

Serie de módulos de potencia inteligentes "V1" con tecnología FULL GATE CSTBT™ paralelizada en el interior y tecnología Mirror Emitter para detección de cortocircuitos

Artículo cedido por Mitsubishi Electric Europe BV



- * Nishida Nobuya,
- * Uota Shiori ,
- * Yoneyama Rei ,
- * Tametani Fumitaka,
- * Orita Shoichi ,
- ** Honsberg Marco,
- ** Radke Thomas

- * Trabajos de dispositivos de potencia, Mitsubishi Electric Corporation, Fukuoka, Japón
- ** Mitsubishi Electric Europe BV, Alemania

La serie V1 es un nuevo módulo de potencia inteligente (IPM), que se desarrolla principalmente para aumentar la eficiencia de motores o fuentes de alimentación. Para este propósito, se han implementado nuevas tecnologías como un nuevo chip con tecnología full gate CSTBT™ y un nuevo circuito de control dedicado.

La serie V1 es un módulo de potencia que se centra en aplicaciones con kW, y por eso, tiene una gama de 200A/300A/450A para 1200V, y 400A/600A para 600V. La tecnología chip y las mejoras estructurales reducen la temperatura de unión efectiva y aumentan la potencia y la capacidad de ciclos térmicos de esta familia de IPMs, mientras que mantienen ampliamente la compatibilidad terminal con las series de IPMs duales de la serie V anterior.

Introducción

Los módulos de potencia inteligentes (IPM) han sido ampliamente utilizados para alcanzar un mayor grado de integración y para reducir la complejidad de las funciones de protección y puerta de los usuarios. Durante la última década la tecnología IPM ha experimentado un gran cambio en términos de funcionalidad y funciones de protección. Los IPMs de hoy ayudan a la interfaz fotoacopladora a reducir las influencias dV/dt y a controlar las oscilaciones de la señal y, con la introducción de la tecnología chip full gate (FG) CSTBT™, el ratio de pérdida/SCSOA trade off se ha ajustado para alcanzar una menor pérdida mientras que se mantiene la robustez SC gracias a un circuito de control integrado (LVIC). El sensado de temperatura del chip como parte de la topología del IPM permite la protección individual de los chips IGBT. Así, hoy en día un módulo de potencia inteligente emplea características y ventajas que difícilmente se pueden implementar en una etapa de configuración convencio-

Figura 2. Encapsulado grande de la serie V1

Figura 1. Encapsulado pequeño de la serie V1



nal en un IGBT conectado a un driver externo. Estas características ventajosas de la tecnología ya han sido empleadas en las series de IPMs "L1" "S1 6 en 1 y 7 en 1 para cubrir hasta 150A/1200V y 300A/600V, pero hasta ahora, no hay soluciones punteras similares para ratios de inversor mayores. El desarrollo de la serie IPM V1 cierra esta brecha y extiende este rendimiento superior y esta funcionalidad de protección a IPMs duales de 450A/1200V. Los IPMs duales anteriores de las series V y S que todavía siguen siendo equipados con chips de tecnología planar se han superado con la tecnología IPM V1. La ubicación de los terminales y el encapsulado de la serie V1 son compatibles con la serie V. Sin embargo, las estructuras internas difieren en las series V1 y la serie V. La serie V1 cambió el electrodo principal interno, y ha añadido una línea de feedback negativa especial de cableado en el Emitter del IGBT.



El encapsulado pequeño cubre módulos de 200A a 450A en 1200V y de 400A a 600A en 600V. La figura 1 muestra el interfaz de cinco pines para lado P y N. El conector chapado en oro es compatible con las anteriores generaciones de conectores IPMs 2 en 1 y emplea terminales de 0,63 mm con forma cuadrada que se disponen en una capa de 2,54 mm. El encapsulado grande, en la Figura 2, está previsto para un máximo de 600A/1200V y 900A/600V.



Ambos diseños, tienen el terminal de control en común y proporcionan la misma posición no simétrica de baja inducción de los terminales de potencia.

La Tabla 1 muestra la disposición del encapsulado pequeño y grande de la serie V1.

Rating	Type name	Package
400A/600V	PM400DV1A060*	Small
600A/600V	PM600DV1A060*	Small
900A/600V	PM900DV1B060**	Large
200A/1200V	PM200DV1A120*	Small
300A/1200V	PM300DV1A120*	Small
450A/1200V	PM450DV1A120*	Small
600A/1200V	PM600DV1B120**	Large

* Under development ** Under consideration

Guiado y Protección

La serie V1 tiene chips IGBTs CSTBT™ de 5ª generación. Se usan dos CSTBT™ en paralelo por cada elemento con el fin de alcanzar la deseada capacidad de corriente del módulo. Las sofisticadas funciones de protección se integran en los circuitos de control dedicados. Siguen la misma estrategia de control, como el muy establecido estándar industrial de la serie IPM L1 que previene que los dispositivos de potencia se dañen por el mal funcionamiento del sistema o un sobreesfuerzo. Este concepto de protección se basa en tres funciones de protección elementales, como el abastecimiento de control bajo voltaje (UV) que garantiza condiciones adecuadas de guiado de la puerta del CSTBT™, el exceso de temperatura (OT) que se adquiere directamente en el chip y en el cortocircuito (SC) utilizando tecnología Mirror Emitter. La tecnología Mirror Emitter es una tecnología clave para reducir el esfuerzo sobre el IGBT durante un cortocircuito. Mientras que los enfoques convencionales de protección se basan en la detección de la desaturación del IGBT, lo que permite una alta disipación durante el cortocircuito, la exclusiva tecnología Mirror Emitter mide una pequeña fracción de la corriente del Colector y utiliza la información de corriente real como criterio para una detección de sobrecorriente / cortocircuito. La figura 3 indica el circuito interno del IPM. Se muestra la tecnología Mirror Emitter y la derivación correspondiente.

Suministro de control de Bajo Voltaje (Under Voltage)

Los circuitos de control internos del IPM funcionan desde una fuente aislada de 15V CC. Si, por cualquier razón, el voltaje de esta fuente cae por debajo del nivel de tensión especificada (UVt), los dispositivos de alimentación se apagarán y se generará una señal de fallo. Pequeños problemas técnicos inferiores en longitud a la especificada t_{dUV} ($<10\mu s$) no afectarán al funcionamiento de la circuitería de control y serán ignorados por el circuito de protección de bajo-voltaje. Para que el funcionamiento normal se reanude, la tensión de alimentación debe superar el nivel de rearme de bajo-tensión (UVr). El funcionamiento del circuito de protección de bajo-

tensión también se producirá durante el encendido y apagado de la fuente de control. Esta operación es normal y el programa controlador del sistema debe tener en cuenta la demora de salida de fallo (tFo).

Sobretemperatura (OT)

El IPM tiene un sensor de temperatura, que es parte de la superficie de los chips IGBT. Si la temperatura de los chips IGBT supera el nivel de sobretemperatura (OTrip) el circuito de control interno del IPM protegerá los dispositivos de potencia mediante la desactivación del driver de la puerta y haciendo caso omiso de la señal de entrada de control hasta que la condición de sobretemperatura se haya desvanecido. Esta señal de salida de fallo causada por OT se mantendrá siempre y cuando la condición de sobretemperatura exista. Cuando la temperatura cae por debajo del nivel de rearme de sobretemperatura (OTr), y la entrada de control es alta, por ejemplo, correspondiente al modo inactivo del IGBT, el dispositivo de energía se activará y el funcionamiento normal se reanudará en la próxima señal de entrada de "low" (on).

Las anteriores series V de IPMs sólo detectaban la temperatura del encapsulado (la temperatura de la placa base), y una vez que el umbral de temperatura del sensor de temperatura montado en el sustrato se alcanzaba, el CI de control interceptaba la señal de la puerta y protegía el IGBT.

Tabla 1. Disposición de la serie IPM V1

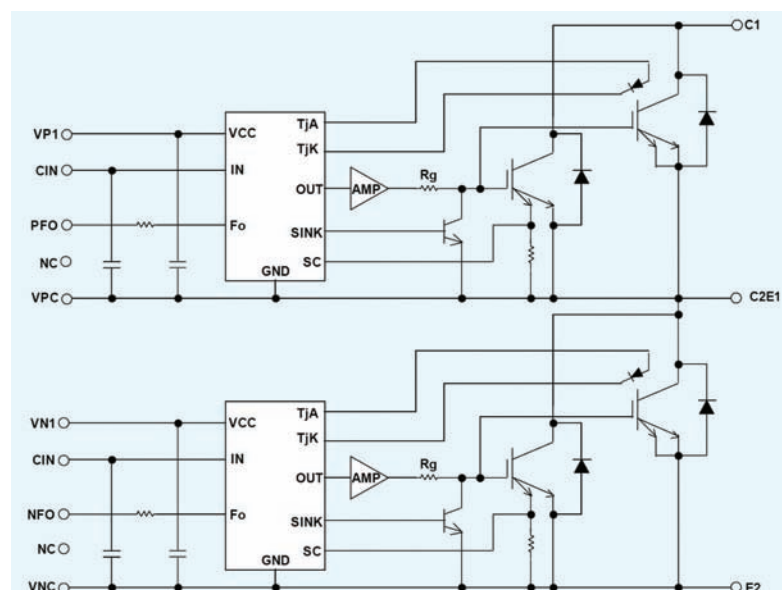


Figura 3. Diagrama de bloques Interno

Figura 4. Diagrama de tiempos de control y protección de la serie V1

Sin embargo, esta protección térmica madura tiene ciertas desventajas, ya que la adquisición de la temperatura es lejana desde el chip IGBT y también reacciona lentamente a causa de las constantes de tiempo térmicas afectadas de los diferentes esquemas de construcción del módulo. Como consecuencia, la información del sensor de temperatura no refleja la temperatura real de la unión y tiene un cierto retraso de tiempo. La protección basada en la temperatura de la placa base puede prevenir de fallos de sobretensión causados por el fallo del ventilador o por problemas del lubricante térmico, pero que sólo podría proporcionar protección insuficiente en caso de situaciones de bloqueo del rotor o baja frecuencia salida. A pesar de que la protección de la temperatura de los últimos IPM puede detectar la temperatura de un chip de IGBT que ya está a nivel de la superficie y protegerlo, la ubicación del sensor se llevó a cabo en el extremo del chip.

Posteriores investigaciones han demostrado que se puede observar una diferencia sustancial de temperatura entre la ubicación del sensor y la temperatura máxima real de la superficie del chip IGBT, dependiendo de la ubicación del sensor de temperatura en la superficie de los chips. Por lo tanto, suponer una temperatura compensada desde la posición del sensor a la temperatura máxima encontrada, podría haber sido una opción, pero la dependencia de carga de esta compensación impediría, por desgracia, un nivel de protección de mayor precisión. Idealmente el "hot spot" confirmado experimentalmente en el CSTBT™ debe coincidir con la ubicación del sensor de temperatura. La nueva serie IPM V1 ha caído en la cuenta de esta posición del sensor de temperatura más precisa y utiliza chips CSTBT™ empleando el sensor de temperatura en el centro del chip.

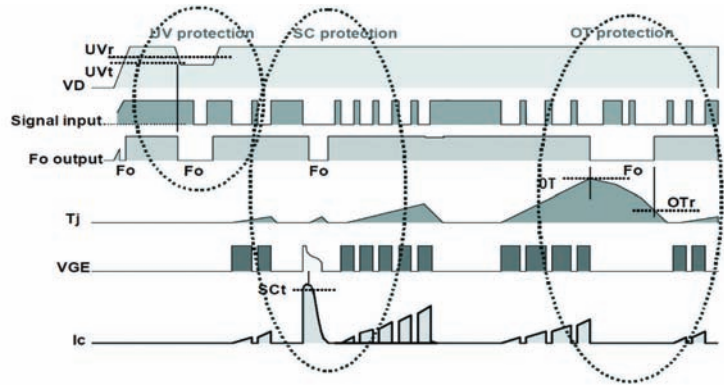
Cortocircuito (SC)

La protección de cortocircuito es una característica esencial de las unidades modernas. Varias fuentes pueden generar un estado de cortocircuito que genera un estrés térmico extraordinario en un IGBT. El cortocircuito o el mal funcionamiento del controlador del sistema que resulta en un disparo puede ser la causa raíz de las condiciones de cortocircuito. La función de protección de cortocircuito integrada en el IPM,

Tabla 2. Perfil de datos de la serie V (tecnología madura)

Tabla 3. Perfil de datos de la serie V1 (nueva familia IPM)

Figura 5. Forma de onda en la conmutación de la serie V1



debe prevenir que el IGBT sea dañado. Tal y como se comentó anteriormente, la tecnología Mirror Emitter, permite monitorizar la corriente que fluye, siendo ella misma una imagen del total de corriente que en el colector. Así, a nivel de una "pequeña señal" y muy diferente a los métodos convencionales de detección de desaturación de esfuerzo dv/dt , el circuito de control nota niveles anormales de corriente y toma acción inmediata. Como consecuencia de una detección de cortocircuito, se inicia un apagado controlado y se genera una salida de error se en un pin especial (Fo) de IPM. Dado que la protección SC se ejecuta también en la parte P de los IGBT, también es posible una protección contra defecto de tierra. Además, la serie IPM V1 contiene un feedback negativo bien afinado en la línea de emisor del IGBT, lo que reduce el pico de la corriente de cortocircuito. El diagrama de tiempos de la función de protección se muestra en la Figura 4.

Características eléctricas

El comportamiento en conmutación, es además de la pérdida de conmutación, una característica importante de tecnología IGBT, el estimar el esfuerzo de filtrado para ajustarse a las normas EMI. Una prueba de conmutación se ha realizado a $V_{cc} = 600V$, V_D (alimentación) = $15V$, $T_j = 125^\circ C$, condiciones de aplicación en la Figura 5. El resultado a su vez muestra un buen control en el encendido y apagado evitando oscilaciones y manteniendo al mismo tiempo

los objetivos de pérdida de la anterior generación de la serie IPM L1 que también emplea FG CSTBT™.

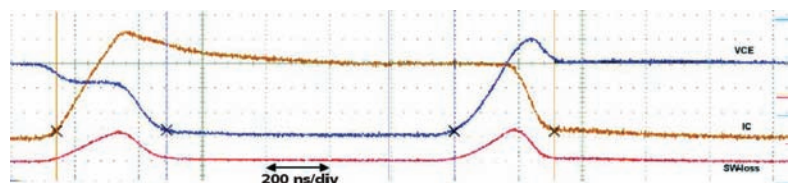
La conmutación de la serie V1 es ajustada por lo que resulta similar a la serie L1. La Figura 5 revela que, incluso en comparación con ancho de pulso pequeño, no genera oscilaciones. Al comparar el perfil de datos de la nueva serie IPM V1 con el rendimiento y características de su predecesor, resulta que los avances de más de 13 años en la tecnología de chips, han llevado a la importante reducción del rendimiento de la pérdida de esta familia de IPM. Junto con las mejoras de la tecnología de silicio, las tecnologías de encapsulado y fabricación, se ha actualizado para alcanzar un rendimiento de vanguardia. En detalle, la capacidad de ciclo de potencia de la nueva serie V1, se ha incrementado con la introducción de una nueva tecnología en el proceso "wire bonding"

$V_{cc} = 600V$, $V_D = 15V$, $T_j = 125^\circ C$
 $I_C: 100A/div$ $V_{CE}: 200V/div$

La Tabla 2 contiene la información de la antigua serie V mientras que la tabla 3 muestra los últimos avances de la serie IPM V1.

Item	V-series	
Vces	600V	1200V
Vce(sat)		
Tj=125°C	2,55V	2,6V
OT acquisition	NTC/substrate	NTC/substrate
Power cycling	standard	standard

Item	V1-series	
Vces	600V	1200V
Vce(sat)		
Tj=125°C	1,75V	1,85V
OT acquisition	on chip	on chip
Power cycling	improved	improved



Además de las innovaciones descritas anteriormente de la detección de cortocircuito, la circuitería se ha probado más allá de los límites de SCSEA típica de un IGBT. Presentando el enfoque conservador de la especificación, se ha realizado una prueba de corto circuito en un dispositivo en las condiciones $V_{cc} = 800V$, $V_D = 16,5 V$ y $T_j, start = 125 ^\circ C$. El resultado de esta prueba se indica en la Figura 6. Incluso en la alta temperatura de la unión antes de la operación de cortocircuito y el alto voltaje de CC, el cortocircuito se apaga de forma segura. Este rango admisible del parámetro que es pertinente para el manejo del cortocircuito se especifica como $V_{cc} prot$, que indica el máximo nivel de voltaje de CC- que garantiza un apagado seguro del IPM.

Este comportamiento excelente de cortocircuito es el resultado de la reducción de tensión de la puerta del Emitter (Vge) que se impone por la configuración de la señal de seguimiento interna en el sustrato. Ese tipo de feedback negativo reduce la tensión de salida del conductor y limita eficientemente el pico de corriente del cortocircuito. La figura 6 además permite obtener información sobre el estrés de los IGBT durante la situación de cortocircuito. La instantánea disipación de potencia como producto de la tensión colector-emisor (Vce) y la intensidad de corriente de colector (Ic) es baja en el IPM como resultado esperado de la información de espejo de la corriente del emisor. El área de sobreposición (Overlap área) del Vce e Ic, por ejemplo, la información de la energía disipada del cortocircuito en el IGBT, es excepcionalmente pequeña. Esto reduce el aumento de la temperatura de T_j durante el cortocircuito y disminuye el estrés. En etapas normales del controlador, esta área de sobreposición se mantiene generalmente durante unos pocos microsegundos (4µsec ... 6µsec) llamándose "blanking time" para evitar la detección errónea de los circuitos de detección de la desaturación. Por lo tanto, la tensión impuesta a los IGBTs utilizados en las etapas normales de controlador durante un cortocircuito, es mucho mayor que en el diseño de IPM. Por supuesto, esta característica tiene una influencia crucial en la fiabilidad del sistema. El IPM se ha probado en un sistema de control industrial y se ha grabado la forma de onda de salida. Los resultados se representan en la figura 7.

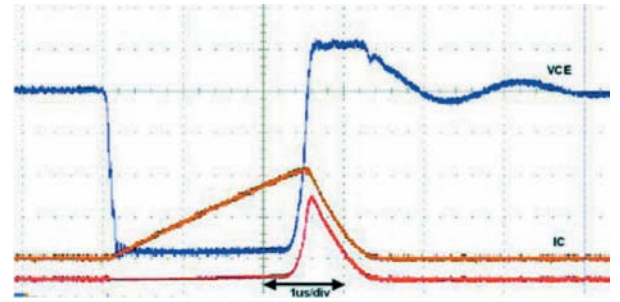
Simulación de la pérdida de potencia

Una simulación de las pérdidas en el funcionamiento del inversor de la serie V1 se llevó a cabo y se comparó con la serie L que está actualmente en el módulo IPM que cubre las gamas de corriente de 300A/1200V y 450A/1200V. Aunque el IPM de la serie L ya emplea CSTBT™ de la quinta generación, la densidad de corriente de un chip utilizado en el IPM de la serie L es inferior a la quinta generación CSTBT™ de la serie V1. Por otra parte, desde la que la superficie de la placa de la serie V1 es más grande que un solo segmento de una fase del IPM de la serie L – que proporciona alrededor de un 20% más de superficie - la elevación de la temperatura de del encapsulado también se reduce y produce una mejora de la fiabilidad reflejada en ciclos térmicos y de energía. La figura 8 muestra la disposición de 3 piezas de la serie IPM V1 (2 en 1) frente a un IPM de la serie L (6 en 1). En cuanto al sistema, por ejemplo, incluyendo también el disipador de calor en estas consideraciones, este aumento de la superficie de un material altamente conductor como el cobre de la placa facilita la transferencia de energía térmica al disipador de calor y reduce los efectos de la concentración de calor.

Estas dos soluciones para inversores de alta potencia se comparan sobre todo en las variaciones de las frecuencias de conmutación. La figura 9 resume el resultado de esta simulación indicando el parámetro clave basado en los módulos 300A/1200V.

Conclusión

Una nueva familia de IPMs en encapsulado 2in ha sido desarrollada utilizando la última tecnología full gate (FG).



La tecnología Mirror Emitter reduce la presión sobre los chips IGBT en cortocircuito de manera eficiente y la tecnología de encapsulado y proceso aumenta la fiabilidad de la serie IPM V1 de forma eficiente. El rendimiento térmico y de pérdidas se ha mejorado sustancialmente y alcanza niveles punteros.

Figura 6. Forma de onda de la corriente de cortocircuito de la serie V1 IC: 1000A/div VCE:200V/div

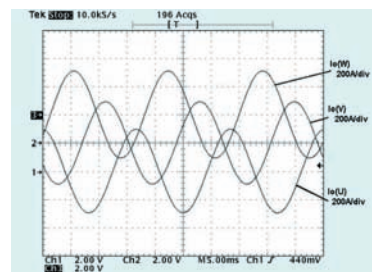


Figura 7. Forma de onda de salida de corriente en un control de motor con las condiciones de la serie V1: $V_{cc} = 600V$, $I_o = 300A_{peak} = V_D = 15V$, $f_c = 5 kHz$, $f_o = 60 Hz$

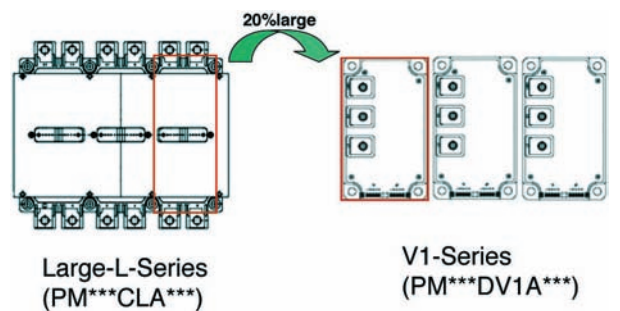


Figura 8. Comparación de la serie L con la serie V1

Referencias

[1] Nota de aplicación de las series IPM L1/S1. Página Web de Mitsubishi Electric Corporation. <http://www.mitsubishichips.com/Global/products/powermod/>

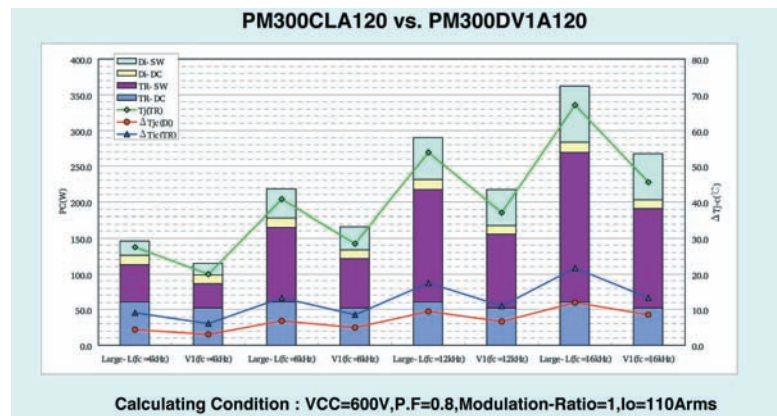


Figura 9. Resultados del cálculo de la pérdida de potencia entre la serie L y la serie V1