

Contenido

Introducción	1
Capítulo 1. Fuentes de disipación en los circuitos electrónicos	3
1.1. Breve descripción de los tipos de lógica	3
1.1.1. Lógica booleana	3
1.1.2. Lógica combinatoria y lógica secuencial	8
1.1.3. Transistores NMOS y PMOS	17
1.1.4. Lógica complementaria CMOS	22
1.1.5. Lógica pass-transistor	25
1.1.6. Lógica dinámica	28
1.2. Origen de la disipación de calor en los circuitos	32
1.2.1. Efecto Joule en los circuitos	32
1.2.2. Cálculo de la potencia dinámica	33
1.2.3. Origen y cálculo de la potencia estática	36
Capítulo 2. Termodinámica y teoría de la información	39
2.1. Recordatorio de las cantidades fundamentales: entropía e información	39
2.1.1. Definición estadística de la entropía	39
2.1.2. Energía y entropía macroscópica	42
2.1.3. Intercambio con un termostato, ley de Boltzmann y equipartición de la energía	45
2.1.4. Resumen y ejemplo de la producción de energía en un conductor a través del cual fluye una corriente	50
2.1.5. Información y entropía asociada	51

2.2. Presentación del principio de Landauer	56
2.2.1. Presentación del principio de Landauer y algunos otros ejemplos	56
2.2.2. Validaciones experimentales del principio de Landauer	62
2.3. Adiabaticidad y reversibilidad.	64
2.3.1. Principio adiabático de carga de un condensador	64
2.3.2. De la adiabaticidad a la reversibilidad: un enfoque de circuito	79
Capítulo 3. Modelos de transistores con tecnología CMOS	89
3.1. Recordatorio de las propiedades de los semiconductores	89
3.1.1. Estados y densidad de portadores en semiconductores	89
3.1.2. La corriente en un semiconductor	97
3.1.3. Potenciales de contacto	99
3.1.4. Estructura de los semiconductores de óxido metálico.	101
3.1.5. Baja y alta inversión	106
3.2. Modelos estáticos de canales largos y cortos	110
3.2.1. Principio básico y breve historia de la tecnología de semiconductores	110
3.2.2. Estructura del transistor y pseudo-potenciales de Fermi	113
3.2.3. Cálculo de la corriente en modo estático canal largo	116
3.2.4. Cálculo de la corriente en baja inversión	121
3.2.5. Cálculo de la corriente en modo de canal corto	124
3.3. Modelos dinámicos de transistor	127
3.3.1. Régimen cuasiestático	127
3.3.2. Velocidad dinámica.	130
3.3.3. Modelo de “señales pequeñas” de transistor	131
Capítulo 4. Limitaciones prácticas y teóricas de la tecnología CMOS	137
4.1. Compromiso entre velocidad y disipación, y limitaciones de la tecnología CMOS	137
4.1.1. Del transistor al circuito integrado	137
4.1.2. Solución de compromiso entre velocidad y consumo	140
4.1.3. Solución intermedia entre el consumo dinámico y el consumo estático	143
4.2. Régimen por debajo del umbral.	147
4.2.1. Recordatorio de las propiedades de la baja inversión	147
4.2.2. Cálculo y minimización de la energía disipada	149
4.2.3. Limitaciones de la tecnología CMOS por debajo del umbral	153
4.3. Límites prácticos y teóricos de la tecnología CMOS	155

4.3.1. Consideraciones económicas y evolución de las metodologías . . .	155
4.3.2. Dificultades tecnológicas: disipación, variabilidad, interconexiones	157
4.3.3. Límites teóricos y preguntas abiertas	163
Capítulo 5. Consumo ultra-bajo a nivel del sistema	169
5.1. Evolución de las tecnologías de gestión de la energía	169
5.1.1. Técnicas básicas para la reducción de la potencia dinámica	169
5.1.2. Técnicas básicas para la reducción de la potencia estática	172
5.1.3. Diseño tecnológico 90 nm - 65 nm - 45 nm	177
5.2. Circuitos integrados por debajo del umbral	178
5.2.1. Especificidades de los circuitos por debajo del umbral	178
5.2.2. <i>Pipeline</i> y paralelización	179
5.2.3. Nuevas arquitecturas SRAM	179
5.3. Los circuitos cerca del umbral	180
5.3.1. Método de optimización	180
5.4. Interconexiones y red en un chip	185
5.4.1. Disipación en las interconexiones	185
5.4.2. Técnicas para reducir la disipación de las interconexiones.	190
Capítulo 6. Computación reversible y computación cuántica	193
6.1. Las bases de la computación reversible	193
6.1.1. Introducción	193
6.1.2. Estructura del grupo de puertas reversibles	194
6.1.3. Conservación, linealidad y afinidad	196
6.1.4. Las puertas de intercambio	197
6.1.5. Las puertas de control	199
6.1.6. Dos teoremas básicos: <i>no fan-out</i> y <i>no cloning</i>	203
6.2. Algunos elementos para la síntesis de una función.	204
6.2.1. El problema de la síntesis y sus limitaciones	204
6.2.2. Síntesis de una función reversible	204
6.2.3. Síntesis de una función irreversible	207
6.2.4. Ejemplo del sumador	209
6.2.5. Implementaciones materiales de puertas reversibles	211
6.3. Computación reversible y computación cuántica.	215
6.3.1. Principios de la computación cuántica.	215
6.3.2. Intrincación	216
6.3.3. Algunos ejemplos de puertas cuánticas	218
6.3.4. Ejemplo del algoritmo de Grover y perspectivas de la computación cuántica	220

Capítulo 7. Los circuitos CMOS cuasiadiabáticos	225
7.1. Puertas lógicas adiabáticas en CMOS	225
7.1.1. Implementación del principio de carga óptima y <i>pipeline</i> adiabático	225
7.1.2. Lógica ECRL y PFAL en CMOS	232
7.1.3. Otras tecnologías de puertas y comparación	237
7.2. Cálculo de la disipación en un circuito adiabático	239
7.2.1. Cálculo en régimen normal	239
7.2.2. Cálculo en condiciones de funcionamiento por debajo del umbral	246
7.3. Fuentes de alimentación de recuperación de energía	250
7.3.1. Fuente de alimentación a base de capacitores	250
7.3.2. Fuente de alimentación basada en inductancia	259
7.4. Arquitecturas aritméticas adiabáticas	266
7.4.1. Principios básicos	266
7.4.2. Ejemplo del sumador	266
7.4.3. Interés de las puertas complejas	268
 Capítulo 8. Tecnología de microrelés	 271
8.1. La física de los microrelés	272
8.1.1. Las diferentes tecnologías de cálculo	272
8.1.2. Las diferentes tecnologías de actuación	273
8.1.3. Modelado dinámico de microrelés	276
8.1.4. Ejemplos de logros y dificultades tecnológicas	282
8.2. Cálculo de la disipación en un circuito a base de microrelés	284
8.2.1. Optimización del micro-relé de activación electrostática	284
8.2.2. Soluciones en régimen adiabático	291
8.2.3. Comparación entre CMOS y micro-relé	297
 Bibliografía	 303
 Índice alfabético	 307