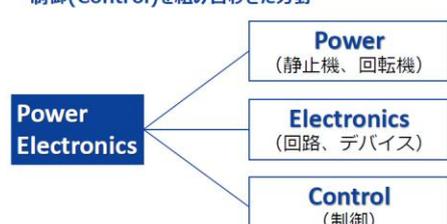
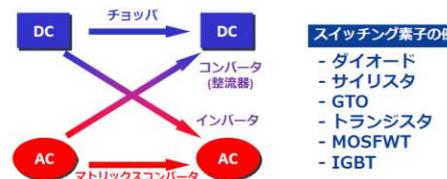
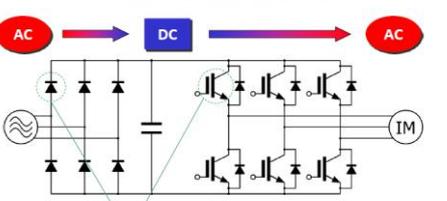


⑤【パワー半導体モジュール】 講師: 高橋良和

<p>パワー半導体モジュールおよびそれを用いた設計例</p>  <p>東北大学 国際集積エレクトロニクス研究開発センター 高橋 良和 富士電機株式会社 電子事業本部 池田 良成</p>	
<p>目次</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. パワーエレクトロニクス、パワーデバイスの概要 2. IGBTチップの動作 3. IGBTモジュールの構造と役割 (実物を用いて) 4. IGBTモジュールとアプリケーション 5. IGBTモジュールの選定方法 6. ゲート駆動回路の設計 7. サージ電圧の抑制方法 8. スナバ回路の設計 9. モジュールの並列接続 10. 発生損失・温度上昇の計算 11. HEV用直接水冷パワーモジュール 12. ハイブリッド (Si-IGBT+SiCショットキーダイオード) モジュール 13. All-SiCモジュール 	
<p>パワーエレクトロニクスとは</p> <p>電機機器(Power), 電気回路(Electronics), 制御(Control)を組み合わせた分野</p> 	
<p>電力変換システムとは</p> <p>スイッチング素子を用いて、電流、電圧、周波数、位相、振幅などを変換・制御するシステム</p>  <p>スイッチング素子の例</p> <ul style="list-style-type: none"> - ダイオード - サイリスタ - GTO - トランジスタ - MOSFET - IGBT 	
<p>インバータ装置の基本回路</p>  <p>スイッチング素子</p> <p>スイッチング素子のオン・オフを細かく制御することにより、所望の出力が得られる</p>	

⑤【パワー半導体モジュール】 講師: 高橋良和

<p>スイッチング素子</p>	
<p>スイッチング素子の代表例</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>MOSFET <small>(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)</small></p> <p>低容量、高周波駆動 Consumer, Power supply, low power UPS, and so on</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>IGBT <small>(Insulated Gate Bipolar Transistor)</small></p> <p>中容量～大容量アプリケーション Inverter, Robot, PCS, UPS, Elevator, Traction, and so on</p> </div> </div>	
<p>MOSFETとIGBTの出力特性の比較</p> <p>容量やアプリケーションによって素子を使い分ける</p>	
<p>スイッチング素子の適用範囲</p> <p>IGBTは数kW～数MWの領域で使用される → IGBTの性能向上により範囲拡大 MOSFETは～数十kWの領域で使用される</p>	
<p>パワーモジュールのアプリケーションマップ</p>	

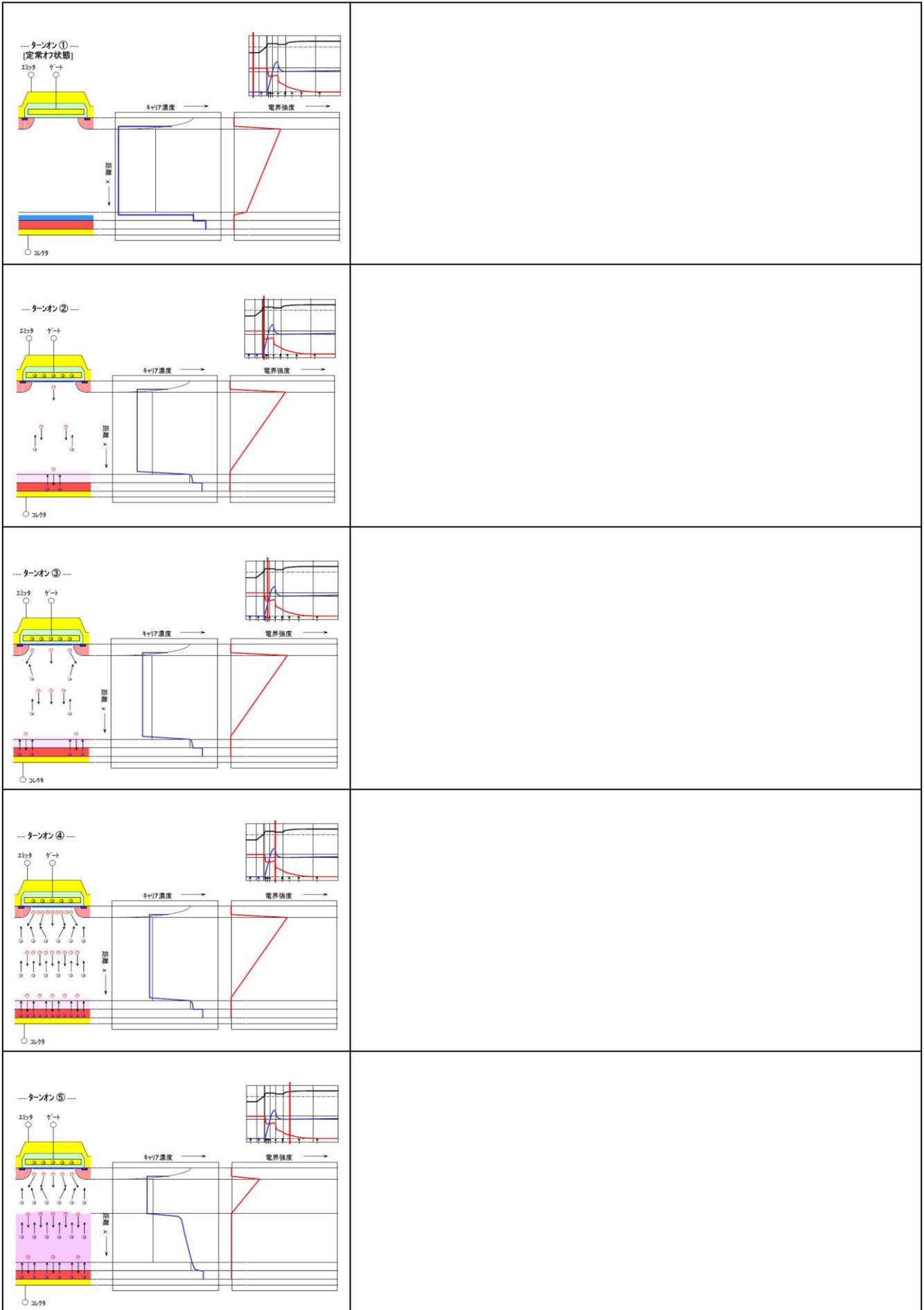
⑤【パワー半導体モジュール】 講師: 高橋良和

<p>パワー半導体はパワー応用製品の基幹部品</p> <p>高効率化・小型化・低コスト化</p> <p>パワーエレクトロニクス技術</p> <p>パワー半導体</p> <p>パッケージ技術</p> <p>デバイス技術</p> <p>ノイズ・遮蔽・封止・放熱・絶縁・信頼性・損失・耐圧・小型</p>	
<p>インバータの各主要回路を通った後の電圧波形</p> <p>インバータの各主要回路を通った後の電圧波形</p> <p>実際には、脈動がある電圧波形となる</p>	
<p>インバータ要素技術 (PWM技術)</p> <p>キャリア周波数の選定</p> <p>高応答、低振動・低騒音化 → 8kHz程度以上</p> <p>低キャリア周波数</p> <p>高キャリア周波数</p> <p>□ パワーデバイスが高周波動作をすることで綺麗な波形を出力することができる → 高効率化</p>	
<p>出力周波数とモータ動作の関係</p> <p>インバータ出力周波数の制御</p> <p>出力周波数…インバータから出力される電圧、電流波形の周波数 ⇒出力周波数を制御することで、モータの回転数を制御</p> <p>基本実効値電圧波形</p> <p>線間電圧波形</p> <p>モータ回転数</p> <p>2極モータとすると 600[rpm] ⇒速度換算: 約23km/h (直径20cmタイヤ(乗用車クラス)として換算)</p> <p>2極モータとすると 1200[rpm] ⇒速度換算: 45km/h (直径20cmタイヤ(乗用車クラス)として換算)</p> <p>モータ回転数 $N = \frac{120 \times f}{P}$ [r/min]</p> <p>f: 出力周波数 [Hz] P: 極数 (モータの巻線極数)</p> <p>HP: METAL CREATE CO., LTD. ©S</p>	
<p>目次</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. パワーエレクトロニクス、パワーデバイスの概要 2. IGBTチップの動作 3. IGBTモジュールの構造と役割 (実物を用いて) 4. IGBTモジュールとアプリケーション 5. IGBTモジュールの選定方法 6. ゲート駆動回路の設計 7. サージ電圧の抑制方法 8. スナバ回路の設計 9. モジュールの並列接続 10. 発生損失・温度上昇の計算 11. HEV用直接水冷パワーモジュール 12. ハイブリッド (Si-IGBT+SiCショットキーダイオード) モジュール 13. All-SiCモジュール 	

⑤【パワー半導体モジュール】 講師: 高橋良和

<p>シリコン (Si) ウェハとIGBTの断面構造</p> <p>IGBTとは Insulated Gate Bipolar Transistor (絶縁ゲート バイポーラ トランジスタ)</p> <p>電極パターン付け後のSiウェハ 6, 8インチ</p> <p>IGBTチップ 数mm~10数mm</p> <p>IGBTの構造</p>	
<p>IGBTの動作原理</p> <p>オフ時 表面のPN接合により耐圧維持</p> <p>オン時 表面側のエミッタ電極から流れてくる電子電流によって基板側のPN接合から正孔が注入され、抵抗の高い層の抵抗が著しく減少:伝導度変調(conductivity modulation)</p> <p>キャリア濃度の増加=抵抗の減少 (抵抗)⁻¹ ∝ (移動度) × (キャリア濃度)</p>	
<p>IGBTの出力特性 (IVカーブ)</p> <p>推奨ゲート電圧 V_{GE}: $15V \pm 10\%$ ゲート電圧が低いと $V_{CE(sat)}$ が増加し導通損失が増加</p> <p>オン抵抗 $R_{on} = \Delta V_{CE} / \Delta I_C$</p> <p>線形領域 (アクティブ領域) スイッチングバルブ素子として使用する場合は、線形領域での使用厳禁。飽和領域で使用すること。</p>	
<p>動特性 - IGBTの動作- (定常オフ状態からターンオン)</p> <p>定常オフ状態 オフ状態から十分長時間 (数μs) がたつと逆方向の電流が流れ出す。</p> <p>ターンオン状態 ターンオン状態 ゲート電圧がしきりを超えた後、半導体層の電圧に反転し、半導体層に電流が流れ出す。この電流はベース電流と電流が電流に等しい。</p>	
<p>動特性 --- ターンオフ波形 ---</p> <p>容量変化による変位電流</p>	

⑤ 【パワー半導体モジュール】 講師: 高橋良和



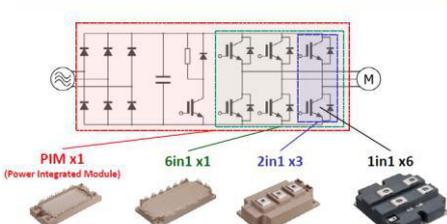
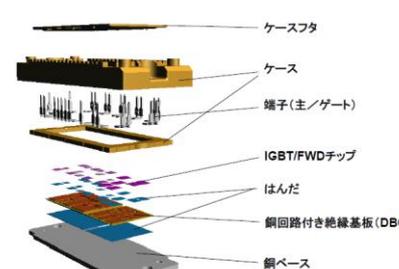
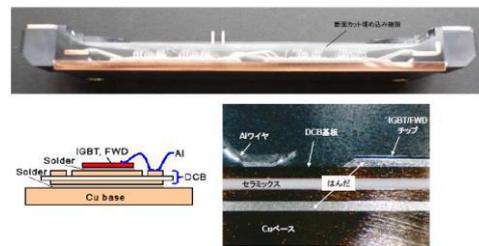
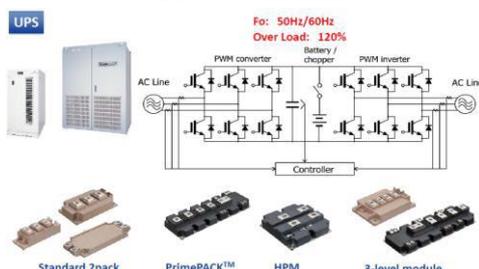
⑤【パワー半導体モジュール】 講師: 高橋良和

<p>---ターンオン⑥--- [定常オン状態]</p> <p>キャリア速度</p> <p>電界強度</p> <p>コレクタ</p>	
<p>動特性 --- IGBTの動作 --- (定常オン状態からターンオフ)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p>定常オン状態</p> <p>オン状態 オン遷移状態から十分な時間(数μs)がたつと、ベース層は過剰キャリアで満たされる。 (高注入状態) (低キャリア濃度状態)</p> <p>コレクタ電極 コレクタ</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>ターンオフ状態</p> <p>オン-オフ遷移状態 ゲート電圧が低い状態を以下に示すとき、ドリフト領域表面の反転層が消失し、ベース領域からのベース電流の供給が止まる。 コレクタ・エミッタ電圧に応じて空乏層が広がる。 空乏層の広がりによって過剰キャリアのうち、電子はコレクタ側に掃き出される。これがベース電流として機能するため動作は継続する。 過剰キャリアのうち、ホールは高電界領域(空乏層)を通過し、エミッタ側に掃き出される。</p> <p>コレクタ電極 コレクタ</p> </div> </div>	
<p>動特性 --- ターンオフ波形 ---</p> <p>$V_{GE}=0$</p> <p>V_{CE}</p> <p>I_C</p> <p>ターンオフ開始</p> <p>$V_{GE}=V_{GE,off}$</p> <p>ΔV</p> <p>$I_{tail}=0$</p> <p>容量変化による変位電流</p>	
<p>---ターンオフ①--- [定常オン状態]</p> <p>キャリア速度</p> <p>電界強度</p> <p>コレクタ</p>	
<p>---ターンオフ②---</p> <p>キャリア速度</p> <p>電界強度</p> <p>コレクタ</p>	

⑤ 【パワー半導体モジュール】 講師: 高橋良和

<p>---ターンオフ③---</p> <p>この図は、IGBTのターンオフ過程の第3段階を示しています。左側には、エミッタ、ゲート、コレクタの構造と電界分布が示されています。右側のグラフは、キャリア濃度（青線）と電界強度（赤線）の時間変化を示しています。キャリア濃度はゲートの電圧が下がると急激に減少し、電界強度はコレクタ-エミッタ間からゲート-エミッタ間へと移行してピークを形成します。</p>	
<p>---ターンオフ④---</p> <p>この図は、IGBTのターンオフ過程の第4段階を示しています。キャリア濃度はさらに減少し、電界強度のピークはゲート-エミッタ間の電界に集中しています。</p>	
<p>---ターンオフ⑤---</p> <p>この図は、IGBTのターンオフ過程の第5段階を示しています。キャリア濃度はほぼゼロに近づき、電界強度の分布も安定しています。</p>	
<p>---ターンオフ⑥--- [定常オフ状態]</p> <p>この図は、IGBTの定常オフ状態を示しています。キャリア濃度はゼロであり、電界強度はゲート-エミッタ間の電界にのみ存在しています。</p>	
<p>目次</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. パワーエレクトロニクス、パワーデバイスの概要 2. IGBTチップの動作 3. IGBTモジュールの構造と役割 (実物を用いて) 4. IGBTモジュールとアプリケーション 5. IGBTモジュールの選定方法 6. ゲート駆動回路の設計 7. サージ電圧の抑制方法 8. スナバ回路の設計 9. モジュールの並列接続 10. 発生損失・温度上昇の計算 11. HEV用直接水冷パワーモジュール 12. ハイブリッド (Si-IGBT+SiCショットキーダイオード) モジュール 13. All-SiCモジュール 	

⑤ 【パワー半導体モジュール】 講師：高橋良和

<p>IGBTモジュールとは</p> <p>複数(単体)のIGBT素子などを一つのパッケージとして回路構成しユニット化したもの</p> 	
<p>IGBTモジュールパッケージの構造</p> 	
<p>IGBTモジュールの断面構造</p> 	
<p>IGBTモジュールの適用例</p> <p>Motor Drive (General Purpose Inverter)</p> <p>Fo: 0.5Hz - 50Hz Over Load: 150% - 200%</p> 	
<p>IGBTモジュールの適用例</p> <p>UPS</p> <p>Fo: 50Hz/60Hz Over Load: 120%</p> 	

⑤ 【パワー半導体モジュール】 講師: 高橋良和

<p>IGBTモジュールの適用例</p> <p>PV (Mega Solar)</p> <p>Solar Cells</p> <p>Standard 2pack Chopper module HPM 3-level module</p>	
<p>IGBTモジュールの適用例</p> <p>Wind Turbine</p> <p>Standard 2pack HPM 3-level module</p>	
<p>IGBTモジュールの適用例</p> <p>Servo Drive</p> <p>Small-IPM Small-PIM PIM, 6-pack IPM</p>	
<p>IGBTモジュールの適用例</p> <p>NC, Robot</p> <p>6-pack IPM</p>	
<p>IGBTモジュールの適用例</p> <p>Traction (Locomotive, Constriction Vehicle)</p> <p>Standard 2pack HPM Chopper module</p>	

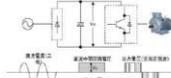
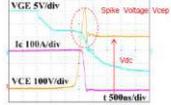
⑤ 【パワー半導体モジュール】 講師: 高橋良和

IGBTモジュールの選定方法

定格電圧の選び方

Region	IGBT ratings voltage (V _{CE})			
	60kV	120kV	180kV	170kV
Japan	20kV	40kV	40kV	
	22kV	44kV		
America	20kV	40kV	57.5kV	57.5kV
	23kV	46kV		
	24kV	48kV		
	24kV			
Europe	20kV	34kV		69kV
	22kV	35kV		
	23kV	38kV		
	24kV	40kV		
	24kV	41.5kV		
		45kV		
DC voltage	300~400V	600~800V	700~900V	800~1000V

Turn-off waveform example



AC → DC → AC
 Vin=440V Vdc=600V Vout=0-400V
 fn 50/60Hz fcut 0.5-200Hz

入力電圧AC400Vの場合 → DC電圧 590V~620V
 ターンオフ時のサージ電圧(約2倍)を考慮し、
 1200V定格のモジュールを使用

定格電流の選び方

Input	Power (kW)	Power factor	Example of IGBT ratings selection
230V AC	1.5	1	600V/30A
	2.2	1	600V/30A
	3.2	1	600V/30A
	5.5	1	600V/30A
	7.5	1	600V/30A
	11	1	600V/30A
	15	1	600V/30A
	22	1	600V/30A
	32	1	600V/30A
	45	1	600V/30A
(1) 230V AC	18.5	0.8	600V/50A
	22	0.8	600V/50A
	32	0.8	600V/50A
	45	0.8	600V/50A
	75	0.8	600V/50A
	110	0.8	600V/50A
	150	0.8	600V/50A
	220	0.8	600V/50A
	300	0.8	600V/50A
	400	0.8	600V/50A
(2) 440V AC	1.5	1	1200V/50A
	2.2	1	1200V/50A
	3.2	1	1200V/50A
	5.5	1	1200V/50A
	7.5	1	1200V/50A
	11	1	1200V/50A
	15	1	1200V/50A
	22	1	1200V/50A
	32	1	1200V/50A
	45	1	1200V/50A
(3) 440V AC	18.5	0.8	1200V/75A
	22	0.8	1200V/75A
	32	0.8	1200V/75A
	45	0.8	1200V/75A
	75	0.8	1200V/75A
	110	0.8	1200V/75A
	150	0.8	1200V/75A
	220	0.8	1200V/75A
	300	0.8	1200V/75A
	400	0.8	1200V/75A

インバータ定格電流の2~3倍のモジュールを選ぶとよい(経験則)

例) 7.5kW インバータ
 入力440V_{AC} 力率=0.58

$$x(I_A) = 75000(W) = pf(\text{power factor}) = 13000(I_A)$$

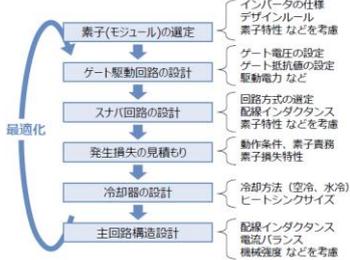
$$y(I_{rms}) = 13000(I_A) + 440(V_{ac}) \div \sqrt{3} = 17(I_{rms})$$

→ 1200V/50Aのモジュールを選定

正確には、定常運転時や過負荷運転時の損失と温度を見積もり、最大定格を超えない範囲でモジュールを選定する必要がある。

インバータ主回路設計の手順例

装置の仕様と素子(モジュール)の特性を基に最適設計する

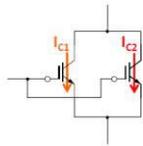
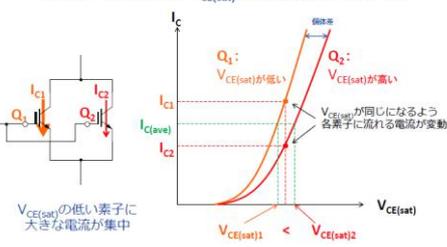
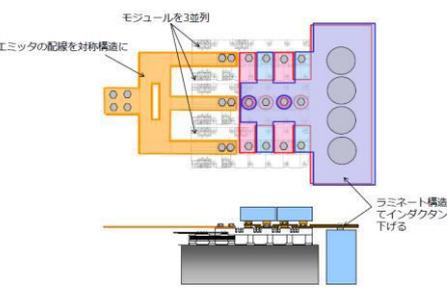


ゲート駆動回路の設計

⑤【パワー半導体モジュール】 講師: 高橋良和

<p>IGBTゲート駆動回路の基本構成</p> <p>ハルストランスやフォトカプラなので、入力信号系と駆動回路系を絶縁する</p> <p>フォトカプラには高CMRタイプ (dv/dt大量が10kV以上) を推奨</p> <p>バッファ回路を設けて、駆動電流を確保</p> <p>ツイスト線を使用し、極力短く配線する</p> <p>ゲート抵抗 R_G</p> <p>ノイズ等による誤動作防止のため、ゲート・エミッタ配線に囲まれる座巻を極力小さくする</p> <p>ツェナーダイオードでゲート端子への過電圧を防止する</p>	
<p>サージ電圧の抑制</p>	
<p>ターンオフ時のサージ電圧</p> <p>ターンオフ時の電流I_cの変化率di/dtと、回路の浮遊インダクタンスL_sによってサージ電圧が発生する</p> $\Delta V = L_s \times di/dt$ <p>※L_sは、DCキャパシタとモジュール側の配線インダクタンスであり、負荷のインダクタンスは無関係</p>	
<p>配線インダクタンスの低減</p> <p>主回路配線のインダクタンスを減らすために、配線をラミネート構造にし、スナバ回路をモジュール直近に設置すると良い。</p> <p>スナバC 銅線</p> <p>インダクタンス大きい → サージ電圧大きい</p> <p>スナバC 平行銅板</p> <p>インダクタンス小さい → サージ電圧小さい</p> <p>銅線は 1cm = およそ1nH</p>	
<p>モジュールの並列接続</p>	

⑤【パワー半導体モジュール】 講師: 高橋良和

<p>並列接続の注意点</p> <p>より大きな電流量を実現したい → 複数の素子 (モジュール) を並列に接続</p>  <p>IGBTの特性を理解して設計しないと、意図しない動作や故障の原因となる → 電流集中による過熱、スイッチング時の発振など</p>	
<p>定常電流のアンバランス</p> <p>電流のアンバランスは、$V_{CE(sat)}$特性の個体差によって生じる</p>  <p>$V_{CE(sat)}$の低い素子に大きな電流が集中</p>	
<p>主端子配線の例</p>  <p>モジュールを3並列 エミッタの配線を対称構造に ラミネート構造にしてインダクタンスを下げる</p>	
<div style="background-color: #4a7ebb; color: white; padding: 10px; text-align: center;"> <p>発生損失・温度上昇の計算</p> </div>	
<p>IGBTの発生損失の内訳</p> <pre> graph LR Ptotal[発生損失 P_{total}] --- PIGBT[IGBT損失 P_{IGBT}] Ptotal --- PFWD[FWD損失 P_{IGBT}] PIGBT --- Psat[導通損失 P_{sat}] PIGBT --- Psw[スイッチング損失] PFWD --- Pf[導通損失 P_f] PFWD --- Pswr[スイッチング損失] Psw --- Pton[ターンオン損失 P_{on}] Psw --- Ptoff[ターンオフ損失 P_{off}] Pswr --- Prr[逆回復損失 P_{rr}] </pre>	

⑤【パワー半導体モジュール】 講師：高橋良和

<p style="text-align: center;">IGBT損失の定義</p> <p>スイッチング損失測定回路</p> <p>IGBTスイッチング時のコレクタ電流I_c、コレクタエミッタ間電圧V_{ce}より、スイッチング損失を測定</p> <p style="text-align: center;">ターンオン損失 導通損失 ターンオフ損失</p>	
<p style="text-align: center;">インバータPWM制御の電圧・電流波形</p> <p style="text-align: center;">ターンオン損失 P_{to} ターンオフ損失 P_{fo}</p> <p style="text-align: center;">導通損失 P_{sw}</p> <p style="text-align: center;">導通損失 P 逆回復損失 P_{rr}</p> <p style="text-align: center;">duty = T_{on}/T_{sw}</p>	
<p style="text-align: center;">温度上昇の計算(熱抵抗モデル)</p> <p>IGBT・FWDで発生した損失(熱)は、ヒートシンクを介して外部に放出される。各部の温度上昇は熱抵抗モデルを用いて計算できる。</p> <p style="text-align: center;">温度上昇 T = 発生損失 P × 熱抵抗値 R_{th} (°C) (W) (°C/W)</p> <p style="text-align: center;">Junction (Chip) : T_j Case : T_c Heatsink : T_f Ambient : T_a</p> <p style="text-align: center;">(温度→電圧) (損失→電流) (熱抵抗→抵抗) と置き換えると 電気回路と等価になる</p>	
<p style="text-align: center;">目次</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. パワーエレクトロニクス、パワーデバイスの概要 2. IGBTチップの動作 3. IGBTモジュールの構造と役割 (実物を用いて) 4. IGBTモジュールとアプリケーション 5. IGBTモジュールの選定方法 6. ゲート駆動回路の設計 7. サージ電圧の抑制方法 8. スナバ回路の設計 9. モジュールの並列接続 10. 発生損失・温度上昇の計算 11. HEV用直接水冷パワーモジュール 12. ハイブリッド (Si-IGBT+SiCショットキーダイオード) モジュール 13. All-SiCモジュール 	
<p style="text-align: center;">最新 EHV/EV用パワーモジュールの紹介</p>	

⑤ 【パワー半導体モジュール】 講師: 高橋良和

<p>最新車載向けパワーモジュールのコンセプト</p>	
<p>最新EHV/EV用パワーモジュール アルミ直接水冷パワーモジュール</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 冷却器の高放熱化技術 ■ 175°C連続動作の保証技術 ■ 温度サイクルの高信頼性化技術 	
<p>最新 高速鉄道用パワーモジュールの紹介</p>	
<p>3.3kV SiC ハイブリッドパワーモジュール</p> <p>Si-FWDをSiC-SBD化 (ハイブリッド化) することでチップ損失低減が可能 → モジュールの一回り小型化が可能となり、高速鉄道の軽量化に寄与</p> <p>6/25 富士電機+IPより</p>	
<p>ハイブリッドパワーモジュールの効果</p> <p>開発モジュール 3.3kV Hybrid Power Module</p> <p>The Power Electronics System ✓ 20% Downsizing ✓ 20% Light-Weight</p> <p>Ref.: Press Release by Central Japan Railway company and Fuji Electric, June 26, 2015 http://www.cjrail.co.jp/news/newsitem/01665.html http://www.fujielectric.co.jp/about/news/detail/2015/01/15/0150625160012422.html</p>	

⑤【パワー半導体モジュール】 講師: 高橋良和

ハイブリッドパワーモジュールの外観
(従来Si-IGBTモジュールとの比較)

<p>Si-IGBTモジュール 140x190mm 1.3kg $T_{max}=125\text{deg.C operation}$</p>	<p>ハイブリッドモジュール (Si-IGBT+SiC-ショットキーダイオード) 140x130mm 0.9kg $T_{max}=150\text{deg.C operation}$</p>
---	---

SiC- ショットキーダイオード搭載の効果

	Conventional	Developed
Reverse recovery		
Turn-on		

Test condition : $V_{CE}(V_{AK})=1.8\text{kV}$, $I_C(I_r)=1200\text{A}$, $V_{GE}=\pm 15\text{V}$, $T_f=150\text{deg.C}$

SiC- ショットキーダイオード搭載の効果

Test condition : $V_{CE}(V_{AK})=1.8\text{kV}$, $I_C(I_r)=1200\text{A}$, $V_{GE}=\pm 15\text{V}$, $T_f=150\text{deg.C}$

最新 All-SiCモジュールの紹介

次世代パワー半導体パッケージのコンセプト

- 高パワー密度
- 低熱抵抗
- 高温動作
- 高信頼性

⑤【パワー半導体モジュール】 講師: 高橋良和

<p>新しいチップ接続構造による高パワー密度の実現</p> <p>現行構造 半導体チップ アルミワイヤ アルミワイヤボンディングは大きな接合面積をDCB基板上に必要。 ⇒パワー密度向上の障壁となる。</p> <p>次世代パッケージ構造 パワー基板 銅ピン 多数の銅ピンをチップに垂直に下ろして接続 ⇒チップを密集して配置 DCB基板に加え、パワー基板にも電流を流す ⇒電流経路を2層建てに</p>	
<p>厚銅ブロックとSi3N4セラミック基板を用いた低熱抵抗構造</p> <p>現行構造 Al₂O₃ 絶縁基板 次世代パッケージ構造 厚銅ブロック Si₃N₄ 絶縁基板</p> <p>熱の流れ</p> <p>解析結果 Al₂O₃ セラミック 銅ブロック Si₃N₄ セラミック</p> <p>モジュール設置からの距離</p> <p>パッケージ熱抵抗R_{th(j-c)}比較 Total 0.469 Total 0.209 パッケージ熱抵抗R_{th(j-c)}を55%低減</p>	
<p>低インダクタンス</p> <p>低インダクタンス設計</p> <p>Internal Inductance [nH]</p> <p>Conventional (blue bar) vs Advanced (red bar)</p> <p>Main circuit: 80% Reduction Gate circuit: 80% Reduction</p> <p>Main circuit: C1, G1, E1s, G2, E2s, E2 Gate Circuit: C2E1</p> <p>✓ パワー基板を用いることによる小型化で、主回路、ゲート回路ともに従来構造と比較して80%のインダクタンス低減を実現。</p>	
<p>高信頼性の実現</p> <p>Number of cycle (cycle)</p> <p>F(t)=1% line</p> <p>Conventional Package New Package</p> <p>20times</p> <p>2sec ON/18sec OFF</p> <p>ΔTJ(deg.C)</p> <p>✓ 従来技術と比較して20倍の信頼性を達成</p>	
<p>All-SiCモジュール適用メガソーラーPCSの実現</p> <p>■メガソーラー用PCSとAll-SiCモジュール</p> <p>PCS パワーユニット メガソーラー用PCSと内蔵パワーユニット 富士電機・伊予</p> <p>All-SiCモジュール</p>	

⑤【パワー半導体モジュール】 講師：高橋良和

<p>今後の研究・開発などに役立てば幸いです!!</p>  <p>SENDAI光のページェント Photo by Y.Takahashi</p>	