

Sistemas Lógicos Digitales

Jaroslav Šípál

Autor: Jaroslav Šípál
Título: Sistemas Lógicos Digitales
Traducido por: Santiago Silvestre
Publicado por: České vysoké učení technické v Praze
Compilado por: Fakulta elektrotechnická
Dirección de contacto: Technická 2, Praha 6, Czech Republic
Número de teléfono: +420 2 2435 2084
Print: (only electronic form)
Número de páginas: 207
Edición: Primera edición

ISBN 978-80-01-05316-4

Revisado por: Miquel Soriano

Innovative Methodology for Promising VET Areas
<http://improvet.cvut.cz>



Programa de acción
en el ámbito del
aprendizaje permanente

El presente proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea.
Esta publicación (comunicación) es responsabilidad exclusiva de su autor. La Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.

NOTAS EXPLICATIVAS



Definición



Interesante



Nota



Ejemplo



Resumen



Ventajas



Desventajas

ANOTACIÓN

Las máquinas o máquinas de conducción pueden ser clasificadas en uno de estos tres grupos: de control, regulación y otras formas superiores de control. Este módulo describe la información esencial acerca de los controladores, la gestión de señales, señales de filtrado y lógica difusa y redes neuronales. Cada capítulo se complementa con ejemplos y preguntas finales.

OBJETIVOS

Después de estudiar este módulo, los alumnos obtienen información general básica sobre control digital / numérico, señales informáticas, parámetros y dos componentes de inteligencia artificial - lógica difusa y redes neuronales. Los módulos también incluyen información básica acerca de los filtros digitales y algoritmos de control, como controladores PID.

LITERATURA

- [1] BARTSCH Hans Matematické vzorce Mladá fronta Praha 2000; ISBN 80-204-0607-7
- [2] Getting Started with MATLAB® 8; The MathWorks Inc. 2012
- [3] HÄBERLE H. a kol. - Průmyslová elektronika a informační technologie; Europa Sobotáles Praha 2003; ISBN 80-86706-04-4
- [4] REKTORYS Karel a kol. Přehled užití matematiky I+II vyd. Prometheus Praha: 2000; ISBN 80-7196-179-5
- [5] SCHMID D. a kol. - Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku; Europa Sobotáles Praha 2005; ISBN 80-86706-10-9

Indice

1	Introducción y motivación.....	9
1.1	Control.....	10
1.2	Control de regulación	12
1.3	Control avanzado.....	14
1.4	Preguntas	15
2	Terminología.....	16
2.1	Sistema	17
2.2	Continuidad y discontinuidad de cantidades físicas.....	20
2.3	Señales.....	21
2.4	Terminología utilizada	24
2.5	Preguntas	27
3	Implementación de sistemas lógicos digitales	28
3.1	Implementación de funciones lógicas básicas con distintas tecnologías.....	30
3.2	Símbolos esquemáticos para circuitos lógicos	34
3.3	Edición de expresiones lógicas.....	36
3.4	Programas matemáticos.....	38
3.5	MATLAB	39
3.6	Preguntas	45
4	Funciones lógicas combinacionales y algebra de Boole, mapas de Karnaugh, minimización, ejecución lógica y funciones lógicas combinacionales.....	46
4.1	Funciones lógicas	46
4.2	Algebra proposicional	47
4.3	Algebra de Boole.....	50
4.4	Mapa de Karnaugh	53
4.5	Implementación de funciones lógicas	57
4.6	Preguntas	60
4.7	Ejemplos para practicar	61
4.8	Distribución de sistemas.....	65
4.9	Preguntas	67
4.10	Funciones lógicas combinacionales	68
4.11	Uso de circuitos lógicos combinacionales.....	70
4.12	Multiplexores y Demultiplexores.....	71
4.13	Convertidores de código	74
4.14	Circuitos de seguridad.....	77

5	Funciones lógicas secuenciales, naturaleza del comportamiento secuencial, realimentación, elementos lógicos secuenciales, ejecución síncrona y asíncrona.....	78
5.1	Funciones lógicas secuenciales, Circuitos lógicos secuenciales	78
5.2	Memoria Binaria.....	79
5.3	Ejecución síncrona y asíncrona	82
5.4	Preguntas	87
6	Conocimientos básicos de fuzzy logic (lógica difusa)	88
6.1	Introducción.....	88
6.2	Fuentes de fuzzy logic	91
6.3	Fuzzy logic como la generalización de la lógica binaria.....	95
6.4	Umbral y función mayoría en lógica binaria.....	96
6.5	Términos lógicos	97
6.6	Conexión con AND y OR	98
6.7	Uso en técnica de seguridad	99
6.8	Motivos de la generalización de la lógica fuzzy	100
6.9	Procedimiento de generalización Fuzzy.....	101
6.10	Generalización para términos lógicos	103
6.11	Generalización Fuzzy de AND, OR, NOT	104
6.12	Generalización fuzzy de negación – fuzzy NOT.....	105
6.13	Generalización fuzzy de AND y OR.....	106
6.14	Satisfacer mínimo y máximo.....	109
6.15	Sistema de diagnóstico Fuzzy – ejemplo	110
6.16	Determinación de los términos de entrada verity – fusificación (fusificación)	111
6.17	Numeración verdadera - inferencia	112
6.18	Numeración de resultado con valor simple - defusificación	113
6.19	Defusificación	114
6.20	Términos de salida.....	115
6.21	Proceso de defusificación sin implicaciones	116
6.22	Método centroide – CoG	118
6.23	Método de bisección – CoA	119
6.24	Método del máximo – LM, RM	120
6.25	Método centroide Singleton – CoGS.....	121
6.26	Analogía del promedio ponderado	122
6.27	Sistema fuzzy Mamdani	123
6.28	Ajuste de sistema fuzzy.....	124
6.29	Descripción del sistema.....	125
6.30	Colocación uniforme de todos los términos	126

6.31	Términos consolidados de entrada	130
6.32	Términos de entrada diluidos	133
6.33	Términos consolidados de salida.....	136
6.34	Términos de salida diluidos.....	138
6.35	Resumen del capítulo	140
7	Redes Neuronales	141
7.1	Introducción.....	141
7.2	Principios.....	142
7.3	Redes neuronales artificiales (ANN).....	145
7.4	Perceptrón.....	147
7.5	Algoritmo de programación inverso.....	150
7.6	Red Hopfield	152
7.7	Red ART.....	153
7.8	Aplicaciones de las Redes Neuronales	155
7.9	Preguntas	157
8	Sistemas Digitales	158
8.1	Introducción.....	158
8.2	Filtros digitales	159
8.3	FIR.....	161
8.4	IIR.....	162
8.5	Campos de aplicación.....	164
8.6	Control numérico.....	165
8.7	Perturbaciones y rendimiento de control.....	166
8.8	Estabilidad y análisis de respuesta transitoria	167
8.9	Sistemas estáticos	168
8.10	Descripción del sistema.....	169
8.11	Características del sistema.....	170
8.12	Modificación del sistema.....	172
8.13	Sistemas eléctricos	174
8.14	Sistemas mecánicos y térmicos	176
8.15	Carga de un condensador	177
8.16	Descarga de condensador	179
8.17	Relaciones entre sistemas térmicos y eléctricos.....	181
8.18	Relaciones entre sistemas eléctricos, térmicos e hidráulicos	182
8.19	Fuentes de alimentación (corriente y tensión) para distintos procesos físicos.....	183
8.20	Sistemas oscilantes	186

8.21	No linealidad	188
8.22	Identificación del sistema	191
8.23	Control.....	193
8.24	Realimentación.....	194
9	Controladores PID	195
9.1	Implementación	196
9.2	Variantes.....	198
9.3	Algoritmo incremental	199
9.4	Relación con el sistema FIR.....	200
9.5	Variantes PI, PII	201
9.6	Variante P.....	202
9.7	Variante PI.....	203
9.8	Implementación del controlador digital	207

1 Introducción y motivación

El hombre moderno está hoy rodeado de muchas máquinas y dispositivos que operan bien siguiendo sus instrucciones o bien totalmente automatizados. Las máquinas o máquinas de conducción pueden ser clasificadas en uno de estos tres grupos:

- control (también llamado- en lazo abierto- control directo sin realimentación),
- control de regulación (control en lazo cerrado),
- control avanzado.

1.1 Control

El control es una de las formas más sencillas de manejar dispositivos. Esto permite el inicio de uno o más dispositivos. Estos dispositivos sólo pueden ser activados o desactivados, o llevar a cabo una secuencia de operaciones. El diagrama de control de regulación se muestra en la Figura 1.1

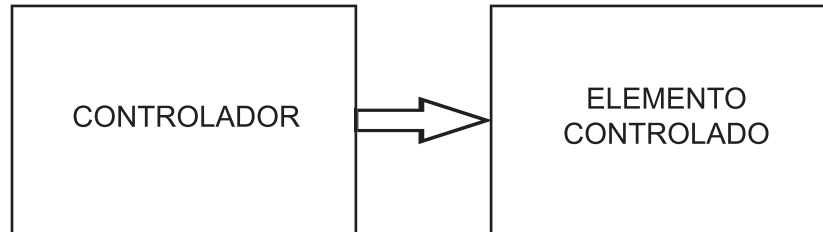


Fig. 1.1: Esquema básico para control



Un sistema controlado es una máquina controlada por un sistema de control. Para imaginarlo es posible mostrar el siguiente ejemplo. Un sistema de control de una sierra circular y el interruptor del actuador. Interruptor de encendido, un actuador, una sierra circular, sistema de control puesto en funcionamiento. Apagando el interruptor del circuito se queda fuera de servicio. Otro ejemplo podría ser un conjunto de cintas transportadoras que están conectados lógicamente. Al activar este equipo se consigue una disminución gradual de las transportadoras. El primero pone en funcionamiento la cinta transportadora, en la dirección de flujo de material. Cuando esté en funcionamiento normal (estado estacionario) la transportadora anterior está en marcha. De esta manera todas las transportadoras se encuentran en operación en sentido opuesto el flujo de material transportado. La desconexión puede ser gradual para que el primero que se apague sea el último que se puso en marcha. Otras transportadoras se van apagando a intervalos. La duración del intervalo de tiempo entre el impulso de apagado de cada uno debe garantizar el vaciado de material de las cintas transportadoras. De este modo se apagan todas las transportadoras, gradualmente en la dirección del flujo de material.

El control se puede clasificar en función de los grupos siguientes:

- Local
- Remoto
- Automático
- Software

El control local se utiliza en máquinas y equipos simples. En particular, es posible verlo en electrodomésticos y herramientas eléctricas.

El control remoto es muy común en procesos de fabricación, donde se controlan máquinas o equipos desde un operador en la sala de control central. Muy

a menudo hay una combinación de controles locales y remotos utilizando interruptores. Este método se aplica especialmente en la reparación parcial de la maquinaria. El control automático es aquél en el que las actuaciones se dan por elementos no humanos. Como ejemplo, el bombeo automático del agua desde el depósito. El nivel de agua medido por el sensor controla un impulso para iniciar o detener la bomba.

El control software se aplica a un conjunto de máquinas. Por ejemplo, cuando se ponen en marcha unidades de alta potencia es necesario proveer máquinas de lubricación y refrigeración que estén activadas durante el servicio y en algún otro momento. Si esto no ocurre, la máquina podría resultar dañada. Así que el comando para arrancar la máquina activa en primer lugar el funcionamiento de una bomba de aceite lubricante. Cuando se alcanza la presión de aceite adecuada, se pone en marcha la bomba que garantiza la circulación de líquido refrigerante. Después de activar estos dos equipos se pone en funcionamiento la unidad principal. Un ejemplo similar para electrodomésticos puede ser una lavadora. El control puede mostrar más detalles, como muestra la Figura 1.2: Sistema controlado para una bomba que impulsa el motor eléctrico (actuador). La conexión a la fuente de alimentación se activa mediante un interruptor de alimentación, que puede ser controlado localmente o de forma remota (control).

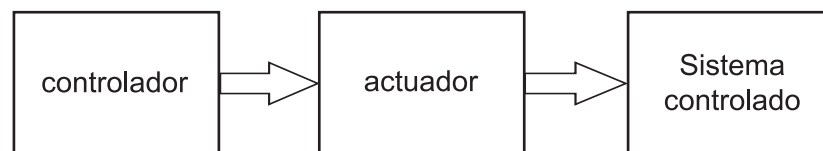


Fig. 1.2: Esquema de control detallado

1.2 Control de regulación

El nivel más alto de regulación es el control (control automático). Esto significa que el sistema se controla de modo que una o más variables físicas se mantienen según los parámetros prescritos. Un ejemplo de tal sistema puede ser un horno de gas (sistema de control), que lleva a cabo el precalentamiento de material por razones de un tratamiento de superficie (por ejemplo, templado). El material suministrado en el interior del horno debe ser calentado a una temperatura especificada y a una temperatura del horno determinada. Los circuitos de regulación (control y regulación) deben mantener esa temperatura durante un cierto período de tiempo (punto de ajuste). Esto significa que la temperatura debe ser medida (elemento de medición) y su valor es controlado por una válvula de control (actuador) de gas combustible. La representación esquemática del proceso se muestra en la Figura 1.3.

El sistema está controlado por uno o más de los parámetros medidos. Estos pueden ser cualquier magnitud física: temperatura, presión, velocidad, potencia, tensión, etc. Una unidad de medición procesa el valor medido a la señal apropiado y lo pasa al controlador. Dado que esta es una transferencia de información desde el sistema, esta rama se llama retroalimentación. Además suministra el punto de referencia del controlador (valor). Este es el valor del parámetro regulado. La diferencia entre el valor y las señales de referencia muestra el valor de la desviación del control de retroalimentación. La señal de desviación de control actúa en el bloque de control y su valor de la señal crea la entrada de control apropiada al actuador. Sus actividades afectan al sistema actuador y a sus parámetros.

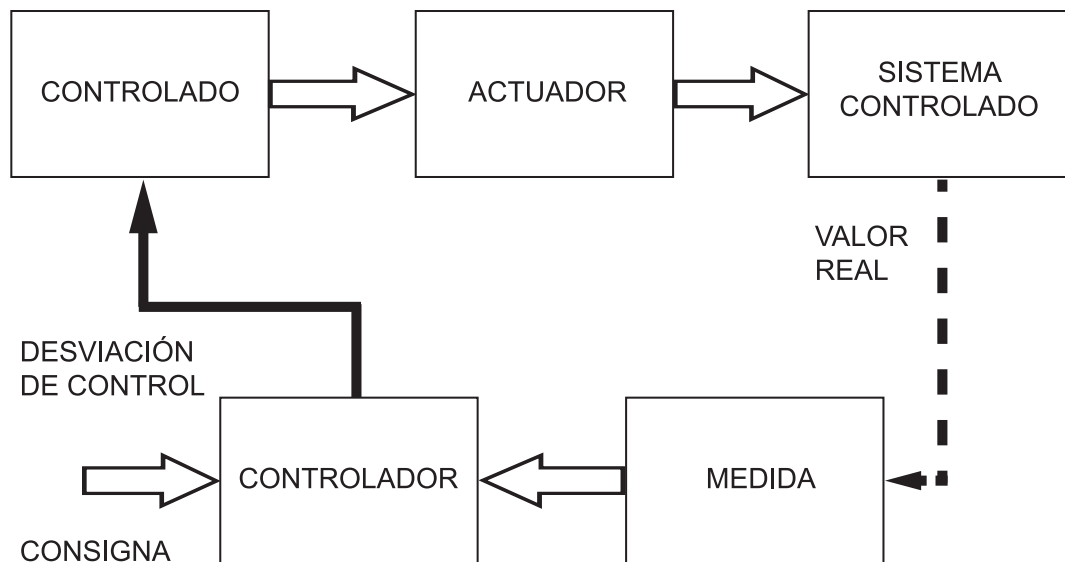


Fig. 1.3: Esquema de control de regulación

El ejemplo anterior se puede aplicar al esquema. El proceso tecnológico necesita cierta temperatura - valor del punto de consigna. En la zona de los hornos de gas se mide la temperatura, que es menor que la del punto de ajuste. El controlador evalúa la diferencia entre las temperaturas, deseada y la medida, y crea el valor de

desviación adecuado. El control entra en un bloque y en este caso se interpreta de modo que es necesario aumentar el suministro de gas al horno. El valor de desviación de control corresponde a la posición del actuador - la válvula de control de gas. La válvula de liberación de más gas en el horno y la combustión proporcionará una mayor cantidad de energía y por lo tanto un aumento de la temperatura. El proceso de control se repite hasta que el punto final alcanza el valor preestablecido.

1.3 Control avanzado

En sistemas complejos, el controlador forma parte del sistema de control. El sistema utiliza una forma superior de control. Estas formas superiores de control incluyen actividades que apoyan el efecto resultante del proceso de control.

1.4 Preguntas

1. Describe los métodos de control.
2. Indicar las diferencias entre control y regulación.

2 Terminología

La base teórica para el control es la lógica matemática que está representada principalmente por la lógica binaria. Es necesario explicar las funciones lógicas, ya que fijan los requisitos para el control de las máquinas y sus archivos y son indispensables para la resolución de la notación matemática que describe los requisitos tecnológicos. Los elementos individuales de la notación matemática son técnicamente factibles de implementar. La simplificación de la notación matemática optimiza el número de elementos físicos necesarios para implementar el circuito de control.

2.1 Sistema



El término sistema es necesario para entender cierto conjunto de elementos, sus relaciones y propiedades. El ejemplo esquemático se muestra en la Figura 2.1. Comprender la definición de una serie completa de “S”, que consiste en un conjunto de elementos y establece sus relaciones mutuas. El sistema “S” tiene un conjunto de entradas y un conjunto de salidas. El sistema “S” actúa a su vez sobre su entorno a través de un conjunto de salidas. Si el sistema “S” tiene un comportamiento prescrito, requiere de un conjunto de variables deseadas y de un conjunto de diferencias de regulación.

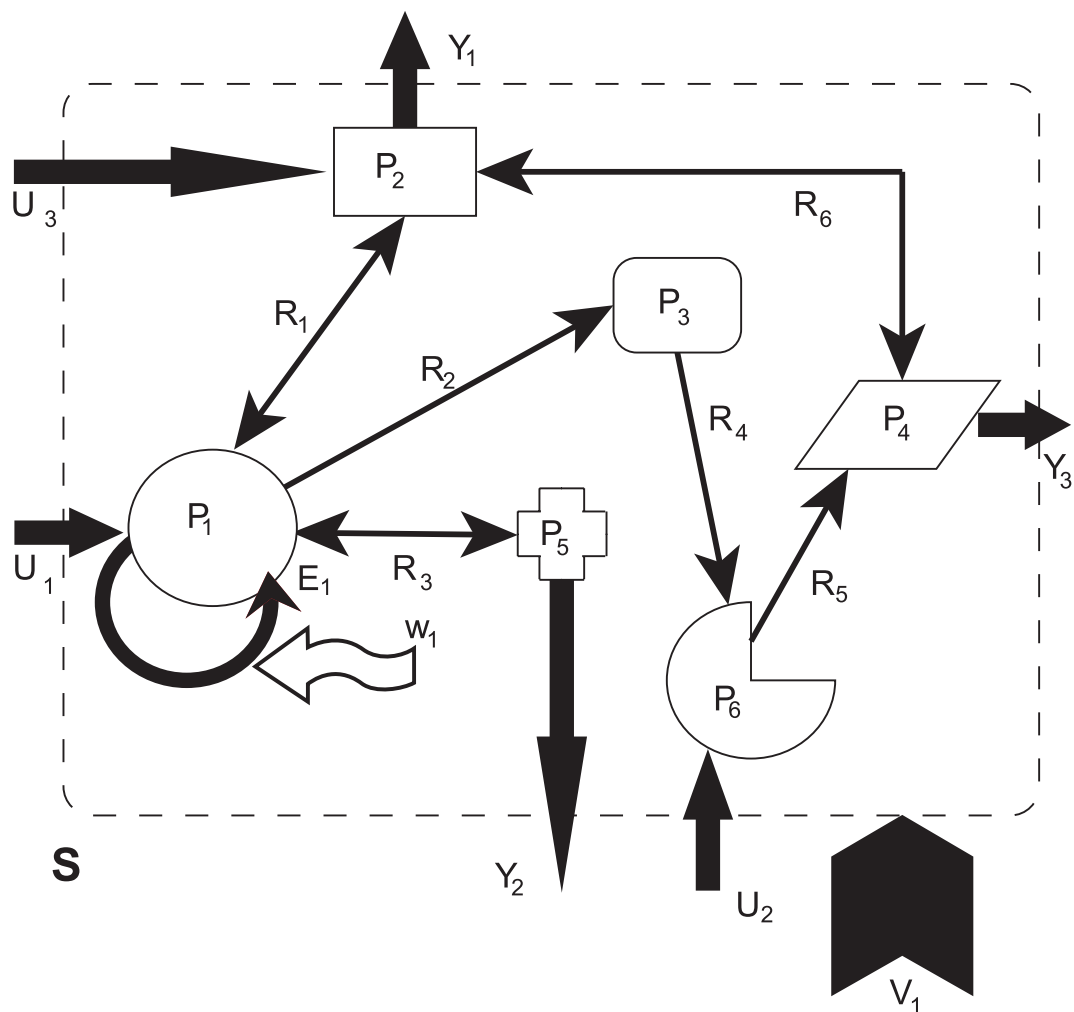


Fig. 2.1: Esquema de sistema



Los lectores de imagen dan una definición general de un ejemplo técnico en un avión. La máquina en sí se compone de cientos de partes, cada una con su propia función específica. En el avión tenemos a la tripulación y los pasajeros. La aeronave está en movimiento en el espacio y el tiempo, sujeto a influencias externas, como la temperatura, la dirección y fuerza del viento, etc. Otros factores que pueden calificarse como “fallos” pueden ser las turbulencias repentinas,

relámpagos y fallos de los equipos aeronáuticos. Algunos de estos “fallos” pueden tener una gran influencia en la operación principal de la aeronave - el vuelo, tales como un fallo de motor. Otros, como los fallos en los baños, afectan en gran medida el estado de ánimo entre los pasajeros, pero no comprometen la seguridad. Todos estos elementos, los estados, las relaciones, los valores y las perturbaciones externas afectan a la seguridad.

En el ejemplo anterior, está claro que el sistema no sólo puede ser una máquina. Esta diversidad de sistemas evidencia que no son fáciles de clasificar y describir.

Por lo tanto, pueden ser sistemas mecánicos, sistemas electrónicos, sistemas sociales, sistemas en zoológicos, botánicos y, por supuesto, su combinación. Como un ejemplo, un sistema técnico puede ser un coche. Un avión en vuelo descrito como un todo, puede ser visto como un sistema técnico-social etc.

Los sistemas pueden ser clasificados de acuerdo a las relaciones entre las variables de entrada y de salida: estática y dinámica, lineal y no lineal, unidimensional y multidimensional, etc.

El número de variables de entrada y salida permiten clasificar los sistemas como:

- SISO (single input, single output) una entrada y una salida.
- MISO (multi-input, single output), sistema con diversas entradas y una salida significativa
- SIMO (single input, multi-output), sistema de entrada única con varias salidas significativas.
- MIMO (multi-input, multi-output), sistema de múltiples entradas y salidas.

Atendiendo a la temporización, los sistemas se dividen en:

- Lineales con parámetros estables en el tiempo - LTI (Linear Time Invariant System); un ejemplo puede ser la relación tensión corriente en una resistencia,
- No lineales variantes - LTNI (Non-Linear Time Invariant System); un ejemplo puede ser la relación tensión corriente e una foto resistencia,
- No lineal con parámetros estables en el tiempo - NTI (Nonlinear Time Invariant System); un ejemplo puede ser la relación de descarga de un fluido desde un agujero en la parte inferior de un tanque abierto,
- No lineal inestable - NTNI (Nonlinear Time-Invariant Non System); un ejemplo puede ser la relación entre el número de nacimientos y matrimonios en una sociedad.



Un divisor de tensión representa un buen ejemplo de sistema estático. La tensión de salida se define por el valor de las resistencias y de la tensión de entrada.

Esta relación viene dada por la ecuación siguiente

$$u_2 = u_1 \times \frac{R_2}{(R_1 + R_2)}.$$

La tensión de salida no depende del tiempo, sólo del valor de la tensión de entrada y de las resistencias. En contra, la corriente en un fotoresistor no depende únicamente de la tensión de alimentación, sino también del nivel de luz incidente. Esto significa que varía a lo largo del día y es un sistema dinámico.

Los sistemas lineales son sistemas en los que sus miembros trabajan con relaciones lineales entre entradas y salidas, como en una prensa hidráulica que se mueve en función del pistón de control. Los sistemas no lineales incorporan al menos un miembro con una dependencia no lineal entre entrada y salida. Un ejemplo de relación no lineal es la resistencia del aire en un coche en movimiento.

Un sistema con una entrada y una salida puede ser por ejemplo un refrigerador. El valor de la entrada es una cantidad que representa la pérdida de calor en el espacio de refrigeración. La variable de salida es la temperatura real en el refrigerador. En contraste, un avión en vuelo tiene varias entradas: velocidad y dirección del viento, temperatura del aire exterior, peso de la carga, etc. Las salidas son: el ángulo de las aletas horizontales y verticales, del acelerador, etc.

La tabla 1 muestra el conjunto de símbolos que se usa.

Tabla 1: Símbolos habituales

$S = \{P;R;U;Y;V\}$	P – conjunto de elementos	R – conjunto de relaciones	U – conjunto de entradas
Y – conjunto de salidas	W – conjunto de puntos de establecimiento	E – conjunto de desviaciones de control	V – conjunto de errores

Las variables del sistema son: entrada (acción) variable “ $u(t)$ ” variable de salida “ $y(t)$ ” variables de estado “ $x(t)$ ”, error “ $e(t)$ ” variable de fallo “ $v(t)$ ” y el valor del punto de establecimiento “ $w(t)$ ”.

2.2 Continuidad y discontinuidad de cantidades físicas

Los fenómenos físicos en la naturaleza se desarrollan en su gran mayoría de manera continua. Los valores de las magnitudes físicas describen el estado de la acción. Lo mismo se aplica para el sistema controlado (máquina o grupo de máquinas). La información sobre los valores de las variables controladas, así como los comandos de control se llama señales.

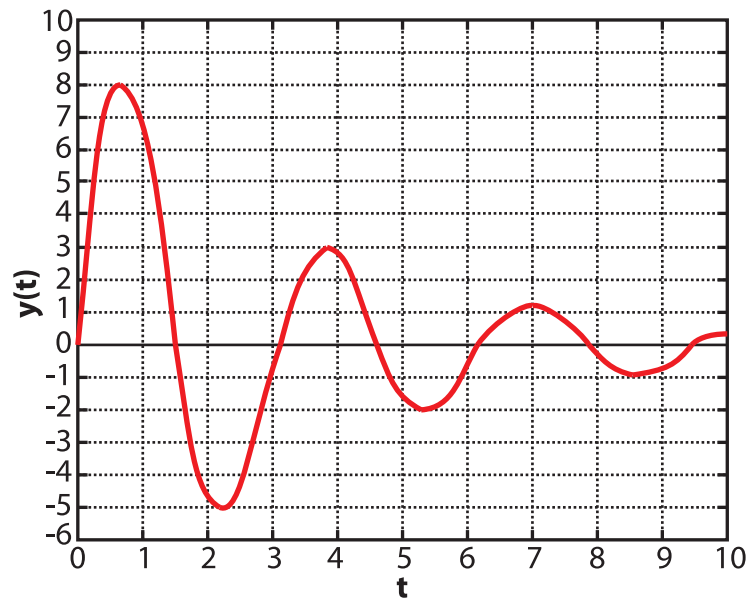
2.3 Señales

La información es importante en la teoría de control. Los portadores de la información de las fuentes de señal son los transmisores mientras que los receptores se encargan de la recepción de la información. Las señales se dividen de acuerdo a su relación con la variable dependiente.

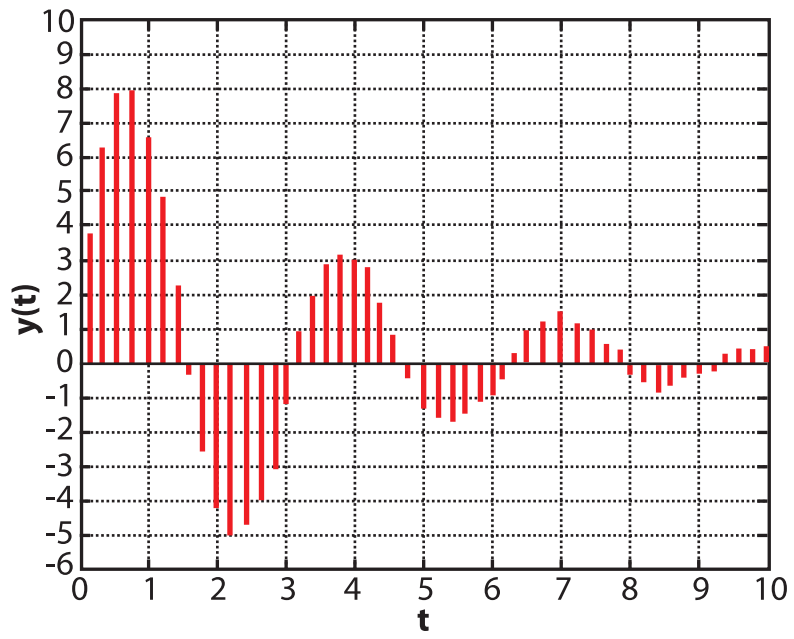
La variable independiente es el tiempo y la variable dependiente es la amplitud.

- Señales continuas en el tiempo (se conoce su valor de amplitudes en cada punto):
 - Señales analógicas, ejemplo en la Figura 2.3
 - Señales cuantificadas, ejemplo en la Figura 2.3
- Señales discontinuas en el tiempo (el valor de la amplitud es desconocido entre muestras):
 - Señales muestreadas (discretas), ejemplo en la Figura 2.3
 - Señales de amplitud discreta en el tiempo, ejemplo en la Figura 2.3

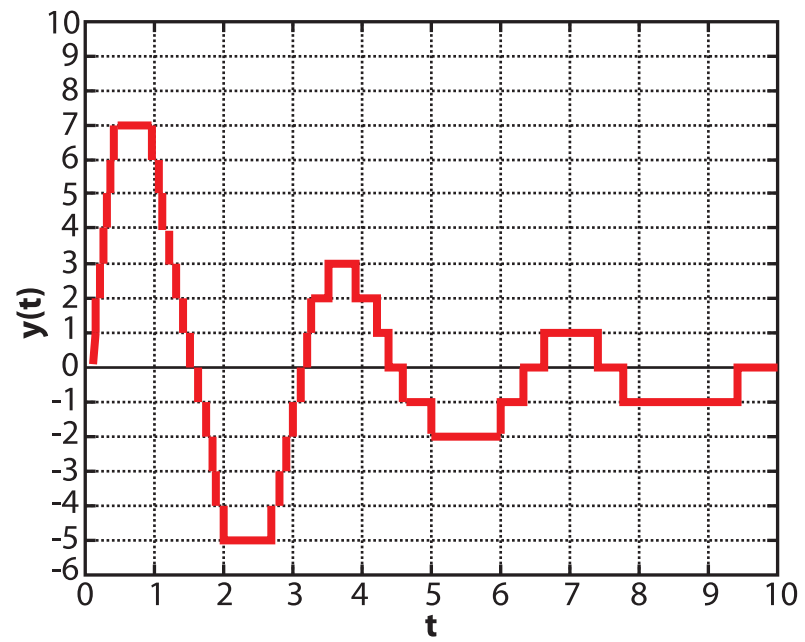
a)



b)



c)



d)

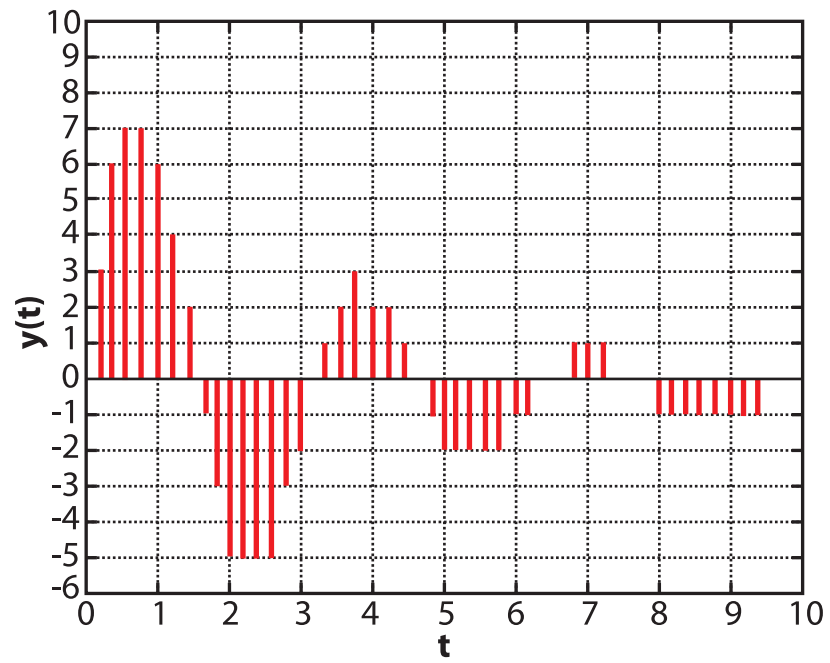


Fig. 2.2: Señal analógica, cuantificada, muestreada, de amplitud discreta

2.4 Terminología utilizada

En el área de control de máquinas se utilizan abreviaciones que caracterizan el control de la máquina. Las abreviaturas utilizadas se toman de la terminología inglesa e incluyen:

- CNC
- PLC
- PAC
- HMI
- DCS

Control Numérico - CNC (Computer Numerical Control)

El desarrollo de la producción industrial ha traído consigo la necesidad de aumentar la producción de máquinas-herramienta y máquinas de conformado. El control de la máquina, que clásicamente era manual, ha sido reemplazado por el control digital. Las primeras máquinas de control numérico aparecieron en los años 40 y 50 del siglo 20. Las instrucciones de servo control para estas máquinas estaban en cintas perforadas (máquinas NC). Con el desarrollo de la tecnología informática, las máquinas fueron equipadas con estas tecnologías (máquinas CNC).

Los sistemas CNC modernos están altamente automatizados utilizando programas de CAD (Computer-Aided Design) y CAM (Computer-Aided Manufacturing). Estos programas crean un archivo de computadora que muestra la secuencia de comandos necesarios para operar una máquina en particular, que puede ser equipada con diferentes máquinas herramientas - centros de mecanizado.

PLC (Programmable Logical Controller)

Un controlador lógico programable (PLC) o un controlador programable es un ordenador digital que se utiliza para controlar el funcionamiento de los procesos y maquinaria de producción. Los PLC se utilizan en muchos sectores industriales. A diferencia de los ordenadores de propósito general, el PLC está diseñado para el procesamiento de la información a partir de múltiples entradas, es más resistente a los cambios de temperatura, a las interferencias eléctricas y las vibraciones y los choques. Los programas para el control del dispositivo normalmente están almacenados en memorias alimentadas por baterías, o no volátiles. El PLC opera en el sistema en tiempo real, ya que los comandos de salida deben responder a las condiciones de entrada.

PAC (Programmable Automation Controller)

Los PLC se complementan gradualmente con nuevas características que ya no son funciones simples de tipo lógico. Se complementan no sólo funciones de regulación, sino toda una serie de tareas en las que se incluyen algoritmos numéricos y algoritmos de inteligencia artificial. Para su designación es a veces se usa la abreviación PAC (Programmable Automation Controller), que se puede traducir como “sistema de automatización programable.”

HMI (Human Machine Interface)

El significado de este acrónimo describe la interfaz de usuario. Este es un lugar donde hay una interacción entre personas y máquinas. El objetivo de la interacción entre el hombre y la máquina en la interfaz de usuario es el funcionamiento efectivo y el control de la máquina, y la retroalimentación de la máquina. Esta es la información sobre el estado de la máquina o de sus componentes y los valores de las cantidades medidas en un proceso tecnológico en curso. Esta información ayuda al operador en la toma de decisiones operativas en el control de máquinas y procesos.

La interfaz de usuario es un sistema que incluye hardware (físico) y componentes de software (lógico). Hay diferentes sistemas de interfaces de usuario desde una mecánica sencilla a los sistemas informáticos. En la actualidad, los programas de control de procesos industriales usan programas de visualización SCADA (control de supervisión y adquisición de datos), permitiendo que los datos se muestren con animaciones.

DCS

Se trata de grandes sistemas (Distributed Control System) de control de proceso (PCS Sistemas de control de procesos - a veces las dos abreviaturas se utilizan como sinónimos), que comenzaron a ser utilizados en los años 60 con la llegada de los primeros ordenadores de control, lo que representa la solución numérica del control centralizado de grandes sistemas tecnológicos, como los procesos químicos, plantas de energía, etc. y fueron construidos como una solución centralizada adecuada. En los años 70 aparecieron los primeros miniordenadores de control, que, permitieron una descentralización parcial. Estas soluciones se utilizaron en los años 70 y principios de los 80. Estos sistemas se dividen generalmente en DCS: para potencia, para el programa nuclear, para otros procesos tecnológicos, sistemas de control de edificios.

Algunos sistemas DCS están especializados, otros, sin embargo, pueden ser aplicables en más áreas. Una excepción son los sistemas de control usados en aplicaciones con restricciones extremadamente altas en materia de seguridad y fiabilidad. Los sistemas altamente seguros y fiables son muy caros y por lo tanto no se han desplegado en los casos en que no es absolutamente necesario.

Un sistema DCS se caracteriza por una construcción jerárquica estricta con tres niveles de control de abajo hacia arriba:

- Nivel de sensor - sensores, actuadores,
- El nivel del primer control (tecnología de control y regulación),
- Nivel de operador,
- Nivel Superior.

En cualquier caso un sistema de control DCS suele usarse sólo cuando se requiere un alto grado de fiabilidad y seguridad, y es necesario tratar a un gran número de entradas y salidas de varios tipos. Su ventaja es también que resultan sistemas muy compactos.

2.5 Preguntas

1. Explicar que es un sistema y dar un ejemplo.
2. Explicar que es una señal y como se clasifican.
3. Dar el significado de los siguientes acrónimos: CNC, PLC, PAC, HMI, DCS.

3 Implementación de sistemas lógicos digitales

Los sistemas binarios se pueden implementar con distintas tecnologías y se aplican a las funciones lógicas. Por ejemplo en los regímenes de control, usando transistores.

- Lógica
- FPGA
- programa uC
- DSP
- PC
- Esquemas de Control

Los sistemas de control eléctricos se representan mediante esquemas en los que se muestra el circuito de control y de alimentación. Los elementos del circuito principal están controlados por interruptores, contactos de potencia de los contactores o relés. El circuito de control se compone de controles tales como botones, interruptores, temporizadores y finales de carrera, bobinas, relés o contactores.

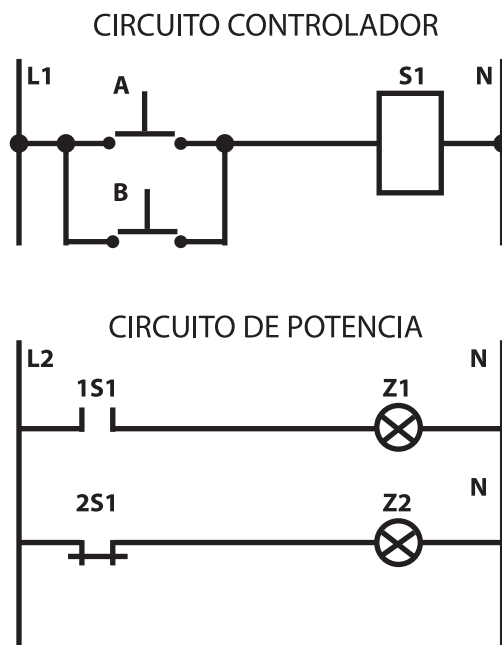


Fig. 3.1: Ejemplo de esquema de control

La figura muestra un diagrama de los circuitos de control y de alimentación con funciones simples. Aplicando una tensión de control A a la bobina del contactor se cierra S1. Su contacto normalmente abierto está conectado a la tensión de

alimentación 1S1 (lámpara) Z1, mientras que NC 2S1 de la carga Z2 la desconecta de la fuente de alimentación. La función del circuito es tal que al presionar el botón la secuencia de encendido va de Z1 a Z2. Si se suelta el botón, el resultado será el opuesto.

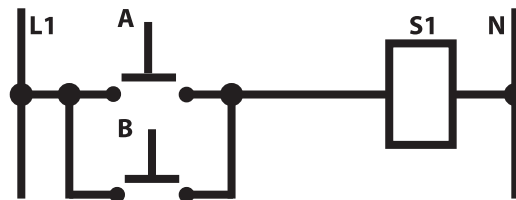
La variable independiente realiza dos funciones lógicas, equivalencia y negación.

3.1 Implementación de funciones lógicas básicas con distintas tecnologías

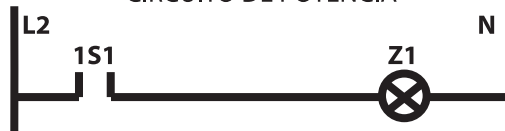
Función lógica conjunción – AND

En los siguientes ejemplos, es posible estudiar la aplicación técnica de la conjunción de dos variables de entrada. La variable de salida toma el valor verdadero sólo si, al mismo tiempo, las variables de entrada son verdaderas. El circuito de control es la solución a botones conectados en serie. La aplicación con transistores se resuelve utilizando conexión en serie de transistores. Se necesita de una mecánica para operar el enlace mecánico (a, b), con el fin de superar la fuerza del resorte.

CIRCUITO CONTROLADOR



CIRCUITO DE POTENCIA



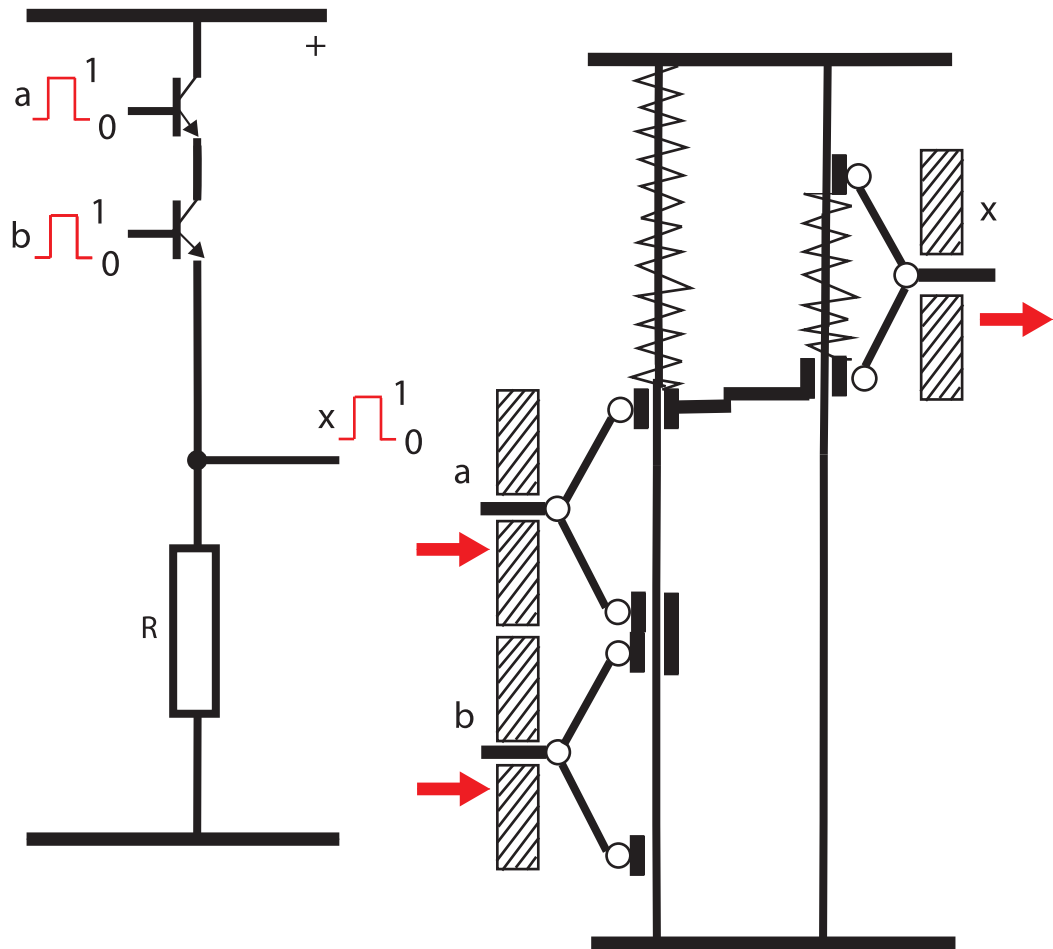


Fig. 3.2: Función lógica – AND

Disyunción lógica – OR

En los siguientes ejemplos, es posible estudiar la aplicación técnica de la disyunción de dos variables independientes. La variable de salida toma el valor verdadero si al menos una variable de entrada es verdadera. El circuito de control está conectado en paralelo. Su implementación utilizando transistores también se trata con una conexión en paralelo de los transistores. Se necesita un trabajo mecánico para formar al menos una de las conexiones mecánicas (a, b).

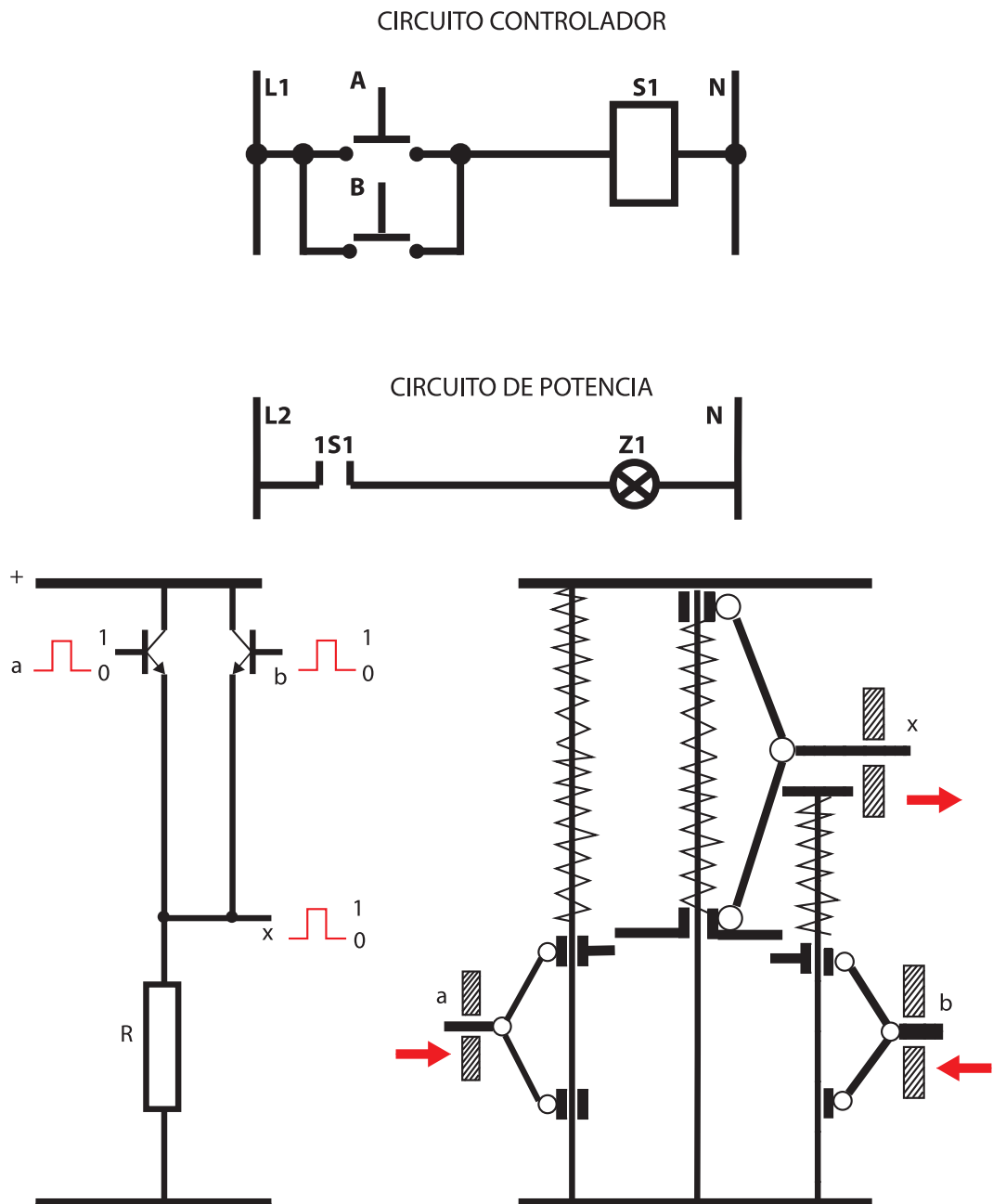


Fig. 3.3: Función lógica disyunción – OR

Negación lógica – NOT

En los siguientes ejemplos, es posible estudiar la aplicación técnica de la negación de una variable de entrada. La variable de salida toma el valor verdadero si la variable de entrada es falsa. El circuito de control de esta la solución implica la apertura de un botón de contacto. La aplicación se resuelve utilizando un transistor en cortocircuito. La acción mecánica de la forma de conexión mecánica (a) lleva cabo la reacción opuesta de x.

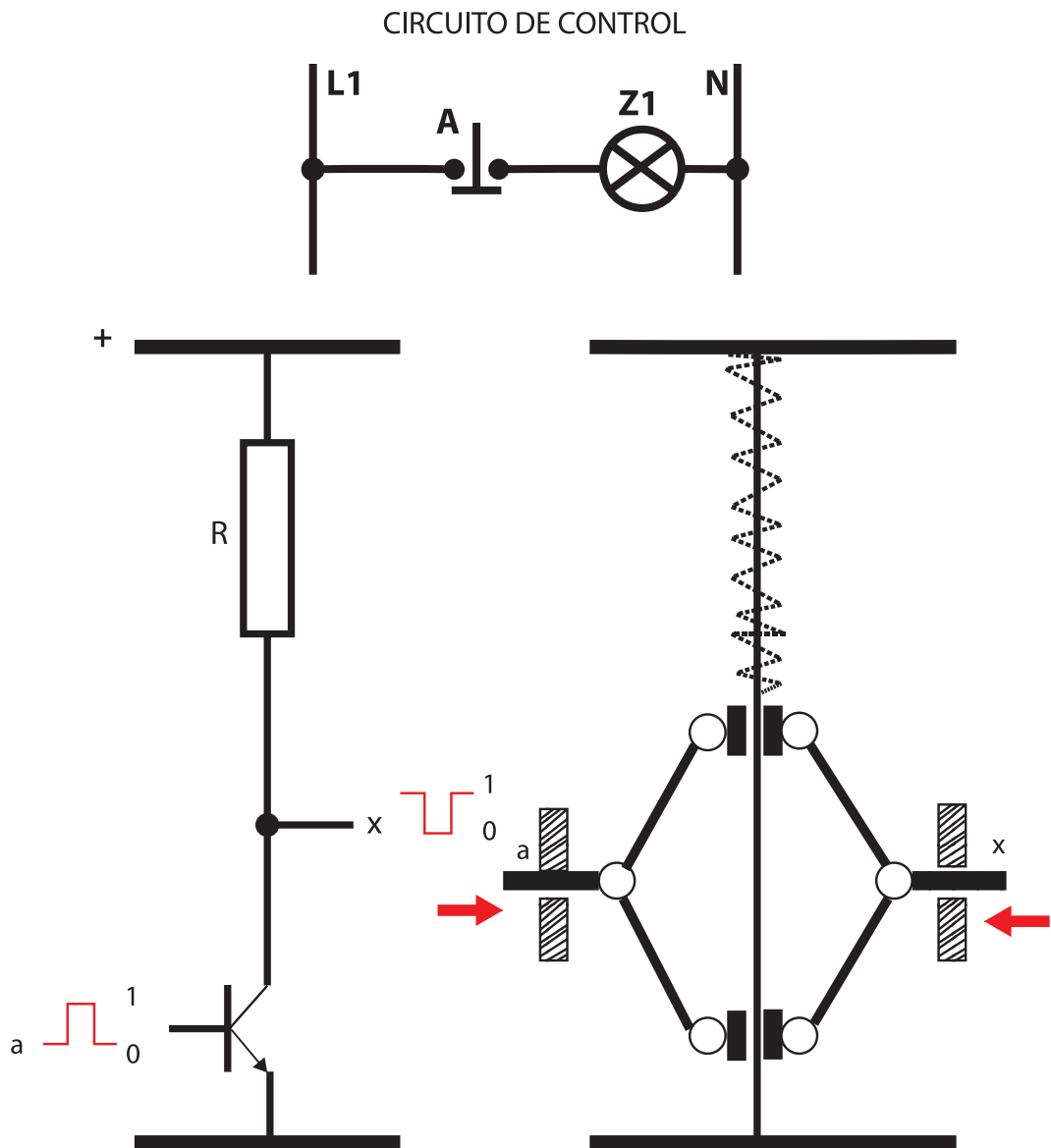


Fig. 3.4: Función de negación lógica – NOT

3.2 Símbolos esquemáticos para circuitos lógicos

Dado que las operaciones lógicas pueden ser implementadas utilizando diferentes tecnologías, se generan diagramas lógicos. En los diagramas de circuitos lógicos se utilizan símbolos esquemáticos. La Figura 3.5 muestra el símbolo circuital para representar la suma lógica, que tiene dos entradas (izquierda) y una salida. La Figura 3.6 es el símbolo esquemático para el producto lógico, que tiene dos entradas y una salida. La Figura 3.7 indica negación. Los diagramas no se dibujan por separado, siempre en la entrada o en la etiqueta de salida para el producto o la suma.

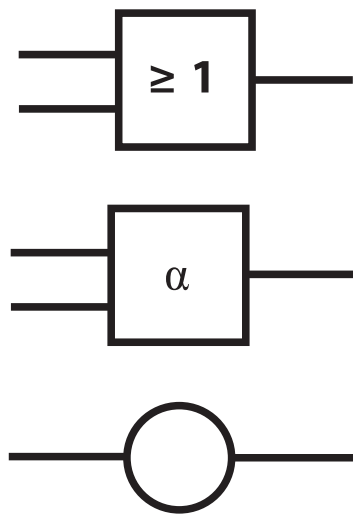


Fig. 3.5, 3.6, 3.7: Suma, producto, negación

Nota: In algunos esquemas antiguos pueden encontrarse símbolos de otro tipo, ni cuadrados ni rectangulares. La representación de la negación es la misma.



Ejemplo 3.1

Dibujar el diagrama lógico del circuito representado por la ecuación siguiente:

$$Y = \overline{A \times C + \overline{A} \times \overline{D}} + B$$

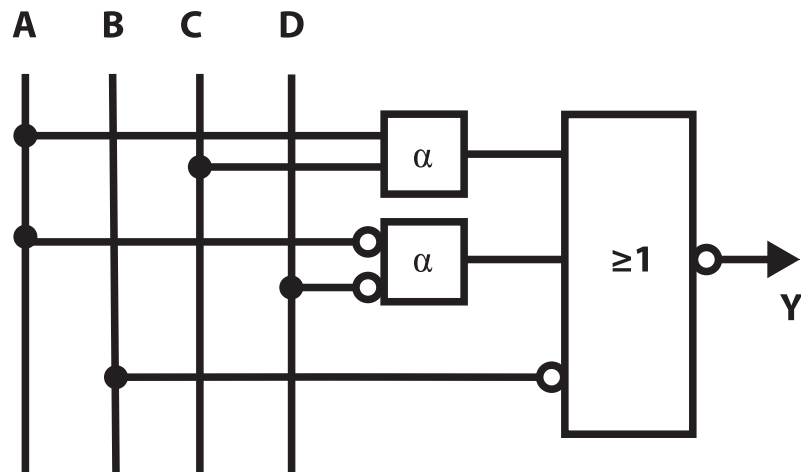


Fig. 3.8: Ejemplo 3.1



Ejemplo 3.2

Dibujar el diagrama lógico del circuito representado por la ecuación siguiente:

$$Y = A \times B \times C + \overline{B} \times C + D$$

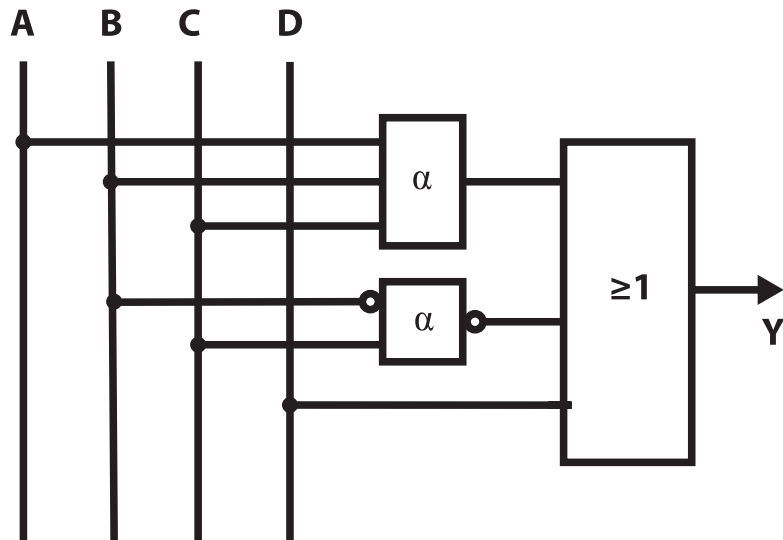


Fig. 3.9: Ejemplo 3.2

3.3 Edición de expresiones lógicas



La reducción del número de bloques lógicos usados en una función se consigue modificando y simplificando las funciones lógicas. La simplificación sigue las reglas básicas del álgebra de Boole como se ha comentado anteriormente. Encontrar la fuente de referencia. Para clarificarlo se muestra el ejemplo siguiente.

A partir de los ejemplos anteriores es evidente que cada operación lógica está representada por un solo bloque en el esquema lógico que representa la tecnología pertinente. Cuantos más bloques lógicos más componentes y mayor será la probabilidad de fallo del sistema de control. La reducción del número de bloques lógicos utilizados se logra modificando y simplificando las funciones lógicas. La simplificación se realiza sobre la base de las normas del álgebra de Boole, como se indica en el párrafo (Encontrar fuente de referencia). Para mayor claridad, el ejemplo siguiente.



La función $f(A, B, C)$, viene dada por la siguiente relación de tres variables lógicas:

$$f_{(A,B,C)} = (A \times \bar{B} \times C + A \times B \times C) \times (A \times C + A \times \bar{C}) \times (\bar{C} + C\bar{A}) + \bar{A}$$

Para su implementación necesitamos 14 bloques lógicos y el diagrama lógico que se muestra en la figura.

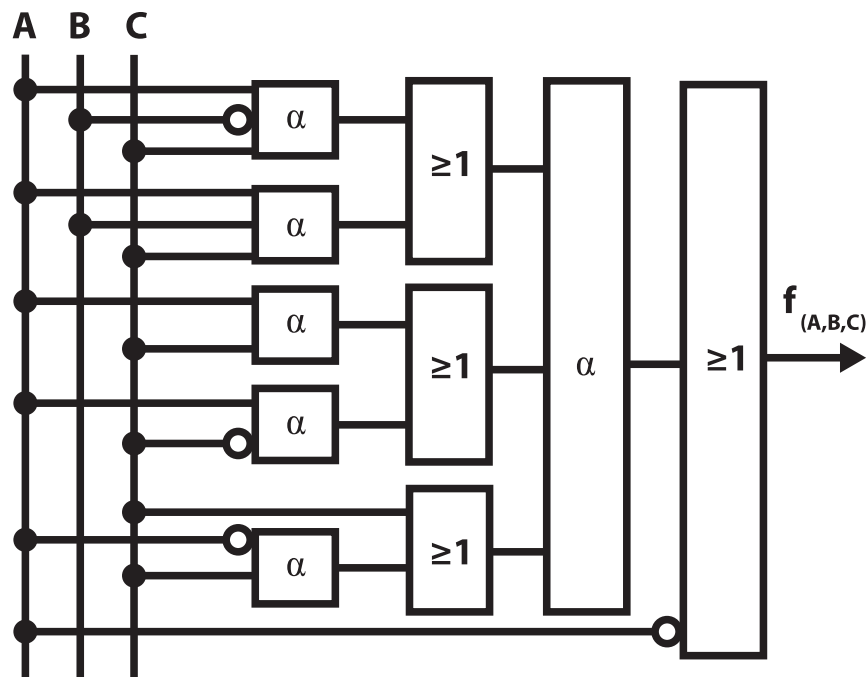


Fig. 3.10: Ejemplo 3.3

Tras realizar los cambios matemáticos la función lógica queda como:

$$\begin{aligned} f_{(A,B,C)} &= A \times C \times (\bar{B} + B) \times A \times (C + \bar{C}) \times (\bar{C} + \bar{A}) + \bar{A} \\ &= A \times C \times (\bar{C} + \bar{A}) + \bar{A} \\ &= \bar{A} \end{aligned}$$

Por tanto el resultado no depende de las variables lógicas B y C. El resultado es A negada.

Su implementación en un diagrama lógico es el de la figura siguiente:

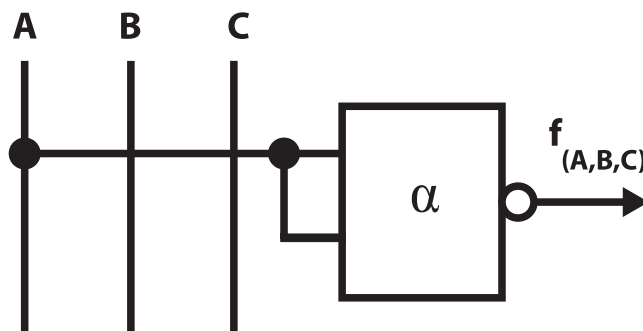


Fig. 3.11: Negación

Comparando los dos esquemas está claro que se ha obtenido una reducción muy significativa de bloques lógicos y por tanto una reducción de la probabilidad de fallo del sistema de control.

3.4 Programas matemáticos

Existe un buen número de programas especializados para la solución de circuitos lógicos. Estos incluyen Visual Basic, Fortran, C++ y hojas de cálculo como MS Excel y Open Office Calc. También hay un gran número de programas de dibujo de esquemas eléctricos y de automatización, que pueden también diseñar circuitos y simular su comportamiento. Para estudiar estos sistemas un entorno de programación muy adecuado es MATLAB.

3.5 MATLAB

Es un entorno integrado para cálculos científicos, que contiene una gráfica potente y herramientas computacionales. Está pensado principalmente para la computación técnica, visualización de datos y el análisis, desarrollo y prueba de algoritmos, la adquisición y procesamiento de datos, de señales y procesamiento de imágenes, programación y creación de aplicaciones personalizadas. La ventaja de este entorno es que contiene una serie de herramientas que permiten a los investigadores centrarse en la solución del problema y no la sintaxis. Con este propósito MATLAB incorpora herramientas como:

- Herramientas de computación y entorno de desarrollo,
- Librerías de funciones matemáticas,
- Lenguaje MATLAB,
- Gráficos MATLAB,
- Interfaz.

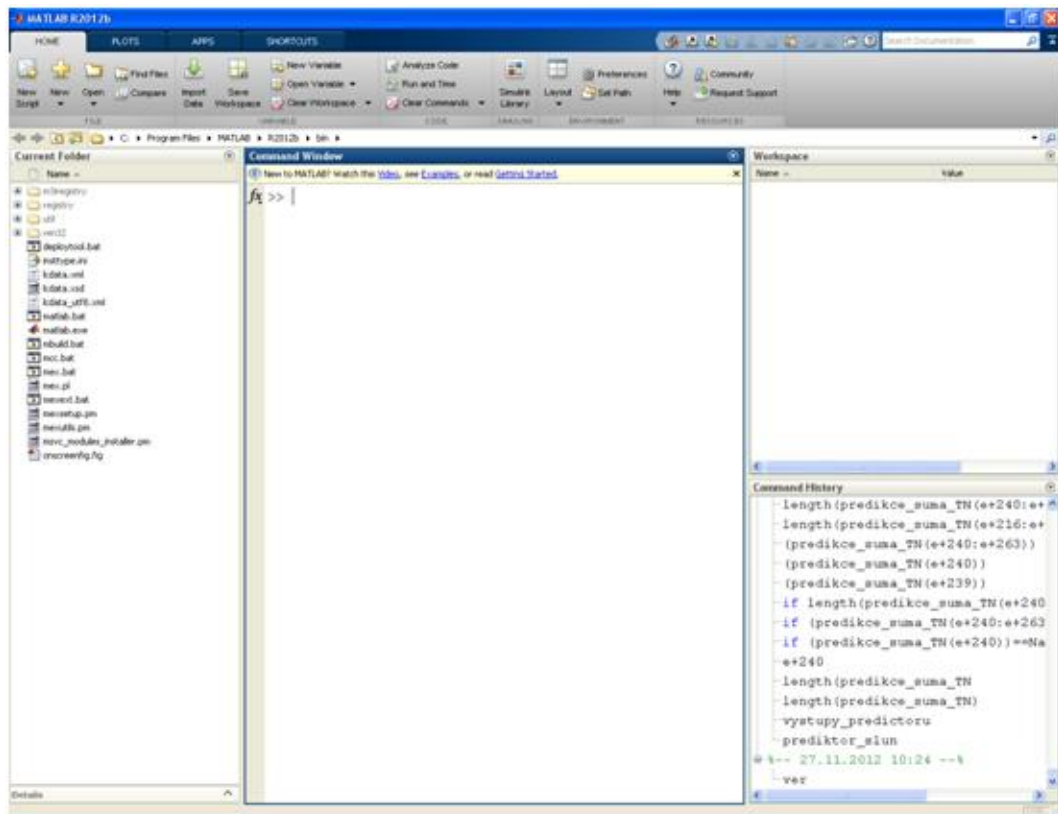


Fig. 3.12: Pantalla principal de MATLAB

La localización en el directorio y la versión actual

Por defecto, tras su instalación el programa se localiza en el directorio :
“c:\Program Files\MATLAB\R2012b*. *” Para cada versión. La versión actual es la No. 8 Folder “R2012b”, ese es su nombre comercial. Cada año aparecen dos distribuciones de actualizaciones, en primavera, marcada con la letra “a”, y otoño, marcada con la letra “b”. La instalación de una actualización no borra la anterior, pero crea un nuevo directorio:

```
c:\Program Files\MATLAB\R2012a\*. *  
c:\Program Files\MATLAB\R2012b\*. *
```

La versión instalada puede verse mediante el uso de la siguiente línea de comando:

```
>> ver  
-----  
MATLAB Version: 8.0.0.783 (R2012b)  
MATLAB License Number: 270637  
Operating System: Microsoft Windows XP Version 5.1 (Build 2600: Service  
Pack 3)  
Java Version: Java 1.6.0_17-b04 with Sun Microsystems Inc. Java HotSpot(TM)  
Client VM mixed mode  
-----  
MATLAB                Version 8.0      (R2012b)  
Simulink              Version 8.0      (R2012b)  
Control System Toolbox  Version 9.4      (R2012b)  
MATLAB Compiler       Version 4.18     (R2012b)  
Stateflow             Version 8.0      (R2012b)  
Symbolic Math Toolbox  Version 5.9      (R2012b)  
System Identification Toolbox  Version 8.1      (R2012b)  
Symbolic Math Toolbox  Version 5.1      (R2008b)  
System Identification Toolbox  Version 7.2.1    (R2008b)  
>>
```

Fig. 3.13: Detección de la versión actual

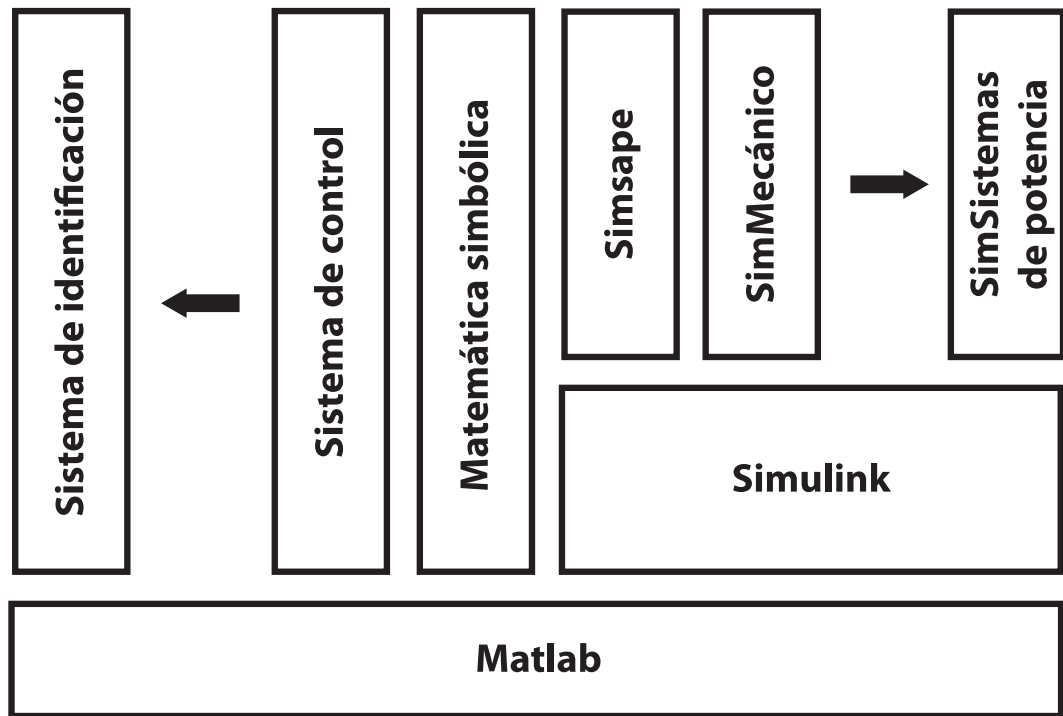


Fig. 3.14: Estructura para entorno MATLAB

MATLAB es modular y permite la expansión en varias áreas de la computación. La base se amplió con bibliotecas de herramientas de MATLAB etiquetados como “cajas de herramientas” o “toolboxes”. La caja de herramientas más antigua y más común es “Simulink”, que permite la simulación de sistemas dinámicos. Simulink utiliza “sistemas del bloques” y bibliotecas de bloques utilizables. Un diagrama de expansión MATLAB se muestra en la Figura 3.14. La documentación sobre MATLAB es muy extensa y a veces se encuentra únicamente en formato electrónico. Esta documentación contiene una descripción básica de las funciones y de la sintaxis, ejemplos, notas o nuevos diseños, así como documentación imprimible en formato pdf. Esta documentación está organizada por categorías y también alfabéticamente.



Ejemplo de solución

Por ejemplo, las soluciones, y los resultados fueron seleccionados para la tensión y la corriente en un circuito serie RLC. El cálculo realizó diferenciación e integración numérica, y los resultados se muestran en las tablas a continuación, Tabla 3.15.

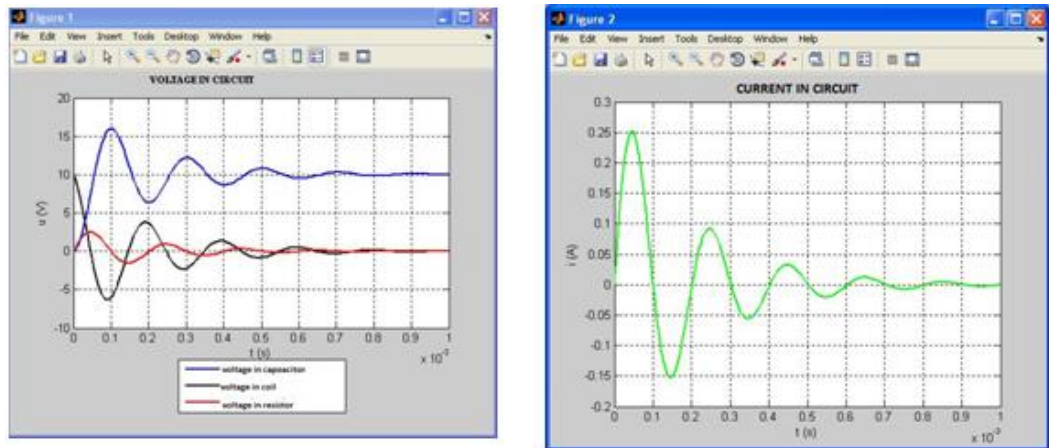


Fig. 3.15: Ejemplo de resultado de solución numérica

SIMULINK

El propósito es extender SIMULINK a la súper estructura básica MATLAB para permitir cálculos del comportamiento dinámico de los entornos de sistemas utilizando diagramas de bloques. Para un sistema descrito por ecuaciones diferenciales o diferencias, se crea un modelo matemático utilizando bloques predefinidos. Estos bloques están dispuestos en las bibliotecas. Estas bibliotecas se dividen en los denominados Blockset:

- Simscape (librería básica),
- SimDriveline,
- SimHydraulics - Blockset solución para sistemas y mecanismos hidráulicos,
- SimMechanics,
- SimPowerSystems - Blockset soluciones para sistemas eléctricos de alta tensión.



Fig. 3.16: Librerías Simulink

El Blockset “Commonly Used Blocks” ofrece los blocks usados con mayor frecuencia.

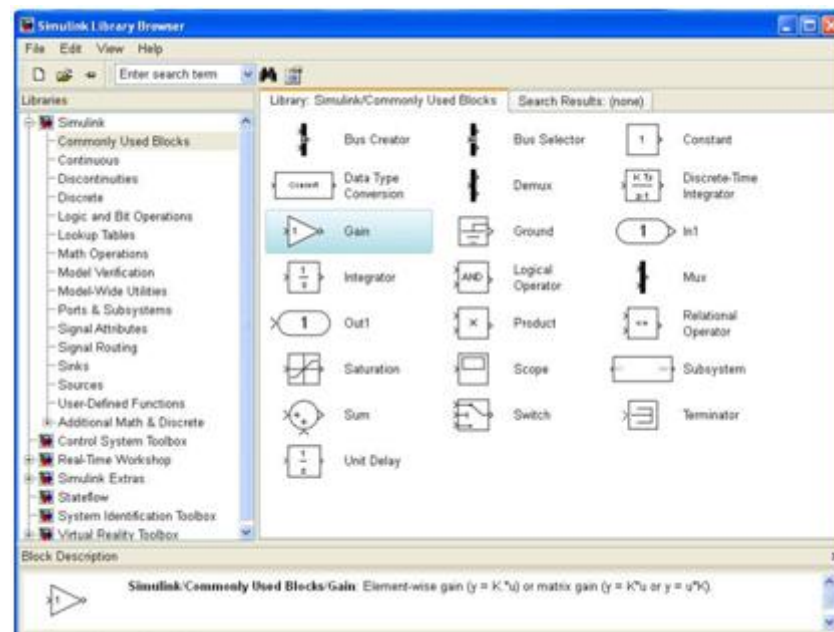


Fig. 3.17: Ejemplo de Blockset

Para un ejemplo comparable fue elegido el comportamiento dinámico del circuito RLC, como en el caso anterior. Dada la ecuación integro-diferencial se modeló utilizando bloques predefinidos de la ventana en el lado derecho de la imagen y el curso de la respuesta escalón unitario se muestra en la ventana de osciloscopio de la izquierda de la imagen 3.18.

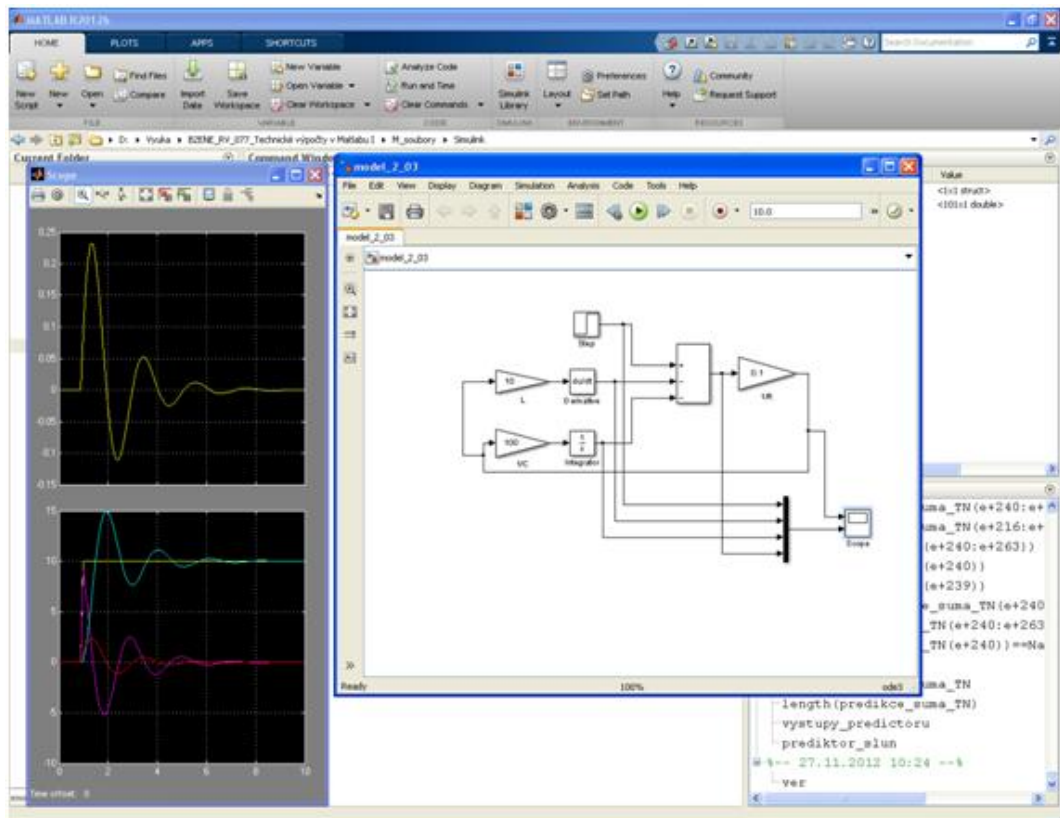


Fig.3.18: Ejemplo de solución para el comportamiento de un sistema en función del tiempo

3.6 Preguntas

1. Dibujar los símbolos esquemáticos de las operaciones lógicas.
2. Describe los modos posibles de realizar la circuitería lógica de control.
3. Dibujar la implementación lógica del esquema de control de la suma.
4. Dibujar la realización del esquema de control del producto lógico.
5. Dibujar el esquema de control de la negación.
6. Dibujar la realización de la suma usando transistores.
7. Dibujar la realización del producto lógico usando transistores.
8. Dibujar la realización de la negación mediante transistores.
9. Dibujar la realización de la suma con enlaces mecánicos.
10. Dibujar la realización del producto lógico con enlaces mecánicos.
11. Dibujar la realización de la negación mediante enlaces mecánicos.

4 Funciones lógicas combinacionales y algebra de Boole, mapas de Karnaugh, minimización, ejecución lógica y funciones lógicas combinacionales

4.1 Funciones lógicas

Como ya se ha mencionado, la base teórica para el control y regulación de máquinas enteras o sistemas tecnológicos es la lógica matemática, y por lo tanto, esta sección se centra en la repetición de ciertas áreas de la lógica matemática y álgebra proposicional y Booleana. La aplicación de las leyes y reglas, el lector está familiarizado con la simplificación de expresiones lógicas. Para encontrar la expresión verbal matemática se usan los mapas de Karnaugh. En el capítulo 3 también se introduce la aplicación de la formulación matemática de medios técnicos.

4.2 Algebra proposicional

Verdict

El término verdict permite pensar en una intervención de varias personas, varios tiempos, definiciones, declaraciones, etc.- En la lógica matemática, el término se restringe a esta definición: “La respuesta a cada petición, se puede asignar sin ambigüedad a un valor lógico en todo momento.” Esto se especifica el veredicto esperado. Una declaración puede ser una proposición cuya verdad se decidirá en el futuro.

Una declaración puede tener dos valores: verdadero y falso. Para las declaraciones verdaderas se pueden utilizar símbolos: sí, es cierto, 1, +, alto, H. Las declaraciones falsas se designan como: no, falso, 0, -, bajo, L.



Para comprenderlo mejor, unos ejemplos.

- “La caída de tensión en una Resistencia es proporcional a la corriente eléctrica que la atraviesa.” Esta es una declaración verdadera, su valor es cierto o sí.
- “Una inductancia es igual al producto corriente tensión” Esta declaración es falsa, su valor es falso.
- “En la constelación de Orión hay seres vivos. Esta es una declaración de la que no se conoce su valor, tal vez se conozca en el futuro. El resultado va a ser responder sí o no.
- “¿Qué hay ahí fuera?” Esto no es una declaración. Preguntas generales con prefijos no son declaraciones.
- “Vete a lavar las manos!” Esto no es una declaración, es una orden o sentencia imperativa.

Cálculo proposicional

Debe conocerse que parte de la lógica matemática que examina las relaciones entre los estados sólo con respecto a su valor: verdadero o falso. El cálculo proposicional no se ocupa de la estructura interna de las proposiciones atómicas y de sus leyes.

Los caracteres o expresiones verbales con los que formar nuevos estados se llaman operadores lógicos <predicament able> [conectores lógicos]. Una afirmación proposicional, número atómico se llama una declaración sin operadores lógicos.

Los operadores lógicos más importantes son :

- Negación – una barra sobre el símbolo \bar{A} y la frase es : “no, no es cierto ...”.

- Conjunción – su signo es $A \wedge B$ un producto lógico, su frase sería: “and, al mismo tiempo, y”.
- Disyunción – su signo es $A \vee B$. La frase de la suma lógica es : “, or, o.”
- Implicación – su signo es $A \rightarrow B$. A su implicación lógica es: “desde... que ..., si..., entonces ...!”
- Equivalencia – su signo es $A \leftrightarrow B$. La frase lógica correspondiente a la equivalencia es : “Así como, si y sólo si ...”

Las combinaciones de proposiciones atómicas forman las operaciones proposicionales desde la más simple a la más compleja. Su importancia es que pueden ser fácilmente interpretadas técnicamente.

Función lógica

En el álgebra clásica se conoce la definición de una función: función de visualización cuando una o más variables independientes corresponden a una o más variables dependientes. Por lo tanto, en la lógica matemática para definir la función lógica, la función lógica es una relación entre la lógica de las variables dependiente e independiente. Las variables lógicas son variables binarias que toman los valores 0 o 1

Las funciones de variables lógicas pueden ser función de una o más variables.

$$y = f(x_1; x_2; x_3; \dots; x_n)$$

Cada función lógica puede expresarse de tres formas con resultado equivalente:

- Combinando operadores lógicos negación, disyunción, conjunción
- Usando la operación lógica NOR. Es la negación de la disyunción de dos estamentos.
- Sheffers que usan múltiples funciones. La función Sheffer es la operación lógica NAND. Es la negación de la conjunción de dos estados. Se prefiere su uso por la razón de que cada operación en función de la lógica para ser aplicado por un elemento técnico.

Las funciones lógicas pueden resolver la tabla de verdad. Esta es una breve descripción de todas las combinaciones de variables independientes, que pueden ocurrir. Número total de opciones que se pueden producir y se calcula por la fórmula:

$$k = 2^n$$

donde k indica el número de posibilidades y n es el número de variables.

Un tipo de solución se ilustra con el ejemplo siguiente.



Ejemplo 4.1

Usamos una tabla de verdad para la función lógica Y, que es función de tres variables y su expresión es la siguiente:

$$Y = (A + \bar{B}) \times (B + C) \times (C + \bar{A})$$

Según la fórmula pueden darse 8 posibles combinaciones de variables independientes.

A	B	C	Not A	Not B	A+not B	B+C	C+not A	Y
0	0	0	1	1	1	0	1	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	1	0	0	1	1	0
0	1	1	1	0	0	1	1	0
1	0	0	0	1	1	0	0	0
1	0	1	0	1	1	1	1	1
1	1	0	0	0	1	1	0	0
1	1	1	0	0	1	1	1	1

Las tres primeras columnas son las variables independientes (declaraciones atómicas) que se recomienda llenar gradualmente a partir de la última columna (en este caso C) con los valores 0 y 1. La siguiente columna (en este caso B) los valores 0 y 1 se alternan con una frecuencia doble al número de líneas antes de la última columna (en este caso C). La última columna (en este caso A), luego alternando los valores 0 y 1 en el doble del número de líneas de la columna anterior (en este caso B). De esta manera es posible proceder en el caso de múltiples variables. Las otras columnas están resolviendo paulatinamente las funciones lógicas. La última columna es el resultado de una función lógica. Para buscar una combinación de variables independientes, es posible encontrar la fila apropiada y su valor resultante en las funciones lógicas.

4.3 Álgebra de Boole

Los elementos técnicos utilizados en la regulación y el control de las máquinas suelen ser botones o interruptores. Este es un elemento bivalente. Para obtener una descripción matemática de estos componentes se creó un álgebra de dos valores, la cual, tomando el nombre de su creador, Boole matemático británico, fue llamada álgebra de Boole. Se trata de cálculos con variables binarias. Para cálculos en álgebra booleana se han definido leyes y reglas igual que en otras álgebras. Sus leyes y reglas son las siguientes.

- Ley conmutativa
- Ley asociativa
- Ley distributiva
- Ley de neutralidad y progresividad 0 y 1
- Regla de independencia (Independence): elementos independientes
- Regla de exclusión
- Ley de la doble negación
- Ley de Morgan
- Regla de la captación y absorción de la negación

Legislación

Las leyes básicas: conmutativa, asociativa y distributiva, definidas en cualquier algebra, incluida la de Boole (Tabla 2), se expresan en dos formas distintas, disyunción y conjunción. En álgebra clásica se trata de suma y resta. En algebra de Boole suma y producto lógicos.

Tabla 2: Reglas principales

Propiedad	Disyunción	Conjunción
Propiedad Conmutativa	$A \vee B = B \vee A$	$A \wedge B = B \wedge A$
Propiedad Asociativa	$(A \vee B) \vee C = A \vee (B \vee C)$	$(A \wedge B) \wedge C = A \wedge (B \wedge C)$
Propiedad Distributiva	$(A \vee B) \wedge C = A \wedge C \vee B \wedge C$	$(A \wedge B) \vee C = (A \vee C) \wedge (B \vee C)$

En la práctica, los operadores lógicos disyunción, conjunción y negación pueden usar los símbolos que muestra la Tabla 3.

Tabla 3: Diferentes tipos de designación de operadores lógicos

$A \vee B$	$A + B$	$A \cup B$	A or B
$A \wedge B$	$A \times B$	$A \cap B$	$A \alpha B$
\bar{A}	$\neg A$		not A

Reglas

El algebra de Boole se complete por un conjunto de reglas que se usan para simplificar funciones lógicas. La lista de todas esas reglas está en la Tabla 4.

Tabla 4: Reglas del álgebra de Boole

Rules	Adición	Multiplicación
Regla de neutralidad 0 y 1	$A + 0 = A$	$A \times 1 = A$
Regla de agresividad 0 y 1	$A + 1 = 1$	$A \times 0 = 0$
Regla de independencia	$A + A = A$	$A \times A = 0$
Regla de exclusión	$A + \bar{A} = 1$	$A \times \bar{A} = 0$
Regla de Morgan	$\bar{A} + \bar{B} = \overline{A \times B}$	$\bar{A} \times \bar{B} = \overline{A + B}$
Regla de absorción	$A + A \times B = A$	$A + (A \times B) = A$
Regla de absorción de negación	$A + \bar{A} \times B = A + B$	
Regla de doble negación	$\overline{\bar{A}} = A$	



Ejemplo 4.2

Simplificar la función de tres variables:

$$f_{(A,B,C)} = (A \times \bar{B} \times C + A \times B \times C) \times (A \times C + A \times \bar{C}) \times (\bar{C} \times C\bar{A})$$

En primer lugar, se lleva a cabo antes de eliminar los corchetes y llaves una tercera aplicación de la regla de la absorción de la negación

$$f_{(A,B,C)} = A \times C \times (\bar{B} + B) \times A \times (C + \bar{C}) \times (\bar{C} \times \bar{A})$$

Seguidamente, se aplica la independencia de elementos y se realizan los productos. El resultado es 0.

$$f_{(A,B,C)} = A \times C \times (\bar{C} \times \bar{A}) = 0$$

Esto significa que el valor de la función siempre es cero, independientemente de la combinación de valores de las variables de entrada.

4.4 Mapa de Karnaugh

En la sección anterior se resolvieron las expresiones matemáticas de funciones lógicas. De hecho, puede haber, y muy a menudo es necesario hacer frente a casos en que es necesario encontrar una expresión matemática de los resultados de las funciones lógicas. Para ello se usan los llamados mapas de expresión gráfica. Uno de los más conocidos y más utilizados es el mapa de Karnaugh. Es una forma diferente de expresar la tabla lógica o de la verdad, que se utiliza para simplificar las expresiones lógicas. Para una mejor ilustración del problema vemos el siguiente ejemplo. La tabla lógica es una expresión lógica de los resultados para todas las combinaciones de variables independientes posibles.

Un ejemplo de tabla lógica para tres variables independientes se muestra en 4,1. En las tres primeras columnas se expresan los valores de las variables independientes. La última columna (a la derecha) muestra los valores de la variable dependiente.

En los mapas de Karnaugh la columna resultante se muestra como una matriz rectangular. En cada lado del rectángulo se expresan en valores de las variables independientes. No importa en qué lado se asigna cada variable. Los valores de las variables independientes, es conveniente que llenarlos de modo que los valores de la columna adyacente cambien sólo en un bit. De este modo se puede ver cómo cambian en las celdas que forman la matriz los valores de la variable dependiente. Las celdas de esta matriz se llenan con los valores de las variables dependientes basados en combinaciones de variables independientes. Para una mejor comprensión se da el siguiente ejemplo práctico con explicaciones.



Ejemplo 4.3

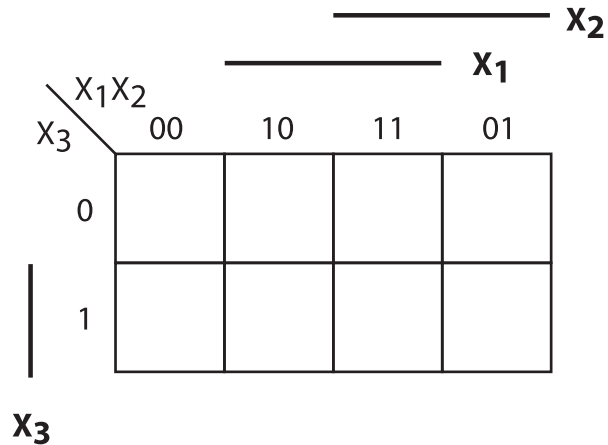
Este ejemplo muestra un sistema de alarma contra incendios. En la zona hay tres sensores de fuego independientes. Cuando al menos dos sensores registran el fuego, es necesario declarar una alarma de incendio. Expresado matemáticamente: Para la función lógica de tres variables Y , el valor de la función Y toma valor verdadero cuando al menos dos variables de entrada son verdaderos.

Resolución del Problema

En primer lugar se muestra la forma de realización de la tabla lógica del problema. Esta es una función de tres variables independientes " $Y = f(X_1, X_2, X_3)$." El número de todas las combinaciones de variables independientes se calcula según la fórmula N° 3.1. A es igual a ocho. Esto significa que la tabla lógica tendrá encabezados de 8 líneas. De conformidad con el procedimiento mencionado en el ejemplo N° 4.1 se realiza el llenado de los valores de las variables independientes. La columna para la variable " Y " dependiente se completa en base a la formulación del problema. Es muy importante prestar atención a la expresión, ya sea "por lo menos dos" (el ejemplo) o "sólo dos". En ambos casos el resultado es una solución diferente. La tabla lógica para el ejemplo es la siguiente:

X_1	X_2	X_3	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Los valores de campo para la variable dependiente “Y” pueden adoptar diversas formas, como “2 x 4” o “4 x 2”. Para matrices con ocho células hay más opciones. En este caso, la forma del mapa de Karnaugh elegido ha sido “2 x 4”. La parte horizontal del campo fue asignada a las variables independientes “ X_1 ” (encabezados de fila superior) y “ X_2 ” (cabeceras de fila inferior). El lado vertical del campo se asigna a la variable independiente que queda “ X_3 ”. La asignación de las variables independientes a cada parte sólo depende de los gustos del usuario y no afectan el resultado de la solución. En el siguiente paso del proceso se rellenan con los valores de las variables independientes de manera que, cuando se mueve a una columna / fila adyacente se cambia un bit (código Gray) el resultado se muestra en la tabla siguiente.



Las celdas se han llenado con valores de la variable dependiente para reflejar las combinaciones de valores de las variables independientes:

		X_2			
		X_1			
X_3	X_1X_2	00	10	11	01
	0	0	0	1	0
1	0	1	1	1	

La solución lleva a cabo el siguiente procedimiento. El mapa combinará campos que contienen el valor 1 en bloques (objetos) de acuerdo con las siguientes reglas:

- El bloque debe ser lo más grande posible para cubrir el número máximo de unos.
- El número de campos incluidos en un bloque debe ser un entero potencia de dos como (1, 2, 4, 8, 16, etc.).
- Los bloques individuales se pueden solapar.

		X_2			
		X_1			
X_3	X_1X_2	00	10	11	01
	0	0	0	1	0
1	0	1	1	1	

La expresión lógica de un bloque se denomina término y se compone de variables de entrada conjuntivas que no alteren su valor de entrada. La función lógica mínima es creada por estos términos disjuntos. La expresión de la función lógica matemática resultante es:

$$Y_{(X_1;X_2;X_3)} = X_1 \times X_2 + X_1 \times X_3 + X_2 \times X_3$$

El mapa de Karnaugh también puede resolver la cobertura de los campos con ceros. La función lógica resultante es la negación de la disyunción de los términos. El ejemplo anterior sería el siguiente:

$$Y_{(X_1, X_2, X_3)} = \overline{\overline{X_1 \times X_2} + \overline{X_1 \times X_3} + \overline{X_2 \times X_3}}$$

La forma de solución del mapa depende de los campos minoritarios, de ceros o unos.

4.5 Implementación de funciones lógicas

En el campo de la tecnología de automatización de control de máquinas sujetos al cumplimiento gradual de condiciones especificadas, cualquier condición puede ser expresada como una variable lógica, y puede tener asignados dos valores - “pasa” o “fallo”, por ejemplo.



Ejemplo 4.4

Hay una variable independiente lógica “X”. Esta variable puede tener dos valores 1 y 0. La segunda variable dependiente “Y” es el resultado de una función lógica:

$$Y = f(X)$$

Todas las opciones posible de la variable dependiente Y se detallan en la tabla.

X	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
1	0	0	1	1
0	0	1	0	1

Está claro que hay cuatro opciones, que significan cuatro funciones lógicas; “falsificación, negación, y equivalencia”. Su aplicación práctica se presenta en el siguiente circuito eléctrico simple, compuesto de la fuente de alimentación, botones, bombillas y cables. La variable independiente X es la fuerza mecánica aplicada al botón, la variable dependiente es el encendido de la bombilla. La primera función lógica Y₃, cuando se pulsa el botón, la bombilla se enciende, el valor es $y = 1$ si y sólo si $X = 1$.

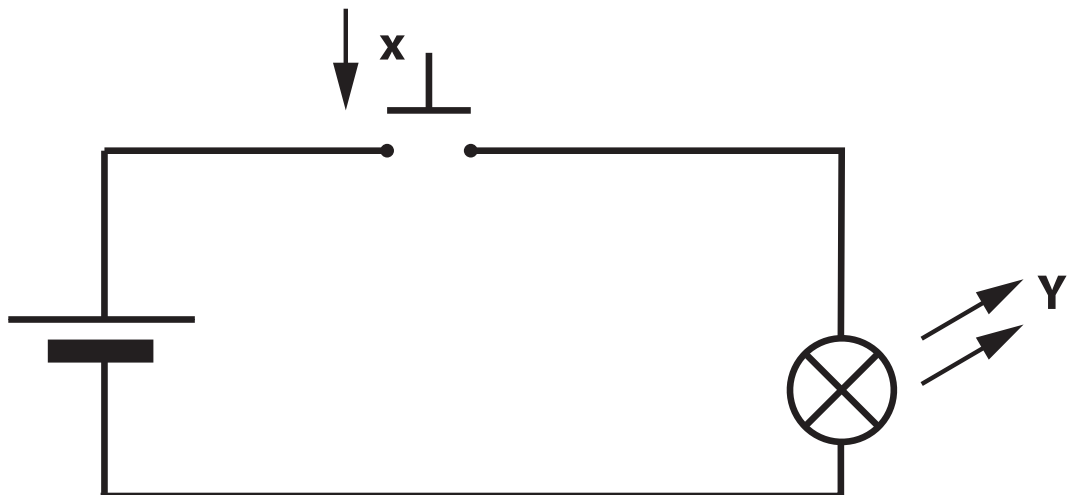


Fig. 4.1: Función lógica Y₃

Función lógica Y_2 . Cuando se pulsa el botón, la luz está apagada, el valor de $Y = 1$ si y sólo si $X = 0$

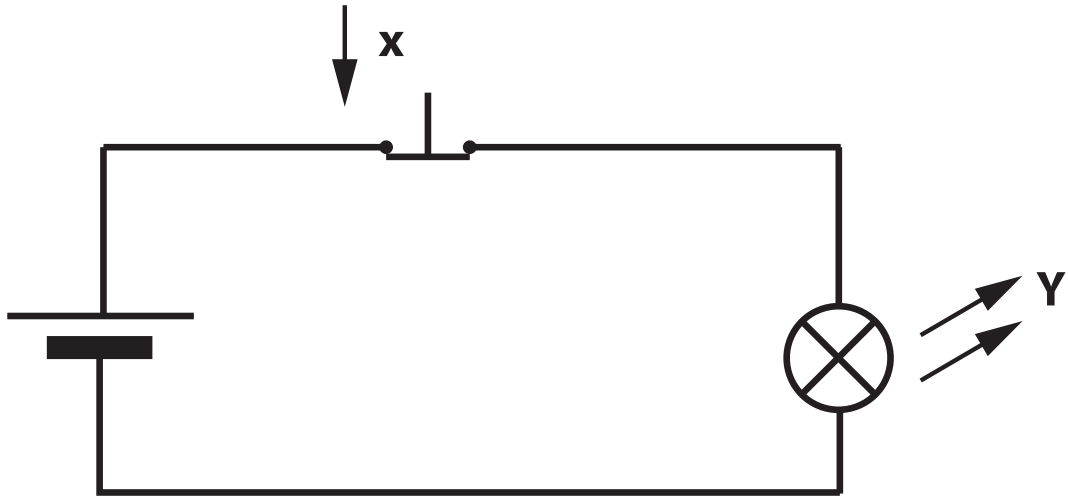


Fig. 4.2: Función lógica Y_2

Función lógica Y_4 . No importa si se pulsa el botón o no, se enciende la bombilla cada valor de $Y = 1$ y no depende de X .

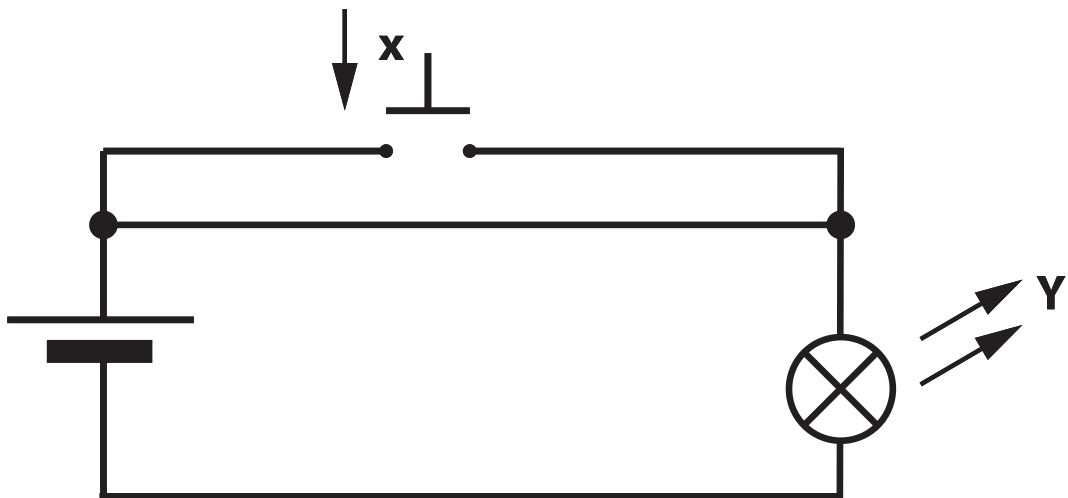


Fig. 4.3: Función lógica Y_4

Función lógica Y_1 . No importa si se pulsa el botón o no, la bombilla no se enciende, el valor es $Y = 0$ y no depende de X .

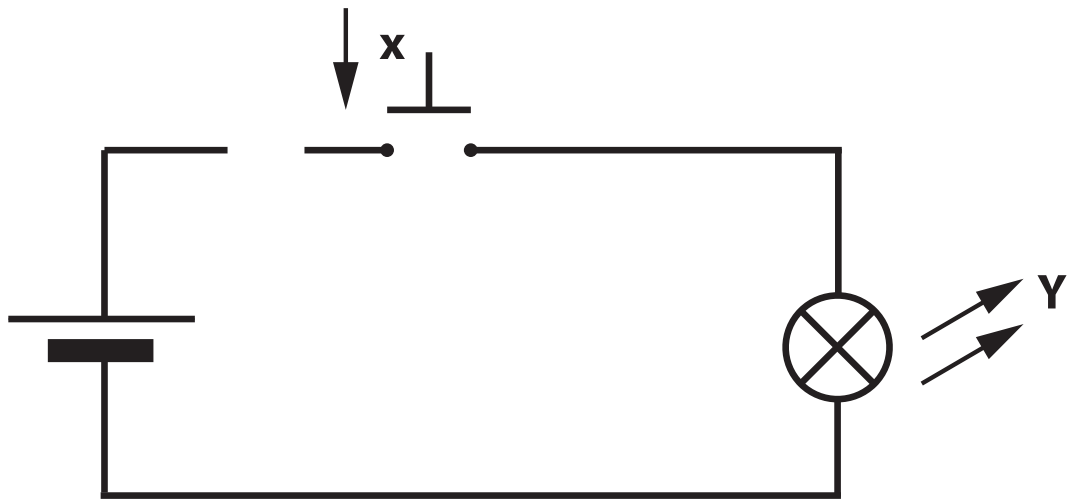


Fig. 4.4: Función lógica Y_1

4.6 Preguntas

1. ¿Qué preguntas pueden o no pueden ser una declaración? Dar ejemplos.
2. ¿Qué sabe de los operadores proposicionales?
3. Muestre y explique un ejemplo de declaraciones de conjunciones.
4. Muestre y explique un ejemplo de declaraciones de disyunción.
5. Muestre y comente un ejemplo de declaración de negación.
6. Explique el concepto de funciones lógicas.
7. Describa las funciones lógicas de una variable.
8. ¿Qué determina el número de combinaciones de funciones lógicas de varias variables?
9. ¿Qué conoce de las leyes y reglas básicas del álgebra de Boole?
10. ¿Qué tipo de mapas usan? ¿Con qué objetivo?
11. ¿Qué significa el término señales cronológicas?
12. ¿Cuál es la diferencia entre diagrama cronológico y tabla de la verdad?

4.7 Ejemplos para practicar



Verificar la validez de las siguientes expresiones mediante el uso de tablas de verdad:

1. $A + B \times B = A$
2. $A + \overline{A} \times B = A + B$
3. $\overline{A \times B} = \overline{A} + \overline{B}$
4. $\overline{A + B} = \overline{A} \times \overline{B}$
5. $A \times (A + B) = A$
6. $A \times B = \overline{\overline{A + B}}$
7. $A \text{ xor } B = \overline{A \times B + \overline{A} \times \overline{B}}$
8. $(A \text{ xor } B) = \overline{A \times B + \overline{A} \times \overline{B}}$
9. $A \times \overline{B} + A \times C + B \times \overline{A} = \overline{A} \times B + \overline{B} \times A + B \times C$
10. $(A + \overline{B}) \times (B + \overline{C}) \times (C + \overline{A}) = (\overline{A} + B) \times (\overline{B} + C) \times (\overline{C} + A)$

SOLUCIÓN

1. L = P
 2. L = P
 3. L = P
 4. L = P
 5. L = P
 6. L = P
 7. L = P
 8. L \neq P
 9. L = P
 10. L \neq P
-



Simplificar y verificar la veracidad de las expresiones usando las tablas de la verdad.

$$f_{(A,B,C)} = (A \times \bar{B} \times C + A \times B \times C) \times (A \times C + A \times \bar{C}) \times (\bar{C} + C\bar{A})$$

$$f_{(A,B,C)} = (A \times \bar{B} \times \bar{C} + A \times B \times C) \times (A \times C + A \times \bar{C}) \times (\bar{C} + C\bar{A})$$

$$f_{(A,B)} = A \times (\bar{A} \times B + B)$$

SOLUCIÓN

$$f_{(A,B,C)} = 0$$

$$f_{(A,B,C)} = A \times \bar{B} \times \bar{C}$$

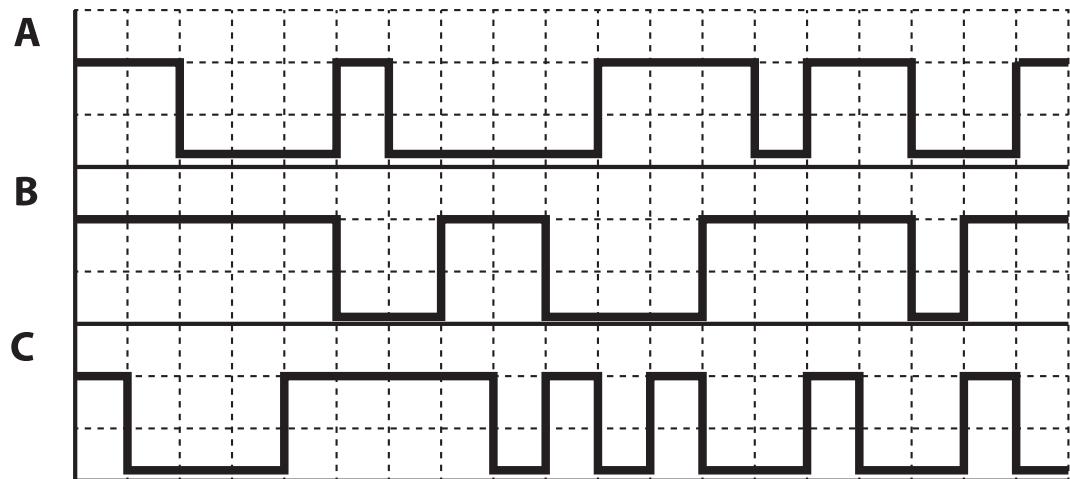
$$f_{(A,B)} = A \times B$$

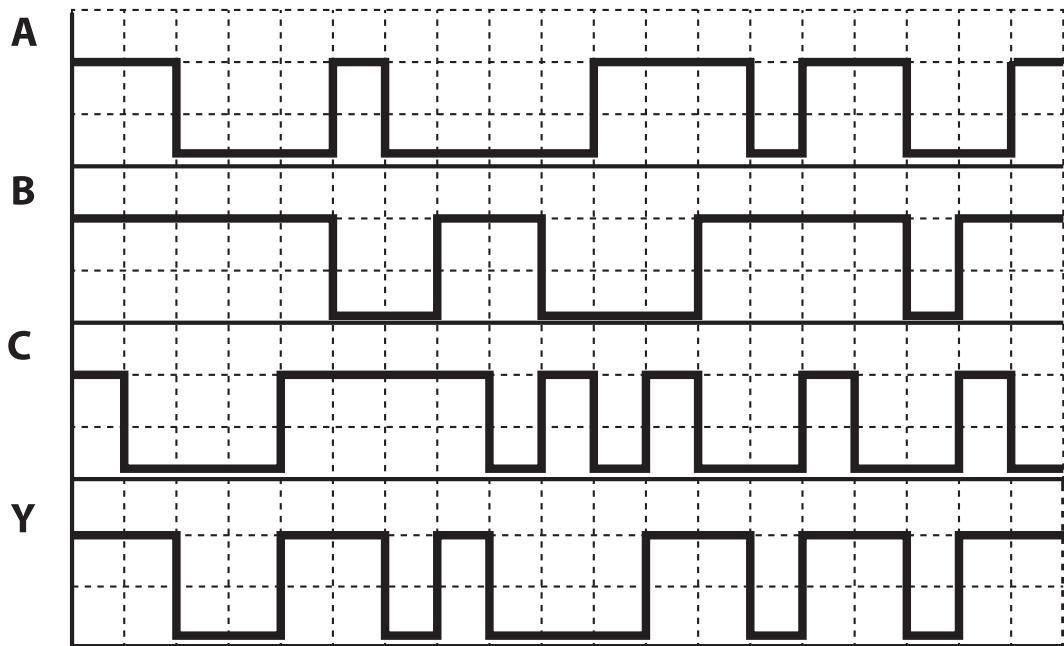


Ejemplo 4.5

Buscar el cronograma de la señal de salida de la siguiente función lógica

$$Y = \bar{A} \times \bar{B} \times C + \bar{A} \times B \times C$$





Ejemplo 4.6

Escriba la tabla lógica para la función de cuatro variables, donde $Y = 1$, cuando sólo dos entradas son 0, encontrar una expresión matemática mediante mapas de Karnaugh.

SOLUCIÓN

$$Y = C \times D \times \bar{A} \times \bar{B} + C \times \bar{D} \times A \times \bar{B} + C \times \bar{D} \times \bar{A} \times B + \bar{C} \times \bar{D} \times A \times B + \bar{C} \times D \times A \times \bar{B} + \bar{C} \times D \times \bar{A} \times B$$

$$Y = \overline{A \times B \times C + A \times C \times D + B \times C \times D + A \times B \times D + \bar{B} \times \bar{C} \times \bar{D} + \bar{A} \times \bar{B} \times \bar{D} + \bar{A} \times \bar{C} \times \bar{D} + \bar{A} \times \bar{B} \times \bar{C}}$$



Ejemplo 4.7

Escribir una tabla lógica para la función de tres variables, donde $Y = 1$ si de forma simultánea al menos dos entradas presentan valor 1, encontrar la expresión matemática en el mapa de Karnaugh.

SOLUCIÓN

$$Y = A \times B + A \times C + B \times C$$

$$Y = \overline{\overline{A \times B} + \overline{A \times C} + \overline{B \times C}}$$



Ejemplo 4.8

Dar la tabla de la verdad de una función de 4 variables, donde $Y = 1$, si solo una de las tres entradas presenta valor 1, encontrar la expresión matemática en el mapa de Karnaugh.

SOLUCIÓN

$$Y = A \times B \times \bar{C} \times D + \bar{A} \times B \times C \times D + \\ + A \times \bar{B} \times C \times D + A \times B \times C \times \bar{D}$$

$$Y = \overline{A \times B + C \times D + A \times B \times C + A \times C \times D} + \\ + \overline{A \times \bar{B} \times C + C \times \bar{D} \times A + C \times \bar{D} \times B + A \times B \times C \times D}$$

4.8 Distribución de sistemas



Los sistemas de control se dividen en los tres grupos siguientes:

- Sistemas lógicos,
- Sistemas digitales,
- Sistemas híbridos.

Sistemas lógicos

Los sistemas lógicos son sistemas que interactúan con su entorno mediante dos valores de elementos (sí, no, o 1.0, etc), estos sistemas procesan la información de acuerdo a las reglas del álgebra de Boole y por lo tanto son también llamados sistemas Booleanos o binarios. Un sistema binario se puede implementar ya sea con un interruptor de contacto o sin contacto.

Sistemas digitales

Los sistemas digitales son sistemas que trabajan con operaciones aritméticas y son controlados por reglas algebraicas. En particular incluyen las operaciones algebraicas básicas de suma, resta, multiplicación y división, pero no se excluye el uso de operaciones o funciones más complejas. Un sistema digital se basa en un microprocesador.

Sistemas híbridos

La combinación de operaciones lógicas y numéricas en un sistema da lugar a un sistema híbrido.

Los sistemas de control también se dividen de acuerdo con el método de procesado de la información en dos grupos. Estos son los grupos:

- Control combinacional
- Control secuencial

Control combinacional

Cuando la combinación reacciona impulsando al sistema de control como un circuito lógico combinacional, es decir, el valor de la salida depende sólo de la combinación de valores de entrada.

Control secuencial

La unidad de control de secuencia controla el sistema en función del tiempo o el estado del proceso controlado. Alternativamente, es posible combinar ambas funciones.

4.9 Preguntas

1. ¿Qué tipos de sistemas existen?
2. ¿Qué tipos de procesado existen?

4.10 Funciones lógicas combinacionales

Todos los circuitos lógicos se pueden dividir de acuerdo a la forma en el procedimiento en dos grandes grupos. El primer grupo de circuitos lógicos se denominan circuitos lógicos combinacionales y se describirán en este capítulo. Los circuitos lógicos del segundo grupo son circuitos lógicos secuenciales y están cubiertos en el capítulo N ° 5. La diferencia fundamental entre los dos grupos es la capacidad de estado del circuito de memoria, y el control de tiempo.

Solución de circuitos lógicos combinacionales

Estos circuitos no tienen memoria y su salida depende solo del estado de las entradas. Estos circuitos pueden crearse como una combinación de:

- Puertas lógicas AND, OR, e inversores o:
- funciones NAND (Sheffer function),
- funciones NOR (Pierce functions).

Para resolver circuitos lógicos combinacionales es posible utilizar dos formas de solución: la forma normal disyuntiva o la forma normal conjuntiva. Ambas formas usan todas las funciones lógicas, que pueden ser una solución a la tarea. La forma normal disyuntiva busca soluciones en las que la variable de salida toma valores 1. En contraste, la forma de solución conjuntivo normal analiza cuando la variable de salida presenta valores de 0, lo cual es una solución parcial al problema. La solución parcial negación final se obtiene mediante la resolución de la tarea. El resultado de la solución no depende de la forma de la solución. En términos sencillos, si el mapa de Karnaugh contiene más ceros que unos se selecciona la forma disyuntiva, si no la forma conjuntiva.



Ejemplo 4.9

Escribir el mapa de Karnaugh para las cuatro variables, donde $Y = 1$, sólo si dos entradas son 0, encontrar la expresión matemática resultante.

		AB		B		A
		00	01	11	10	
C	CD	00	01	11	10	
	00	0	0	1	0	
	01	0	1	0	1	
	11	1	0	0	0	
	D	10	0	1	0	1

Forma normal disyuntiva:

$$Y = \overline{A} \times \overline{B} + \overline{C} \times \overline{D} + \overline{A} \times B \times \overline{C} + \overline{A} \times C \overline{D} +$$

$$+ A \times \overline{B} \times \overline{C} + C \times \overline{D} \times \overline{A} + C \times \overline{D} \times B + A \times B \times C \times D$$

Solución a la forma normal conjuntiva:

$$Y = \overline{A} \times \overline{B} \times \overline{C} + \overline{A} \times C \times D + B \times C \times D + A \times B \times D +$$

$$+ \overline{B} \times \overline{C} \times \overline{D} + \overline{A} \times \overline{B} \times \overline{D} + \overline{A} \times \overline{C} \times \overline{D} + \overline{A} \times \overline{B} \times \overline{C}$$

4.11 Uso de circuitos lógicos combinacionales

Teniendo en cuenta que los circuitos lógicos combinacionales no tienen memoria, la información de salida sólo depende de la combinación de variables de entrada. La descripción de su función se puede resolver usando tablas lógicas. Por tanto, su uso se produce principalmente con:

- Multiplexores y demultiplexores,
- Códigos de transmisión,
- circuitos de seguridad.

4.12 Multiplexores y Demultiplexores

Dado que la transmisión de información (particularmente a distancia) utilizando un bus paralelo requiere un mayor número de conductores paralelos se usan líneas serie para la transmisión de información. Por ejemplo, para la transferencia en paralelo de 16 bits de información a través de la línea serie serán suficientes seis canales de información, una de bloqueo, 4 más y uno de direccionamiento.

Un multiplexor (conjunto de instrucciones) es un dispositivo que asegura la transferencia de la información en el bus de entrada paralelo a la información transmitida a través de una línea serie de salida. Un demultiplexor (selecciona instrucciones) en el otro lado del enlace es un dispositivo que divide la información serie a cables de bus individuales.

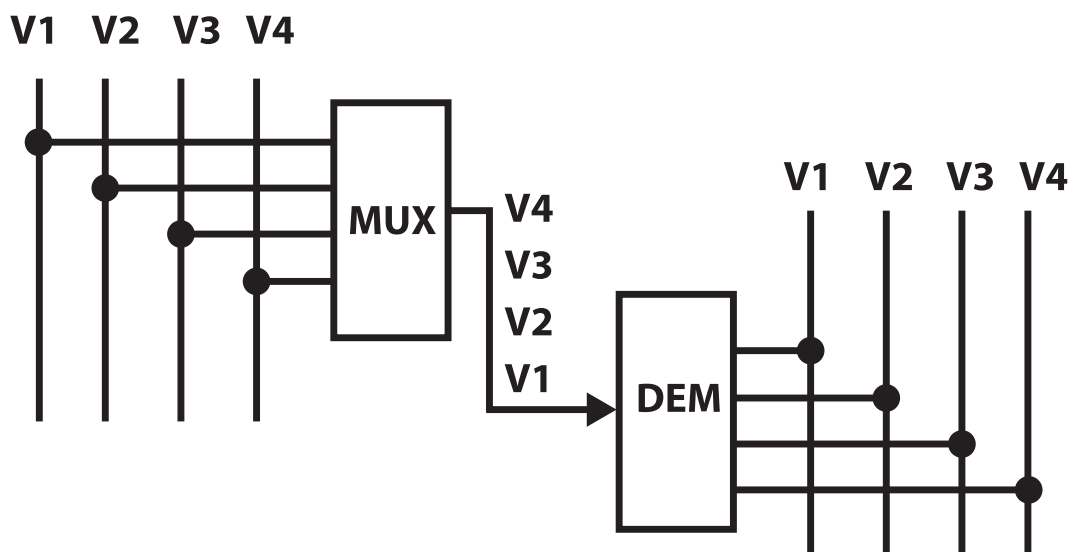


Fig. 4.5: Funciones multiplexado y demultiplexado

En la parte izquierda de la figura 4.6 se muestra el bus de cuatro bits por el que se transmite la información. Las líneas del bus se han marcado como V1 a V4. La información se transmite por una combinación en paralelo de cuatro bits. Esta información entra en el multiplexor (MUX), que convierte en serie de bits de información la secuencia de V1 a V4. La información estructurada sobre la línea serie llega al demultiplexor, que la descompone de nuevo a las líneas de su bus de salida.

La figura 4.6 representa el diagrama lógico de un multiplexor de 4 canales. Las entradas V1 a V4 son entradas de datos (de entrada). Las entradas A y B son las entradas de dirección y EN es el bloqueo de la entrada. La función del multiplexor describe la siguiente tabla lógica.

Tabla 5: Tabla lógica

EN	B	A	Q
0			0
1	0	0	V1
1	0	1	V2
1	1	0	V3
1	1	1	V4

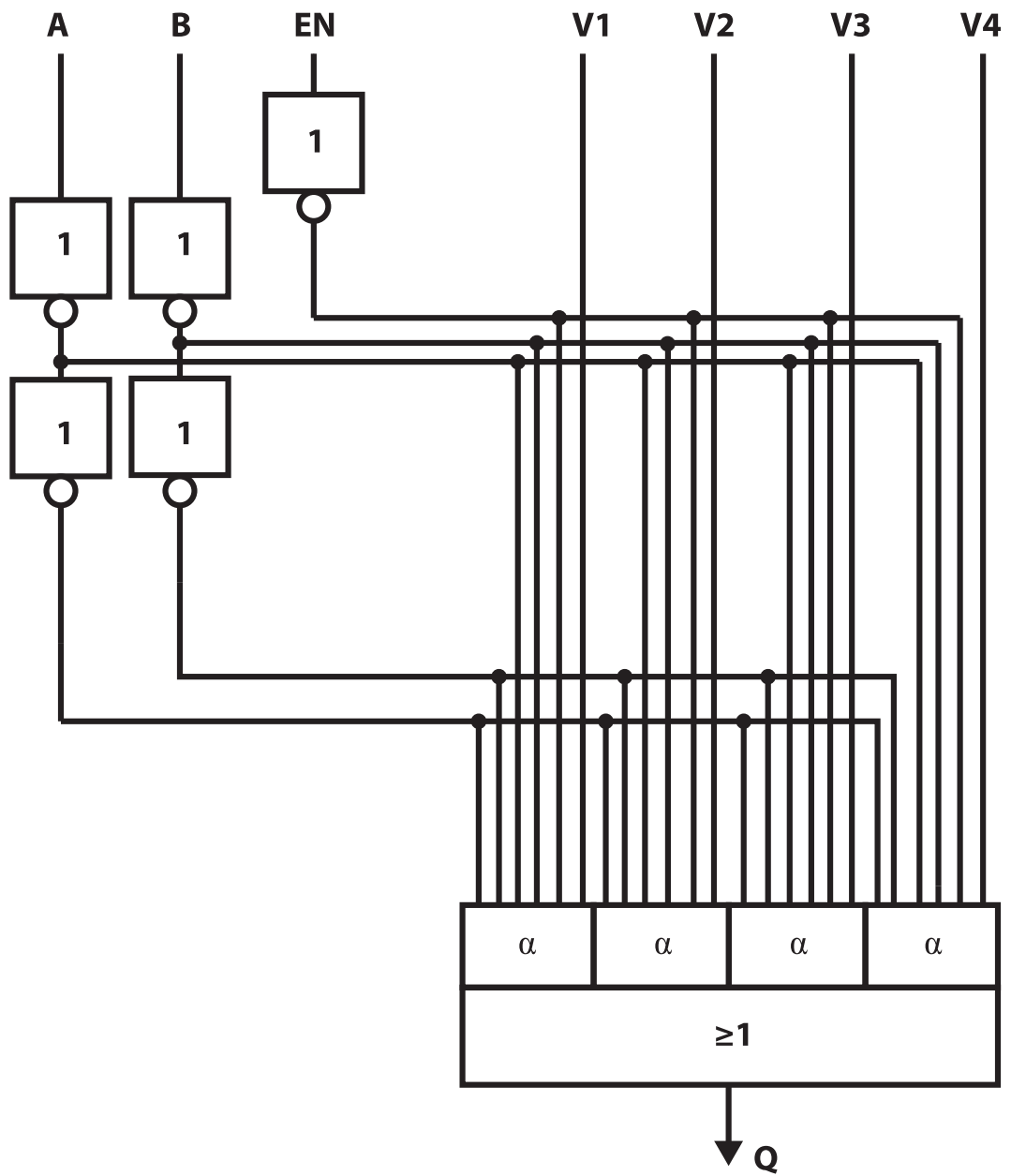
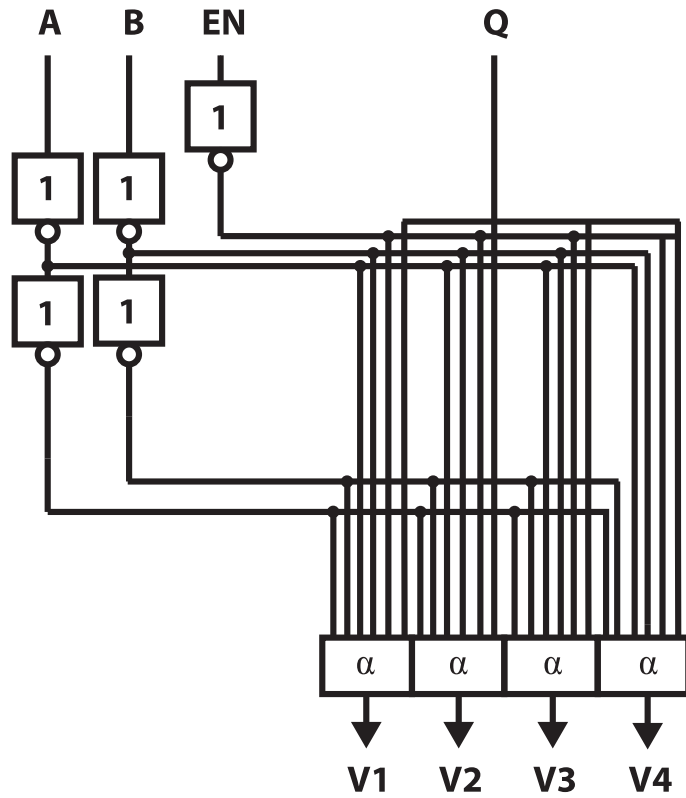


Fig. 4.6: Multiplexor



Pic 4.7: Demultiplexor

La Figura 4.7 muestra un diagrama lógico para un demultiplexor. La entrada Q input se divide en las salidas V1 a V4. Las entradas A y B con entradas de dirección y EN es la entrada de bloqueo. La función del demultiplexor describe la siguiente tabla lógica.

Tabla 6: Tabla lógica

EN	B	A	vista
0			0
1	0	0	V1
1	0	1	V2
1	1	0	V3
1	1	1	V4

4.13 Conversores de código

Los sistemas lógicos trabajan con cantidades binarias (1 y 0, H y L, verdadero y falso, etc) hay muchos códigos binarios conocidos como códigos BCD (Binary Coded Decimal).



Ejemplo 4.10

Preparar el diseño de un convertidor entre el código binario y una unidad de visualización de siete segmentos. Las entradas se muestran a continuación. Cada segmento está marcado y se enciende cerrando un circuito eléctrico, es decir, mediante la aplicación de una tensión al cable marcado de forma idéntica. La unidad de visualización se basa en 10 dígitos (0–9). Esto nos da diez combinaciones de valores de salida. El número de valores de salida depende de la cantidad de entradas por la ecuación (3.1). Para tres entradas tenemos 8 salidas, esto es menos de lo necesario. Para cuatro entradas tendríamos 16 salidas, que es más de lo que se necesita. Por consiguiente, es necesario disponer de cuatro variables de entrada, que se identifican en la 1 a V4.

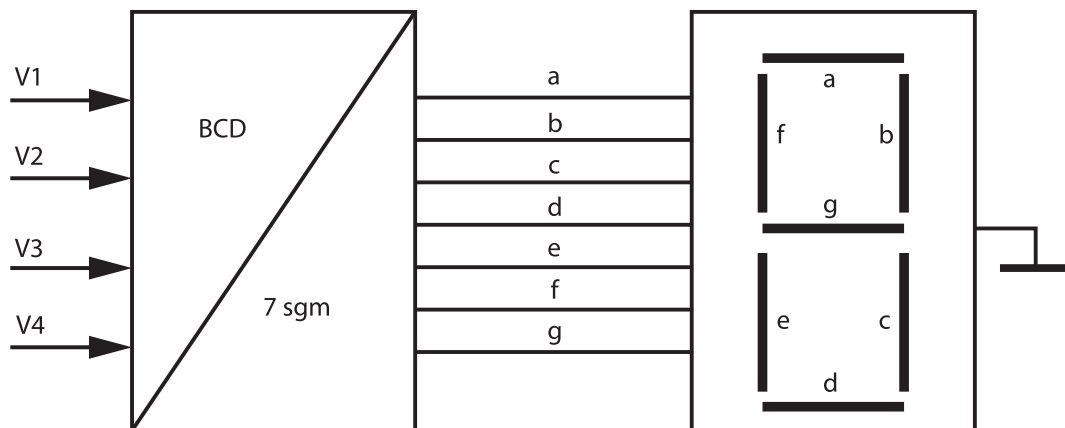


Tabla lógica de verdad del ejemplo:

	V_4	V_3	V_2	V_1	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1

6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1
10	1	0	1	0	x	x	x	x	x	x	x
11	1	0	1	1	x	x	x	x	x	x	x
12	1	1	0	0	x	x	x	x	x	x	x
13	1	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x
14	1	1	1	0	x	x	x	x	x	x	x
15	1	1	1	1	x	x	x	x	x	x	x

La primera columna es el número mostrado en el display. Las entradas V1 a V4 se disponen como una tabla lógica de entrada convencional. En el lado derecho de esta tabla se encuentran los valores de salida de los segmentos individuales. Un valor de 1 significa encendido, 0 indica que está apagado y el valor x de la solución indica que no se necesita conocer su valor. En el siguiente paso es necesario ensamblar mapas de Karnaugh para cada segmento.

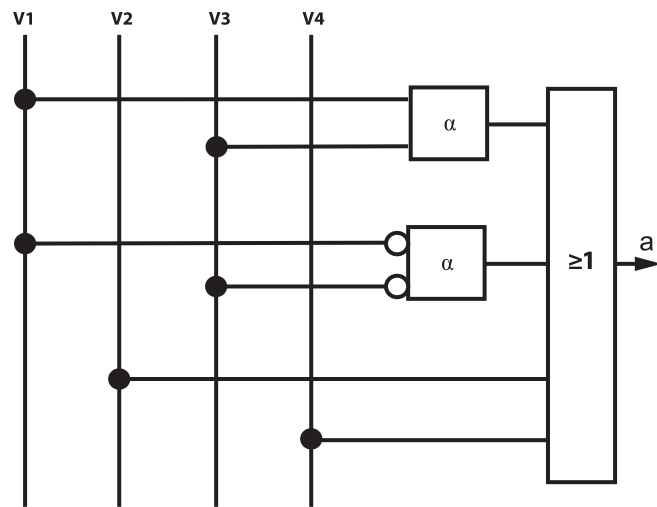
Para el segmento “a” es:

		V1 V2		V1			
				V2			
V3 V4		00	01	11	10		
00		1	1	1	0		
01		1	x	x	1		
11		x	x	x	x		
10		0	1	1	1		
V4						V3	

La expresión con valor x es igual a la expresión con valor 1. El resultado de la función para el segmento es:

$$Y_a = V_2 + V_4 + V_1 \times V_3 + \overline{V_1} \times \overline{V_3}$$

Este es el esquema de la ecuación:



El mismo procedimiento creará soluciones para los segmentos b a g. Estos bloques se conectan a los buses.

4.14 Circuitos de seguridad

Incluyen circuitos electrónicos de alarmas de incendio (EPS) y circuito de sistemas de seguridad (ESS). Estos circuitos operan bajo principios lógicos y necesitan al menos dos variables lógicas con valor igual a 1 en todas las variables.

5 Funciones lógicas secuenciales, naturaleza del comportamiento secuencial, realimentación, elementos lógicos secuenciales, ejecución síncrona y asíncrona

5.1 Funciones lógicas secuenciales, Circuitos lógicos secuenciales

A diferencia de los circuitos lógicos combinacionales, las salidas del circuito lógico secuencial dependen de la combinación de la entrada y también del estado interno del circuito, que contiene una memoria digital interna. La memoria digital se realiza mediante (flip-flop) biestables.

Los Flip-flop pueden ser biestables o monoestables. El biestable tiene dos estados posibles de equilibrio en estado estacionario. Cada estado del biestable se mantendrá hasta que se cambie. Es posible compararlo con un interruptor de dos posiciones.

Lo contrario es un monoestable que sólo tiene un estado de equilibrio. Después de un impulso, que fuerza al monoestable a desviarse de su estado, éste vuelve a su estado original. Un ejemplo de esto puede ser una llave.

Otra manera de abordar la distribución de de los circuitos es clasificarlos en asíncronos o síncronos. En este caso, se observan los cambios en función del tiempo. Para los miembros asíncronos se cambian las salidas dependiendo sólo del cambio de las entradas. En cambio un elemento síncrono miembros necesita de una sincronización (pulso de reloj) y no sólo un cambio de las entradas.

5.2 Memoria Binaria

La memoria binaria permite preservar el valor de la señal digital. Se representa esquemáticamente en la Figura 5.1. Las entradas se identifican por las letras “S” (como la palabra Inglés set - set) y “R” (restaurar - reset). Los valores de salida son complementarios (opuestos) y toman valores según la tabla lógica siguiente.

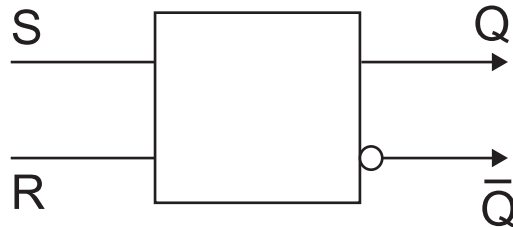


Fig. 5 .1: Memoria binaria

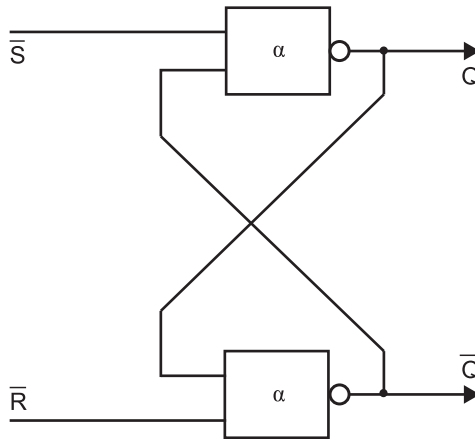
Tabla 7: Tabla lógica para memoria binaria

S	R	Q	\bar{Q}
0	0	¹⁾	¹⁾
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	²⁾	²⁾
0→1	0→1	0 1 or 1 0	

¹⁾ estado previo

²⁾ prohibido, estado indeterminado; el efecto es tal que cuando ambas entradas cambian al mismo tiempo de 0 a 1, una de las salidas se lleva accidentalmente el valor 0 y la segundo a uno, ver la zona gris de la tabla.

La función lógica binaria de la memoria puede ser implementada mediante la conexión de “NAND” (producto lógico negado). El cableado se encuentra en la Figura 5.2.



Pict. 5.2: Realización mediante NAND

(Producto lógico invertido). El diagrama se muestra en la Figura 5.2.

La realización técnica de la memoria binaria puede ser cualquiera de acuerdo con el tipo de variables de control, mecánica (Figura 5.4), eléctrica (Figura 5.3), hidráulica y electrónica.

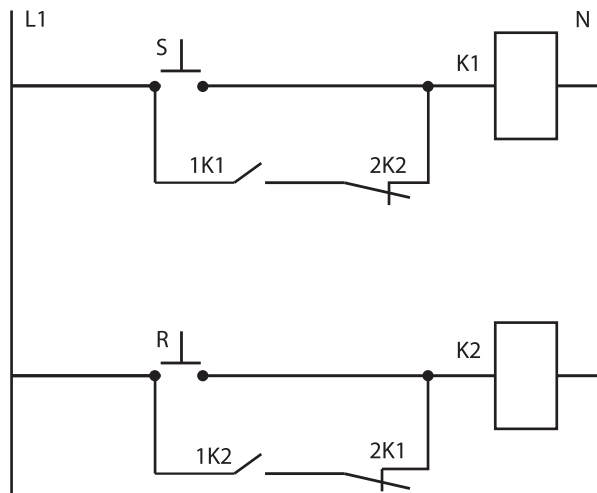


Fig. 5.3: Implementación eléctrica del circuito RS

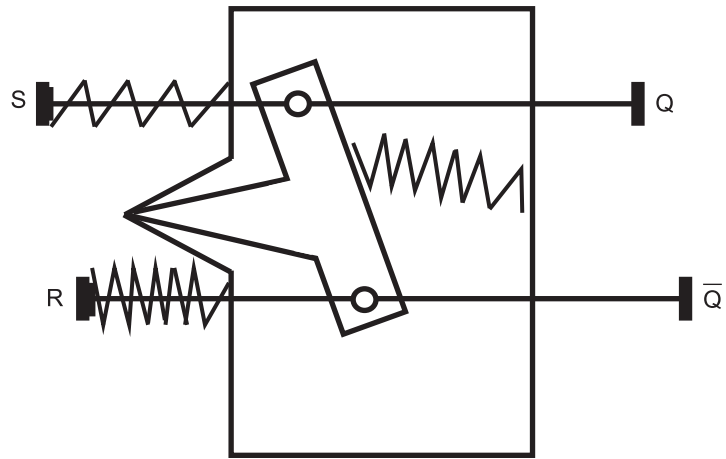


Fig. 5.4: Realización mecánica del circuito RS

5.3 Ejecución síncrona y asíncrona

Tipo de flip-flop asíncrono

El flip-flop asíncrono no está controlado por ninguna señal de reloj y el estado se puede cambiar en cualquier momento por el cambio de la señal de entrada.

El circuito básico asíncrono de un flip-flop es una báscula “RS” y su implementación mediante puertas “NAND” se muestra en la Figura 5.6 El diagrama lógico aparece en la Figura 5.5.

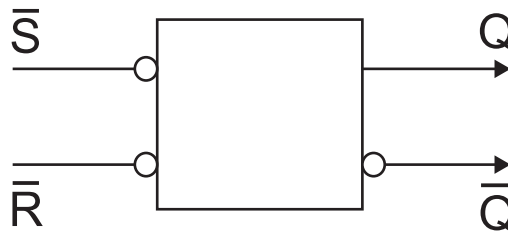


Fig. 5.5: Pictograma

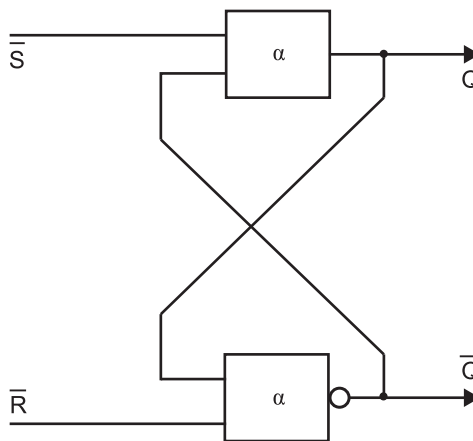


Fig. 5.6: Realización de puerta NAND

La realización de un flip-flop “RS” con puertas “NOR” se muestra en la Figura 5.7. La lógica es un diagrama como el de la Figura 5.8. Estos circuitos no presentan estados intermedios.

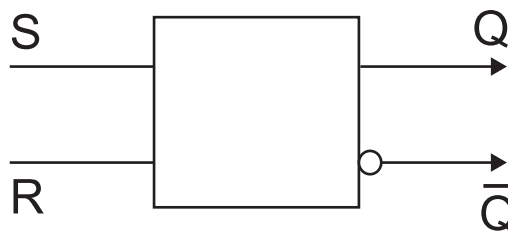


Fig. 5.7: Pictograma

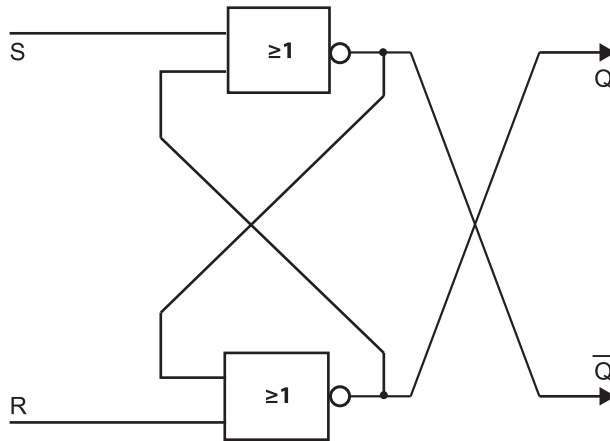


Fig. 5.8: Realización con puertas NOR

Otros flip-flops son circuitos de tipo “SL” (set, latch - blocking) o “EL” (erase - delete, latch). Estos elementos presentan estados prohibidos o estados indeterminados. Los símbolos esquemáticos y lógicos de conexión se muestran en la Figura 5.9 y 5.10.

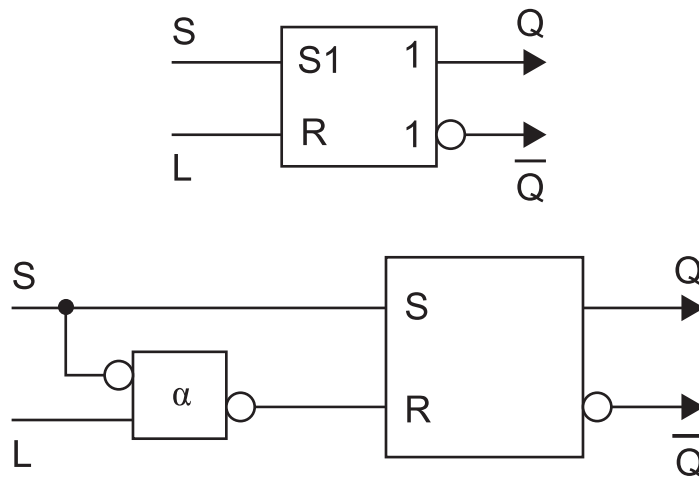


Fig. 5.9: Circuito SL

Tabla 8: Tabla lógica para el circuito SL

S	L	Q	\bar{Q}
0	0	Estado previo	
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	1	0

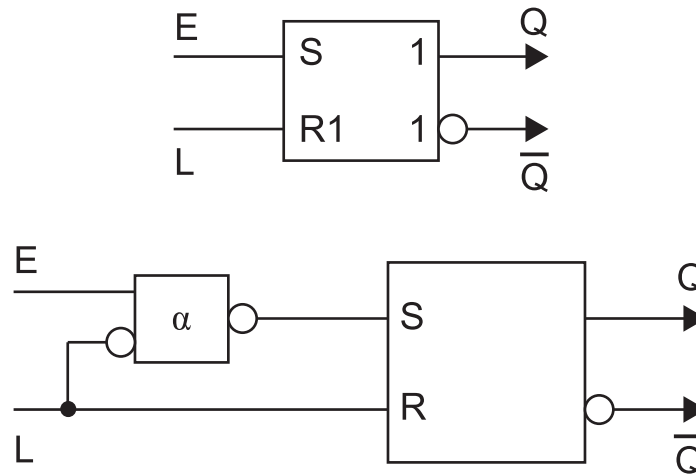


Fig. 5.10: Circuito EL

Tabla 9: Tabla Lógica del circuito EL

E	L	Q	\bar{Q}
0	0	Estado previo	
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1

Flip-flop síncrono

En la vida diaria, es posible cumplir con dos tipos de control de secuencia. Por ejemplo, la protección de las personas en la entrada del espacio de trabajo del robot, garantizando la entrada segura en la carretera en un semáforo peatonal controlado. En el primer caso hay un cese inmediato del movimiento del robot. En el segundo caso, después de pulsar el botón, primero para despejar la carretera y luego para indicar cruce seguro para los peatones. En el primer caso, es necesario utilizar un flip-flop asíncrono, que significa una respuesta instantánea a las condiciones cambiantes. En este último caso se usa un elemento basculante síncrono que se activa, además de en función de los cambios en la entrada, dependiendo del tiempo. Para las entradas de tiempo se aplica un impulso rectangular. Para cambiar la salida se puede entonces utilizar flanco ascendente o descendente del pulso.

Las entradas al flip-flop síncrono son tres y con etiquetas “J”, “K” y “C” (reloj - Entrada de pulso de reloj). Las salidas son de nuevo opuestas entre sí; la etiqueta “Q” y “ \bar{Q} ”. El símbolo esquemático y tabla lógica correspondiente para controlar el flanco ascendente de la entrada de reloj se dan en la Tabla 5.4. El curso temporal de la señal de salida en respuesta a los cambios en las entradas en la Figura 5.12. La Figura 5.13 muestra la lógica de control síncrona para flanco ascendente.

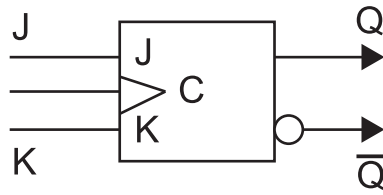


Fig. 5.11: Circuito trigger JK, señal de salida en función del tiempo

Tabla 10: Tabla Lógica del circuito JK

C	J	K	Q	\bar{Q}
	0	0	Estado previo	
	0	1	0	1
	1	0	1	0
	1	1	Niega el estado previo	

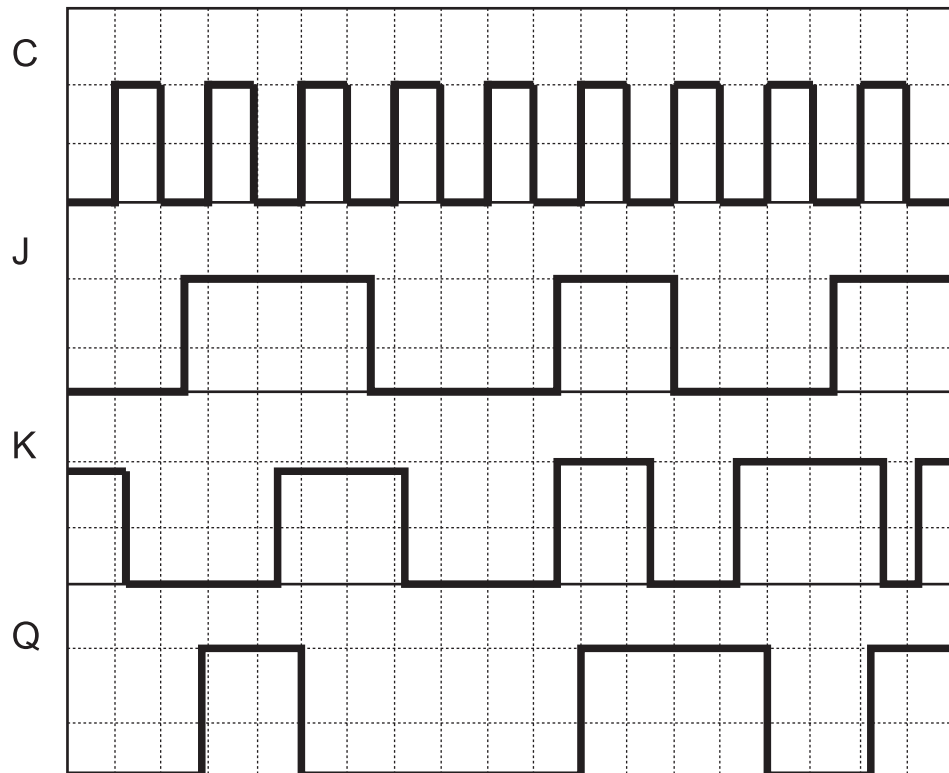


Fig. 5.12: Cronograma de la señal de salida

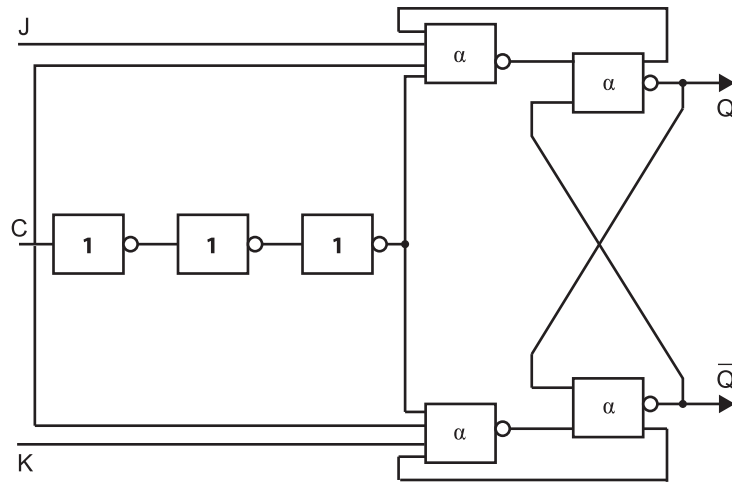


Fig. 5.13: Esquema lógico del circuito trigger JK

5.4 Preguntas

1. Describir las funciones y aplicaciones de los circuitos lógicos secuenciales.
2. Explicar el concepto de memoria binaria
3. Explicar el concepto de trigger asíncrono.
4. Explicar el concepto de trigger síncrono.
5. Dar un ejemplo de trigger síncrono.

6 Conocimientos básicos de fuzzy logic (lógica difusa)

6.1 Introducción

La lógica difusa es una parte de la inteligencia artificial. La lógica difusa (“fuzzy logic” en inglés) se adapta mejor al mundo real en el que vivimos, e incluso puede comprender y funcionar con nuestras expresiones, del tipo “hace mucho calor”, “no es muy alto”, “el ritmo del corazón está un poco acelerado”, etc. De esta manera es posible hacer accesible la realización de las instalaciones habituales para fenómenos descritos y hacer posible su uso en la práctica técnica.

Existen muchas aplicaciones de la lógica difusa en diferentes ramas técnicas - y no técnicas de regulación, técnicas de diagnóstico en geología, la lingüística, la biología, las ciencias sociales, etc.



No decimos “sí, sí, no, no”

“Deje que su lenguaje sea sí, sí – no, no”, tal debe ser el estilo en que expresa un buen hombre de acuerdo a Rudyard Kipling. Por lo general, que esperamos oír ese lenguaje sin ambigüedades de los estadistas y los políticos, sin embargo, rara vez se encuentra en nuestro lugar (en la mayoría de promesas populistas). Nuestra forma de pensar está influenciada por la filosofía griega (especialmente por la enseñanza de Aristóteles y su lógica), mucho más de lo que pensamos. El pensamiento lógico facilita increíblemente el auge de la ciencia y la tecnología desde la Edad Media hasta hoy. Todos los equipos, sistemas de control y comunicación, y otros dispositivos digitales funcionan sobre la base de la lógica de dos valores.

La situación es, sin embargo, más compleja. En efecto, se fija en nuestro pensamiento racional, preguntas claras deben obtener respuestas claras - ya sea sí o no. Pero nuestro lenguaje actual y la forma de pensar difieren significativamente de las normas estrictamente inequívocas de la lógica matemática. Por ejemplo, tratar de analizar lo que está diciendo la frase de que nada es imposible. Con demasiada frecuencia usamos “difusa” y “seguro” palabras acerca, no estoy seguro, tal vez, aproximadamente, probablemente, supuestamente, es de suponer, en mi opinión, más o menos, casi, más bien no, básicamente, sí, a veces incluso el pintoresco casi exactamente. A veces es la indolencia en el pensamiento y la pobre cultura de expresarse. Podría ser posible incluso algo deliberado para “ocultar” el hecho, para evitar contar toda la verdad y, para dificultar su comprensión - esto es especialmente notable en el discurso de los abogados, diplomáticos, políticos y sus secretarios de prensa.

Declaración falsa, evaluación subjetiva

En nuestra visión, la interpretación de las percepciones y la evaluación posterior, sin saberlo, usamos nuestros propios “filtros y plantillas” que son individuales y

dependen de la experiencia pasada. En consecuencia, también juzgamos algo raro comentarios como “mis ojos están jugando trucos”, o “debo estar soñando” - pero es con frecuencia sólo nuestro error o mala interpretación de la experiencia de visión. Si nuestros conocimientos y opiniones son sesgados con la incertidumbre, es natural y correcto comunicarse con esa incertidumbre.

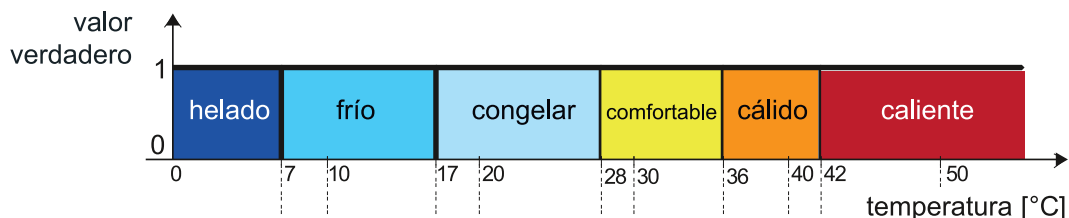


Fig. 6.1: Distinción de Sharp.

Otro problema se produce cuando se trata de evaluar datos exactos y explícitos. La imagen muestra un intento de diferenciar la información sobre la temperatura del agua desde un punto de vista subjetivo de una persona con la intención de tomar un baño. El límite entre las zonas evaluadas como más agradable y cálido se muestra aquí a 36 °C. Esta brusca transición parece ser natural. Posiblemente Podríamos discutir los valores de los límites de las zonas individuales porque cada uno juzga la temperatura de un modo distinto.

Fuzzy logic – parte matemática

En consecuencia, se ha creado un lote de conjuntos borrosos y la lógica difusa. El autor es Lotfi Zadeh, que publicó su primer artículo en los años cincuenta del siglo XX. Esto despertó un gran interés, se desarrolló rápidamente y paso a ser en gran medida temático, especialmente en sus campos de aplicación. Hay amplias monografías y libros escritos sobre este tema. La explicación general es demasiado complicada para que la lógica difusa pase a convertirse en un aparato de rutina para los programadores de PLC, que lo puedan utilizar y aplicar sus ventajas en su práctica.



La lógica es un campo de la ciencia que estudia los mecanismos del pensamiento humano y el razonamiento. Sus raíces se remontan a los filósofos de la antigua Grecia. En este sentido, el más popular es Aristóteles quien es considerado el fundador de la lógica de dos valores y la forma resultante de pensamiento asociada, que ha influido en la evolución de toda la civilización occidental (euro-americana). La lógica se convirtió en la base de las matemáticas y el pensamiento matemático en otros campos técnicos, la lógica matemática se independizó (y relativamente se hizo más sofisticada) de otras ramas de las matemáticas. Una parte de la lógica matemática es el álgebra de Boole, que ha encontrado su uso en la aplicación técnica.

La lógica tradicional es de dos valores y se ocupa de las declaraciones (variables lógicas) que tienen dos valores: verdadero - falso, lógico 1 - 0 lógico. Estados compuestos (funciones lógicas) se constituirán vinculando declaraciones lógicas fundamentales mediante conjunciones lógicas (por ejemplo, y, o, o, o bien - ni - ni, no es cierto que). El uso de ciertas reglas de la lógica matemática permite

determinar el valor de una declaración compuesta basada en la verdad o falsedad (valor) de las sub-declaraciones.

6.2 Fuentes de fuzzy logic

Conjuntos de números

No siempre tiene que ser un conjunto típico de sistemas, por ejemplo, el conjunto de las manzanas y las peras. En aplicaciones técnicas, estamos a menudo frente a conjuntos que son intervalos pertinentes sobre un eje. En los ejemplos anteriores, podemos encontrar, por ejemplo, varios conjuntos (intervalos) para evaluar la temperatura del agua, la temperatura del cojinete o la intensidad de sus vibraciones. Si el valor de las variables lingüísticas de entrada (por ejemplo, temperatura) pertenece a uno de los sistemas (por ejemplo, mayor), también es cierta la frase “la temperatura se aumenta.” Es más fácil hablar de series y composición en ellos que directamente de la veracidad y la sinceridad de las funciones de los estados de entrada - entradas.

Lógica multivalor y fuzzy logic

Una generalización natural de la lógica de dos valores la representa la lógica trivalente con los valores, por ejemplo, 0 (que significa falso), 0.5 (parcialmente cierto, tal vez, desconocido), y 1 (true); también existen otras lógicas con mayor número de niveles de la verdad. La variable lógica en la lógica difusa tiene un número infinito de valores en el intervalo cerrado $[0, 1]$; el número de valores está limitado durante la ejecución del programa y depende del método de interpretación numérica del valor de verdad.

Conjuntos Fuzzy

En la teoría de conjuntos difusos, a cada elemento se le asigna un grado de participación en el conjunto difuso (función de pertenencia) por un valor en el intervalo cerrado $[0, 1]$. Esta función se designa generalmente por el símbolo μ , junto a la cual el nombre del conjunto se escribe en subíndice, por ejemplo μ_A representa que el elemento pertenece al conjunto difuso A, μ_B representa que el elemento pertenece al conjunto difuso B, etc. μ_A

Pertenencia al conjunto fuzzy

Es común que un elemento del conjunto difuso “pertenece en parte a la serie y en parte no pertenece al conjunto” (con el número de miembros entre 0 y 1). La composición del elemento en el conjunto puede considerarse como difusa. El límite de un conjunto borroso es difuso y - lo que significa vago, nebuloso borrosa. Éste es también el origen de la palabra difuso (fuzzy). En contraste con los conjuntos clásicos, es posible (y común) para conjuntos difusos que un elemento pertenezca a dos o más conjuntos difusos con diferente grado de pertenencia al mismo tiempo. Por lo tanto, es posible en la lógica difusa reconciliar pacíficamente los conflictos como “o bien estoy en lo cierto, o tú tienes razón” diciendo “que los dos tenemos parte de razón”. De manera similar a los conjuntos clásicos, el sistema de operaciones de conjuntos se define también para conjuntos difusos: entre los fundamentales están las operaciones de

intersección borrosa, unión, y complemento, pero hay otras operaciones de conjuntos difusos, así. En consecuencia, existe una estrecha relación entre las operaciones de ajuste y operaciones lógicas.

Sistemas compuestos y fuzzy logic

En aplicaciones técnicas de los sistemas difusos a menudo (casi siempre) encontramos sistemas mixtos, que tienen las variables de entrada en forma de variables numéricas (variables lingüísticas), y variables lógicas (términos de lenguaje de entradas) que están definidas por encima de esas variables. Mientras que las transiciones lógicas de dos valores de las funciones lógicas de términos adyacentes son bruscos (pasos), la lógica difusa puede ser gradual y las funciones lógicas se pueden solapar. Por ejemplo, la temperatura del agua de 35 °C se puede evaluar como parcialmente agradable y parcialmente ya caliente, de manera similar, la temperatura del agua de 37 °C se puede evaluar como parcialmente caliente y todavía parcialmente agradable.

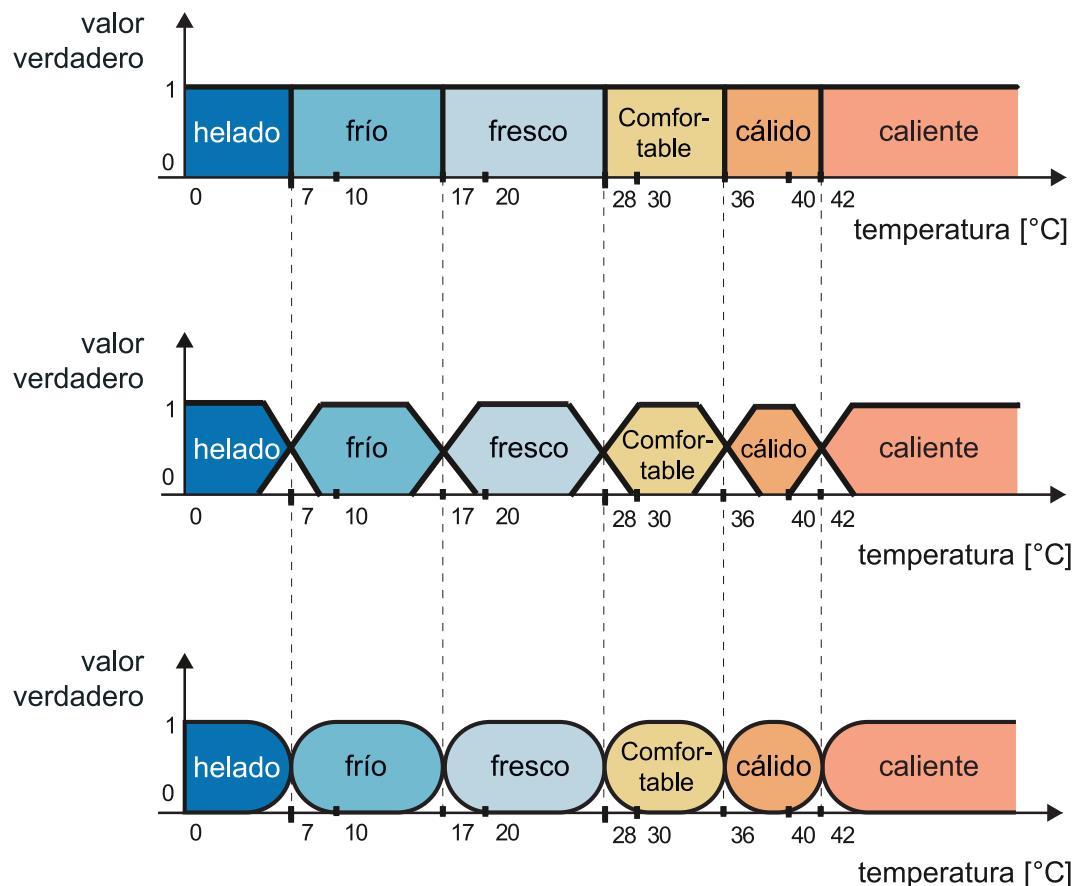


Fig. 6.2: Posible comportamiento de funciones lógicas

Sistemas Fuzzy para diagnósticos

Por ejemplo, cuando la solución de problemas de diagnóstico podemos generalizar el procedimiento descrito en el final del capítulo 5. En lugar de dos valores de los Términos ahora vamos a trabajar con términos difusos que son variables difusas y

toman valores entre el intervalo $[0, 1]$. Las funciones lógicas para la intensidad de la vibración y la temperatura pueden tener una forma de la función fraccional (trapezoides y rampas) y se superponen para los términos adyacentes.

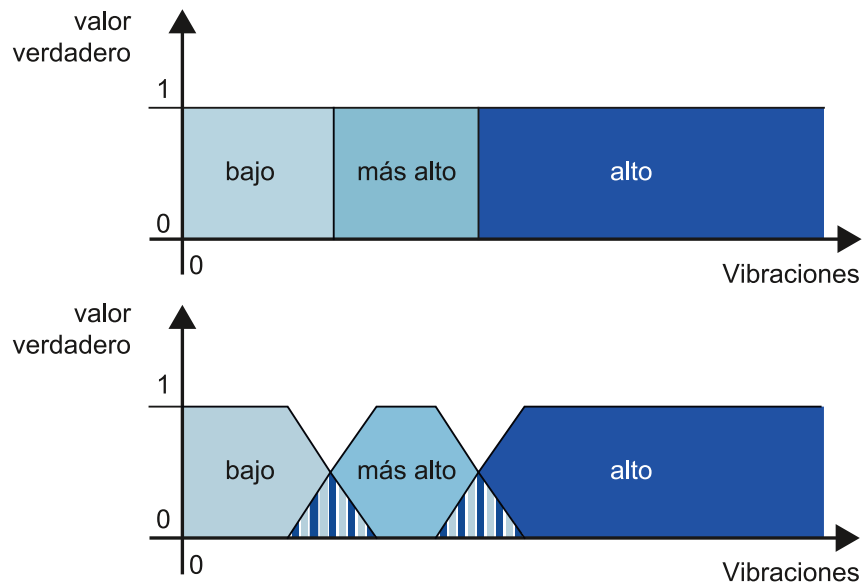


Fig. 6.3: Posible comportamiento de funciones lógicas de tres términos.

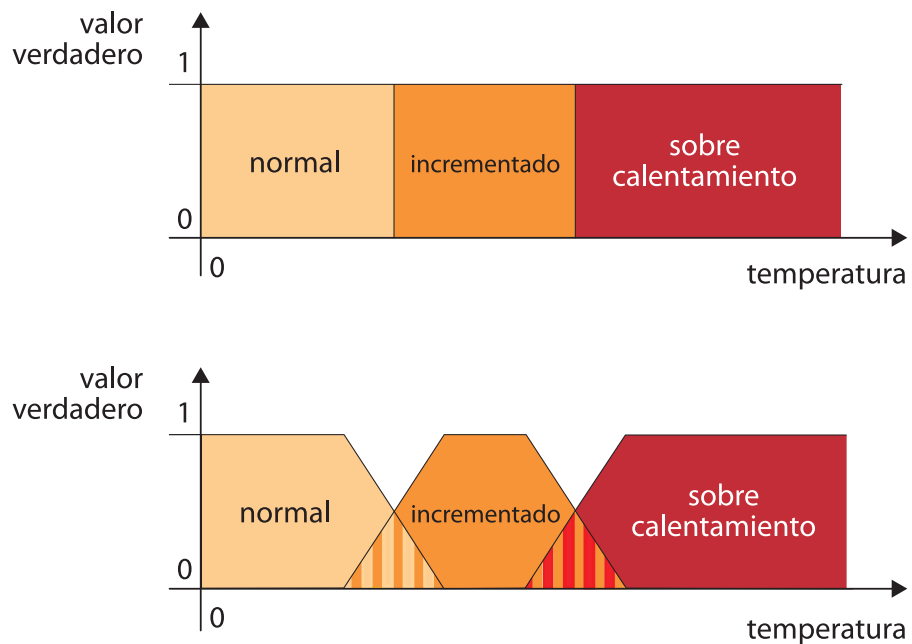


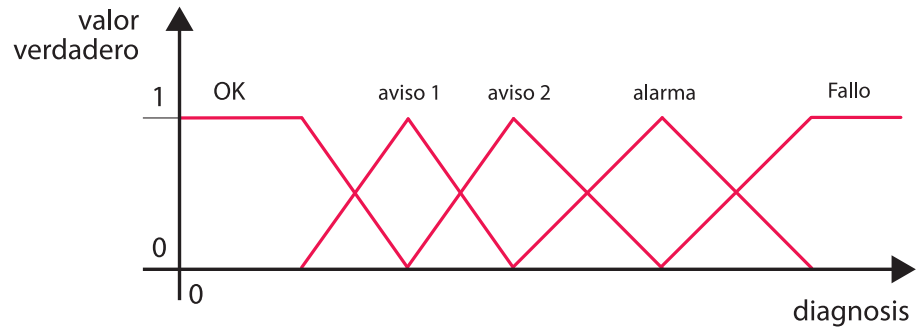
Fig. 6.4: Posible comportamiento de funciones lógicas de tres términos.

Términos de salida fuzzy

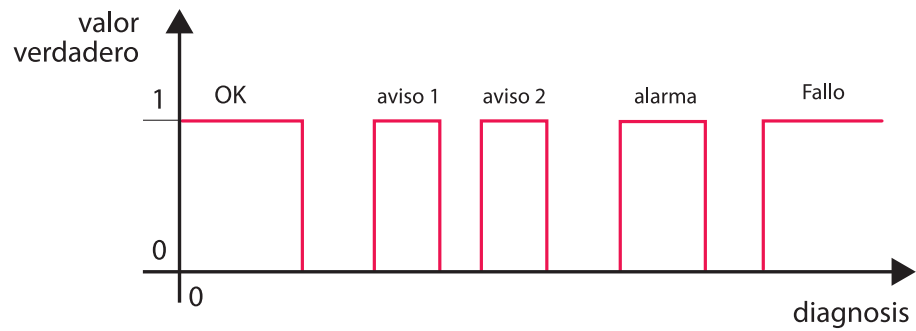
El resultado de la evaluación es por lo general un grupo de variables difusas - términos de salida, por ejemplo, con el significado de Aceptar, warning1, Warning2, alarmas, mal funcionamiento. Sin embargo, podemos desear el resultado como un valor de una sola función, continua (numérico) - la función de lenguaje de salida tiene el significado de diagnóstico. Su valor puede

determinarse a partir de los valores lógicos de los términos de salida. Las funciones lógicas de la dichos términos pueden tener una forma de la función fraccional (trapezios o triángulos), posiblemente, rectángulos, o pulsos estrechos (singletons).

a)



b)



c)

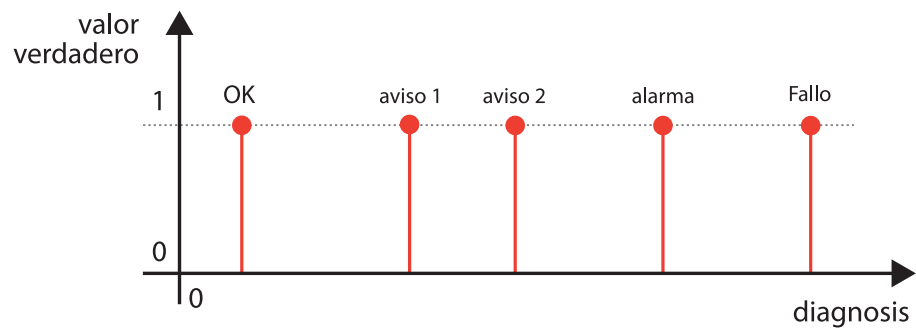


Fig. 6.5: Posible comportamiento de funciones lógicas de cinco términos.

6.3 Fuzzy logic como la generalización de la lógica binaria

Introducción

El contenido de la simplificación que estamos haciendo en este módulo consiste en considerar la lógica difusa para las variables de varios valores como la generalización de la lógica binaria. Vamos a ilustrar el avance en el ejemplo de las funciones lógicas simétricas que se describieron para la lógica binaria con anterioridad.

6.4 Umbral y función mayoría en lógica binaria

En los libros de diseño de sistemas lógicos, las funciones de mayoría y de umbral se están utilizando como ejemplos ilustrativos para mostrar el proceso de diseño y la minimización de las expresiones lógicas. Su valor lógico depende del número de operandos verdaderos y mantiene su valor para un número dado de todas las combinaciones de operandos - si éstas se encuentran entre las funciones simétricas. Las Funciones umbral (“al menos k de n ” - denotado como $f_{k,n}$) son ciertas si al menos k (k o más) de los operandos n son iguales a uno. El número k se llama umbral. Las funciones de mayoría son un caso especial de las funciones de umbral. Se definen para un número impar de operandos y son verdaderas si hay más la mitad (la mayoría) de los operandos verdaderos.

6.5 Términos lógicos

Para las funciones de “3-mayoritarios”, escribimos $m_3 = f_{2_3}$, para la función de “5-mayoritarios”, tendremos $m_5 = f_{3_5}$. Por lo general la expresión lógica minimizada para un umbral k contiene la suma de productos de los miembros con longitud k , en la que todas las combinaciones de las n variables en la condición fundamental (no hay negaciones) están cubiertas en una secuencia. Por lo tanto, se tiene por ejemplo:

$$f_{3_3}(a, b, c) = abc$$

$$f_{2_3}(a, b, c) = m_3(a, b, c) = ab + ac + bc$$

$$f_{1_3}(a, b, c) = a + b + c$$

$$f_{4_4}(a, b, c, d) = abcd$$

$$f_{3_4}(a, b, c, d) = abc + abd + acd + bcd$$

$$f_{2_4}(a, b, c, d) = ab + ac + ad + bc + bd + cd$$

$$f_{1_4}(a, b, c, d) = a + b + c + d$$

6.6 Conexión con AND y OR

Puede verse que las funciones $f_{3_3}(a, b, c) = abc$ y $f_{4_4}(a, b, c, d) = abcd$ son iguales a los productos lógicos AND (aplica generalmente para f_{n_n}) y las funciones $f_{1_3}(a, b, c) = a + b + c$ y $f_{1_4}(a, b, c, d) = a + b + c + d$ son la suma lógica OR (aplica en general para f_{1_n}).

6.7 Uso en técnica de seguridad

Las funciones de umbral y mayoría a menudo se aplican en soluciones de sistemas de alarma contra incendios cuando se utilizan sensores de fuego (detectores de incendios) con salida binaria. Éstos se utilizan en número redundante y las decisiones resultantes sobre el riesgo de incendio se implementan como funciones de umbral. Por lo tanto, los sensores están respaldados hasta un cierto punto, y la solución es resistente al mal funcionamiento de un sensor. También se reduce la aparición de falsas alarmas ante mal funcionamiento de cualquiera de los sensores.

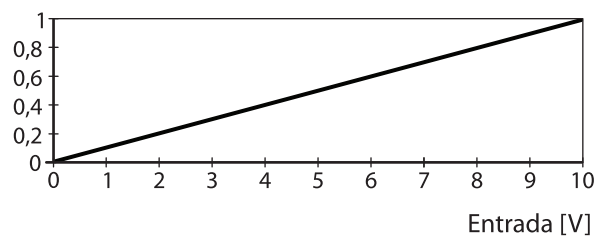
6.8 Motivos de la generalización de la lógica fuzzy

En los ejemplos anteriores se han mostrado ejemplos de aplicación de la función de mayoría y de las funciones de umbral. Ahora supongamos que el objetivo es asegurar el objeto de una manera similar, pero con la utilización de los sensores, que proporcionan salida continua, por ejemplo en el intervalo de 0 V a 10 V, de modo que el valor cero corresponde a una condición de seguridad (riesgo de fuego es cero) y el valor de 10 V corresponde a la certeza absoluta de fuego (riesgo de incendio es uno).

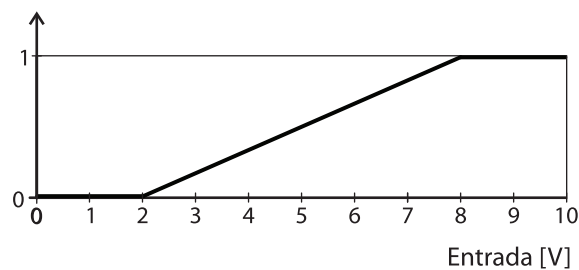
6.9 Procedimiento de generalización Fuzzy

Hay una posible solución mediante el uso de la lógica difusa. Las variables lógicas binarias serán sustituidos por variables difusas, que pueden tomar cualquier valor entre cero y uno, y la verdad de la misma representa el grado de riesgo de incendio. Además, se introducirá este tipo de operaciones lógicas que generalizan los operadores fundamentales lógicos AND, OR y NOT. Cada sensor corresponde a una variable difusa. La asignación de valor lógico en el valor de la señal de tensión recibida desde el sensor (el caso más simple de fusificación) depende de nuestro juicio - podría ser una mera normalización lineal del rango, o una dependencia lineal en el área activa con limitación en ambos lados del rango, o una dependencia no lineal general.

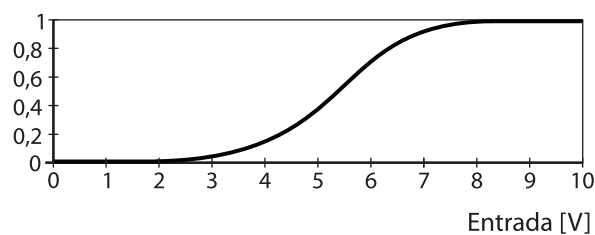
a)



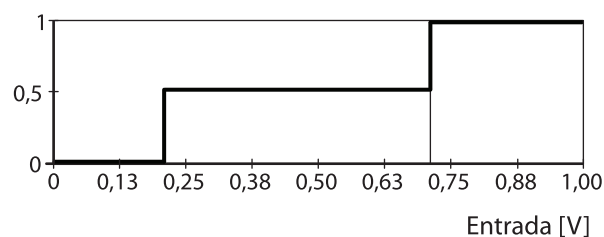
b)



c)



d)



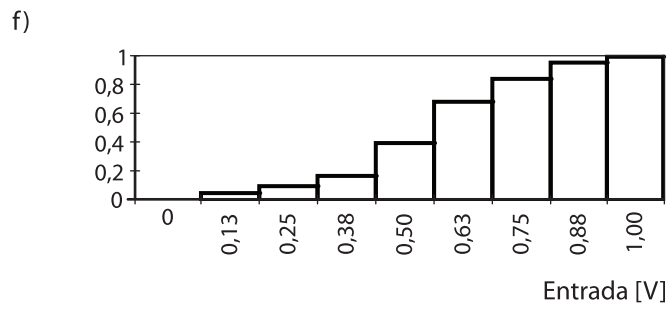
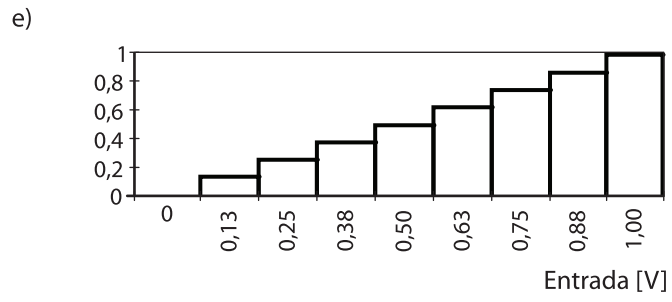


Fig. 6.6: Posibles comportamientos de la función lógica para sensores continuos de fuego

6.10 Generalización para términos lógicos

Para la evaluación de los niveles de alarma podemos utilizar las mismas expresiones lógicas que en el capítulo 5, generalizadas para lógica difusa. Las expresiones son formalmente idénticas, sólo hay que reemplazar los operadores del álgebra de Boole por los operadores generalizados de la lógica difusa.

6.11 Generalización Fuzzy de AND, OR, NOT

Hay infinidad de maneras para la generalización de los operadores booleanos AND, OR y NOT para lógica multi valor y lógica difusa (la generalización fuzzy es también adecuada para lógicas multi-valorados). En cuanto a las combinaciones de los valores límites de los intervalos de valores booleanos (0 a 1), todos los operadores generalizados se comportan como operadores booleanos AND, OR y NOT. Los valores lógicos dentro de los intervalos $[0, 1]$ se asignan “algunos” valores lógicos de nuevo desde dentro del intervalo $[0, 1]$. Simplificando, los operadores generalizados realizan interpolación entre los valores booleanos 0 y 1. Se puede discutir que operadores son más adecuados para el propósito particular y los que proporcionan un mejor proceso de interpolación (más suave o menos complicada). Ninguno de los operadores descritos en este documento es inadecuado (por lo que pueden ser adecuados). A veces se usan otros símbolos (por ejemplo, ANF, ORF, y NOF) para distinguirlos de los operadores booleanos, sin embargo, la notación tradicional, que se utiliza también en la norma IEC 61131-7 se aplica aquí y se especifica el tipo de operador por un índice.

6.12 Generalización fuzzy de negación – fuzzy NOT

Como una generalización de la negación fuzzy, el complemento a uno es comúnmente utilizado (en aplicaciones casi exclusivamente)

$$\text{NOT } a = 1 - a$$

Otras nomenclaturas, por ejemplo, la clase Sugeno de complementos

$$\text{NOT } \lambda a = (1 - a)/(1 - \lambda a) \text{ para el parámetro } \lambda \text{ en el intervalo } (-1, \infty)$$

O negaciones clase Yager

$$\text{NOT } w a = (1 - aw)^{1/w}$$

6.13 Generalización fuzzy de AND y OR

Como generalización de producto lógico AND y suma lógica OR, las más utilizadas son las operaciones de mínimo y máximo (operaciones de Gödel o de Zadeh).

$$\text{AND}_m(a, b) = \min(a, b)$$

$$\text{OR}_m(a, b) = \max(a, b),$$

Operaciones de probabilidad (operaciones de Goguen algebraicas)

$$\text{AND}_a(a, b) = ab$$

$$\text{OR}_a(a, b) = a + b - ab$$

Y operaciones de Łukasiewicz (operaciones de Giles, diferencias finitas y suma – Fig. 8.4)

$$\text{AND}_b(a, b) = \max(0, a + b - 1) \dots \text{la expresión } a + b - 1 \text{ limitada por abajo por } 0$$

$$\text{OR}_b(a, b) = \min(a + b, 1) \dots \text{la expresión } a + b \text{ con límite superior } 1.$$

El comportamiento de funciones de operadores generalizados para dos variables generalmente se visualiza como un diagrama en tres dimensiones. Se pueden entender como mapas lógicos generalizados (K-maps) mostrados en el espacio, donde las esquinas del cuadro base representan los valores asignados a los límites (Booleanos) de los operandos 0 y 1 por los operandos lógicos tradicionales.

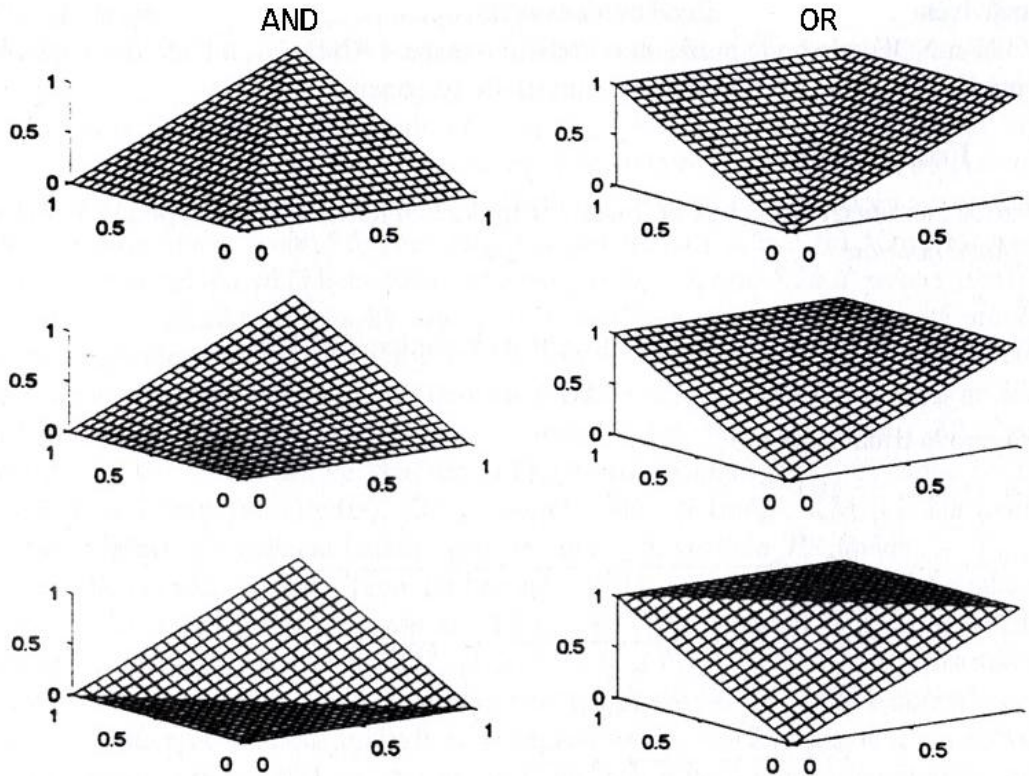


Fig. 6.7: Gráficos lógicos de dos operandos

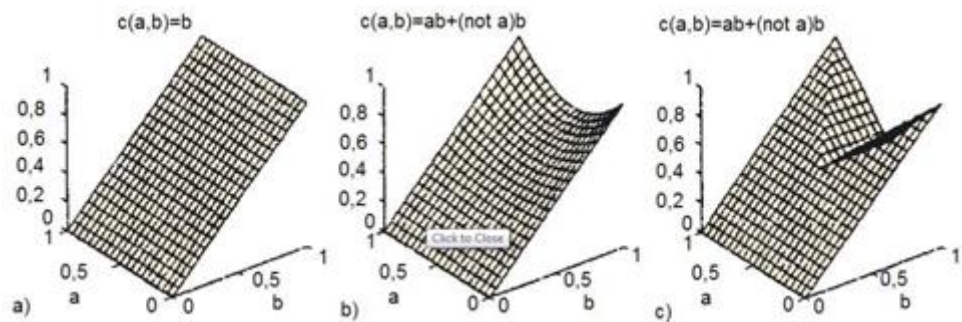


Fig. 6.8: Demostración de las diferencias entre funciones minimizadas



Ejemplo 6.1

Demos un ejemplo ilustrativo con los valores lógicos de los operandos $a = 0.3$ y $b = 0.8$. Se cumple para las operaciones de máximo y mínimo:

$a \text{ AND}_m b = 0.3$ (el menor de los dos), $a \text{ OR}_m b = 0.8$ (el mayor de los dos)

para operaciones de probabilidad:

$a \text{ AND}_a b = 0.3 * 0.8 = 0.24$ $a \text{ OR}_a b = 0.3 + 0.8 - 0.24 = 0,86$

y para operaciones de Łukasiewicz:

$a \text{ AND}_b b = \max (0, 0.3 + 0.8 - 1) = \text{el mayor de } (0 \text{ y } 0.1) = 0.1$

$$a \text{ OR } b = \min(0.3 + 0.8, 1) = \text{el menor de } (1.1 \text{ and } 1) = 1$$

Se puede observar que las siguientes desigualdades son válidas para los resultados de los operadores lógicos generalizados (no sólo para los ejemplos mencionados anteriormente, en general):

$$\text{AND}_b < \text{AND}_a < \text{AND}_m$$

$$\text{OR}_m < \text{OR}_a < \text{OR}_b$$

6.14 Satisfacer mínimo y máximo

Su uso más frecuente son las operaciones de mínimo y máximo. Su cálculo no es exigente y tiene ventajas adicionales. La mayor parte de las reglas del álgebra de Boole se mantienen (todas las reglas, excepto la regla del tercero excluido) y por lo general confirman nuestra comprensión intuitiva de problemas lógicos.

6.15 Sistema de diagnóstico Fuzzy – ejemplo

Supongamos que se requiere implementar el programa de diagnóstico de rodamientos mediante la evaluación de los datos medidos de temperatura y vibraciones. Considere la posibilidad de la misma tarea y las mismas reglas (expresión lógica) como el ejemplo de la lógica binaria, sólo con la generalización de la lógica difusa.

6.16 Determinación de los términos de entrada verity – fusificación (fusificación)

Tendremos en cuenta que las funciones lógicas de las condiciones de entrada de intensidad de vibración y de temperatura tienen la forma de la función fraccional (trapezios y rampas). La determinación de los valores lógicos de los términos de entrada sobre la base de los valores de la intensidad de vibración y temperatura se llama fusificación.

6.17 Numeración verdadera - inferencia

Para el ejemplo, hemos elegido de nuevo cinco niveles de diagnóstico, cada uno de los cuales está representado por una variable lógica fuzzy separada - términos lingüísticos de salida: OK, warning1, Warning2, alarma, mal funcionamiento. Podemos evaluar sus valores lógicos utilizando un conjunto de expresiones lógicas (comandos de asignación) generalizados de la lógica difusa. Para utilizar los comandos condicionales IF – THEN, sería necesario estudiar la generalización de la función de implicación y normas derivadas, por lo que no se utilizan en este documento.

OK := v_baja & normal;

warning1 := v_baja & mayor OR v_mayor & normal;

warning2 := v_baja & sobrecalentamiento OR v_mayor & mayor OR v_alta & normal;

alarm := v_mayor & sobrecalentamiento OR v_alta & mayor;

malfunction := v_alta & sobrecalentamiento;

Se pueden ajustar las reglas en una forma matricial (mapa) para una mayor claridad.

		vibraciones		
		bajo	más alto	alto
temperatura	normal	OK	aviso 1	aviso 2
	incrementado	aviso 1	aviso 2	alarma
	sobre calentamiento	aviso 2	alarma	fallo

Fig. 6.10: Matriz de ajuste de reglas.

6.18 Numeración de resultado con valor simple - defusificación

Tras la evaluación de las expresiones, se puede producir una situación en la que varios términos de salida (hasta cuatro) sean distintos de cero, al mismo tiempo, por lo que el resultado es bastante confuso y multivalor. Por lo tanto, es práctico convertir la combinación de los valores de términos de una sola variable que comprende la información general sobre el diagnóstico resultante, por ejemplo, con el significado `risk_of_malfunction` o diagnóstico. Esta operación es un problema opuesto a la fusificación, por lo que se llama defusificación. Los cinco términos de salida pueden interpretarse por lo tanto como un grupo de funciones lógicas sobre el idioma de salida de las variables de diagnóstico.

6.19 Defusificación

Mediante las reglas de enumeración generalmente obtenemos varias variables lógicas de salida (términos de salida), cuya verdad es ser distintas de cero. Cada conclusión lógica tiene diferentes verdades como es habitual en la lógica difusa, pero la misma situación se da en las conclusiones de varios expertos consultados sobre el mismo problema. Con un conjunto de resultados multivalentes (a veces también contradictorios) es difícil trabajar. Esa es la razón por la cual es necesario obtener resultados únicos - un valor concreto para cada variable del lenguaje de salida, por ejemplo, el “Diagnóstico” de una situación de rodamiento (“el riesgo de retención de rodamiento es de 38”) o el valor de la acción provocada por el regulador fuzzy (“abrir la tapa al 27%”, “tensión de engranaje = 5,6 V”, “válvula ligeramente abierta por un impulso de duración 3,8 s”). Al procedimiento para obtener un resultado único (un punto) de la serie de conclusiones lógicas difusas multivalentes se llama defusificación.

6.20 Términos de salida

La defusificación puede también considerarse como lo contrario de fusificación. Definimos funciones lógicas de términos individuales por encima de las variables lingüísticas de salida (por ejemplo, en el sentido de soportar un riesgo, fijar un voltaje de actuación, regulación o desplazamiento de una válvula, el tiempo de duración de la acción). Estos términos pueden tener formas similares con entradas de definición de términos de entrada - triángulo habitual, trapecio o curvas suaves.

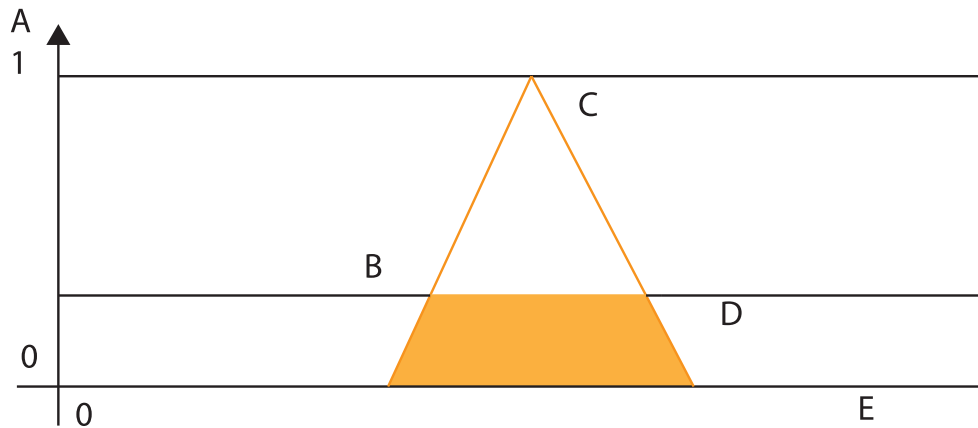
6.21 Proceso de defusificación sin implicaciones

En la literatura se identifica usualmente un proceso de defuzzificación con funciones de implicación (algunas de las muchas posibilidades de la generalización difusa). La interpretación es complicada y en la práctica se realizan variantes simplificadas. En este texto definiremos el proceso sin entrar en su justificación teórica.

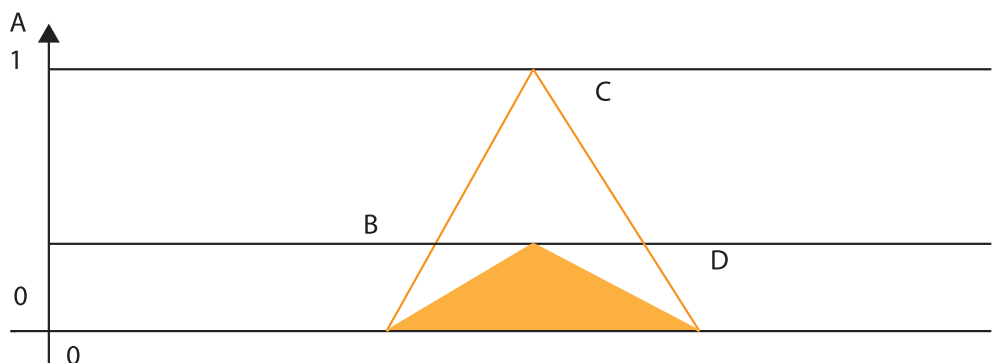
OR datos intermedios – área unida

Vamos a hacer la operación descrita para cada término (para los términos con valor verdadero distinto de cero será suficiente) y los subresultados para cada término se suman lógicamente. La suma lógica OR se interpreta como función máxima. Este proceso es posible verlo gráficamente la unificación bajo el término “deformado” (“cultivado” o “comprimido”).

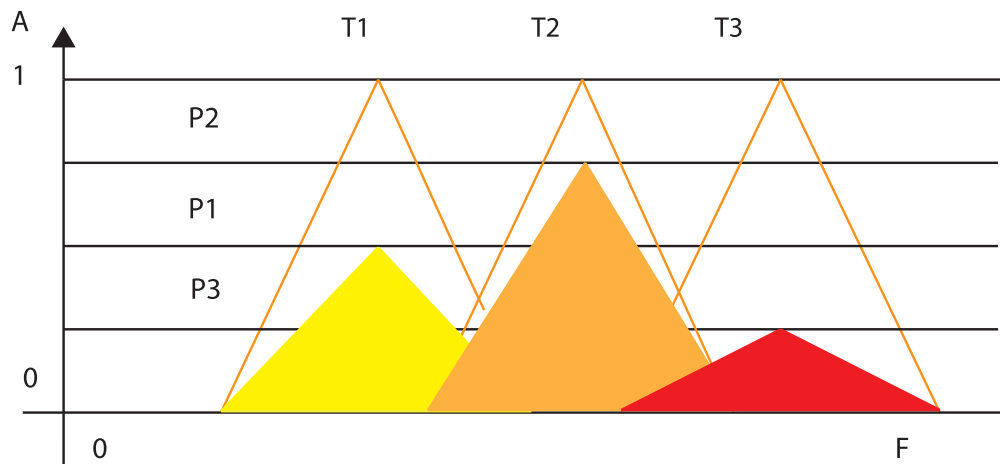
a)



b)



c)



d)

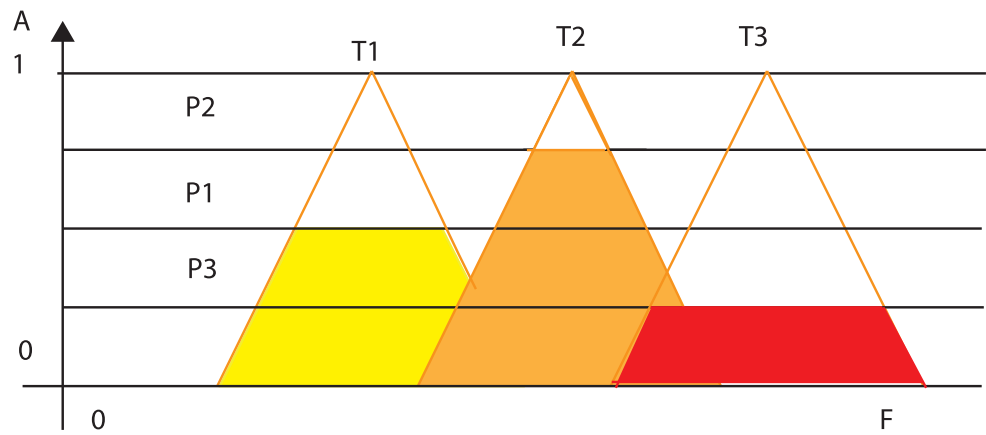


Fig. 6.11: Veracidad del producto lógico AND del término curso. A – veracidad; B – condición de veracidad; C – término de salida; T1 – término 1; T2 – término 2; T3 – término 3; D – serie de resultado fuzzy; E – variable de lenguaje de salida; F – conjunto resultante; P1 – condición 1; P2 – condición 2; P3 – condición 3

6.22 Método centroide – CoG

Para la evaluación final es posible utilizar varios métodos. Si utilizamos el método centroide CoG (centro de gravedad) se calcula el centroide de área unida. El resultado es su eje en dirección horizontal.

6.23 Método de bisección – CoA

Si utilizamos el método de bisección CoA (Centro de Area) el resultado es el eje de la sección vertical que divide el área final en dos partes de igual tamaño.

6.24 Método del máximo – LM, RM

En el uso del método LM (máximo izquierdo) el resultado es el máximo observado desde la izquierda. EL método RM (máximo derecho) da como resultado el valor máximo observado desde la derecha. Si el máximo no es fácilmente detectable es posible utilizar el método de la máxima media, donde el resultado es el punto medio de una línea. Determinar el resultado como el valor medio sería arriesgado a partir de una situación de dos o más etapas consistentes. También podemos utilizar otro método.

6.25 Método centroide Singleton – CoGS

El método CoGS (Centro de Gravedad de Singleton) se utiliza a menudo para pequeñas necesidades de computación. Su resultado es el eje horizontal de centroides singleton. Singleton limita los valores verdaderos que corresponden a los términos de salida (se acorta el conjunto de tangibles) y se calcula la componente horizontal del eje centroide. Para este eje se aplica la relación simple que tiene como analogía en la mecánica la balanza en el cálculo del trabajo de dos brazos:

$$x_{tez} = \frac{\sum x_i y_i}{\sum y_i}$$

Donde es x_{tez} es el valor final – el eje centroide en la dirección de eje horizontal (a lo largo del brazo), x_i son situaciones de cada singleton y y_i son los valores correspondientes a los términos de salida verdaderos (“salidas altas”).

6.26 Analogía del promedio ponderado

Desde otro punto de vista podemos comprender el cálculo de centroides singleton como la media ponderada estandarizada en situaciones donde los valores singletons son el sumatorio (x_i) y luego se multiplican por las probabilidades correspondientes (y_i) como un coeficiente de ponderación y el resultado se normaliza por el coeficiente de suma ponderada $\sum y_i$ - es decir, la suma de todos los términos verdaderos de salida (peso combinado de todos). La premisa implícita es la solicitud de veracidad o suma no-cero. Los métodos centroide y de bisección del área unida se ponderan por generalización promedio.

6.27 Sistema fuzzy Mamdani

Los dos ejemplos mencionados hasta ahora no son iguales, sin embargo, tienen características comunes e ilustran un proceso común durante la ejecución del programa de diferentes tipos de sistemas difusos. Dos etapas pueden distinguirse en el mismo:

- fusificación - en esta etapa, el valor numérico de la variable de entrada se convierte a valores lógicos de una o más variables de entrada difusas - términos difusos de entrada,
- evaluación de los valores lógicos, la inferencia (lógica) - conjunto de reglas o expresiones lógicas que describen las relaciones lógicas entre la entrada y las condiciones de salida,
- defusificación – proceso opuesto al fusificación – a los valores lógicos del grupo de términos de salida definidos anteriormente como variables de salida se le asigna un único valor (un punto) de la variable de salida.

Un proceso similar se repite independientemente del hecho, si el sistema difuso implementa un control, decisión, o la optimización de un algoritmo, un regulador, un sistema de diagnóstico o de control, un modelo, un sistema experto, u otra función. El sistema descrito se refiere a veces como sistema de Mamdani o autómata de Mandani.

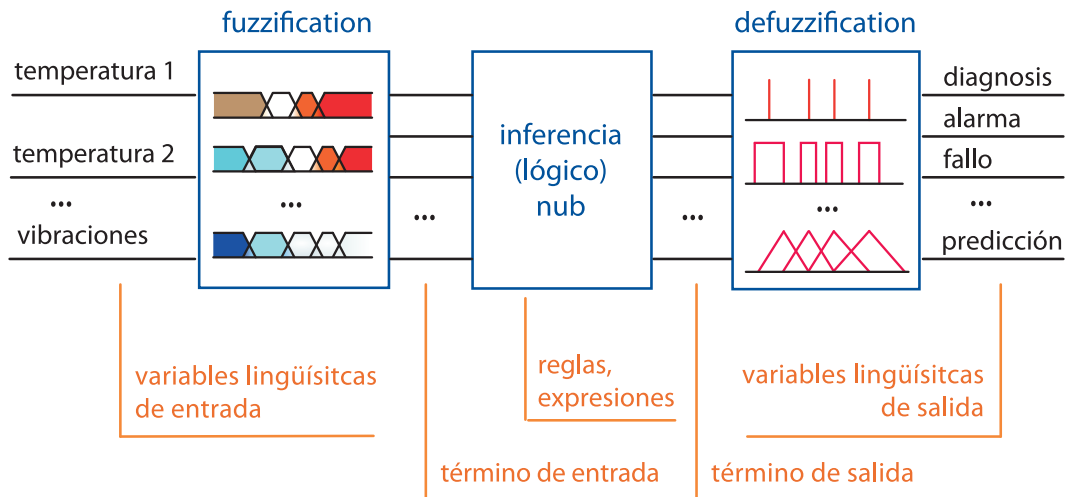


Fig. 6.12: Diagrama de un típico proceso durante la implantación del sistema Mamdani.

6.28 Ajuste de sistema fuzzy

En cuanto a la complejidad del sistema difuso, éste ejerce sus funciones inmediatamente después de ser programado. Es necesaria una fase de ajuste, tuning o sintonización. No es necesario cambiar todos los parámetros que pueden influir en el comportamiento del sistema y las formas de su característica de transferencia. Simplemente se trata de un ajuste “sólo” las formas y posiciones de entradas de función lógica y las condiciones de salida, los otros parámetros son fijos (si no se pone de manifiesto una mala selección).

6.29 Descripción del sistema

Vamos a ilustrar el procedimiento de los ejemplos simples de sistema difuso tipo Mamdani con una y dos variables lingüísticas de entrada y con una variable de idioma de salida. Por encima de cada variable se definen 7 términos. Cinco términos de entrada tienen forma de triángulo, los otros dos tienen forma de rampa ascendente y descendente. Los términos de salida tienen forma de rectángulos estrechos que imitan singletons. El núcleo del sistema lógico está formado por un simple conjunto de reglas que transmiten a los términos de entrada verdaderos a la salida. Si usa la función del mínimo para el producto lógico, para la suma lógica OR se utilice la función máxima. La defusificación se consigue mediante la aplicación del método de centroide singletons. Para su realización se usa el entorno informático MATLAB.

6.30 Colocación uniforme de todos los términos

Al principio vamos a mostrar un ejemplo donde las entradas y salidas son términos colocados uniformemente. Para el sistema de una sola dimensión es evidente que la característica de transferencia está en la línea media de un curso casi rectilíneo que se redondea sobre los dos extremos y cruzando la sección horizontal de saturación por efecto de borde. Se puede considerar al sistema Fuzzy como lineal con saturación no lineal - lo que es habitual para la mayoría de los sistemas reales.

La forma de convertir las características para un sistema de dos dimensiones en la parte media está como en un plano inclinado, sólo en los límites son evidentes las no linealidades como la saturación.

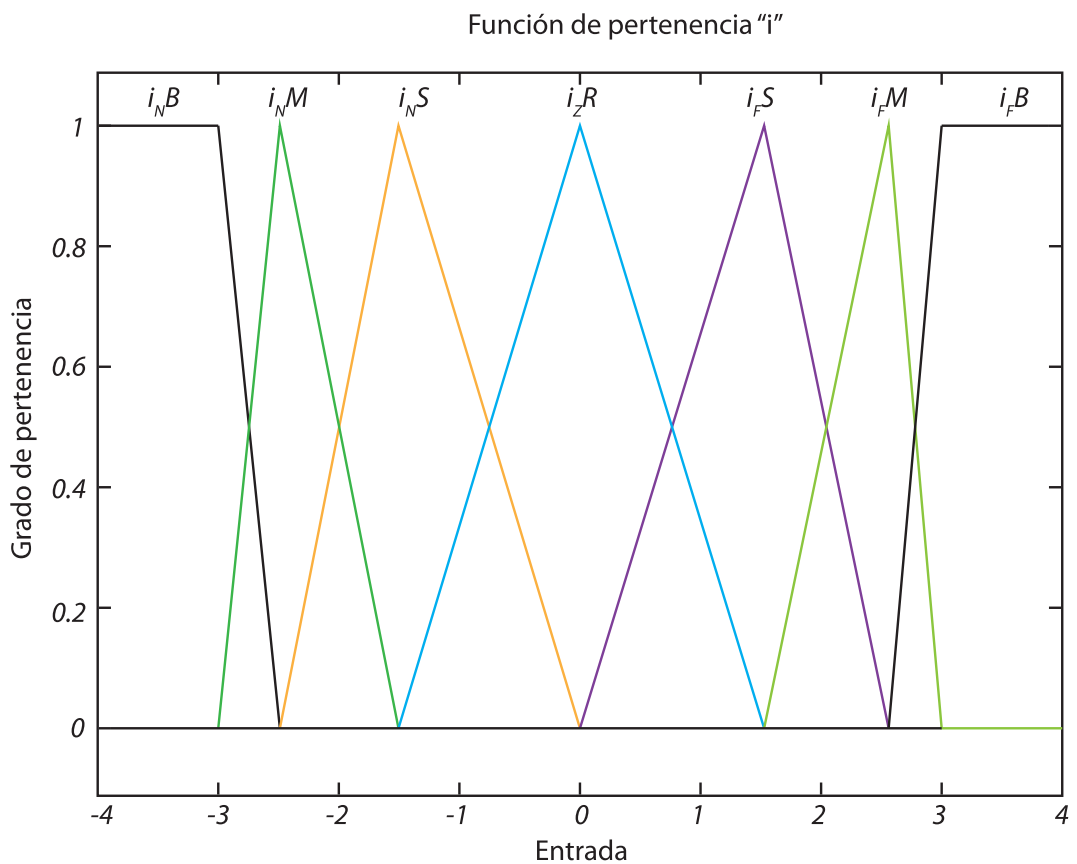


Fig. 6.13: Posible comportamiento de la función lógica para el control de un sensor de fuego

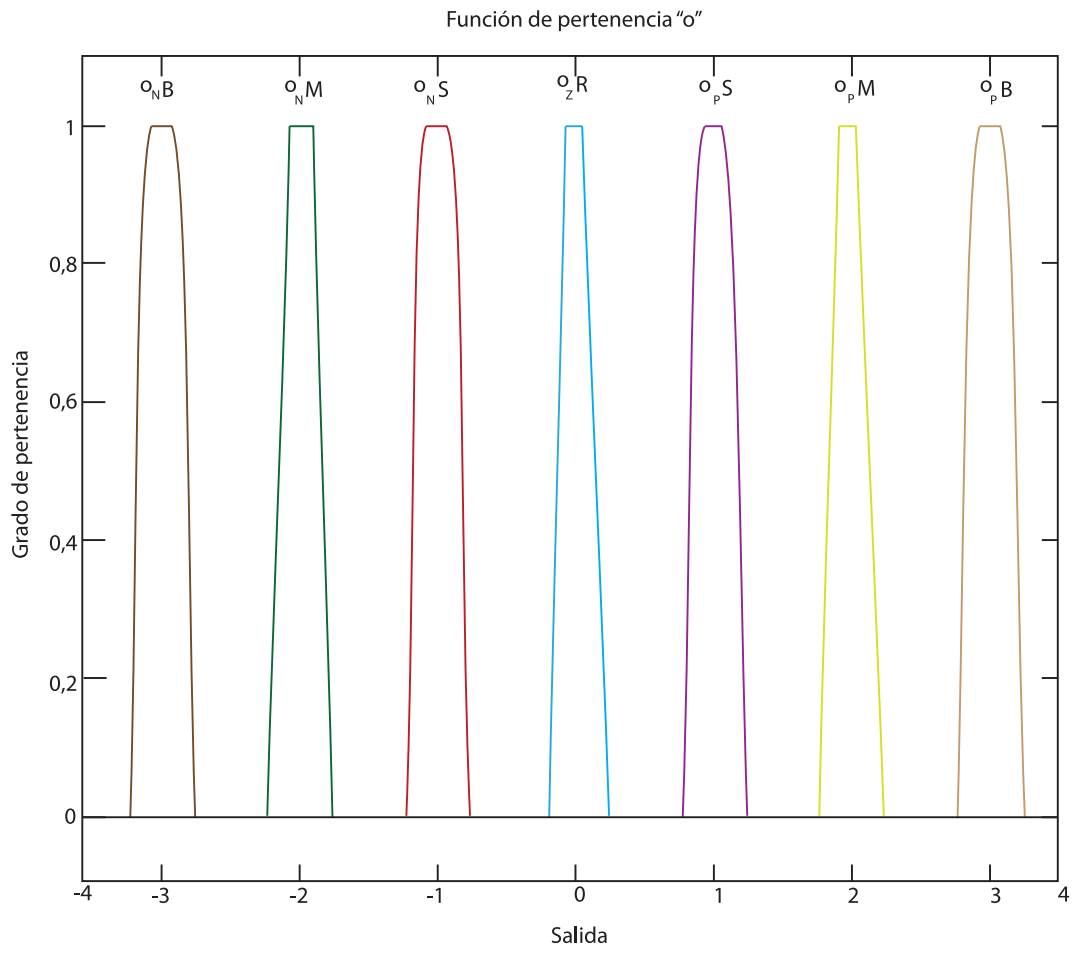


Fig. 6.14: Términos de salida distribuidos uniformemente

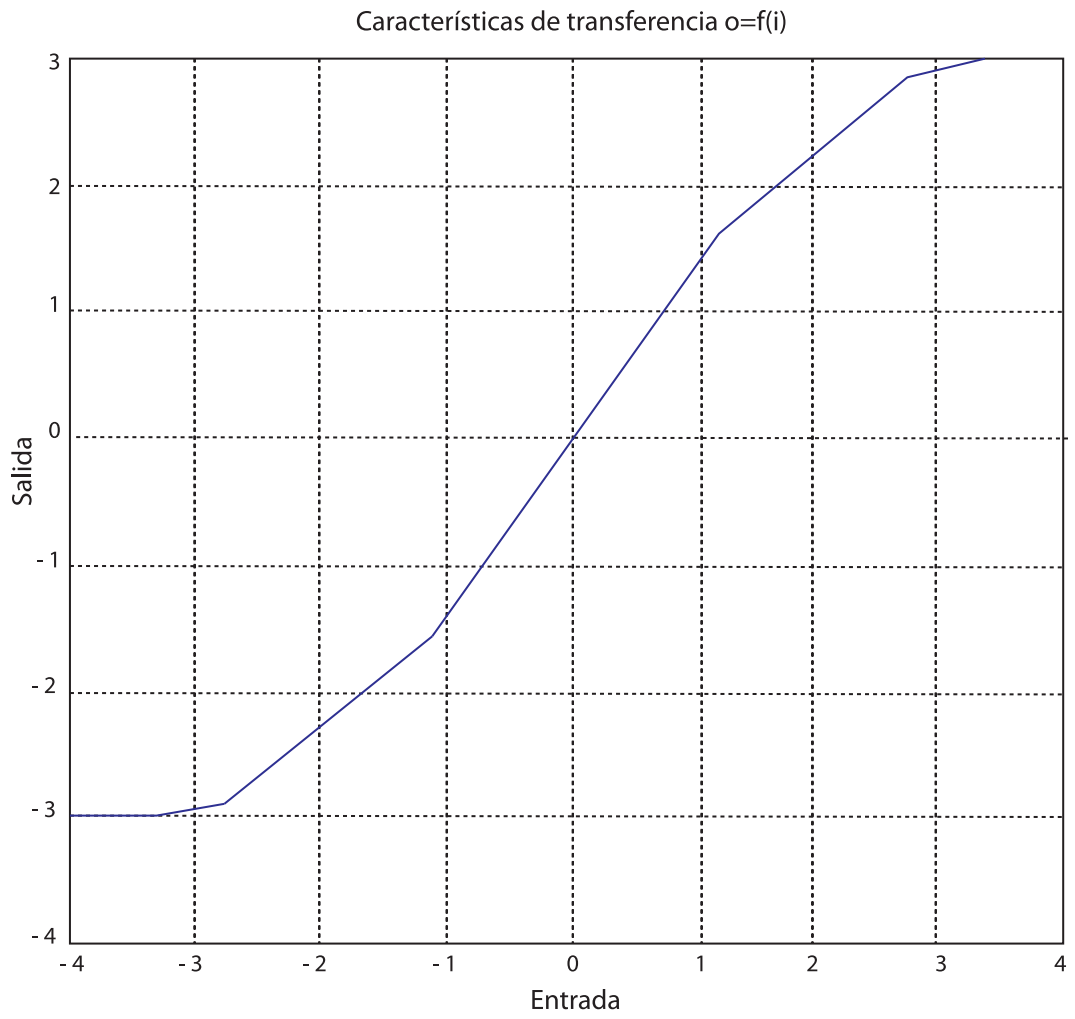


Fig. 6.15: Características de conversión para un sistema de unidimensional

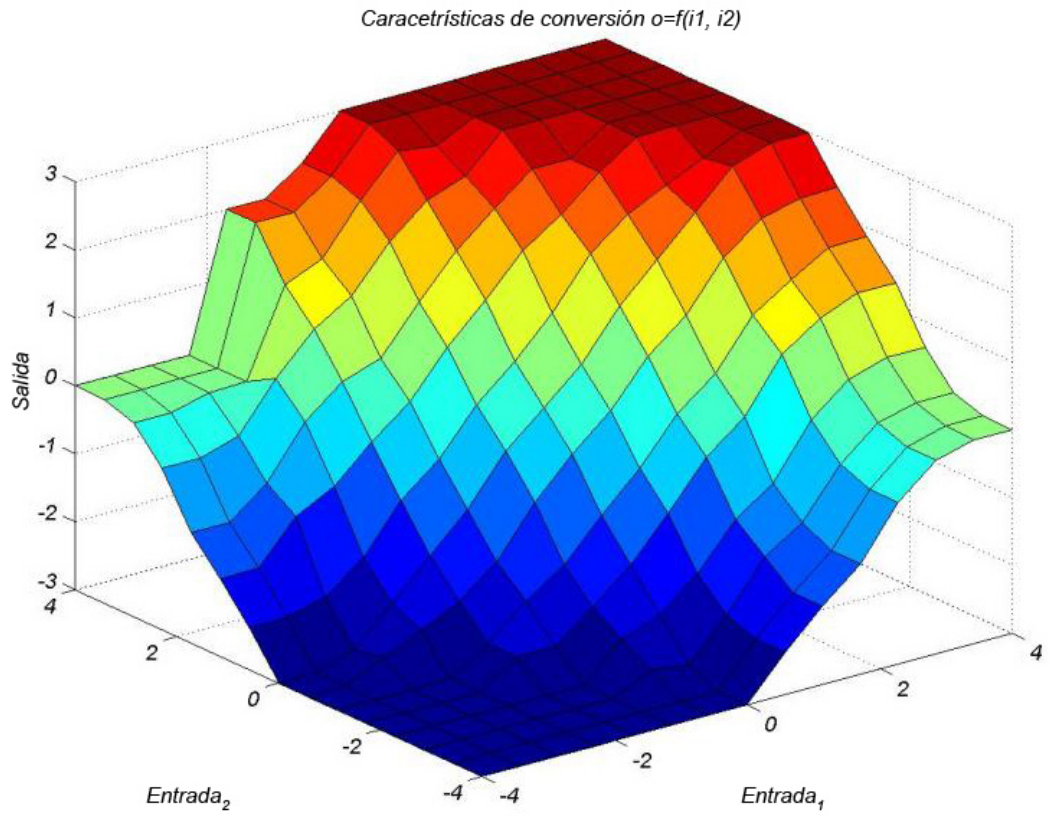


Fig. 6.16: Característica de conversión para un sistema de dos dimensiones

6.31 Términos consolidados de entrada

Como siguiente ejemplo mostraremos un sistema difuso cuyos términos de salida están más estrechamente distribuidos en el centro que en los límites. Los términos de salida permanecen igualmente distribuidos. La característica de conversión tiene la forma de la letra “S” y en el centro representa una inclinación marcadamente mayor (espesor) que en los bordes. Del mismo modo que para el sistema de dos dimensiones la zona de la característica de conversión presenta mayor inclinación en el centro que en los límites.

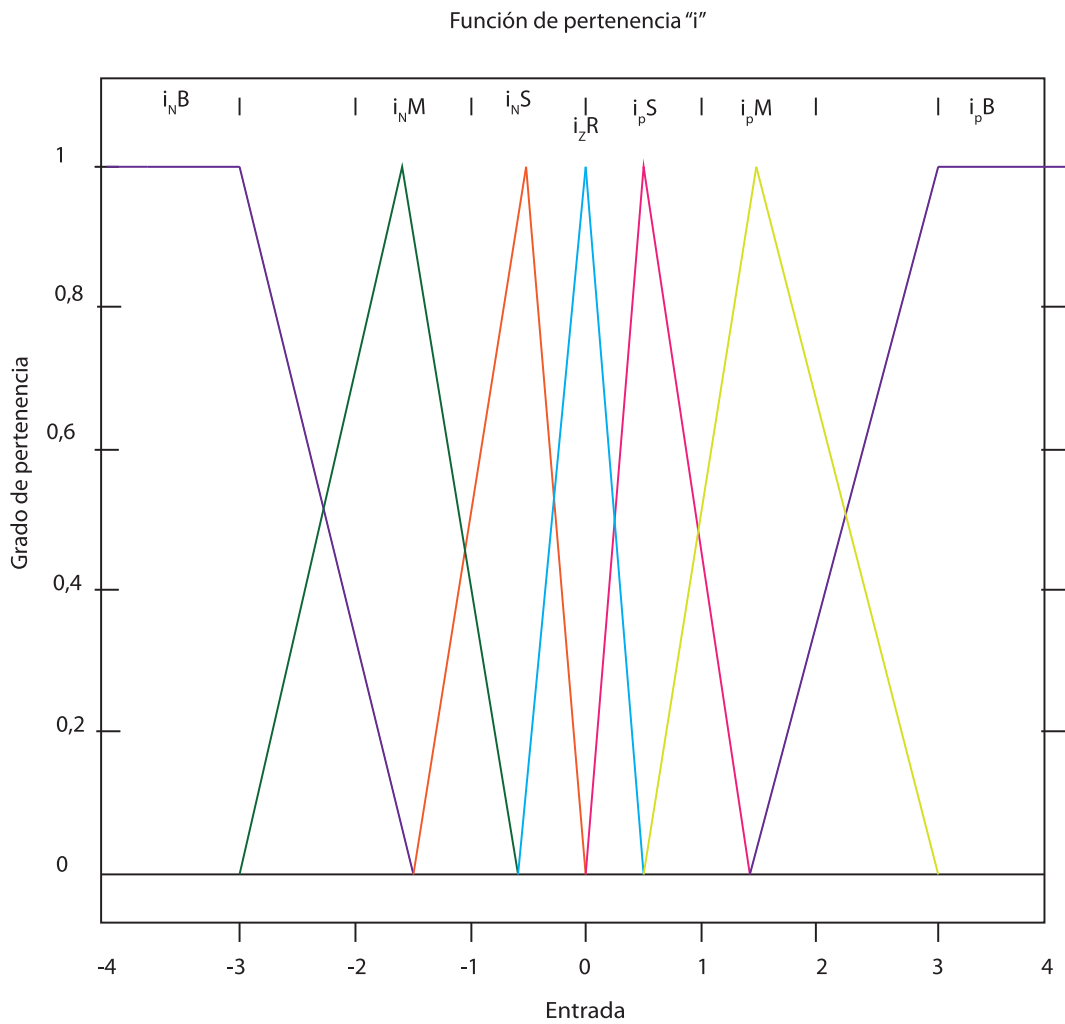


Fig. 6.17: Términos de entrada condensados en la mitad

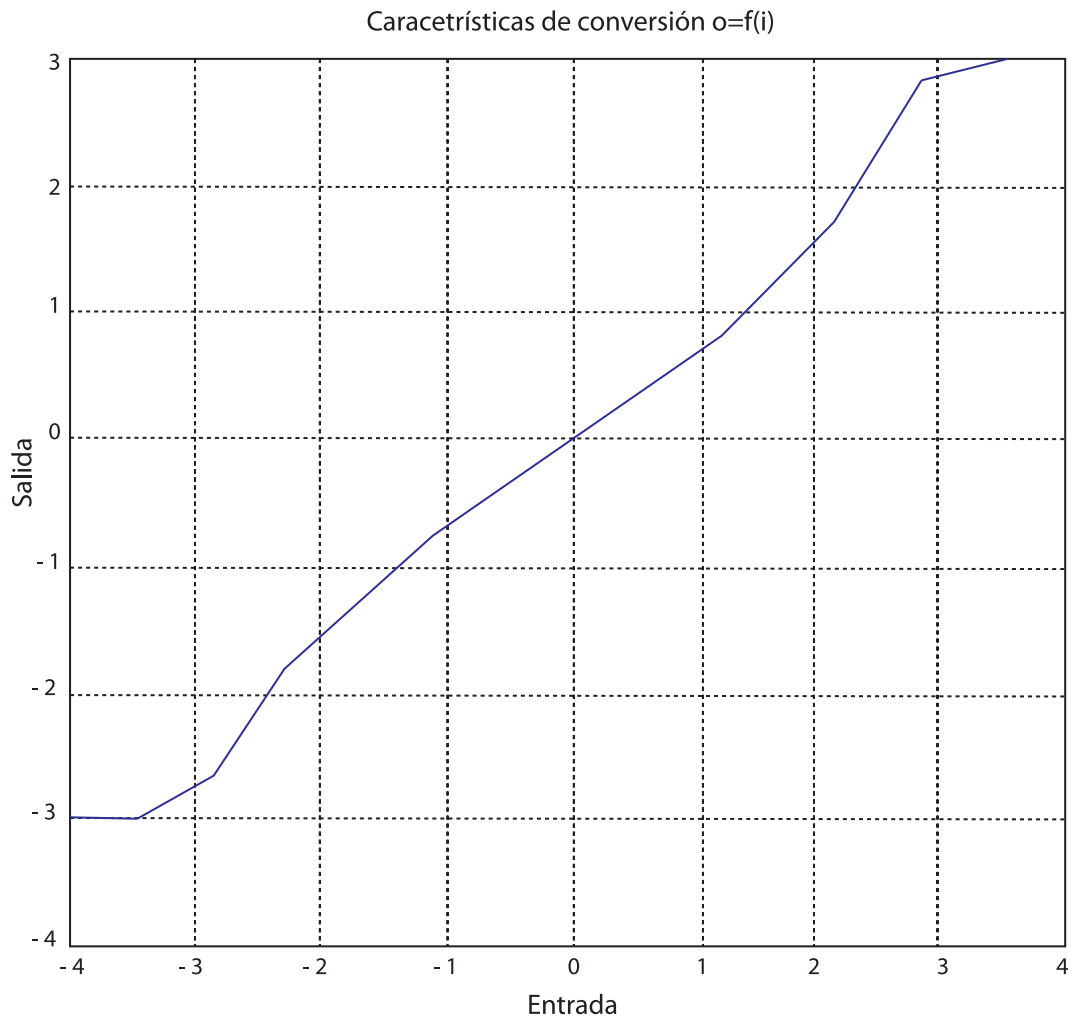


Fig. 6.18: Características de conversión para un sistema de unidimensional

Características de conversión $o=f(i_1, i_2)$

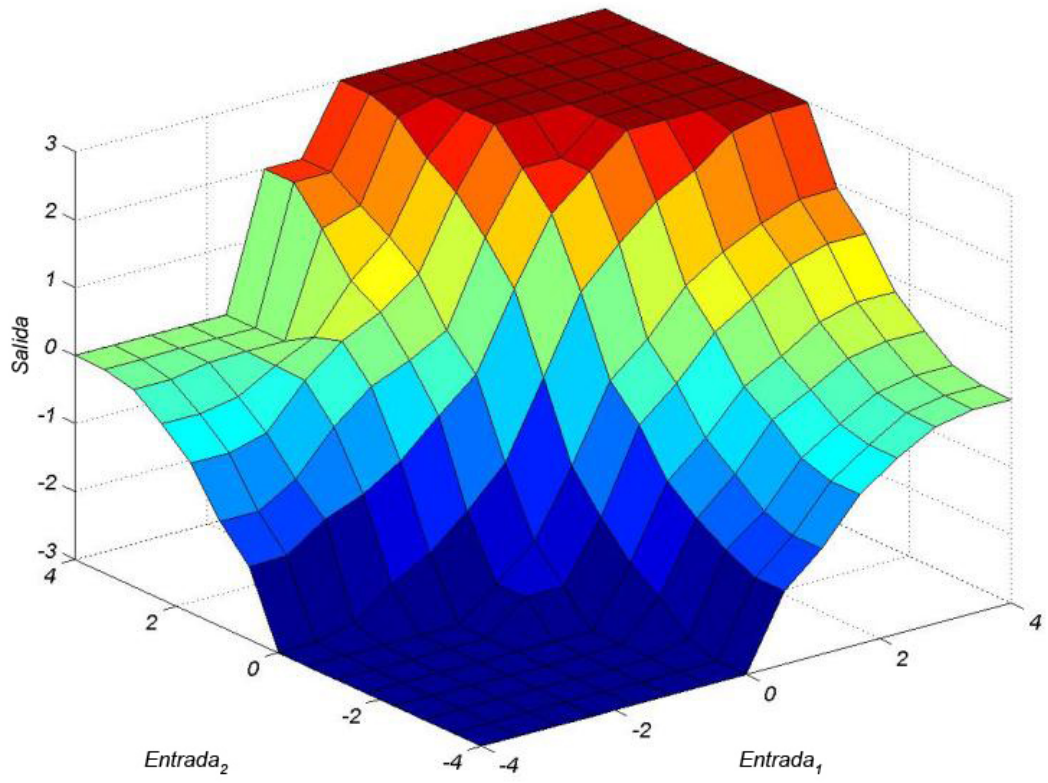


Fig. 6.19: Característica de conversión para un sistema de dos dimensiones

6.32 Términos de entrada diluidos

Como ejemplo siguiente vamos a mostrar los sistemas difusos en que los términos de entrada se distribuyen más suavemente en el centro que en los bordes (condensación hacia los extremos). Los términos de salida permanecen igualmente distribuidos. La r característica de conversión en el centro presenta una inclinación marcadamente más pequeña (espesor) que en las partes que están más lejos de la media. Cerca de los extremos hay otra curvatura en consecuencia al efecto de bordes. Del mismo modo que para el sistema de dos dimensiones el área de la característica de transferencia presenta menos pendiente en el centro que en los bordes.

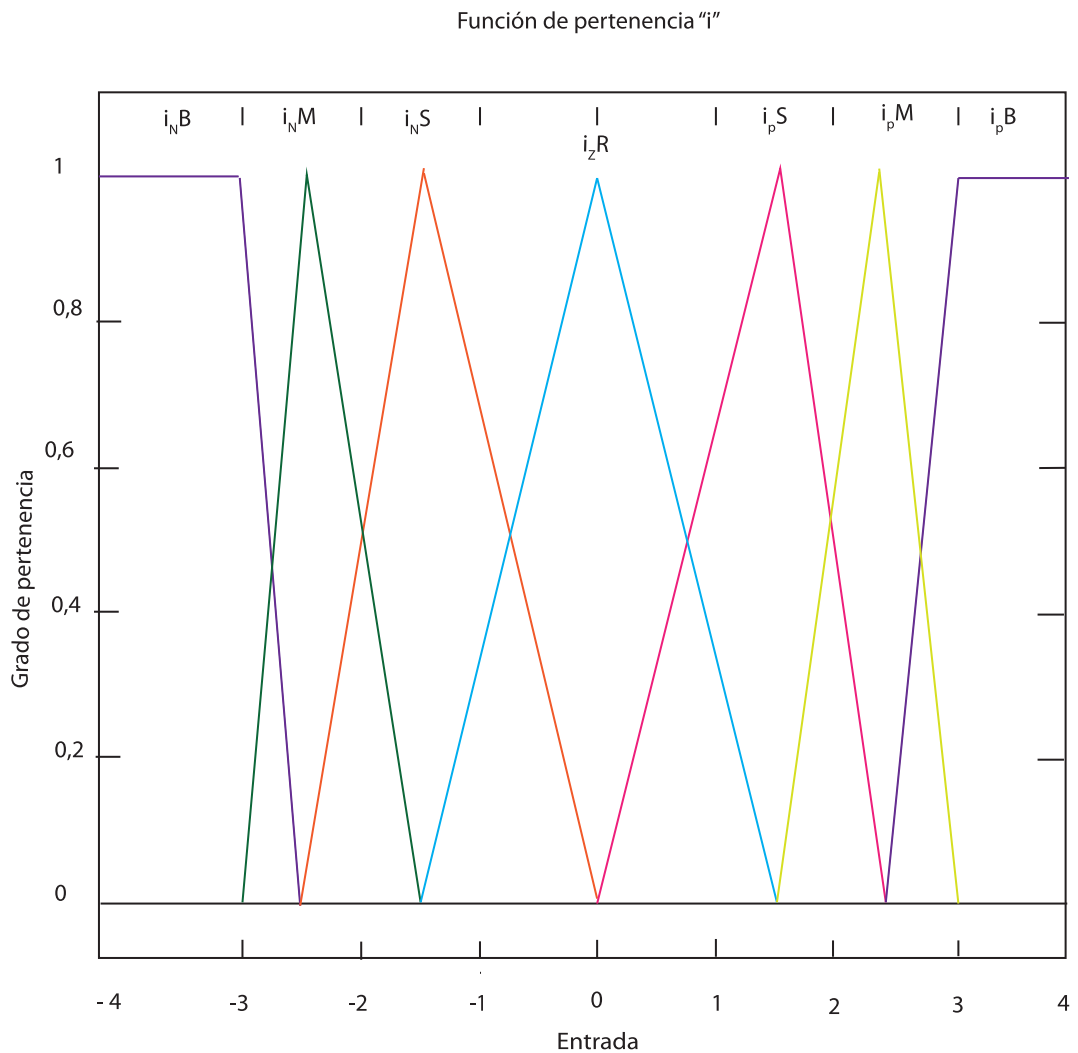


Fig. 6.20: Términos de entrada diluidos en el centro

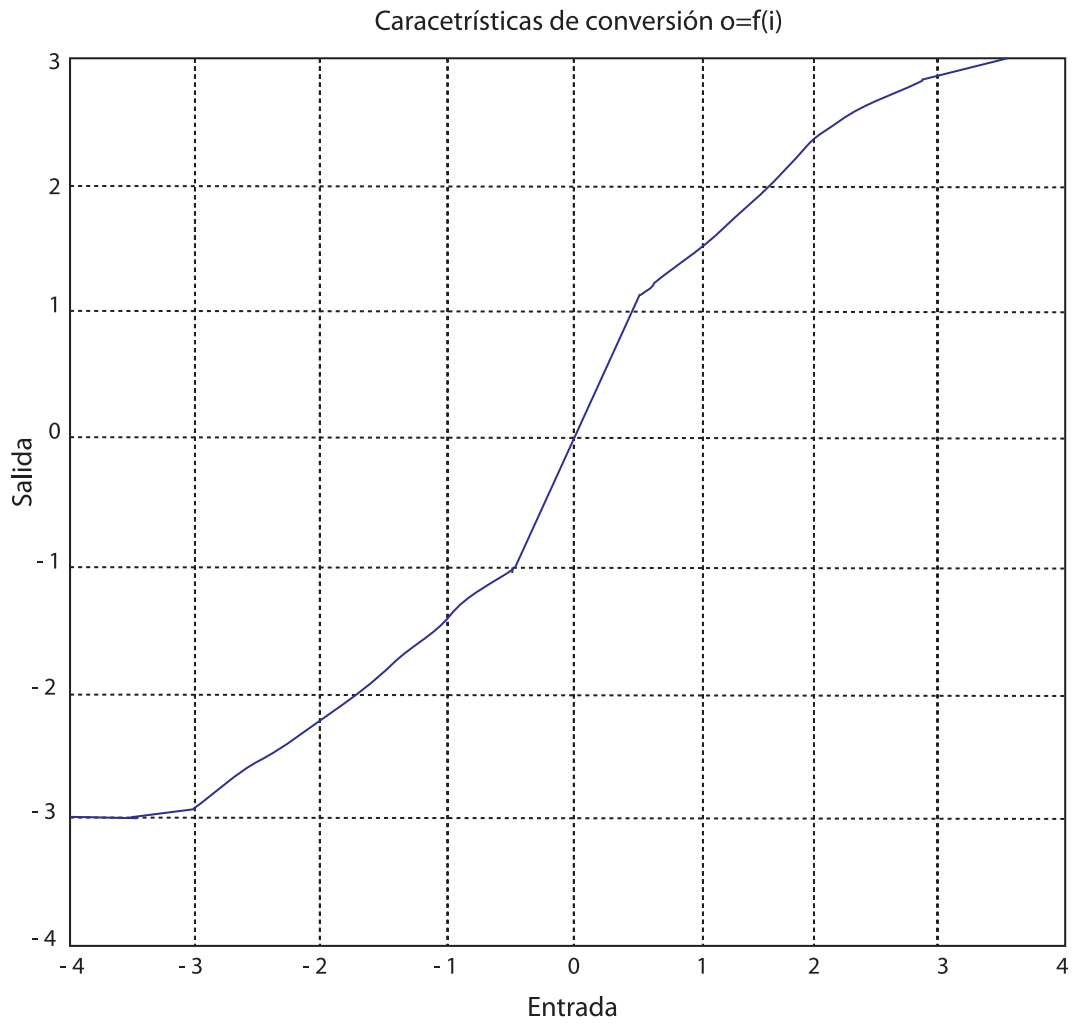


Fig. 6.21: Características de conversión para un sistema unidimensional

Características de conversión $o=f(i_1, i_2)$

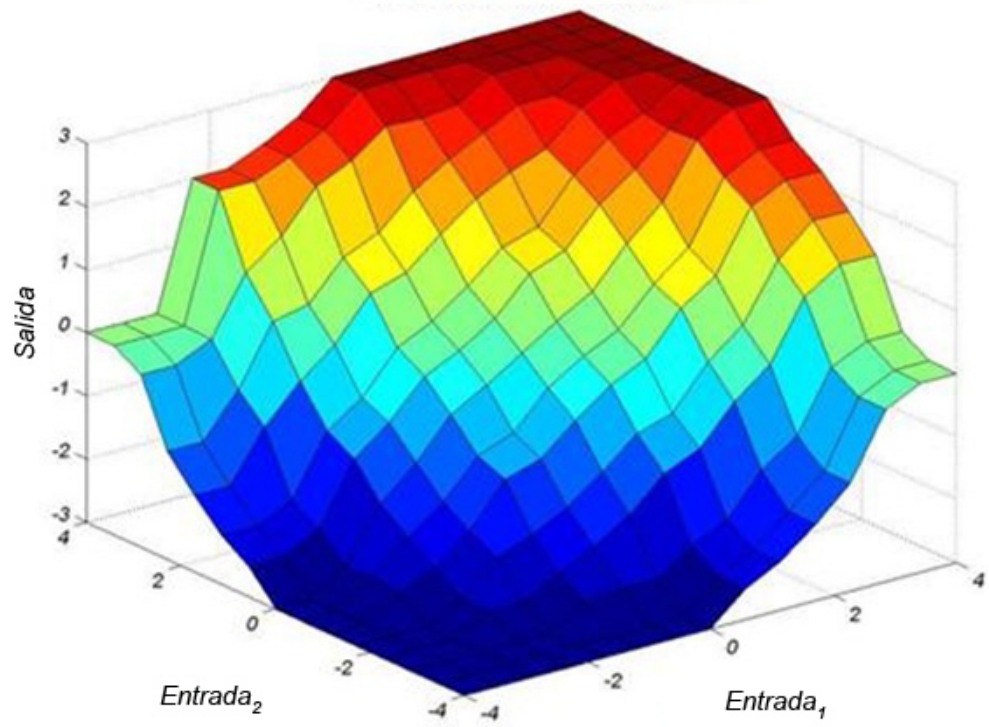


Fig. 6.22: Característica de conversión para un sistema de dos dimensiones

6.33 Términos consolidados de salida

La manipulación con términos de salida (singletons) tiene acción contraria a la forma de la característica de transferencia de la manipulación de los términos de entrada. La compactación de los términos de salida hacia el centro resulta s en un aplanamiento de la parte media de la característica de transferencia mientras que diluir los términos de salida en el dentro de la gama aumenta la inclinación de la característica de transferencia en la parte media. Vamos a ilustrarlo sólo con ejemplos de sistemas unidimensionales.

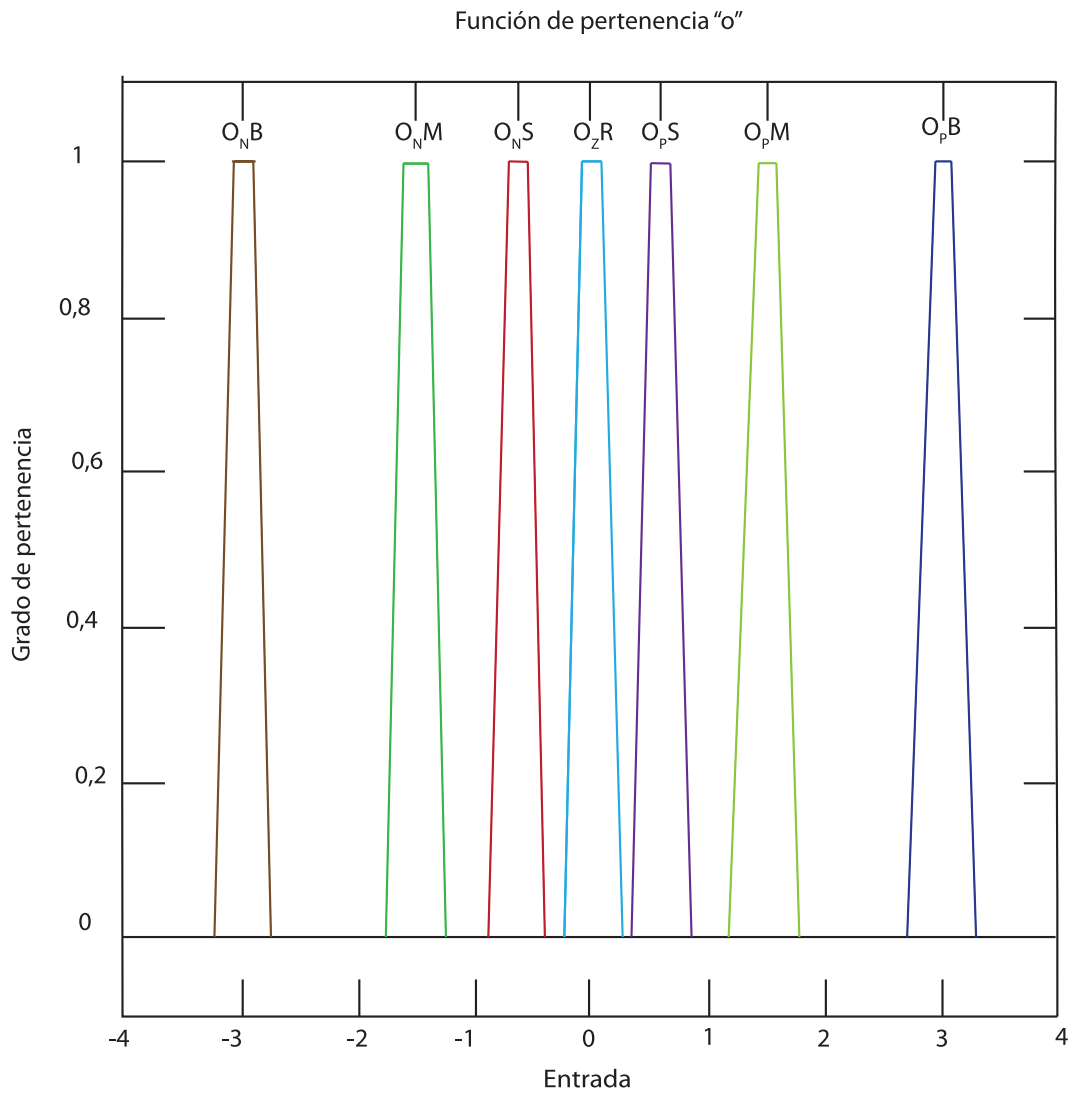


Fig. 6.23: Términos de salida comprimidos en el centro

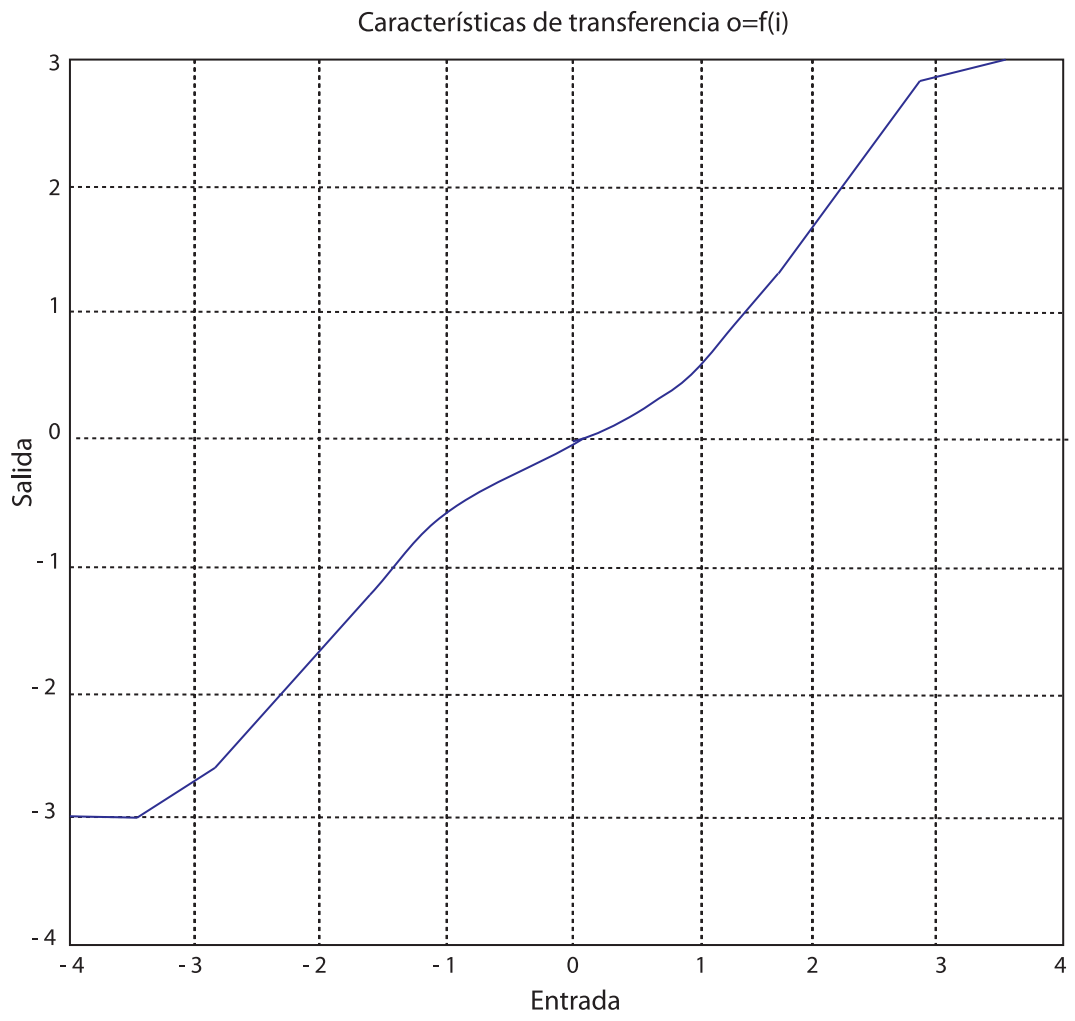


Fig. 6.24: Características de conversión para un sistema unidimensional

6.34 Términos de salida diluidos

La forma de la característica de transferencia (especialmente la inclinación en la parte media) puede ser influenciada por el cambio en la distribución de los términos de entrada o de salida. En ejemplos eficientes es posible manipularla junto con los términos introducidos. La compresión o dilución de los términos al mismo tiempo en la parte media del rango no tienen sentido porque los efectos se cancelan entre sí.

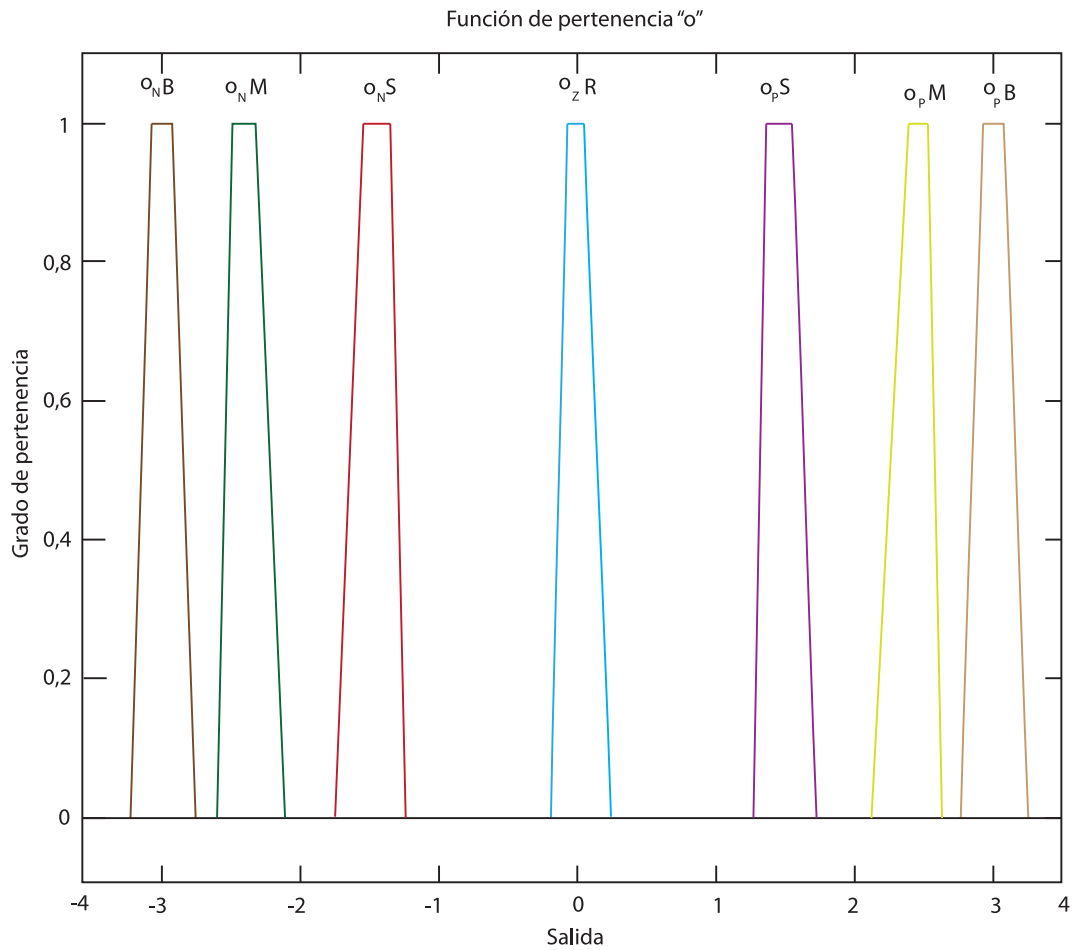


Fig. 6.25: Términos de salida diluidos en el centro

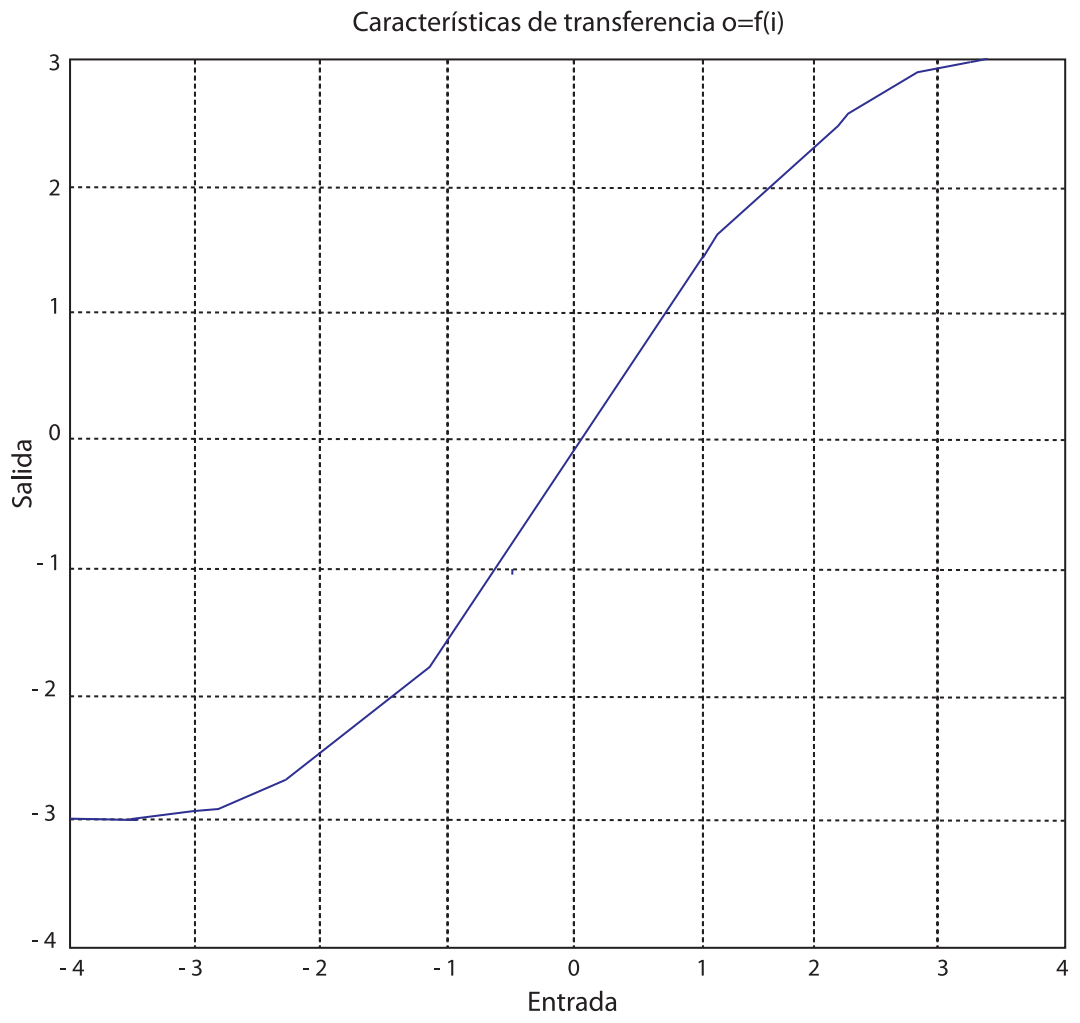


Fig. 6.26: Características de conversión para un sistema unidimensional

6.35 Resumen del capítulo



Estos capítulos han sido relativamente extensos. En su inicio se han introducido de forma general las funciones AND, OR y NOT. A continuación, se estableció el sistema de diagnóstico difuso de fusificación sobre el establecimiento de la inferencia hasta la defuzzificación. No se han demostrado los métodos de defusificación individuales pero se enumeraron sus ventajas y desventajas. Los métodos de defusificación también se han presentado mediante ejemplos concretos en MATLAB. En las otras partes se ha realizado una breve descripción de las toolbox fuzzy de MATLAB. Y también se ha descrito el sistema difuso Mamdani y el sistema Takagi-Sugeno. Muy importante es la parte de ajuste del sistema difuso, ya que es una de las operaciones más exigentes en la práctica. Para finalizar se han definido las entradas y salidas de los términos en todas sus formas.

7 Redes Neuronales

7.1 Introducción

Las neuronas son elementos básicos del sistema nervioso. Son células vivas que se especializan en la recolección, conservación, procesamiento y transmisión de información. Hay una amplia gama de tipos de neuronas. En todos los tipos, la neurona se compone de un cuerpo (soma), que recibe información a través de las ramas de entrada (dendritas) - una sola neurona tiene unas diez mil dendritas - que transmiten la información a través de una única salida (axón), que tiene una gran número de sucursales en su extremo. La señal de salida de un axón corresponde a las entradas que se procesan dentro de la neurona. Por lo tanto, la salida de la neurona depende de las entradas. El diámetro del cuerpo de la neurona varía. Puede variar desde varias micras hasta varias decenas de micras. La longitud de las dendritas es como máximo de dos a tres mm. Por otro lado, el axón puede tener más de un metro de largo.

Con el fin de realizar su función, las neuronas deben estar interconectadas en redes neuronales en el cerebro. Esta interconexión se logra por dendritas que - por medio de proyecciones especiales (sinapsis) - se conectan a las dendritas de otras neuronas o directamente a los cuerpos de otras neuronas, o incluso directamente a los axones en casos especiales. El comportamiento inteligente y poderoso del cerebro (redes neuronales en general) viene dado dada por una interconexión perfecta. Las neuronas de las redes neuronales del cerebro están dispuestas de tal manera que el fallo de una neurona no puede constituir un peligro para el conjunto (debido a la combinación de características topológicas y de procesamiento en paralelo).

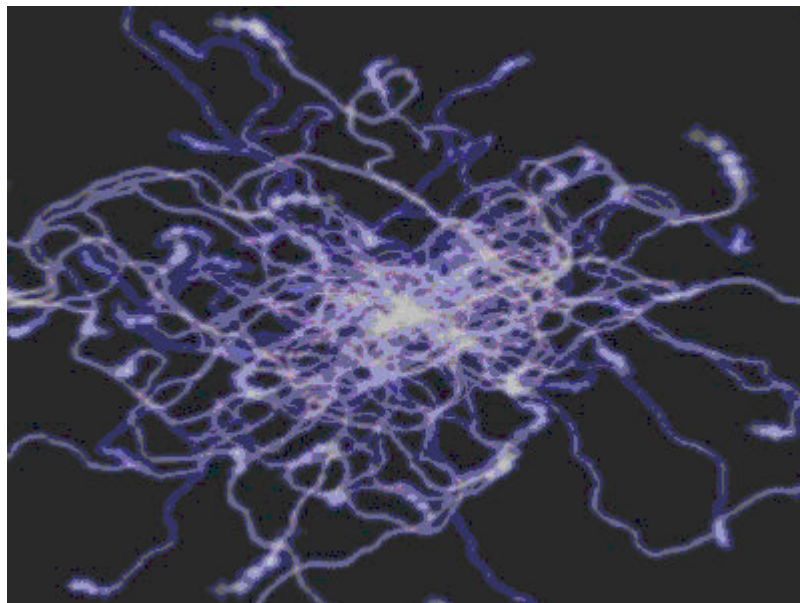


Fig. 7.1: Neurona viva

7.2 Principios

La neurona es el elemento básico de las redes neuronales, que procesa los datos de entrada con un método elegido.

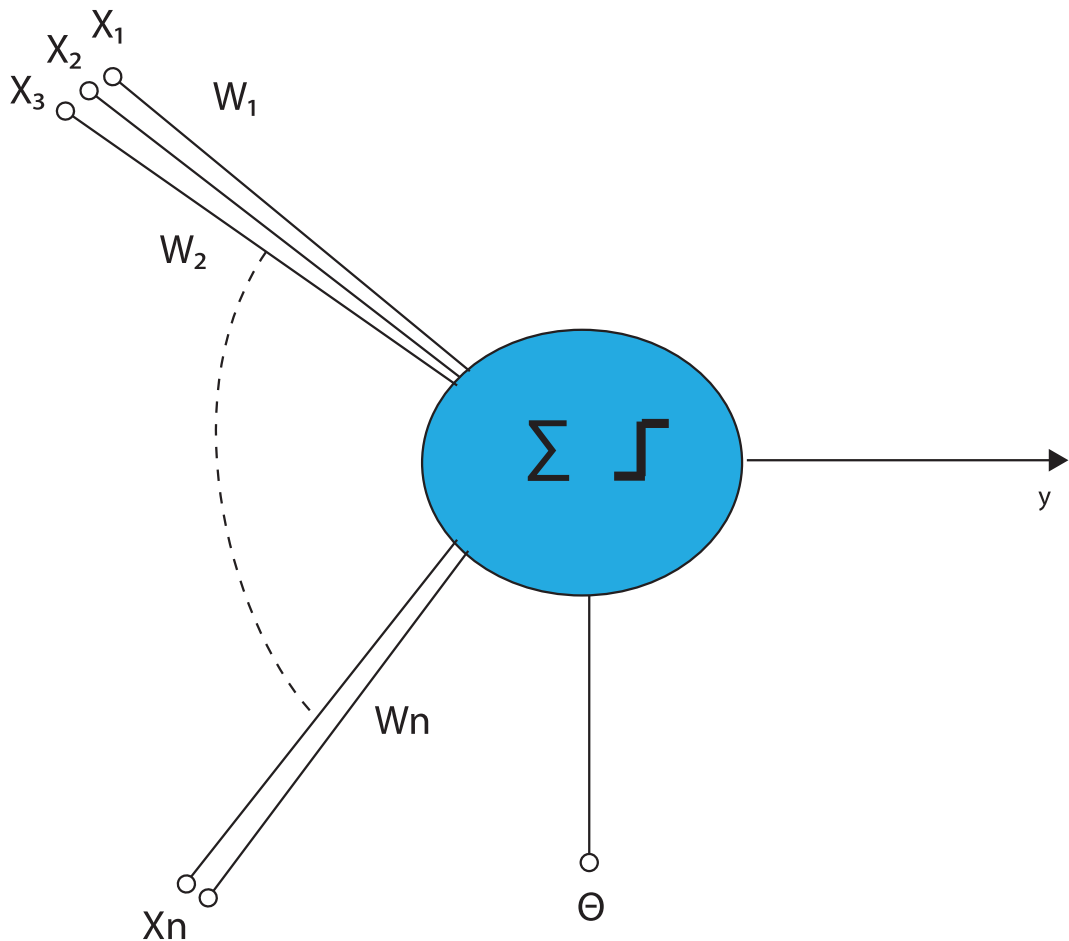


Fig. 7.2: Neurona

De acuerdo con el tipo de datos de entrada, las neuronas se clasifican además como binarias y continuas, es decir, procesamiento de información de valores múltiples. El término “continuo” hace referencia a la filosofía de procesamiento de señales, donde su interpretación es discretizada en la mayoría de los casos como las neuronas y redes neuronales que son simuladas en un ordenador. Desde las implementaciones originales HW, sólo la clase de implementación óptica sigue siendo importante.

Un término importante en el campo de las redes neuronales es una función de transferencia, a veces llamada función de activación. Esta función convierte el potencial interno de la neurona a la gama de valores de salida. Las funciones más importantes se muestran en las figuras siguientes.

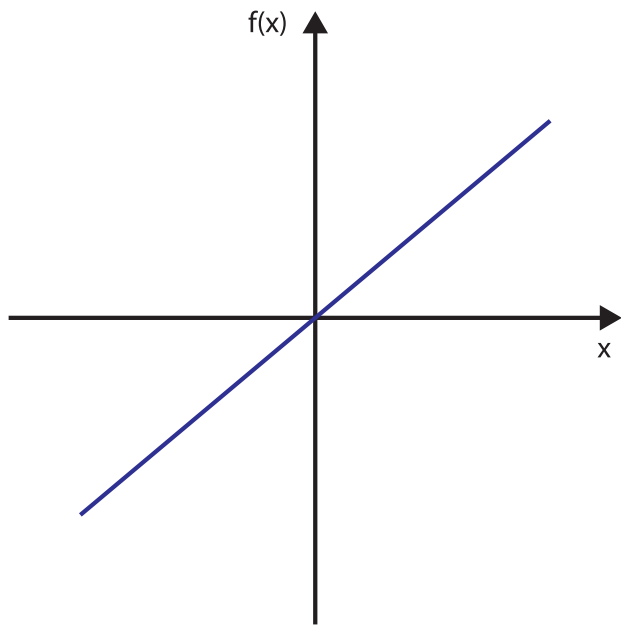


Fig. 7.3: Función lineal de transferencia

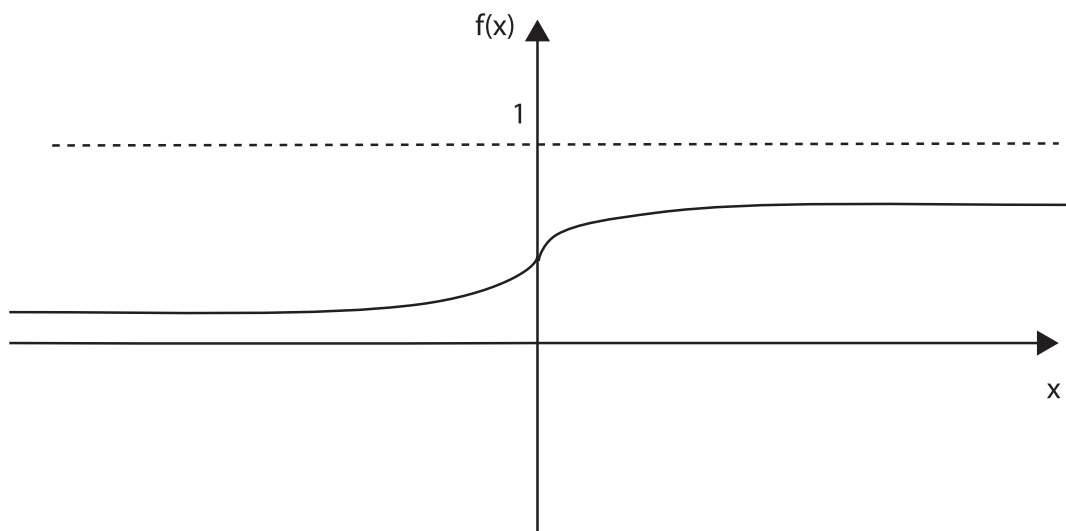


Fig. 7.4: Función de transferencia sigmoid

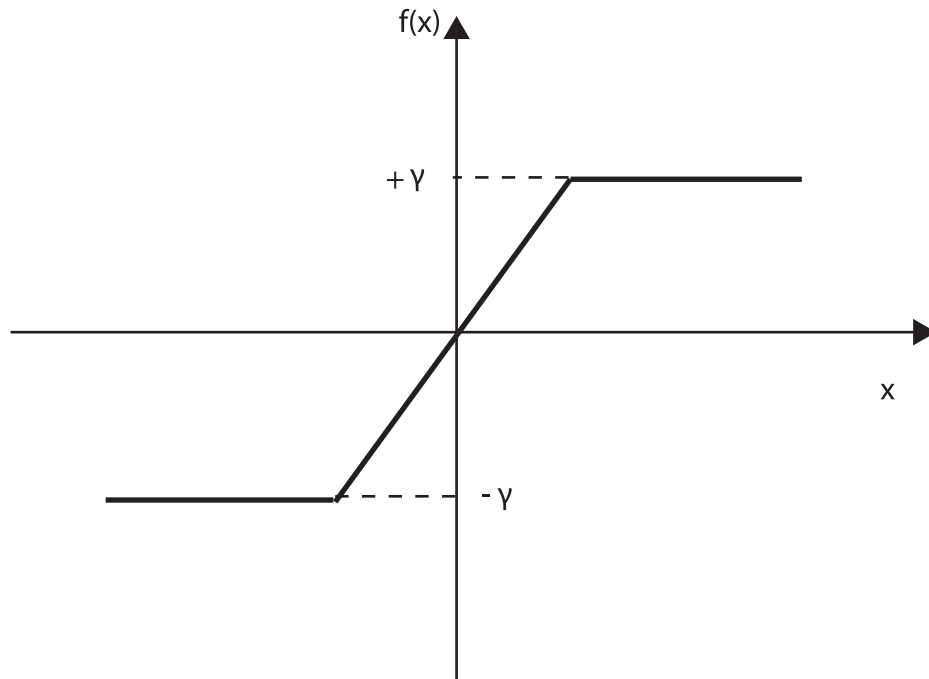


Fig. 7.5: Función limitada

Las redes neuronales trabajan básicamente en dos fases- fase de aprendizaje (adaptación) y fase activa (relajación).

Durante el aprendizaje, NN se cambia de tal manera que la red está siendo adaptada para la solución del problema dado. El aprendizaje se realiza mediante el establecimiento de pesos entre los nodos. En la práctica, esto se consigue mediante la asignación de valores iniciales, ya sea al azar, o elegidos en función de la experiencia, o de acuerdo con algún problema similar previamente resuelto. Esto es seguido por la introducción de una entrada de entrenamiento.

El aprendizaje se divide en aprendizaje supervisado y aprendizaje no supervisado.

Durante el aprendizaje supervisado, la NN aprende mediante la comparación real de la entrada con la salida requerida de tal manera que los pesos son adaptados hacia la mejor solución. La disminución de la diferencia se controla por un algoritmo de aprendizaje.

Por otro lado, el aprendizaje no supervisado no tiene ningún un criterio de validez específica. Los recursos de aprendizaje se organizan de tal manera que el algoritmo busca propiedades similares en los datos de entrada. Este aprendizaje se llama a veces de auto-organización.

. Durante la fase activa (relajación), un estado fuera de equilibrio aparece en la capa de salida sobre la base de los datos de entrada. Los valores almacenados dentro de las neuronas comienzan a cambiar por efecto de otras neuronas, hasta que se establezca un equilibrio estable.

7.3 Redes neuronales artificiales (ANN)

Incluso una sola neurona puede implementar funciones complejas (no lineales en general). Por lo general, se llama perceptrón y es capaz de, por ejemplo, procesar entradas del sistema y reconocer los síntomas de fallos, caracteres individuales en un texto, elementos simples de una imagen, etc. Las funciones más complicadas pueden ser abordadas por las redes neuronales. Por lo general son conectadas en capas - capa de entrada, capa de salida y una o más capas ocultas. En las redes de procesamiento hacia adelante, el flujo de la señal va del nivel de entrada a la capa de salida. Sin embargo, existen redes (recurrentes, red de Hopfield), donde la señal puede proceder en una dirección opuesta, de manera similar a las funciones lógicas secuenciales.

Las redes neuronales se utilizan con frecuencia para la clasificación de eventos y su clasificación en grupos, procesamiento de imágenes y reconocimiento, otros procesos cognitivos (por ejemplo, diagnóstico), la creación de modelos, predicción o estimación del progreso. En general, las redes neuronales son adecuadas para la solución de problemas cuyos principios se desconocen, no se conoce lo suficiente o que no podemos describir bastante bien. Las redes neuronales se pueden utilizar como controladores o modelos que se adaptan por el mecanismo de la red de aprendizaje. La red neuronal puede ser utilizada para el aprendizaje de patrones (para observar las acciones de una operación de expertos en diferentes situaciones). En la mayoría de los casos, la red que ya ha aprendido (entrenada) funciona de manera apropiada, pero no puede revelar los principios del problema. Puede suceder que de repente se produzca un error en ciertas situaciones.

El proceso de aprendizaje de una red neuronal artificial es más bien complicado. También se usan otros métodos como los algoritmos genéticos.

La implementación de un programa para una red neuronal no es difícil - es sustancialmente una suma de productos y una función no lineal bastante simple. Es posible ponerla en práctica incluso en un PLC. Sin embargo, el aprendizaje de la red es mucho más difícil - no sólo desde el punto de vista de la complejidad numérica del algoritmo de aprendizaje, sino también desde el punto de vista de la competencia y experiencia para buscar la solución. Por lo tanto, se utilizan a menudo los programas pre-programados y verificados, por ejemplo, herramientas especializadas de los sistemas informáticos generales (Matlab, Mathematica) o herramientas especializadas para la puesta en práctica y el aprendizaje de las redes neuronales.

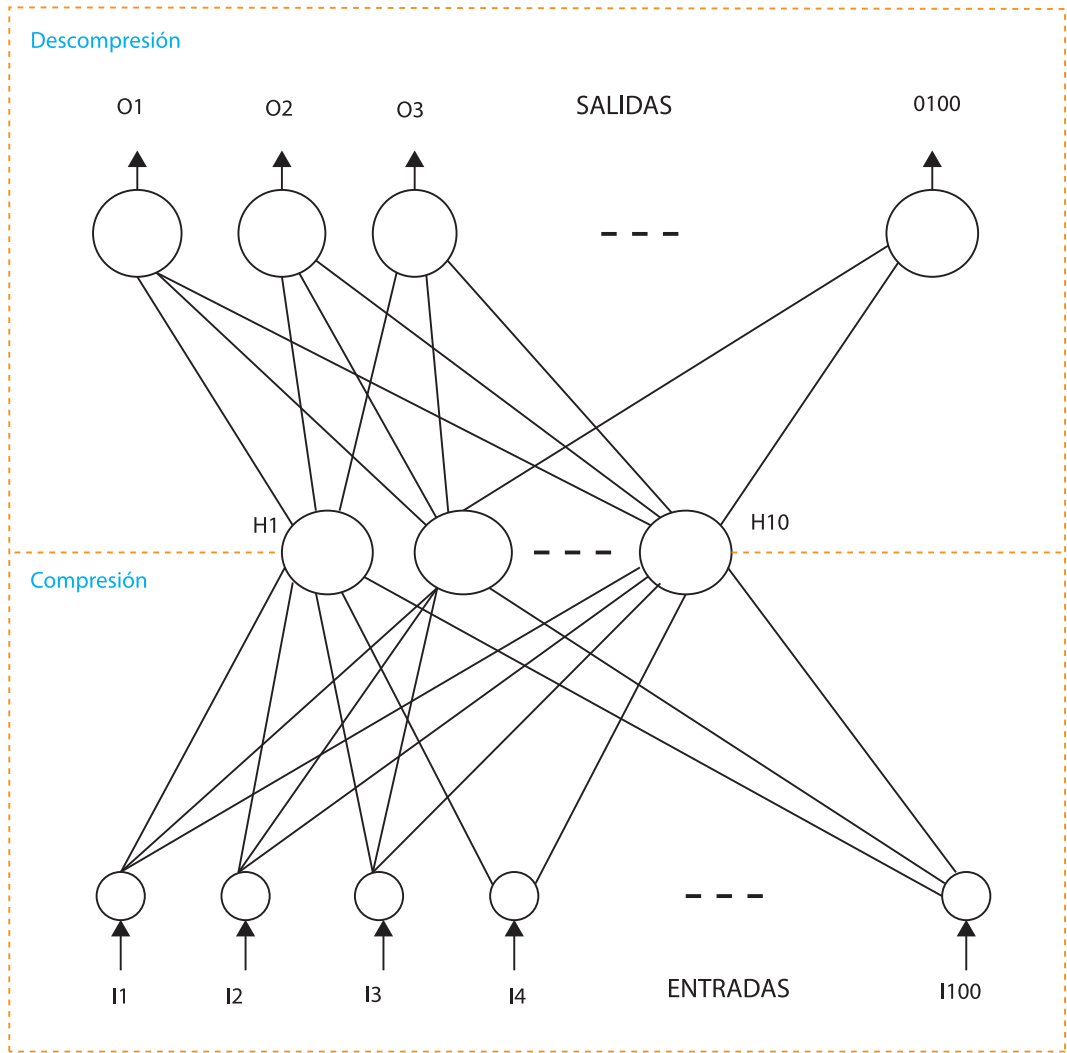


Fig. 7.6: Red neuronal para compresión de datos

7.4 Perceptrón

En primer lugar, vamos a introducir el modelo más simple que consiste en una sola neurona, generalmente llamado perceptrón. Hay n conexiones que conducen a la neurona que representa salidas de otras neuronas o estímulos desde el exterior. Cada una de las entradas aporta una información x_i en la forma de un número real en cada momento. Los números representan valores de algunos atributos, si tenemos en cuenta la información de entrada del mundo circundante - espacio de entrada - todo vector $\mathbf{x} = [x_1, \dots, x_n]$ caracterizará el objeto bajo estudio. Los atributos pueden ser representados por datos de la temperatura, la presión, el color, booleanos, etc.

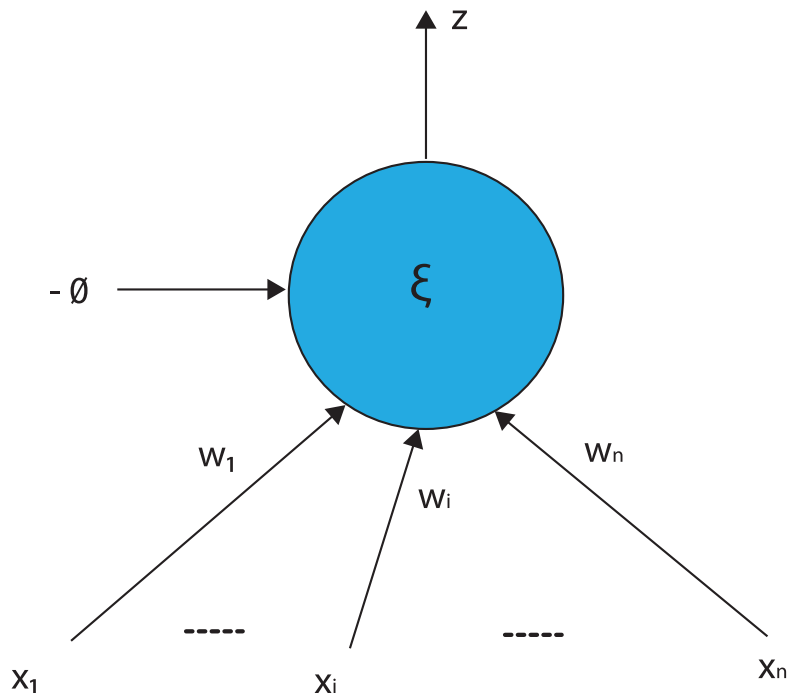


Fig. 7.7: Esquema de una neurona con los pesos de sus respectivas conexiones

Cada conexión que conduce a la neurona se caracteriza por otro número real w_i que representa un peso sináptico (la importancia) de una conexión, y cada neurona se caracteriza por un umbral θ . Una suma ponderada $\zeta = \sum w_i x_i - \nu$ ($i=1, \dots, n$) representa el estímulo en general, llamado potencial de una neurona. La neurona reacciona ante este potencial por una respuesta $z = S(\zeta)$, en la que S es una función de transferencia no lineal predeterminada, por lo general en la forma de una sigmoide (monótonamente creciente entre dos valores asintóticos, por ejemplo, 0 y 1, con la mayor derivada en el punto 0).

Las redes con múltiples neuronas pueden clasificarse de acuerdo a varios aspectos, nos ocuparemos de dos de ellos. El primero está dado por la topología de red, el otro por el modo de operación. De acuerdo con el primer aspecto, es posible introducir redes recurrentes (el grafo contiene ciclos, es decir, las salidas de algunas neuronas se presentan de nuevo a la red como estímulos) y otras redes, en las que las redes de múltiples capas son las más importantes, tienen neuronas

distribuidas en capas, donde las salidas de las neuronas de una capa son las entradas de todas las neuronas de las próximas capas “superiores”; no hay ninguna otra conexión entre neuronas de dicha red.



El paradigma del Perceptrón

El perceptrón fue inventado por F. Rosenblatt en 1958. Se inspiró en el ojo humano y trató de desarrollar su modelo. Se partió del hecho de que la retina comprende sensores sensibles a la luz dispuestos en una matriz. Sus resultados dan lugar a células especializadas, llamadas daemons, genéticamente predeterminados para reconocer determinados tipos de patrones. Las salidas de los daemons se procesan en las células con un reconocimiento de un umbral, por lo que su salida es activa a partir de un cierto nivel de estímulo de la entrada.

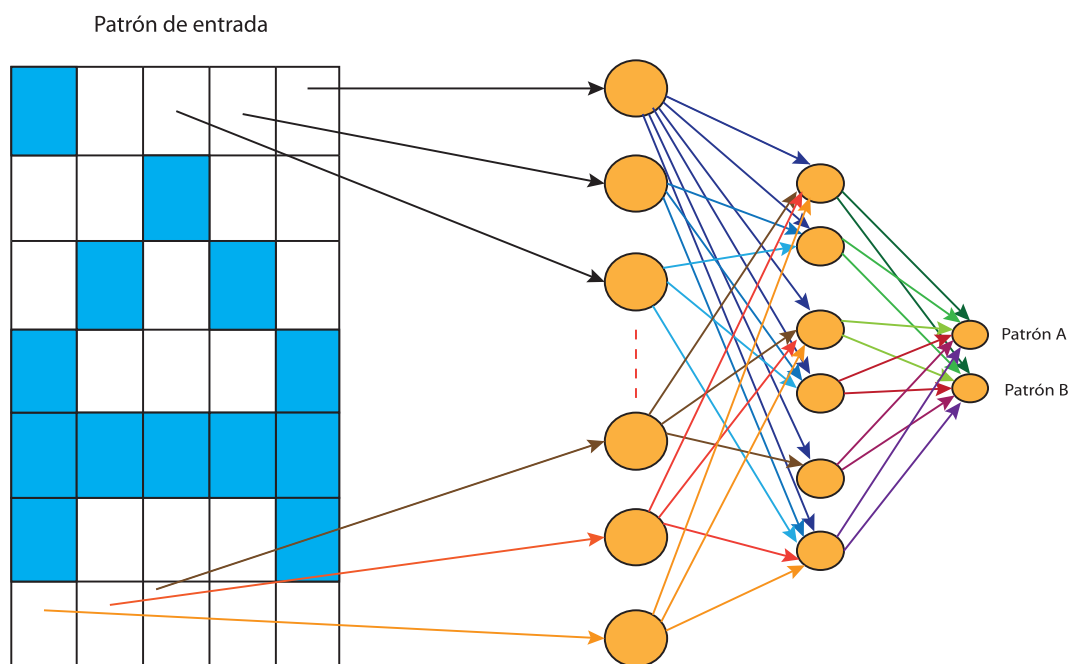


Fig. 7.8: Reconocimiento mediante perceptrón

Una red de Perceptrones tiene tres capas, de acuerdo con su modelo fisiológico. La capa de entrada funciona como una compensación o como capa de ramificación. Su objetivo es asignar un campo bidimensional de sensores a vector unidimensional de elementos de procesador. La segunda capa está formada por estímulos detectores. Cada uno de ellos está conectado al azar a los elementos de la capa de entrada. Las ponderaciones asignadas a las entradas son constantes. El objetivo de los daemons es detectar un estímulo específico.

Por último, la tercera capa contiene reconocedores de patrones (o perceptrones). Mientras que los pesos de la primera y segunda capa son fijos, los pesos de las entradas de las capas de salida pueden establecerse durante el entrenamiento. Para el aprendizaje de una red perceptrón, Rosenblatt sugirió un algoritmo de aprendizaje denominado del perceptrón.

Los elementos difieren de acuerdo a las capas. Las neuronas tienen una entrada (umbral) fijada a una constante de valor 1. Las otras entradas se conectan al azar a las salidas de la capa intermedia y sus pesos se pueden configurar. La característica de transferencia de un elemento de procesador de una capa perceptrón es el siguiente: la salida es cero si la suma ponderada de todas sus entradas es cero o negativa. Si no, la salida es uno. Puede usarse otra función de transferencia no lineal. En tal caso, si la suma ponderada de todas sus entradas es cero o negativo, la salida es -1 , de lo contrario es 1.

Los pesos se establecen al azar. Si la salida es correcta, los pesos no cambian. Si la salida tiene que ser 1, pero es 0, se incrementan los pesos en todas las entradas activas. Si la salida tiene que ser 0, pero es 1, se decrementan los pesos en todas las entradas activas.

Las entradas están activas si su valor es > 0 . El valor de cambio de peso depende de la opción elegida.

- Los incrementos o decrementos fijados son siempre los mismos.
- Los incrementos (decrementos) varían en función del valor del error. Es ventajoso tener incrementos más grandes en el caso de grandes errores y viceversa. Sin embargo, dicha aceleración de la convergencia puede dar lugar a inestabilidad en el proceso de aprendizaje.
- Los incrementos fijos y variables (decrementos) se combinan con respecto al valor del error.

Además del perceptrón clásico que acaba de ser presentado, hay otros tipos de perceptrón - Minsky y Papert (MP-perceptrón) y Adaline (o Madaline) desarrollado por Widrow.

7.5 Algoritmo de programación inverso

Uno de los algoritmos más utilizados para el aprendizaje de la red neuronal es el algoritmo de propagación hacia atrás. Después de veinte años de un relativo estancamiento de las redes neuronales, este algoritmo ha iniciado una nueva ola de investigación en este campo científico.

Este algoritmo es adecuado para el aprendizaje de las redes multicapa con propagación hacia adelante. El aprendizaje es de tipo supervisado. Se trata de un algoritmo de iteración de acuerdo con el método de cálculo. La función se reduce al mínimo basado en el gradiente, por lo que se clasifica a veces como un método de aprendizaje de gradiente. El principio del algoritmo de propagación inversa es similar al método de aprendizaje común que se utiliza en la educación. Si un estudiante presenta deficiencias en el trabajo escolar, tiene que estudiar más. Esto es similar a la propagación inversa. La red neuronal puede ser considerada como un estudiante, las pruebas se pueden considerar como un mecanismo para el aprendizaje, analizando si la red neuronal da respuestas correctas a los vectores de entrada de acuerdo con un conjunto de entrenamiento. El conjunto de entrenamiento son los deberes que el alumno tiene que estudiar. Si nos damos cuenta de que la red no responde correctamente, tenemos que cambiar sus coeficientes de peso, hasta que empieza a reaccionar correctamente.

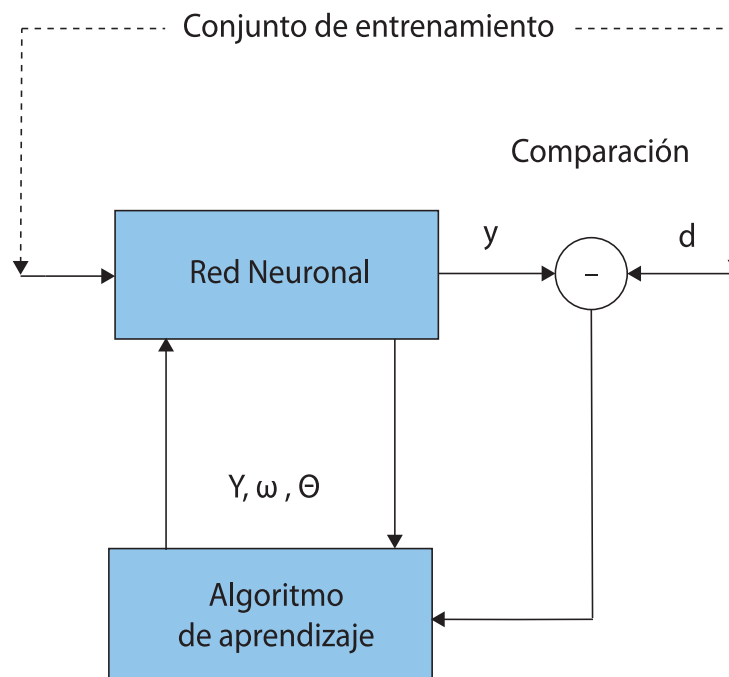


Fig. 7.9: Representación gráfica del aprendizaje de una red neuronal

Se trata de un proceso iterativo, en el que partimos de un estado inicial hacia al estado del conocimiento. La elección de los pesos del conjunto de entrenamiento no necesita ser secuencial, muy a menudo se utiliza por ejemplo un orden aleatorio. La elección de la estrategia no se da estrictamente, más bien pertenece a una categoría del “arte de aprendizaje de redes neuronales”. En el curso del aprendizaje, podemos reconocer algunos patrones más frecuentes. Una estrategia

adecuada puede influir significativamente en la velocidad y el éxito del proceso de aprendizaje. Un error global en el algoritmo puede ser representado por ejemplo por el error cuadrático medio calculado sobre todos los patrones del conjunto de entrenamiento. Este error representa la medida del conocimiento de la red. El criterio representa un límite, en el que se detiene el proceso de aprendizaje. El algoritmo de propagación inverso se basa en la minimización de la energía de una red neuronal. La energía representa el grado de conocimiento, es decir, la desviación entre los valores reales y las salidas necesarias de una red neuronal para un conjunto dado. Para el cálculo del error global se usa un criterio estadístico.

Para una red neuronal con propagación hacia atrás, la función de energía se define como sigue:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_i - d_i)^2$$

Donde d es el número de entradas, y_i es i -ésima salida y d_i es i -ésima salida requerida. Esta función no es más que la suma de los cuadrados de las desviaciones. El algoritmo de aprendizaje de propagación inverso tiene que ser considerado como un método de optimización, que es capaz de encontrar los pesos y los umbrales correctos para una red neuronal dada.

7.6 Red Hopfield

A principios de los años ochenta, J. Hopfield desarrolló un nuevo modelo de red neuronal inspirado en el estudio de las redes auto-asociativas. Durante la investigación, desarrolló una función de energía que tiene un impacto importante en el correcto funcionamiento de la red - normas para el aprendizaje y la relajación se derivan de dicha función. Hopfield ilustra la aplicación de esta red en varios modelos físicos. Hay varias modificaciones de esta red – la red de Hopfield puede utilizarse como una memoria asociativa, clasificador o solucionador de problemas de optimización. El comportamiento de la red puede ser ilustrado por patrones de imagen, ya que los valores binarios se pueden asignar fácilmente a píxeles de la imagen. La red de Hopfield no es adecuada para entradas continuas, dado que la conversión de señales continuas en valores binarios presenta un problema importante.

7.7 Red ART

Uno de los problemas que limitan el uso de las redes neuronales es el problema llamado “problema de la estabilidad variable” - la red no es capaz de aprender nueva información sin dañar la información ya almacenada. Este efecto es evidente para la red perceptrón multicapa. Cuando la red se entrena para un de nuevo modelo, toda la red se puede romper, es decir, toda la información que ya ha sido almacenada se pierde. Este efecto es causado por el cambio de los pesos de la red. Para entrenar la red para la nueva información requerida es necesario empezar de nuevo. Esto puede presentar un retraso considerable de tiempo, horas o incluso días. La red que vamos a describir atiende el problema de la estabilidad de variables bastante bien. Esta red fue desarrollada por el matemático y biólogo S. Grossberg. La Teoría de Resonancia Adaptativa (ART) fue desarrollada para el modelado de arquitecturas paralelas grandes para la red de auto-aprendizaje y para el reconocimiento de patrones. Una propiedad de la red de ART es que puede cambiar entre el modo de alerta y estable sin dañar la información ya almacenada. El modo de alerta es un modo de aprendizaje, en el que los parámetros iniciales pueden ser modificados. El modo estable es un modo, en el que la red está fija y se comporta como un clasificador acabado.

Ten en cuenta que la red ART existe en tres modificaciones básicas (ART-1, ART-2 y ART-3). La modificación básica, que se describe aquí, es la ART-1; la ART-2 no funciona con valores binarios, pero si con reales, ART-3 utiliza una estructura similar a la ART-2, pero el modelo de esta red es descrita por ecuaciones, que expresan la dinámica de portadores químicos de información. Esta modificación supone que las entradas a esta red vienen continuamente y cambian continuamente.

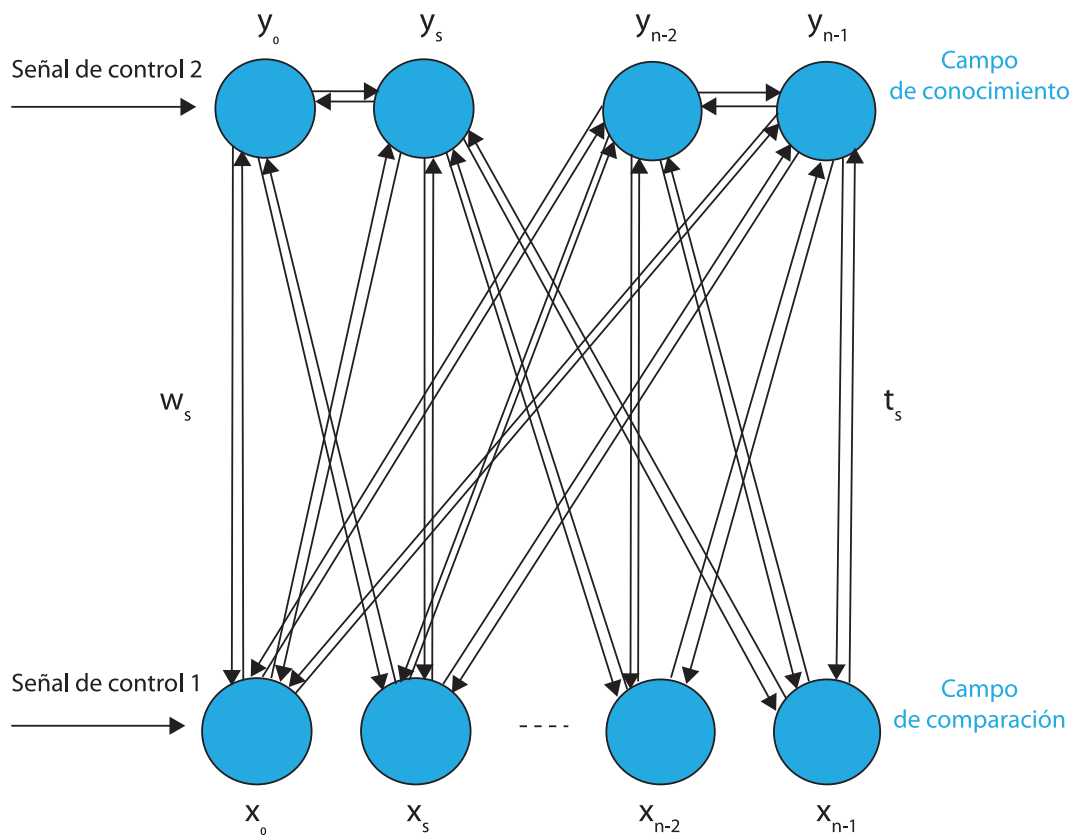


Fig. 7.10: Arquitectura_red_ART

7.8 Aplicaciones de las Redes Neuronales

Las redes neuronales se aplican principalmente cuando los ordenadores clásicos fallan. Los problemas de las redes neuronales no tienen un algoritmo conocido o la descripción analítica es demasiado complicada para el tratamiento informático. Su campo de aplicación principal es en problemas con ejemplos de datos de gran tamaño que cubren una superficie suficiente del problema. Los campos de aplicación básicos de las redes neuronales son los siguientes:

- Sistemas de información económica. Los métodos de redes neuronales se utilizan en la macroeconomía y las finanzas. La investigación en este campo de aplicación se centra principalmente en los pronósticos de los acontecimientos económicos específicos. El interés principal está en la previsión de tipo de cambio, las acciones de los ingresos y las previsiones de precios y la predicción de otras variables macroeconómicas. En la comercialización, se modela la reacción de los clientes a una oferta concreta. La integración de las redes neuronales y la lógica difusa se utilizan en sistemas de previsiones de quiebra. En los sistemas de información de amplio rango, las redes neuronales se utilizan para el reconocimiento de texto y el reconocimiento de escritura a mano, filtrado de ruido de información y verificación de firma. La red neuronal puede predecir las demandas de energía eléctrica de los clientes.
- La tecnología y la producción. Probablemente la aplicación más común en la industria es en sistemas de reconocimiento de imágenes visuales. Además, las redes neuronales se utilizan en los modelos de pronóstico, tales como la predicción de fallos (por ejemplo, en motores de avión), y en sistemas de control (calidad de los alimentos, el perfume aroma, sabor de té, café, fétetros, ...).
- Atención de la Salud. Las aplicaciones de los sistemas de aprendizaje basados en redes neuronales se centran principalmente en dos problemas: los modelos de pronóstico (en oncología) el reconocimiento y análisis de imágenes (imágenes de las máquinas de rayos X).
- Meteorología. Las aplicaciones meteorológicas son muy comunes, ya que las redes neuronales pueden ayudar en el pronóstico del tiempo.

Las redes neuronales artificiales tienen algunas propiedades ventajosas. Se puede aplicar una transformación arbitraria por encima de la fecha de entrada, por lo que son universales. No necesitan ser programadas, su comportamiento requerido se puede lograr mediante la formación con ejemplos apropiados. Un neuroordenador basado en redes neurales se consigue entrenándolo con ejemplos apropiados. Las redes neuronales son muy robustas, gracias al uso de un gran número de neuronas y conexiones (sinapsis) y gracias al hecho de que la información se distribuye en toda la red. Los fallos de las neuronas sólo conducen a una degradación lenta de la red. Tienen una capacidad de generalización, de abstracción, es decir, de reaccionar igualmente ante un cierto conjunto de datos de entrada, no sólo para cierto elemento de ese conjunto.

Las principales aplicaciones son:

- predicción,
- reconocimiento,
- asociación,
- filtrado,
- optimización.

La predicción prevé el valor de salida de alguna variable sobre la base de su comportamiento en el pasado. La predicción trata de encontrar el comportamiento más probable de un argumento en una serie conocida, cuyos valores dependen en algún parámetro independiente del sistema (cualquier variable física incluyendo el tiempo). La predicción es un caso especial de la extrapolación; este es un método de derivación, o una conclusión resultante de comportamiento de una función dentro del rango conocido para su comportamiento fuera de dicho rango.

El reconocimiento implica decisiones basadas en un vector de entrada que indica la categoría del objeto descrito. El reconocimiento es llamado en ocasiones clasificación.

La asociación es muy similar a la clasificación. Una red neuronal artificial se adiestra para estar libre de errores en este caso y clasifica los datos erróneos.

El filtrado suaviza la señal de entrada y se basa en la obtención de una señal completa de ruido inferior (sin distorsión) de salida de la señal de entrada. Esta última es producida por sensores de entrada. Su implementación técnica y la función dependen de su aplicación específica. Pueden estar representados por sensores ópticos (para el procesamiento de información de imagen), detectores de ultrasonidos (de procesamiento de datos de una sonda) y otros.

La optimización es un proceso de búsqueda de un valor óptimo de una determinada variable, por ejemplo, para minimizar la longitud de un viaje.

7.9 Preguntas

1. Trate de definir el uso de lógica fuzzy desde el punto de vista de su aplicación.
2. Describa el procedimiento de trabajo de un sistema fuzzy.
3. Trate de encontrar un ejemplo de la praxis de la combinación de un sistema difuso con enfoque de control clásico por PLC (control mixto).
4. Describa el diseño de un sistema fuzzy desde su definición hasta la función de resultados.

8 Sistemas Digitales

8.1 Introducción

La aplicación de sistemas de procesamiento de datos digitales se ve facilitada en gran medida por la tecnología informática desarrollada, especialmente mediante el uso de microprocesadores, microcontroladores, microprocesadores basados en ordenadores personales y otros sistemas controladores lógicos programables, especialmente programables (PLC). En la práctica, los sistemas digitales han sustituido casi por completo a sus homólogos analógicos, ya sea realizado por circuitos de componentes pasivos o activos (por ejemplo, amplificador operacional).

Se pueden realizar equivalentes de todos los sistemas analógicos (por ejemplo, controladores, filtros, modelos) por sistemas digitales. Además, hay un tipo de comportamiento, que se encuentra en los sistemas digitales, que no está disponible con los sistemas analógicos: los sistemas de respuesta de impulso finito (FIR), que no tienen su equivalente en el dominio analógico. Hay también otras funciones, que no son convenientes para aplicación analógica (principalmente imposibles o demasiado complicadas), por ejemplo, filtros no lineales, operaciones estadísticas, las tareas de identificación o la optimización.

Los sistemas digitales se aplican en numerosos campos para muchas funciones diferentes. Sin embargo, su estructura y su aplicación son siempre muy similares. La diferencia está en la metodología de diseño y los requisitos estructurales y paramétricos. Por ejemplo, los requisitos para el controlador son la estabilidad y el rendimiento del control deseado. Por otro lado, el requisito para el modelo digital es el máximo acercamiento en el comportamiento al modelo original.

8.2 Filtros digitales

Los filtros digitales tienen que modificar el contenido frecuencial de la señal de entrada de una manera particular, por ejemplo, para actuar como un paso bajo, permite el paso de banda de bajas frecuencias especificadas y se produce la atenuación de las frecuencias más altas. Es posible realizar un filtro de paso alto o filtro de paso de banda, así, con el uso de la misma estructura, sólo el uso de diferentes parámetros (coeficientes en FIR o IIR [respuesta de impulso infinito] interconexiones del sistema). En ciertas aplicaciones, los requisitos de filtros digitales no son impuestos en la filtración de frecuencia, sino más bien en la conformación del comportamiento en el tiempo del valor de procesado, por ejemplo, para suprimir un ruido o perturbación de impulsos de corta duración. En el procesado digital de imágenes, se utilizan filtros bidimensionales. Se utilizan para la supresión de ruido, manipulación del contraste, realce de contorno, etc. El diseño de filtros digitales se hace con DFT y la base de análisis espectral para el control numérico de señales. Se describe la transferencia, respuesta en frecuencia, respuesta al impulso y la ecuación diferencial. Estos son algoritmos o circuitos, el cambio de espectro de señal de entrada discreta. En tiempo real, el filtro entre las dos muestras que tienen que calcular la convolución (filtros FIR). Los filtros digitales siguen a los filtros analógicos pasivos y activos y pueden ser diseñados ya sea directamente (FIR), o mediante la conversión del prototipo analógico (IIR).

Los filtros se dividen por su respuesta impulsional:

- Filtros con respuesta impulsional finita – FIR
- Filtros con respuesta impulsional infinita – IIR

Y por la estructura de su esquema:

- Filtros no recursivos NRDF (sin realimentación)
- Filtros recursivos (realimentados) mayormente filtros IIR

LTI

Sistemas lineales invariantes en el tiempo.

Si $x(t)$ es la señal de entrada y la señal de salida $y(t)$, entonces la señal de salida viene dada por la transformación de la señal de entrada, por lo tanto $y(t) = T\{x(t)\}$.

Invariancia en el tiempo significa que el sistema responde para una señal de entrada dada $x(t)$ con la misma señal de salida $y(t)$. Si el sistema se excita por la señal $x(t)$ desplazada temporalmente, $x(t-t_0)$, el sistema responde con la salida $y(t)$ desplazada del mismo modo, $y(t-t_0)$.

Un sistema lineal es un sistema donde para multiplicar una señal de entrada $x(t)$ por k , se obtiene una señal de salida $y(t)$ tras realizar los productos, y para realizar

el sumatorio de señales de entrada $\sum_i k_i \cdot x_i(t)$ responde con un sumatorio de salidas $\sum_i k_i \cdot y_i(t)$.

Estos comportamientos son muy importantes, ya que tienden a simplificar algunas operaciones matemáticas y la comprensión del sistema. La “Variante Digital” de LTI se nombra como DLTI (LTI discreto). En los sistemas digitales en lugar de señales analógicas trabajamos con secuencias numéricas. La señal de entrada viene dada por secuencias $\{x(nT)$, donde n pertenece a Z - espacio de estado discreto}, la señal de salida (respuesta) es una secuencia numérica $\{y(nT)$, donde n pertenece Z }. Entonces $x(nT)$ significa, que este número presenta un tamaño temporal nT , donde T es el período de las muestras. Si consideramos la señal de entrada como secuencias numéricas sin relación con el tiempo, podemos escribir las muestras sólo con el índice n , $x(n)$. En muchos casos de uso de cálculo numérico el tiempo es una variable importante (por ejemplo, para la filtración de la señal), y guardaremos la nota $x(nT)$.

Un sistema invariante en el tiempo convierte la señal de entrada (secuencias) $\{x(nT)\}$ a secuencias de salida (señal) $\{y(nT)\}$, entonces $\{y(nT)\} = T\{x(nT)\}$. La respuesta impulsional del sistema digital es la respuesta propia a una muestra de entrada aplicada en el tiempo $t = 0$. La señal de entrada (secuencia) es $\{x(nT) = 1$ para $n = 0$, $x(nT) = 0$ para $n \neq 0\}$. En la determinación de la respuesta impulsional del sistema digital suponemos, que antes de la aplicación del impulso de entrada se relajó el sistema.

Para los sistemas lineales invariantes en el tiempo se aplica la regla de superposición - la señal de entrada se descompone en partes adecuadas, encontramos respuestas para estas partes en los componentes de la salida. La señal de entrada $\{x(nT)\}$ puede descomponerse en muestras correspondientes a impulsos x tamaño (iT) y situados correctamente en el tiempo $i \cdot T$. La respuesta a estos impulsos es $x(iT)\{h(nT - iT)\}$. La secuencia completa de salida en respuesta a la señal de entrada $\{x(nT)\}$ es la suma de todas las respuestas, respuestas para todo i .

8.3 FIR

Los filtros con respuesta finita. No contienen realimentación y son no recursivos (convolución). La transferencia de causalidad (sólo valores positivos n) filtrando por:

$$H(z) = b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_Mz^{-M} = \sum_{n=0}^M b_nz^{-n}$$

Y su ecuación diferencial es:

$$y(n) = b_0x(n) + b_1x(n-1) + \dots + b_Mx(n-M)$$

Los filtros FIR con siempre estables.

Los filtros transversales son las estructuras más usadas. Se trata de líneas de retardo con interruptores como multiplicadores. El filtro calcula el peso de la media móvil desde el último valor $M+1$. Los coeficientes son valores desde la respuesta impulsional $-b_n = h(n)$.

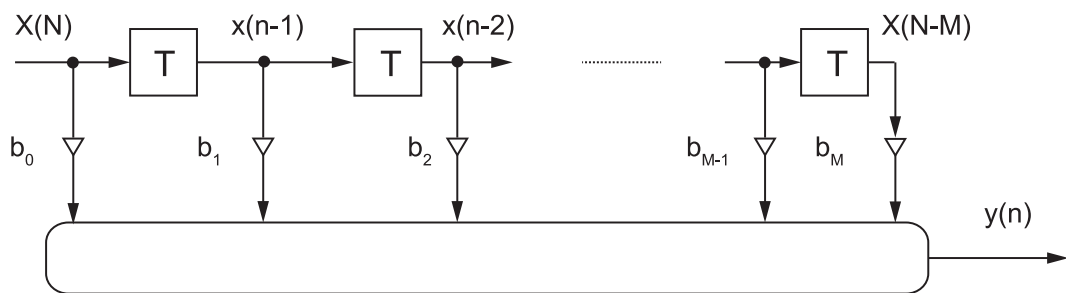


Fig. 8.1: Esquema para filtro transversal FIR

El filtro retrasa la señal para $\frac{M+1}{2}$ pulsos y se estabiliza tras $M+1$ pulsos.

8.4 IIR

Los filtros IIR necesitan una retroalimentación mínima, y son filtros recursivos. La transferencia se realiza por el cociente de polinomios. Los ceros realizan la parte no recursiva, y los polos la parte recursiva. El orden de filtro se realiza por el aumento del orden de los polinomios. Su orden es mucho más bajo que el de los filtros FIR, por lo que la respuesta es más rápida. Se da un ejemplo simplificado de filtro IIR es en la imagen siguiente.

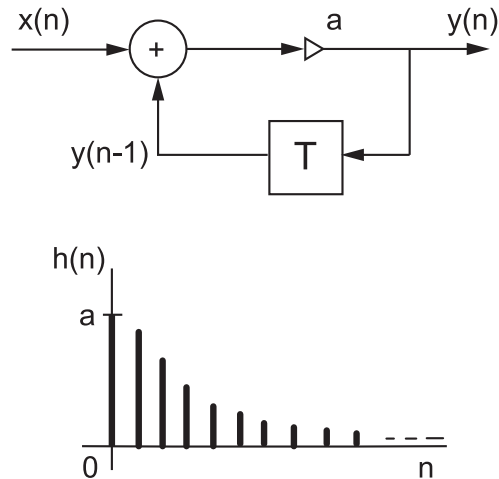


Fig. 8.2: Filtro IIR simple

Los filtros se dividen en función de su propósito:

1. Filtros digitales selectivos

Estos son Paso Bajo (DP) , paso alto (HP) filtro de paso (PP) y filtro banda eliminada (PZ).

Realizados como filtros FIR o IIR con fase lineal y los filtros como FIR.

2. Integrador discreto

La integral se calcula por procedimientos numéricos como :

$$y(n) = y(n-1) + x(n)$$

$$y(n) = y(n-1) + \frac{1}{2}[x(n) + x(n-1)]$$

3. Derivador discreto

Diferenciar la señal de entrada, es importante para la detección de la aceleración o la detección del borde.

4. Movimiento medio MA

Calcula el promedio de la muestra y sus M anteriores. Puede ser ponderado con los mismos coeficientes

$b_i = \frac{1}{M+1}$, (no ponderado), o con exponenciales como el filtro recursivo con pesos de coeficientes $a-c_i$, donde c es el número real.

8.5 Campos de aplicación

Cada campo de aplicación de los sistemas digitales tiene su propia tradición, terminología, notación, teoría del desarrollo y metodología de diseño, así como de expertos en la investigación y su aplicación. La comunicación entre estas ramas es sólo ocasional, por ejemplo, en el caso del diseño del controlador modelo interno o en caso de control, donde se utiliza una filtración masiva o la predicción del comportamiento de valor controlado. No es posible explicar los detalles de todos los campos de la teoría del sistema digital y su aplicación. Nos centraremos en los problemas de control, discutiendo otros campos sólo marginalmente.

No vamos a profundizar tampoco en la teoría de control. Está bien descrita en monografías especializadas, muy extensas en general. La explicación se basa en el conocimiento de principios físicos, sensación del ingeniero y la intuición. Este enfoque es razonable, entre otros, debido a que algunos de los métodos teóricos son difíciles de utilizar en la práctica.

8.6 Control numérico

Vamos a describir el proceso de control de realimentación (ver fig. 5.2d). El controlador R evalúa el valor controlado de salida real (y), medida en la planta controlada (S), y lo compara con el valor de entrada deseada (W). El resultado de la diferencia es una señal de error (e) (igual a la resta $e = w - y$), que se convierte en una variable de control (u) por el controlador. El controlador acciona la planta por la variable de control para eliminar, o al menos reducir al mínimo el error. El valor controlado (y) puede ser, por ejemplo una temperatura (en una habitación o dentro de un proceso), la posición o la velocidad (mover partes mecánicas, ascensores y vehículos), nivel de líquido, presión, flujo, humedad, etc.

El objetivo del control de realimentación es regular o realizar el seguimiento del comportamiento del valor deseado en el tiempo, con un coste y riesgo mínimos. El control puede ser considerado como un proceso continuo de compensación de error. El error puede ser causado por el cambio del valor de entrada deseado (por ejemplo, un cambio de la temperatura deseada en una habitación fijado por el usuario, por horario de tiempo dado o por la detección de la presencia de personas).

8.7 Perturbaciones y rendimiento de control

La principal fuente de error es la presencia de diversas perturbaciones, que actúan sobre una planta. A menudo aparecen como variables aleatorias, por ejemplo, un cambio repentino de clima, cambio de insolación en una habitación, abertura de la ventana, conmutaciones en los equipos eléctricos, la llegada o la salida de varias personas, el ruido de una medición de la temperatura o la turbulencia aleatoria en su entorno. Además, algunos efectos regulares se consideran como aleatorios, debido a que casi no se pueden predecir por el controlador (por ejemplo, una temperatura o flujo de calefacción o refrigeración de medio).

Hay varios criterios para evaluar una actuación de control. Al lado del error en estado estacionario, el comportamiento del valor controlado en el tiempo también es importante. Cada cambio de la señal de error provoca una respuesta transitoria del valor de la producción, que se estableció en el estado de equilibrio (teóricamente) por un período infinitamente largo. El rendimiento del control es evaluado por la respuesta transitoria. En algunas aplicaciones, se desea un tiempo de establecimiento más corto, incluso si se causa un gran sobredisparo. De lo contrario, no se requiere ningún sobredisparo, incluso si la entrenamiento es más largo.

8.8 Estabilidad y análisis de respuesta transitoria

El requisito obvio es la estabilidad de un sistema de control. En términos generales, la salida controlada se asentará en el valor deseado, en su estrecha zona (límites de tolerancia), o bien oscilará o fluctuará al azar dentro de los límites de tolerancia. Un sistema inestable exhibe un crecimiento ilimitado del error o de oscilaciones con una amplitud creciente.

La fuente de la respuesta transitoria en el sistema de control es una dinámica del sistema de control. Se manifiesta como la inercia, la demora, la oscilación. Se da a entender por la capacidad del sistema para acumular la energía o masa (por ejemplo, calor, agua, carga eléctrica) o para llevar a cabo la transformación de energía de una forma a otra (por ejemplo, para el intercambio de energía estática y cinética de un péndulo, el campo eléctrico y magnético en circuitos con inductores y condensadores).

La dinámica de sistemas también incluye un retardo de transporte - por ejemplo, durante el transporte de la masa (carbón en un cinturón, el agua o el aire en un tubo) o un retraso durante la transmisión y procesamiento de datos (por ejemplo, la propagación del sonido, lenta comunicación de enlace de datos, cálculo o muestreo lento).

8.9 Sistemas estáticos

Algunos sistemas no parecen presentar ninguna dinámica intrínseca, los llamamos sistemas estáticos o sistemas sin dinámica. Por ejemplo, un amplificador o transductor. Mirando de cerca, podemos ver que estos sistemas presentan también cierta dinámica, y los cambios de valor presentan respuestas transitorias. Estos transitorios, sin embargo, puede ser inapreciables para nosotros (por ejemplo, la iluminación de una bombilla, el cambio de un contacto o termostato, línea de desplazamiento del puntero, eléctrico o neumático motor en marcha o parado).

A veces, el transitorio es evidente, pero para un propósito en particular su dinámica no es significativa, y puede ser despreciado. Por ejemplo, el proceso de apertura o cierre de la válvula del calentador o la sedimentación de valor termómetro no es significativo en el control de la temperatura, que es un proceso sustancialmente más lento. Para un control lógico del manipulador, nos preocupamos de una trayectoria, la velocidad y el final del movimiento, pero la aceleración y la dinámica de desaceleración están fuera de nuestro interés. Del mismo modo, en la programación de mecanizado de control numérico, nos preocupan la trayectoria y la velocidad a lo largo del camino y esperamos que los servomotores de apoyo deslizantes funcionen bastante bien. Por otro lado, un técnico tiene para poner a punto la dinámica de los servomotores. Como los pasajeros de un ascensor, sentimos claramente la dinámica del sistema, pero como programadores de controladores lógicos, no lo tenemos en cuenta - lo dejamos para los constructores y personal de mantenimiento.

8.10 Descripción del sistema

Consideremos un sistema, que consiste en un tanque cilíndrico, sin ningún tipo de toma de corriente, sólo con un desbordamiento en la parte superior. Se suministra por una tubería de agua de una fuente (por ejemplo, un conducto de agua), dibujando un flujo constante, independiente del tiempo o el nivel del tanque. El flujo entrante no se puede ajustar, sólo dejarlo completamente abierto o cerrado.

Después de abrir el tubo de entrada (cambio de paso variable de control de cero a un valor constante), el nivel del agua en el tanque está continuamente creciendo, es decir, la velocidad de crecimiento es constante, independiente del tiempo y del nivel actual. El nivel se determina por el flujo y la superficie de la placa inferior. Este comportamiento continúa hasta que el nivel llegue a desbordar. Después de eso, toda el agua sobrante sale fuera y el nivel se establece en un valor constante (suponiendo, que toda el agua se desborda adecuadamente). El sistema contiene, pues, una no linealidad, que consiste en la limitación de nivel (saturación).

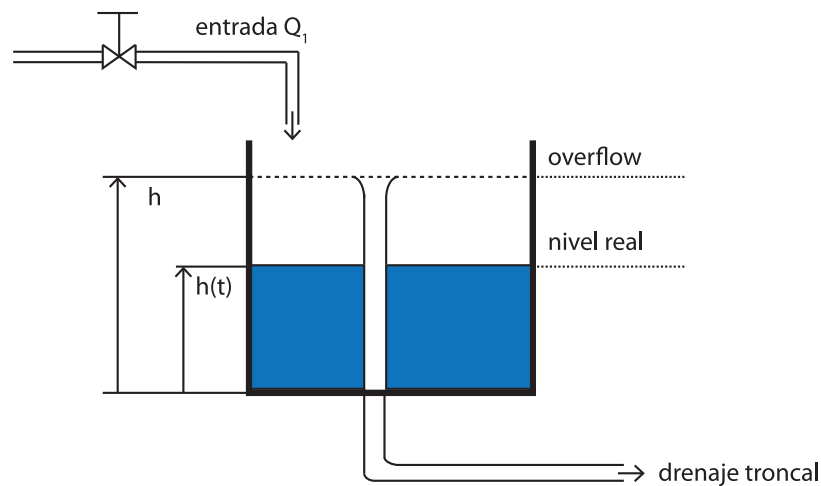
8.11 Características del sistema

Si se interrumpe el flujo (tubo cerrado), el nivel deja de subir y se queda en el punto alcanzado. Después de la reapertura de la tubería, el relleno continuará de la misma manera.

El nivel es proporcional al volumen de llenado, que es una integral del valor del flujo de entrada con el tiempo. El sistema tiene un carácter integral, se puede ver como un integrador de primer orden con saturación. En la ingeniería de control, tal sistema se llama a menudo como un sistema con astatismo de primer orden. Esto significa que con el valor de entrada constante (flujo), la salida (nivel) no tomará cualquier valor - no hay valor de estado estacionario, el sistema es astatístico. Esto es cierto, al operar en el rango de funcionamiento lineal, antes de que rebose del depósito.

Por otro lado, el sistema estático siempre tendrá un valor de salida determinado, donde el sistema se estabiliza, si es impulsado por la variable de entrada constante.

Nota: El término “sistema estático” es un poco ambiguo en el contexto de la ingeniería de control. El primer significado es sinónimo de un sistema sin dinámica intrínseca, cuya salida inmediatamente (sin retardo) reacciona a los cambios de variables de entrada. El otro significado es sinónimo de un sistema dinámico, en donde la salida se instala en un valor constante después del cambio de paso de entrada de la variable - tal sistema es un sistema de contraposición a astatística.



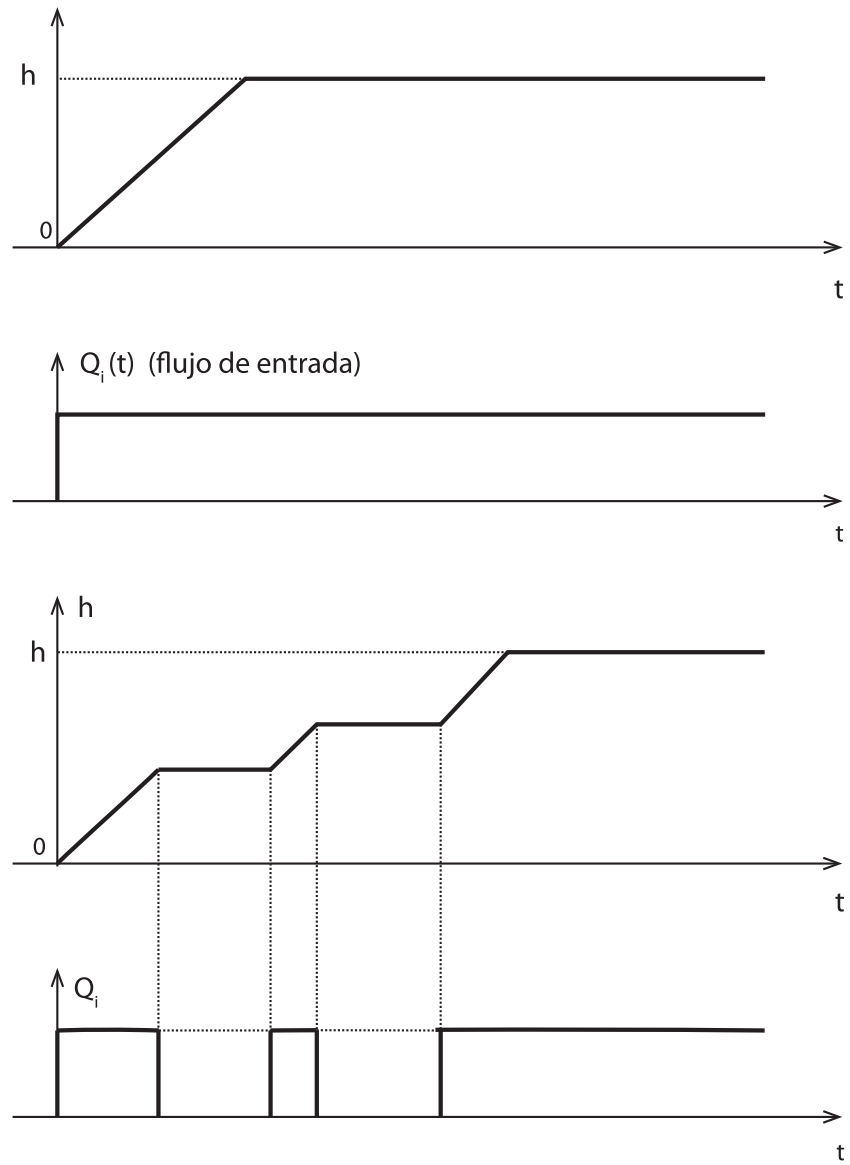
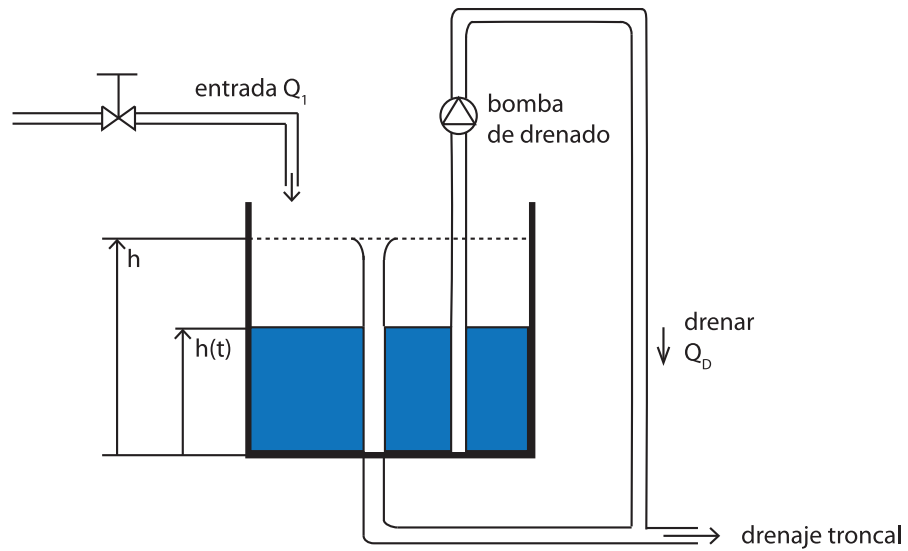


Fig. 8.3: Sistema hidráulico con carácter integrador

8.12 Modificación del sistema

La desventaja del ejemplo presentado es, que no hay manera de bajar el nivel alcanzado (si se desprecian la evaporización y las fugas) de agua en el tanque - no podemos establecer flujo negativo como una variable de control. Se desactiva un control del nivel de dirección hacia abajo.



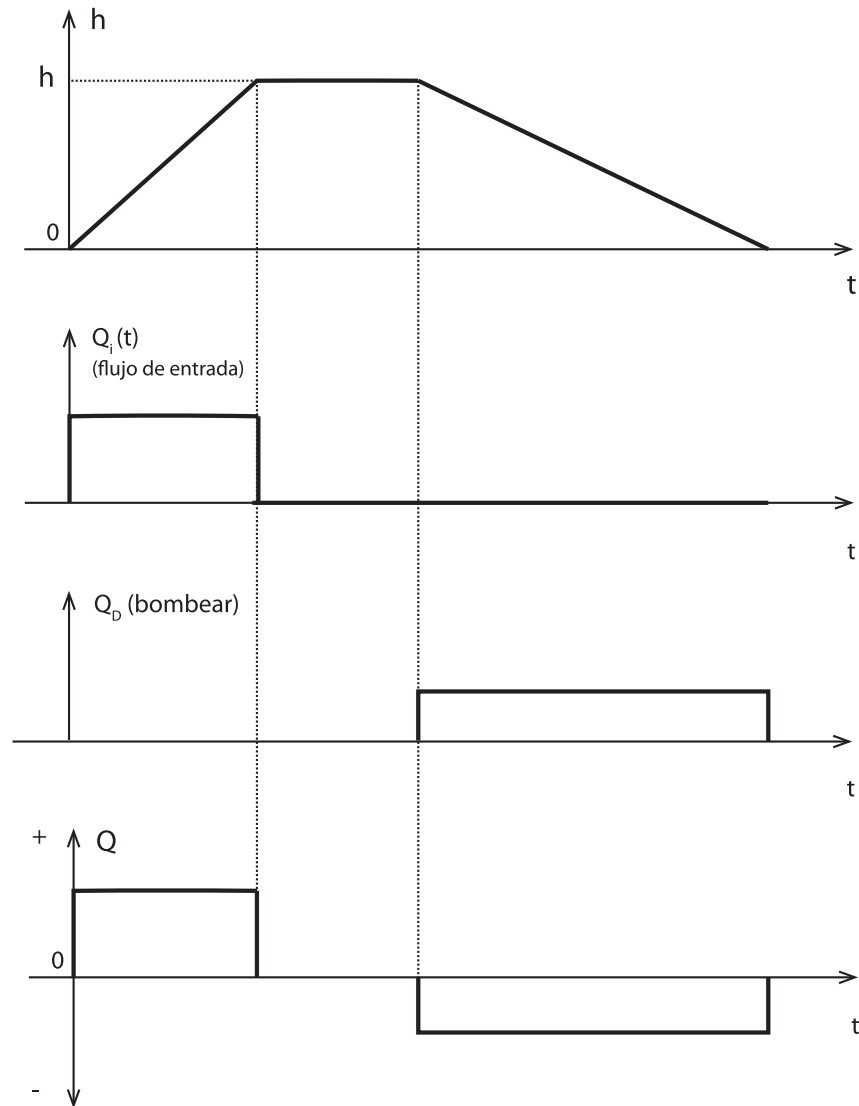


Fig. 8.4: Sistema Hidráulico de tipo integral

Vamos a considerar una extensión del presente ejemplo con una bomba, capaz de drenar el agua lejos del tanque. Su tubo de succión está conectado a la placa de fondo. Supongamos un flujo constante entrante por la tubería, así como el flujo provocado por la bomba, ambos conmutados entre cero y un valor constante. La dinámica de la bomba se desprecia.

Durante el drenaje, se exhibe un comportamiento similar al de llenado, el nivel está cayendo continuamente a velocidad constante, hasta que se alcanza el nivel de la tubería de aspiración, donde se detiene. Es un fenómeno integral, así, sólo el flujo de entrada (variable de control) es un valor negativo. Si el flujo de llenado y drenaje es igual, el sistema es lineal en el rango de operación, dado por los límites (saturación) en los extremos superior e inferior. Si hay diferentes valores de flujo durante estas dos operaciones, el sistema se vuelve no lineal - que es un sistema asimétrico con parámetro variable discontinuo - la constante de integración (diferente para el drenaje que para el relleno).

8.13 Sistemas eléctricos

Los sistemas estáticos se pueden encontrar en muchos campos, por ejemplo, en ingeniería eléctrica. En la Figura se muestra, la integración que se produce por la carga y descarga del condensador, alimentado por una fuente de corriente constante. Durante la carga, una carga eléctrica se introduce continuamente al condensador. La velocidad de carga (corriente) no depende del tiempo ni de la tensión del condensador. La tensión del condensador u_2 aumenta proporcionalmente a la cantidad total de carga almacenada. La descarga es un proceso contrario de disminuir carga del condensador. Si el valor absoluto de la carga y descarga de corriente es igual, el sistema es lineal, si estos valores difieren, el sistema es asimétrico como anteriormente, es decir, no lineal. Teóricamente, la tensión del condensador es ilimitada hasta el infinito. En la práctica, la saturación se aplicará así debido a las limitaciones de tensión de alimentación.

Nota: Desde el punto de vista de la teoría de circuitos, este circuito es lineal, la única no linealidad se debe a la limitación de la fuente de corriente, lo cual en nuestro caso particular, la posibilidad de suministrar sólo dos valores de corriente de salida. Es similar al sistema hidráulico mencionado anteriormente, donde la no linealidad se compone de válvulas de entrada y de flujo constante. Las propiedades del sistema, como la (no) linealidad, pueden cambiar, si consideramos al sistema sólo como un “subsistema interno” o si se incluyen los actuadores y sensores, causando no linealidad o dinámicas adicionales.

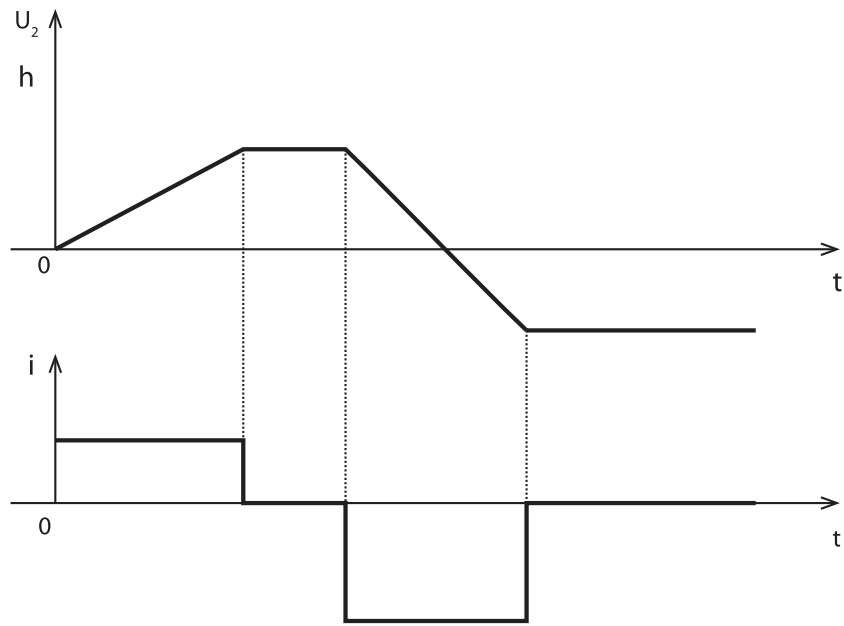
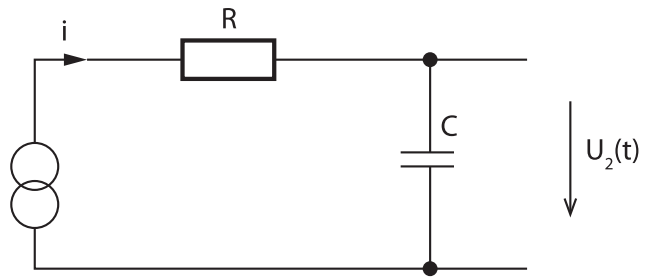


Fig. 8.5: Ejemplo de sistema astatico

8.14 Sistemas mecánicos y térmicos

Hay sistemas térmicos, que son aproximadamente estáticos. Estos pueden ser abordados por un espacio, aislado térmicamente tanto como sea posible, con un mínimo de pérdidas de calor (caja de poliestireno, botella de vacío, cámara experimental con aislamiento ideal) y con una fuente impresa de calefacción, independientemente de la diferencia de temperatura (por ejemplo, una bombilla, calentador, calentando sin protección térmica).

En la mecánica, hay una gran cantidad de sistemas de carácter puramente estático. Todos los sistemas, que tiene una velocidad lineal o angular como entrada y la posición o el ángulo como salida, son estáticos, por ejemplo, vehículos, trenes, restos de diapositivas y placas giratorias de máquinas-herramienta, piezas móviles de manipuladores, elevadores y grúas (ángulo de partida, la posición del carro o la longitud de una cuerda).

Este efecto se da también en los sistemas donde la entrada es la aceleración y el valor de salida es una velocidad. Pero si una posición se considera como un valor de salida, al tiempo que la aceleración como la de entrada, el sistema tendría sería estático de segundo orden (que consiste en la doble integración). La caída libre no es un fenómeno común en diseños mecánicos, pero los sistemas con aceleración y deceleración constante se implementan a menudo. Esto puede verse por ejemplo en los ascensores, ya que este tipo de despegue es cómodo para los pasajeros. En algún nivel de simplificación, el despegue puede ser considerado como con aceleración constante en algunos motores de aviones, vehículos, trenes o cohetes.



Para mayor claridad de la demostración, sólo se consideran los cambios en la entrada (válvula de apertura y de cierre, una bomba de conmutación de encendido o apagado, de corriente constante de direcciones, la aceleración o desaceleración constante). Los cambios escalón en la entrada también se utilizan a menudo en la práctica en sistemas (plantas) la identificación y la creación de modelos, es decir, la determinación de su estructura y los parámetros de respuesta medida. Las propiedades del sistema (por ejemplo, estático de primer orden), sin embargo, no dependen de la evolución temporal de la entrada. Si se puede (y quiere) accionar valores continuos en la entrada y medir valores continuos en la salida, observamos las mismas propiedades del sistema, como si actuaran ante valores de entrada escalón - sólo que los comportamientos serían más complicados y menos comprensibles. Por ejemplo, el nivel de agua será todavía una integral de flujo con el tiempo, incluso si el flujo se puede variar mediante apertura y cierre arbitrario y continuo de la válvula.

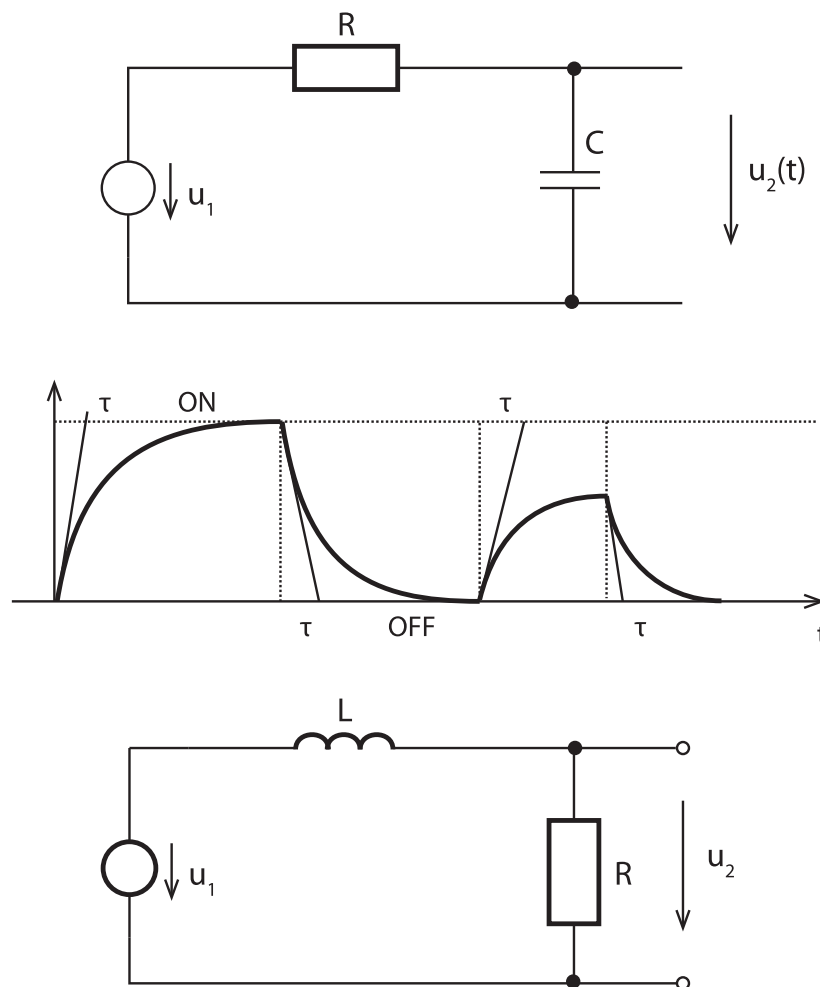
8.15 Carga de un condensador

Consideremos el circuito modificado que se muestra en la imagen. Un condensador en serie con una resistencia, alimentados desde una fuente de tensión constante. La respuesta de este sistema a dos pulsos de entrada amplitud u_{1m} y duraciones distintas (un pulso más largo y uno más corto) se representa en la figura. El valor de salida es una tensión voltaje u_c en el condensador.

Después de proporcionar una tensión de entrada u_{1m} , el condensador está cargándose (acumula carga eléctrica) y su voltaje sigue una función exponencial

$$u_c = u_{1m}(1 - e^{-t/\tau})$$

Al principio, la tensión del condensador es cero y la corriente de carga es máxima (limitada por la resistencia R). Como el condensador se carga, aumenta su tensión y la diferencia entre éste y una tensión en la entrada ($u_{1m} - u_c$), que conduce a una disminución de corriente de la carga, y, como consecuencia, el aumento de la tensión del condensador se ralentiza. En estado estacionario, la tensión del condensador (u_c) es igual a la tensión de entrada (u_{1m}) y no fluye corriente a través de la resistencia.



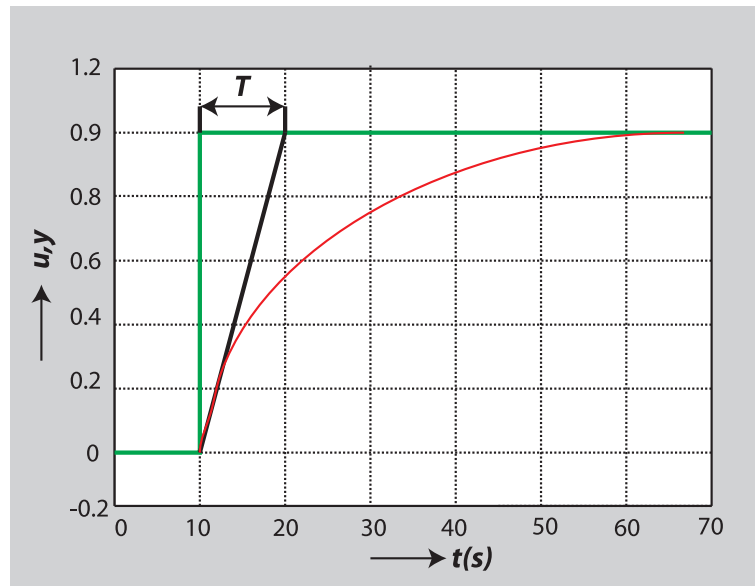


Fig. 8.6: Circuito eléctrico simple

8.16 Descarga de condensador

Un proceso similar se da durante la descarga del condensador, es decir, después de poner la tensión a cero en la entrada. El comportamiento en el tiempo sigue una exponencial así, esta vez la función es:

$$u_c = u_{1m}(e^{-t/\tau})$$

Si un pulso corto se acciona en la entrada, el transitorio no termina y el condensador se carga en parte, solamente. La descarga a continuación, comienza a partir del último valor alcanzado.

El comportamiento exponencial está parametrizada por una constante de tiempo τ . Una línea, tangente a la curva exponencial, que se cruzan en el tiempo cero, cruza un eje de tiempo en el momento τ . Para el circuito RC, la constante de tiempo es igual al producto de la capacidad y resistencia, $\tau = RC$.

El sistema descrito anteriormente es un sistema de primer orden estático, también llamado un sistema de condensador. Un circuito con un inductor y una resistencia (RL) se comporta de forma similar - la corriente que pasa a través del inductor sigue a la función exponencial y la tensión de salida en la resistencia varía proporcionalmente a ella.



Asumimos, que la entrada es accionada por una fuente de tensión, es decir, hay una tensión igual a u_{1m} o 0 para la descarga. El condensador se descarga por una corriente negativa, que fluye de nuevo a la fuente de tensión. Sin embargo, en muchas situaciones (por ejemplo, en caso del llenado del tanque), la entrada se desconecta, en lugar de conectarse a valor cero. En este caso, no hay corriente de descarga y el condensador se mantiene cargado para siempre (si se desprecian las auto-descargas parasitas).

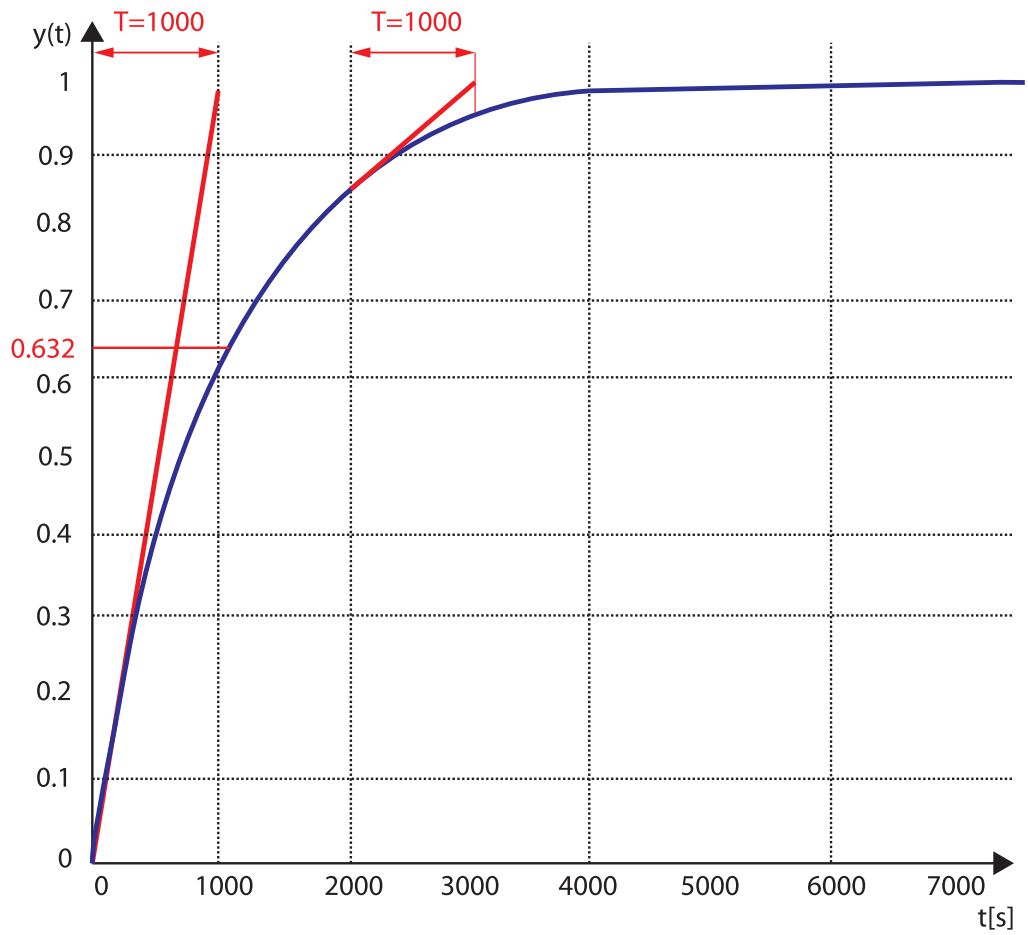


Fig. 8.7: Respuesta de sistema estático de primer orden a una entrada escalón y relación con la constante de tiempo

8.17 Relaciones entre sistemas térmicos y eléctricos

Aparentemente, existe una analogía entre el circuito eléctrico descrito anteriormente, y un sistema térmico en el que se calienta una habitación con pérdidas de calor, o de agua hirviendo en un hervidor de agua eléctrico. La diferencia es que, en analogía eléctrica, una descarga se realiza para una de tensión en la entrada igual a cero, y el condensador se descarga en parte a través de la derivación R_2 y en parte a través de la resistencia de entrada R_1 de nuevo a la fuente - Efectivamente, ésta se descargará a través de combinación en paralelo de dos resistencias,

$$R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{hacia tensión cero. El sistema es simétrico, y por tanto}$$

lineal.

Por otro lado, los sistemas térmicos son generalmente significativamente asimétricos, por lo tanto no lineales. La interrupción de la calefacción representa la desconexión de la fuente, es decir, la desconexión del flujo térmico entre la fuente y el sistema, el sistema entonces se refrigera por la pérdida de calefacción. Una analogía más realista para el sistema térmico es por lo tanto un tanque con llenado simultáneo y drenaje o un circuito eléctrico con la desconexión de la fuente de alimentación, como se muestra en la siguiente figura. Al final de la carga, la corriente se corta y el condensador se descarga sólo a través de la resistencia R_2 .

Este ejemplo coincide mucho mejor con el comportamiento del sistema de calefacción, sin embargo, no está claro lo que significa que el voltaje cero (temperatura). Un modelo más realista se muestra en la siguiente figura, que toma en cuenta una temperatura ambiente arbitraria, representada aquí como segunda fuente de tensión u_2 .

Si el voltaje de la segunda fuente u_2 es inferior al voltaje del condensador, la corriente fluye de vuelta a la fuente, se asemeja a una pérdida de calefacción. Por el contrario, si la temperatura es superior a una temperatura ambiente, el calor fluye en la habitación, lo que corresponde al condensador de carga de la fuente u_2 .

8.18 Relaciones entre sistemas eléctricos, térmicos e hidráulicos

El modelo presentado del sistema térmico es muy simple en comparación con la realidad (por ejemplo, una habitación con calefacción). Los modelos reales tienen una estructura más complicada y por lo general son de orden superior. En nuestro modelo, la resistencia R_1 significa un calentamiento, una resistencia térmica del calentador y la resistencia R_2 corresponde a las pérdidas de la calefacción - reducir la resistencia implica mayores pérdidas. Un edificio bien aislado normalmente tiene unos grandes valores de resistencia. C representa la capacitancia de la capacidad térmica, es decir, cantidad de calor, acumulado a cierta temperatura. Se administra por volumen de aire, en paredes y también en elementos de calefacción.

Un circuito eléctrico con dos fuentes de tensión corresponde a un sistema hidráulico con dos grandes elementos de distinto nivel y es una analogía del sistema térmico (no hay que olvidar la característica raíz cuadrada de flujo por diferencia de nivel en el caso de sistema hidráulico).

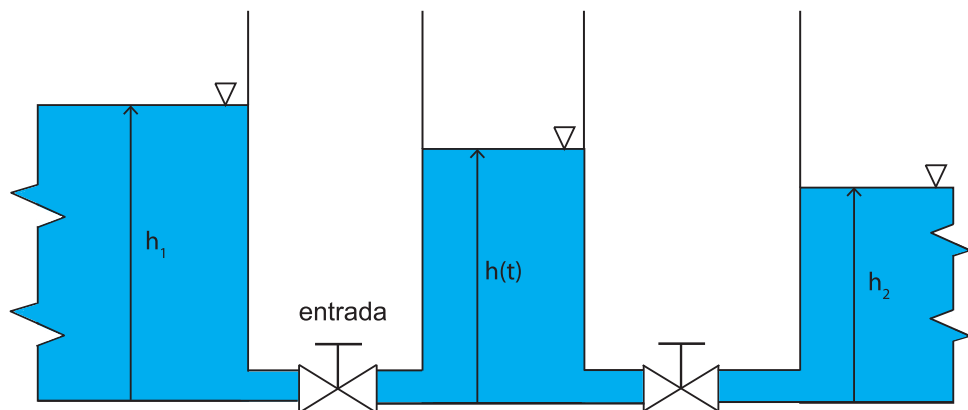


Fig. 8.8: Sistema hidráulico con dos elementos

8.19 Fuentes de alimentación (corriente y tensión) para distintos procesos físicos

En la teoría de circuitos, es común trabajar con fuentes ideales (es decir, constantes) de tensión y corriente. Es menos común en el caso de los sistemas térmicos o hidráulicos, por lo que es importante comprender la estructura real mientras se modela.

La fuente de tensión ideal (constante) da exactamente la misma tensión en sus terminales, sin tener en cuenta a la carga (la corriente) – teóricamente tiene una resistencia interna cero. La mayoría de las fuentes de voltaje comunes en la práctica eléctrica se aproximan a la fuente de tensión ideal. Algunas de ellas están muy cerca de lo ideal (por ejemplo, red eléctrica, acumuladores de plomo), otros se alejan un poco más de la operación ideal (por ejemplo, baterías de pilas, transformadores pequeños).

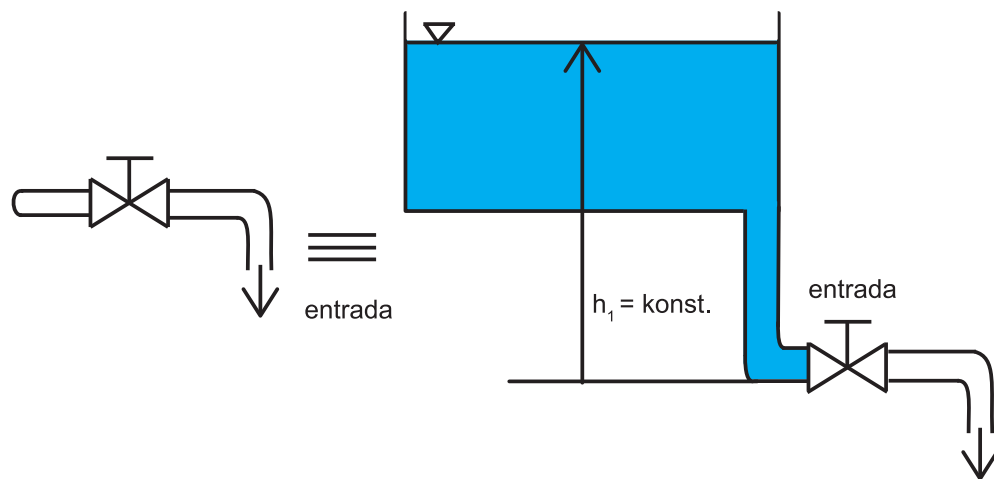


Fig. 8.9: Analogías hidráulicas de Fuentes de tensión

En los sistemas hidráulicos, la contrapartida de la tensión eléctrica es una presión, o una diferencia de presión. La fuente de tensión está entonces representada por una fuente de presión constante, que no está aparentemente influenciada por la carga (el consumo). A menudo se modela como una fuente de gran tamaño (por ejemplo, una cuenca, embalse, lago o el océano o un conducto de agua).

El voltaje es análogo a una temperatura o un gradiente de temperatura, en el campo térmico. La fuente ideal de tensión corresponde a un calentamiento masivo o fuente de refrigeración, por ejemplo, una enorme fuente de agua de cierta temperatura, calderas, pared masiva, tierra, río o una fuente bien regulada con calificación suficiente.

La fuente de corriente ideal (constante) es capaz de conducir un circuito a través de sus terminales por corriente constante, independientemente de la carga (resistencia, provocando una caída de tensión). Se puede aproximar por una fuente de voltaje suficiente con una gran resistencia en serie.

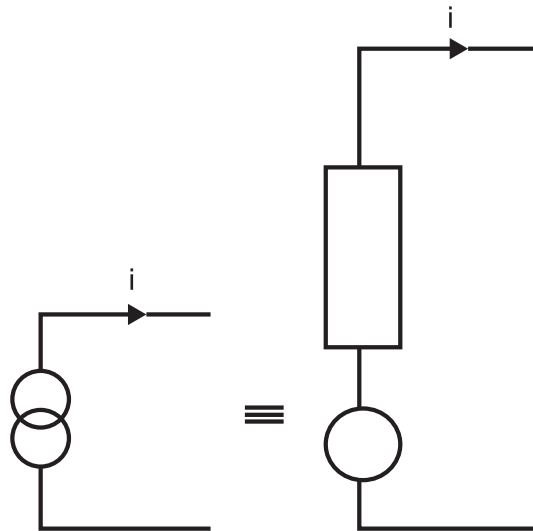


Fig. 8.10: Aproximación de fuente de corriente constante

En los sistemas hidráulicos, la fuente de corriente es análoga a una fuente de flujo constante, que no está influenciada por el consumo, por ejemplo, un conducto de agua o reservorio con suficiente presión o un relleno sin interacción (feedback) de líquido de llenado (por ejemplo, si se vierte en la parte superior).

La analogía de la corriente eléctrica en los sistemas térmicos es un flujo de calor. La fuente de corriente corresponde a una fuente de flujo de calor constante, independiente de la temperatura del objeto calentado, por ejemplo, un calentador sin limitación térmica (protección). Dicha fuente (por ejemplo, una bombilla de luz, calefacción, horno), si no se enfría, puede alcanzar una temperatura muy elevada, a menudo causando un desastre.

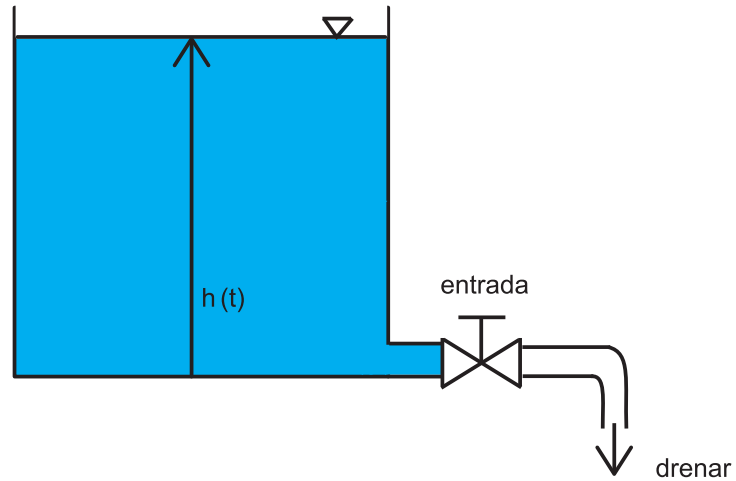
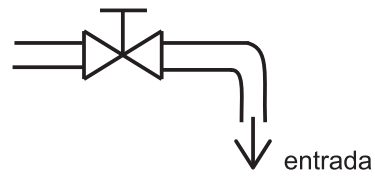


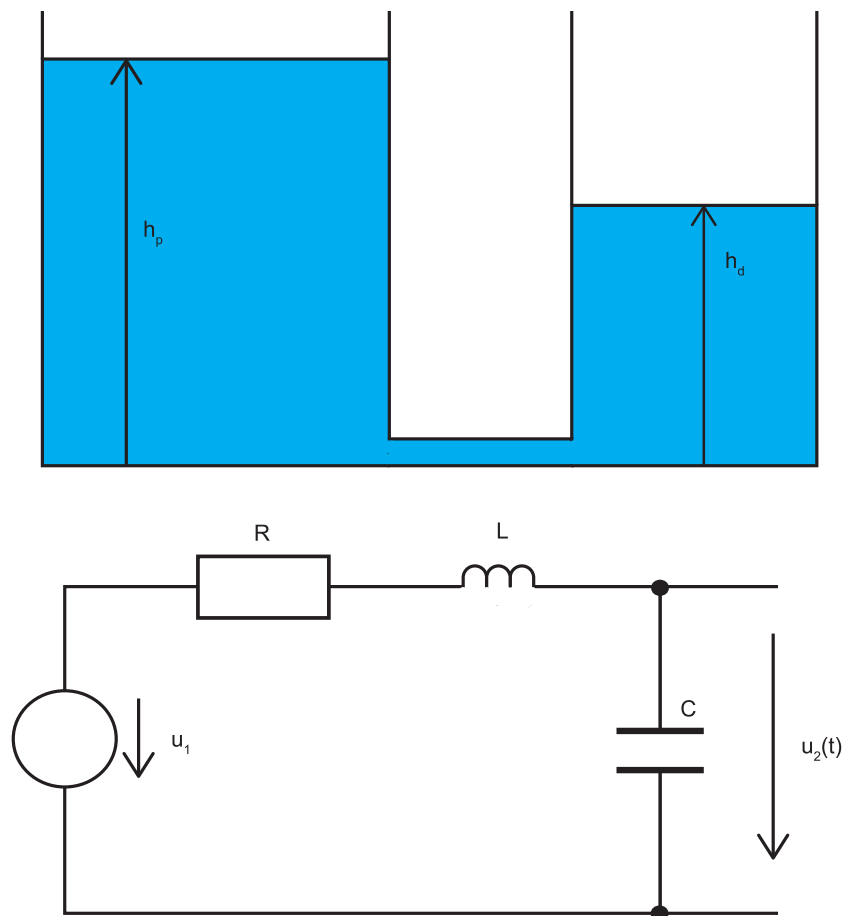
Fig. 8.11: Equivalente hidráulico de un sistema condensador con orificio de desagüe

La mayoría de los sistemas analizados (eléctricos e hidráulicos), excepto los estáticos, fueron alimentados desde una fuente de tensión o su equivalente hidráulico (fuente de presión constante). Vamos a mostrar varias modificaciones de su estructura mediante el uso de la fuente de corriente o su contraparte hidráulica (fuente de flujo constante).

8.20 Sistemas oscilantes

Los sistemas de orden superior pueden tener también una respuesta transitoria no monótona. Algún tipo de sistemas tiene una respuesta típica oscilatoria. La esencia de este comportamiento reside en el intercambio mutuo de energía entre las diferentes formas (acumuladores). Por ejemplo en caso de un péndulo suspendido, una energía potencial se transforma en una energía cinética, y viceversa, en el caso del péndulo de torsión, la energía de deformación elástica se transforma en una energía cinética, y viceversa. La característica oscilatoria se puede encontrar en los sistemas mecánicos, donde tenemos una inercia (masa o cantidad de movimiento), elasticidad (resorte u otro deformación reversible) y una amortiguación. Comúnmente, el objetivo del sistema de control es aumentar la amortiguación (por ejemplo, amortiguación activa de transporte o en el asiento del conductor, la optimización de movimiento de la grúa con respecto a cancelar oscilaciones). Los circuitos eléctricos, compuestos de inductores, condensadores y resistencias también son susceptibles a la oscilación. Las zonas de agua grandes son por lo general también oscilatorias. La oscilación, aunque inestable, a menudo es causada por una realimentación en los sistemas complejos.

La conexión en serie de subsistemas puede estar compuesta no sólo de sistemas estáticos, sino también de sistemas a estáticos o una combinación de ambos.



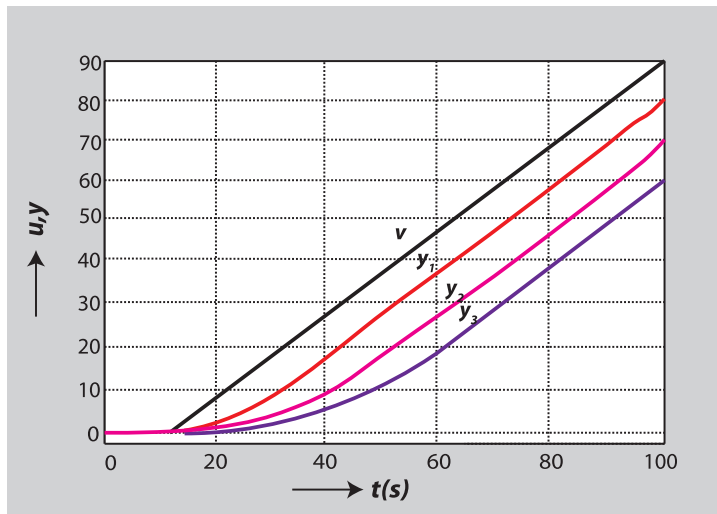
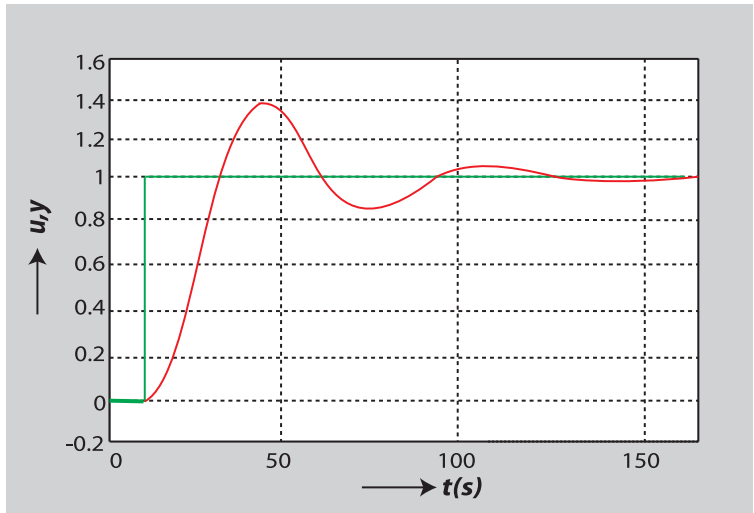
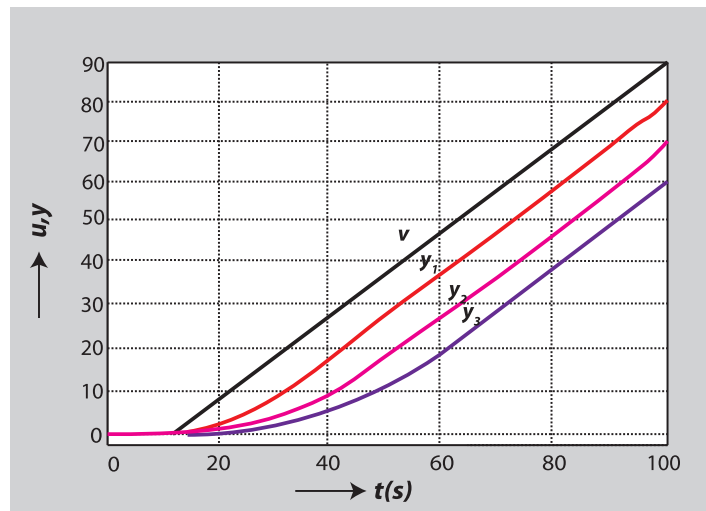


Fig. 8.12: Circuito eléctrico de tipo RLC

8.21 No linealidad

Los sistemas pueden contener no linealidades significativas. Algunos de ellos fueron presentados en el texto anterior, tales como la limitación (saturación), sistema de asimetría o una dependencia de la función general (por ejemplo, cuadrática o raíz cuadrada). Otros ejemplos son una característica de relé, la histéresis, la histéresis múltiple, zona muerta, la fricción de Coulomb, etc. La característica de saturación es muy común en actuadores (salida del controlador) - por ejemplo, un controlador calcula la temperatura del agua de calefacción deseada a 250 °C, pero el límite físico es de hasta 100 °C, por ejemplo, 80 °C. En ese caso, el valor de salida se lleva al límite. El sistema puede contener múltiples no linealidades, por ejemplo asimetrías, junto con la dependencia tipo raíz cuadrada en el caso del sistema hidráulico. Otras no linealidades en sistemas hidráulicos pueden ser causados por ejemplo, mediante la variación de la forma del recipiente.



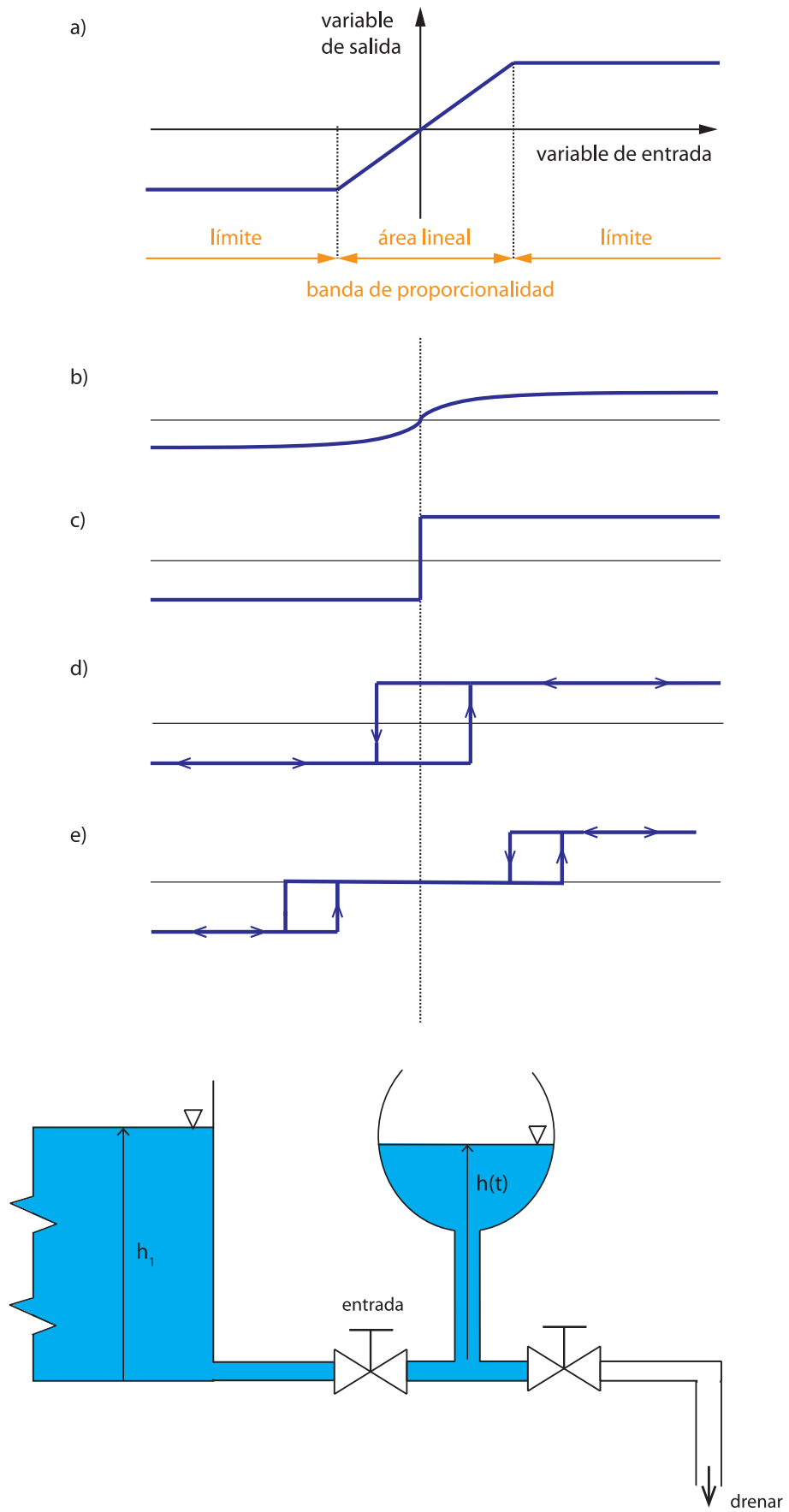


Fig. 8.13: Características típicas

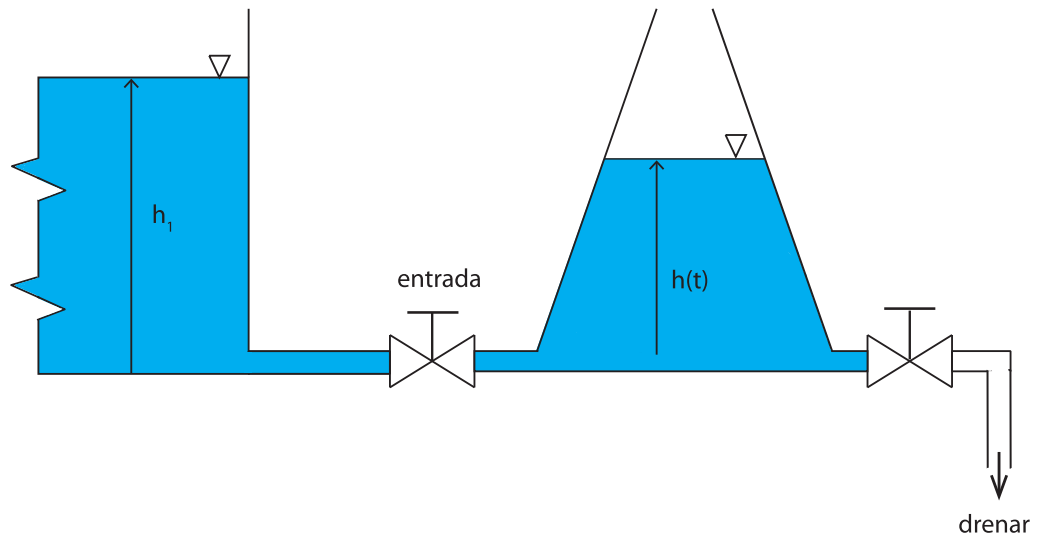


Fig. 8.14: Sistema hidráulico no lineal

8.22 Identificación del sistema

La identificación del sistema se realiza por lo general mediante el accionamiento del sistema por una de entrada y la evaluación de su respuesta a la salida. A continuación, se determina una estructura (tipo, orden) del sistema y los parámetros (coeficientes). A menudo se consideran señales de entrada escalón, la salida es entonces una respuesta transitoria, discutida anteriormente. A veces, se introduce un impulso muy corto, a continuación, la respuesta se denomina respuesta al impulso. Ambas señales (y respuestas) ya mencionadas, tienen un significado teórico importante. Sin embargo, dichos cambios repentinos pueden ser imposibles o peligrosos para su uso en ciertos sistemas, en la práctica (por ejemplo, la repentina apertura o cierre de una válvula en una tubería larga pueden provocar explosiones peligrosas, también una aceleración muy rápida de vehículos, ascensor o un transporte por cable puede ser no deseado). Los cambios repentinos suelen ser imposibles, debido a la lentitud de acción, por ejemplo, del motor, la válvula o una calefacción. Las señales de rampa o señales trapezoidales se utilizan entonces en lugar de escalones e impulsos en la entrada. Por su importancia teórica, también se utilizan unas señales sinusoidales o aleatorias (continua o por pulsos).

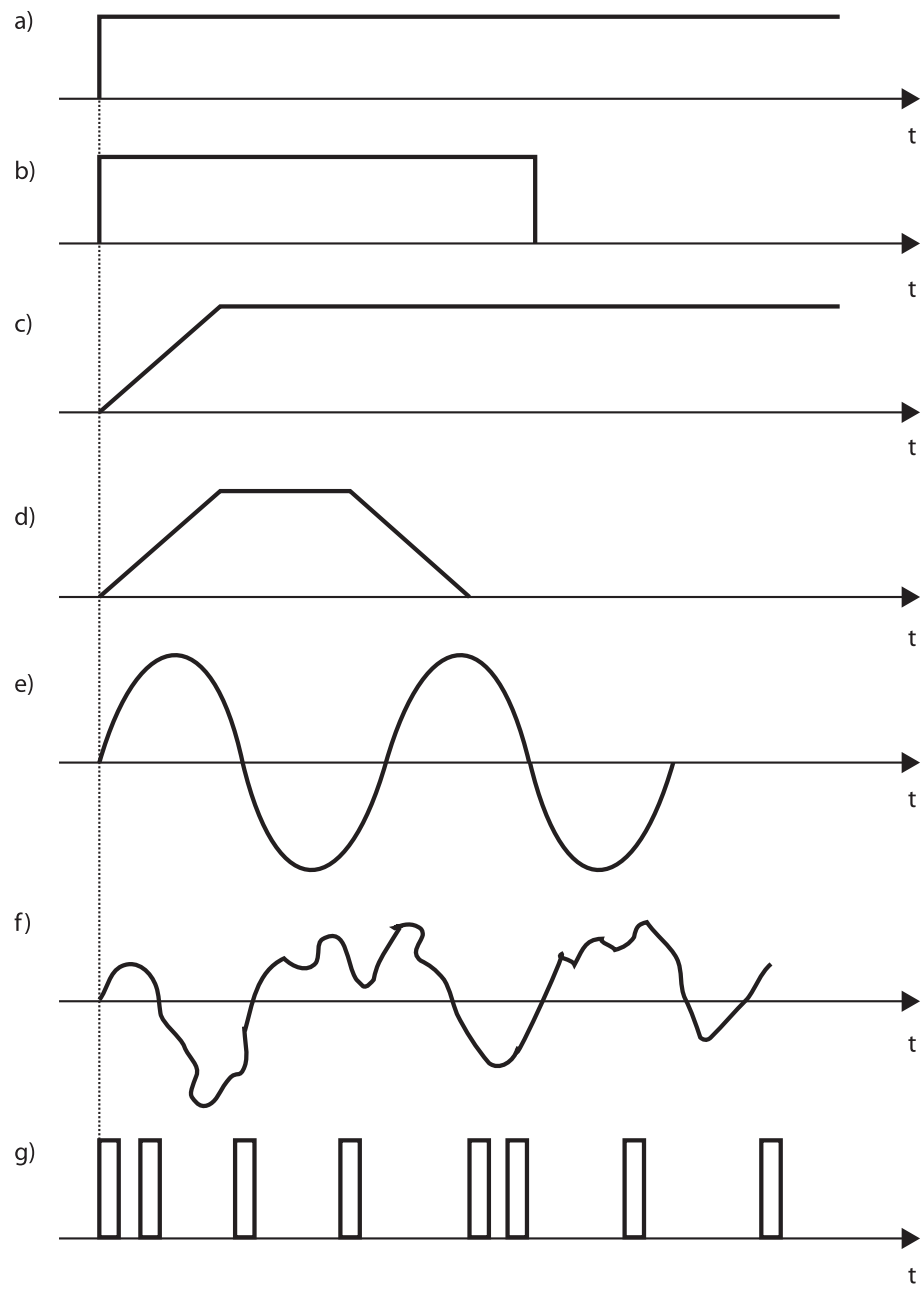


Fig. 8.15: Señales típicas de entrada a sistemas

8.23 Control

El control es un proceso, mediante una evaluación para alcanzar la meta deseada (control por realimentación). El objetivo del control es alcanzar y asegurar el valor deseado de control (de salida) por ejemplo, temperatura ambiente, nivel del tanque o un comportamiento en el tiempo deseado (por ejemplo, comportamiento de la temperatura de acuerdo al plan semanal o una temperatura en el reactor químico de acuerdo con las especificaciones). El valor deseado se debe asegurar no sólo después del cambio del valor deseado, sino también atendiendo a las perturbaciones, que actúan en un sistema. Las perturbaciones típicamente tienen una característica impredecible, por ejemplo, pérdida de calor o aumento en la sala climatizada (cambio de temperatura exterior, abertura de la ventana, el proyecto, la pared y la insolación ambiente, la presencia de personas o equipos eléctricos con alimentación).

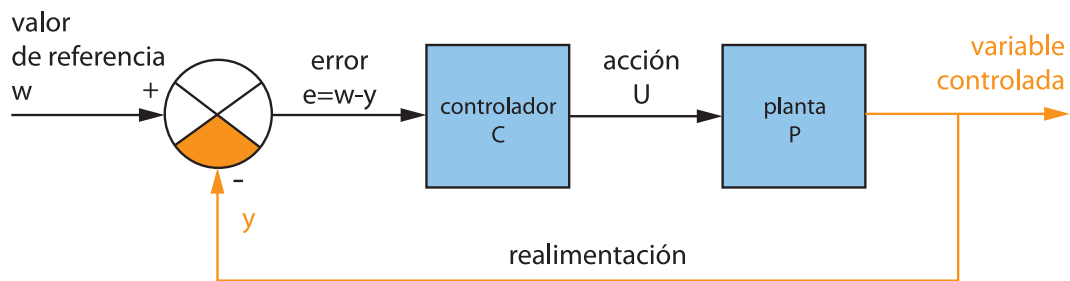


Fig. 8.16: Setup de sistema de Control

8.24 Realimentación

El esquema principal del sistema de control de realimentación se muestra en la figura anterior. La entrada de todo el sistema es un valor deseado (w) y su salida es el valor real (y). El elemento de sustracción evalúa un error $e = w - y$, que es la entrada a un controlador R. El controlador procesa el error y emite una variable de control (u), que actúa a través de actuadores para el sistema controlado (planta), S. El controlador trata de minimizar el error, y acercarse a la w deseada.

En la práctica, a menudo se utilizan unos controladores discontinuos, por ejemplo, a dos pasos (termostato), tres o más pasos, diversas variantes de controladores PID (PI, P, PII2). También hay varios tipos de controladores mucho más complejos.

9 Controladores PID

La propiedad común de los controladores P, PI y PID es la linealidad. En el caso del controlador proporcional (P), la variable de control u es directamente proporcional al error e .

La variable de control del controlador proporcional-integral (PI) es una suma de dos componentes - uno proporcional (que es como en el caso de controlador P puro, directamente proporcional al error), y un uno integral, que es proporcional al valor acumulado del error, es decir, a su integral. La acción integral es capaz de alcanzar el error cero en algunos casos, en los que es imposible con un controlador proporcional puro, por ejemplo, si la fricción de Coulomb está presente. Es de carácter inercial, a veces puede ocasionar una respuesta inestable u oscilatoria del sistema de control.

La salida (variable de control) del controlador proporcional-integral-derivativo (PID) contiene un derivado de la acción adicional. Se ha un comportamiento de anticipación y aporta una respuesta más rápida a los cambios bruscos. Su desventaja es que amplifica el ruido de alta frecuencia, presente en la medición, lo que puede causar al azar, un funcionamiento errático del sistema.

9.1 Implementación

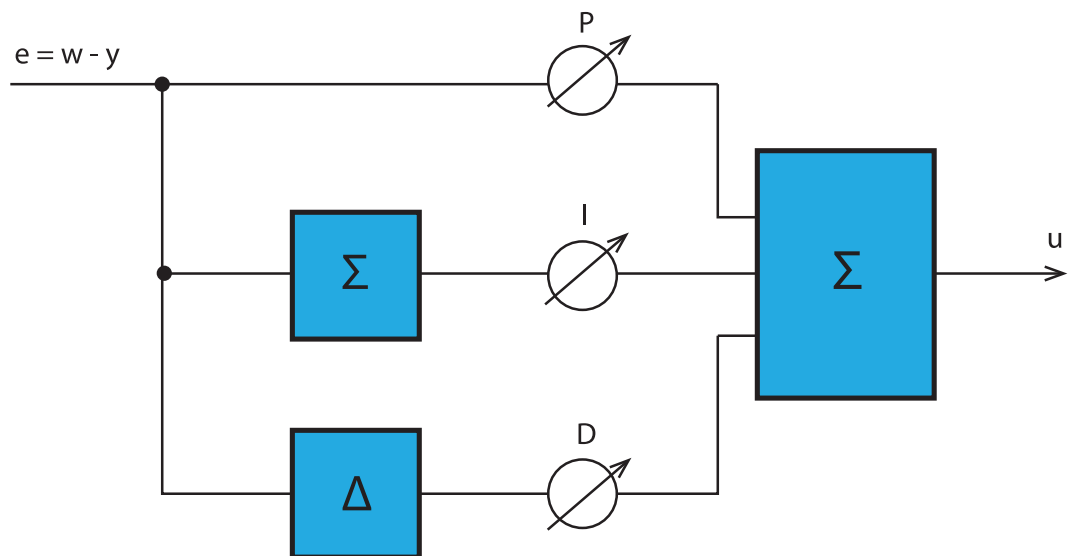
Hasta hace poco, los controladores PID se implementaron como circuitos analógicos, por lo general basados en amplificadores operacionales.

En la actualidad, los controladores se implementan normalmente en software. El software se puede ejecutar en un microcontrolador, un procesador de señal digital o un PLC en caso de aplicación industrial, o un ordenador personal normal.

Se evalúan expresiones matemáticas:

$$u_k = P \cdot e_k + I \cdot \sum e_k + D \cdot \Delta e_k$$

La integral del error se sustituye por la suma secuencial de las muestras individuales de valor de error en cada paso ($\sum e_k = \sum e_{k-1} + e_k$). La derivación se sustituye por una diferencia hacia atrás, es decir, la diferencia entre la muestra de error real y anterior $\Delta e_k = e_k - e_{k-1}$.



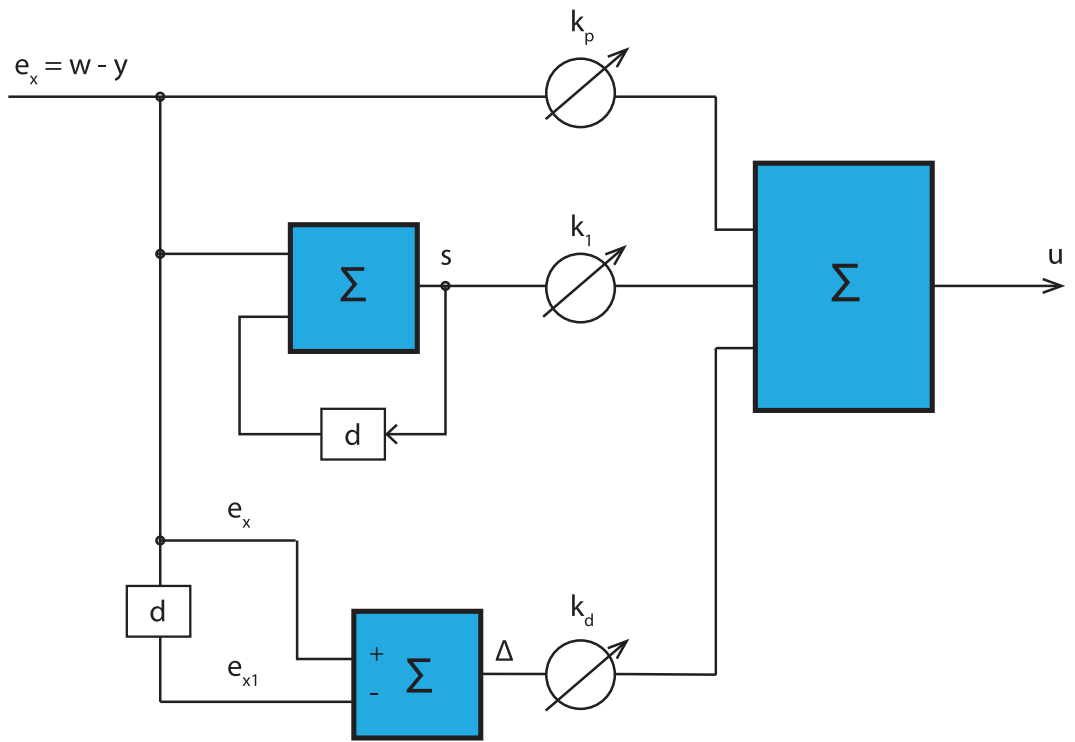


Fig. 9.17: Esquématicos de PID posicional (absoluto)

9.2 Variantes

Aunque el controlador no es un equivalente exacto del controlador PID análogo, es capaz de reemplazar o incluso sustituirlo en la mayoría de las aplicaciones. A veces se llama un controlador PSD (proporcional-suma de diferencia). En este texto, vamos a ver también a la implementación digital de un PID. La salida del programa es la variable de control del u_k (por ejemplo, una posición de la parte de accionamiento mecánico, un desplazamiento de la válvula). El algoritmo correspondiente se llama posicional o absoluto. En teoría, los diversos coeficientes se utilizan para definir el ajuste del controlador, aquí usaremos simplemente P, I, D para las ganancias de los componentes particulares.

El programa, la aplicación de este algoritmo, calcula la variable u en cada paso de la ejecución. El término posicional o absoluto se utiliza para distinguirlo de otro derivado del algoritmo PID, que calcula incrementos de variable de control Δu , en su lugar. El último se llama una velocidad o algoritmo incremental. Puede ser considerado como el algoritmo absoluto seguido de un diferenciador. El valor real de u se puede resumir inherentemente por el actuador, por ejemplo, en el caso de los motores paso a paso, alimentados por el número de pasos Δu .

9.3 Algoritmo incremental

El algoritmo incremental viene dado por la modificación formal del absoluto, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\Delta u_k = P \cdot \Delta e_k + I \cdot e_k + D \cdot \Delta^2 e_k$$

La salida del algoritmo es un incremento variable de control, Δu_k . El componente integral es proporcional al error e_k , el componente proporcional es proporcional a su primera diferencia $\Delta e_k = e_k - e_{k-1}$ y un componente derivado es proporcional a una segunda diferencia, $\Delta^2 e_k = \Delta e_k - \Delta e_{k-1} = e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}$.

El incremento Δu_k representa una velocidad de cambio de la variable de control u_k . Por lo tanto, el algoritmo se llama a menudo de velocidad o incremental. El valor absoluto de u_k se puede calcular mediante la suma acumulada de los incrementos, $u_k = u_{k-1} + \Delta u_k$. Las letras P, I, D representan ganancias particulares (amplificaciones) de los respectivos componentes.

Después de la modificación formal, el algoritmo incremental puede ser simplificado a:

$$\Delta u_k = q_0 \cdot e_k + q_1 \cdot e_{k-1} + q_2 \cdot e_{k-2}$$

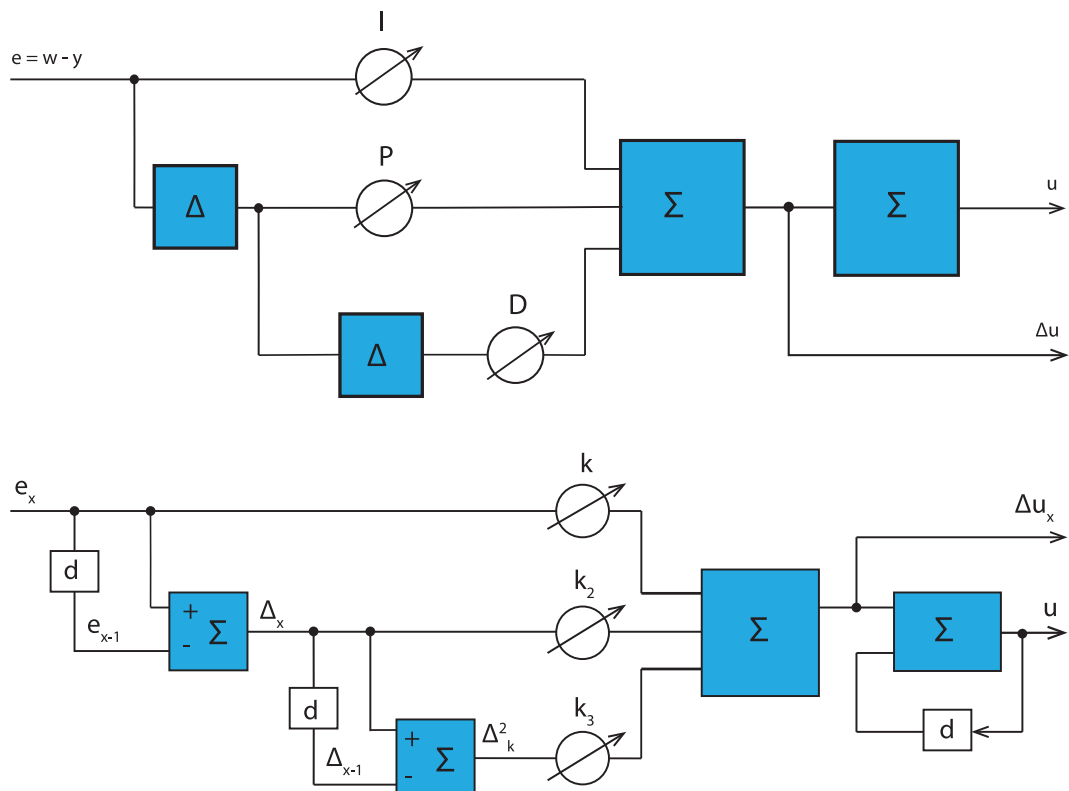


Fig. 9.18: Esquemático principal del algoritmo PID de velocidad (incremental)

9.4 Relación con el sistema FIR

El incremento de control variable es una combinación lineal de tres muestras del error – e_k actual, anterior e_{k-1} e incluso una antes e_{k-2} . El incremento es una combinación lineal de los valores en tres líneas de retardo. Tal sistema es un ejemplo de un sistema de FIR. El algoritmo contiene sólo tres multiplicaciones y dos adiciones, coeficientes q_0, q_1, q_2 que puede calcularse previamente una vez de coeficientes dados P, I, D (ganancias).

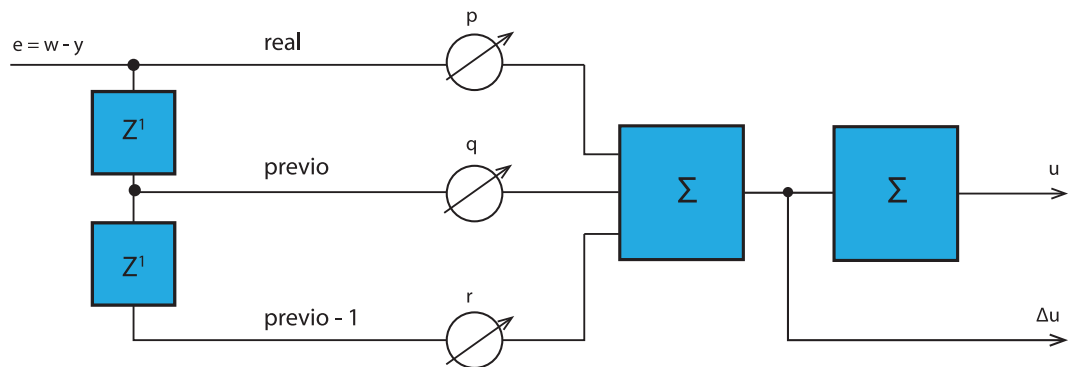


Fig. 9.19: Controlador incremental PID como sistema FIR

9.5 Variantes PI, PII

En algunas aplicaciones, se usan dos controladores PI en cascada (la salida del primer controlador está conectado a la entrada de la segunda), por lo que el sistema resultante realiza la doble integración. El controlador con doble integración se suele llamar un PII o PI2.

Como se muestra anteriormente, la aplicación del software real del controlador PID no es difícil. Por supuesto, en la vida real, se utilizan estructuras mucho más complicadas de control PID. Muchos PLC ofrecen instrucciones de bloques funcionales para el control PID dedicado.

El principal desafío consiste en ajustar los parámetros del controlador (coeficientes), para obtener un rendimiento de control lo mejor posible (estable, rápido, pero sin excesos, con un consumo mínimo de energía y cauteloso sobre el proceso de control y los actuadores).

El diseño de control está determinado principalmente por las propiedades de la planta controlada y su identificación es un requisito básico para seguir la metodología de diseño, a menudo se describe en la literatura. Sin embargo, esto es difícil de hacer. Los demás requisitos teóricos de diseño de control lineal son que la planta debe ser un sistema lineal invariante y el tiempo. Debido al limitado alcance de este texto, sólo se muestran algunos ejemplos ilustrativos.

9.6 Variante P

El principio del controlador P es simple: “cuanto mayor es el error real (mayor sea la diferencia entre el valor real y el valor deseado w), mayor es el accionamiento variable de control u ”. Respuestas transitorias (respuestas a un paso de valor deseado) de un sistema, controladas por el controlador P, se muestran en la Figura.

Como se muestra en el comportamiento, el valor de salida no se instala exactamente en el valor de w (el error e sigue siendo cero - llamado error de estado estacionario). Cuanto mayor es la ganancia, menor será el error en estado estacionario, pero a costa de aumentar los sobreimpulsos y las oscilaciones. Para los valores más altos de ganancia proporcional, el sistema de control puede incluso convertirse en inestable.

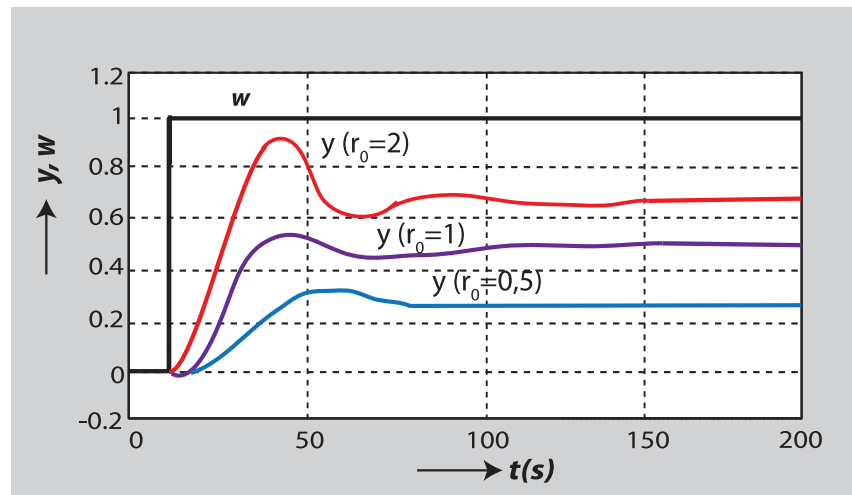


Fig. 9.20: Respuesta transitoria de un sistema con controlador proporcional de diferentes ganancias (r_0)

9.7 Variante PI

La desventaja de un error de estado estacionario distinto de cero puede ser eliminada mediante el uso del controlador proporcional-integral (PI). La respuesta transitoria del sistema que contiene el controlador PI se muestra en la figura, junto con el comportamiento de control de variable u .

La respuesta del sistema de control es diferente para diferentes parámetros del controlador (coeficientes), así como para las diferentes propiedades de las plantas (estructura, parámetros). A menudo, se deben considerar plantas cuyos parámetros varían mucho. Una manera de resolver este problema es utilizar un controlador adaptativo, o un controlador, que es capaz de realizar algún subconjunto de identificación del sistema para ajustar sus propios coeficientes (sintonización automática). La otra posibilidad es utilizar una metodología de diseño de control robusto, que es capaz de asegurar la estabilidad para una cierta gama de variación de parámetros de la planta.

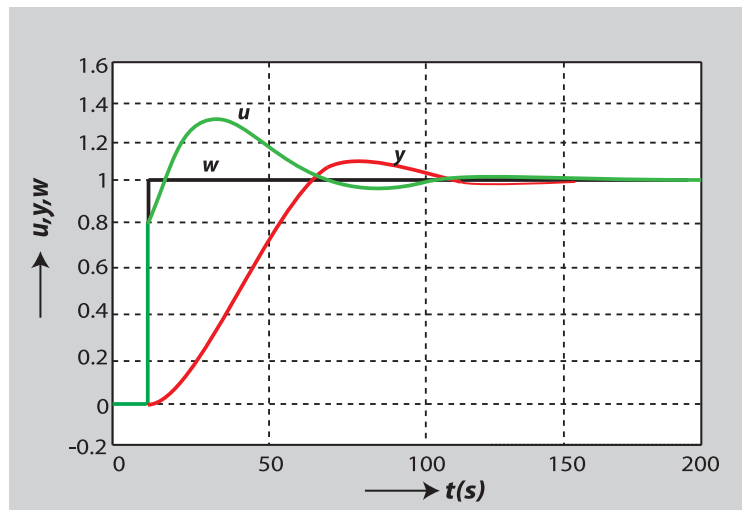


Fig. 9.21: Respuesta transitoria para 3 plantas distintas

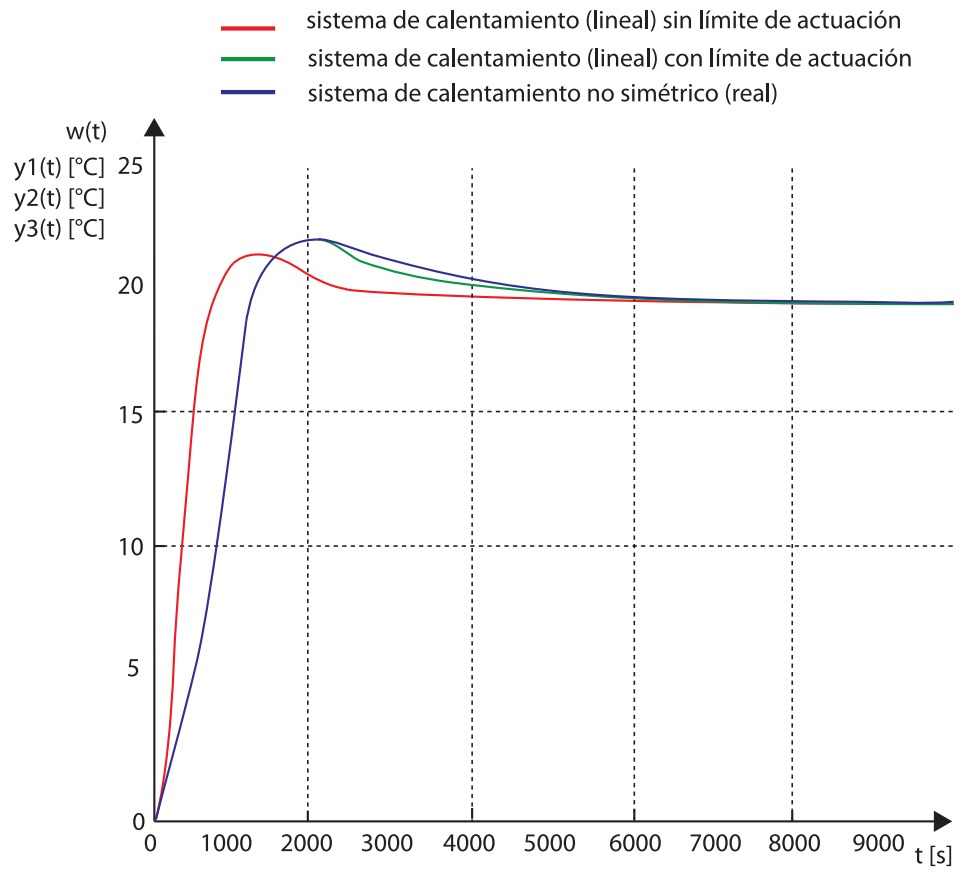


Fig. 9.22: Respuesta transitoria – controlador PID

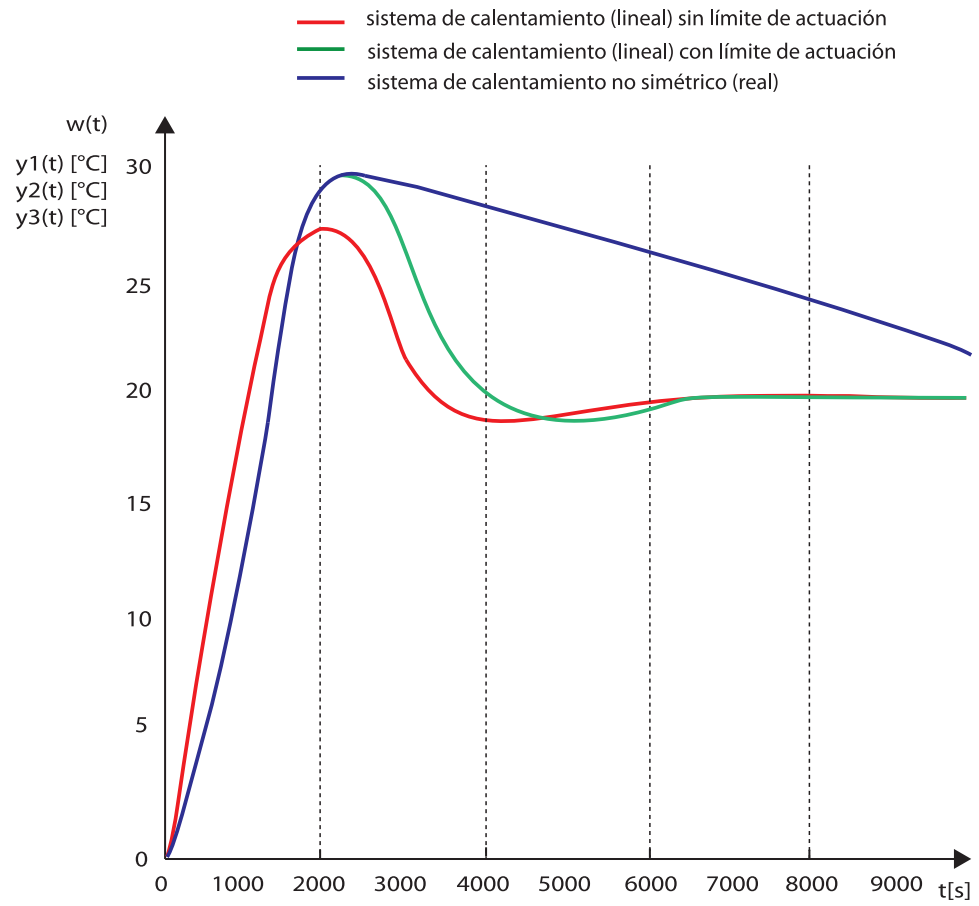


Fig. 9.23: Respuesta transitoria para 3 plantas simétricas

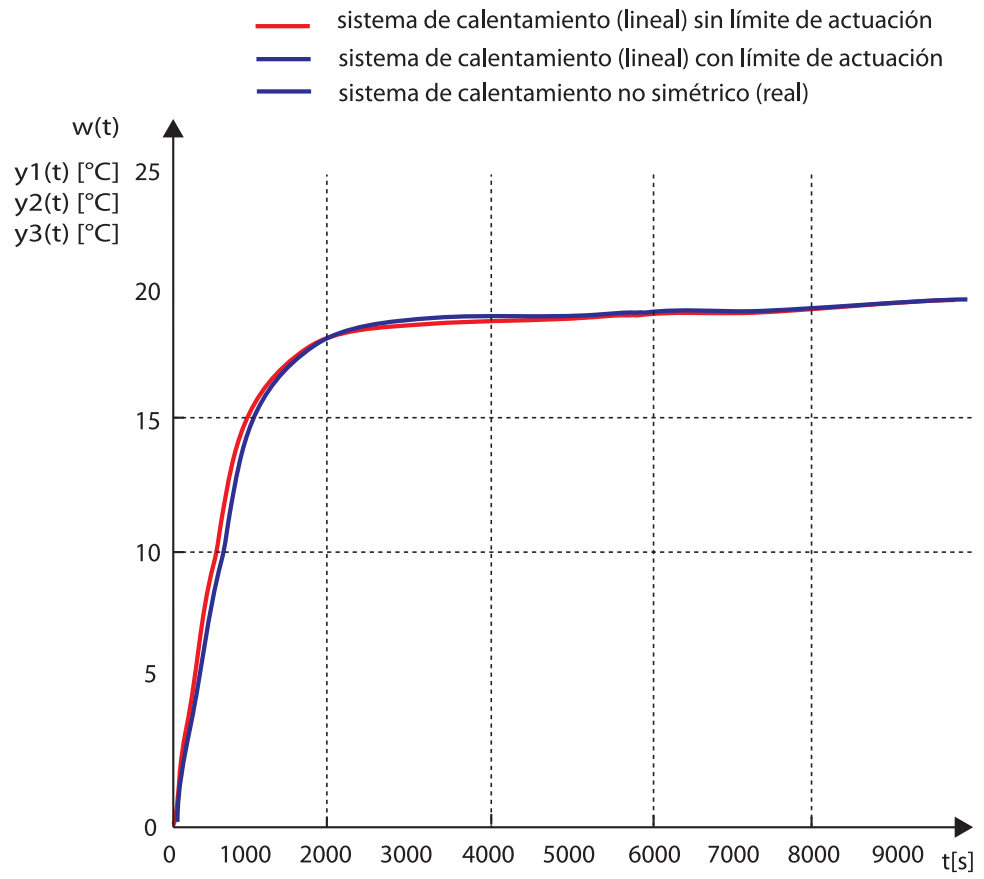


Fig. 9.24: Respuesta transitoria para 3 plantas simétricas distintas

9.8 Implementación del controlador digital

La aplicación del controlador digital de PLC requiere el uso de las salidas analógicas. Tal configuración es generalmente más cara, que una con sólo salidas binarias. Mucho más caro y difícil es amplificar variables de control analógicas a un nivel de potencia apropiado, necesaria para impulsar actuadores o plantas. Esta es la razón por la que los controladores discontinuos a menudo se aplican en la práctica. Se simplifica el ajuste de los parámetros, y sólo se pueden utilizar salidas binarias. Los actuadores se conectan mediante relés, solenoides, transductores electro-neumáticas, elementos no lineales, etc.

El rendimiento por medio del comportamiento del valor de salida es por lo general un poco peor para los controladores discontinuos, que para los continuos, pero por lo general es satisfactoria para la mayoría de aplicaciones. El efecto no deseado del control discontinuo puede ser la respuesta oscilatoria y cambios frecuentes en el actuador. La unión de ambos principios, un controlador PID digital discontinuo multi-paso, es un controlador PID digital, donde la variable de control calculada se obtiene a través de un elemento de múltiples pasos. El valor de salida de varios pasos se codifica como una combinación de líneas de salida binarias. El comportamiento continuo se puede aproximar mediante el uso de conmutación rápida del valor actuado con ciclo variable, es decir, modulación de ancho de pulso, o por impulsos de anchura constante y separación variable, es decir, la modulación de frecuencia.