 5. Etapa de potencia

Cuando se ilumina el led nos indicará que la salida está activada, y por otro lado, el LED contenido en U1 también se ilumina (con la misma limitación de corriente introducida por R5), y posibilita el disparo del optotriac (fig. 5). En esta situación, y gracias a la circuitería interna del MOC3041, el optotriac se pondrá en conducción en el siguiente paso por cero de la tensión de red (la tensión de red es una onda senoidal de 50Hz, por lo que pasará por 0V 100 veces por segundo). Esta forma de disparo es muy conveniente, no sólo para evitar que el circuito introduzca interferencias en la tensión de red como se dijo antes, sino también para evitarle daños al triac (una de las pocas formas de quemar un triac es conmutar la carga cuando hay una tensión alta entre sus terminales).

3. SENSOR DE TEMPERATURA

El SHT11 es un chip multisensor de humedad relativa y temperatura, con una salida digital calibrada. Este dispositivo incluye dos microsensors calibrados para humedad relativa y temperatura las cuales

tiene juntas acopladas a un convertidor analógico digital de 14 bits y un circuito de interface serial en el mismo chip. Este resulta en una señal confiable y una respuesta rápida en tiempo e insensibilidad a disturbios externos.

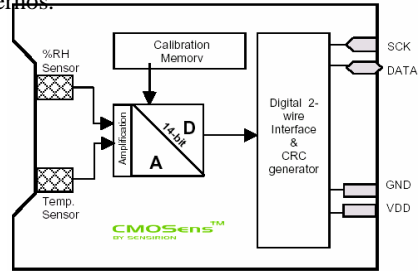


Fig. 6. Sensor de Temperatura Digital STH-11

Los dos cables de interface serial y regulación de voltaje interno permiten un fácil y rápido sistema de integración por lo que sus aplicaciones incluyen automotivos, instrumentación, equipos médicos, calefacción, ventilación y sistemas de aire acondicionado.

3.1 Medición de temperatura

Se utiliza el diagrama de tiempos de la figura 7 para la poder realizar la lectura de temperatura mandando el comando 00011 y se recibirá dos datos uno alto y uno bajo.

Command	Code
Reserved	0000x
Measure Temperature	00011

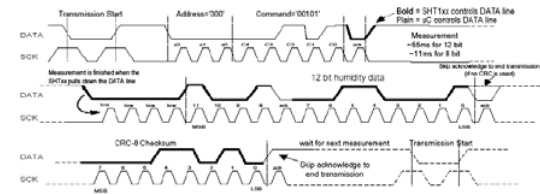


Fig. 7. Diagrama de tiempos para la lectura de la Temperatura

Para calcular el dato real de la temperatura se debe realizar la siguiente operación:

$$Taux = DatoAlto * 256 + DatoBajo$$

$$Temperatura \text{ en } C = 0.01 * Taux - 40$$

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

4. INTERFASE CON EL OPERADOR

La interfase del Control Difuso Mandani se realizó Visual Basic:



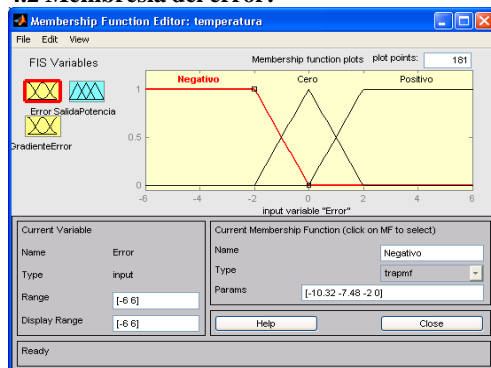
Fig. 8. Interfaz con el operador

Grafica el setpoint designado, la gráfica del control difuso y como referencia el control PID solo para el primer caso para su comparación, y control de los parámetros del Control Difuso.

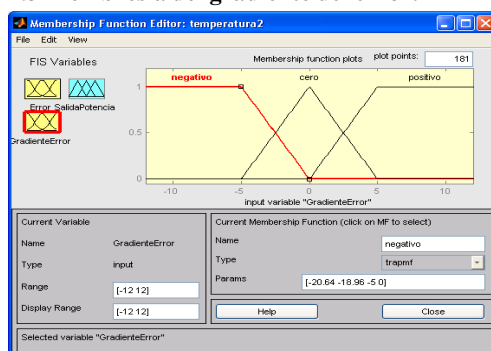
4.1 Fuzzificación

Se utilizaron funciones de membresía trapezoidales y triangulares, porque se adaptaron mejor al dominio discreto que proporciona el control difuso. Las funciones de membresía fueron afinadas mediante ejercicios de prueba y error.

4.2 Membresía del error:



4.3 Membresía del gradiente del error:



$$e(k) = SP - T(K) ; ge = e(k) - e(k-1)$$

$e(k)$ error; SP setpoint; ge gradiente de e .

4.4 Variables lingüísticas

- $e = "N"$ calor.
- $e = "Z"$ temperatura correcta.
- $e = "P"$ frío.
- $ge = "N"$ calentándose.
- $ge = "Z"$ no esta cambiando.
- $ge = "P"$ enfriándose.

4.5 Base de conocimiento:

Evaluación de reglas:

La evaluación de reglas se lleva acabo usando la información de los valores encontrados en la fuzzificación para luego producir salidas difusas.

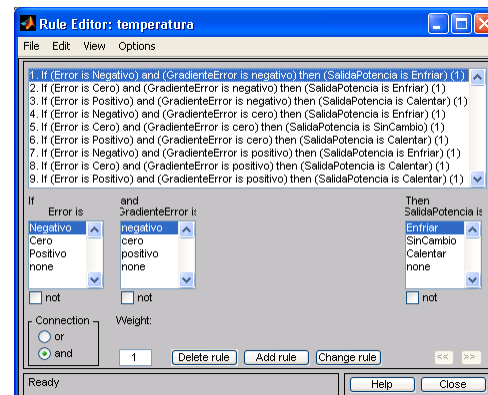
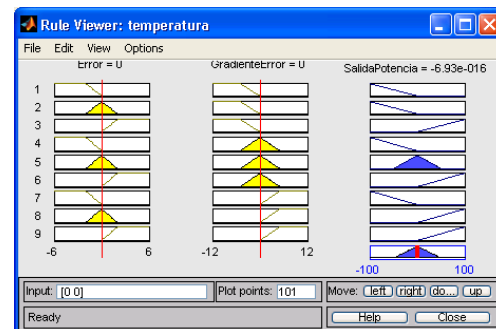


Fig. 9. Evaluación de reglas

4.6 Defuzzificación

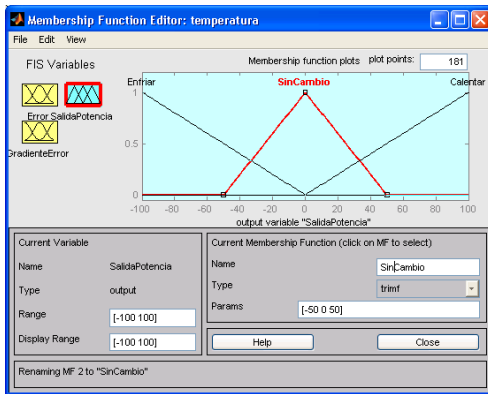
La Defuzzificación usa las salidas fuzzificadas del paso de la evaluación de reglas y las funciones de membresía de la variable de salida, que están en la base de reglas para generar un único valor como salida del sistema, que consiste de un valor

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

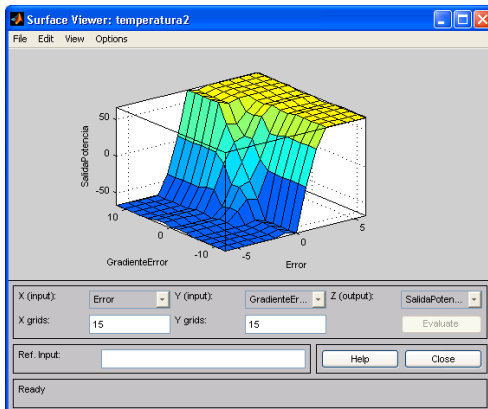
de 8 bits el que constituirá la cantidad a aumentar o disminuir de la salida global y así proporcionar la cantidad de energía necesaria para mantener la temperatura al valor deseado. Si consideramos un sistema tridimensional, donde los ejes X y Y son determinadas por las variables de entrada, entonces las salidas difusas constituyen una posición del eje Z,

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n F_i * S_i}{\sum_{i=1}^n F_i}$$

Donde n es el número de salidas difusas asociadas con esta salida del sistema, i F es un peso (valor de salida de la fuzzificación), y i S es una posición de una función de membresía singleton. i F y i S son valores de 8 bits y n es típicamente 8. Porque el numerador y el denominador no son valores independientes, sabemos que el resultado es un valor de 8 bits.



4.7 Surface:



4.8 Variables de salida.

- “c” calentar (positivo).
- “-” ningún cambio (cero).
- “e” enfriar (negativo).

5. RESULTADOS

En la siguiente tabla se muestra los resultados del control difuso con el control tradicional PID para 30 minutos de muestreo.

Tabla 1. Resultados

Referencia (°C)	Tiempo de respuesta (Minutos)		Sobretiro		Error en estado estable (°C)		Precisión (%)	
	PID	DIFUSO	PID	DIFUSO	PID	DIFUSO	PID	DIFUSO
30	14.475	1.980	0	0.0938	0.0276	0.0136	0.0921	0.0453
35	15.602	3.786	0	0.1022	0.0310	0.0167	0.0887	0.0477
40	15.750	7.637	0	0.1243	0.0281	0.0371	0.0703	0.0927

El control difuso presenta tiempos de respuesta menores que el PID. Ambos controles presentan valores muy pequeños de error en estado estable, pero el difuso tiene un error más pequeño.

El difuso presenta una precisión bastante buena y responde mejor a las perturbaciones. La ventaja principal del PID se ve reflejada en el sobretiro nulo que presenta este en su respuesta, lo que asegura que nunca se exceda la referencia.

El diseño e implementación del controlador difuso, para el control de temperatura de una incubadora, sobre la base de un microcontrolador Atmel 89C52, muestra gran capacidad de velocidad de respuesta y según las características del proceso a controlar y con el tipo de energía usada podemos afirmar que es un control en tiempo real.

El proyecto desarrollado es compatible e integrable por medio del puerto serial RS232, lo que le hace muy versátil para su programación o visualización desde una PC portátil.

Resultados experimentales muestran que el controlador difuso es robusto en los rangos de operación. La temperatura tiene buena respuesta es el estado transitorio y estacionario. El controlador también funcionó bien a pesar de la presencia de perturbaciones y cambios de carga. Su costo de desarrollo es barato lo que hace posible adaptarlo para controlar hornos comerciales con fines de ahorro de energía eléctrica.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Se comprobó el control de temperatura, mediante diferentes alternativas de diseño de la lógica difusa, registrando en una base de datos, la evolución de la temperatura medida en la incubadora.

6. CONCLUSIONES.

Con las distintas pruebas que se realizaron sobre este prototipo, se comprobó que su comportamiento alcanzó y superó el desempeño de otras incubadoras desarrolladas con controladores clásicos en la Facultad de Ingeniería, las cuales no presentaban las mismas prestaciones que la que se diseñó con Lógica Difusa. La operación por parte de los usuarios fue muy aceptada, después de un entrenamiento de unos minutos.

Con respecto al control de temperatura implementado, posee las ventajas de no necesitar un modelo matemático preciso del sistema a controlar, tiene alto rechazo al ruido y permite contemplar situaciones excepcionales del estado del proceso, gracias a su forma de representar el conocimiento. Como desventaja se puede decir, que el diseño debe realizarse generalmente con el método de prueba y error hasta encontrar el mejor valor para el

control de la temperatura.

REFERENCIAS

- [01] Prof. Bekis López de Lameda, "Lógica Difusa.", 2001.
- [02] Nicolás Kemper Valverde, "Controlador Difuso", 1998
- [03] Smith And Corripio, "Control Automático de procesos", 1990
- [04] A. Jiménez Avello and F. Espada, "Control Fuzzy", 1994.
- [05] R. Coughin and F. Driscoll, "Amplificadores Operaciones", 1999.
- [06] Cox, E. "The Fuzzy Systems Handbook". 2da. Ed., USA, Academic Press, Inc., 1994.
- [06] Creus, A. "Instrumentación Industrial", 5ta. Ed., México, Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V., 1995.
- [07] Jamshidi, M. , Vadiee, N. y Ross, T. "Fuzzy Logic and Control". 1ra. Ed., New Jersey, PTR Prentice- Hall Inc., 1993.
- [08] Norton, H. "Sensores y Analizadores", 3ra. Ed., Barcelona, Editorial Gustavo Gili S.A., 1990.
- [09] Russell, S. y Norvig, P. "Artificial Intelligence, A Modern Approach", 2da. Ed., New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1995.
- [10] Von Altrock, C. "Fuzzy Logic & NeuroFuzzy Applications Explained". 2da. Ed., USA, PTR Prentice-Hall Inc., 1995.

BIOGRAFIA



Juán Carlos Avilés Cortez.

Nació en La Paz el 18 de Octubre de 1970. Estudios Secundarios en el Colegio Nacional "Antonio Díaz Villamil" graduado con un Certificado de Mejor Estudiante otorgado por el Alcalde Raúl Salmón de la Barra de la ciudad de La Paz, Graduado de la Universidad Mayor de San Andrés, como Ingeniero Electrónica Área Digital 1998 con la mejor calificación de la Gestión. Diplomado En Servidores Web 2002. Diplomado en Educación Superior 2003. Curso Internacional de Robótica Aplicada CIRA 2008 México. Docente de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Electromecánica en las materias de Sistemas Digitales I y II. Invitado como Docente de Microprocesadores en la Carrera de Ingeniería Electromecánica. Invitado como Docente Investigador del Instituto de Investigaciones Mecánicas por el Dr. Ramiro Peralta Director del Instituto en la Colaboración de 2 proyectos de Investigación. Representante de la Firma Alemana C.S.C. S.R.L. para Bolivia. Coordinador de la Facultad de Ingeniería para la Reacreditación de las 8 Carreras que tiene esta Facultad ante la CACEI - MÉXICO.