

Electrónica de Papel

Los transistores, en su forma más simplificada, parecen una "Y" mayúscula, con dos líneas horizontales a cada lado. La conexión no varía mucho respecto a un transistor convencional. También funcionan como amplificadores, lo que los hace económicos.

Las resistencias son muy fáciles de crear; solo necesitas dibujar líneas gruesas, poco marcadas, o ambas. Funcionan bien en cualquiera de esos estilos.

Los conectores son básicos; simplemente se trazan líneas bien definidas con lápiz. Cuanto mayor es la deposición, menor es la resistencia. He obtenido mejores resultados utilizando lápices 7B.

Los diodos tienen la forma de una "H" mayúscula, pero con la línea horizontal un poco más arriba.

Las bobinas, tanto para inductores como para altavoces, son igualmente sencillas: se dibujan espirales. Los inductores son más cuadrados que los altavoces, pero siguen el mismo patrón de espirales.

Con respecto a los condensadores, hay dos formas de representarlos, aunque ninguna me convence del todo y aún no encuentro las reglas adecuadas para su uso. Las dos opciones son:

1. Dejar una separación entre dos líneas paralelas; la distancia debe ser suficiente para que funcione, ya que parece que guarda los electrones. Cada línea debe tener una conexión como terminal.
2. Crear un doblez que se asemeje a origami: se hace una marca en el área que será la parte inferior y otra en la superior, dejando un espacio en la parte inferior para el paso de la terminal superior, que se doblará sobre la primera. Al añadir un poco de cinta adhesiva o material similar en medio, funciona como un condensador convencional.

Las compuertas lógicas no son difíciles de crear, pero sí complicadas de conectar, ya que están hechas a partir de transistores 2D. Esto las hace difíciles de dibujar a mano o de conectar de manera confiable. He estado resolviendo esto usando algún programa de diseño de circuitos que tenga opción de autoconexión, escribiendo cómo quiero que se conecten en una sola capa. Dado que la disposición de entradas y salidas es idéntica a la de mis transistores, solo copio el diseño. Aún así, estoy considerando desarrollar una herramienta propia que facilite este proceso.

En cuanto a la memoria, no confiaría en este tipo de almacenamiento para guardar información importante, ya que, además de ser poco fiable, es muy sensible debido al sustrato. Sin embargo, para programas básicos, está bien. Recomendando usar un arreglo NAND o un flip-flop, y evitar el uso de condensadores: a mayor complejidad, menor fiabilidad.

Otros circuitos, como calculadoras o multiplexores, son laboriosos, pero no imposibles de crear.

Supongo que esto pertenece a la sección de bobinas, ya que se pueden construir transformadores sencillos. Sin embargo, es importante evitar altas tensiones, o el papel se incendiará.

Actuadores de Papel

Los actuadores de papel son útiles para robótica a un costo extremadamente bajo, aunque no son muy efectivos por sí solos debido a su naturaleza. Sirven principalmente para presentaciones, pero yo los usaría en combinación con otros elementos, como microfluidos o autoensamblaje.

Con "actuadores", me refiero a que se mueven; sin embargo, en comparación con lo anterior, esto requiere mucha más energía, normalmente alcanzada con 30V y repulsión magnética.

A continuación, describo distintos patrones y sus efectos:

- **Lineal:** Se dibuja una línea sobre sí misma. Debería parecerse a una "n" en las partes negativa y positiva; cuando fluye suficiente corriente, se doblará en la dirección de la marca.
- **Zigzag:** Provoca contracciones, aunque no son muy impresionantes. Si aumentas la corriente tras observar el primer efecto, es probable que se queme.
- **Enrollar:** Este patrón sirve para sujetar objetos. Simplemente haz lo mismo que en el patrón lineal, pero en una tira más larga y enróllela. Se enrollará bien, pero no ejercerá mucha presión.
- **Cuadrícula:** Funciona principalmente como sensor para detectar toques.

Nota: Todos estos patrones funcionan como sensores táctiles.

Las bobinas, al ser fabricadas, pueden generar vibraciones similares a las de un altavoz, por lo que son muy rápidas. No he comprobado esto, pero he podido hacer pequeños robots voladores con componentes normales.

Recomendaciones

Realmente, pueden usarlos como deseen; se pueden crear cosas entretenidas al combinarlos adecuadamente. Sin embargo, recomiendo aplicar estos principios en detalles pequeños y estéticos, como mover pequeñas decoraciones o ensamblar cosas.

A Futuro

Actualmente, estoy trabajando en un procesador muy sencillo que sea programable. La meta es crear uno de 8 bits con al menos 5 kBytes de memoria programable mediante un multiplexor. Además, quiero diseñarlo en forma de bloques para que el usuario final pueda agregar o quitar entradas y salidas. También planeo desarrollar una herramienta para compilar un diseño escrito en un prototipo viable, similar a los lenguajes de descripción de hardware en FPGA.