Ventajas de los Relés de Estado Sólido respecto a los Relés Electromecánicos

1. Introducción

Muchos diseños electrónicos pueden aprovechar mejores prestaciones de los relés de estado sólido (SSR, Solid-State Relays) en relación con los relés electromecánicos (EMR, Electro-Mechanical Relays) para desempeñar la misma función en el circuito. Éstas son algunas de las ventajas de los relés de estado sólido:

- Los SSR son generalmente de menor tamaño que los EMR, ahorrando así un valioso espacio en aplicaciones realizadas sobre placa de circuito impreso
- Los SSR mejoran la fiabilidad del sistema dado que no contienen piezas móviles o contactos que se degraden
- Los SSR proporcionan las prestaciones más avanzadas; no necesitan electrónica de gobierno (driver) y su conmutación no genera rebotes de señal
- Los SSR mejoran los costes del ciclo de vida del sistema, con diseños simplificados con menos requisitos en cuanto a fuentes de alimentación y disipación de calor
- Los SSR utilizan la tecnología de montaje superficial (SMT), lo que significa menores costes y una fabricación más fácil de la placa de circuito impreso SMT.

Esta hoja de aplicación detalla el conjunto de ventajas de los SSR respecto a los EMR. También incluye referencias a IXYS IC Division, información sobre sus productos y recursos de diseño.

2. Aplicaciones de los SSR

Los relés de estado sólido se pueden utilizar para reemplazar a los EMR en numerosas aplicaciones, entre ellas:

- Telecomunicaciones:
  - Tarjetas de E/S
  - Centralitas
  - Conmutadores de antenas para UMTS
  - Estaciones base GSM
  - Conmutadores de carga
  - Estaciones base de radio
  - Conmutadores troncales
  - Sustitución de EMR en líneas de abonado
  - Conexión a masa
  - Test de la corriente de bucle
  - Test interno/Test externo
- Comunicaciones de Datos:
  - Circuitos dedicados (embedded) para acceso a datos por módem (DAA)
  - Circuitos DAA discretos para módem de PC
  - Conmutación de línea en módems V.92
- Industria:
  - Relés de impulso de salida para medida
  - Multiplexores
  - Señalización de ferrocarril
  - Relés decodificadores
  - Sistemas de control industrial
  - Monitorización remota
  - Aislamiento de tierra
  - Relés de multiplexación de entrada de PLC
  - Relés de salida de PLC
- Sistemas de Seguridad:
  - Conmutadores de alarma
  - Conmutadores de sensores

3. Acerca de los SSR de IXYS IC Division

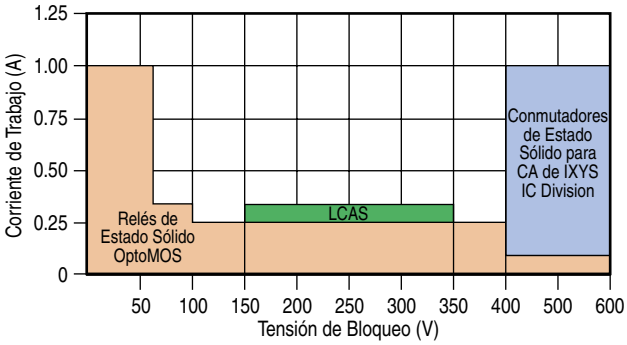
La gama de relés de estado sólido OptoMOS® de IXYS ICD utiliza la tecnología de semiconductor para proporcionar soluciones de conmutación de pequeña señal con aislamiento. Los relés de estado sólido OptoMOS proporcionan tres funciones principales utilizando cuatro chips semiconductores discretos con el fin de conseguir las prestaciones óptimas. El circuito de gobierno de entrada contiene un chip LED y convierte la potencia de gobierno de entrada en luz infrarroja. La red infrarroja se acopla ópticamente a un circuito de conversión que consiste en una matriz integrada de células fotovoltaicas (FV) y la circuitería de gobierno asociada. Esta etapa fotovoltaica genera una tensión necesaria para controlar el MOSFET de salida de alta tensión que conmuta la carga de salida.

Los chips LED y FV están acoplados a través de un material translúcido que transfiere la luz de uno a otro sin transferir calor ni sacrificando la resistencia de aislamiento. Este material dieléctrico óptico proporciona el aislamiento eléctrico.

La familia de productos LCAS (Line Card Access Switch) de IXYS ICD proporciona la funcionalidad necesaria para reemplazar todos los EMR del tipo 2-Form-C que se encuentran en las tarjetas de línea de datos tradicionales para aplicaciones de voz y combinadas de voz y datos, en oficinas y equipamiento de acceso. Las funciones básicas de los relés en una tarjeta de línea son la interrupción de línea, inyección de llamada, test de línea de abonado o test externo, y test de circuito o test interno. Todas estas funciones requieren la capacidad de trabajar con señales de alta tensión y de manejar exigentes tests de cruces de potencia y relámpago. Los productos LCAS son CI monolíticos fabricados mediante el proceso BCDMOS a 320 V, exclusivo de IXYS ICD. El proceso es de zanja aislada y basado en la tecnología de Silicio sobre Aislador (SOI, Silicon-On-Insulator) de película gruesa con conexión (bonded).

Los Relés de Estado Sólido OptoMOS, los Conmutadores de Estado Sólido para CA y los productos LCAS, todos ellos de IXYS ICD, pueden manejar tensiones de bloqueo de hasta 600 V y corrientes de carga de hasta 1 A.

Figura 1. Relés de Estado Sólido de IXYS IC Division



4. Especificación de un SSR

4.1 La Tendencia hacia un Exceso de Especificaciones

Esta sección describe la tendencia a sobre-especificar los EMR. La sobre-especificación de un componente en un diseño conduce a un producto acabado que cuesta más de lo que debería.

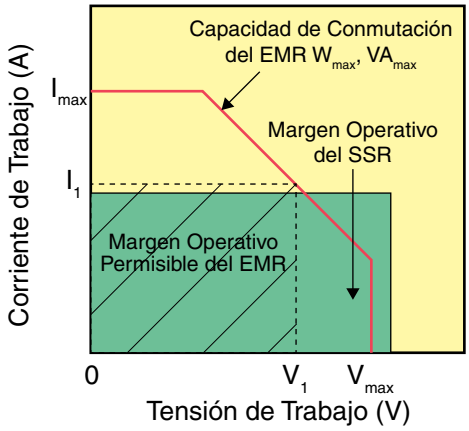
Cuando se diseña con EMR, la tendencia a sobre-especificar un componente para una aplicación determinada es el resultado de dos preocupaciones relativas al diseño. En muchos casos, los EMR están sobre-especificados para la capacidad de manejo de corriente porque no está disponible una unidad para menor corriente. Pero todavía resulta más frecuente que los EMR se sobre-especifiquen para contrarrestar la erosión de los contactos prevista a lo largo de su tiempo de vida útil. La erosión de los contactos lleva a una mayor resistencia de contacto y a la tendencia de soldar los contactos del EMR para que estén cerrados, haciendo así que el relé no sea funcional.

Los SSR, por su parte, se pueden especificar con confianza a las tensiones y corrientes de carga reales. La erosión de los contactos no es una preocupación ya que no hay contactos. Los SSR están disponibles con un amplio abanico de capacidades para el manejo de corriente, asegurando así que se ajustan bien a cada diseño. Consulte el apartado "Aplicaciones de los SSR" en la página 2 para mayor información.

4.2 Capacidad Máxima de Conmutación y Degradación

Los fabricantes de EMR especifican sus relés en función de su capacidad de conmutación máxima. La capacidad de conmutación máxima (generalmente expresada en VA o W) está incluida en la hoja de datos del relé. El dato se suministra en un gráfico similar al de la Figura 2. La capacidad de conmutación máxima de los EMR se degrada sustancialmente más allá de las recomendaciones del fabricante en un esfuerzo por prolongar la vida de los contactos del relé. A menudo esta degradación indica la carga real que puede ser manejada por un EMR dentro del margen operativo de un SSR. Los SSR no tienen contactos, así que no hace falta considerar la degradación por erosión de los contactos.
La degradación de la capacidad de conmutación máxima no se aplica a los SSR.

Figura 2. Curvas de Degradación del Relé



5. Ventajas Relativas al Tamaño Físico de los SSR

Los SSR presentan una ventaja considerable respecto a los EMR por lo que se refiere a su tamaño. En el actual entorno de diseño, en el cual la superficie ocupada en la placa de circuito impreso es un parámetro precioso, el tamaño importa más que nunca.

La tabla "Comparación de Tamaño Físico de SSR y EMR" en la página 4 muestra una comparación de las diferencias de tamaño físico entre SSR y EMR por lo que se refiere a la superficie ocupada en la placa de circuito impreso por polo. Esta información se puede utilizar para calcular el espacio consumido en la placa con una solución EMR respecto a una solución SSR. En el caso del diseño de tarjetas de líneas analógicas, en las cuales la densidad de canal es crítica y la superficie de placa disponible es limitada, los ahorros adicionales en esta superficie pueden significar la diferencia entre 16 o 32 canales por tarjeta de línea.

Por ejemplo, un diseñador que utilice el CPC7581MA de IXYS ICD puede conseguir una reducción del 43% en la superficie de la placa de circuito impreso si se compara con un EMR de tipo 2-Form-C de cuarta generación. La

utilización de LCAS también reduce la necesidad de los circuitos suavizadores (snubber) de contacto requeridos por los EMR. En aplicaciones tales como los módems dedicados en los terminales set-top box, los relés de estado sólido como el CPC1035 de IXYS ICD consumen tan sólo un 16% del espacio en la placa de una solución de relé Reed comparable.

Tabla 1: Comparación del Tamaño Físico de SSR y EMR

Componente	Encapsulado	Número de Polos	Área por Polo (mm^2)
CPC7581BA LCAS	16 SOIC	4	54
CPC7582BA LCAS		6	27
CPC7583BA LCAS	28 SOIC	10	32
CPC7581MA LCAS	16 MLP	4	21
CPC7582MA LCAS		6	10. 5
CPC7583MA LCAS	28 MLP	10	13
LCA110 OptoMOS	SMT de 6 patillas	1	53
LAA110 OptoMOS	SMT de 8 patillas	2	30. 5
CPC1035 OptoMOS	SOP de 4 patillas	1	16
Relé Reed	SIP de 4 patillas	1	97
Relé Reed SMT	Gull de 4 patillas	1	116
EMR tipo 1-2 Form C	3a Generación	4	77
EMR tipo 1-2 Form C	4a Generación	4	36. 5

Hay que tener en cuenta que estas cifras no consideran las asignaciones que deben efectuarse para el espaciado del relé en diseños sobre la placa de circuito impreso. Consulte los apartados "Generación de Ruido y Aislamiento del Circuito" en la página 4 e "Interacción Magnética y Sensibilidad" en la página 4 para mayor información.

6. Ventajas de los SSR en las Placas de Circuito Impreso

En aplicaciones sobre placas de circuito impreso, los SSR presentan varias ventajas que los distinguen respecto a los EMR. Éstas son algunas de ellas:

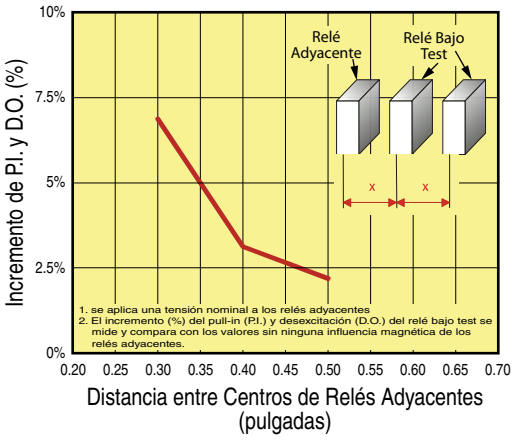
- Los SSR no tienen interacción magnética
- Los SSR no generan ruido eléctrico
- Los SSR son más inmunes ante choques físicos y vibraciones
- Los SSR no generan y no son sensibles a las interferencias electromagnéticas (EMI)
- En la fabricación avanzada de placas de circuito impreso SMT, los SSR tienen la ventaja de la posibili dad de su manejo como si se tratara de CI.

Esta sección describe detalladamente las ventajas que conlleva la utilización de SSR en diseños sobre placa de circuito impreso.

6.1 Interacción Magnética y Sensibilidad

Los EMR trabajan con campos magnéticos. Estos campos no se encuentran confinados en el propio relé, por lo que debe tenerse en cuenta la interacción de los campos magnéticos entre componentes electromagnéticos adyacentes en el diseño de placas de circuito impreso.

Figura 3. Requisitos de Espacio de los EMR



La interacción se describe en las siguientes indicaciones incluidas dentro del material de aplicación de EMR:

- Evite su uso en lugares sujetos a un excesivo número de partículas magnéticas o al polvo.
- Evite su uso en un campo magnético (por encima de 8000 A/m).
- Cuando esté previsto el montaje de múltiples relés uno junto a otro, mantenga el intervalo de montaje mínimo para cada tipo de relé.

Esta interacción cuesta superficie en la placa de circuito impreso, generalmente 0,2 pulgadas (5 mm) en todos los lados de un EMR, un coste "escondido" derivado de utilizar una solución basada en EMR. La Figura 3 muestra los requisitos habituales de espaciado de EMR y los efectos del espaciado de EMR sobre las tensiones de puesta en funcionamiento (pull-in) y desexcitación (drop-out).

La interacción magnética no está presente en los SSR ya que no se utiliza ningún campo magnético para conmutar la salida.

6.2 Generación de Ruido en el Circuito y Aislamiento

A diferencia de los SSR, los EMR generan ruido eléctrico y audible que puede resultar problemático en aplicaciones sobre placa de circuito impreso. Hay que tener en cuenta al respecto estas indicaciones incluidas en materiales de aplicación de EMR:

- El relé puede ser una fuente de ruido en un circuito semiconductor. Esto debe tenerse en consideración cuando se diseñe el posicionamiento del relé y de otros componentes semiconductores en la placa de circuito impreso.
- Mantenga el relé y los componentes semiconductores tan lejos como sea posible.
- Ubique el supresor de variaciones (surge) para el bobinado del relé tan cerca del relé como sea posible.

- No instale el cableado de las señales de audio de manera que pueda verse afectado por el ruido a causa del relé.
- Diseñe los trazados de pistas más cortos que sea posible.
- Un método para la separación de la fuente de alimentación y el relé respecto a otros componentes electrónicos consiste en utilizar trazados apantallados.

Los SSR son circuitos integrados. No son una fuente de ruido audible o eléctrico, y no precisan una especial consideración por lo que respecta al posicionamiento en placas de circuito impreso en relación con otros semiconductores.

6.3 Choque y Vibración

En comparación con los SSR, los EMR son menos inmunes al choque físico y la vibración. Más aún, debe tenerse en cuenta la orientación del relé respecto al choque o la vibración en diseños en los que se prevea un movimiento físico.

Idealmente, los EMR deben montarse de manera que no se aplique ningún choque o vibración en ángulo recto respecto a la dirección operativa de la carcasa. Cuando una bobina de EMR no esta cargada de energía, la resistividad al choque y la inmunidad al ruido se ven afectadas significativamente por la dirección de montaje. Los EMR presentan generalmente una resistencia al choque funcional de sólo 50 G, y una resistencia a la vibración funcional de sólo 20 G.

La determinación de la orientación de la carcasa en un encapsulado de EMR puede ser un factor complicado dentro del diseño con EMR. Algunas carcasas de relé de los fabricantes trabajan en diferentes direcciones separadas 90°, complicando así una aplicación sensible al choque en la cual se puedan utilizar múltiples fuentes de relé.

Los SSR, en cambio, no contienen piezas móviles y no son sensibles al choque físico y la vibración. El test e fectuado sobre los SSR de IXYS ICD ha mostrado que su resistencia al choque funcional es de hasta 500 G, con una duración en el tiempo de 0,5 milisegundos. La orientación del montaje de los SSR no guarda relación con la resistencia al choque.

6.4 Implicaciones sobre la Fabricación

6.4.1 Costes de la Tecnología Mixta

En diseños SMT, la utilización de EMR que requieran emplazamiento taladrado o manual puede conllevar unos mayores costes relacionados con el uso de tecnologías mixtas.

Los costes de fabricación varían mucho. Algunos fabricantes sugieren un coste de 0,01 a 0,03 dólares por cada componente emplazado en una placa de circuito impreso SMT. Todos los SSR de IXYS ICD son productos SMT. Muchos EMR, por el contrario, no son SMT y requieren emplazamiento taladrado o manual en los diseños SMT. La misma directriz de la industria sugiere que el coste sería de unos 0,05 a 0,15 dólares por inserción o emplazamiento manual. Los costes de soldadura manual en un segundo proceso pueden suponer de 0,15 a 1 dólar por componente.

Aunque a menudo no es tenido en cuenta por los diseñadores, que prestan atención al coste de los componentes en lugar de hacerlo sobre el coste total del diseño, la incorporación de SSR en diseños SMT puede aportar un considerable recorte de los costes de fabricación.

6.4.2 Limitaciones de los EMR de montaje superficial en Procesos de Soldadura por Reflujo

Aunque se pueden utilizar EMR de montaje superficial, los SSR SMT suponen una mejor elección en los procesos de soldadura por reflujo por varias razones.

Los EMR, con sus arrollamientos, carcasas, solenoides, y el aire retenido en su encapsulado, son mucho más sensibles a los efectos del calor propios de los procesos de soldadura por reflujo. Los SSR OptoMOS de IXYS ICD, que no tienen piezas móviles, son compatibles con el proceso de soldadura por reflujo y pueden ser soldados por ola. IXYS ICD recomienda IPC9502 nivel 7 para los límites del proceso de soldadura. Los SSR OptoMOS de IXYS ICD se pueden montar sobre cualquier cara de la placa de circuito impreso y sumergidos en la soldadura fundida durante breves períodos de tiempo. El LCAS de IXYS ICD es compatible con los procesos de soldadura estándares de la industria.

Para componentes pequeños y ligeros, como los chips, se puede producir un efecto de autoalineación durante el emplazamiento de la placa de circuito impreso si existe algún error de emplazamiento. Sin embargo, este efecto podría no tener lugar con grandes componentes electromecánicos, como es el caso de los EMR. Éstos requieren un posicionamiento preciso sobre los terminales de soldadura.

Si los EMR SMT soportan un excesivo esfuerzo mecánico por parte del cabezal de emplazamiento de la máquina, puede que sus prestaciones no queden garantizadas. Además, las versiones para emplazamiento taladrado de los EMR casi siempre requieren un manejo manual. No existe una correlación genérica entre la ubicación de las patillas y la parte exterior de la cápsula del EMR. En general, para un CI para emplazamiento taladrado, los terminales están doblados hacia fuera en un ángulo de 5-10°. Cuando el componente se agarra por la parte superior, los terminales se ven flexionados hacia adentro para conseguir la separación entre orificios, y posteriormente se insertan. Dado que los EMR se agarran por la cápsula y no por los terminales, generalmente deben

insertarse a mano. Además, los EMR SMT son muchas veces los componentes más altos de la placa. Esto puede suponer un excesivo calentamiento de la parte superior.

6.4.3 Fiabilidad y Rendimiento

Aunque resulta difícil de cuantificar, existe un consenso en la industria en el sentido de que el proceso manual y la soldadura requerida por la fabricación de placas de circuito impreso de tecnología mixta conllevan unos rendimientos de la fabricación más bajos y unas cifras de tiempo medio entre fallos más bajas para los productos fabricados.

En consecuencia, la utilización de SSR, que no requieren procesos de tecnología mixta, puede significar una mayor fiabilidad y mejores rendimientos.

7. Ventajas de Aislamiento de Entrada y Salida para los SSR

Para aplicaciones que requieran un elevado aislamiento entre entrada y salida, como los circuitos de interface de línea telefónica, los SSR ofrecen una mejor solución. Este apartado compara las características de aislamiento de SSR y EMR.

Los SSR OptoMOS de IXYS ICD están comprobados al 100% por lo que se refiere a la tensión de ruptura entre entrada y salida (IOBDV). El valor mínimo es de 1500 V_{RMS} para 60 segundos (estado estable) para SSR de 4 patillas. El resto de la línea de productos SSR de IXYS ICD presenta unos valores de 3750 o 5000 V_{RMS} para 60 segundos.

En los EMR, se alude a menudo al aislamiento entre entrada y salida como resistencia de aislamiento. El término define el valor de la resistencia entre todas las secciones conductoras aisladas del relé. Este valor incluiría el aislamiento entre el bobinado y los contactos, a través de los contactos abiertos y desde el contacto a cualquier núcleo o estructura con potencial de tierra. Debido a las restricciones propias de la construcción física (p. ej., el espacio entre contactos) y el material utilizado, los EMR ofrecen generalmente tan sólo 1000 V_{RMS}.

8. Modos de Fallo

Todos los componentes electrónicos presentan modos de fallo. Los EMR, con sus piezas móviles, superficies de contacto y bobinados arrollados, presentan generalmente más fallos a lo largo del tiempo que los SSR. Y lo que es más, la fiabilidad de los SSR en relación con las secciones de LED y optoaislante de los componentes ha mejorado enormemente en los últimos años.

8.1 El "Desgaste" del Optoacoplador

En el pasado, los dispositivos optoelectrónicos discretos y encapsulados utilizados para llevar a cabo el aislamiento en los SSR han tenido problemas asociados bien con la fabricación o con la deriva de los parámetros electroópticos a lo largo del tiempo. Los problemas llevaron a concluir que los SSR basados en LED eran sospechosos de estar sujetos a un "desgaste" con el tiempo. La comprobación de los componentes ópticos utilizados en los SSR de IXYS ICD, sin embargo, muestra que el tiempo medio entre fallos (MTBF) de los LED es de 290.875 horas, es decir, 33,20 años, con un factor de confianza del 90%. Los cálculos están basados en una corriente nominal en el LED de 10 mA.

La comprobación realizada en el fotodetector reveló órdenes de magnitud mayores para la vida prevista, así que el factor limitador de la fiabilidad del componente óptico del SSR es el LED.

8.2 Desgaste de los Contactos del EMR

Los contactos son los componentes más importantes en un EMR en cuanto a fiabilidad. Sus características se ven afectadas significativamente por factores como el material de los contactos, los valores de la tensión y la corriente aplicados a ellos, el tipo de carga, la frecuencia de trabajo, la atmósfera, la disposición de los contactos y el rebote de señal en los contactos. Si alguno de estos valores falla a la hora de satisfacer el límite predeterminado, pueden surgir problemas como la degradación del metal entre los contactos, la soldadura de los contactos, su desgaste o el rápido incremento de la resistencia de contacto.

El desgaste del contacto depende de las características de carga. Se crean arcos durante la apertura y el cierre de los contactos cargados. Las tensiones CC resultan particularmente molestas, ya que no existe ningún punto de corriente cero como en una señal CA. Como resultado de ello, una vez que se ha establecido el arco es difícil de eliminar. La extensión y duración del arco pueden ocasionar un significativo daño en los contactos. La corriente generada durante los tiempos de apertura y cierre puede afectar enormemente a la vida del contacto.

Las cargas CC suponen problemas añadidos para los EMR, dado que las partes positiva y negativa del contacto no se alternan como en el caso de una carga CA. Esto tiene como resultado una transferencia de material en una única dirección, lo que significa alcanzar un pico en un contacto que se corresponde con un valle en el otro. Esto puede conllevar cambios en la resistencia en conducción, un fallo prematuro o que los contactos se queden atascados.

La tabla "Corriente de Ráfaga según el Tipo de Carga" de la página 7 proporciona una lista de los diferentes tipos de cargas y la corriente de ráfaga en el relé que deberán manejar cuando se conmuten tales cargas.

En el caso de cargas reactivas, la corriente de ráfaga en el momento del cierre del circuito puede ser lo suficientemente grande como para ocasionar un desgaste sustancial del contacto y, en algún punto, los contactos podrían soldarse. Debido a estas condiciones, los fabricantes de EMR recomiendan un circuito de protección de los contactos del relé diseñado para proteger los contactos del relé. El circuito de protección supone un coste añadido a la solución EMR y consume un espacio valioso en la placa de circuito impreso, el cual podría destinarse a otras funciones del producto.

Tabla 2: Corriente de Ráfaga según el Tipo de Carga

Tipo de Carga	Corriente de Ráfaga
Resistiva	Corriente en estado estable
Motor	5 a 10 veces la corriente en estado estable
Lámpara incandescente	10 a 15 veces la corriente en estado estable
Lámpara de mercurio	Hasta 3 veces la corriente en estado estable
Lámpara de vapor de sodio	1 a 3 veces la corriente en estado estable
Capacitiva	20 a 40 veces la corriente en estado estable
Transformador	5 a 10 veces la corriente en estado estable

Los contactos pueden acortarse mediante su soldadura en presencia de una corriente elevada o vibración, como ocurre en el caso de una soldadura fría de contactos de oro inducida por vibración.

Dado que los SSR no tienen contactos, no es aplicable ninguna de las cuestiones relativas al desgaste de los contactos de los EMR.

La ausencia de contactos y piezas móviles significa que los SSR no están sujetos a la generación de arcos ni al desgaste. Los contactos de los EMR pueden ser reemplazados en algunos relés de mayor tamaño, pero la sustitución de los contactos no resulta práctica en los EMR de pequeña señal para placas de circuito impreso.

8.3 Otros Modos de Fallo de los EMR

Los bobinados abiertos y acortados también pueden ser un mecanismo de fallo en el EMR. Los bobinados acortados pueden tener lugar si el calor es excesivo en el aislamiento de la bobina. Los bobinados abiertos pueden verse ocasionados por las condiciones de sobretensión o sobrecorriente aplicadas al bobinado.

La circuitería utilizada para gobernar los EMR puede ocasionar fallos por bobinados abiertos si el propio circuito de gobierno falla o está sujeto a transitorios. Los SSR se pueden controlar directamente por medio de circuitos lógicos, de manera que no haga falta un circuito de gobierno intermedio.

Los SSR de carga CA se benefician de la conmutación a cero, que reduce el ruido en el circuito por medio de la restricción de la conmutación al punto en el que la tensión cruza el nivel cero.

9. Soluciones de los SSR a las Deficiencias de los EMR

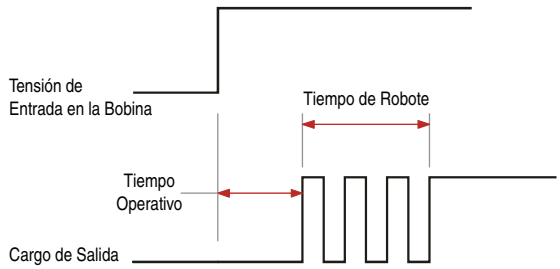
9.1 Rebote en los Contactos y Arcos

El tiempo máximo de rebote de un EMR es el período entre el primer y el último cierre o apertura de un contacto del relé durante un cambio a otra posición de conmutación. El rebote ocasiona interrupciones de los contactos a corto plazo. Los rebotes van en detrimento de la vida de los contactos y son particularmente molestos en aplicaciones en las cuales los relés se utilicen para contar impulsos. En tales casos, el rebote puede llevar fácilmente a un cuenteo falso dado que los contactos siguen abriendo y cerrando el circuito durante el rebote. El rebote del contacto no tiene lugar en los SSR, que están basados en semiconductores. No hay contactos que puedan rebotar.

Las aplicaciones habituales en las cuales el rebote y los arcos darán problemas son las aplicaciones de adquisición de datos. Con los EMR, debe reservarse un cierto tiempo de espera en la aplicación para evitar la realización de medidas durante el rebote del contacto. A menudo se utiliza una banda de seguridad de 10 milisegundos.

El rebote del contacto supone también un problema en aplicaciones en las que deben contarse los aumentos de tensión, como es el caso de medidores y contadores. Los rebotes de contacto ocasionan falsos picos y reducen la fiabilidad del contador.

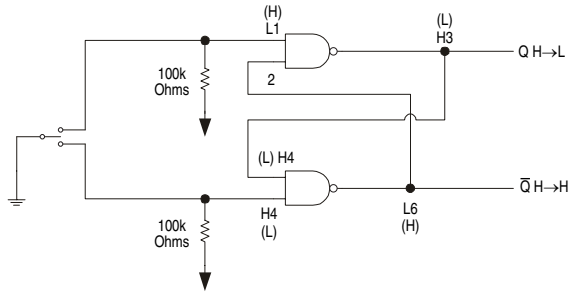
Figura 4. Rebote del Contacto de un EMR



La Figura 4 ilustra la relación entre el tiempo operativo y el rebote de contacto en los EMR. El tiempo operativo se define como el tiempo transcurrido entre la aplicación inicial de energía en la bobina hasta el cierre de los contactos normalmente abiertos. Con dispositivos multipolos, la medida se llevaría a cabo cuando se cierra el último polo. El tiempo de rebote no se incluye en la especificación del tiempo operativo. El diseñador puede reducir el tiempo operativo del relé mediante un sobregobierno de la bobina. Si bien esto podría reducir el tiempo operativo, la fuerza de cierre añadida incrementará la duración del rebote y el número de rebotes. A la inversa,

el rebote del contacto se puede reducir aplicando menos gobierno de la bobina a expensas del tiempo operativo. Dado que cada rebote conmuta la carga tanto a conducción como a corte, la vida eléctrica de los contactos se verá recortada de forma significativa.
El rebote del contacto se puede eliminar utilizando componentes externos como los recomendados en el siguiente circuito.

Figura 5. Circuito de Rebote del Contacto



Estos componentes pueden añadir hasta 0,25 dólares al coste del diseño basado en un relé EMR, sin incluir el espacio ocupado en la placa de circuito impreso por la circuitería extra. Dado que los SSR utilizan MOSFET para conmutar la carga de salida en lugar de contactos móviles, el rebote no existe y no es necesario el circuito de compensación.

En los EMR, el problema del rebote del contacto se puede afrontar utilizando contactos humedecidos en mercurio, pero esto podría imponer una restricción en la orientación del montaje en relación con la gravedad. Existen otras consideraciones relacionadas con la utilización de contactos humedecidos en mercurio: el medio ambiente y el coste. El mercurio es un material extremadamente peligroso. Los relés humedecidos en mercurio no resultan ya una solución práctica para solucionar el rebote del contacto.
Los SSR, en cambio, se pueden montar y pueden trabajar en cualquier posición y son mucho más favorables desde un punto de vista medioambiental.

9.2 Vida Eléctrica Prevista

La vida eléctrica máxima de un EMR es el máximo número de operaciones de conmutación permisibles para una carga de contacto especificada y bajo unas condiciones específicas, con una fiabilidad operativa del 95%.

El fin de la vida se define como el número de operaciones requerida que tiene como resultado duplicar la resistencia de contacto especificada. Muchos suministradores de EMR amplían esta cifra especificando el dato de la resistencia de contacto a 100 miliohms cuando el valor real se acerca a los 15 miliohms. La vida eléctrica se sitúa generalmente entre 100.000 y 500.000 operaciones.

Los EMR generalmente funcionan de manera fiable hasta las 100.000 operaciones. Dado que la vida de los EMR depende de las características de carga, la única forma fiable de determinar la vida real del relé consiste en efectuar la comprobación en el circuito bajo las condiciones reales de carga. Los relés de doble polo podrían sufrir fallos cuando se desprende polvo metálico de un juego de contactos y ocasiona un fallo del otro contacto, particularmente para cargas pequeñas y cuando las cargas están alimentadas por parte de fuentes separadas.

Las hojas de datos de los SSR no incluyen la especificación relativa a la vida eléctrica. Al contrario que los EMR, en los cuales la vida depende de la carga de conmutación real y del número de ciclos, la fiabilidad de los SSR viene determinada por el tiempo de operación, no por el número de ciclos de conmutación. Cuando los SSR se utilizan dentro de las especificaciones indicadas, el MTBF puede superar los 19 millones de horas.

9.3 Consumo de Potencia

Los EMR deben cargar de energía la bobina antes de que pueda tener lugar la conmutación. Esta energía en la bobina debe conservarse con el fin de mantener el contacto en la posición deseada. Generalmente, el EMR consumirá 80 mW de potencia para cargar de energía la bobina. La situación es similar para el SSR, ya que debe aplicarse una corriente continua al LED, pero la potencia consumida es sustancialmente más baja, del orden de 3 mW. En consecuencia, los EMR consumen 25 veces más potencia que los SSR. Un menor consumo de potencia significa manejar menos calor, un ahorro adicional, a menudo escondido para los diseñadores.
Los SSR se pueden encapsular mucho más densamente que los EMR, y generan menos calor. La fuente de alimentación del sistema podría ser asimismo más pequeña y menos costosa.

Si bien es posible utilizar EMR de enganche (latching) para cumplir los requisitos de potencia constante, se puede perder tal condición a causa de una vibración, esfuerzo mecánico o calor. Ello exige que el diseñador añada una circuitería para reinicializar un EMR de enganche hasta un estado conocido.

Existen dos casos en los que sería necesaria la circuitería de reinicialización; en la fase conexión inicial y tras una breve interrupción de la energía. Estos casos podrían necesitar un tratamiento distinto, añadiendo así coste y complejidad a la aplicación del EMR.

9.4 Consumo de Potencia más Bajo de los SSR

El consumo de potencia de los EMR es más elevado que la potencia de puesta en funcionamiento (pull-in) por un factor de seguridad que tiene en cuenta los fenómenos de desgaste, influencias ambientales y tolerancias de fabricación. En conmutadores semiconductores, es igual a la potencia de pull-in, más un margen de seguridad,

más la disipación del colector. El consumo de potencia de los dispositivos semiconductores aumenta de forma mucho más estable en relación con la corriente de colector que en los EMR en relación con la corriente de contacto. Por ejemplo, el requisito mínimo de potencia de un EMR polarizado puede superar los 80 mW, mientras que los SSR consumen apenas 3 mW.

9.5 Requisitos de Tensión más Bajos de los SSR

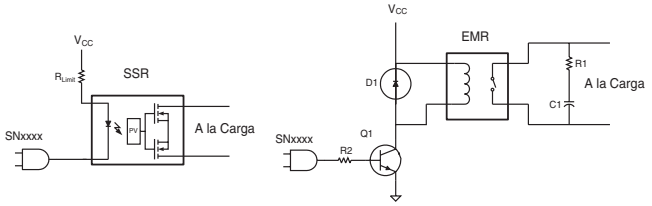
Como un SSR no tiene que cargar de energía un bobinado ni abrir contactos, se necesita menos tensión para que el SSR entre en conducción o corte. Los EMR se controlan a partir de fuentes de alimentación de 5 a 48 VCC. Los SSR, en cambio, pueden trabajar con tensiones de alimentación de tan sólo 1,5 VCC.

9.6 Operación Lógica Directa

Dado que no consumen mucha potencia y trabajan con bajas tensiones, los SSR se pueden gobernar directamente mediante circuitos lógicos como los del tipo 74xxx, ahorrando así un nivel en la electrónica de interface.

Los EMR requieren tensiones de gobierno de la bobina que superan de largo la capacidad de gobierno que son capaces de proporcionar los circuitos lógicos. Como resultado de ello, se precisan componentes adicionales para permitir que los EMR se conecten a circuitos lógicos. El circuito representado a continuación muestra los componentes adicionales necesarios para integrar el relé mecánico en la circuitería digital. Se necesitan cuatro componentes adicionales en el diseño basado en EMR para compensar las poco atractivas características del EMR.

Figura 6. Comparación de los Circuitos de Gobierno de SSR y EMR



Estos inconvenientes hacen que los ingenieros hagan uso de prácticas de diseño de aceptación generalizada para realizar la compensación. Con una bobina a la entrada de todos los relés mecánicos, existe un pico inductivo que surge de forma natural cuando se descarga la energía de la entrada. Este pico se aplica a los componentes sensibles utilizados para controlar el funcionamiento del EMR. El pico resulta muchas veces suficiente para ocasionar un daño catastrófico a la circuitería de control si no ha sido suprimido adecuadamente. Para eliminar este riesgo debe utilizarse un diodo de alta velocidad a lo largo de la bobina.

En el circuito de la parte inferior del diagrama, con Q1 puesto en conducción por medio de la puerta lógica, el EMR se activa con la corriente que fluye a través de la bobina de entrada. Cuando Q1 se lleva a corte para desactivar el relé, el pico inductivo resultante es recirculado y disipado a través de la bobina por el diodo D1. En la solución basada en SSR, parte superior del diagrama, observe que la bobina ha sido sustituida por un sencillo LED y tanto el diodo de protección como el transistor de gobierno han sido suprimidos. El único añadido al circuito es la resistencia limitadora de corriente necesaria para establecer la corriente suministrada al LED.

10. Los Verdaderos Costes Derivados de la Menor Fiabilidad del EMR

En la práctica, la menor fiabilidad de los EMR conduce a unos costes más elevados del ciclo de vida del producto. Esta sección describe las ventajas relativas a la fiabilidad que presentan los SSR respecto a los EMR en cuanto a las cifras de MTBF y los costes asociados.

Con el fin de realizar la comparación, las cifras de MTBF se han obtenido del Telcordia Reliability Procedure for Electronic Equipment, TR-332.

La previsión de fiabilidad de Telcordia está especializada en el equipamiento electrónico. Puede proporcionar previsiones a nivel de componente, a nivel de sistema o a nivel de proyecto para productos completos disponibles comercialmente. Telcordia utiliza tres métodos para prever la fiabilidad de un producto.

- I. Número de componentes
- II. Previsiones del número de componentes en combinación con datos de laboratorio
- III. Previsiones basadas en datos de campo

IXYS ICD utiliza el método I y el método II para calcular el MTBF del producto. En el siguiente ejemplo, los valores de MTBF se obtienen a partir del Método II con 1.000 horas de test de vida real a elevada temperatura.

Se puede establecer una relación comprensible entre fiabilidad y coste. Con los EMR se producirán fallos de campo, pero la frecuencia con la que tienen lugar será proporcional a las tasas de fallo demostradas. La tasa de fallos más baja proporcionará la frecuencia de fallo más baja. El coste añadido de un relé se puede calcular como la amortización del coste de los fallos anticipados para el número requerido que se utilizará dentro de sus ciclos de vida establecidos. El ejemplo de la tabla 3 compara un EMR de polo sencillo con un SSR de polo sencillo (LCA110).

La expectativa de vida del EMR, de acuerdo con su gráfico de vida eléctrica que se encuentra en la hoja de datos, es de 900.000 operaciones. Dados estos datos, para ciclos de 100 relés bajo las condiciones de carga indicadas en la tabla para 900.000 ciclos, se produciría un fallo. La fiabilidad del SSR no se define por el número de ciclos de conmutación, sino por el tiempo en funcionamiento total. Como resultado de ello, los ciclos de conmutación que puede soportar un SSR son prácticamente ilimitados. Para este ejemplo, se seleccionó la cifra de 5 millones de ciclos a modo de comparación.

Se puede calcular la tasa de fallos por cada 10.000 operaciones. En este ejemplo, el coste de adquisición de los relés es igual y el coste por fallo es de 100 dólares. El coste por fallo se puede determinar para equipamiento sujeto a reparación de campo, pero podría resultar más difícil de conocer si se introducen en el cálculo total intangibles como el volumen futuro de negocio perdido debido a la insatisfacción del cliente. Dados la cantidad y el número de ciclos necesarios para la aplicación, resulta sencillo calcular el coste añadido del relé.

El factor de utilización multiplicado por el coste añadido proporciona el coste añadido ajustado. Este total refleja el coste adicional por relé que puede atribuirse directamente a la menor fiabilidad de la solución basada en EMR. Sume el coste añadido ajustado al precio de compra original del relé para determinar el coste real ajustado del relé. Multiplicándolo por el número total de relés comprados y restando el precio de compra agregado se obtiene el coste adicional total asociado a la menor fiabilidad del relé. Este coste puede ir a cargo del cliente o del fabricante, dependiendo de cómo se haya formado el coste de fallo y de posibles acuerdos de servicio que pudieran aplicarse al equipamiento final.

Tabla 3: Ventaja relativa al Coste por Expectativa de Vida de los SSR

Factor de Coste	EMR	SSR LCA110
Expectativa de vida a 250 V, 120 mA, carga resistiva, número de ciclos	900.000	5.000.000
Número de Fallos	1	0
Tasa de fallos por 10.000 ciclos	0,01%	0,00%
Coste de adquisición original	0,50 dólares	0,50 dólares
Coste de fallo	100,00 dólares	100,00 dólares
Uso previsto, número de ciclos	100.000	100.000
Coste añadido (coste de fallo x fallos por operación x número de ciclos)	1,00 dólares	0,00 dólares
Factor de uso (vida de uso total / expectativa de vida total fiable)	11%	2%
Coste añadido ajustado (factor de uso x coste añadido)	0,11 dólares	0,00 dólares
Coste real ajustado (precio de compra + coste añadido)	0,61 dólares	0,50 dólares
Coste de uso para 100.000 unidades (coste real ajustado x número de unidades compradas)	61.111,11 dólares	50.000,00 dólares
Ventaja relativa del coste a favor de la solución basada en SSR		11.111,11 dólares

11. Comprensión de las Comparaciones de Fiabilidad de Relés

Para los EMR, es la acción de conmutación y la degradación de los contactos asociada la que determina el desgaste y el fallo. El MTBF es un factor de mérito menos válido dado que el número de ciclos de conmutación determina la vida del componente en buena medida.

Por otro lado, los SSR no tienen piezas móviles o contactos que se desgasten. El número de ciclos de conmutación no tiene nada que ver con el fallo de un SSR, pero el tiempo de funcionamiento con carga de energía figura en el MTBF.

Para una aplicación dada de un EMR, la siguiente ecuación de MTBF se aplica cuando el ciclo de trabajo es conocido: MTBF = vida de ciclo/ciclos por hora

Para aplicaciones de los SSR, el MTBF base se puede obtener según el tiempo en funcionamiento de la aplicación, y expresado como:
MTBF = 100% MTBF/Ciclo de Trabajo

Por ejemplo, para una aplicación con un ciclo de trabajo del 50%, las cifras de MTBF basadas en un tiempo en funcionamiento del 100% se duplicarían. Con el fin de efectuar una comparación de fiabilidad, se puede utilizar la siguiente ecuación:
Vida de ciclo del EMR/(ciclos por hora = 100% del MTBF del SSR/ciclo de trabajo)

Por medio de una comparación del mundo real, un EMR conmutando 3.600 ciclos por hora con un ciclo de trabajo del 10% necesitaría alcanzar los 698.400.000.000 ciclos para alcanzar las cifras de MTBF del SSR LCA110 de IXYS IC Division.

12. Conclusión

Esta nota de aplicación ha mostrado la superioridad de los relés de estado sólido respecto a los relés electromecánicos en un cierto número de aspectos. Para resumir, los SSR presentan las siguientes ventajas sobre los EMR:

- Menor coste derivado de su uso
- Operación lógica directa
- Menor consumo de potencia
- Menores tensiones de trabajo
- Mayor fiabilidad
- Mayor expectativa de vida eléctrica
- Mayor aislamiento entre entrada y salida
- Sin rebote de señal en los contactos ni generación de arcos
- Físicamente de menor tamaño
- Menor sensibilidad frente a choque o vibración
- Sin generación de campos magnéticos ni ruido eléctrico
- Más fáciles de utilizar en la fabricación de placas de circuito impreso SMT

13. Recursos de Diseño de IXYS IC Division

La página web de IXYS ICD dispone de amplia información para el diseño basado en productos IXYS ICD, incluyendo notas de aplicación y diseños de referencia. Las hojas de datos de los productos contienen asimismo información adicional para aplicación y diseño. Vea los siguientes enlaces:

Solid-state Relays
Line-card Access Switch Products
Master Product Selector
Solid-state Relay Parametric Selector
Application Note 100 Design Surge and Power Fault Protection for Subscriber Line Interfaces
Application Note 108 Current Limited Solid-State Relays
Application Note 144 Impulse Noise Benefits of Line Card Access Switches

13.1 Recursos de Diseño de Terceros

La obra indicada a continuación contiene asimismo información útil para diseños basados en SSR.

Engineer's Relay Handbook, Fifth Edition, National Association of Relay Manufacturers, Milwaukee, Wisconsin, USA, 1996.

Para mayor información, visite por favor nuestra página web en www.ixysic.com

IXYS Integrated Circuits Division makes no representations or warranties with respect to the accuracy or completeness of the contents of this publication and reserves the right to make changes to specifications and product descriptions at any time without notice. Neither circuit patent licenses nor indemnity are expressed or implied. Except as set forth in IXYS Integrated Circuits Division's Standard Terms and Conditions of Sale, IXYS Integrated Circuits Division assumes no liability whatsoever, and disclaims any express or implied warranty, relating to its products including, but not limited to, the implied warranty of merchantability, fitness for a particular purpose, or infringement of any intellectual property right.
The products described in this document are not designed, intended, authorized or warranted for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or in other applications intended to support or sustain life, or where malfunction of IXYS Integrated Circuits Division's product may result in direct physical harm, injury, or death to a person or severe property or environmental damage. IXYS Integrated Circuits Division reserves the right to discontinue or make changes to its products at any time without notice.

Specification: AN-145ES-R03
©Copyright 2014, IXYS Integrated Circuits Division
All rights reserved. Printed in USA.
4/21/2014