

電流駆動IGBTゲートドライバ回路の検討

阿部優大, 岩渕昭夫, 松田順一

桑名杏奈, 神尾崇文, 杜浩洋, 細野貴志

山本颯馬, 片山翔吾, 小林春夫

群馬大学 理工学府 電子情報部門

サンケン電気

OUTLINE

- **研究背景と目的**
- **従来型電圧駆動回路**
- **電流駆動 IGBT ドライバ回路**
- **電流駆動回路のシミュレーション結果**
- **まとめ**

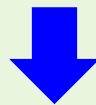
OUTLINE

- **研究背景と目的**
- 従来型電圧駆動回路
- 電流駆動 IGBT ドライバ回路
- 電流駆動回路のシミュレーション結果
- まとめ

研究背景



パワーエレクトロニクスにIoTやAIを活用



ドライバ回路の高性能化、IC化

研究目的

IGBT回路

- 各端子間の寄生キャパシタンス
ターンオフ時のテール電流 → スイッチング損失
- リード線の寄生インダクタンス → 過剰なオーバーシュート
- スイッチング時の駆動抵抗変更 → 複雑な制御

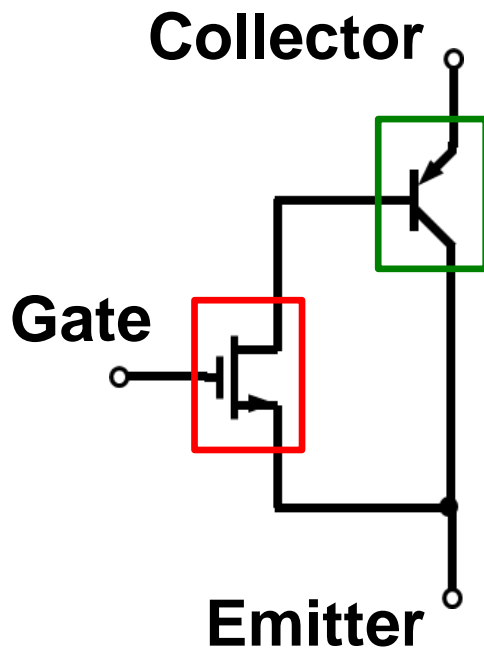
目的

- 電流駆動 → スイッチング損失とオーバーシュートの適切なトレードオフ
制御設計の簡素化

IGBTとは

IGBT

(Insulated Gate Bipolar Transistor)



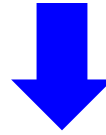
入力: **MOSFET**

出力: **バイポーラトランジスタ**

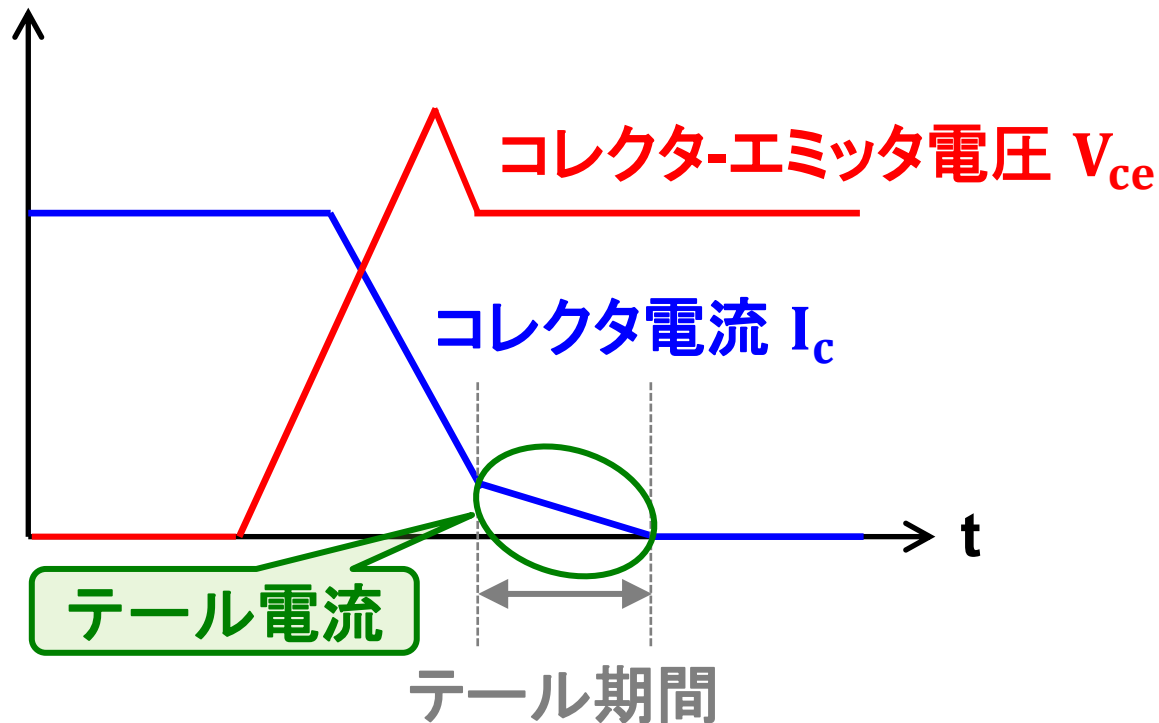
- 動作速度が速い
- 電流増幅率が大きい (~1.2kA)
- 高耐圧 (~3.3kV)

テール電流

テール電流: ターンオフの後半に流れる電流



スイッチング損失増加



OUTLINE

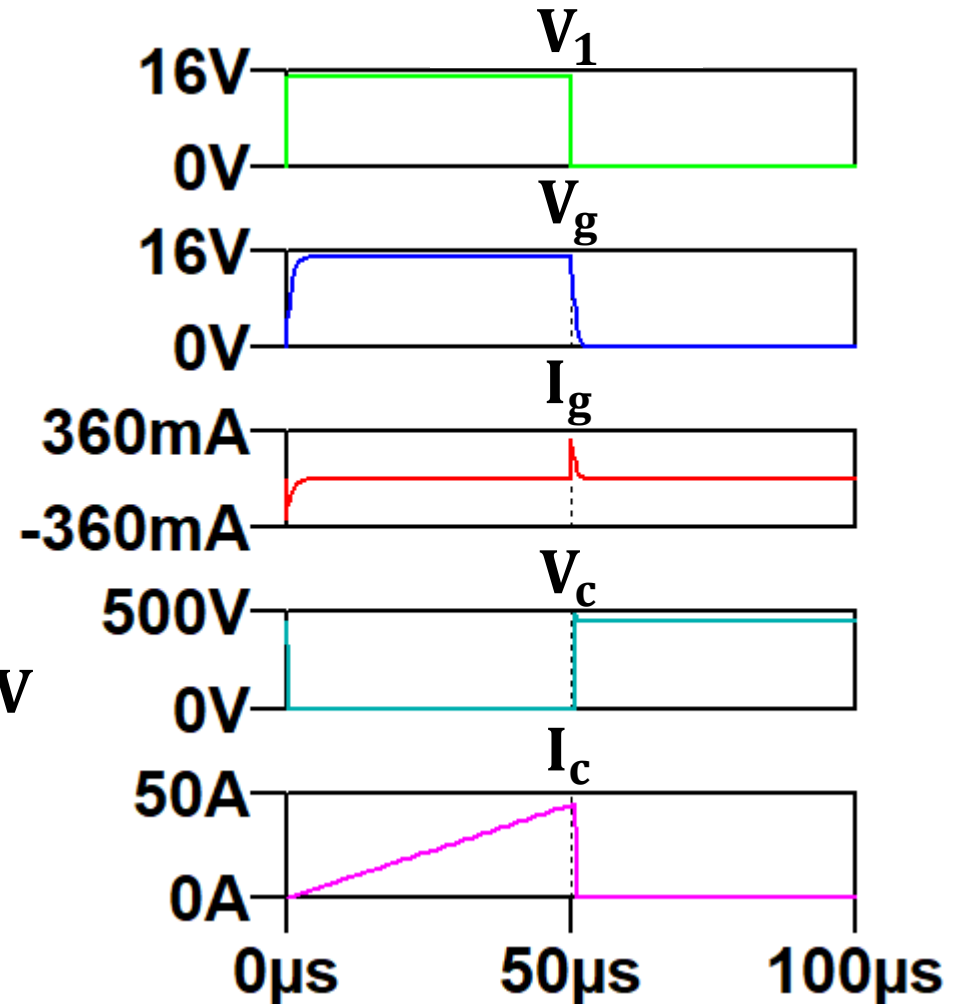
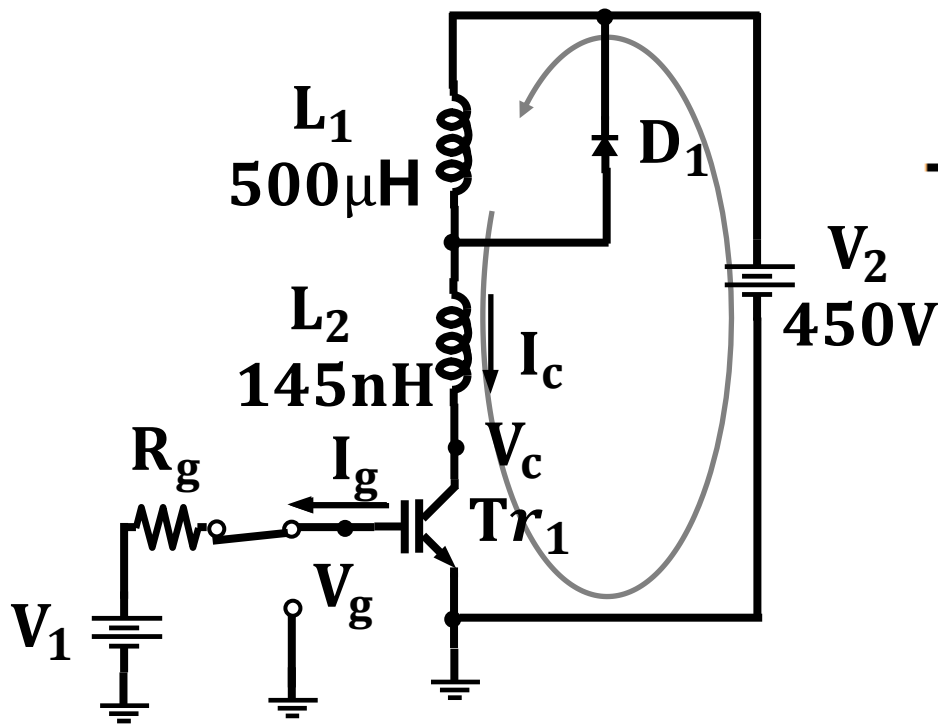
- 研究背景と目的
- **従来型電圧駆動回路**
- 電流駆動 IGBT ドライバ回路
- 電流駆動回路のシミュレーション結果
- まとめ

電圧駆動IGBT評価回路(1/2)

入力電圧 V_1



V_g によりターンオン
 I_c が徐々に流れる

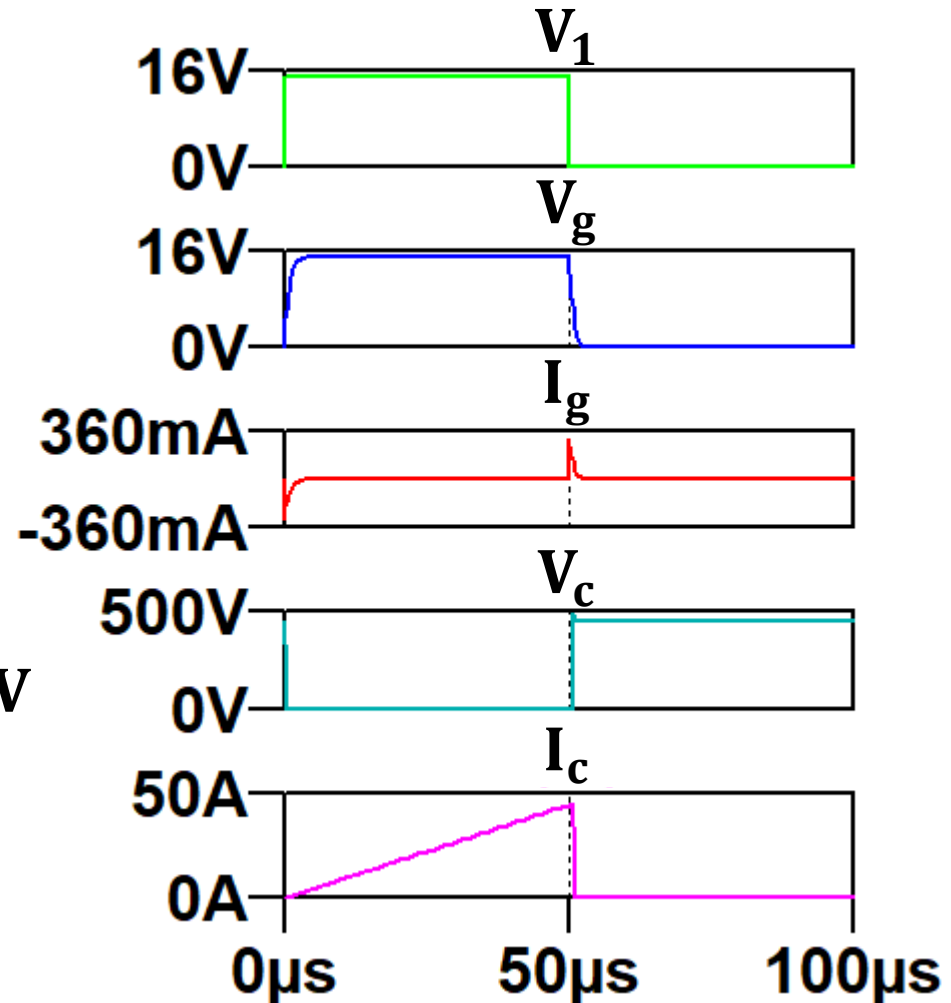
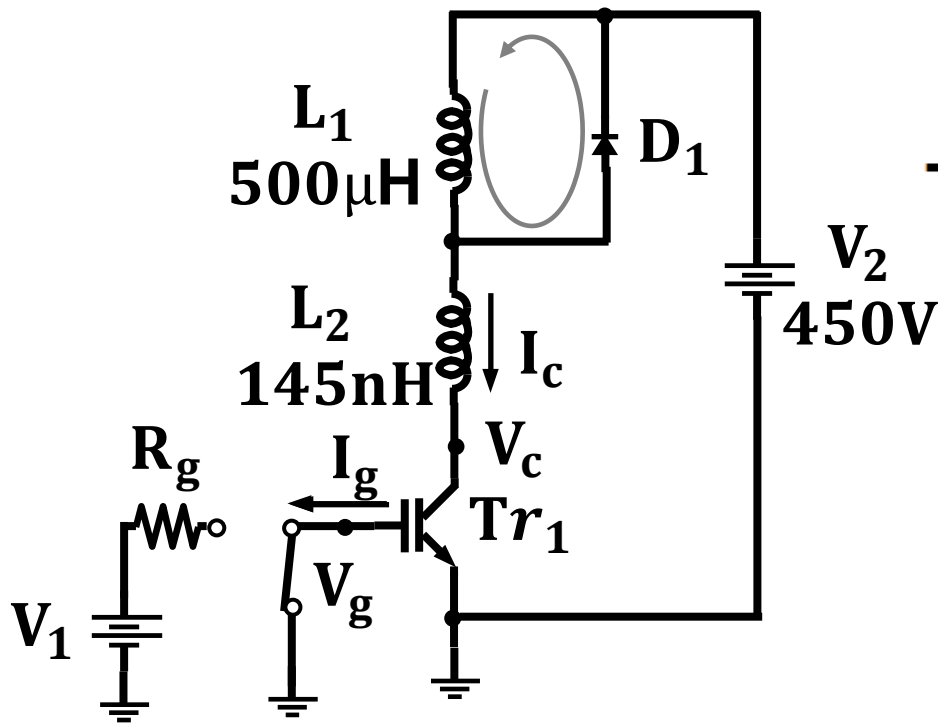


電圧駆動IGBT評価回路(2/2)

$$V_1 \rightarrow 0$$

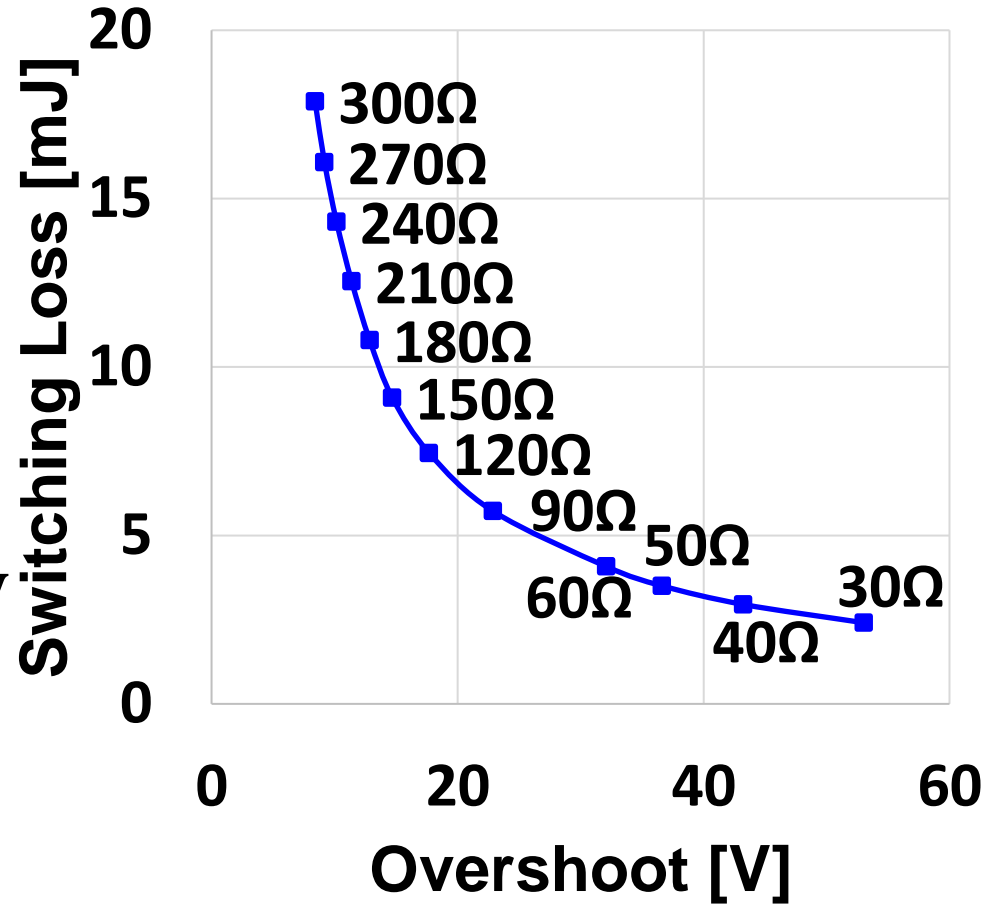
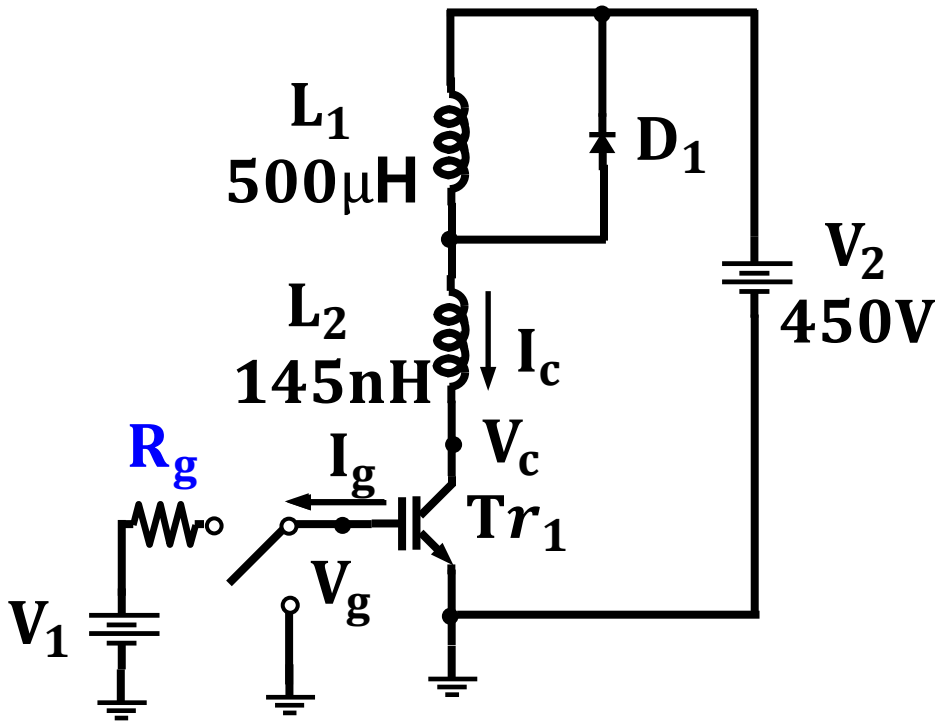


V_g によりターンオフ
 I_c が徐々に減少



ターンオフ時のオーバーシュートとスイッチング損失

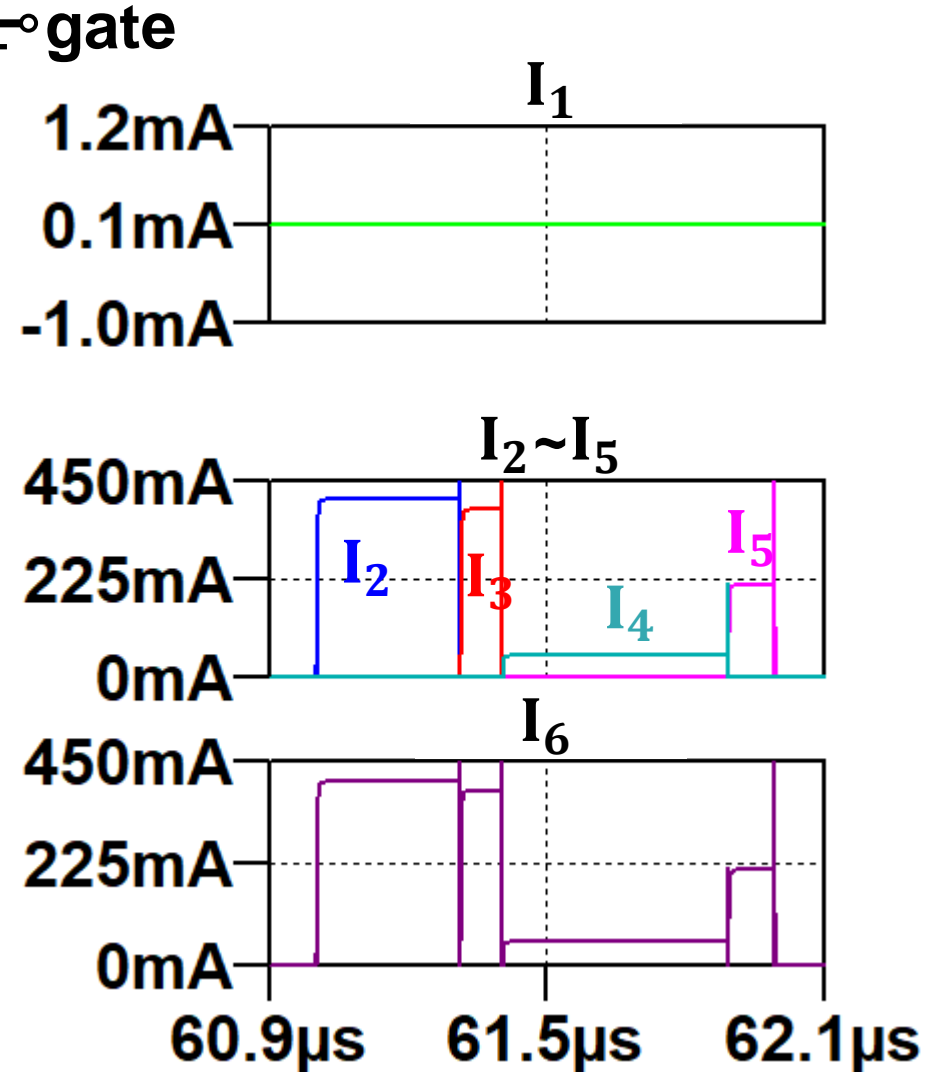
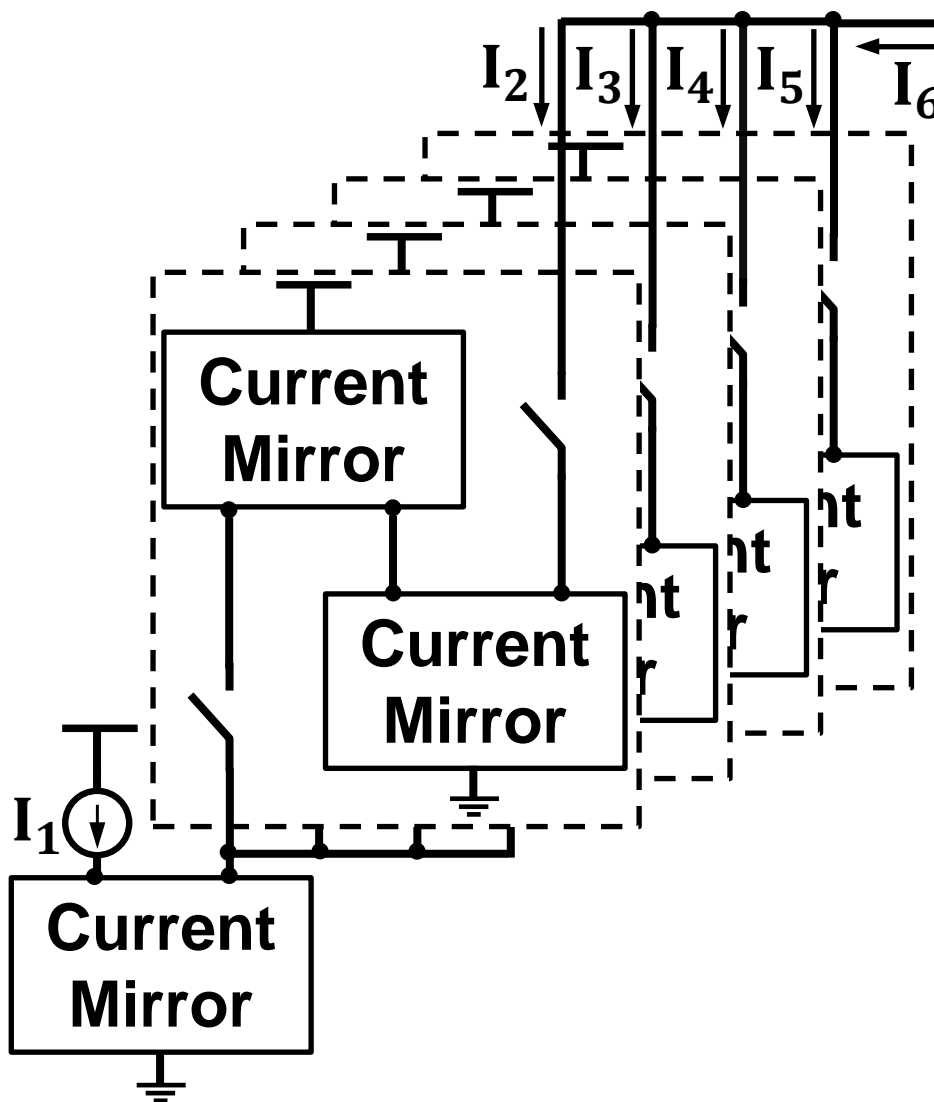
ゲート抵抗 R_g
 $30\Omega \sim 300\Omega$



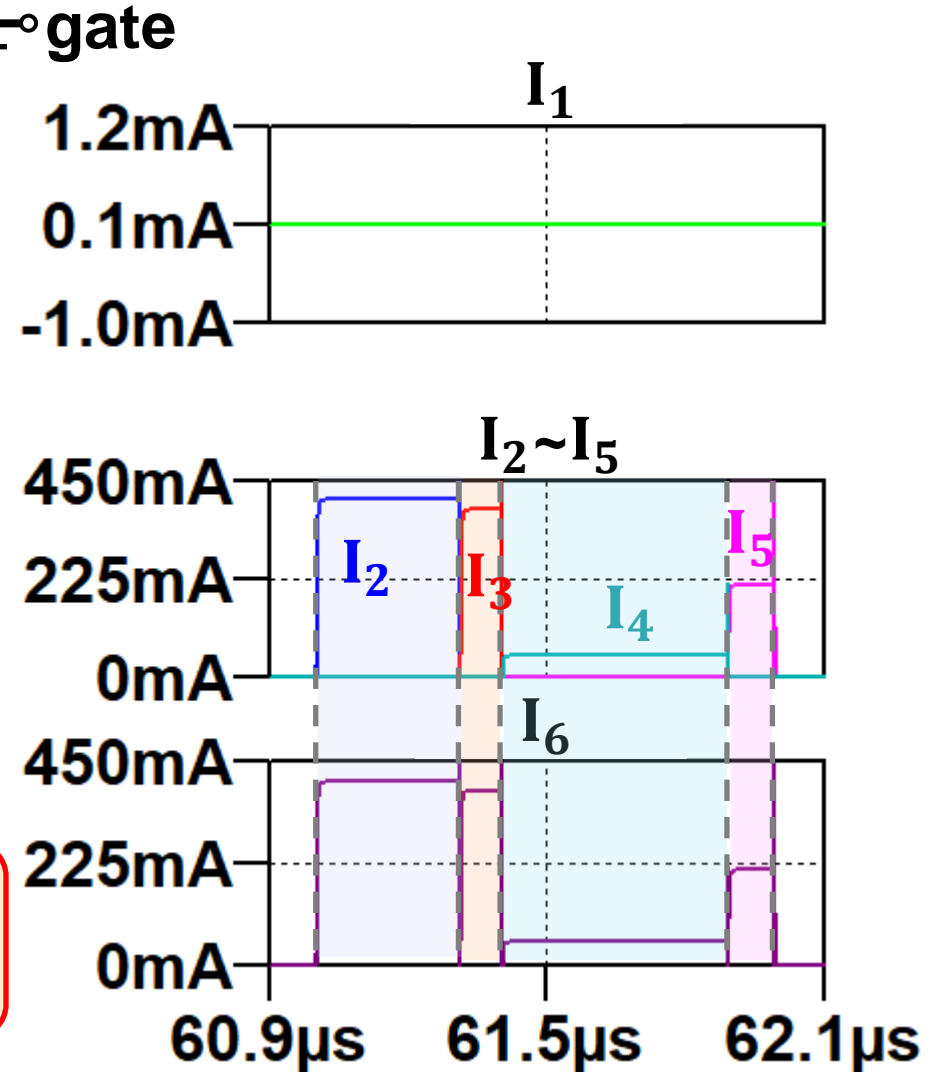
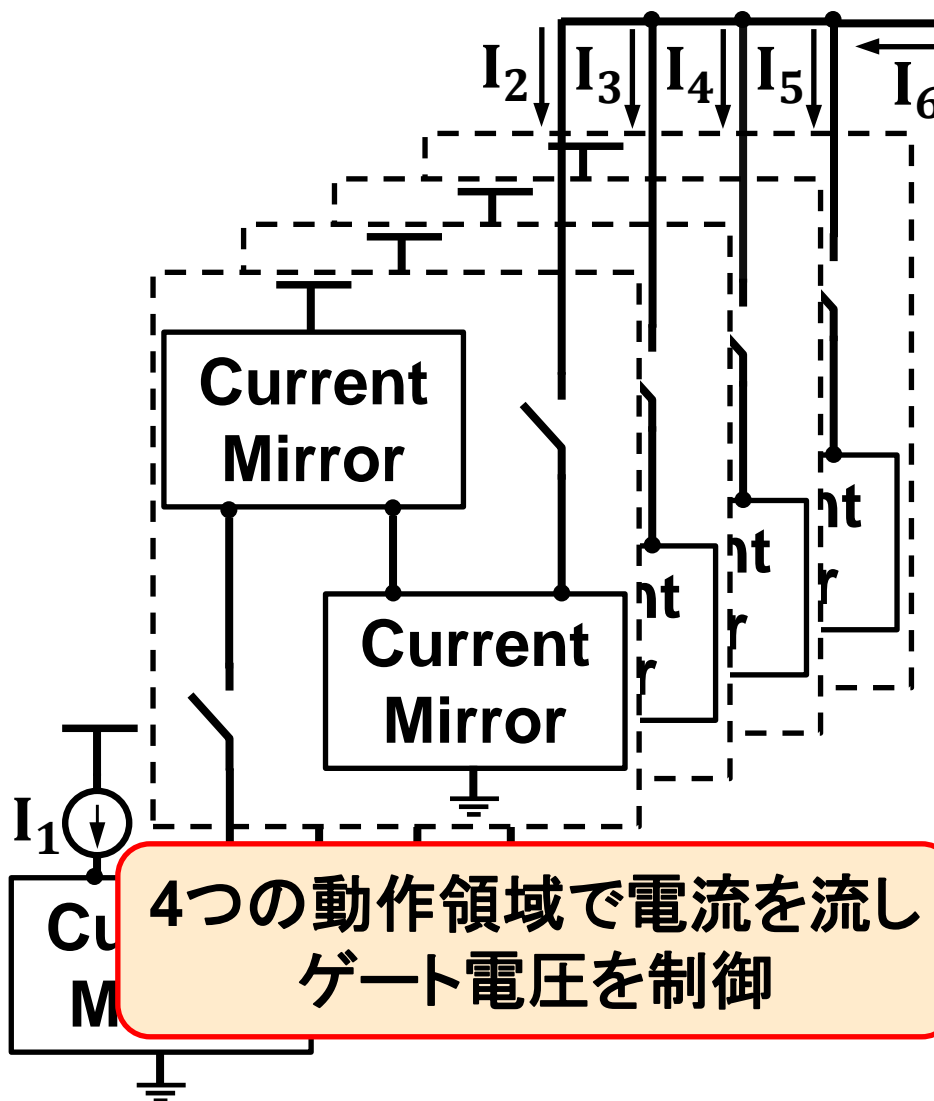
OUTLINE

- 研究背景と目的
- 従来型電圧駆動回路
- **電流駆動 IGBT ドライバ回路**
- 電流駆動回路のシミュレーション結果
- まとめ

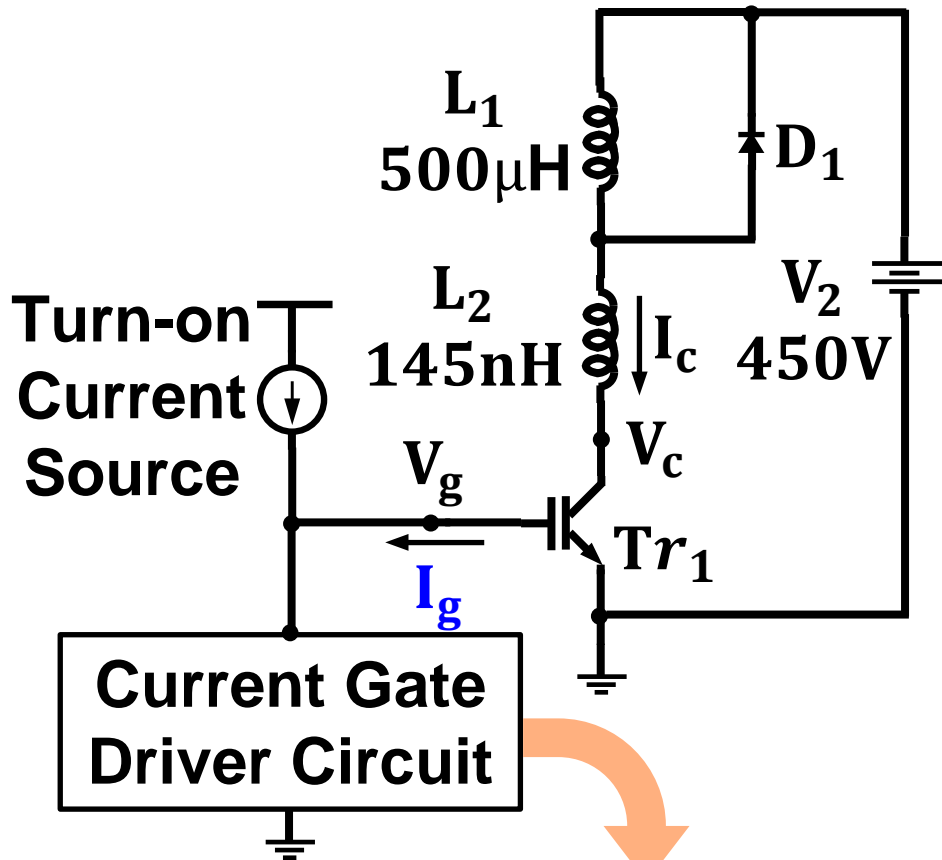
電流駆動ゲートドライバ回路(1/2)



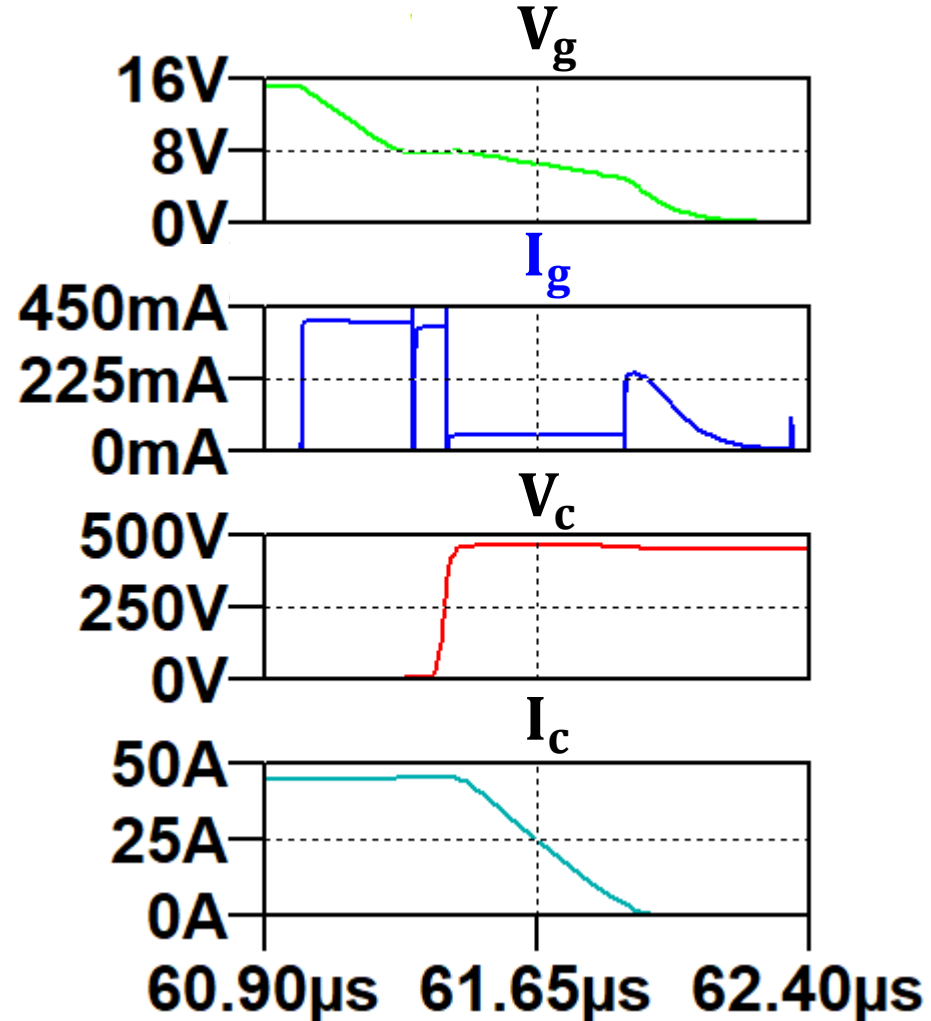
電流駆動ゲートドライバ回路(2/2)



電流駆動IGBTのターンオフ特性



I_g によりゲート電圧を制御

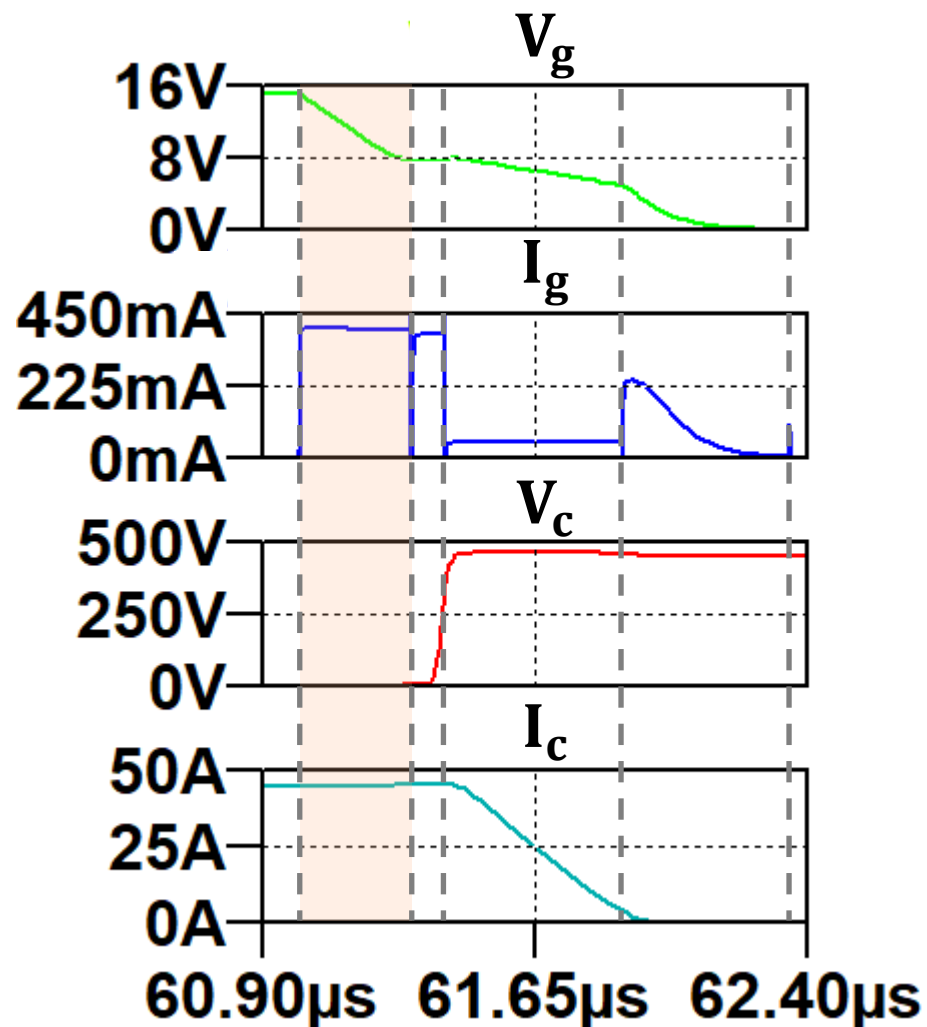


ゲート電流によるゲート電圧制御 (区間1) ^{16/25}

区間1

V_g : 飽和電圧からミラー電圧

オーバーシュートと
スイッチング損失への
影響なし



ゲート電流によるゲート電圧制御 (区間2)^{17/25}

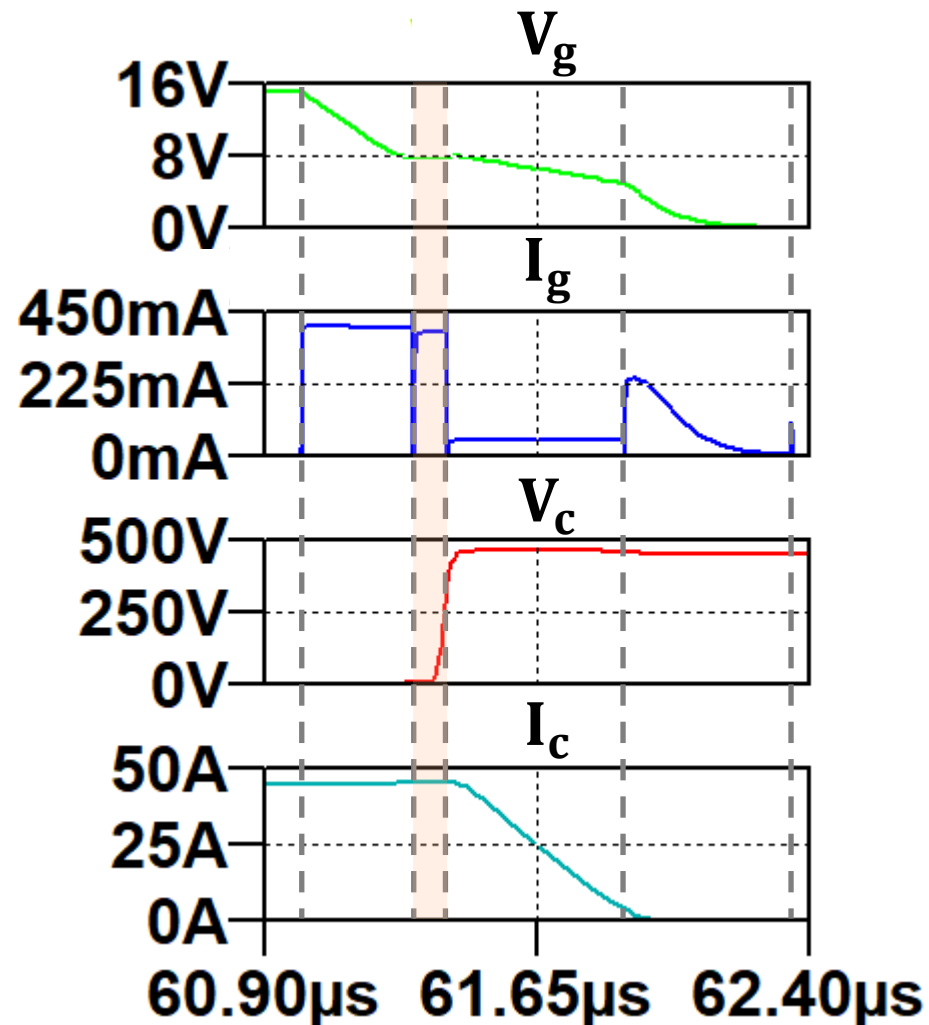
区間2

V_g : IGBTのミラー期間

スルーレートと
スイッチング損失は
トレードオフ



スイッチング損失の改善可



ゲート電流によるゲート電圧制御 (区間3)^{18/25}

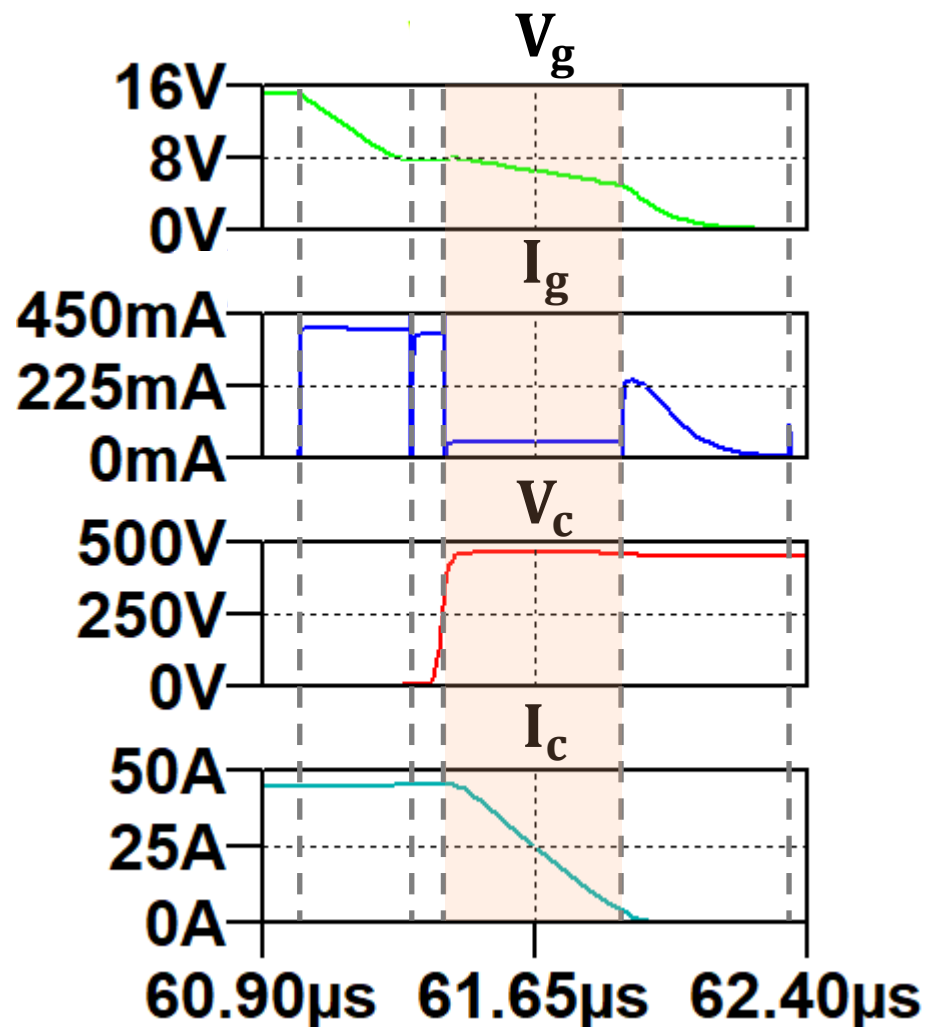
区間3

V_g : ミラー電圧から閾値電圧

オーバーシュートと
スイッチング損失は
トレードオフ



オーバーシュートと
スイッチング損失の改善可



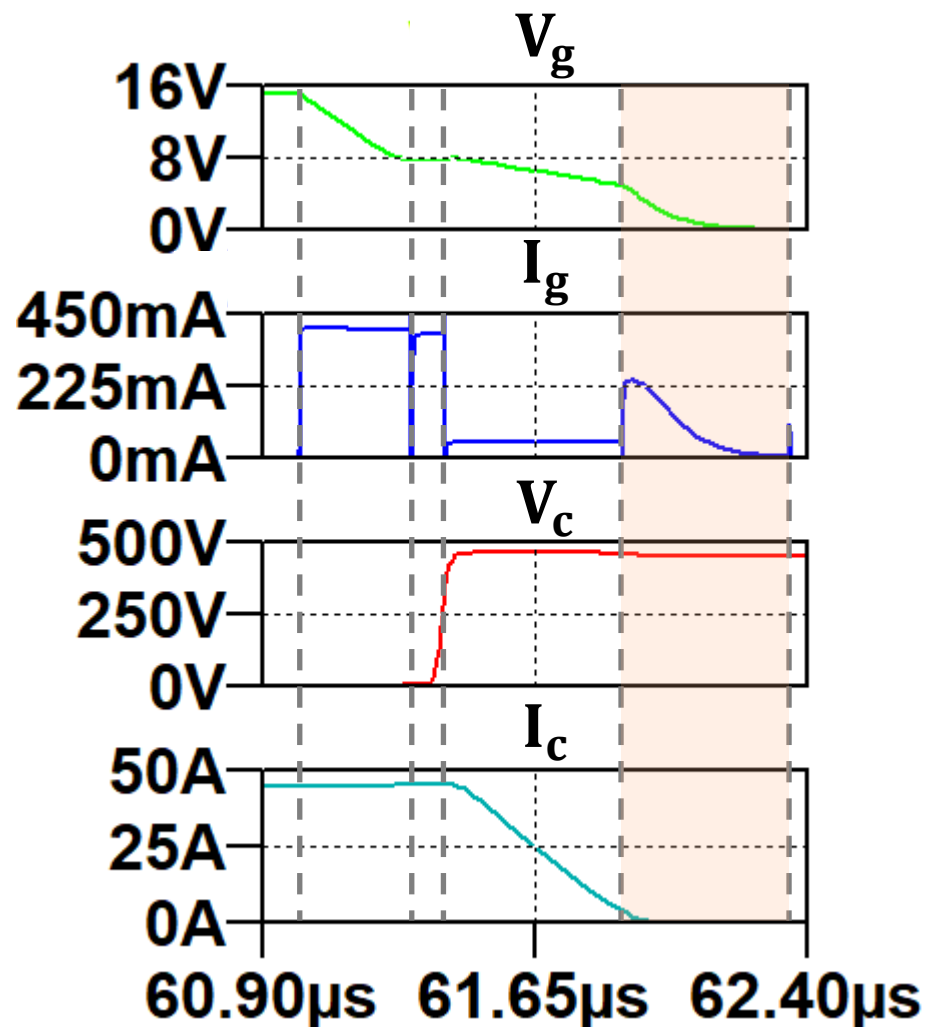
ゲート電流によるゲート電圧制御 (区間4)^{19/25}

区間4

V_g : 閾値電圧から0

I_g : MOSFETのI-V特性により
制御が難しい

オーバーシュートと
スイッチング損失への
影響はない

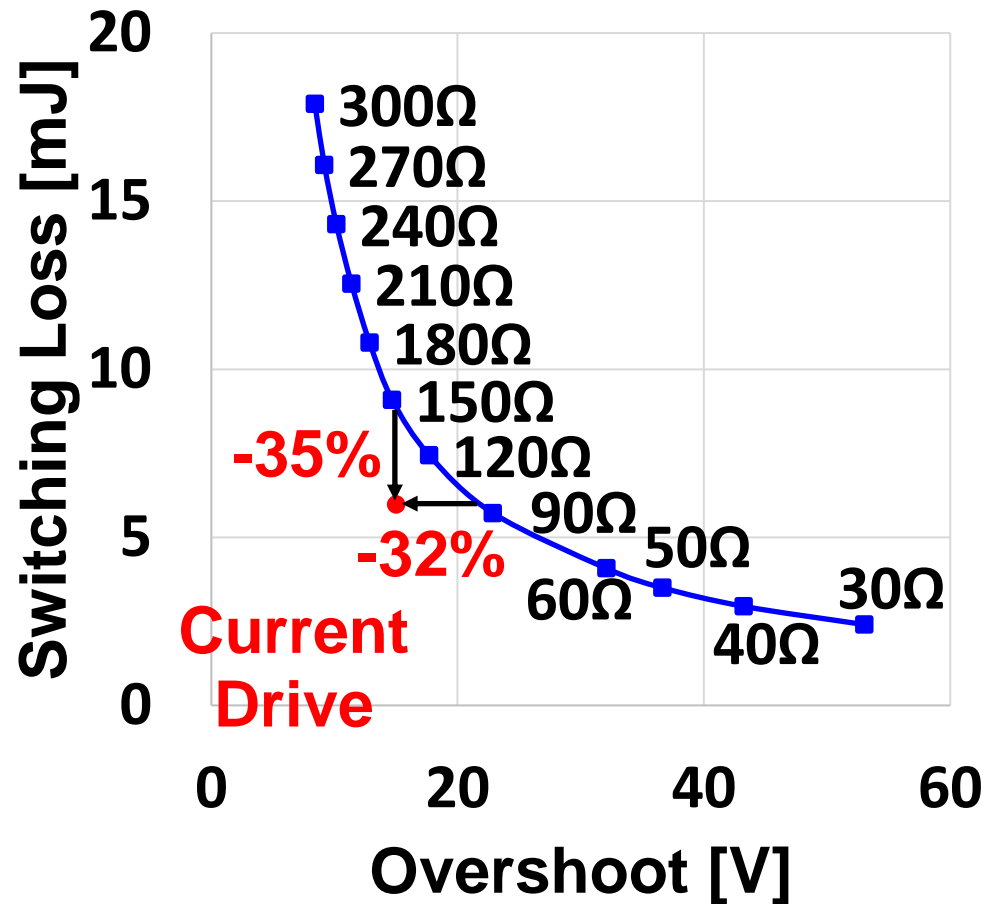


OUTLINE

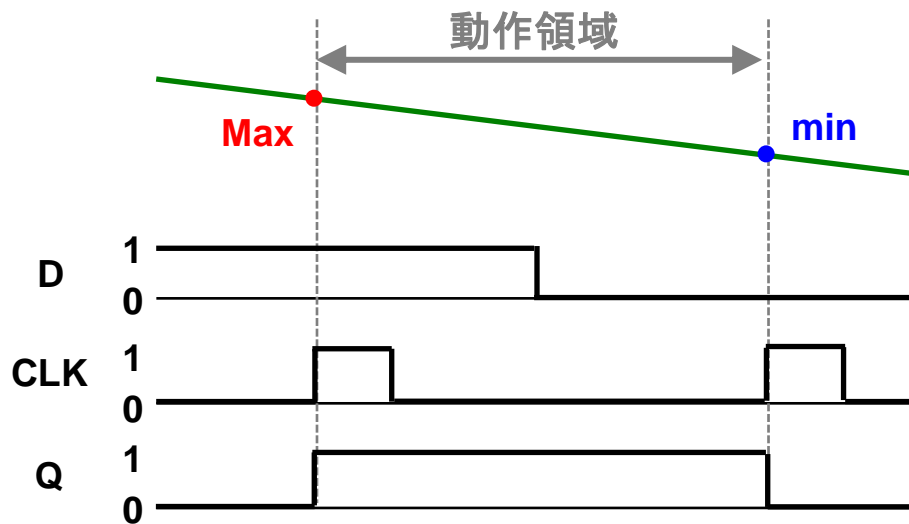
- 研究背景と目的
- 従来型電圧駆動回路
- 電流駆動 IGBT ドライバ回路
- **電流駆動回路のシミュレーション結果**
- まとめ

電流駆動と電圧駆動の比較

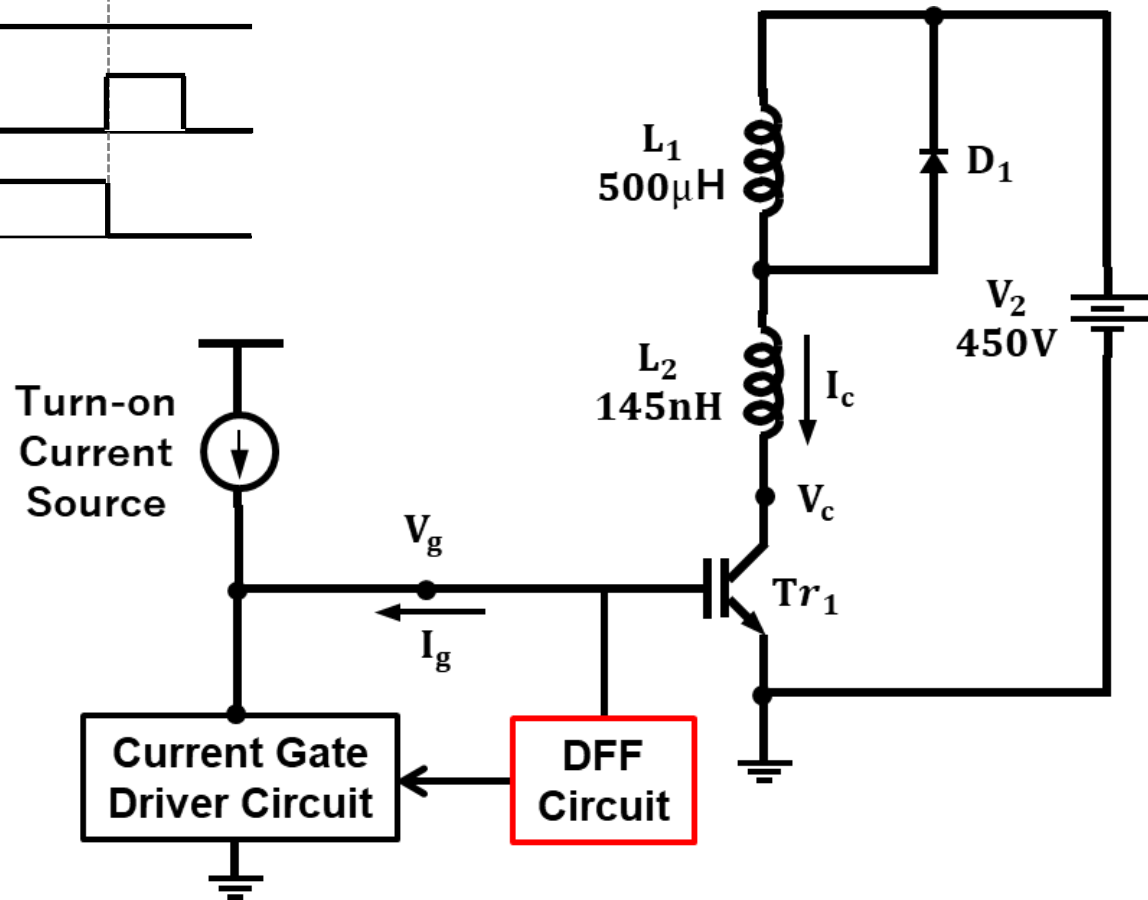
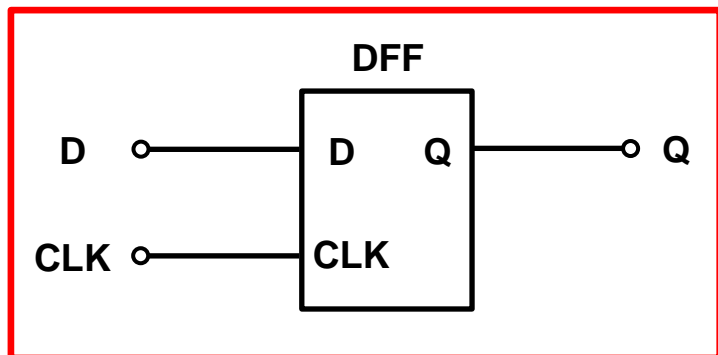
スイッチング損失: **-35%**, オーバーシュート: **-32%**



駆動電流の自動制御

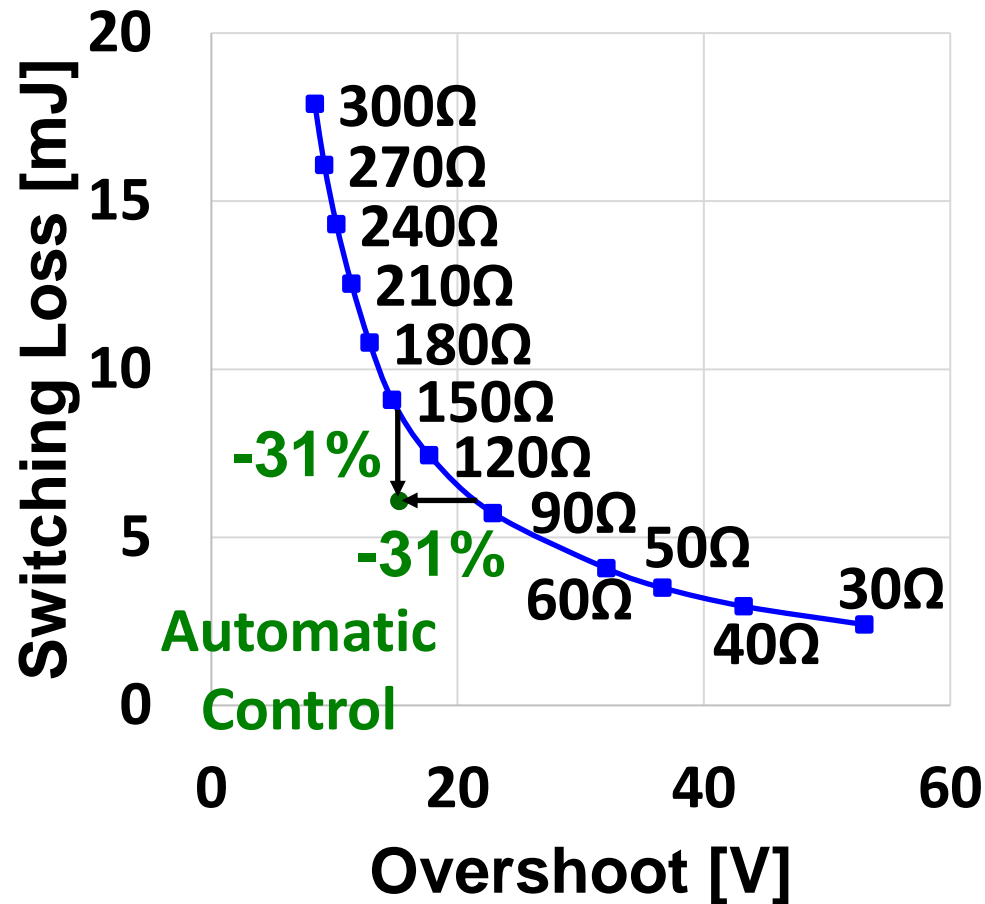


ゲートの電圧値から
動作領域を判断し
制御電流を決定



自動制御電流駆動と電圧駆動の比較

スイッチング損失: **-31%**, オーバーシュート: **-31%**



OUTLINE

- 研究背景と目的
- 従来型電圧駆動回路
- 電流駆動 IGBT ドライバ回路
- 電流駆動回路のシミュレーション結果
- まとめ

まとめ

- **4つの動作領域で異なる電流を引き抜く電流駆動IGBTドライバ回路を提案した**
- **従来型電圧駆動に比べてオーバーシュート-32%、スイッチング損失-35%に改善した**
- **ゲート電圧から各動作領域の時間制御を検討した**
- **各動作領域での電流値の自動制御が課題**

Q & A

Q:ミラー回路のスルーレートなどの影響があるが、
スイッチングの時間はどの程度まで対応できるのか

A:スイッチング時間が数 μ sと非常に短いため
スイッチにより強制的にオフにしている
(そこにインダクタンスがあると問題がある)

Q:4段階に分けているがそれより多段にした場合良くなるのか

A:ゲート電圧の変曲点で領域を分けているため4段階としている