

Infineon stellt neuentwickelten Gate-Treiber-IC vor

Reduzierte Verlustleistung von IGBTs

Entwickler von Schaltungen zur Gateansteuerung müssen oft größere Einschaltwiderstände einsetzen, als das IGBT-Datenblatt empfiehlt, um den maximalen Anstieg für dv_{ce}/dt während der Stromkommutierung zu reduzieren. Infineons neuer Gate-Treiberr-IC 1EDS20I12SV ermöglicht einen relativ konstanten dv_{ce}/dt -Wert über den gesamten Lastbereich.

VON WOLFGANG FRANK,
TECHNISCHES MARKETING TREIBER ICS
UND HOLGER HÜSKEN,
ENTWICKLUNG VON IGBTs UND DIODEN,
BEIDE INFINEON TECHNOLOGIES

Ein Vergleich von zwei Gatetreiber-Boards – einmal mit dem 1EDS20I12SV und einmal mit einem konventionellen Gatetreiber-IC (Infineon 1ED020I12-F2) – zeigt die Vorteile des neuen Regelverfahrens. Beide Boards steuern dasselbe High-Power-Leistungsmodul FF1200R12IE5 für 1200 A / 1200 V.

Grundsätzliche Gleichungen für die IGBT-Regelung

Zum Verständnis des Regelkonzepts des 1EDS20I12SV ist es hilfreich das Einschaltverhalten eines IGBT zu analysieren. Abbildung 1 stellt dieses für eine induktive Last dar. Als Kommutierungsdiode dient der Einfachheit halber eine SiC-Schottky-Diode, deren Rückstromverhalten (Reverse Recovery) rein kapazitiv ist. Der Gatestrom I_g lädt wie in [1] und [2] erläutert sowohl die Gate-Emitter-Kapazität C_{ge} als auch die Gate-Kollektor-Kapazität C_{gc} :

$$I_g = \frac{d}{dt} (C_{ge} \cdot V_{ge} + C_{gc} \cdot V_{gc}) \quad [1]$$

Während die Gate-Emitter-Kapazität als spannungsunabhängig betrachtet werden kann, ist die Spannungsabhängigkeit von C_{gc} signifikant. Bei hoher Spannung V_{gc} ist die Kapazität C_{gc} gering, jedoch bei niedrigen Spannungen hoch.

$$I_g = C_{ge} \cdot \frac{d}{dt} V_{ge} + \frac{d}{dt} (C_{gc} \cdot V_{gc}) \quad [2]$$

Es sei darauf hingewiesen, dass die Gate-Kollektor-Spannung durch

$$V_{gc} = -V_{ce} + V_{ge} \quad [3]$$

definiert ist, wobei die üblichen Polaritätskonventionen gelten. Damit lässt sich der Gatestrom wie folgt dargestellt:

$$I_g = C_{ge} \cdot \frac{dV_{ge}}{dt} + \left(V_{gc} \cdot \frac{d}{dt} C_{gc} + C_{gc} \right) \frac{dV_{gc}}{dt} \quad [4]$$

oder

$$I_g = \left(C_{ge} + V_{gc} \cdot \frac{d}{dt} C_{gc} + C_{gc} \right) \frac{dV_{ge}}{dt} - \left(V_{gc} \cdot \frac{d}{dt} C_{gc} + C_{gc} \right) \frac{dV_{ce}}{dt} \quad [5]$$

Vereinfacht ist der Einschaltvorgang eines IGBT in drei Phasen unterteilbar:

- Aufladung des Gates bei hohem V_{ce} – der erste Term der Gleichung (5) dominiert.
- Miller-Plateau bei einer konstanten Spannung V_{ge} und einer sich ändernden Spannung V_{ce} → der zweite Term der Gleichung (5) dominiert.

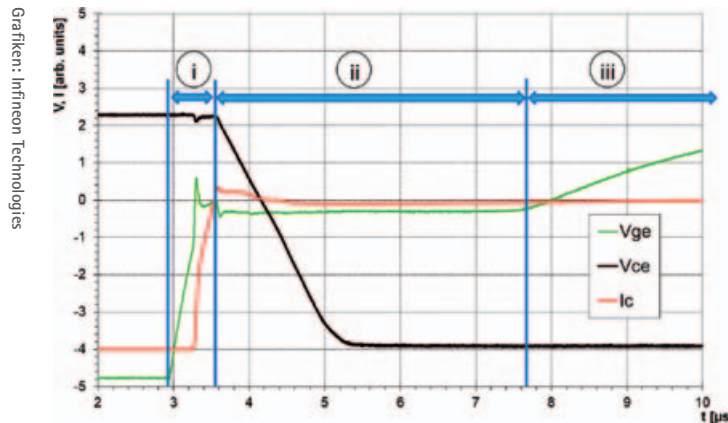


Abbildung 1: Typische Einschalttransienten eines IGBT, aufgeteilt in 3 Phasen

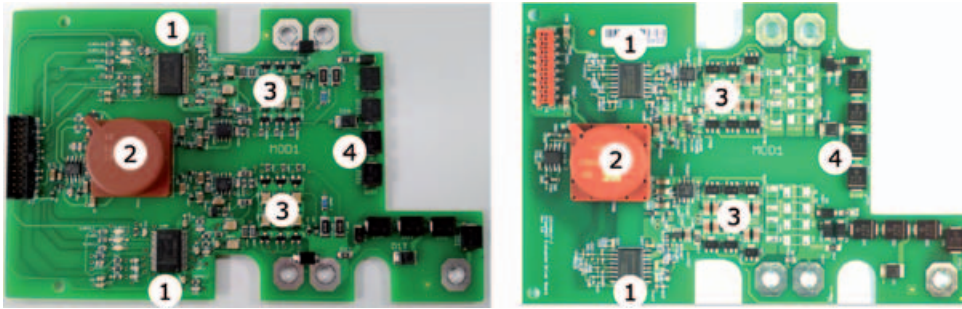


Abbildung 2: Treiberboard mit Stromquellenansteuerung (links) und Spannungsquellenansteuerung (rechts)

- Gate-Aufladung bei niedriger Spannung V_{ce} -> hier dominiert wieder der erste Term der Gleichung (5).

Daraus ergibt sich ein deutlicher Unterschied zwischen Spannungs- und Stromansteuerung. Bei der Spannungsansteuerung ändert sich der Gatestrom während des Einschaltens wie folgt:

$$I_g = \frac{V_{on} - V_{ge}}{R_g} \quad [6]$$

Hierbei ist V_{on} die Spannung, welche die Gateansteuerung liefert.

Der Spannungsanstieg dV_{ce}/dt während Phase 1 und damit die Einschaltenergie E_{on} lassen sich somit aus der Miller-Spannung ableiten, die wiederum vom Laststrom abhängt. Niedrige Ströme und relative niedrige Miller-Spannungen führen beim Einschalten zu einem hohen dV_{ce}/dt -Wert. Dagegen steigt die Einschaltenergie E_{on} bei größeren Kollektorströmen sowohl durch den höheren Strom selbst als auch durch die geringere Schaltgeschwindigkeit aufgrund der hohen Miller-Spannungen und der damit verbundenen geringeren Gate-Ströme. Dies führt zu nichtlinearen Kennlinien für die Einschaltenergie als Funktion des Kollektorstroms.

Damit richtet sich die Auswahl der Gate-Widerstände nach der Notwendigkeit, die Steil-

heit des Spannungsanstiegs bei kleinen Strömen zu begrenzen. Dadurch erhöhen sich die Einschaltverluste bei hohen Strömen mit konventionellen Gateansteuerungen deutlich. Im Gegensatz dazu ist bei Stromquellenansteuerungen der dV_{ce}/dt -Anstieg unabhängig vom Laststrom und erlaubt damit eine optimierte Schaltgeschwindigkeit für einen großen Strombereich. Damit hängt die Einschaltenergie nur von der Kollektorstrom-Amplitude beim Einschalten ab.

Die Gatetreiberboards

Beide Ansteuerplatten sind so ausgelegt, dass sie zum Leistungsmodul FF1200R12IE5 passen. Sie enthalten externe Stromverstärker (3), die den Gatestrom (1) verstärken. Links in Abbildung 2 ist der Verstärker (1ED02012-F2) konventionell mit bipolaren Transistoren realisiert, während die Stromquellenansteuerung mit p-Kanal-MOSFETs zur Verstärkung beim Einschalten arbeitet. Für die Gatestrom-Regelschleife ist die Verwendung von p-Kanal-MOSFETs Voraussetzung. Der Abschaltverstärker arbeitet mit pnp-Transistoren ähnlich wie die konventionelle Ansteuerplatte. Die Ausgangs-Bias-Versorgung (2) liefert die Gate-Spannungen mit +15 V und -8 V. Außerdem ist eine Clamping-Funktion (4) realisiert, die verhindert, dass beim Abschalten Überspannungen zwischen Kollektor und Emitter des

IGBTs entstehen. Da die Clamping-Schaltung nur beim Abschalten aktiviert wird, beeinflusst sie den Konstantstrom beim Einschalten nicht.

Zusätzlich bietet der IC 1EDS2012SV zur Ansteuerung der Stromquelle eine Option für die Änderung der Schaltgeschwindigkeit während des Betriebs. Diese Funktion ist deshalb wichtig, weil sie die Verluste beim Einschalten in der Anwendung [3] noch weiter reduziert. Dies ist etwa zur Kompensation von Temperaturabhängigkeiten von IGBTs nutzbar.

Schaltschema des 1EDS2012SV beim Einschalten

Phase Eins beim Einschalten ist die sogenannte Preboost-Phase. Sie dauert entsprechend Abbildung 3 etwa 135 ns. Während dieser Phase wird die Gate-Emitter-Spannung auf einen Wert erhöht, der noch unter der Gate-Emitter-Schwellenspannung $V_{ge(th)}$ liegt. Während der Preboost-Phase hängt der Strom von der Gateladung ab und ist daher bei Betrieb eines vorgegebenen Leistungsschalters konstant.

Auf die Preboost-Phase folgt die Einschaltphase. Während des Betriebs lässt sich der Einschaltstrom aus 11 Stufen wählen. Der ausgewählte Gatestrom bewirkt eine vorgegebene Einschaltgeschwindigkeit. Über ein analoges Signal an einem speziellen Anschluss auf der Steuerseite des Gate-Treiber-ICs erfolgt die Auswahl der Schaltgeschwindigkeiten. Aktiv ist der Einschaltstrom, bis das Gate die endgültige Gate-Bias-Spannung erreicht hat, in diesem Falle bei 15 V.

Messergebnisse

Beide Treibersysteme wurden mit einem Doppelpuls-Prüfaufbau mit automatischer Auswertung der Schaltparameter evaluiert. Die Platinen wurden mit verschiedenen Einschaltgeschwindigkeiten angesteuert, um auch den Trend der jeweiligen Parameter in Abhängigkeit von der Schaltgeschwindigkeit zu testen. Dazu wurde einerseits die Option zur Geschwindigkeitsauswahl des Stromquellen-Gatetreibers 1EDS2012SV genutzt, während beim konventionellen Spannungs-Source-Gatetreiber die Gatewiderstände verändert wurden.

Ein Beispiel der Signalverläufe beim Einschalten wird in Abbildung 4 gezeigt. Die Gate-Emitter-Spannung V_{GE} (grün) und der Kollektorstrom i_c (rot) sind vergleichsweise glatt und

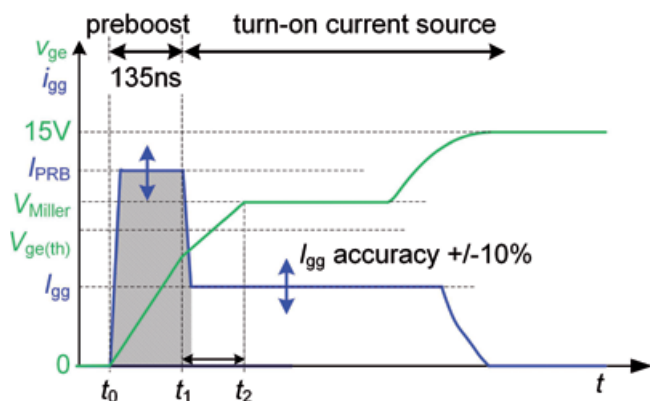


Abbildung 3: Einschaltsequenz bei Stromquellenansteuerung mit dem 1EDS2012SV.

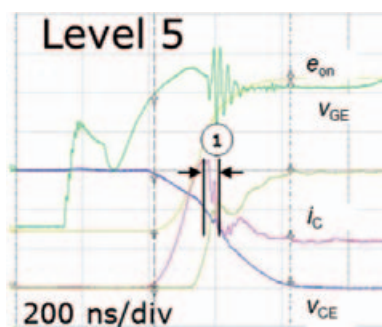


Abbildung 4: Beispiele eines Einschaltvorgangs bei IC = 120 A (10 Prozent des Nennstroms) und einer Gleichspannung VDC = 600 V

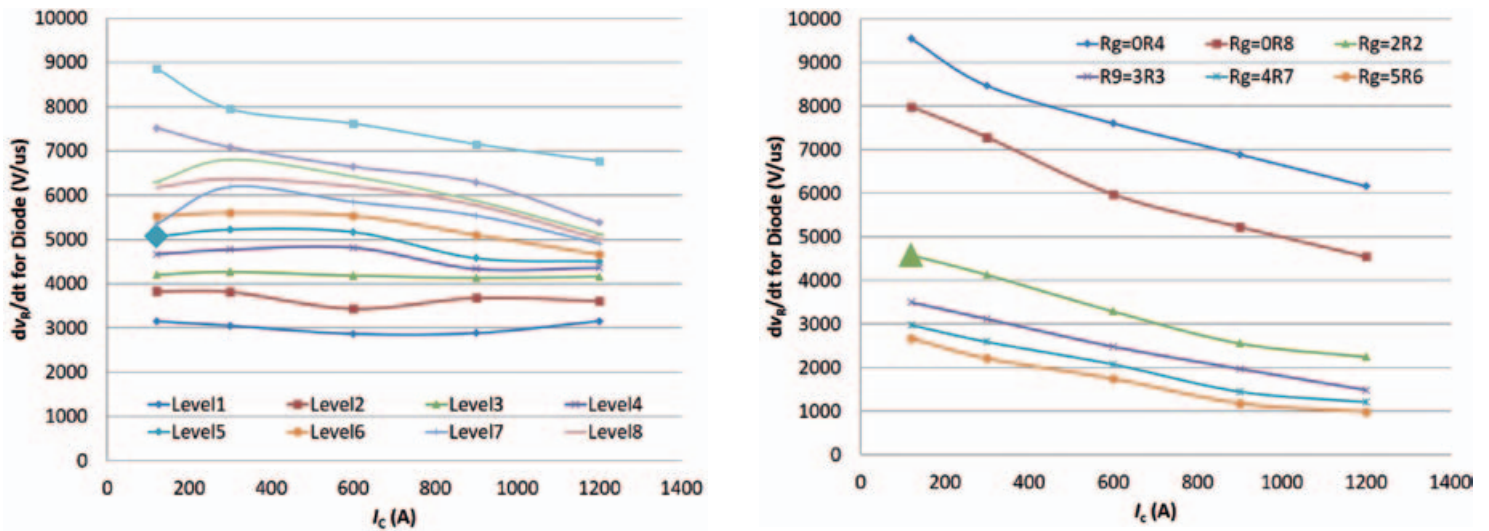


Abbildung 5: dv_R/dt des gemessenen Leistungsmodules mit Stromquellensteuerung (links) und Spannungsquellensteuerung (rechts)

weisen akzeptable Schwankungen auf. Der Spannungsanstieg der Kollektor-Emitterspannung (dv_{CE}/dt) wird kurz nach der Rückstromspitze der Freilaufdiode (Instanz „1“) ermittelt. Die Diode übernimmt die Spannung vom IGBT und in vielen Fällen ist hier dv_{CE}/dt am höchsten.

Bild 5 zeigt die Auswertung der Transienten der Sperrspannung der Diode als Funktion des Laststroms I_c . Es enthält ebenfalls Markierungen entsprechend des Auslegungspunkts der Gate-Ansteuerung, um dv_R/dt bei max. 5 V/ns zu halten. Dies entspricht bei der Lösung mit Stromquelle (1EDS20I12SV) der Kurve „Level 5“ und bei der konventionellen Lösung mit Spannungsquelle (1EDO20I12-F2) die Kurve $R_G = 2R2$ (2,2 Ohm). Es ist zu erkennen, dass dv_R/dt bei der Ansteuerplatine mit Stromquellen-Ansteuerung relativ konstant bleibt, weil der Gate-Strom während des gesamten Einschaltvorgangs unabhängig vom jeweiligen

Kollektorstrom I_c konstant ist. Anders ist es bei der Ansteuerplatine mit Spannungsansteuerung. Dort nimmt die Anstiegsrate dv_R/dt ständig ab, da die höhere Miller-Spannung die effektive Treiberspannung für den Gatestrom und damit den Gatestrom selbst reduziert.

In Abbildung 6 ist die Einschaltenergie E_{on} der beiden Lösungen ablesbar. Bei gleichen Ausgangsbedingungen der Markierungen aus Bild 4 mit 5 V/ns ist die Einschaltenergie ähnlich, sie liegt etwa bei 20 mJ. Jedoch ändert sich die Situation bei höheren Kollektorströmen I_c . Hier führt die Stromquellen-Ansteuerung zu einer Einschaltenergie von nur 140 mJ, während beim Board mit Spannungsquelle der Wert bei 340 mJ liegt. Bei Nennkollektorstrom liegt die Einschaltenergie beim Stromquellenansteuerung daher nur bei 41 Prozent im Vergleich zur Lösung mit dem Spannungs-Source-Gate-Treiber.

Die Treiberlösung mit Stromquellen-Ansteuerung ergibt bei ähnlichen dv_{CE}/dt -Werten eine deutlich geringere Einschaltenergie als bei konventionellen Gateansteuerungen mit Spannungsquelle. Daher ist die hier betrachtete Ansteuerplatine mit Gatestrom-Regelung der konventionellen Ansteuerung mit und festem Einschalt-Gatewiderstand überlegen.

So können leistungsfähigere System aufgebaut werden, deren Kosten für die Ansteuerung mit einem konventionellen System vergleichbar sind. Durch die Anpassung der Schaltgeschwindigkeit während des Betriebs, wird eine höhere Gestaltungsfreiheit für den Gatestrom-Treiber 1EDS20I12SV ermöglicht, da der Einschaltvorgang in Bezug auf andere Betriebsbedingungen angepasst werden kann, beispielsweise der IGBT-Temperatur oder der Last. Dieser Vorteil resultiert in höheren Temperatur- bzw. Ausgangsstrom-Margen auf Systemebene. (eg)

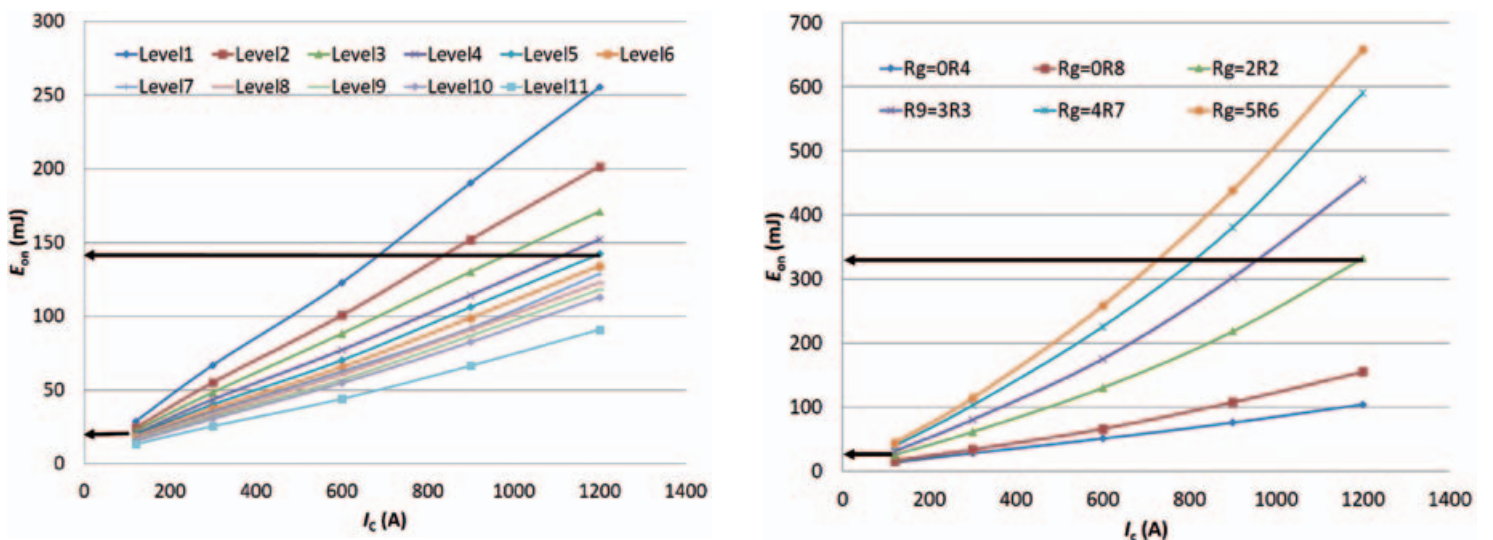


Abbildung 6: Einschaltenergie des FF1200R12IE5, gemessen mit Stromquellensteuerung und Änderung der Schaltgeschwindigkeit (links) sowie mit Spannungsquellensteuerung (rechts).