

# Control microprogramado

## 7-1 Memoria de control

La función de la unidad de control en una computadora digital es iniciar secuencias de microoperaciones. La cantidad de tipos de operaciones diferentes que están disponibles en un sistema dado es finita. La complejidad del sistema digital se deriva de la cantidad de secuencias de microoperaciones que se ejecutan. Cuando la circuitería genera señales de control por medio de técnicas de diseño lógico convencional, se dice que la unidad de control es por *circuitería*. La microprogramación es una segunda alternativa para diseñar la unidad de control de una computadora digital. El principio de microprogramación es un método elegante y sistemático para controlar las secuencias de microoperaciones en una computadora digital.



La función de control que especifica una microoperación es una variable binaria. Cuando se halla en un estado binario se ejecuta la microoperación correspondiente. Una variable de control en estado binario opuesto no cambia el estado de los registros en el sistema. El estado activo de la variable de control puede ser el estado 1 o el estado 0, según la aplicación. En un sistema organizado con bus, las señales de control que especifican microoperaciones son grupos de bits que seleccionan las trayectorias en los multiplexores, decodificadores y unidades lógicas aritméticas.



La unidad de control inicia una serie de pasos secuenciales de microoperaciones. Durante cualquier momento, se van a iniciar ciertas microoperaciones, mientras otras quedan inactivas. Las variables de control pueden



*palabra de control*

representarse en cualquier momento mediante una cadena de dígitos 1 y 0, que se denomina palabra de control. Las palabras de control pueden programarse para realizar diferentes operaciones sobre los componentes del sistema. Una unidad de control cuyas variables de control binario se almacenan en la memoria se llama *unidad de control microprogramada*. Cada palabra en la memoria de control contiene una *microinstrucción*. La microinstrucción especifica una o más microoperaciones para el sistema. Una secuencia de microinstrucciones constituye un *microprograma*. Como no se necesitan alteraciones del microprograma una vez que la unidad de control está en operación, la memoria de control puede ser una memoria de sólo lectura (ROM). El contenido de las palabras en la ROM es fijo y no puede alterarse mediante la programación simple porque no es posible escribir en la ROM. Las palabras en ROM se vuelven permanentes durante la producción de la unidad. El uso de un microprograma implica la colocación de todas las variables de control en palabras de ROM para que las use la unidad de control a través de operaciones de lecturas sucesivas. El contenido de la palabra en ROM en cierta dirección especifica una microinstrucción.



*microinstrucción  
microprograma*

Un descubrimiento más avanzado conocido como microprogramación *dinámica* permite que un microprograma se cargue al principio desde una memoria auxiliar; por ejemplo, desde un disco magnético. Las unidades de control que utilizan la microprogramación dinámica emplean una memoria de control en la que se puede escribir. Este tipo de memoria puede utilizarse para escribir (para cambiar el microprograma) pero, por lo general, se utiliza para lectura. Una memoria que es parte de una unidad de control se denomina *memoria de control*.



*memoria de control*

Una computadora que emplea una unidad de control microprogramada tendrá dos memorias separadas: una memoria principal y una memoria de control. La memoria principal está disponible para que el usuario almacene programas. El contenido de la memoria principal puede variar cuando se manipulan los datos y cada vez que se cambia el programa. El programa del usuario en la memoria principal está formado por instrucciones de máquina y datos. En contraste, la memoria de control contiene un microprograma fijo que el usuario ocasional no puede alterar. El microprograma consta de instrucciones que especifican diferentes señales de control interno para la ejecución de microoperaciones de registro. Cada instrucción de máquina inicia una serie de microoperaciones en la memoria de control. Estas microinstrucciones generan las microoperaciones para llevar a cabo la búsqueda de la instrucción en la memoria principal; para evaluar la dirección efectiva, para ejecutar la operación específica mediante la instrucción y para retornar el control a la fase de búsqueda con el fin de repetir el ciclo para la siguiente instrucción.

La configuración general de una unidad de control microprogramada se muestra en el diagrama de bloques de la figura 7-1. La memoria de control se considera como una ROM, dentro de la cual se almacena toda la información en forma permanente. El registro de direccionamiento de la memoria



Figura 7-1 Organización de control microprogramada.

registro de  
dirección de  
control

de control especifica la dirección de la microinstrucción y el registro de datos de control contiene la microinstrucción que se lee de la memoria. La microinstrucción contiene una palabra de control que especifica una o más microoperaciones para el procesador de datos. Una vez que se ejecutan estas operaciones, el control debe determinar la siguiente dirección. La posición de la instrucción siguiente puede ser la más próxima en secuencia o puede ubicarse en cualquier otra parte en la memoria de control. Por esta razón, es necesario utilizar algunos bits de la microinstrucción presente para controlar la generación de la dirección de la siguiente microinstrucción. La dirección siguiente también puede ser una función de condiciones de entrada externa. Mientras se ejecutan las microoperaciones se calcula la siguiente dirección en el circuito generador de la dirección siguiente y después se transfieren al registro de direccionamiento de control para leer la próxima microinstrucción. Por lo tanto, una microinstrucción contiene bits para iniciar microoperaciones en la parte del procesador de datos y bits que determinan la secuencia de dirección para la memoria de control.

✓ secuenciador

El generador de la siguiente instrucción en ocasiones se llama un *secuenciador* de microprograma, porque determina la secuencia de dirección que se lee en la memoria de control. La dirección de la siguiente instrucción puede especificarse de varias maneras, dependiendo de las entradas del secuenciador. Las funciones típicas de un secuenciador de microprograma son incrementar el registro de direccionamiento de control en 1, cargar una dirección de la memoria de control en el registro de direccionamiento de control, transferir una dirección externa o cargar una dirección inicial para iniciar las operaciones de control.

registro de líneas

El registro de datos de control contiene la microinstrucción presente mientras que la siguiente dirección se calcula y se lee en la memoria. El registro de datos en ocasiones se denomina *registro de arquitectura paralela (pipeline)* o paralelo. Ya que permite la ejecución de las microoperaciones especificadas mediante la palabra de control simultáneamente con la generación de la siguiente microinstrucción. Esta configuración requiere un reloj de dos fases, donde se aplica una de éstas al registro de direccionamiento y la otra al registro de datos.

El sistema puede operar en el registro de datos de control al aplicar una sola fase del reloj al registro de direccionamiento. La palabra de control y la información de la siguiente dirección se toman de la memoria de control.

## 7-2 Secuencia de la dirección

Las microinstrucciones se almacenan en la memoria de control en grupos, y cada grupo especifica una *rutina*. Cada instrucción de computadora tiene su propia rutina de microprograma en la memoria de control para generar las microoperaciones que ejecutan la instrucción. La circuitería que controla la secuencia de la dirección de la memoria de control debe poder secuenciar las microinstrucciones dentro de una rutina y poder transferir el control del programa de una a otra. Para apreciar la secuencia de la dirección en una unidad de control de programa, enumeremos los pasos que debe seguir el control durante la ejecución de una instrucción de computadora.

Se carga una dirección inicial en el registro de dirección de control cuando se enciende la computadora. Esta dirección, por lo general, es la de la primera microinstrucción que activa la rutina de búsqueda de instrucción. La rutina de búsqueda puede secuenciarse al incrementar el registro de direccionamiento de control por medio del resto de sus microinstrucciones.

Al final de la rutina de búsqueda, la instrucción está en el registro de instrucción de la computadora.

En seguida, la memoria de control recorre la rutina que determina la dirección efectiva del operando. Una instrucción de máquina puede tener bits que especifiquen diferentes modos de direccionamiento, como un direccionamiento indirecto y los registros índice. Puede lograrse una rutina de cálculo de dirección efectiva en la memoria de control mediante una microinstrucción de brinco, la cual está condicionada al estado de los bits de modo de la operación. Cuando se termina la rutina de cálculo de dirección efectiva, la dirección del operando está disponible en el registro de direccionamiento de la memoria.

El siguiente paso es generar las microoperaciones que ejecutan la instrucción que se trajo de la memoria. Los pasos de la microoperación que se van a generar en los registros del procesador dependen de la parte del código de operación de la instrucción. Cada instrucción tiene su propia rutina de microprograma almacenada en una cierta posición de la memoria de control. La transformación de bits del código de instrucción a una dirección en la memoria de control donde se localiza la rutina se denomina proceso de *mapeo*. Un procedimiento de mapeo es una regla que transforma el código de instrucción en una dirección de memoria de control. Una vez que se llega a la rutina requerida, las microinstrucciones que ejecutan la instrucción pueden secuenciarse al incrementar el registro de direccionamiento de control, pero en ocasiones la secuencia de microoperaciones dependerá de los valores de ciertos bits de estado y los registros del procesador. Los microprogramas que emplean subrutinas requerirán un registro interno para almacenar la dirección de retorno. Las direcciones de retorno no pueden almacenarse en ROM porque no es posible escribir en la unidad.

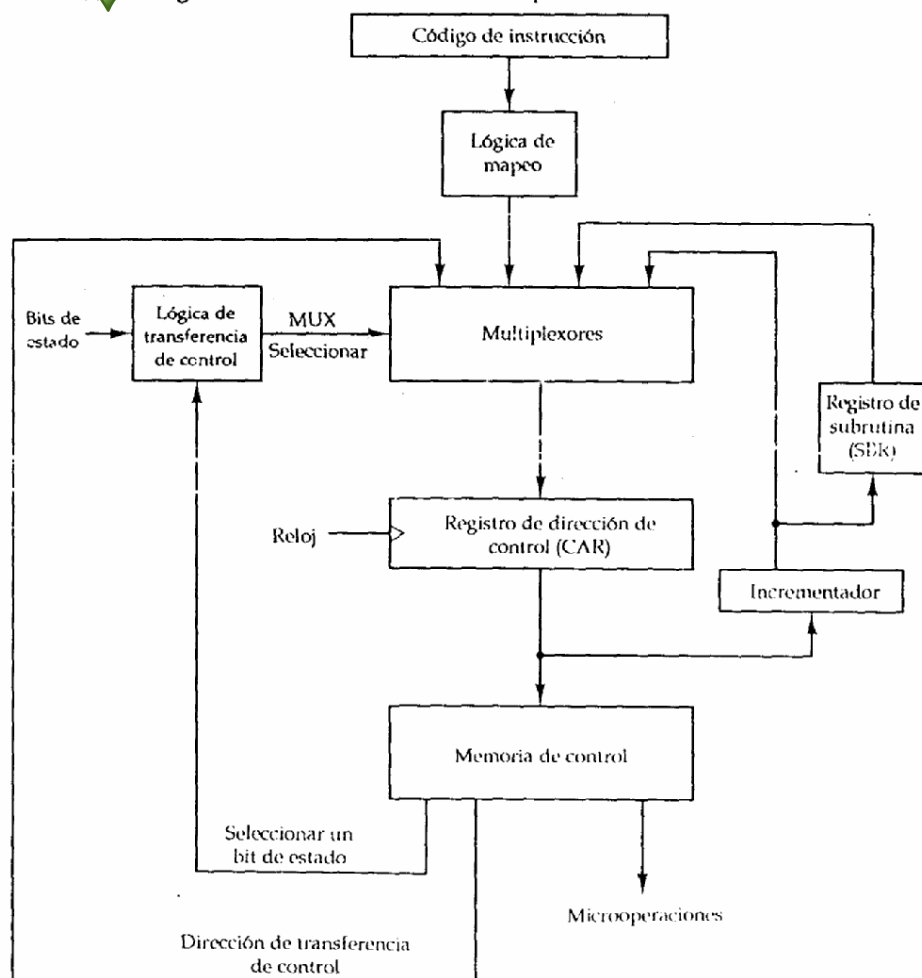
Cuando se termina la ejecución de la instrucción, el control debe retornar a la rutina de búsqueda. Esto se consigue al ejecutar una microinstrucción de brinco incondicional a la primera dirección de la rutina de búsqueda. En resumen, las posibilidades de secuencia de dirección que se requieren en la memoria de control son:

1. Incrementar el registro de direccionamiento de control.
2. Transferencia de control del programa condicional o incondicional, dependiendo de las condiciones de los bits de estado.
3. Un proceso de mapeo de los bits de la instrucción a una dirección para una memoria de control
4. Una opción para llamar y regresar solicitud de una subrutina y retorno.

La figura 7-2 muestra un diagrama de bloques de una memoria de control y la circuitería asociada necesaria para seleccionar la dirección de la siguiente microinstrucción. La microinstrucción en la memoria de control contiene un conjunto de bits para iniciar microoperaciones en los registros

de la computadora y otros bits para especificar el método con el que se obtiene la siguiente dirección. El diagrama muestra cuatro trayectorias diferentes de las que recibe la dirección el registro de direccionamiento de control (CAR). El incrementador incrementa el contenido del registro de direccionamiento de control en uno, para seleccionar la microinstrucción siguiente en secuencia. La transferencia de control del programa se consigue al especificar la dirección en uno de los campos de la microinstrucción. La transferencia de control condicional se obtiene al usar una parte de la microinstrucción para seleccionar un bit de estado específico con el fin de determinar su condición. Se transfiere una dirección externa a la memoria de control mediante un circuito lógico de mapeo. La dirección de retorno para una subrutina se almacena en un registro especial cuyo valor se utiliza después, cuando el microprograma desea retornar de la subrutina.

✓ Figura 7-2 Selección de una dirección para la memoria de control.





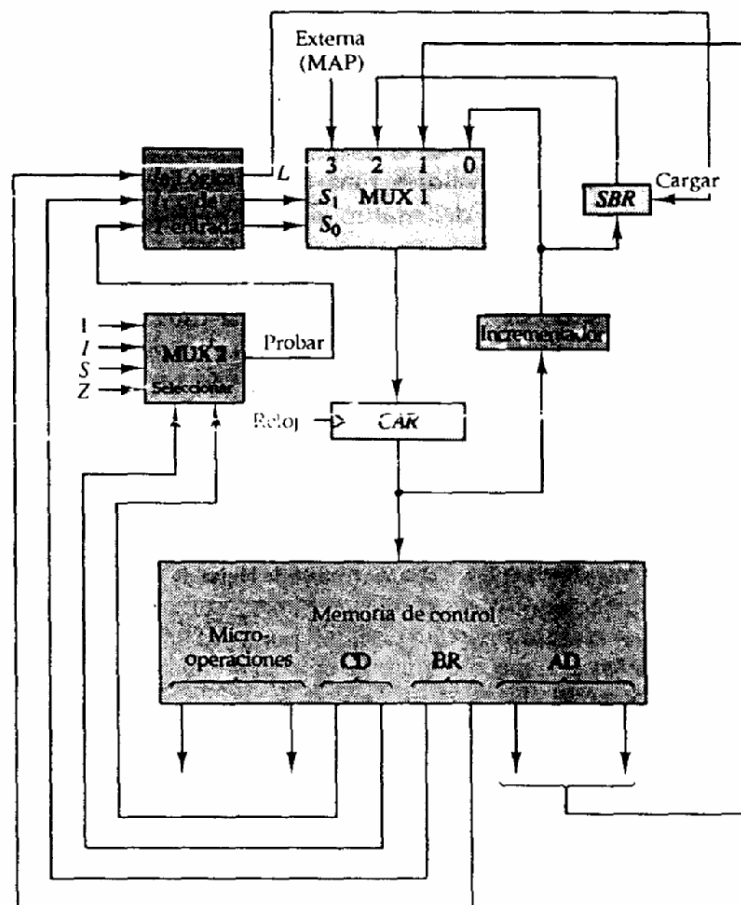
### **Secuenciador de microprograma**

Los componentes básicos de una unidad de control microprogramada son la memoria y los circuitos que seleccionan la dirección siguiente. La parte de selección de dirección se llama secuenciador de microprograma. Puede construirse un secuenciador de microprograma con funciones digitales que se ajusten a una aplicación particular. Sin embargo, al igual que existen grandes unidades ROM disponibles en encapsulados de circuitos integrados, también hay secuenciadores de propósito general convenientes para la construcción de unidades de control de microprograma. Para garantizar un amplio rango de aceptabilidad, un secuenciador de circuitos integrados debe proporcionar una organización interna que pueda adaptarse a un amplio rango de aplicaciones.

El propósito de un secuenciador de microprograma es presentar una dirección a la memoria de control con el fin de que pueda leerse y ejecutarse una microinstrucción. La lógica de siguiente dirección del secuenciador determina la dirección fuente específica que se va a cargar dentro del registro de control de dirección. La elección de la dirección fuente se guía mediante los bits de información de la dirección siguiente que recibe el secuenciador de la microinstrucción presente. Los secuenciadores comerciales incluyen dentro de la unidad una pila de registro interno que se usa para el almacenamiento temporal de direcciones durante solicitudes de subrutina y ciclo de microprograma. Algunos secuenciadores proporcionan un registro de salida que puede funcionar como el registro de dirección para la memoria de control.

Para mostrar la estructura interna de un secuenciador de microprograma típico analizaremos una unidad particular que es conveniente para usarse en el ejemplo de computadora de microprograma desarrollado en la sección anterior. El diagrama de bloque del secuenciador de microprograma se muestra en la figura 7-8. La memoria de control se incluye en el diagrama para mostrar la interacción entre el secuenciador y la memoria conectada a él. Hay dos multiplexores en el circuito. El primero selecciona una dirección de las cuatro fuentes y le marca una ruta hacia dentro del registro de dirección de control CAR. El segundo multiplexor prueba el valor de un bit de estado seleccionado y el resultado de la prueba se aplica a un circuito lógico de entrada. La salida de CAR proporciona la dirección para la memoria de control. El contenido de CAR se incrementa y se aplica a una de las entradas del multiplexor y al registro de subrutina SBR. Las otras tres entradas al multiplexor número 1 provienen del campo de dirección de la microinstrucción presente, de la salida de SBR y de una fuente externa que

Figura 7-8 Secuenciador de microprograma para una memoria de control.



mapea la dirección.