

IH 調理器用インバーター回路

デザインガイド

RD206-DGUIDE-01

東芝デバイス&ストレージ株式会社

目次

1. はじめに	3
1.1. 使用部品	3
2. 回路設計	4
2.1. メイン基板回路	4
2.2. インバーター周辺回路.....	5
2.2.1. IGBT の電圧共振ソフトスイッチング	6
2.2.2. IGBT ゲート駆動回路.....	7
2.3. インバーター電源と AC 電流・電圧検出回路	8
2.3.1. 電流検出とアクティブローパスフィルター	9
2.3.2. 電圧・過電圧検出回路	10
2.4. 温度検出回路	11
2.4.1. IGBT 温度検出	11
2.4.2. 鍋底温度検出	11
2.5. MCU(HT45F0058)	12
2.5.1. MCU ピンの割り当て	12
2.5.2. MCU クロック系統図	13
2.6. I2C 通信.....	13
2.6.1. I2C 通信プロトコル.....	13

1. はじめに

本デザインガイドでは、家電製品向けに設計された IGBT(GT20N135SRA)を使用して、IH 調理器のインバーター回路やレイアウト（以降、このリファレンスデザインと呼びます）を設計する方法を説明します。

部品表に「実装していない」と記載されている部品があれば、回路図に部品番号が記載されていても実装されていません。基板上には各種回路部品の値を調整するための部品の実装が可能です。

1.1. 使用部品

GT20N135SRA

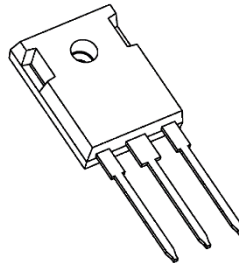
このアプリケーションで使用される東芝製 IGBT である GT20N135SRA は、家電アプリケーションへの適用を想定して設計されています。GT20N135SRA の主な特長として、高速スイッチング、低飽和電圧、高接合温度などがあります。

GT20N135SRA の主な特徴は以下のとおりです。

- 高速スイッチング:IGBT $t_f=0.25 \mu\text{s}$ （標準）（ $I_C = 40 \text{ A}$ ）
- 低飽和電圧: $V_{CE(sat)} = 1.60 \text{ V}$ （標準）（ $I_C = 20 \text{ A}$, $T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ）
- 高接合温度: $T_j = 175 \text{ }^\circ\text{C}$ （最大）
- RC 構造によるダイオード内蔵

GT20N135SRA の主な用途は以下のとおりです。

- 電圧共振インバータースイッチング専用
- ソフトスイッチング専用
- IH 調理器/IH 機器専用



TO-247 パッケージ

2. 回路設計

ここでは、回路設計の要点について説明します。実際の概要については RD206-SCHEMATIC-01 を、材料表については RD206-BOM-01 を参照してください。

2.1. メイン基板回路

図 2.1 にメイン基板の回路を示します。

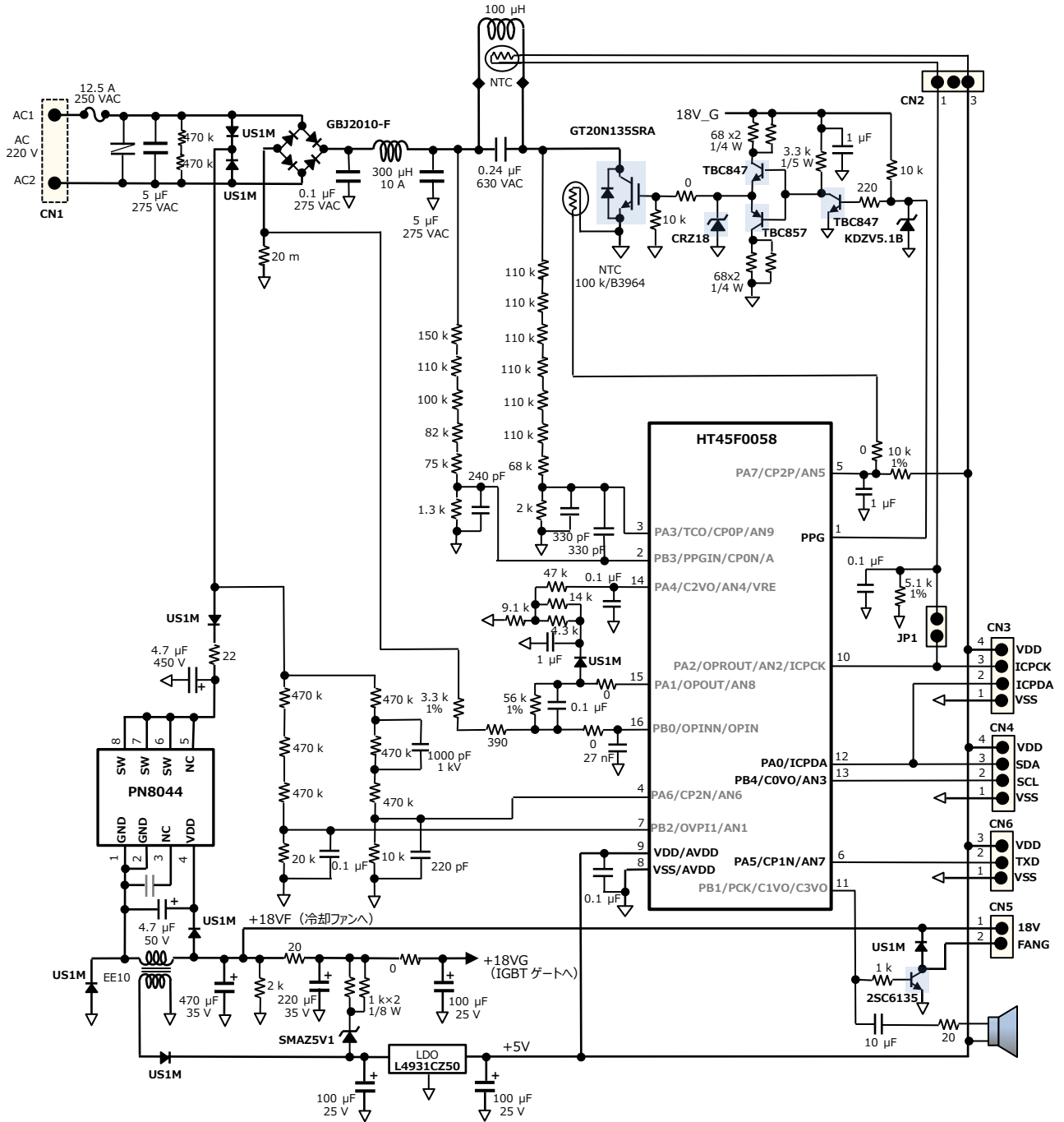


図 2.1 メイン基板の回路

2.2. インバーター周辺回路

GT20N135SRA を使用した IH インバーター周辺回路を図 2.2 に示します。

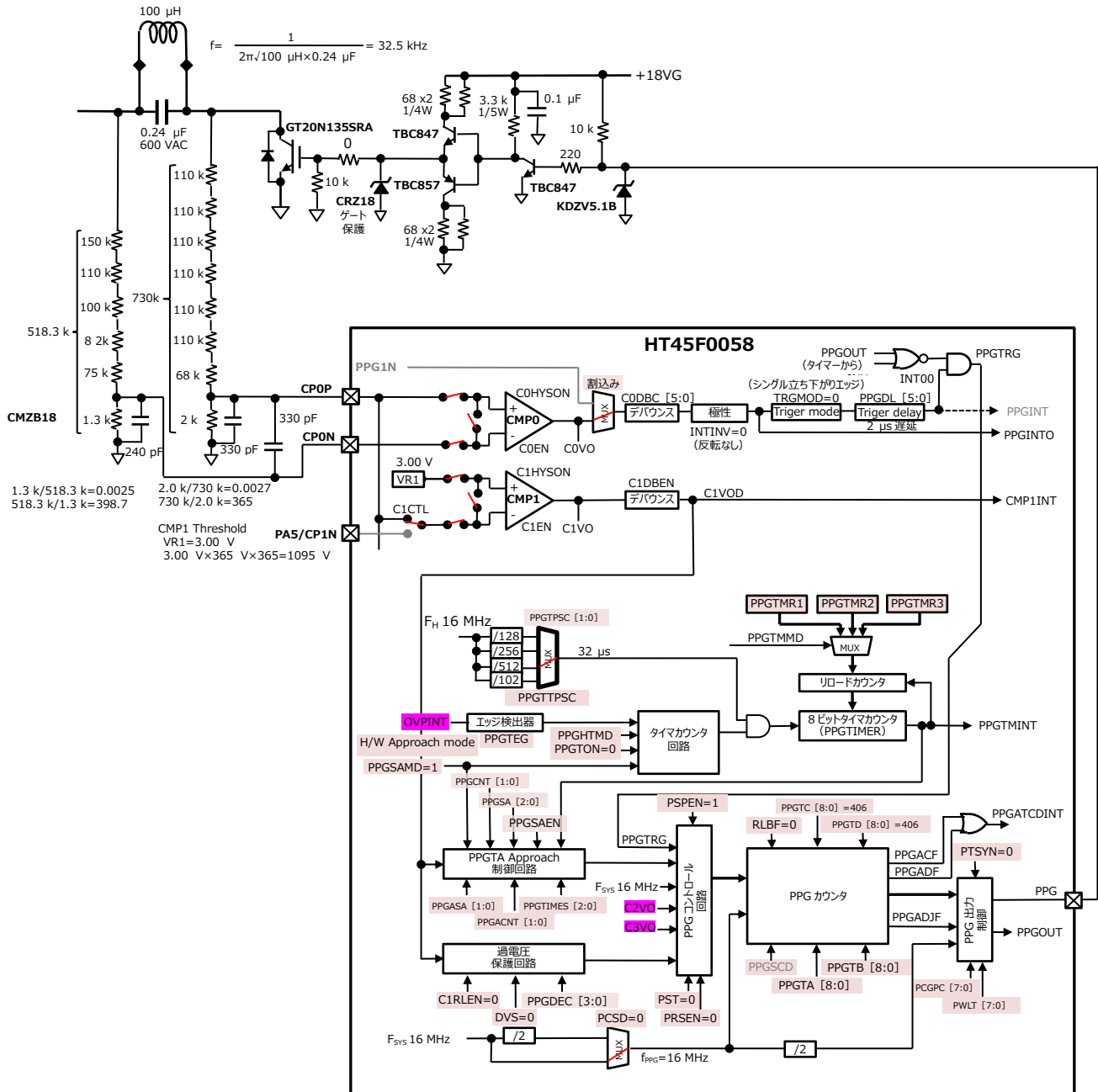
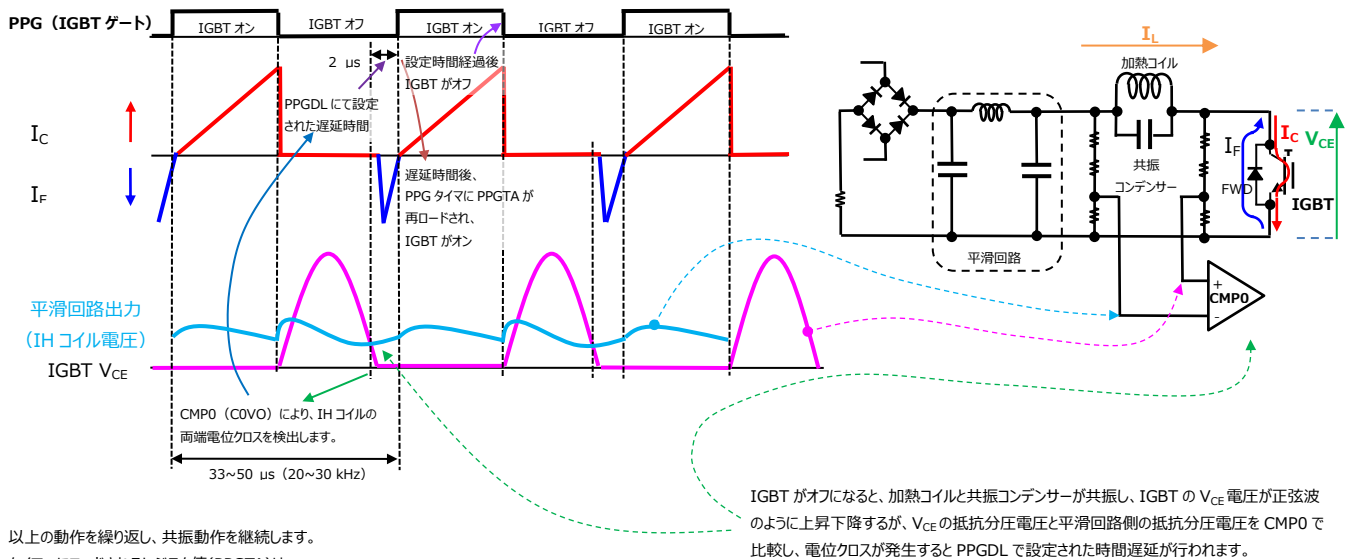


図 2.2 インバーター周辺回路

2.2.1. IGBT の電圧共振ソフトスイッチング

Fig.2.3 に電圧共振ソフトスイッチング動作を示します。タイマー（PPGTA）設定時間の間 IGBT がオンになり、加熱コイルに電流が流れます。その後 IGBT がオフになると、加熱コイルと共振コンデンサーが共振し、IGBT に電圧が印加されます。加熱コイルと共振コンデンサーの共振が反転すると、共振コンデンサー→平滑回路→IGBT 内のフリーホイールダイオード (FWD)→共振コンデンサーのループに電流が流れ始めます。この間、IGBT のコレクターエミッタ間電圧 (V_{CE}) は、フリーホイールダイオードの順方向電圧 (V_F) に等しく、ほぼ 0 です。その後、IGBT は再びオンされ、その結果、再び入力側から加熱コイルに電流が流れます。このシーケンスは繰り返し続けられます。



以上の動作を繰り返し、共振動作を継続します。
タイマーにロードされるレジスタ値(PPGTA)は
目標電力となるよう調整されます。

図 2.3 IGBT の電圧共振ソフトスイッチング動作

2.2.2. IGBT ゲート駆動回路

図 2.4 に IGBT ゲート駆動回路を示します。

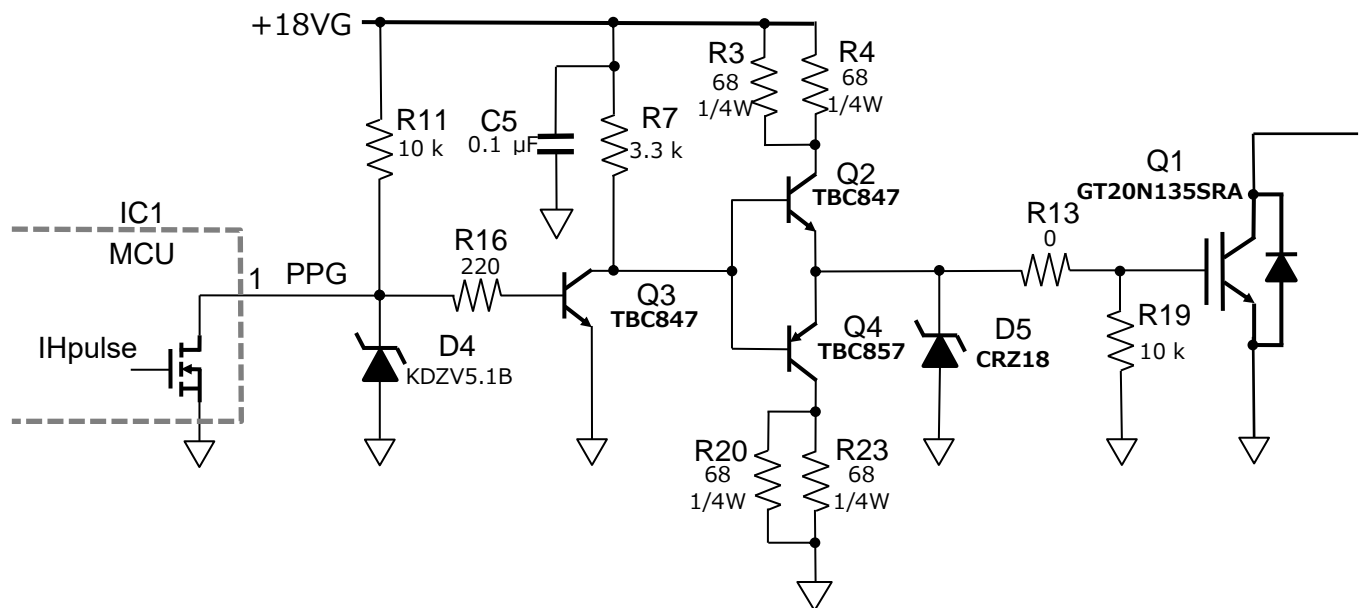


図 2.4 IGBT ゲート駆動回路

MCU から出力される IGBT ゲート駆動パルス信号 (PPG) はオープンドレイン出力のため、外部で R11 によるプルアップ、ならびに電圧制限ツェナーダイオード D4 により、IHpulse 信号がオンの時に L レベル出力 (約 0 V)、IHpulse がオフの時に H レベル出力 (約 5.1 V) になります。

ゲート駆動回路はプッシュプル (トータムポール) 回路構成となっており、PPG が L レベルの時はバイポーラトランジスタ Q3 がオフとなり、Q2 ならびに Q4 のベース電位は約 18 V となるため、Q2 側がオンとなり、R3 ならびに R4 を介して IGBT (Q1) へのベース電圧が印加、ゲート電荷が注入され、Q1 がオンとなります。また PPG が H レベルの時は Q3 がオンとなり、Q2 ならびに Q4 のベース電位は約 0 V となるため Q4 側がオンとなり、R20 ならびに R23 を介して IGBT (Q1) のゲート電荷が放出され、Q1 がオフとなります。

D5 のツェナーダイオードは Q1 のゲート電位が最大 18 V になるように保護する目的で使用します。

ゲート抵抗 R13 は本デザインでは 0 Ω としていますが、実物のスイッチング波形などを確認の上、必要ならば抵抗値を調整してください。

2.3. インバーター電源と AC 電流・電圧検出回路

図 2.5 にインバーター電源と AC 電流・電圧検出回路を示します。AC220 V (180 V~264 V) 電源入力はダイオードブリッジにより全波整流され、直流電源としてインバーターに供給されます。

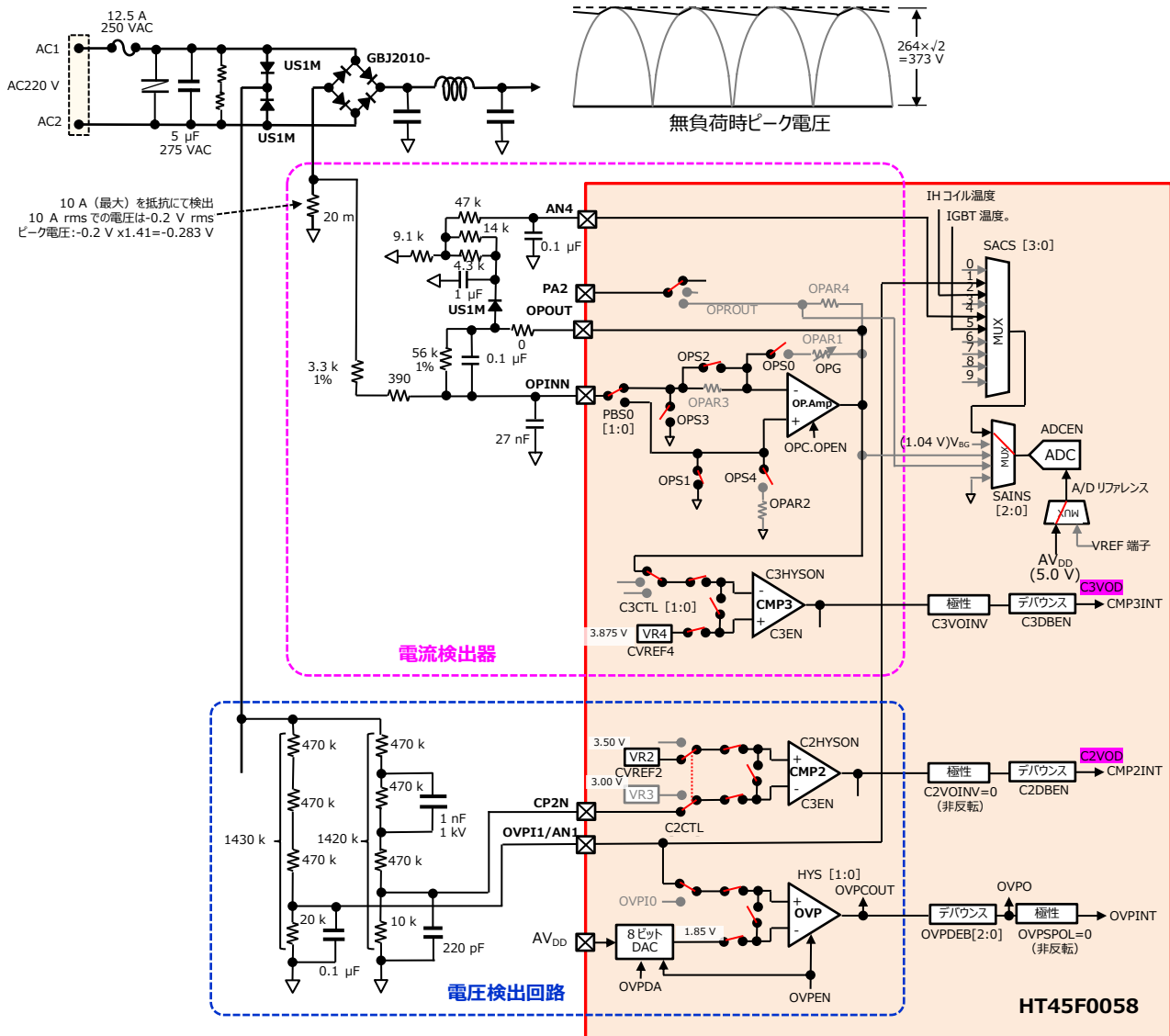


図 2.5 インバーター電源と AC 電流・電圧検出

2.3.1. 電流検出とアクティブローパスフィルター

ダイオードブリッジに接続された 20 mΩ 抵抗を使用して消費電流を検出します。20 mΩ 抵抗で発生する電圧が低いため、MCU(HT45F0058)内蔵のオペアンプを使用して増幅します。ただし、IGBT のスイッチング周波数は 20 kHz~30 kHz であるため、電流を直接測定することはできません。ブリッジ整流により、AC 電源周波数が 50 Hz の場合、ブリッジ出力波形サイクルはその 2 倍の 100 Hz(10 ms サイクル)相当となります。そこで、フィルタを用いて直流成分の電流を測定します。

アクティブローパスフィルターを用いた電流検出手順を図 2.6 に示します。

- ①電流波形は 20 kHz から 30 kHz の IGBT スwitching 波形です
- ②フィルタリングは、1 次ローパスフィルタを備えた反転増幅器を用いて行われます。
- ③ダイオード、コンデンサーにより電圧を安定させます。
- ④分圧抵抗で適正な電圧に分圧します。
- ⑤RC フィルターにて再度フィルタリングを行います。
- ⑥ADC で読み取られた電流値はファームウェアにより、積分、平均値処理されます。

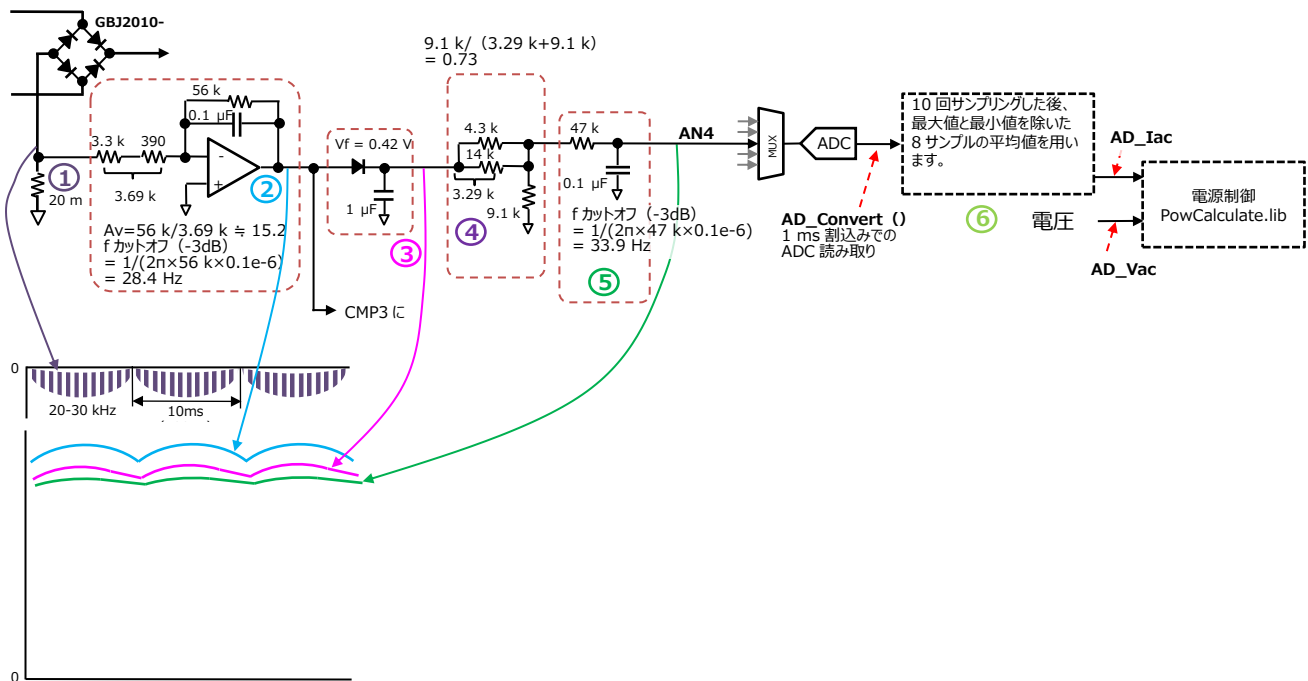


図 2.6 アクティブローパスフィルターを使用した電流検出

基板上的ヒューズ定格は 10 A なので、過電流検出 (E7 誤差) 値は 10 A 以下にする必要があります。したがって、過電流検出のしきい値には 9.8 A を設定します。

2.3.2. 電圧・過電圧検出回路

図 2.7 に電圧検出と過電圧検出に使用する回路を示します。

ダイオードブリッジの出力電圧を分圧抵抗により下げ、左側分圧回路の信号を LPF でフィルタリングした後、ANI1 端子の電圧値を ADC で読み出します。（下図の緑色部分）

本デザインではソフトウェアにより定周期間隔で

AC 電源電圧、鍋底温度、AC 電源電流、IGBT 温度

を読み出しています。ADC は 1 ms 毎に各 10 回の読み出しを行い、最大値/最小値を除外した 8 回のサンプル値平均化をしており、10 サンプル取得に 10 ms 必要とします。

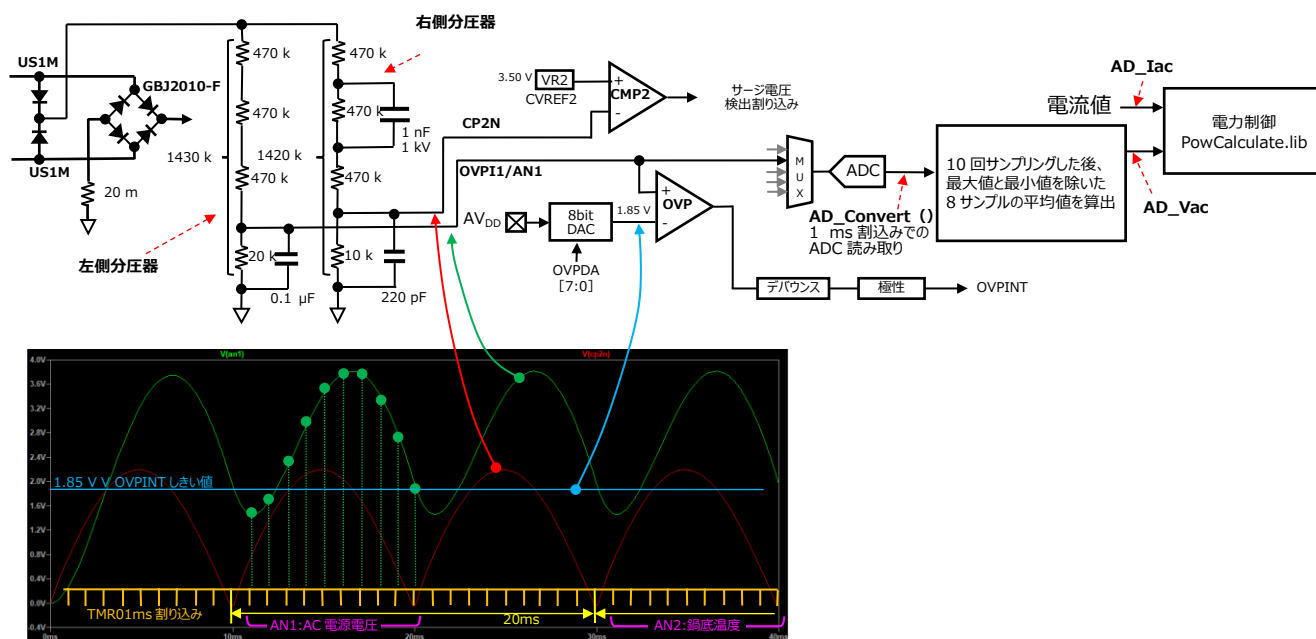


図 2.7 電圧と過電圧の検出

右側分圧器と LPF は、サージ電圧検出に使用されます。本回路の出力電圧（上図赤色表示）は、サージ電圧検出用コンパレータ-CMP2 に送られます。CMP2 割り込みが発生すると IGBT 駆動は停止します。また、この割り込みが 3 秒間発生しなければ、通常動作に復帰します。

2.4. 温度検出回路

本デザインでは、IGBT や鍋底底面の温度検出にサーミスターを使用しています。

2.4.1. IGBT 温度検出

IGBT の温度測定用サーミスターは、IGBT 近隣の基板に実装されています。サーミスターは分圧器構成で接続され、ADC はその出力電圧を読み出すために使用されます。図 2.8 に回路図とサーミスター位置を示します。

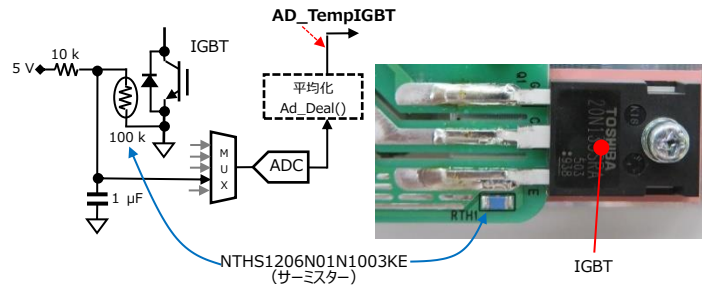


図 2.8 IGBT 温度検出

2.4.2. 鍋底温度検出

鍋底温度を測定するためのサーミスターは、IH コイルの中央に取り付けられています。サーミスターは分圧器構成で接続され、ADC はその出力電圧読み出しに使用されます。図 2.9 に回路図とサーミスター位置を示します。

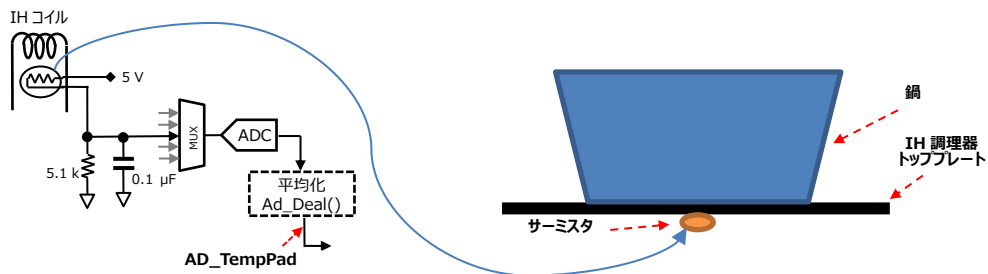


図 2.9 鍋底温度検出

2.5. MCU(HT45F0058)

本デザインの制御用に MCU(HT45F0058/Holtek)が使用されます。

2.5.1. MCU ピンの割り当て

各端子の選択機能を図 2.10 に、各端子の割り当て説明を表 2.1 に示します。

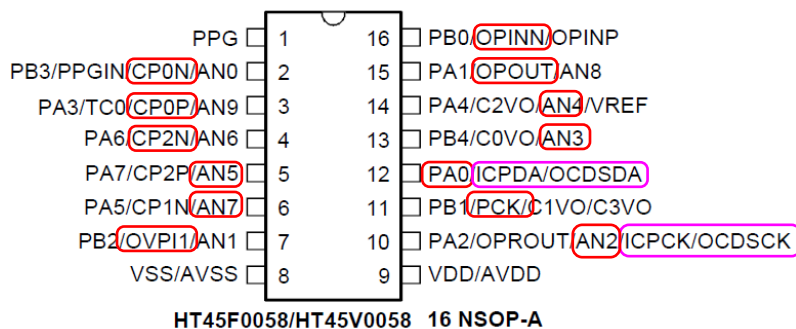


図 2.10 MCU 端子機能

表 2.1 MCU ピンの割り当て

ピン	端子名	I/O	選択機能	説明
1	PPG	OD		IGBT ゲート駆動信号
2	PB3/PPGIN/CP0N/AN0	I	CP0N	IH コイル電圧検出コンパレータ(CMP0) -入力
3	PA3/TC0/CP0P/AN9	I	CP0P	IH コイル電圧検出コンパレータ(CMP0) +入力
4	PA6/CP2N/AN6	I	CP2N	AC 電圧検出コンパレータ2(CMP2) -入力
5	PA7/CP2P/AN5	I	AN5	IGBT 温度検知サーミスター入力
6	PA5/CP1N/AN7	O	PA5	デバッグ用シリアル出力(TXD)
7	PB2/OVPI1/AN1	I	OVPI1/AN1	過電圧検出コンパレータ(OVP)入力および AC 電圧測定用入力
8	VSS/AVSS			GND
9	VDD/AVDD			+5 V
10	PA2/OPROUT/AN2/ICPCK/OCDSCK	I	AN2/ICPCK	MCU 書き込み、鍋底温度検出サーミスター入力
11	PB1/PCK/C1VO/C3VO	O	PCK	FAN/ブザー制御出力
12	PA0/ICPDA/OCSDA	I/O	PA0/ICPDA	制御基板通信信号(I2C バス-SDA)/MCU 書き込み
13	PB4/C0VO/AN3	I/O	PB4	制御基板通信信号(I2C バス-SCL)
14	PA4/AN4/VREF	I	AN4	AC 電流測定用入力
15	PA1/OPOUT/AN8	O	OPOUT	AC 電流検出オペアンプ出力
16	PB0/OPINN/OPINP	I	OPINN	AC 電流検出オペアンプ-入力

2.5.2. MCU クロック系統図

図 2.11 に MCU(HT45F0058)内部のクロック系統図を示します。

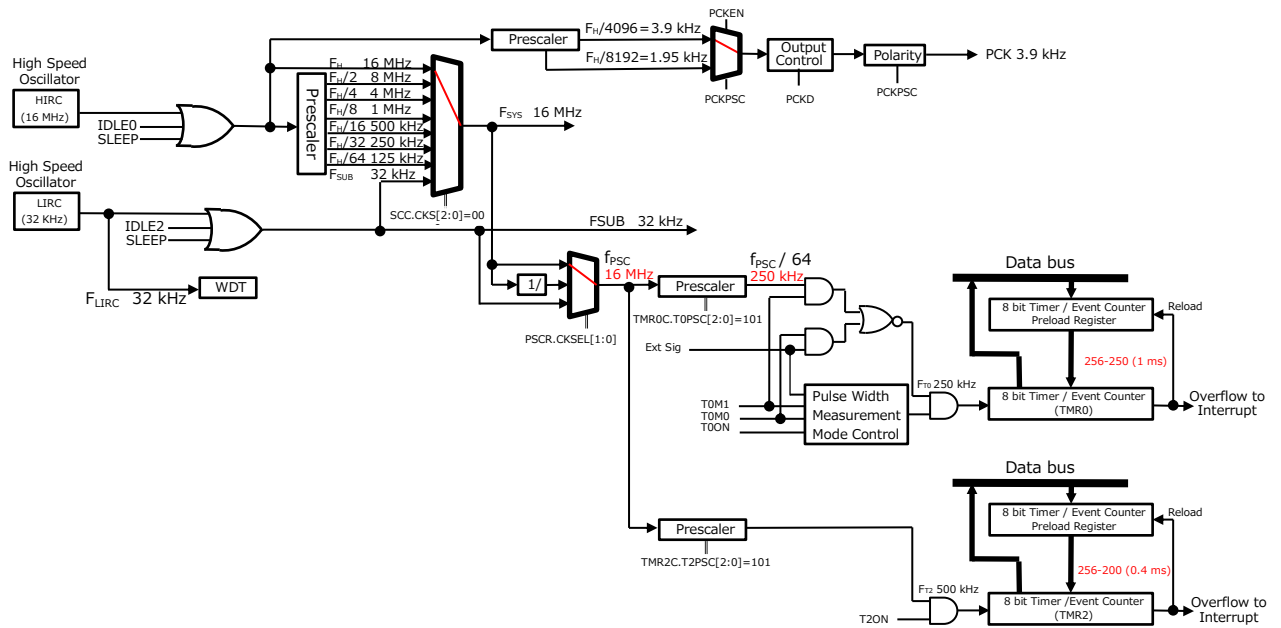


図 2.11 MCU クロック系統図

2.6. I2C 通信

メイン基板の MCU は、I2C バスを使用して制御基板と通信します。この I2C バスは、ソフトウェアによる GPIO 制御により実現されます。

2.6.1. I2C 通信プロトコル

図 2.12 は、メイン基板 – 制御基板間で使用される I2C 通信プロトコルを示します。

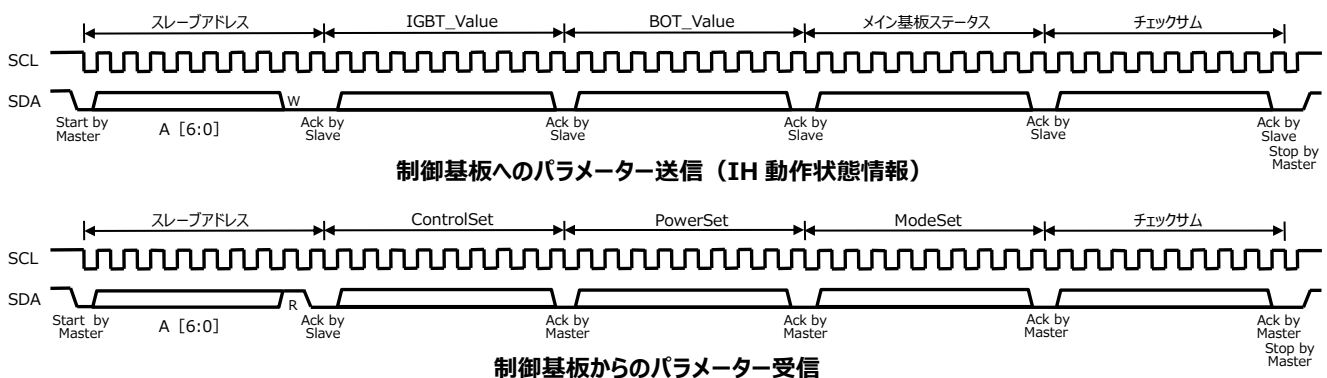


図 2.12 I2C 通信プロトコル

メイン基板から制御基板への送信データパラメーターは以下のとおりです:

IGBT_Value(IGBT 温度)

ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
IGBT_D7	IGBT_D6	IGBT_D5	IGBT_D4	IGBT_D3	IGBT_D2	IGBT_D1	IGBT_D0

A/D コンバータ AN5 (IGBT 温度測定サーミスター) の上位 8 ビット読み出し値を示します。

BOT_Value(鍋底温度)

ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
BOT_D7	BOT_D6	BOT_D5	BOT_D4	BOT_D3	BOT_D2	BOT_D1	BOT_D0

A/D コンバータ AN2 (鍋底温度測定サーミスター) の上位 8 ビット読み出し値を示します。

IH_Status (メイン基板ステータス)

ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
B_ChkSum [2:0]			POT_Chk	STATUS [3]	STATUS [2]	STATUS [1]	STATUS [0]

本装置の状態を示します。

B_ChkSum [2:0] (Byte checksum)

B_ChkSum [2] =bit2 (STATUS [2]) の反転

B_ChkSum [1] =bit1 (STATUS [1]) の反転

B_ChkSum [0] =bit0 (STATUS [0]) の反転

POT_Chk (鍋検出状態)

0 鍋ありを検出

1 鍋なしを検出

STATUS [3:0] (IH エラーステータス)

0000 (0h) 正常動作

0001 (1h) (予約済み)

0010 (2h) 回路故障(過電流、同期なし)

0011 (3h) IGBT 過熱 (110 °C 以上)

0100 (4h) IGBT 温度センサー(サーミスター) の故障

0101 (5h) 鍋底温度(IH コイル)過熱 (188 °C 以上)

0110 (6h) 鍋底温度(IH コイル)センサー(サーミスター) の故障

0111 (7h) AC 入力過電流 (9.8 A 以上)

1000 (8h) AC 入力過電圧 (270 V 以上)

1001 (9h) AC 入力低電圧 (150 V 未満)

1010 (Ah) I2C バス通信障害 (このエラーは実装されていません)

1011 (Bh) (予約済み)

:

1111 (Fh) (予約済み)

制御基板からメイン基板への受信データパラメーターは以下のとおりです:

Control_Set(コマンド)

ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
B_ChkSum [3:0]				OnOffCnt	Buz [1]	Buz [0]	FanCnt

メイン基板に対するコマンドを設定します。

B_ChkSum [3:0] (バイトチェックサム)

B_ChkSum [2] =bit3 (OnOffCnt) の反転

B_ChkSum [2] =bit2 (Buz [1]) の反転

B_ChkSum [1] =bit1 (Buz [10]) の反転

B_ChkSum [0] =bit0 (FanCnt) の反転

OnOffCnt (ON/OFF 制御)

電源の ON/OFF 制御

0 電源 OFF

1 電源 ON

Bzz [1:0] (ブザー制御)

ブザー制御

00 無音

01 200 ms ビープ音

10 2 回発音

11 1 秒発音

FanCnt (FAN コントロール)

冷却ファン制御

0 冷却ファン停止

1 冷却ファン回転

Power_Set(IH 電力設定)

ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
PwrStep [7]	PwrStep [6]	PwrStep [5]	PwrStep [4]	PwrStep [3]	PwrStep [2]	PwrStep [1]	PwrStep [0]

IH 加熱時の電力設定をします。

0d クリアパワー

5d 100W

15d 300W

30d 600W

50d 1000W

60d 1200W

70d 1400W

80d 1600W

90d 1800W

100d 2000W

Mode_Set(電力モード設定)

ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
MSet [7]	MSet [6]	MSet [5]	MSet [4]	MSet [3]	MSet [2]	MSet [1]	MSet [0]

連続動作モードの設定をします。

MSet [7:0] (モード設定)

01h 連続動作

02h 間欠動作

ご利用規約

本規約は、お客様と東芝デバイス&ストレージ株式会社（以下「当社」といいます）との間で、当社半導体製品を搭載した機器を設計する際に参考となるドキュメント及びデータ（以下「本リファレンスデザイン」といいます）の使用に関する条件を定めるものです。お客様は本規約を遵守しなければなりません。本リファレンスデザインをダウンロードすることをもって、お客様は本規約に同意したものとみなされます。なお、本規約は変更される場合があります。当社は、理由の如何を問わずいつでも本規約を解除することができます。本規約が解除された場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄しなければなりません。またお客様が本規約に違反した場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄し、その破棄したことを証する書面を当社に提出しなければなりません。

第1条 禁止事項

お客様の禁止事項は、以下の通りです。

1. 本リファレンスデザインは、機器設計の参考データとして使用されることを意図しています。信頼性検証など、それ以外の目的には使用しないでください。
2. 本リファレンスデザインを販売、譲渡、貸与等しないでください。
3. 本リファレンスデザインは、高温・多湿・強電磁界などの対環境評価には使用できません。
4. 本リファレンスデザインを、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しないでください。

第2条 保証制限等

1. 本リファレンスデザインは、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。
2. 本リファレンスデザインは参考用のデータです。当社は、データおよび情報の正確性、完全性に関して一切の保証をいたしません。
3. 半導体素子は誤作動したり故障したりすることがあります。本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、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。また、使用されている半導体素子に関する最新の情報（半導体信頼性ハンドブック、仕様書、データシート、アプリケーションノートなど）をご確認の上、これに従ってください。
4. 本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、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下さい。当社は、適用可否に対する責任を負いません。
5. 本リファレンスデザインは、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。
6. 当社は、本リファレンスデザインに関して、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。）をせず、また当社は、本リファレンスデザインに関する一切の損害（間接損害、結果的損害、特別損害、付随的損害、逸失利益、機会損失、休業損、データ喪失等を含むがこれに限らない。）につき一切の責任を負いません。

第3条 輸出管理

お客様は本リファレンスデザインを、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てはなりません。また、お客様は「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なければなりません。

第4条 準拠法

本規約の準拠法は日本法とします。