

TEMA 13 : SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROL

En general un sistema automático de control es un conjunto de elementos físicos interconectados y relacionados entre sí que son capaces de realizar por sí mismos, sin intervención externa de un operador una determinada tarea o función . Las partes más destacables de tales sistemas son :

- Planta o Proceso : conjunto de componentes, pieza u operaciones capaces de llevar a cabo una determinada tarea y cuyo funcionamiento es objeto de control
- Controlador o regulador : unidad que ante una determinada señal de entrada (señal de mando) genera una señal de salida que al aplicarse a la planta produce en esta última la salida controlada deseada
- Transductores y captadores : Son aquellos elementos que tienen por misión transformar una señal de cualquier naturaleza física (velocidad, aceleración, temperatura, presión, fuerza, luz, etc...) en una señal equivalente de naturaleza eléctrica, apta para ser procesada por el sistema de control.
- Comparadores : Su misión es generar una señal de salida en función de las señales de entrada, normalmente es la diferencia, pero también puede ser la suma.

1. SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO ABIERTO

Son aquellos en los que la acción de control es independiente de la salida del sistema. Estos sistemas suelen ser sistemas temporizados, cuya precisión depende de la calibración, y que tienen el grave inconveniente de que no son capaces de reaccionar ante las perturbaciones externas imprevistas.

2. SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO

Son aquellos en los que la acción de control depende de la salida del sistema.

Para ello es necesario que la señal de entrada se modifique en cada instante de cierta forma en función de la salida lo cual hace necesario que exista una REALIMENTACIÓN (retroalimentación o feedback). . La ventaja de estos sistemas es que son capaces de mantener la acción de control en sus valores correctos aun cuando existan perturbaciones externas imprevistas. La señal de entrada modificada por la salida es lo que se denomina señal de error del sistema, y divide los sistemas realimentados en :

- **Realimentación positiva** : cuando la señal de error es la suma de la entrada y la salida. Estos sistemas son siempre inestables, pues la señal de error tiende a crecer cuanto más se desvía la salida de la deseada. Es el caso de los sistemas que entran en resonancia.
- **Realimentación negativa** : cuando la señal de error es la diferencia entre la entrada y la salida. En ellos la señal de error tiende a anularse y por lo tanto pueden ser estables, siendo por lo tanto los únicos aptos para el control..

3. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.

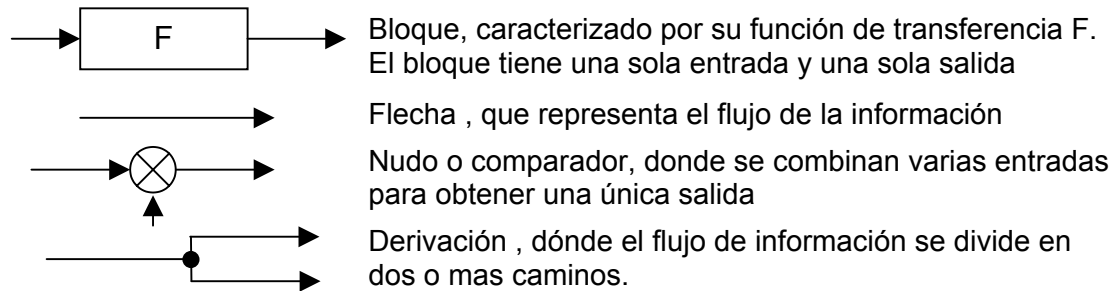
Es la expresión matemática que relaciona la salida con la entrada de cada elemento de control o del conjunto. Como quiera que estas expresiones son en general de tipo integro-diferencial, cuya resolución plantea grandes dificultades, se suele utilizar la función **Transformada de Laplace** de dicha función, dado que por las propiedades de dicha transformación, la derivación se transforma en el producto por la variable compleja independiente s , y la integración en la división por dicha variable, de manera que las ecuaciones integro-diferenciales se transforman en ecuaciones algebraicas mucho más sencillas de resolver. En general la función de transferencia tendrá la forma de cociente entre dos polinomios. A la ecuación que se obtiene de igualar el polinomio del denominador de la función de transferencia a 0 se le denomina ecuación característica, de manera que sus raíces son los **polos** de la función de transferencia, es decir los puntos de equilibrio del sistema, que pueden ser estables , inestables u oscilantes . Una vez encontrada la transformada de Laplace de la función de transferencia del sistema obtener la función real del tiempo que relaciona la salida con la entrada es muy sencillo, ya que se puede encontrar la transformada inversa de la función de Laplace fácilmente mediante el empleo de tablas de antitransformadas. La expresión matemática de la transformada de Laplace es :

$$L[f(x)] = \int_0^{\infty} f(x) \cdot e^{-st} dt \quad \dots \quad s = a + jb$$

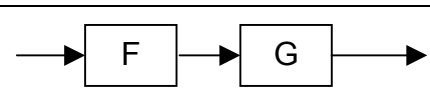
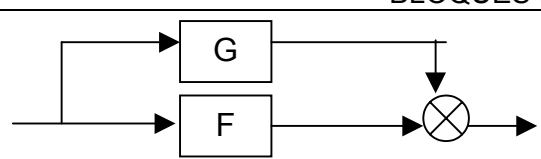
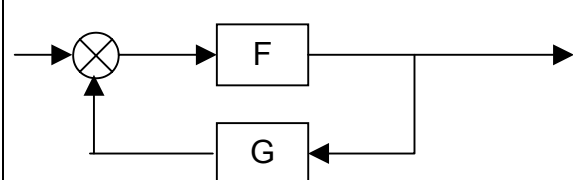
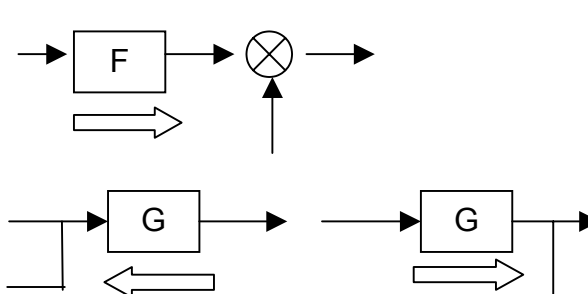
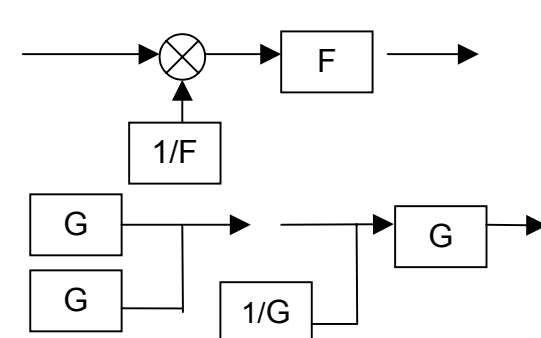
4. DIAGRAMAS DE BLOQUES

Para el estudio de los sistemas de control es muy útil representar sus componentes mediante bloques (cajas negras) independientemente de su composición física interna, descritos únicamente por su función de transferencia (que relaciona la entrada particular del bloque con su salida), interconectados entre sí mediante flechas que representan el flujo de la información. Mediante diagramas de bloques se puede representar el sistema de control completo, y mediante unas sencillas operaciones de álgebra de bloques simplificar el diagrama sucesivamente hasta reducirlo a un bloque único de manera que la función de transferencia resultante de este bloque coincide con la función de transferencia del bloque de control completo.

En estos diagramas solo pueden aparecer 4 elementos :



Dichos diagramas se pueden simplificar hasta obtener un bloque único, cuya función de transferencia es la del sistema en conjunto, mediante 4 operaciones elementales :

BLOQUES EN SERIE	
	$F \cdot G$
BLOQUES EN PARALELO	
	$F \pm G$
BUCLE DE REALIMENTACIÓN	
	$\frac{F}{1 + FG}$
TRANSPOSICIÓN DE NUDOS Y DERIVACIONES	
	

5. RESPUESTA DEL SISTEMA.

La respuesta del sistema en función del tiempo a una señal de mando de entrada tiene 2 partes :

- **Respuesta transitoria** : Es la parte inicial que depende del tiempo y en la que la salida trata de adecuarse al valor exigido por la entrada, minimizando el error.
- **Respuesta permanente**. Es la que ofrece el sistema cuando sus variables se han estabilizado en unos ciertos valores, y ya no depende del tiempo.

Para el estudio de la respuesta del sistema se consideran señales de entrada elementales tipo : Escalón, Rampa o Impulso (Delta de Dirac), ya que cualquier otra función de entrada se puede considerar descompuesta en entradas elementales.

Según el orden del polinomio del denominador de la función de transferencia, los sistemas básicos mas estudiados son :

- Sistemas de orden 0. La función de transferencia es una constante : $F(s) = K$
- Sistemas de primer orden. Si el numerador es una constante, se denominan primer orden simples. El denominador un polinomio de primer grado en "s". Al valor K se le denomina ganancia estática y al T constante de tiempo

$$F(s) = \frac{K}{1+T.s} \Rightarrow S(s) = F(s).E(s) \Rightarrow c(t) = K \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)$$

La respuesta transitoria es pues una función exponencial que tiende al valor K, y que al cabo de un tiempo T alcanza el 63,2% de dicho valor K

- Sistemas de segundo orden. Numerador constante y denominador un polinomio de segundo grado en "s". La respuesta es de tipo sinusoidal, función del amortiguamiento ξ , y de la frecuencia de oscilación propia ω_n .

$$F(s) = \frac{K}{s^2 + p.s + K} \quad \text{o} \quad F(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2.\xi.\omega_n.s + \omega_n^2} \Rightarrow c(t) = A(\omega_n, \xi, t) \sin(\xi, \omega_n t) + B(\omega_n, \xi, t) \cos(\xi, \omega_n t)$$

6. ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD.

- Se dice que un sistema es estable cuando la respuesta del sistema se encuentra acotada (es decir que no se hace nunca infinito) y tiende progresivamente a alcanzar un determinado valor (aunque no lo alcance exactamente nunca) finito que no cambia con el tiempo .
- La ecuación que se obtiene de igualar el polinomio del denominador de la función de transferencia a 0 se denomina **Función Característica** del sistema y las raíces o "ceros" de dicha función característica **Polos** del sistema.
- Cada polo corresponde a un modo de respuesta elemental, de forma que la respuesta real está constituida por la suma de todos los modos que la componen.
- Se demuestra que la condición necesaria y suficiente para que el sistema sea estable es que los números complejos que corresponden a todos los polos de la función característica tengan la parte real negativa.
- Basta que uno solo no la tenga para que la respuesta sea inestable (ya que indica la existencia un modo inestable y la respuesta es la suma de todos)
- La posición de los polos en el plano complejo nos indica, así mismo, el comportamiento durante el periodo transitorio : cuánto más próximos estén al origen, más rápida es la respuesta.
- Antiguamente, como la resolución de dicha ecuación podía ser bastante compleja se desarrollaron métodos, como el de Ruth-Hurtwitz para determinar la estabilidad del sistema sin necesidad de resolver la ecuación característica.
- Si los polos están en el eje real, el modo es de primer orden. Si está en el origen, es de orden cero. Si está en el eje imaginario, la respuesta es una senoide de amplitud constante (inestable). Si está en el semiplano de parte real negativa es una senoide amortiguada, y si está en el de parte real positiva es una senoide cuya amplitud de oscilación crece con el tiempo.

TEMA 14 : ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CONTROL

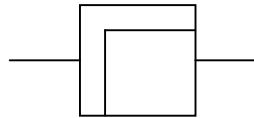
1. EL CONTROLADOR O REGULADOR. Es el elemento fundamental en el bucle de control, ya que determina el comportamiento del bucle condicionando la reacción del elemento actuador ante una desviación de la variable regulada respecto de la de control. La forma en que el regulador genera la señal de control del actuador es lo que se llama acción de control y se puede dividir en 3 tipos básicos :

- Acción proporcional
- Acción integral
- Acción derivativa

2. CONTROLADOR DE ACCIÓN PROPORCIONAL (P)

- La señal de accionamiento es proporcional a la señal de error del sistema.
- La relación entre la variable regulada y la señal de error es la constante de acción proporcional o **ganancia proporcional** K_p . Si es demasiado grande, pequeñas desviaciones producirán grandes cambios en el actuador, y si es demasiado pequeña la reacción puede no ser suficiente para compensar el error.
- La función de transferencia y el símbolo de un regulador de este tipo son :

$$G(s) = K_p$$

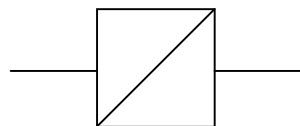


- El inconveniente es que como la acción correctora es proporcional al error, no podrá anularse éste completamente, ya que si el error llegara a ser cero, la acción correctora también lo sería (lo cual no tiene sentido, corregiríamos el error sin acción correctora), por lo que quedará siempre un error permanente u **offset**, que dependerá de la función de transferencia de la planta y de la ganancia o amplificación proporcional (el offset disminuye con la ganancia, pero nunca se anulará) ..
- Tiene los siguientes parámetros :
 - 1º. Banda proporcional ($100/K_p$): Es el % que tiene que variar la entrada (señal de error) del controlador para que la salida (cambio del actuador) cambie en un 100%
 - 2º. Ganancia proporcional K_p . Cuanto mayor es la banda proporcional menor es la ganancia y si la BP es mayor del 100% no podremos obtener desviaciones del 100% del actuador.

3. CONTROLADOR DE ACCIÓN INTEGRAL (I)

- La señal de accionamiento es proporcional a la integral respecto al tiempo de la señal de error
- Esto implica que la acción depende no solo del valor del error, sino del tiempo que dicho error se mantiene (la integral da una medida del producto del error por el tiempo que este subsiste)
- Permiten eliminar los errores en régimen permanente (offset), Luego esta acción **mejora la respuesta permanente del sistema**
- No se presenta normalmente sola, sino asociada a la acción proporcional que actúa de inmediato contra el error, mientras que la integral hace desaparecer el error remanente, ya que se opone a su permanencia en el tiempo
- La función de transferencia y el símbolo del regulador son :

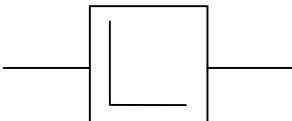
$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_I s}$$



- Tiene los siguientes parámetros :
- T_i tiempo integral. Aunque este es el parámetro que aparece en la función de transferencia en la práctica se utiliza el tiempo de reajuste, que es el tiempo que tarda la acción integral sola en producir una variación de la señal de salida actuando por separado mayor que la acción proporcional

4. CONTROLADOR DE ACCIÓN DERIVATIVA (D)

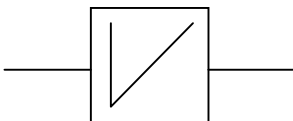
- La señal de accionamiento es proporcional a la derivada respecto al tiempo del error
- Está acción tiene la función de oponerse a la velocidad de variación de la señal de error, por lo que si se añade a la acción proporcional produce una mejora en el tiempo de respuesta, al anticiparse a la tendencia de la variación.
- Por lo tanto la acción derivativa **mejora la respuesta transitoria del sistema.**
- Pero tiene el gran inconveniente de que ante variaciones bruscas de la señal de error produce una respuesta tan grande que tiende a hacer inestable el sistema en bucle cerrado, por lo que jamás se utiliza sola. Al igual que el proporcional deja una señal de error remanente.
- La función de transferencia y el símbolo del regulador son :

$$G(s) = T_d s$$


- El parámetro de ajuste que aparece en la función de transferencia es el tiempo diferencial T_d pero en la práctica se define otro valor que tiene más significado físico, el tiempo de avance T_A que representa lo que se avanza una cierta posición utilizando la acción proporcional + derivativa respecto al tiempo que tardaría en alcanzarse utilizando la proporcional sola.
- Un tiempo de avance grande indica mucha acción derivativa, corto indica poca acción deriv.

5. CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID)

Combinando adecuadamente los 3 tipos de acción vistos, se consigue una mejora de las características del sistema, pero el bucle de regulación es propenso a oscilar y por lo tanto los ajustes de las constantes son mucho más difíciles de realizar

$$G(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + T_d s$$


TEMA 12 : ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL : TRANSDUCTORES

1. TRANSDUCTORES Y CAPTADORES

Son elementos que tienen la misma función : transformar el valor de una magnitud física utilizada como señal en un proceso a controlar en un valor de una magnitud o señal eléctrica, realizando una transformación de un determinado tipo de energía en energía eléctrica. Se diferencian únicamente por su posición en el diagrama del sistema de control :

- Los Transductores son los que transforman la señal de mando (entrada) en la magnitud de referencia o consigna de tipo eléctrico
- Los Captadores son los que detectan la señal de salida (variable controlada) transformándola en una señal eléctrica apta para ser utilizada en la realimentación de los sistemas en lazo cerrado.

1.1. TRANSDUCTORES DE POSICIÓN Y PROXIMIDAD

Proporcionan una señal binaria (0 o 1) ante la presencia de un objeto, no siendo necesario en algunos casos que llegue a producirse el contacto físico entre el objeto y el sensor

- 1.1.1. **Final de Carrera** : Son interruptores accionados por un sistema mecánico que actúa al efectuar contacto físico el objeto a detectar con el dispositivo sensor. Pueden ser :
 - De émbolo
 - De varilla
 - De palanca o palanca y rodillo
- 1.1.2. **Inductivos**. Utilizan un campo magnético para detectar el objeto. Permiten la detección hasta distancias de 4 cm. Pueden ser sensibles a :
 - Sólo materiales ferromagnéticos La presencia de un cuerpo entre los polos de un campo magnético estático, modifica la intensidad del mismo :
 - a) De contacto laminar
 - b) Con bobina
 - Metales en general. Detectan cualquier tipo de metal que pueda producir pérdidas por corrientes de Foucault, para lo que emplean un campo magnético variable cuya dispersión en el espacio produce el efecto sensible utilizable para la detección.
- 1.1.3. **Capacitivos** Utilizan un campo eléctrico variable para detectar el objeto. Constan de un oscilador cuya amplitud depende de la capacidad parásita que existe entre la superficie metálica de una sonda y tierra. Al colocar un objeto (que ahora no tiene porqué ser metálico) en las proximidades de la sonda, aumenta la capacidad parásita por o que se deriva por ella una cierta corriente que disminuye la tensión de entrada de un disparador (trigger) lo que produce el basculamiento del disparador que ahora conduce y mediante un amplificador produce una señal utilizable.
- 1.1.4. **Ópticos**. Se pueden detectar con ellos todo tipo de objetos, tanto sólidos como líquidos (que no sean transparentes) hasta distancias de 2 metros. Para distancias mayores se utilizan las células fotoeléctricas. Se dividen en :
 - Sensores ópticos directos
 - Sensores ópticos con fibras acopladas.

1.2. TRANSDUCTORES DE MOVIMIENTO

1.2.1. Movimiento lineal

- Grandes distancias. De 20 metros a 300 Km
 - **Radar** (Radio Detección and Ranging) . Utiliza una radiación electromagnética de muy alta frecuencia generada por un oscilador y modulada a impulsos que es emitida por una antena muy direccional. Cuando la onda choca con un objeto, rebota y es captada por la antena del radar, señal que una vez amplificada permite al aparato conocer el tiempo transcurrido entre la emisión del impulso y su recepción (Δt) y determinar la distancia del objeto $d = c \cdot \Delta t / 2$ (c es la velocidad de propagación de la onda). Se emplea para distancias superiores a 100 metros, llegando incluso a varios kilómetros (según la potencia de la señal que es capaz de emitir y la sensibilidad del receptor)
 - **Ultrasonidos** : Son vibraciones de un medio material de una frecuencia superior a la audible (> 20 KHz) que tienen una velocidad de propagación menor y permiten mayor precisión en la medida para distancias mas cortas (340 m/s en el aire, 1,450 m/s en el agua, 4.000 m/Sg en los metales, no se propagan en el vacío). Una variante muy utilizada en la navegación es el **Sonar** que utiliza el mismo principio que el radar para medir distancias pero utilizando ultrasonidos en lugar de ondas electromagnéticas.
- Pequeñas distancias
 - **Resistivos** : **Potenciómetros** que son resistencias variables que constan de una resistencia fija sobre la que se desplaza un cursor que deja activa solo una parte de la resistencia y cuyo recorrido se puede desmultiplicar o amplificar mediante palancas o un eje roscado. El inconveniente es el desgaste de las partes móviles.
 - **Inductivos** : Constan de dos devanados de igual paso, uno externo fijo y otro interno que se puede desplazar adelante y hacia atrás. Si el externo se alimenta con una corriente alterna, se induce en el interno una corriente cuya intensidad depende de la fase (desplazamiento) entre uno y otro. Se utilizan para medidas de centímetros
 - **Ópticos** : **Encoder** : Consta de una regla con perforaciones graduada con códigos binarios continuos (como el Gray) que son leídas por métodos ópticos (ver transductores)
- Desplazamientos diferenciales (muy pequeños).
 - **Resistivo** : **Extensímetros o galgas extensiométricas**. Se trata de hilos conductores, cuya resistencia varía al deformarse (alargarse). Recordemos que la resistencia $R = \rho \cdot l / S$. Se usan para desplazamientos milimétricos. Para potenciar el alargamiento se suele doblar el hilo formando un serpentín. Siempre que no se rebase el límite elástico del material la resistencia del extensímetro puede ponerse como :
$$R = R_0 (1 + K \cdot \varepsilon)$$
 (R_0 resistencia del hilo en reposo, K factor de sensibilidad que depende del material, ε alargamiento unitario)
 - **Inductivo** : Constan de dos partes de material ferromagnético separadas por un pequeño espacio (entrehierro), uno de los cuales lleva un arrollamiento que lo convierte en electroimán. La autoinducción de la bobina depende principalmente de la distancia del entrehierro, pudiendose utilizar la medida de la autoinducción como medida de la distancia
 - **Capacitivo** : Podrían detectar desplazamientos de algunos metros, pero no se emplean por su poca exactitud. Para pequeños desplazamientos se basan en la variación de la capacidad de un condensador cuando se varia la distancia entre sus armaduras.

1.2.2. Medida de ángulos

- Resistivos
- Inductivos :
 - Resolver :
 - Syncro
- Capacitativos
- Discos codificados
 - Absolutos o Encoders
 - Incrementales

1.3. TRANSDUCTORES DE VELOCIDAD

1.3.1. Tacómetros mecánicos

- Cuentarevoluciones
- Centrífugo

1.3.2. Tacómetros eléctricos

- De corrientes parásitas o arrastre
- De inducción
- De corriente alterna
- De corriente continua o dinamo tacométrica : Se trata de un generador de corriente continua que es arrastrado por el eje cuya velocidad angular se quiere medir. La tensión generada es proporcional a dicha velocidad.
- De frecuencias o frecuencímetro

1.3.3. Velocidad de fluidos

1.4. TRANSDUCTORES DE FUERZA O PRESIÓN

1.4.1. Mecánicos

- Manómetro en U
- Tubo de Bourdon
- Diafragma
- Fuelle

1.4.2. Electromecánicos

- Resistivos
- Capacitativos
- Piezoeléctricos

Hay ciertos materiales que al ejercer una presión mecánica sobre ellos se desplazan las cargas eléctricas en su interior al distorsionarse la red cristalina dando lugar a una tensión eléctrica, lo que se conoce como efecto piezoeléctrico directo. Este efecto es reversible, de forma que si aplicamos una tensión eléctrica producimos una distorsión de la red cristalina y una deformación del material, lo que se conoce como efecto piezoeléctrico inverso. El directo puede usarse para captar una presión y el inverso para generar ultrasonidos.

1.5. TRANSDUCTORES DE LUMINOSIDAD

- **Fotoresistencias** (LDR Light Depended Resistor). Se basan en la disminución de la resistencia que presentan ciertos materiales semiconductores cuando sobre ellos incide la luz visible que les comunica una cierta energía electromagnética. ($E = h \cdot \nu$ $h = \text{cte}$ de Planck, $\nu = \text{frecuencia de la luz incidente}$) suficiente para que pasen un mayor número de electrones a la banda de conducción. Son robustas y de gran sencillez
- **Fotodiodos** En un diodo semiconductor, puede aumentar el número de pares electron-hueco que existen a ambos lados de una unión PN por la incidencia de radiación luminosa de una frecuencia determinada.

- a) Si el diodo está polarizado inversamente, se produce un incremento considerable de la corriente inversa de fuga, proporcional a la intensidad luminosa e independiente de la tensión aplicada, que puede utilizarse como medida de la luminosidad.
 - b) Si el diodo no está polarizado, al incidir la luz sobre la unión, el incremento de portadores a ambos lados de la unión produce una tensión que haría circular una corriente si se conectase a una carga, como si fuese un generador de continua. Es lo que se llaman efecto fotovoltaico y se utiliza en las células solares.
- **Fototransistores.** Es un transistor que funciona en corte o saturación, pero en el que efecto controlador de la corriente de base a sido substituida por la intensidad luminosa que incide sobre la base. Tienen una sensibilidad más alta que los fotodiodos, pero son mas lentos (mayor tiempo de respuesta) que ellos, aunque menor tambien que las fotoresistencias.

1.6. TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

1.6.1. Termoresistencias (RTD Resistance Thermal Detector)

Están constituidos por hilos metálicos, de cobre, níquel y sobre todo platino, enrollados alrededor de un soporte cerámico y encapsulados y se basan en la variación de la resistencia eléctrica que experimentan los metales al variar la temperatura.

Como es debida al aumento de agitación de los electrones al aumentar la temperatura, el valor de la resistencia crece con ella, pudiéndose considerar la variación lineal dentro de amplios márgenes según la fórmula :

$$R_t = R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]$$

El circuito de medida que se utiliza es un puente de Wheastone en el que en una rama se coloca el termistor, y en las otras 3 resistencias fijas de valores conocidos, de manera que la tensión que aparece en el centro del puente cuando se desequilibra nos da una medida de lo que ha variado la resistencia del RTD que a su vez nos da la medida de la temperatura por la fórmula anterior.

Como el valor de su resistencia es pequeña, puede verse fuertemente perturbada por la resistencia de los conductores que la unen al puente de Wheastone si tienen cierta longitud, por lo que

1.6.2. Termistores .

Son resistencias construidas con materiales semiconductores. Como su valor es muy alto, no influye el error introducido por la resistencia de los cables de conexión

Hay 2 tipos fundamentales :

— NTC (Negative Temperature Coeficient) Su resistencia disminuye al aumentar la temperatura de forma continua y exponencial. A veces se le conecta en serie una resistencia para linealizar la respuesta.

— PTC (Positive Temperature Coeficient) : Su resistencia experimenta una brusca subida en un cierto intervalo de valores de temperatura, permaneciendo prácticamente constante en el resto.

1.6.3. Termopares :

Su funcionamiento se basa en el efecto Seebeck :

“En un circuito eléctrico cerrado, formado por dos metales diferentes, aparece una corriente eléctrica cuando las uniones se mantienen a diferente temperatura, de forma que la f.e.m. depende exclusivamente de la naturaleza de los metales y de la diferencia de temperatura (la intensidad depende tambien de la resistencia de los mismos)” El efecto Seebeck es un compendio de los siguientes efectos :

— Efecto Peltier : Cuando una corriente eléctrica pasa por la unión de dos metales diferentes se produce un calentamiento o enfriamiento de la unión

— Efecto Thompson : Cuando una corriente eléctrica circula por un conductor homogéneo pero sometido a una variación (gradiente) de temperaturas se produce un intercambio de calor proporcional a la intensidad de corriente que es cedido si la corriente va de la zona caliente a la fría o se absorbe si va al contrario

Si una de las uniones se separa y se conecta a ella un voltímetro se puede medir la f.e.m. que se origina en la otra cuando se encuentra a una cierta temperatura. No

obstante, las uniones de los extremos del termopar producirán sendas f.e.m. que perturbarían la medida

- 1.6.4. Pirómetros. Se basan en medir la energía radiante que emite un foco de calor, y se basan en el principio de Stephan-Boltzman que dice que la energía radiante de un foco es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura. Se utilizan para medir temperaturas entre los 1000°C y los 3000°C.

2. COMPARADORES O DETECTORES DE ERROR

Son los encargados de generar la señal de error como diferencia entre la señal de mando o consigna y la realimentación de la señal de salida de la planta. Según la naturaleza de dichas señales pueden ser :

- Neumáticos
- Mecánicos : La señal de salida es la diferencia entre dos desplazamientos. El más sencillo es una varilla a cuyos extremos se aplican los desplazamientos a comparar.
- Electricos. Puente de potenciómetros
- Electrónicos. Se hacen mediante amplificadores operacionales

3. ACTUADORES

El actuador es el dispositivo que realiza la acción de control sobre a planta. En general consta de dos partes

- 1°. Un amplificador o "Driver" que amplifica la señal de salida del regulador a un nivel suficiente para accionar el dispositivo final de control. Puede ser
 - Eléctronico (que es lo más habitual). Utiliza amplificadores operacionales
 - Hidráulico
 -
- 2°. Un dispositivo final de control. que transforma la salida regulada en la magnitud variable que se aplica a la entrada de la planta. Los más habituales son :
 - Motores de Corriente Continua
 - Motores de Corriente Alterna
 - Motores Paso a Paso
 - Cilindros Neumáticos o Hidráulicos.