

R2A20133D

R03AN0008JJ0300

アプリケーションノート

Rev.3.00

2013.07.05

1. 概要

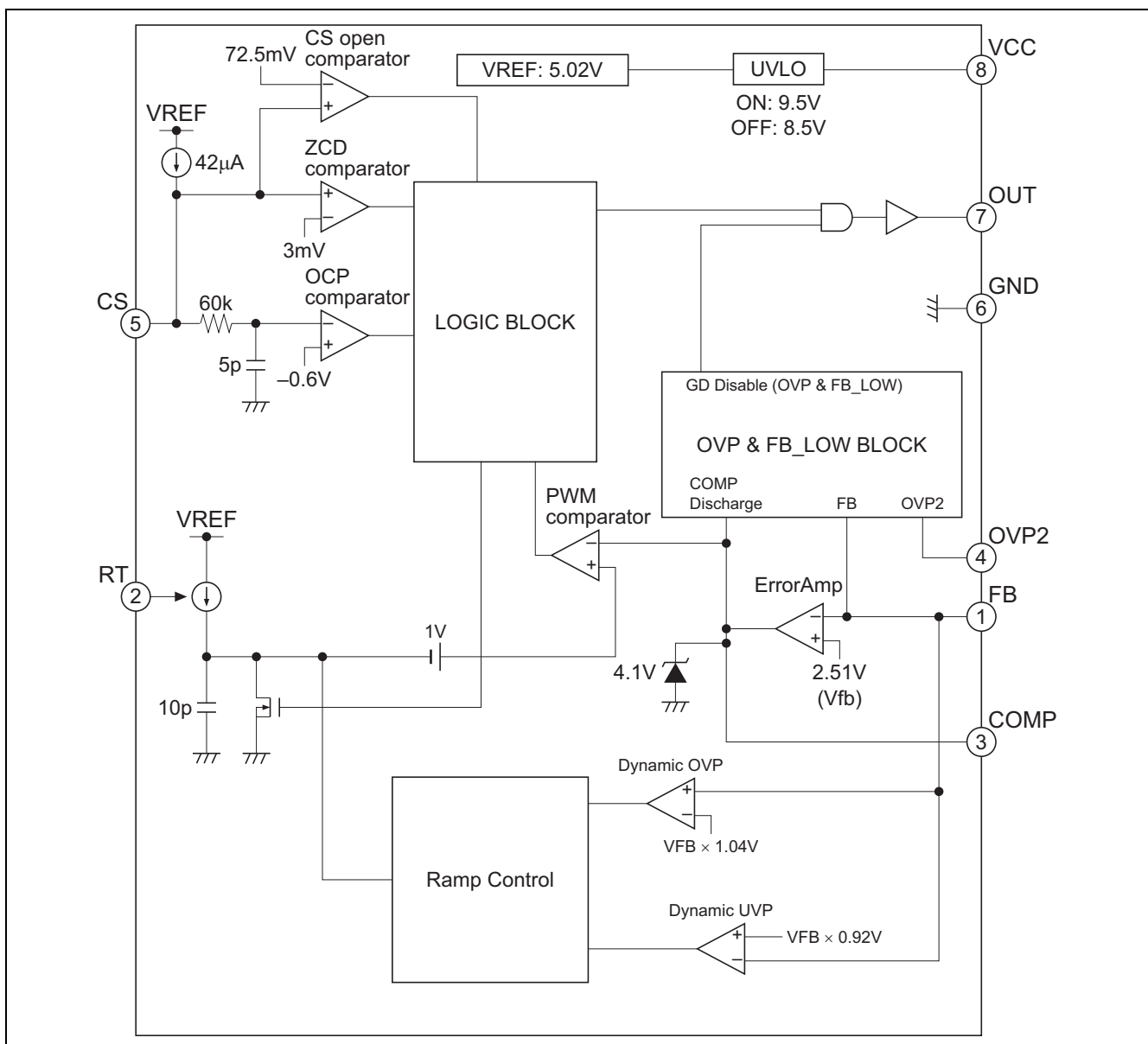
R2A20133D は、臨界モード (CRM) で動作する力率改善 (PFC) コントローラです。

R2A20133D は電圧モード CRM で、パワー-MOSFET は、ブーストインダクタ電流がゼロになったことを検出し ON し、パワー-MOSFET の ON 時間が一定になるように制御されます。

ON 時間が一定なので、ブーストインダクタのピーク電流は、入力電圧波形に追従します。

電圧モード CRM の PFC コントローラは、入力電圧のセンスラインが必要ありません。それにより、電力損失を改善できます。

2. ブロックダイアグラム



### 3. R2A20133D ブロック説明

#### 3.1 ゼロ電流検出

ゼロ電流検出 (ZCD) は、ブーストインダクタのゼロ電流を検出します。ゼロ電流を検出した時にパワー MOSFET を ON させます。ZCD の信号は、CS 端子に GND 電流センス抵抗  $R_{cs}$  で電圧変換した電圧を入力します。

ZCD の閾値は、 $3\text{mV}_{\text{typ}}$  とし、閾値を検出してから MOS のドレイン電圧が低下するための遅延時間 (ZCD\_delay) を設けています。ZCD\_delay 時間は RT 端子抵抗  $R_{RT}$  と連動しており、最適な遅延時間に調整可能です。

なお、ゼロ電流検出はオフセットを持つため、CS 端子バイアス電流  $I_{cs}$  と  $R_{cs}$  と CS 端子間にフィルタ抵抗で ZCD の閾値を負電位側に調整してください。(例:  $3\text{mV} - 42\mu\text{A} \times 180\Omega = -4.56\text{mV}$ )

また、ZCD の閾値は数 mV と小さいことから、ノイズの影響で誤動作しないように、 $0.2\mu\text{s}$  のマスク時間を有しており、マスク期間の  $0.2\mu\text{s}$  の間、ZCD を検出し続けた後に後段に信号を伝達します。

(注: 図 2 の ZCD\_delay 時間は、マスク機能の  $0.2\mu\text{s}$  を含んでいます。)

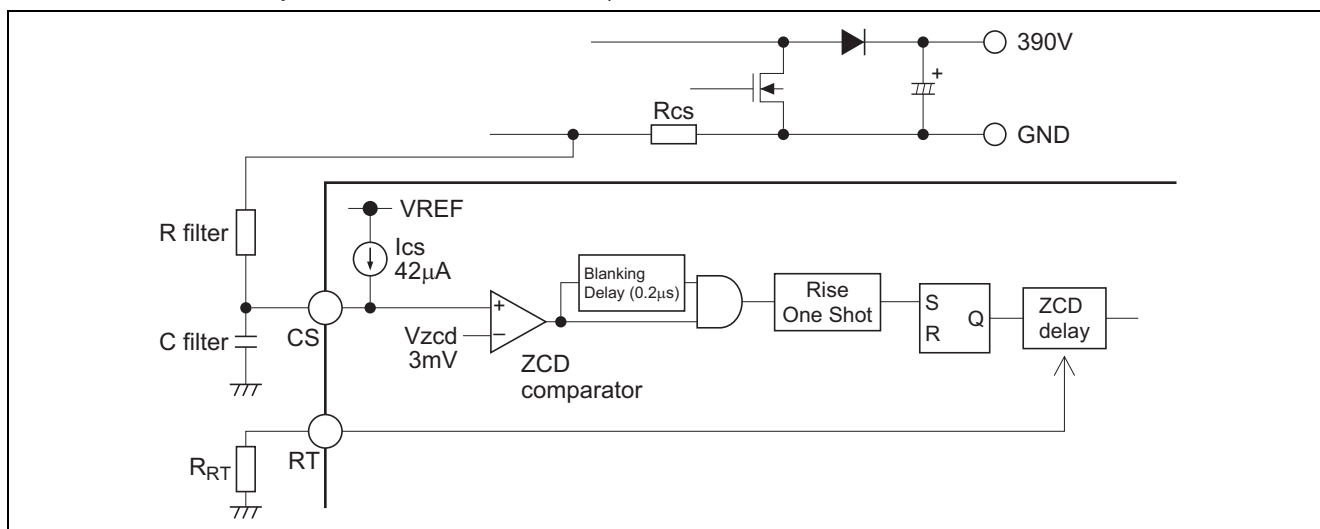


図 1

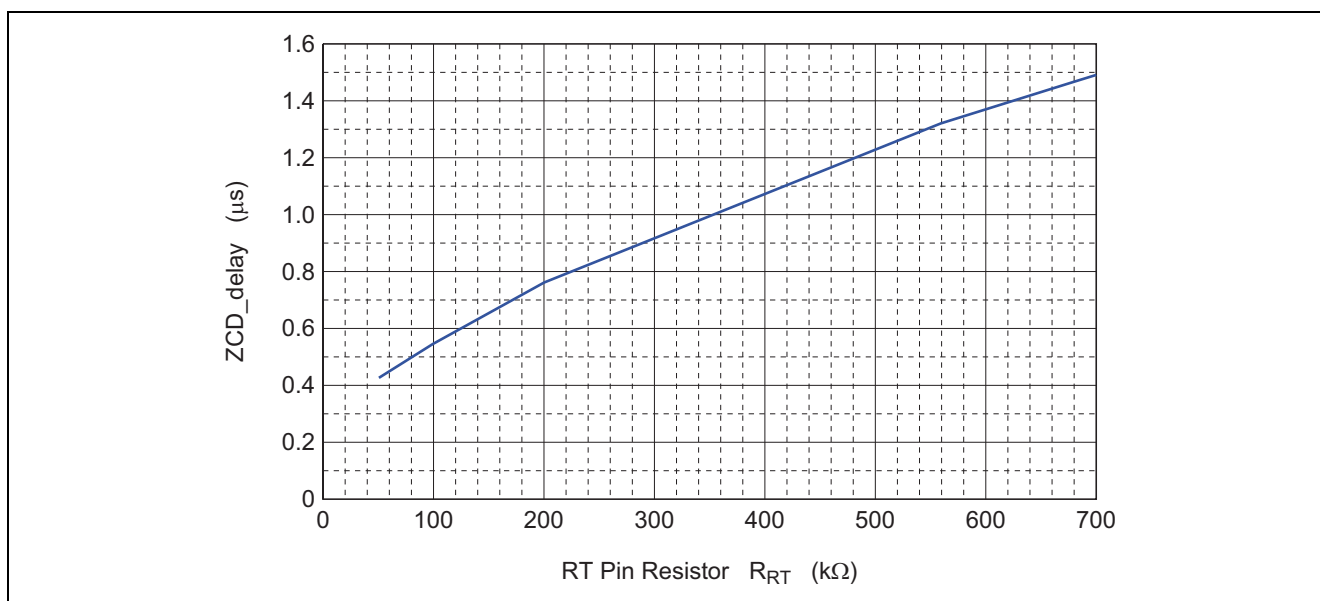


図 2 RT 抵抗と ZCD\_delay 時間の関係

### 3.2 エラーアンプ

PFC 出力電圧制御に使用しているエラーアンプは、トランスコンダクタンスアンプです。

エラーアンプの出力端子 (COMP 端子) の出力電流は、内部基準電圧と PFC 出力電圧フィードバック端子 (FB 端子) の電圧差によって変化します。

なお、COMP 端子の電圧は 4.1V (typ) で内蔵クランプ回路によってクランプされます。

### 3.3 RAMP スロープ (IC 内蔵)

IC に内蔵されている RAMP スロープは、RT 端子の外付け抵抗で決まる電流と IC 内蔵の 10pF の容量で決まります。

抵抗は RT 端子と GND 間に接続します。

最大 ON 時間  $t_{onmax}$  は、エラーアンプの出力電圧が 4.1V<sub>typ</sub> の時に決まります。

RAMP 回路は、ZCD 検出回路がインダクタのゼロ電流を検出すると、RAMP 容量にチャージを始めます。

RAMP スロープがエラーアンプの出力電圧に達すると RAMP 部の容量をディスチャージします。

また、1V<sub>typ</sub> のレベルシフトが内部にあります。よって、COMP 電圧が 1V 以下の場合、RAMP スロープが常にエラーアンプの出力電圧を超えるため、常に ON 時間はゼロになります。

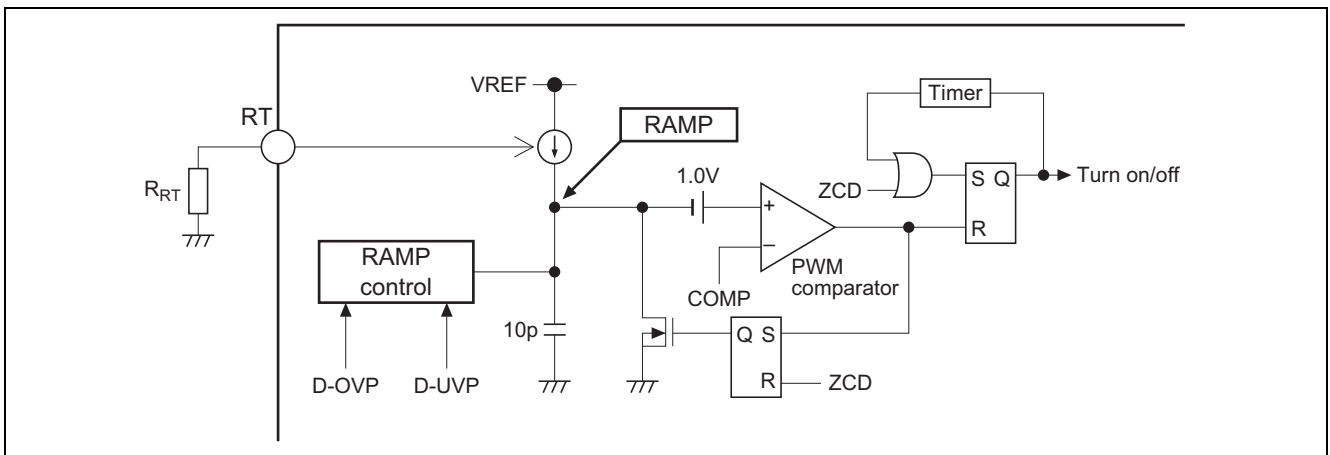


図 3

### 3.4 出力段

ドライブ出力段には、トータムポール出力を内蔵しています。

ドライブ能力の最大定格は、+900mA/-500mA peak です。(IC 側に流れ込む方向を+としています。)

基本的には、直接 MOSFET をドライブすることが可能ですが、ご使用になられる MOSFET の特性に合わせて、ドライブ回路の部品定数変更でドライブ能力の調整を行ってください。ゼロ電流スイッチングのため、Turn-on より Turn-off のスピードが損失に影響します。下図にドライブ回路の一例を示します。

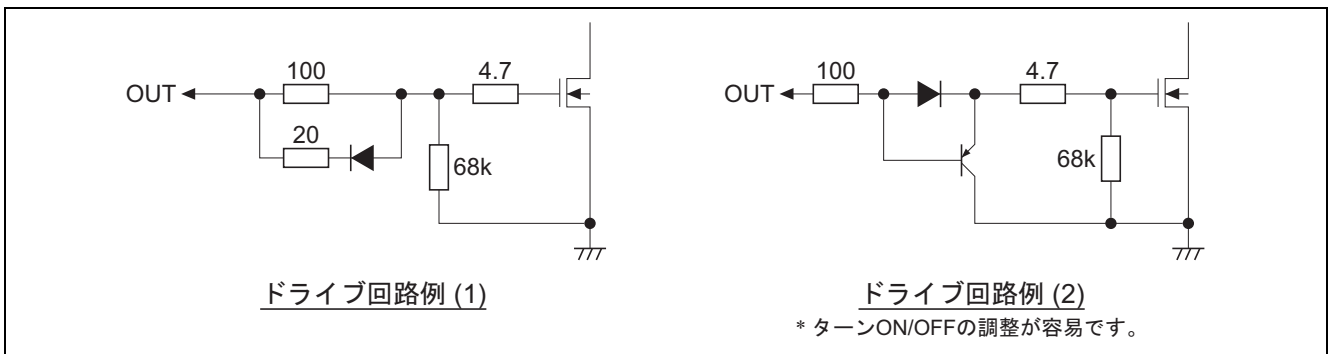


図 4

### 3.5 保護機能

過電圧保護、フィードバック・ループ・ロー検出、過電流保護、周波数制限等の保護機能があります。

#### 【FB 端子系 保護機能群】

##### 3.5.1 スタティック過電圧保護 (S-OVP)

FB 端子電圧が  $1.09 \times V_{fb}$  ( $V_{fb} - 2.51V_{typ}$ ) に達すると IC の出力を停止します。

パワー-MOSFET は、瞬時に停止し、FB 端子電圧が  $1.09 \times V_{fb} - 100mV$  に達するまで停止し続けます。

##### 3.5.2 フィードバック・ループ・ロー検出 (FB-Low)

FB 端子電圧が  $0.3V$  以下の時に、スイッチング動作を停止させると共に COMP 端子電圧をディスチャージします。

解除電圧は、 $0.5V$  で  $0.2V$  のヒステリシスがあります。

##### 3.5.3 ダイナミック過電圧保護 (D-OVP)

FB 端子電圧が  $1.04 \times V_{fb}$  に達すると ON 時間を徐々に制限します。

パワー-MOSFET の ON 時間が緩やかに制限されるために、インダクタ電流が急激に遮断されることによる可聴域のオーディオノイズの発生を避けることができます。

##### 3.5.4 ダイナミック低電圧保護機能 (D-UVP)

FB 端子電圧が  $0.92 \times V_{fb}$  よりも下回ると、COMP 電圧に関わらず、ON 時間を延ばすように制御を行います。D-UVP 機能が働いている時の最大 ON 時間は定常時における ON 時間の 2 倍になります。

また、本機能は UVLO 解除後、FB 端子電圧が一度、 $0.92 \times V_{fb}$  を超えると有効となります。

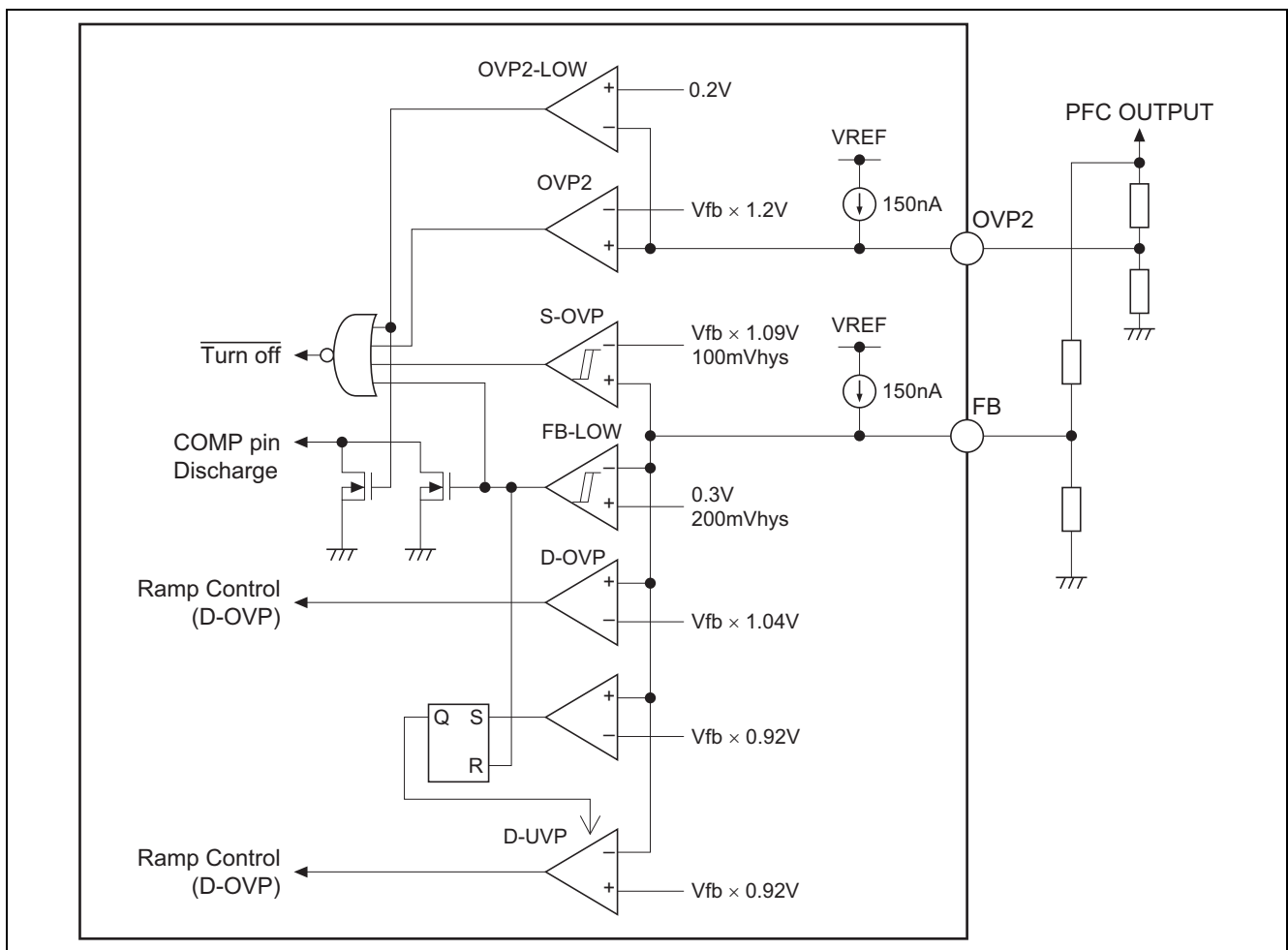


図 5

## 【OVP2 端子系 保護機能群】

### 3.5.5 第二系統過電圧保護 (OVP2)

OVP2 端子電圧が  $1.2 \times V_{fb}$  ( $V_{fb} = 2.51V_{typ}$ ) に達すると IC の出力を停止します。

R2A20133D の OVP2 は非ラッチタイプで、OVP2 端子電圧が  $1.2 \times V_{fb}$  以下になると、再び出力を始動します。

### 3.5.6 OVP2 端子ループ・ロー検出 (OVP2-Low)

OVP2 端子電圧が  $0.2V$  以下の時に、スイッチング動作を停止させると共に COMP 端子電圧をディスチャージします。

## 【CS 端子系 保護機能群】

### 3.5.7 過電流保護 (OCP)

パワーMOS、ブーストインダクタおよび昇圧ダイオードの電流定格保護機能です。

外付けの電流センス抵抗によって GND 電流をセンスし、CS 端子が  $-0.6V$  以下に達すると、パルス・バイ・パルスでゲートドライブを OFF させます。

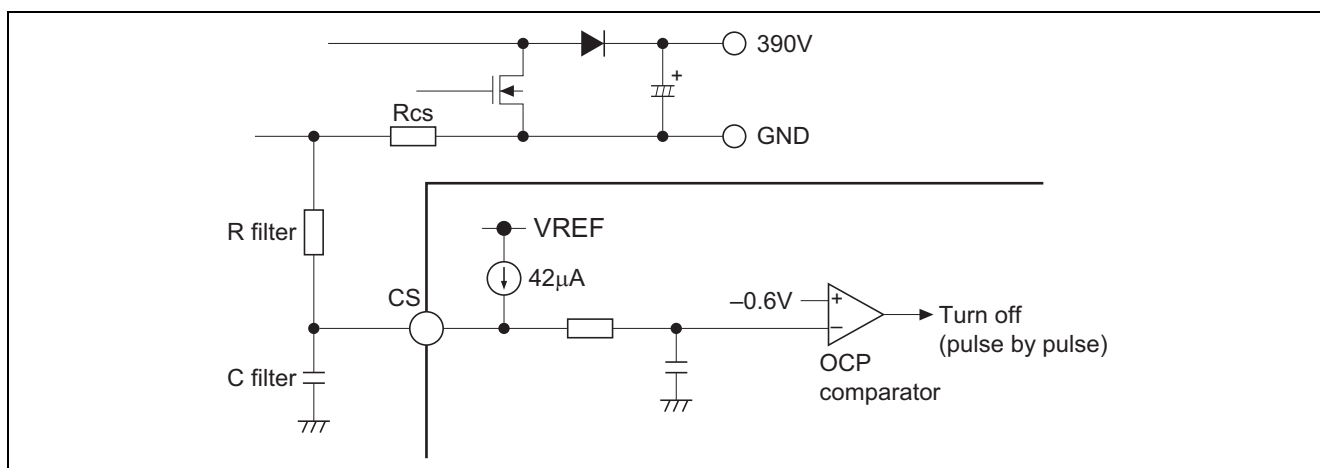


図 6

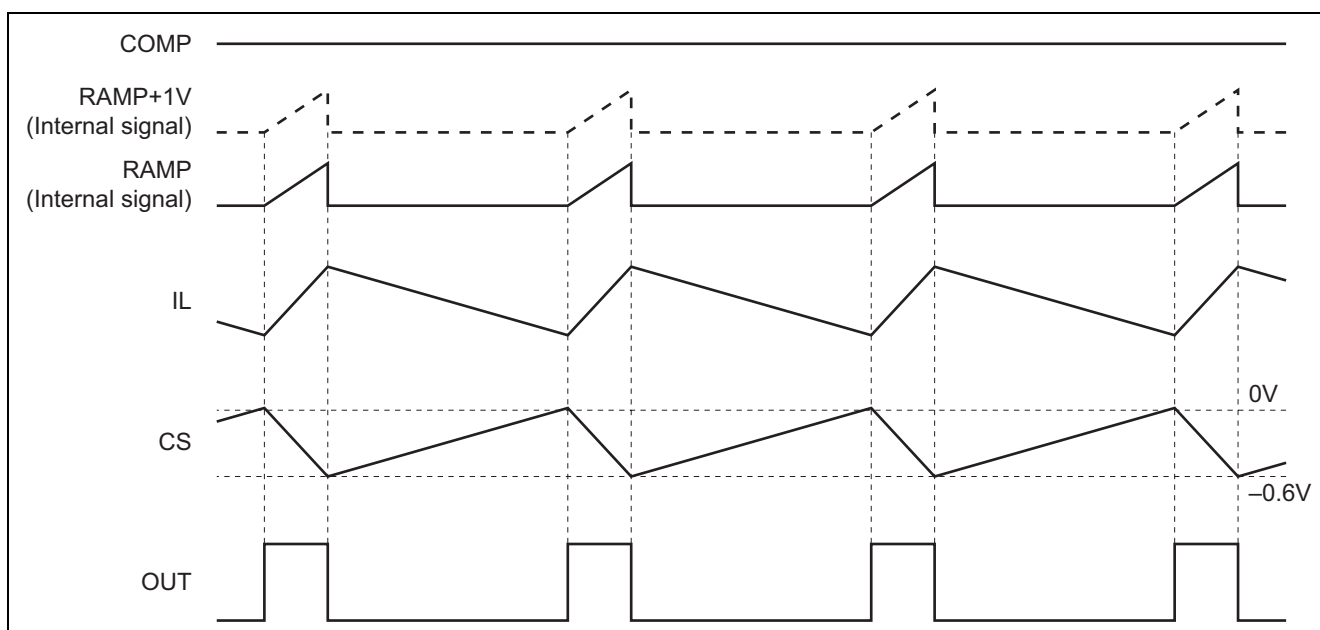


図 7 過電流検出時の動作波形

### 3.5.8 周波数制限機能

臨界モード動作は、軽負荷時に周波数が非常に高くなるため、効率が低下します。  
R2A20133D では、設定周波数以上で発振しないように制限を掛ける機能があります。  
周波数制限機能は、下記の 2 つの機能の複合で周波数が決定します。

#### — ON Time コントロール機能

MOS が ON してから、次のスイッチング動作に入らない時間があります。  
この期間に ZCD を受けても受け付けません。受け付けない期間は  $1.13\mu\text{s}$  typ です。

#### — ZCD 検出デレイ時間調整機能

3.1 項に示しているように、ZCD 閾値を検出してから MOS のドレイン電圧が低下するための遅延時間 (ZCD\_delay) を設けています。

ZCD\_delay 時間は RT 端子抵抗 (RRT) と連動しており、最適な遅延時間に調整可能です。

周波数制限が掛かる周期は、上記の 2 つの機能の合計時間になります。

ZCD 検出デレイ時間調整機能が RT 端子抵抗値により変化するので、周波数制限機能も同じく RT 端子抵抗値により調整可能です。

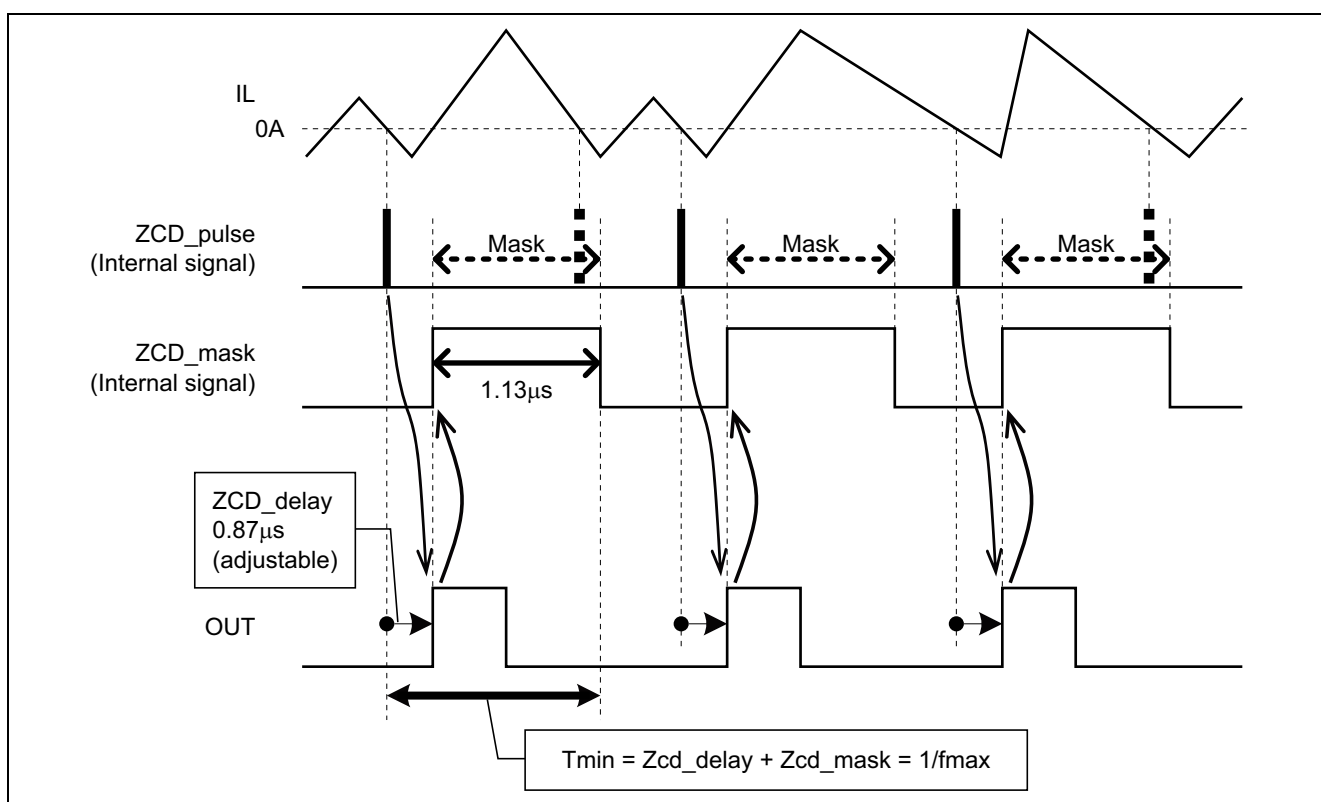


図 8 周波数制限動作時の動作波形

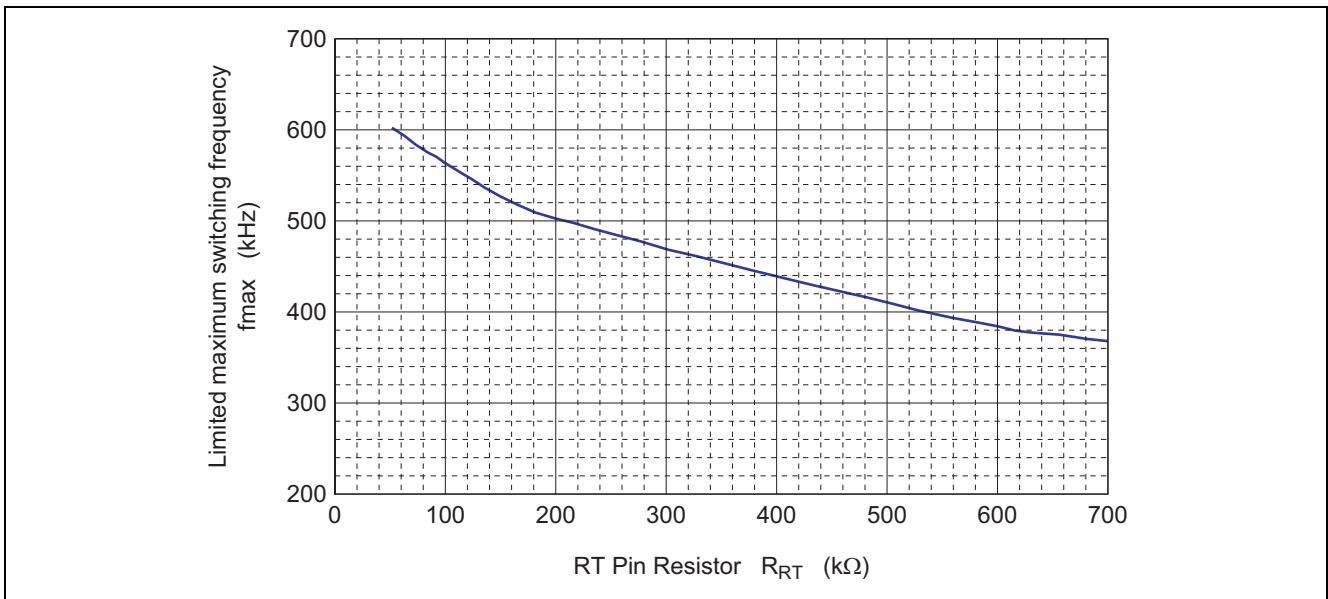


図9 RT抵抗と周波数制限機能の関係

### 3.5.9 リスタート動作の制限機能

R2A20133DはZCDが一定期間(150 $\mu$ s<sub>typ</sub>)ない場合は、強制的にMOSをONさせる機能を設けていますが以下の場合、リスタート動作を停止し、MOSに大電流が流れることを防ぎます。

- (例1) AC電圧を投入した瞬間にブーストインダクタを介して出力容量にラッシュ電流が流れる場合
- (例2) ダイオード・ブリッジによって整流されたAC電圧がブーストダイオードの順方向電圧とPFC出力を加えた電圧を超えるような期間がある場合

どちらの例もブーストインダクタに電流が流れ続けているため、CS端子電圧は負電位となります。このような期間が存在する場合はリスタート動作を停止させています。

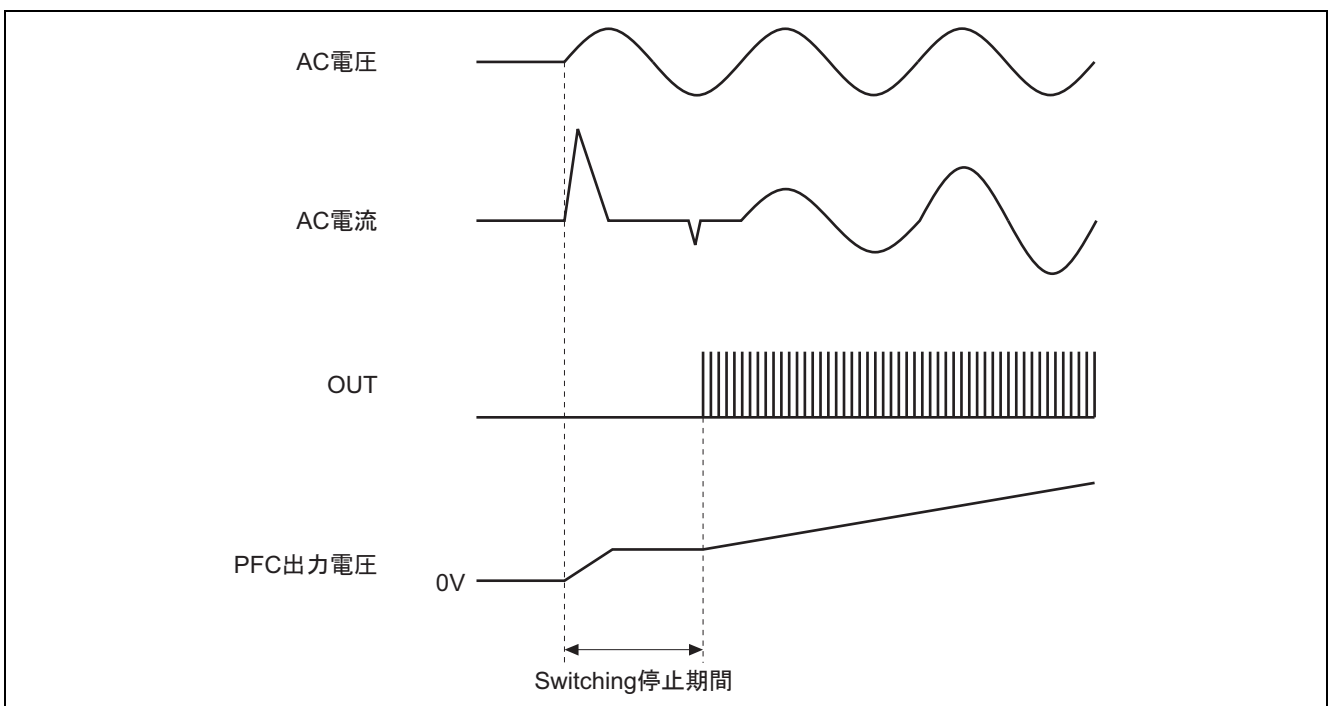


図10 Switching動作停止(例)

### 3.6 PFC OFF 方法

PFC のオフに関しては、COMP 電圧 ( $1V_{typ}$  以下) を引き抜くことでゲートパルスを停止させることができます。

### 3.7 OVP2 機能停止方法

OVP2 機能を使用しない場合は、OVP2 端子を RT 端子へショートしてください。



## 4. 回路定数設定

### 4.1 ブーストインダクタ

ブーストインダクタ値は、最低スイッチング周波数が可聴周波数に入らないように設定する必要があります。

最低発振周波数を高く設定することも可能ですが、臨界モード PFC において最低発振周波数を高く設定するのは効率が悪くなるので推奨いたしません。

最低スイッチング周波数は、インダクタや入力容量のオーディオノイズを避けるために、最低でも可聴周波数である 20kHz 以上にしなければいけません。一般的には 50kHz 以上にします。

臨界モードの発振周波数には式(1)の関係があります。変換効率 $\eta$ は、およそ 0.9 を入力します。

$$f_{SW} = \frac{V_{AC}^2 \times (V_o - \sqrt{2} \times V_{AC}) \times \eta}{2 \times L \times V_o^2 \times I_{omax}} \quad \dots (1)$$

$f_{SW}$  [Hz]: Switching frequency  
 $V_{AC}$  [V]: Effective value of AC input voltage  
 $V_o$  [V]: PFC output voltage  
 $I_{omax}$  [A]: Maximum output current  
 $L$  [H]: Boost inductance

PFC 出力を一定とした時、発振周波数は AC 入力電圧範囲と出力電圧によって異なります。

よって、目標の最低発振周波数を満足する昇圧インダクタ値は、式(1)を変形した式(2)、(3)によって求められます。

最低 AC 電圧入力時と最高 AC 電圧入力時で、式(2)と(3)で小さい方のインダクタ値が最低値となります。変換効率 $\eta$ は、およそ 0.9 を入力します。

$$\left. \begin{aligned} L_{ACLow} [H] &= \frac{V_{ACLow}^2 \times (V_o - \sqrt{2} \times V_{ACLow}) \times \eta}{2 \times f_{SWLow} \times V_o^2 \times I_{omax}} \quad \dots (2) \\ L_{ACHi} [H] &= \frac{V_{ACHi}^2 \times (V_o - \sqrt{2} \times V_{ACHi}) \times \eta}{2 \times f_{SWLow} \times V_o^2 \times I_{omax}} \quad \dots (3) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{式(2)と(3)で小さい方の} \\ \text{L値が最低値となります。} \end{array}$$

$L_{ACLow}/L_{ACHi}$  [H]: Boost inductance  
 $V_{ACLow}$  [V]: Effective value of minimum input voltage  
 $V_{ACHi}$  [V]: Effective value of maximum input voltage  
 $V_o$  [V]: PFC output voltage  
 $I_{omax}$  [A]: Maximum output current  
 $f_{SWLow}$  [Hz]: Minimum switching frequency

### 4.2 出力容量

任意のホールドアップ時間を満足する容量値は次式によって求められます。

$$C_o [F] \geq \frac{2 \times P_o \times t_{hold}}{V_o^2 - V_{omin}} \quad \dots (4)$$

$t_{hold}$  [s]: Hold-up time  
 $V_{omin}$  [V]: Minimum output voltage  
 $P_o$  [W]: Maximum output power

### 4.3 パワー-MOSFET、ブーストダイオード

パワー-MOSFET とブーストダイオードに流れるピーク電流は、次式によって求められます。  
変換効率 $\eta$ は、およそ 0.9 を入力します。

$$I_{Lpk} [A] = \frac{2\sqrt{2} \times P_o}{V_{ACLow} \times \eta} \quad \dots (5)$$

### 4.4 過電流検出抵抗 $R_{cs}$

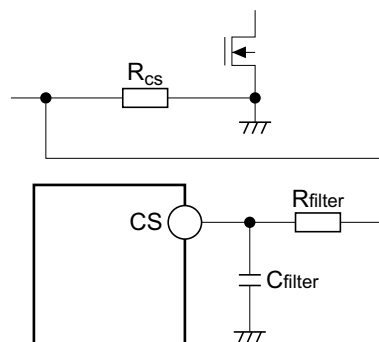
$R_{cs}$  は、式(6)によって求められます。変換効率 $\eta$ は、およそ 0.9 を入力します。

$R_{cs}$  は数 10m $\Omega$ の小さな抵抗値になりますので、配線インピーダンスの影響に注意してください。

また、スイッチングノイズを取るために、フィルタを挿入することをお勧めします。

仮に定格の  $I_{Lpk}$  値に対し、+20%のマージンを取って過電流検出値を設定した場合、カレントリミッタ係数 $\beta$ は、1.2 を入力します。

$$R_{cs} [\Omega] = \frac{0.6 \times V_{ACLow} \times \eta}{2\sqrt{2} \times P_o \times \beta} \quad \dots (6)$$



【注】  $R_{cs}$  を小さくすると、CS 端子に印加される電圧値が小さくなり、高 AC 入力電圧時にリスタート動作に入りやすくなり、音鳴きの原因になります。

効率を重視して  $R_{cs}$  を小さくする場合は注意が必要です。

また、フィルタのカットオフ周波数を変える場合は、 $R_{filter}$  を固定として  $C_{filter}$  の容量値で調整を行ってください。

$R_{filter}$  の抵抗値を大きくすると、リスタート動作に入りやすくなります。

また、もしも過電流設定を  $I_{lipk}$  以下に設定してしまうと、最大負荷時に PFC 出力電圧が過電流保護機能により低下します。

#### 4.5 RT 抵抗の選定

最大負荷をとるときに最低限必要になる ON 時間  $T_{on\_need}$  は、次式によって求められます。変換効率  $\eta$  は、およそ 0.9 を入力します。

$$T_{on\_need} [s] = \frac{2 \times L \times P_o}{V_{ACLow}^2 \times \eta} \quad \dots (7)$$

RT 端子に接続する抵抗値によって、出力できる最大 ON 時間  $T_{on\_max}$  が図 11 のように制御されます。式(7)で算出された  $T_{on\_need}$  以上のパルスが出せる RT 端子抵抗値をグラフから求めてください。

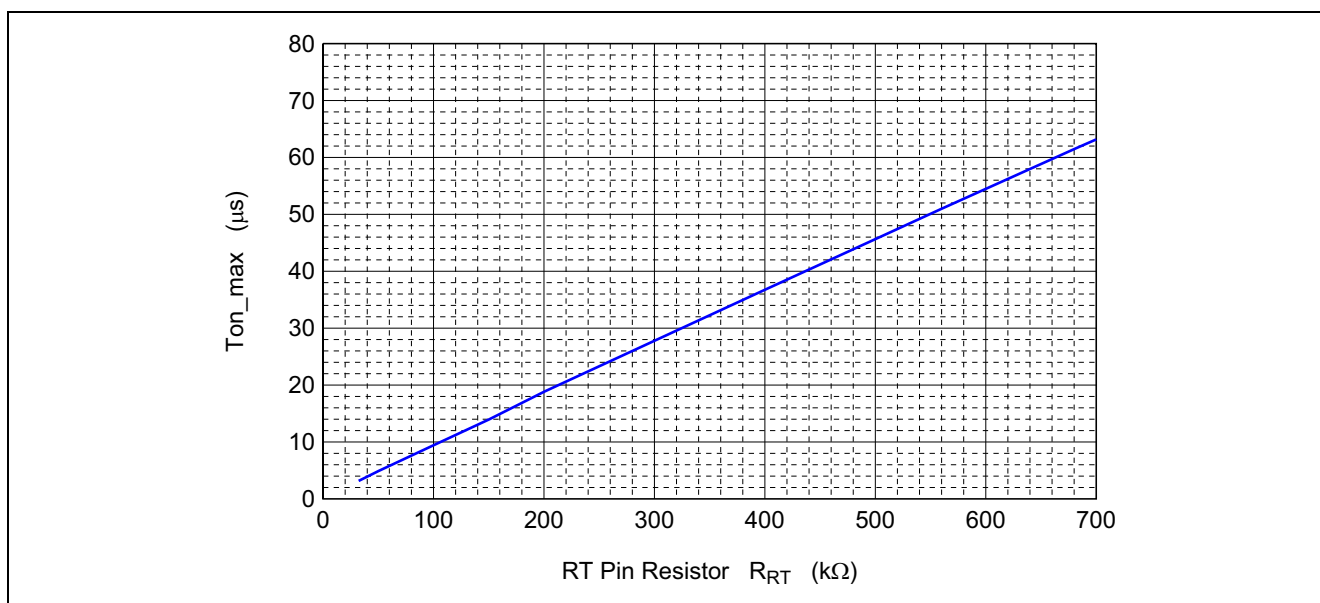


図 11 RT 抵抗と最大 ON 時間の関係

### 4.6 エラーアンプ (gm アンプ) の周波数特性

エラーアンプはトランスコンダクタンスアンプ (以下 gm アンプ) です。

gm アンプは入力側へ帰還をかける必要がないため、帰還回路の入力側への影響を無くすることができます。

gm アンプのゲインはトランスコンダクタンスと出力インピーダンスの積で表され、式(8)によって求められます。

ここで、 $G_{m-v}$  はエラーアンプのトランスコンダクタンス、 $R_{vo}$  はエラーアンプ自身の出力抵抗です。

各定数を変えた場合のゲインの変化の概略を図 12 に示します。

図 13 にエラーアンプの周波数特性の例を示します。

$$G_V = G_{m-v} \times \frac{1}{\frac{1}{R_{vo}} + \frac{1}{R_{eo1}} + j\omega C_{eo1} + \frac{1}{R_{eo2} + \frac{1}{j\omega C_{eo2}}}} \quad \dots (8)$$

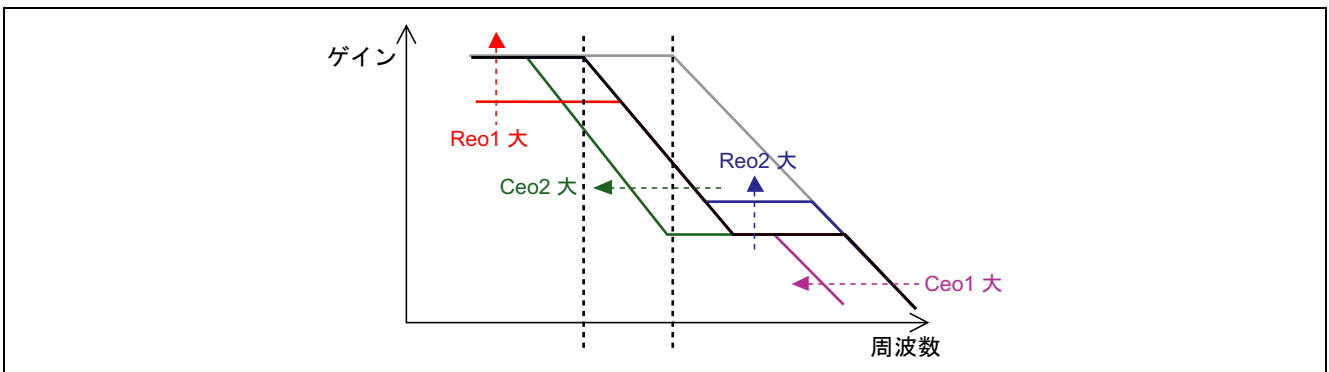
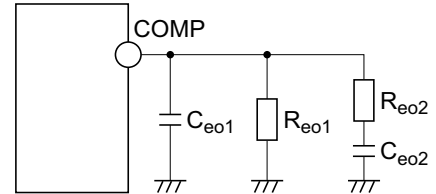


図 12 ゲイン周波数特性の概略

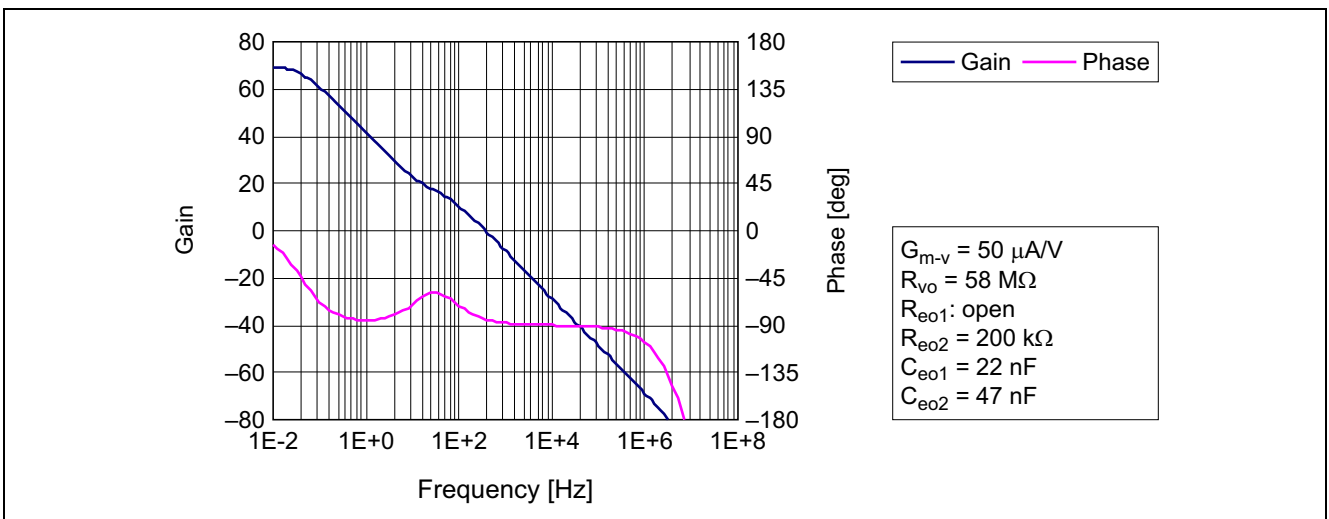


図 13 エラーアンプ周波数特性

## 5. レイアウトパターンのアドバイス

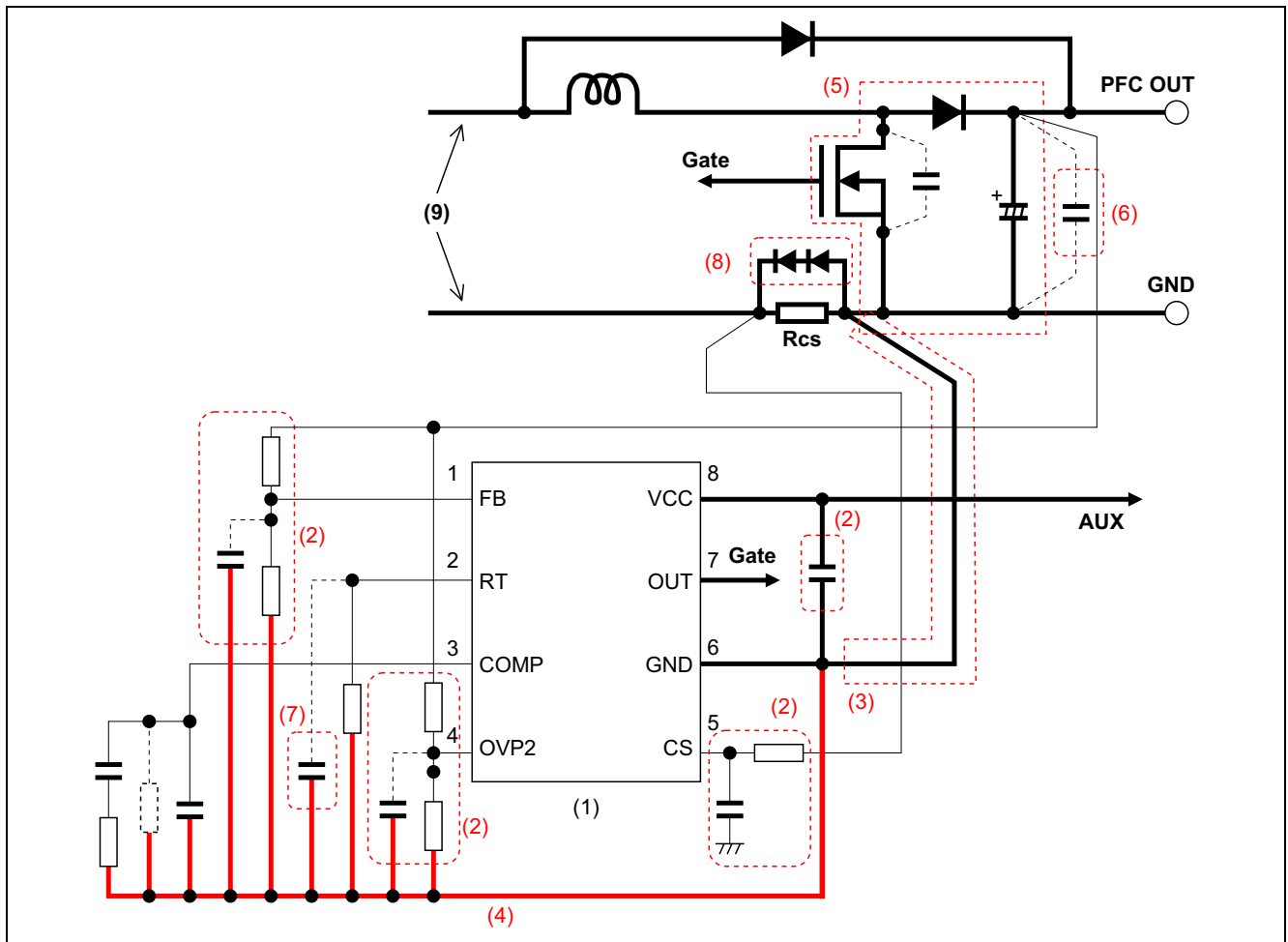


図 14

- (1) PFC IC は高電圧スイッチング部品 (パワー-MOSFET、ダイオード、ブーストコイル) からできるだけ離し、スイッチングノイズが乗らないようにしてください。  
特にパワー-MOSFET のドレインの輻射に注意してください。
- (2) CS 端子のフィルタ、FB ライン、OVP2 ラインの抵抗は輻射ノイズの影響を避けるため可能な限り IC の直近に配置してください。  
また、VCC のバスコンも可能な限り IC の直近に配置してください。  
FB ライン、OVP2 ラインに 1MΩ以上の高抵抗を用いる場合は、FB 端子と GND 間に 1000pF 程度の容量を配置ください。
- (3) IC の GND ラインは単独の太いパターンで Rcs 抵抗 (出力側) に配線してください。
- (4) FB 端子、COMP 端子、RT 端子、OVP2 端子の外付け部品の GND は共通にして、IC の GND 端子に単独に配線してください。
- (5) 電流が不連続となるパターンをできる限り短くしてください。特に、パワー-MOSFET のドレインとブーストダイオードのアノードの距離を短くすることで、ターンオフ時のドレイン電圧のオーバershootが抑えられます。
- (6) 出力電圧のスイッチングリップル低減のために、フィルムコンデンサを実装する場合には、ダイオードの近くに挿入してください。このときのフィルムコンデンサは高周波特性の良いものをお使いください。
- (7) RT 端子に 400kΩ以上の抵抗を用いる場合は、RT 端子と GND 間に 1000pF 程度の容量を配置ください。
- (8) 起動、瞬停時などの突入電流発生時に CS 端子の最大定格 (-5V) を越えないよう、Rcs 抵抗直近にクランプ回路 (例: ダイオード×2 個) を挿入ください。
- (9) PFC のパワー配線と IC の信号線が近くで併走することは避けてください。

ホームページとサポート窓口

ルネサス エレクトロニクスホームページ

<http://japan.renesas.com/>

お問合せ先

<http://japan.renesas.com/inquiry>

すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2012.01.17	—	初版発行
2.00	2012.02.07	11	図 11 を差し替え
3.00	2013.07.05	9	“4.1 ブーストインダクタ”を修正

## ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。お客様の機器・システムの設計において、回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因して、お客様または第三者に生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. 本資料に記載されている情報は、正確を期すため慎重に作成したのですが、誤りがないことを保証するものではありません。万一、本資料に記載されている情報の誤りに起因する損害がお客様に生じた場合においても、当社は、一切その責任を負いません。
3. 本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害に関し、当社は、何らの責任を負うものではありません。当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
4. 当社製品を改造、改変、複製等しないでください。かかる改造、改変、複製等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
5. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。  
標準水準： コンピュータ、OA機器、通信機器、計測機器、AV機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等  
高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通用信号機器、防災・防犯装置、各種安全装置等  
当社製品は、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（原子力制御システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、使用することはできません。たとえ、意図しない用途に当社製品を使用したことによりお客様または第三者に損害が生じて、当社は一切その責任を負いません。なお、ご不明点がある場合は、当社営業にお問い合わせください。
6. 当社製品をご使用の際は、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他の保証範囲内でご使用ください。当社保証範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
7. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は耐放射線設計については行っておりません。当社製品の故障または誤動作が生じた場合も、人身事故、火災事故、社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
8. 当社製品の環境適合性等の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合せください。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、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、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、当社は、一切その責任を負いません。
9. 本資料に記載されている当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。また、当社製品および技術を大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的その他軍事用途に使用しないでください。当社製品または技術を輸出する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他輸出関連法令を遵守し、かかる法令の定めるところにより必要な手続を行ってください。
10. お客様の転売等により、本ご注意書き記載の諸条件に抵触して当社製品が使用され、その使用から損害が生じた場合、当社は何らの責任も負わず、お客様にてご負担して頂きますのでご了承ください。
11. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。

注1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサスエレクトロニクス株式会社およびルネサスエレクトロニクス株式会社がその総株主の議決権の過半数を直接または間接に保有する会社をいいます。

注2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注1において定義された当社の開発、製造製品をいいます。



ルネサス エレクトロニクス株式会社

営業お問合せ窓口

<http://www.renesas.com>

営業お問合せ窓口の住所は変更になることがあります。最新情報につきましては、弊社ホームページをご覧ください。

ルネサス エレクトロニクス販売株式会社 〒100-0004 千代田区大手町 2-6-2（日本ビル）

技術的なお問合せおよび資料のご請求は下記へどうぞ。  
総合お問合せ窓口：<http://japan.renesas.com/contact/>