

IGBT を用いた 電圧共振回路の放射ノイズ対策

概要

IH 炊飯器、IH 調理器およびインバーター電子レンジなどの調理用家電機器を中心に、電圧共振回路を用いたインバーターシステムが幅広く使用されています。このような機器は、トランジスターの高速スイッチング動作に起因する、回路を伝わる伝導ノイズや空間に放出される放射ノイズに、より注意が必要です。

また、昨今は機器が発生させるノイズの低減と、機器が他から受けるノイズへの耐性が厳しく求められるようになりました。

本アプリケーションノートでは、IGBT を電圧共振回路に用いた IH 炊飯器や IH 調理器の放射ノイズの分析、具体的な回路対策とその効果について報告します。

これは参考資料です。本資料での最終機器設計はしないでください。

本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。

目次

| | |
|-------------------------------------|----|
| 概要..... | 1 |
| 目次..... | 2 |
| 1. 電磁ノイズについて | 4 |
| 1.1. 電磁ノイズと IGBT 動作の影響 | 4 |
| 1.2. 放射ノイズ規格について | 5 |
| 1.3. IH 調理器・IH 炊飯器の放射ノイズ実測例と規格..... | 6 |
| 2. 電圧共振回路と放射ノイズの主要因..... | 7 |
| 2.1. 電圧共振回路..... | 7 |
| 2.2. IGBT のスイッチング特性と放射ノイズの関係..... | 8 |
| 3. 放射ノイズの回路対策..... | 11 |
| 3.1. 回路対策方法..... | 11 |
| 3.2. ゲートドライブ用 外部抵抗 R_G | 11 |
| 3.3. ゲート・エミッター間 コンデンサー C_G | 12 |
| 3.4. エミッター側 追加インダクタンス L_E | 12 |
| 3.5. 各回路対策の効果と課題 | 13 |
| 3.6. シミュレーションによるノイズ低減検討について | 14 |
| 4. まとめ..... | 20 |
| 付記：電圧共振用 東芝 IGBT 製品一覧..... | 21 |
| 製品取り扱い上のお願い | 22 |

目次

| | | |
|--------|---|----|
| 図 1-1 | 卓上型 IH 調理器 IGBT とノイズの関係 | 5 |
| 図 1-2 | IH 調理器 雑音電界強度の新旧規格 | 5 |
| 図 1-3 | IH 炊飯器 IGBT 製品による雑音電界強度の違い(実測) | 6 |
| 図 2-1 | IGBT を用いた電圧共振回路応用例 | 7 |
| 図 2-2 | 電圧共振回路の IGBT 電流・電圧波形 | 7 |
| 図 2-3 | IGBT の電圧共振回路動作 | 7 |
| 図 2-4 | 電圧共振回路におけるターンオフ時のスイッチング波形例 | 10 |
| 図 2-5 | 電圧共振回路における放射ノイズ回路対策内容 | 10 |
| 図 3-1 | IH 炊飯器 R_G 変更による雑音電界強度(実測) | 11 |
| 図 3-2 | IH 炊飯器 C_G 挿入による雑音電界強度(実測) | 12 |
| 図 3-3 | IH 調理器 L_E 追加による 雑音電界強度(実測) | 12 |
| 図 3-4 | 放射ノイズの回路対策とスイッチング特性への影響を考察する簡易モデル | 13 |
| 図 3-5 | 雑音電界強度と関係する V_{CE} 波形定義 | 14 |
| 図 3-6 | ΔV_{CE} 波形 と 雑音電界強度 (実測) | 15 |
| 図 3-7 | IH 炊飯器用 電圧共振回路 (シミュレーション) | 15 |
| 図 3-8 | IH 炊飯器用 電圧共振波形 (シミュレーション) | 16 |
| 図 3-9 | R_G による ターンオフ損失 と ΔV_{CE} への影響 (シミュレーション) | 17 |
| 図 3-10 | C_G による ターンオフ損失 と ΔV_{CE} への影響 (シミュレーション) | 17 |
| 図 3-11 | L_E による ターンオフ損失 と ΔV_{CE} への影響 | 18 |
| 図 3-12 | 電源投入時の波形例 (実測) | 18 |
| 図 3-13 | 電源投入時のゲート・エミッター間電圧 (シミュレーション) | 19 |

表目次

| | | |
|------|--------------------|----|
| 表 1. | 電圧共振用 東芝 IGBT 製品一覧 | 21 |
|------|--------------------|----|

1. 電磁ノイズについて

1.1. 電磁ノイズと IGBT 動作の影響

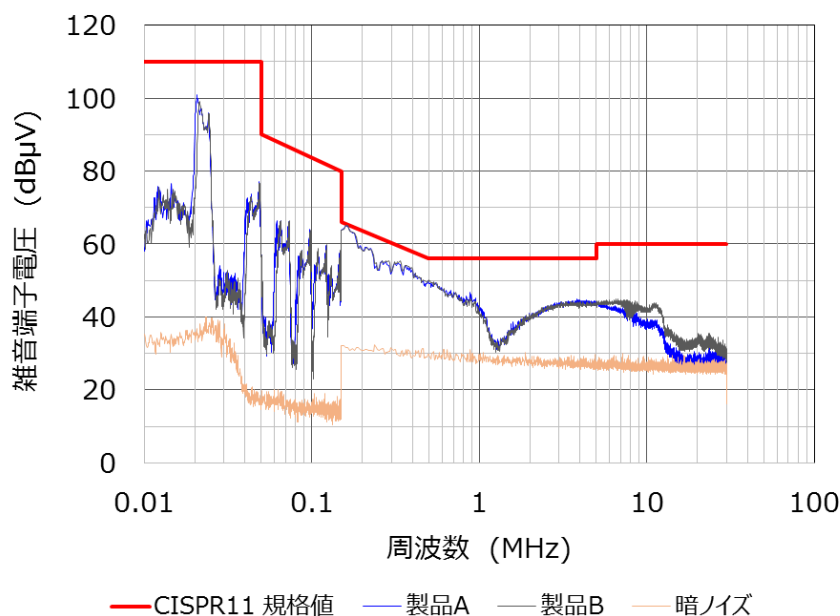
一般的に電子機器に関するノイズには、電子・電気機器などが動作することにより当該機器自身が発生し他の機器に影響を及ぼすノイズエミッションと他の機器や電源ラインなどから影響を受けてそれに耐えるノイズイミュニティがあります。

前者は EMI (Electromagnetic Interference : 電磁的な不干渉性)、後者は EMS (Electromagnetic Susceptibility : 電磁的な耐性) に分類され、この両者を総称して EMC (Electromagnetic Compatibility : 電磁適合性あるいは電磁両立性) と言います。この EMC に関して各国で規制を行っておりますが、その規格の中心を成しているのは国際無線障害特別委員会 CISPR*規格 (通称シスプル : Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) です。

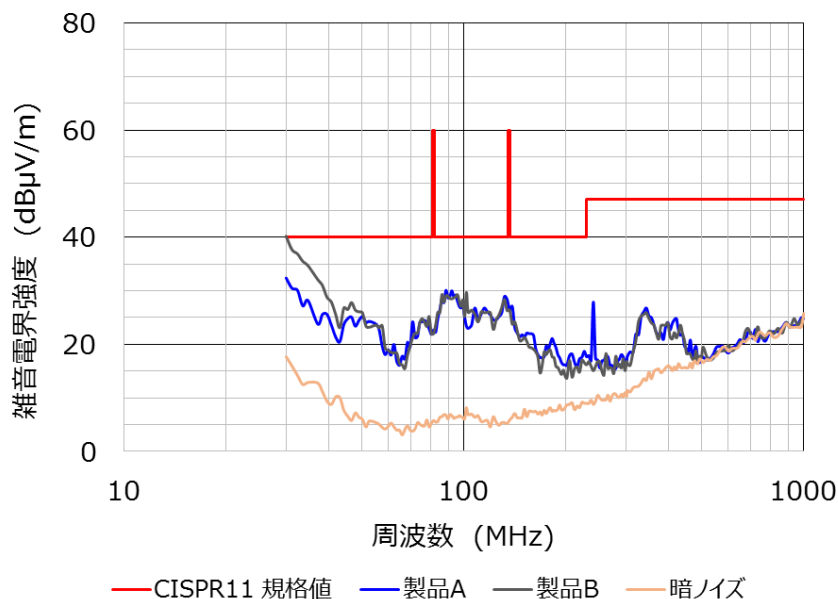
今回、スイッチングトランジスタとして IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を電圧共振回路に用いた IH 応用機器の EMI に影響を及ぼすスイッチング性能の分析と EMI レベルを低下させるための手法について報告します。

EMI は、電源ラインやランドパターンから直接伝わる伝導ノイズと、空中に電波となって伝わる放射ノイズがあります。前者は IH 調理器の PCB やフィルター設計などにより決定される要素が多く、後者はトランジスタのスイッチング動作によって影響を及ぼすことが知られています。

今回のアプリケーションノートでは、IGBT のスイッチング動作と放射ノイズについて報告します。図 1-1 に卓上型 IH 調理器に異なる IGBT を搭載した時の伝導ノイズと放射ノイズの例を示します。伝導ノイズには IGBT 製品の違いによる有意差は見られませんが、放射ノイズには有意差が見られ、放射ノイズの抑制には IGBT のスイッチングで発生するノイズを抑制することが重要になります。放射ノイズの大小は、雑音電界強度($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)で表されています。



a) 伝導ノイズの例(実測)



(b) 放射ノイズの例(実測)

図 1-1 卓上型 IH 調理器 IGBT とノイズの関係

1.2. 放射ノイズ規格について

CISPR は、国際電気標準会議 (IEC : International Electro technical Commission) の特別委員会の一つで 1934 年フランスに設置されました。電子機器などが発する電磁波に起因する無線障害を防ぐことを目的とし、測定方法や許容値の規格の統一を図っており、CISPR11 (工業用、科学用、医療用機器)、CISPR14 (家庭用機器、電動工具および類似機器) および CISPR15 (照明機器向) など応用分野毎に規格が定められています。IH 調理器は、この中で CISPR11 (工業・科学及び医療用装置からの妨害波の許容値及び測定法) に規定されています。

国際規格 CISPR11(2009-5th)+No.1(2010)の改定は、国内の電気用品安全法(J55011 H27)にも適用され、放射ノイズに関する基準に変更がありました。図 1-2 に新旧の規格値を示します。新規格では、より厳しい規格に変更されています。

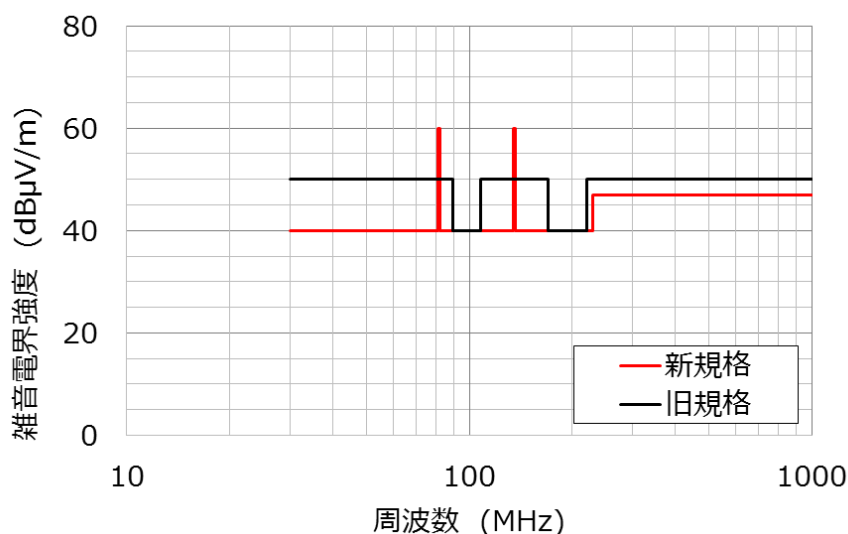


図 1-2 IH 調理器 雑音電界強度の新旧規格

1.3. IH 調理器・IH 炊飯器の放射ノイズ実測例と規格

IGBT を含むスイッチングトランジスタの損失は、主に通電時の電圧降下による導通損失と、ターンオン・ターンオフ時に発生するスイッチング損失から構成されます。スイッチングトランジスタは、世代が進むほど低損失を実現しています。

スイッチング損失は、印加電圧、通電電流、スイッチング時間、周波数の関数で求められます。スイッチング損失を減少させるためには、スイッチング時間の短縮を実現する高速スイッチング性能が求められます。

一方で、この高速スイッチング性能は、電流や電圧の時間当たりの変位量を大きくするという点につながり、機器自身が発生するノイズの抑制という点では不利に働きます。

IH 炊飯器を例に雑音電界強度の規格値と実際の測定値を図 1-3 に示します。高速スイッチング性により低損失化を実現した製品 A や製品 B は 32MHz 前後を中心に CISPR11 規格値を超えており、何らかの回路対策を施す必要があります。このように放射ノイズの低減は、ますます重要になってきています。

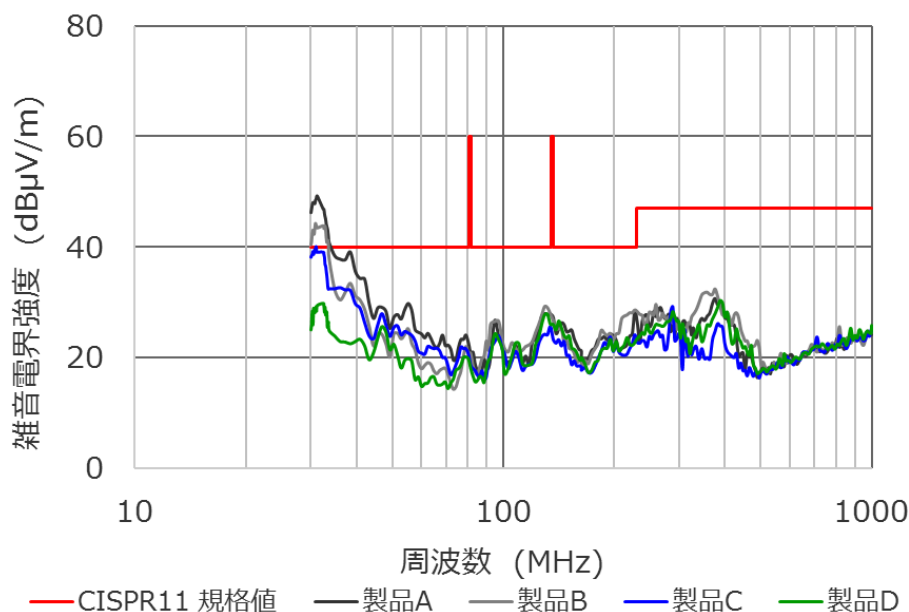


図 1-3 IH 炊飯器 IGBT 製品による雑音電界強度の違い(実測)

2. 電圧共振回路と放射ノイズの主要因

2.1. 電圧共振回路

電圧共振回路は、スイッチング用 IGBT(Q₁)、環流ダイオード(FWD)および、LC 並列回路(L_r, C_r)で構成され、IH 炊飯器、IH 調理器およびインバーター電子レンジなどに应用されています。図 2-1 に、ブリッジ接続されたダイオードと主コンデンサ(C_m)による平滑回路を備え、IGBT を用いた電圧共振回路の応用例を示します。

また、図 2-2 にスイッチング用 IGBT に印加される電圧と通電電流を示します。

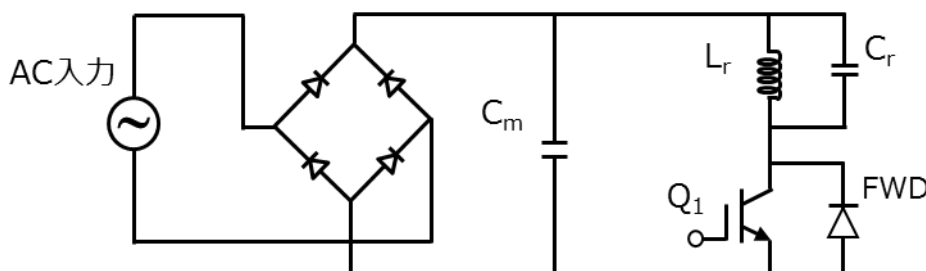


図 2-1 IGBT を用いた電圧共振回路応用

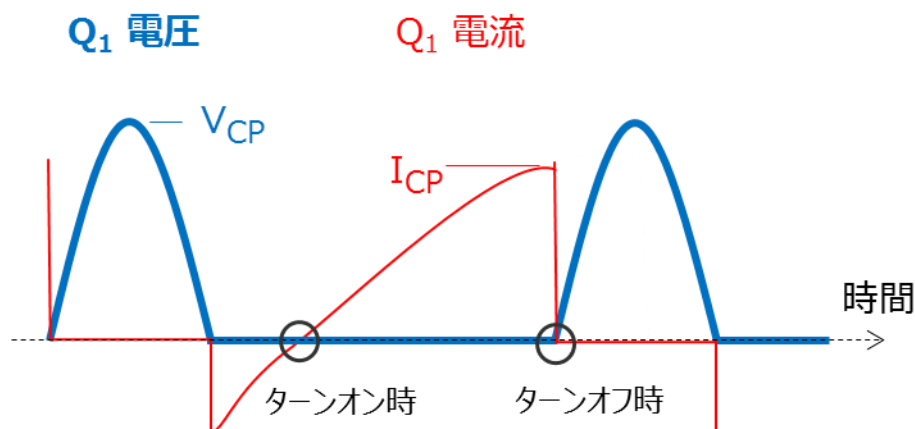
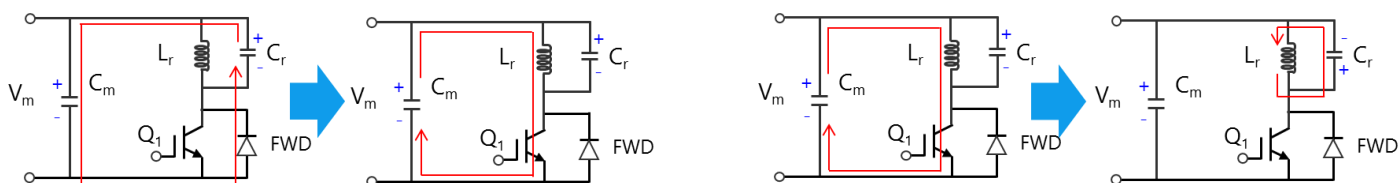


図 2-2 電圧共振回路の IGBT 電流・電圧波形

IGBT の電圧共振回路動作について図 2-3 に示します。

ターンオン時では、IGBT の電流・電圧はほぼゼロの状態であり、放射ノイズが問題となることはまれです。ターンオフ時では、IGBT の電流が急峻にゼロへと向かうため放射ノイズが発生し、IGBT 製品の違いによっても有意差があることが分かっています。



(a) ターンオン時の動作

(b) ターンオフ時の動作

図 2-3 IGBT の電圧共振回路動作

(電圧共振回路の動作の詳細については、GT20N135SRA アプリケーションノート(2019年11月)をご参照下さい。)

2.2. IGBT のスイッチング特性と放射ノイズの関係

図 2-1 の電圧共振回路の一般的なターンオフ時のスイッチング波形を図 2-4 に示します。

ゲート信号がオフ状態となり、IGBT のゲート・エミッター間電圧 V_{GE} は低下します。 t_1 期間後、コレクター・エミッター間電圧 V_{CE} は立ち上がります。ここで V_{CE} の電圧上昇は、茶の破線で示される一般的なインダクタンス負荷時とは異なり、共振コンデンサ C_r により抑えられます(茶実線)。

コレクター電流 I_c は t_2 期間以降から減少し始めます。 I_c は、ゲート・エミッター間しや断電圧 $V_{GE(OFF)}$ に達した時にゼロとなります。したがって、コレクター電流 I_c の電流変化は 式(1) と考えることができます。

ターンオフ時のコレクター電流変化率は、

$$-di_c/dt \cong \frac{I_{CP}}{t_3} \quad \text{----- 式(1)}$$

一方で、図 2-4(b) の t_3 期間では、波形に以下の特徴が見られます

ゲート電圧(V_{GE})・・・ t_2 期間後に V 字(一旦ゼロ近くに落ち、再度復帰)の挙動がみられる

コレクター・エミッター間電圧(V_{CE})・・・ こぶ状の電圧隆起がみられる

AC 電源ケーブル電流・・・ 正負に振れるノイズがみられる

ここでの放射ノイズのメカニズムは、デバイスのスイッチング動作によって発生したノイズが回路内部を伝搬し、入力 AC ケーブルに到達することで外部へと放射することと考えられます。 V_{CE} 波形に重畳されるこぶ状の電圧隆起は、ターンオフ中の di/dt と回路配線の寄生インダクタンスの積により発生した逆起電力であり、放射ノイズに関係していると考えられます。

また、一般的にコレクター電流 I_c の大きな変化 $-di_c/dt$ は、ノイズに不利に働くことが知られています。放射ノイズを抑制するには式(1)において t_3 期間を長くすることが必要となります。 t_3 期間の概算式を 式(4)に示します。

t_3 期間の電荷量 $\Delta Q(t_3 \text{ 期間})$ は、以下で表されます。

$$\Delta Q(t_3) = \int_0^{t_3} i_g dt$$

$Q = I \times t$ より $t = Q \div I$ に変形します。

$$t_3 = \frac{\Delta Q(t_3)}{i_g} \quad \text{----- 式(2)}$$

$V_{GE} = V_{gp}$ に達するときのゲート電流 $i_g(V_{gp})$ は

$$i_g(V_{gp}) = \frac{V_{gp}}{R_G + r_g}$$

$V_{GE}=V_{GE(OFF)}$ に達するときのゲート電流 $i_g(V_{GE(OFF)})$ は

$$i_g(V_{GE(OFF)}) = \frac{V_{GE(OFF)}}{R_G+r_g}$$

t_3 期間の平均ゲート電流を上記 $i_g(V_{gp})$, $i_g(V_{GE(OFF)})$ の平均値 $i_g(avg)$ とすると

$$i_g(avg) = \frac{i_g(V_{gp})+i_g(V_{GE(OFF)})}{2}$$

$$i_g(avg) = \frac{V_{gp}+V_{GE(OFF)}}{2 \times (R_G+r_g)} \quad \text{----- 式(3)}$$

式(2)の i_g を $i_g(avg)$ に置き換えて式(3)を代入

$$t_3 = \frac{\Delta Q(t_3)}{i_g(avg)}$$

$$t_3 = \frac{2 \times \Delta Q(t_3) \times (R_G+r_g)}{V_{gp}+V_{GE(OFF)}} \quad \text{----- 式(4)}$$

R_G : ゲートドライブ用外部抵抗

r_g : IGBT の内部ゲート抵抗

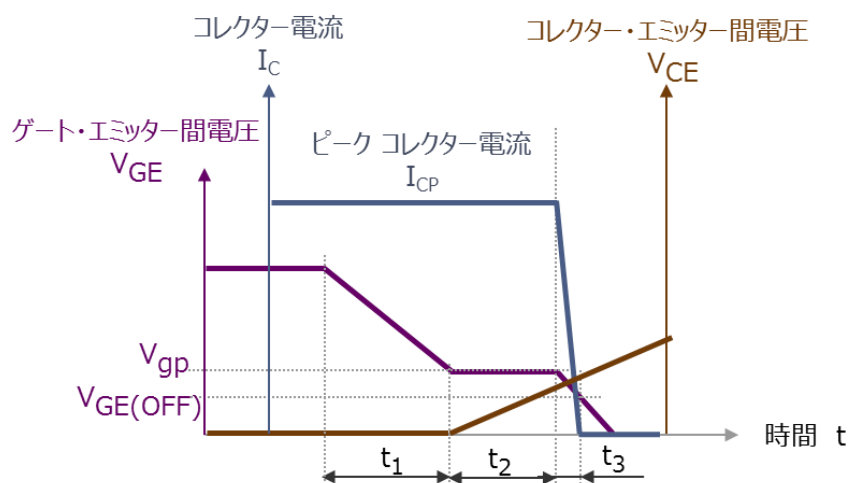
i_g : ゲート電流

とします。

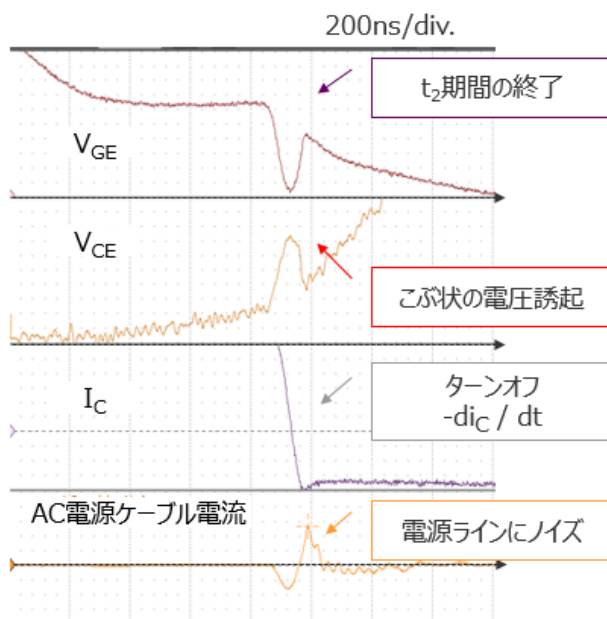
式(4)より、 t_3 を長くするための回路対策として、

- ① スイッチング素子 IGBT のゲートドライブ用抵抗 R_G を大きくする
- ② IGBT のゲート・エミッター間に外部コンデンサー C_G を挿入する
- ③ IGBT のエミッター側にインダクタンス L_E を追加する

方法が考えられます。具体的には、図 2-5 に示すような回路対策となります。

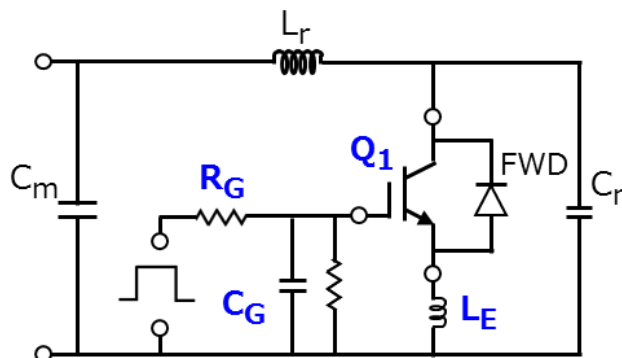


(a) ターンオフ全体の波形定義



(b) ターンオフ波形の例 (実測)

図 2-4 電圧共振回路におけるターンオフ時のスイッチング波形例



- C_m : 主コンデンサー
- L_r : 共振用リアクタンス
- C_r : 共振用コンデンサー
- Q_1 : 主スイッチング用 IGBT
- R_G : ゲートドライブ用外部抵抗
- C_G : ゲート・エミッター間コンデンサー
- L_E : エミッター側追加インダクタンス

図 2-5 電圧共振回路における放射ノイズ回路対策内容

3. 放射ノイズの回路対策

3.1. 回路対策方法

先述より、放射ノイズを抑制(=雑音電界強度を低減)するためには、デバイスのスイッチング動作によって発生するノイズを抑えることが重要です。

V_{CE} 波形に重畳されるこぶ状の電圧隆起は、ターンオフ中の di/dt と回路配線の寄生インダクタンスの積により発生する逆起電力によるものと考えられ、放射ノイズの抑制には、そのような IGBT のスイッチングで発生する要因を抑制することが重要であり、以下の 3 点の回路対策が考えられます。

- ① スwitching 素子 IGBT のゲートドライブ用抵抗 R_G を大きくする
- ② IGBT のゲート・エミッター間に外部コンデンサー C_G を挿入する
- ③ IGBT のエミッター側にインダクタンス L_E を追加する

3.2. ゲートドライブ用 外部抵抗 R_G

図 3-1 に、IH 炊飯器に用いられる IGBT のゲートドライブ用抵抗 R_G を変更した際の雑音電界強度を示します。 $R_G=62\Omega$ から 160Ω に大きくすることで、雑音電界強度は $48dB\mu V/m$ から $35dB\mu V/m$ に改善しています。

このようにゲートドライブ用外部抵抗 R_G と雑音電界強度は密接な関係にあります。回路構成を変化させず単に定数を変更することにより対応できる反面、単純にスイッチング時間が長くなり R_G の値に比例してターンオフ損失が増加する傾向にあります。

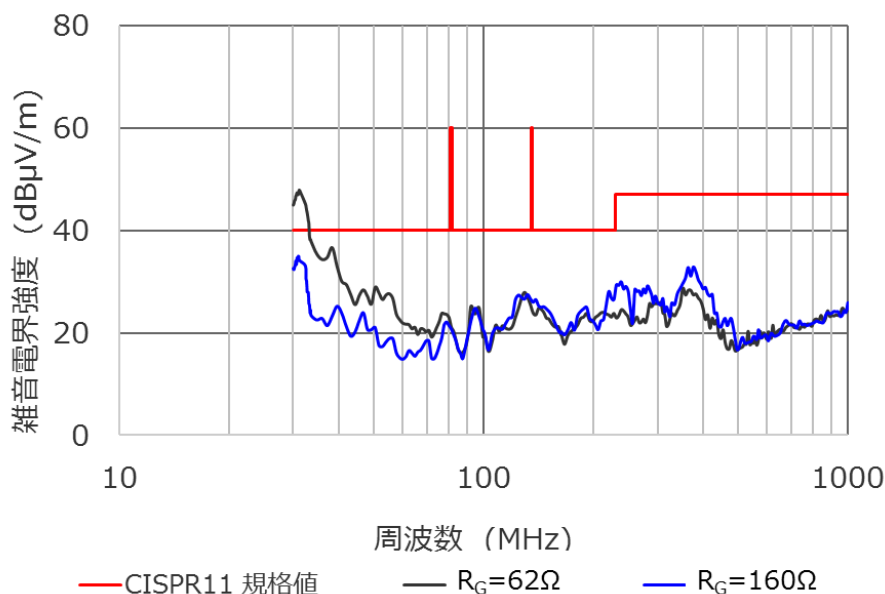


図 3-1 IH 炊飯器 R_G 変更による雑音電界強度(実測)

3.3. ゲート・エミッター間 コンデンサー C_G

図 3-2 は、IH 炊飯器に用いられる IGBT のゲート・エミッター間にコンデンサーを挿入した時の雑音電界強度の変化を示します。この試験では、 C_G 挿入無しの初期状態でピークが約 $42\text{dB}\mu\text{V/m}$ 観測されていましたが、 470pF で約 $7\text{dB}\mu\text{V/m}$ 、 940pF ($470\text{pF}\times 2$) で約 $10\text{dB}\mu\text{V/m}$ 、更に 1410pF では $10\text{dB}\mu\text{V/m}$ 強の改善を確認することができました。この試験に使用しました IGBT の入力容量 C_{ies} は、 1500pF 程度です。外部 C_G の値については、 C_{ies} 値と同等の値を一つの目安に検討されることをおすすめします。

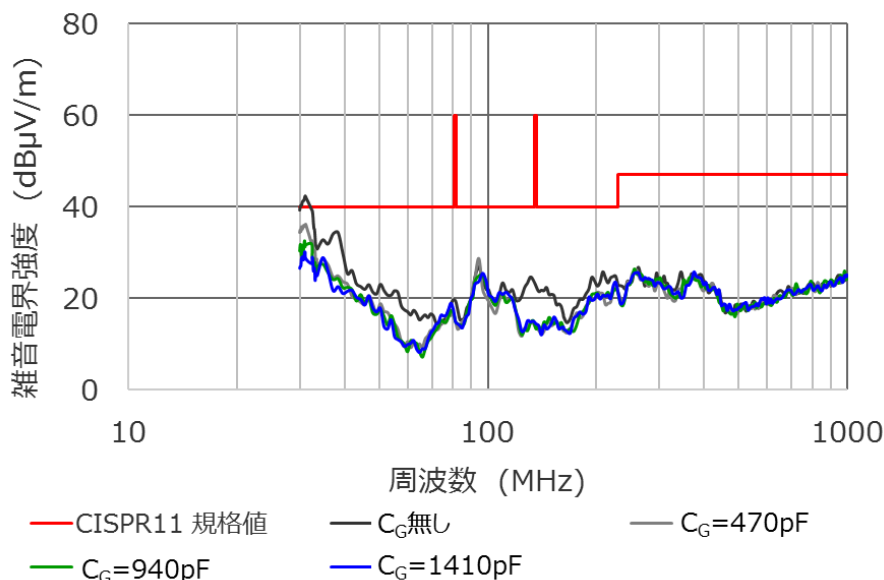


図 3-2 IH 炊飯器 C_G 挿入による雑音電界強度(実測)

3.4. エミッター側 追加インダクタンス L_E

図 3-3 は、IH 調理器に用いられている IGBT のエミッター側にインダクタンス L_E を追加挿入した時と挿入しない時の雑音電界強度の違いを示します。 L_E が無い場合 $40\text{dB}\mu\text{V/m}$ (30MHz) であったものが、 $L_E = 40\text{nH}$ を追加挿入することで $10\text{dB}\mu\text{V/m}$ 改善し 30dB まで低下しています。

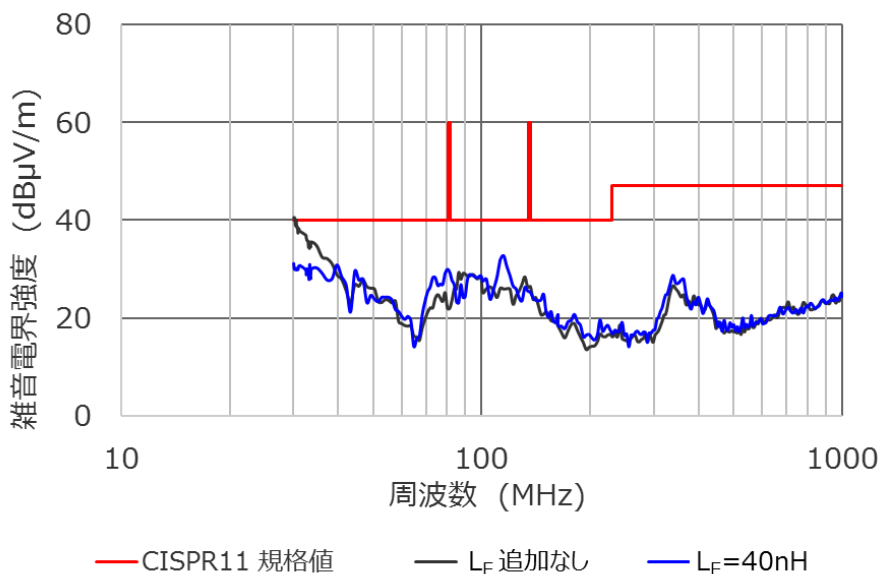


図 3-3 IH 調理器 L_E 追加による雑音電界強度(実測)

3.5. 各回路対策の効果と課題

3つの回路対策をスイッチング特性への影響という視点で考えてみます。図3-4は、IGBTをコンデンサーで置き換えた場合の簡易なモデルです。図では製品のゲート・コレクター・エミッター端子を(G)(C)(E)で表しています。

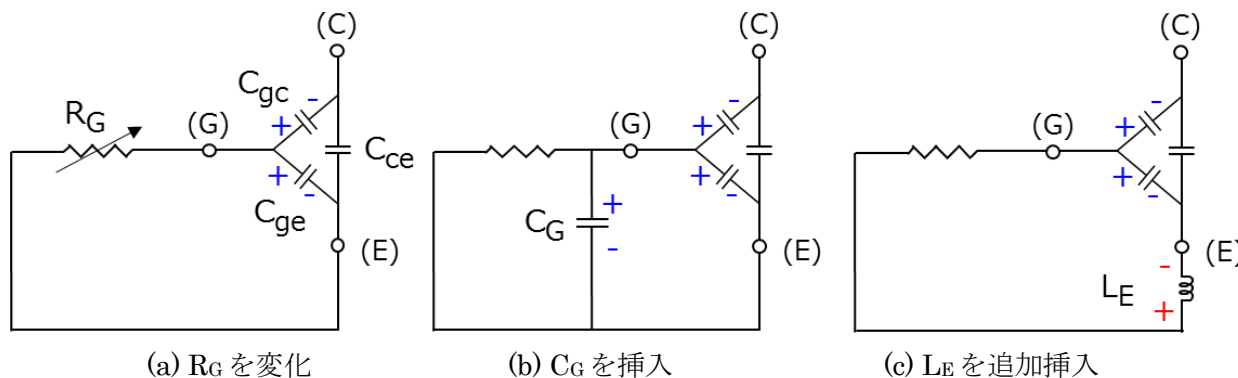


図 3-4 放射ノイズの回路対策とスイッチング特性への影響を考察する簡易モデル

① スwitchング素子 IGBT のゲートドライブ用抵抗 R_G を大きくする。

図3-4(a)より、 C_{gc} および C_{ge} に蓄えられた電荷の放電時間が長くなります。この結果、図2-4(a) $t_1 \sim t_3$ 全期間にわたりスイッチング時間が長くなります。 t_3 が長くなることにより放射ノイズは軽減されます。一方で t_2 も長くなり、スイッチング損失は増加します。

② IGBT のゲート・エミッター間に外部コンデンサー C_G を挿入する。

図3-4(b)より C_{gc} の放電には影響を及ぼしません。図2-4(a)のスイッチング時間 t_1 、 t_3 は長くなりますが、 t_2 の変化は無いため、スイッチング損失への影響は、 R_G による回路対策に比べて小さくなります。

③ IGBT のエミッター側にインダクタンス L_E を追加する。

同図(c)よりエミッター電流が変化するときのみゲートバイアスに影響を及ぼすことになります。図2-4(a)のターンオフの t_3 期間では電流変化によって図3-4(c)に示すような電圧が L_E 両端に発生します。電圧はゲートを正バイアスする方向に働き、IGBT のターンオフが遅延することで放射ノイズが低減します。

L_E 両端に発生した電圧は、IGBT のゲート・エミッタ間に印加されるため、絶対最大定格 V_{GES} を超えない様に注意する必要があります。

3.6. シミュレーションによるノイズ低減検討について

これまで、放射ノイズの低減方法として以下 3 つの回路対策について実測データを使って説明してきました。

- ① スwitching 素子 IGBT のゲートドライブ用抵抗 R_G を大きくする
- ② IGBT のゲート・エミッター間に外部コンデンサー C_G を挿入する
- ③ IGBT のエミッター側にインダクタンス L_E を追加する

実測による放射ノイズ低減の効果検証は、組み合わせ条件など多くの手間がかかります。事前のシミュレーションが可能であれば効率的であるため、雑音電界強度と関係のあるメトリックをスイッチング動作波形から検討しました。

ここでは、放射ノイズのメカニズムは IGBT のスイッチング動作によって発生したノイズが回路内部を伝搬し入力の AC ケーブルに達することで外部へと放射することと考えています。

V_{CE} 波形に重畳されるこぶ状の電圧隆起は、ターンオフ中の di/dt と回路配線の寄生インダクタンスの積により発生した逆起電力と考えられ、放射ノイズにも関係していると考えられます。

図 2-4(b) で示した V_{CE} 波形(こぶ状の電圧隆起)に着目し、 R_G 条件を変えた時の雑音電界強度との関係を調べることにします。以下に V_{CE} 波形(こぶ状の電圧隆起)に対し、 ΔV_{CE} を定義します。

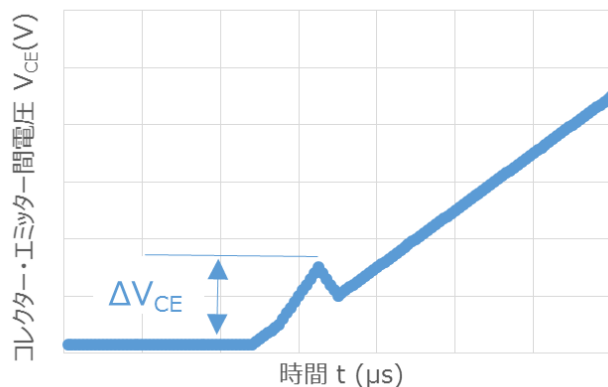


図 3-5 雑音電界強度と関係する V_{CE} 波形定義

図 3-6 に V_{CE} 波形(こぶ状の電圧隆起)と雑音電界強度のピーク値、平均値を示します。両者の間に正の関係があり、こぶ状の波高値(以降 ΔV_{CE})が小さい程、雑音電界強度が小さくなる事が確認できます。

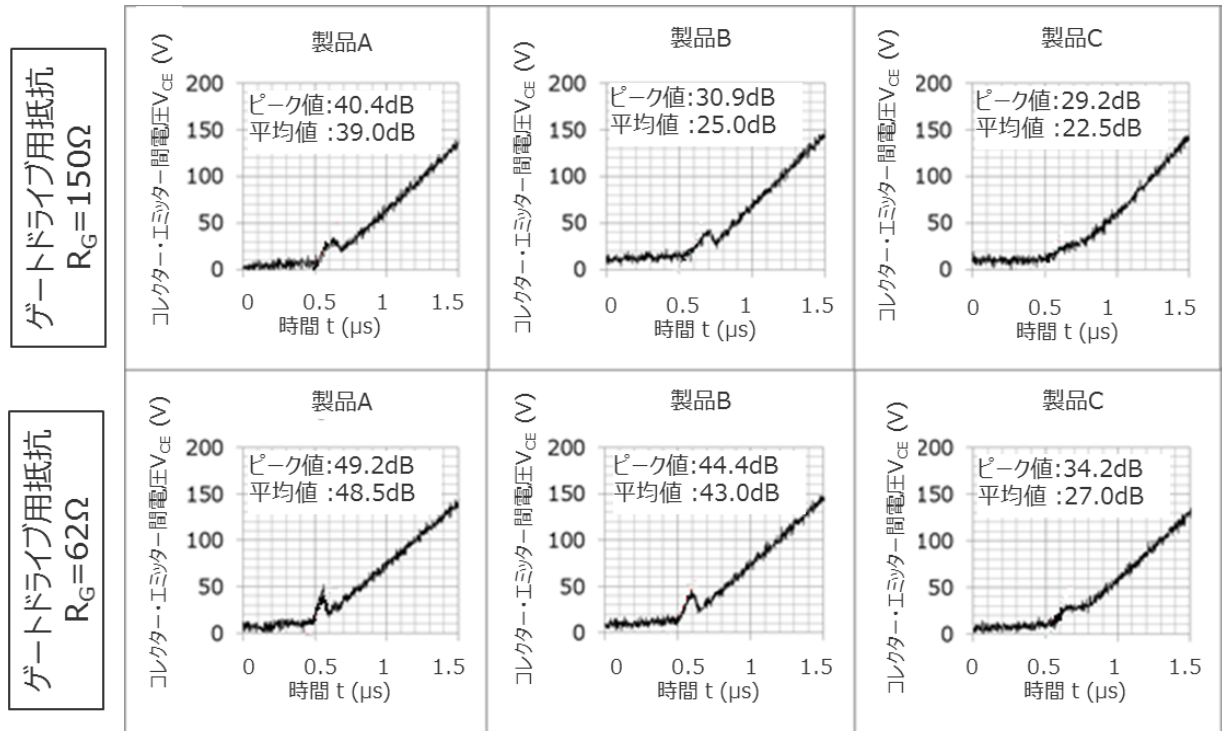


図 3-6 ΔV_{CE} 波形 と 雑音電界強度 (実測)

実際の IH 炊飯器を参考に、図 3-7 の様な回路モデルを作成し、 ΔV_{CE} の低減効果(=雑音電界強度が小さくなる条件)をシミュレーションします。

以下にシミュレーションソフトの画面を示します。ソフトの制約で、本文と記号が異なっているものがあります。

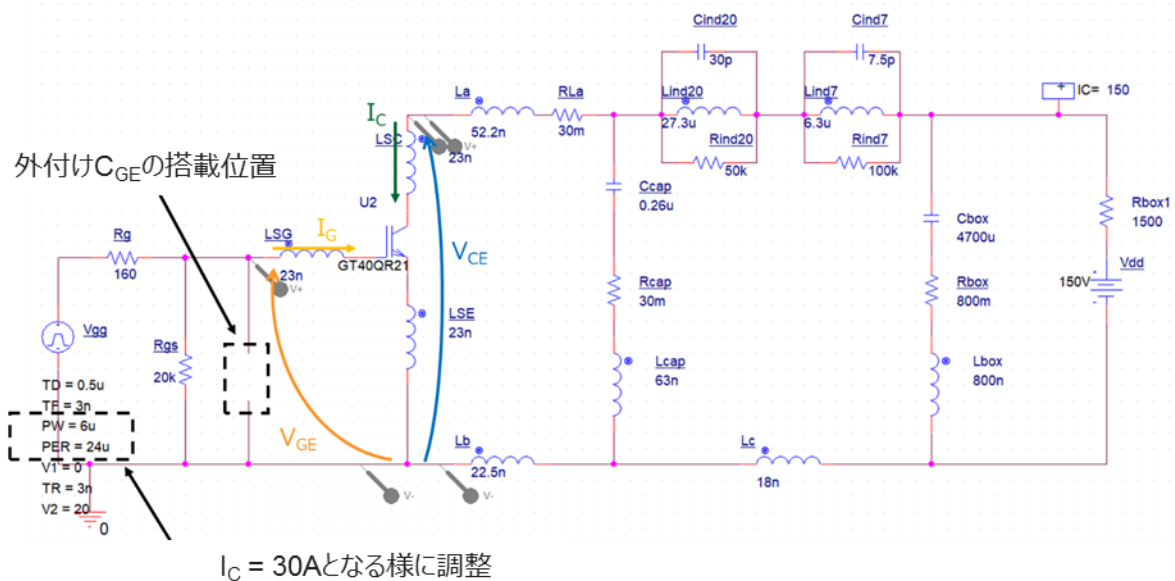


図 3-7 IH 炊飯器用 電圧共振回路 (シミュレーション)

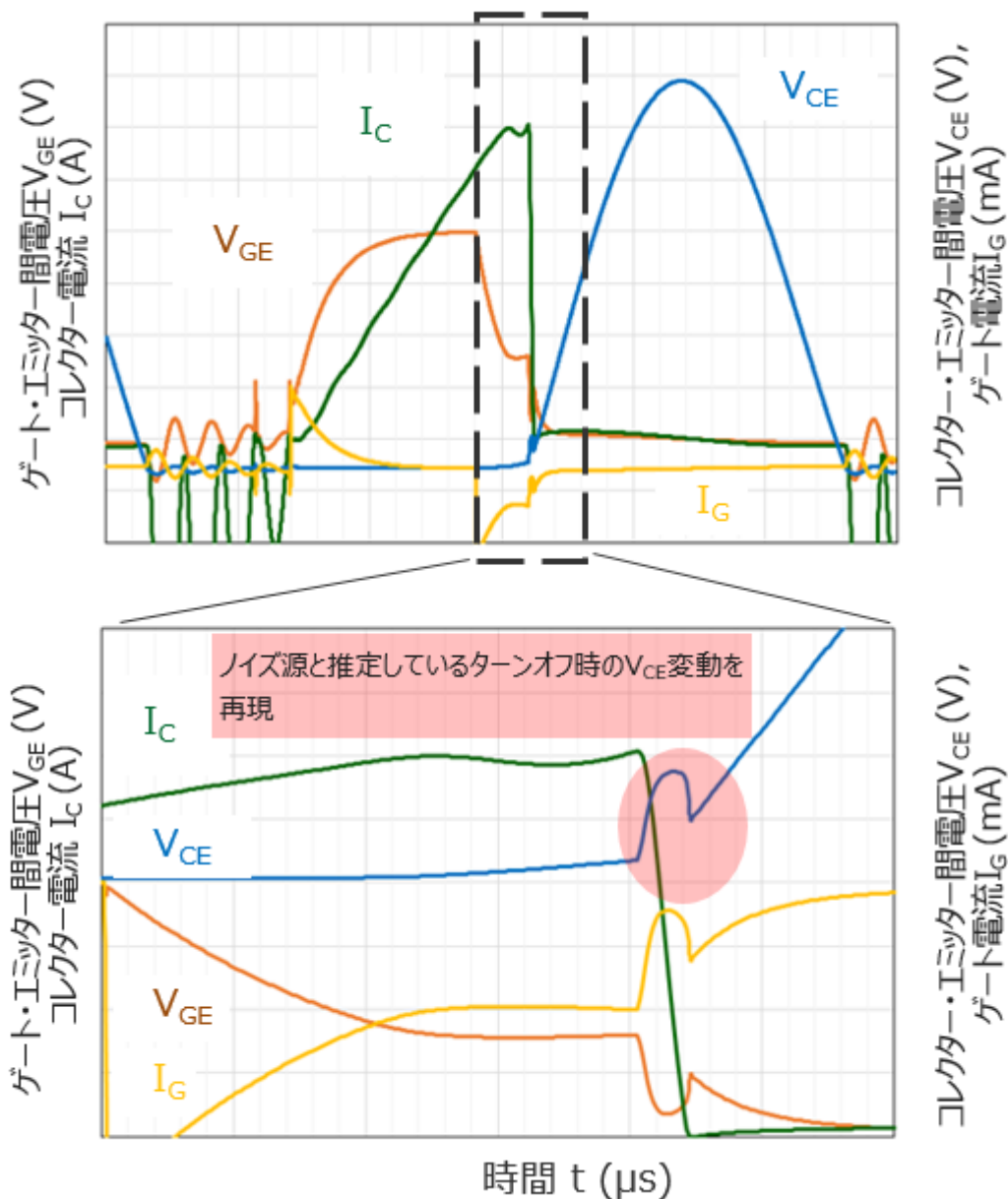


図 3-8 IH 炊飯器用 電圧共振波形 (シミュレーション)

一般的にゲートドライブ用外部抵抗 R_G を変化させると、ターンオフ損失に影響を与えることが知られています。

そこで、雑音電界強度だけでなくスイッチング損失への影響についてもあわせて確認しました。

R_G を大きくすることで、 ΔV_{CE} は低減できましたが、ターンオフ損失が大きく増加し悪化しています。

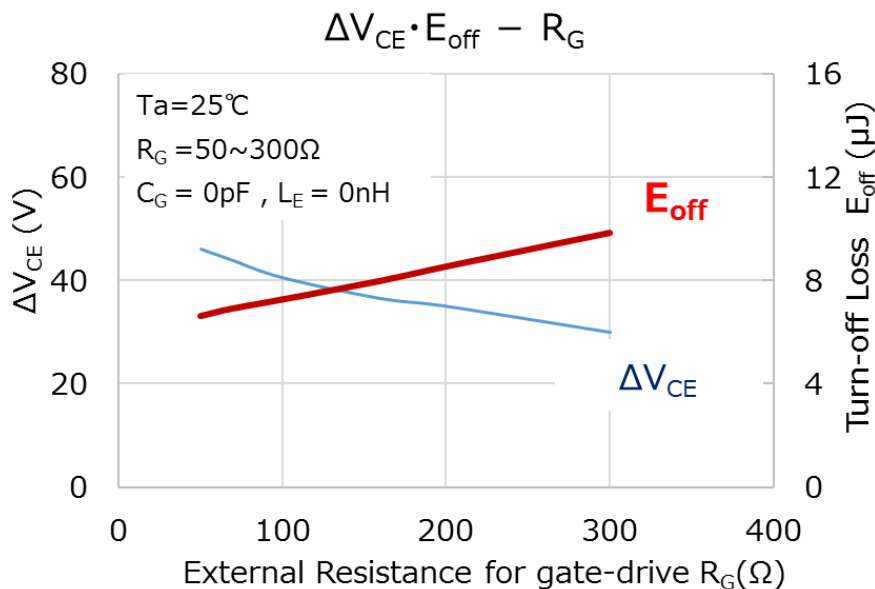


図 3-9 R_G による ターンオフ損失 と ΔV_{CE} への影響 (シミュレーション)

一方で、 C_G および L_E を大きくすることは、ターンオフ損失をあまり悪化させずに放射ノイズの改善を図ることができます。特に L_E の挿入・増加はターンオフへの影響は殆ど無いという結果となっています。 L_E 挿入は、ターンオフ損失を増加させずに放射ノイズを削減できる回路対策ですが、エミッター電流により誘起される電圧には注意が必要です。

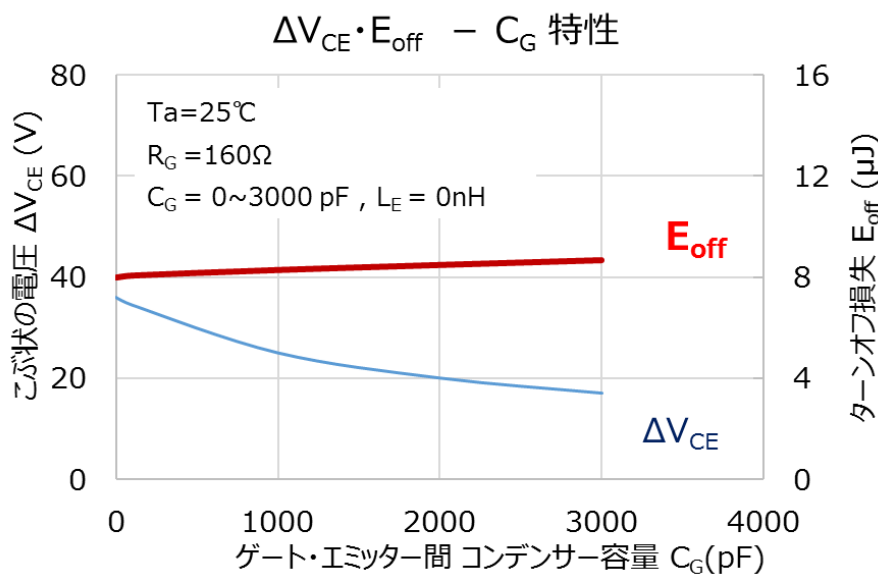


図 3-10 C_G による ターンオフ損失 と ΔV_{CE} への影響 (シミュレーション)

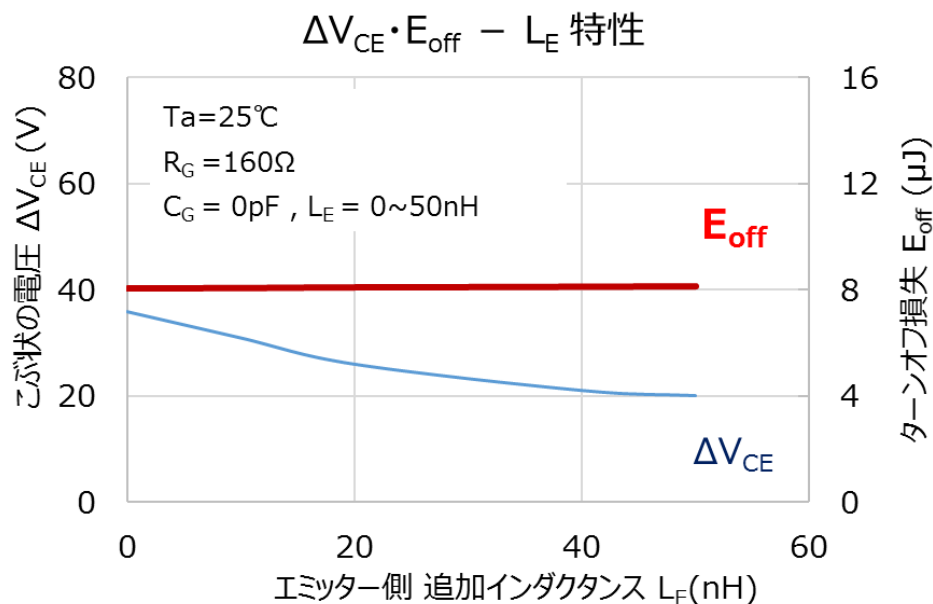


図 3-11 L_E による ターンオフ損失 と ΔV_{CE} への影響
(シミュレーション)

図 2-3(a)に示した電圧共振回路のターンオンにおいて、通常の動作では共振用コンデンサー C_r の端子電圧は主コンデンサー C_m の電圧 V_m と同じになっていますので、 L_r を通して流れる電流はゼロから立ち上がっていきます。

一方で、電源投入時は C_r の充電電圧はゼロもしくはそれに近い状態であり、 C_r を經由して大きな短絡電流が流れ、この電流と寄生インダクタンスにより IGBT のゲート・エミッター間に過電圧が発生します。

図 3-12 に IH 炊飯器の電源投入時の波形例を示します。コレクター電流のピーク値は、通常動作時には 40A であったものが、起動時には 130A 近くに跳ね上がっています。

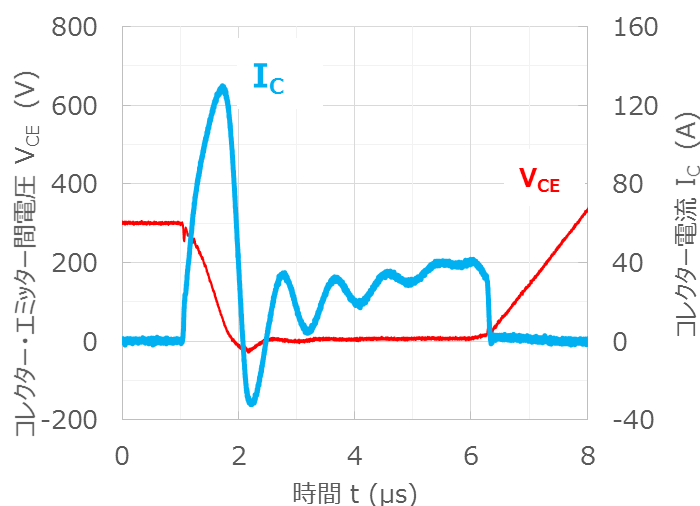
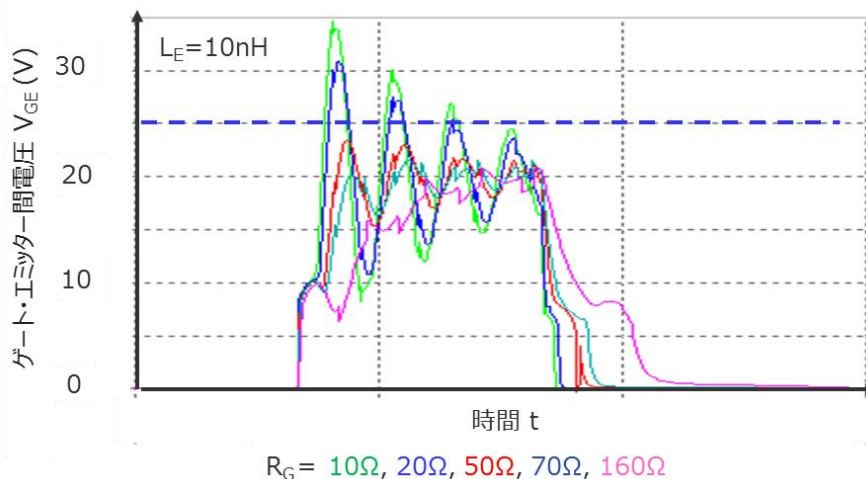
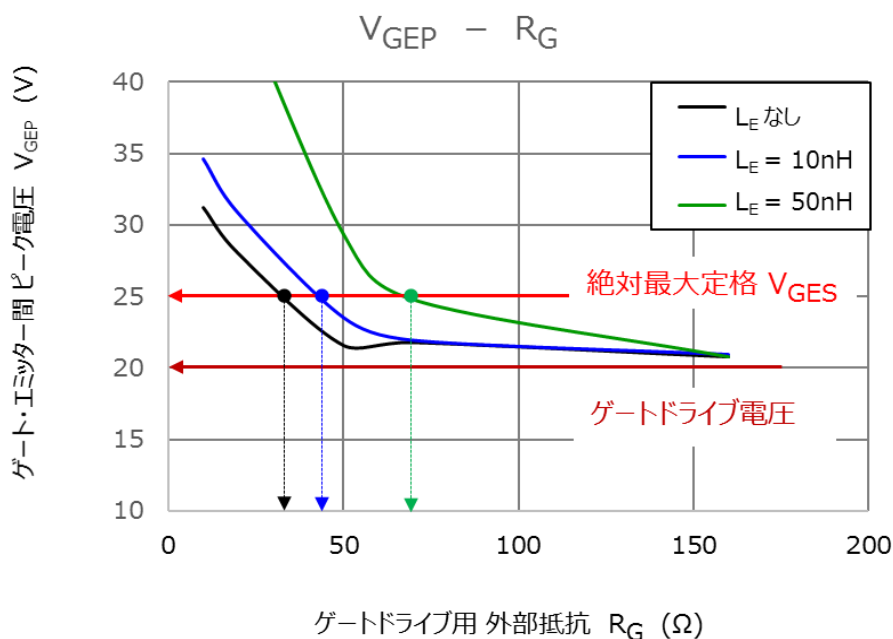


図 3-12 電源投入時の波形例 (実測)

また、図 3-13 にシミュレーションで求めた、ゲート・エミッター間電圧波形と V_{GEP} —ゲートドライブ用抵抗 R_G との関係を示します。 L_E を挿入した場合、この短絡電流によるゲート・エミッター間に発生するサージ電圧は大きくなり、ゲート・エミッター間の最大定格 V_{GES} を超えてしまう場合があります。同図(a)は、 $L_E=10\text{nH}$ 挿入時の R_G 別のターンオン時ゲート電圧波形、同図(b)は電源投入時のゲート・エミッター間電圧 V_{GE} の最大値の変化です。 R_G を大きくすると電源投入時の短絡電流が抑制され発生電圧は小さくなっていきます。 V_{GE} が絶対最大定格 V_{GES} を超えない様に R_G を選択する必要があります。



(a) $L_E=10\text{nH}$ 挿入時の V_{GE} 波形



(b) V_{GEP} の R_G および L_E 依存特性

図 3-13 電源投入時のゲート・エミッター間電圧 (シミュレーション)

4. まとめ

インバーター機能を盛り込んだ IH 炊飯器、調理器および電子レンジなどは、主にスイッチング素子として IGBT を使用しています。多くのスイッチング素子の傾向として、スイッチング損失を減らし高効率設計や放熱を容易にするため高速スイッチング化が進んでおり IGBT も同様です。

一方で、高速スイッチングのため機器から発生する放射ノイズも増加し、指定された規格値を満足しない場合があります。

放射ノイズの大小は、雑音電界強度値の大小で表され、ここではターンオフ時の ΔV_{CE} (こぶ状の電圧隆起) と正の関係があることが分かりました。 ΔV_{CE} は、IGBT のコレクター・エミッター間の寄生インダクタンスとターンオフ時の di/dt の積で発生しており、放射ノイズの抑制には ΔV_{CE} の低減も効果があることが分かりました。

回路シミュレーションで以下①~③を行い、ターンオフ損失、 ΔV_{CE} への影響について調査しました。

- ① IGBT のゲートをドライブする外部抵抗 R_G を大きくする。
- ② IGBT のゲート・エミッター間にコンデンサー C_G を挿入する。
- ③ IGBT のエミッター側にリアクタンス L_E を追加挿入する。

①は、回路変更も不要で単に抵抗定数を変更するのみで対応可能ですが、 R_G を大きくすることにより IGBT の損失が R_G の大きさに比例して増加します。③は素子損失に殆ど影響なく放射ノイズの回路対策が出来る反面、電源投入時のターンオン時にゲート回路に過大な電圧が発生する懸念があります。

②は、③の回路対策より損失へ影響は大きくなりますが、それ以外に大きな問題が発生しません。回路対策としては有効な手段になるものと考えます。

また、放射ノイズは、機器の設計が完了する最後のプロセスで確認されることが多く、その場合に対応できる内容は限られます。ノイズ確認試験に備えて、あらかじめゲート・エミッター間にコンデンサーを追加挿入、あるいはエミッター側にインダクタンスを追加挿入できる PCB 基板レイアウトを事前に考慮しておくことをおすすめします。

こうした基板レイアウトによって、外部抵抗 R_G 以外のノイズ対策を比較的容易に検討することができます。

付記：電圧共振用 東芝 IGBT 製品一覧

表 1. 電圧共振用 東芝 IGBT 製品一覧

| V _{CES} (V) | AC100V 向け 電圧共振用 | | | AC220V 向け 電圧共振用 | | |
|-------------------------|--------------------|---|--------------------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | ~1100 W | ~1250 W | ~1400 W | ~1900 W | ~2200W | ~2400W |
| 600 | | | | | | |
| 900 | GT50MR21 (6.5G) | | | | | |
| 1000 | | GT50N322A (4G) | GT50N324 (6G) | | | |
| 1050 | GT50NR21 (6.5G) | | | | | |
| 1100 | | GT60PR21 (6.5G) GT30J110SRA (6.5G New) | S1PA7(※) (6.5G New) | | | |
| 1200 | GT40QR21 (6.5G) | | | | | |
| 1350 | | | | GT40RR21 (6.5G) | GT20N135SRA (6.5G New) | GT30N135SRA (6.5G New) |
| 1800 | | | | GT40WR21 (6.5G) | | |

4G (第 4 世代), 6G (第 6 世代), 6.5G (第 6.5 世代), 6.5G New (第 6.5 世代 の 新製品)

(※：S1PA* は、開発段階の試作番号を示しており、量産時には正式名称になります。)

製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。

本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器（ヘルスケア除く）、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、発電関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口まで、または当社 Web サイトのお問い合わせフォームからお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。

東芝デバイス&ストレージ株式会社

<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/>