特集論文

レーザトリミング技術を用いた高精度温度出力機能内蔵LVIC

山本晃央*
酒井伸次*
平井宜彦**

Low Voltage IC with High Precision Temperature Signal using Laser Trimming

Akihisa Yamamoto, Shinji Sakai, Yoshihiko Hirai

要　旨

近年，世界的な地球環境保護の高まりの中で，省エネルギー化がより重要視されており，モータを効率的に駆動できるインバータ化が広く浸透してきている。白物家電市場ではインバータユニットの更なる低コスト化を進めており，周辺部品の削減などの強い要望がある。

このような市場要求に対応するため，三菱電機のDIPIPM(Dual In-line Package Intelligent Power Module)ではモジュール温度情報をアナログ信号として外部へ出力する機能をLVIC(Low Voltage Integrated Circuit)へ内蔵した。

本稿では超小型DIPIPM“Ver.5シリーズ”に搭載されているレーザトリミング技術を用いた温度出力機能内蔵LVICについて述べる。このLVICの特長は次のとおりである。

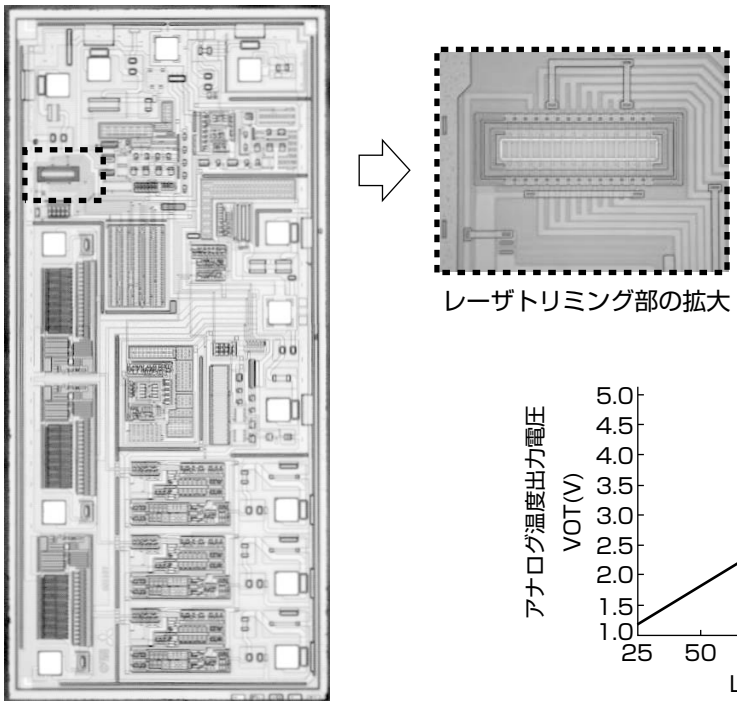
(1) モジュール温度検出を目的に取り付けていた外付けのサーミスタが不要となり，インバータユニットの小型化，低コスト化に貢献できる。

(2) 温度センサをモジュール内に配置できるため，IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)の過熱をいち早く検知して，インバータの信頼性向上に貢献できる。

(3) レーザトリミングによる信号出力特性の調整を行なっており，高精度な温度検出が可能である。

(4) 温度信号特性は線形であり，信号処理が容易である。

今後，このLVICに用いた温度検出技術を他のDIPIPMシリーズへ展開する。



超小型DIPIPM Ver.5シリーズ搭載LVICチップ　　アナログ温度出力電圧-LVIC温度特性(標準値)

超小型DIPIPM“Ver.5シリーズ”搭載LVICチップと温度出力特性

LVIC内に温度出力機能を内蔵することで，外付けサーミスタが不要となり，インバータユニットの小型化及びIGBTの過熱をいち早く検知して，インバータの信頼性向上に貢献した。レーザトリミング技術を用いて信号出力特性の調整を行っており，高精度な温度検出を実現した。

*パワーデバイス製作所　**協栄産業㈱

1. まえがき

当社では，パワーチップと制御ICチップを同一パッケージに内蔵したトランスファモールド構造のIPM（Intelligent Power Module）であるDIPIPMを製品化し，エアコン，冷蔵庫，洗濯機等の白物家電用途から小容量モータ駆動用の産業機器用途へと幅広く採用されてきた。

白物家電市場ではインバータユニットの更なる低コスト化を進めており，周辺部品の削減などの強い要望がある。このように単に電力変換効率だけでなく，周辺部品削減などの機能面における要求が高まっており，素子の集積化が可能な制御ICの重要性は高まっている。

本稿では温度出力機能を内蔵した超小型DIPIPM Ver.5シリーズ搭載のLVICについて述べる。このLVICでは，新規に採用したレーザトリミング技術を用いて温度出力電圧の高精度化を図っている。

2. 超小型DIPIPM Ver.5シリーズ搭載LVIC

2.1 超小型DIPIPM Ver.5シリーズ搭載LVIC概要

今回開発したLVICプロセスは8インチ製造ライン／0.5μmルール相当のウェーハプロセス技術を適用しており，8V／24V系素子（CMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor）／Bip.Tr（Bipolar Transistor）／容量・抵抗類）と回路特性の高精度化を目的としたレーザトリミング機能を搭載している[1]。

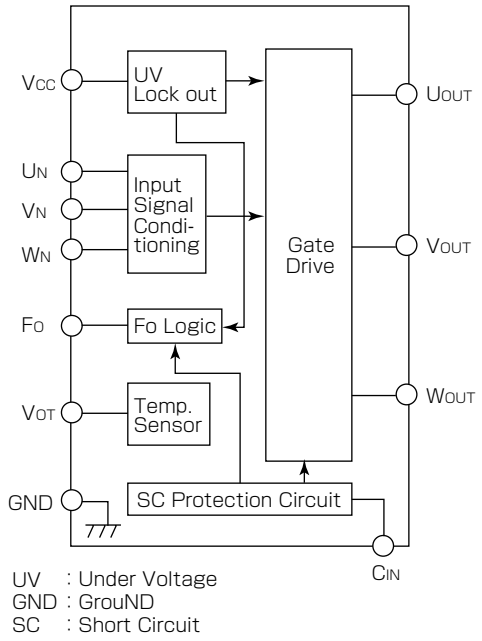


図1．LVICブロック図

図1にLVICのブロック図を示す。LVICの各機能について次に述べる。

(1) パワーチップの駆動回路

制御信号に同期してIGBTゲートを制御する。

(2) 制御電源電圧低下（Under Voltage）保護回路

制御電源電圧低下時にIGBTを遮断する。

(3) 短絡電流（Short Circuit）保護回路

外部接続シャント抵抗で過電流を検知時に，IGBTを遮断する。

(4) エラー信号出力回路

短絡電流保護回路動作時，制御電源電圧低下保護回路動作時にエラー信号を出力する。

(5) アナログ温度出力回路

LVIC内部に温度検出素子を内蔵して，アナログ信号を出力する。また，レーザトリミング機能を用いて精度向上を図る。

2.2 トリミング方式

当社はトリミング方式として，ツェナーザッピング方式，不揮発メモリを利用したデジタルトリミング方式，レーザトリミング方式の技術を保有している。**表1**に温度出力調整に対する各トリミング方式の比較を示す。

(1) ツェナーザッピング

ツェナーダイオードへ高電圧を印加し，ブレークダウン電流によって素子を電気的に破壊し，出力を調整する。

ツェナーダイオードや高電圧を印加するパッド等が必要であり，チップサイズは大きくなるが，特別な設備などは必要なく，小規模なトリミングではメリットがある。

(2) デジタルトリミング

不揮発性メモリを使用し，D-A（Digital-Analog）コンバータを制御し，出力を調整する。

ビット数の増加に容易に対応でき，調整精度ではメリットがある。しかし，小規模なトリミングではメモリ書き込み回路やD-Aコンバータ等が必要であり，チップサイズは大きくなる。

(3) レーザトリミング

メタル（ヒューズ）をレーザで切断し，出力を調整する。

書き込み用のパッドや回路等は不要であり，小規模なトリミングでは最もメリットがある。ただし，レーザ設備が必要である。

表1．温度出力調整に対する各トリミング方式の比較

トリミング方式	トリミング素子	トリミング工程	調整精度	コスト	備考
ツェナーザッピング	ダイオード	ウェーハ工程	△	○	
デジタルトリミング	EPROM	ウェーハ工程 又は後工程	◎	×	追加工程必要（メモリ素子）
レーザトリミング	メタル（ヒューズ）	ウェーハ工程	○	◎	レーザ設備必要

EPROM：Erasable Programmable Read Only Memory

温度出力機能のトリミング範囲は数ビット程度でよいことから，コスト及び調整精度の点からレーザトリミングを採用した。

3. アナログ温度出力回路

3.1 サーミスタによる温度検知

モジュールの温度保護は，温度を検出するサーミスタをモジュールの放熱用ヒートシンクなどの周辺部に外部接続する方式が主流である。このようにサーミスタをヒートシンクへ取り付けた場合，ヒートシンクとモジュールとの固定がゆるくなり，使用中に外れてしまうとモジュール温度が正確に検知できない可能性がある。

サーミスタ特性は**図2**に示すとおり，温度に対して負の特性であり，比例しない(非線形)特性である。

負の温度特性であるため，高温時の温度保護が必要な領域で，出力が減少するため，センサの誤差(測定誤差)が大きくなる傾向にある。

非線形特性であることから，信号処理にはA-Dコンバータを用いて，出力電圧値をデジタル化し，そのデジタルデータをリニアライズテーブルによって温度へ変換する必要があった。

3.2 温度検知機能の内蔵

温度検出素子とアナログ信号出力回路をLVICに内蔵し，モジュールから直接信号を出力することで，温度情報の信頼性が確保される。

3.3 アナログ温度出力特性

図3にLVICに内蔵されたアナログ温度出力回路を示す。温度検出素子にダイオードの順方向特性を用いた。その温度信号(OTVF)を反転増幅し，式(1)で示されるアナログ信号(VOT)が出力される。

$$VOT = OTref \cdot (1 + R2/R1) - R2/R1 \cdot OTVF \quad \cdots\cdots\cdots(1)$$

そのアナログ信号は**図4**に示すように線形で，かつ正の温度特性を持つ。そのため，非線形時のような信号処理は不要である。

3.4 レーザトリミング

OT基準電圧回路や温度検出素子のばらつきを調整するため，**図3**に示す①，②及び抵抗RLTをレーザトリミングを行う。

レーザトリミングのフローチャートを**図5**に示す。まず，VOT及びVREGOTを測定する。

VOTは式(1)で示され，OTrefは式(2)で示される。

$$OTref = VREGOT \cdot Rb/(Ra + Rb) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

VOTが設定目標値(2.77V)より大きい場合は，**図3**に示す①をカットすることとし，式(1)及び式(3)によって最適なVOTとなるRLTを決定する。

$$OTref = VREGOT \cdot Rb/(Ra + RLT + Rb) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

VOTが設定目標値(2.77V)より小さい場合は，**図3**に示す②をカットすることとし，式(1)及び式(4)によって最適なVOTとなるRLTを決定する。

$$OTref = VREGOT \cdot (Rb + RLT)/(Ra + RLT + Rb) \cdots(4)$$

レーザトリミングによって，**図6**に示すVOT特性に調整することができる。

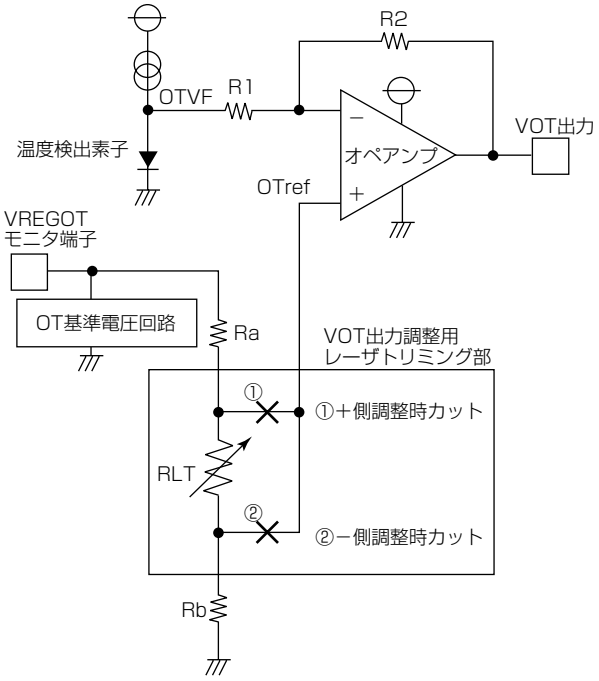


図3．アナログ温度出力回路

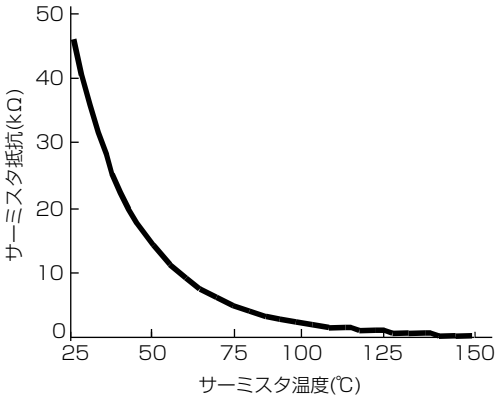


図2．サーミスタ抵抗-温度特性(一例)

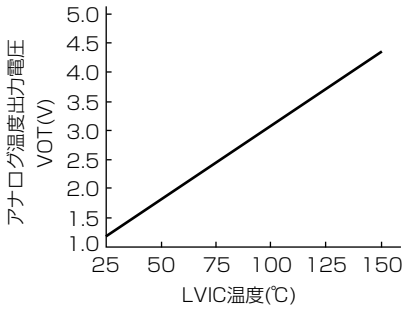


図4．アナログ温度出力電圧-LVIC温度特性(標準値)

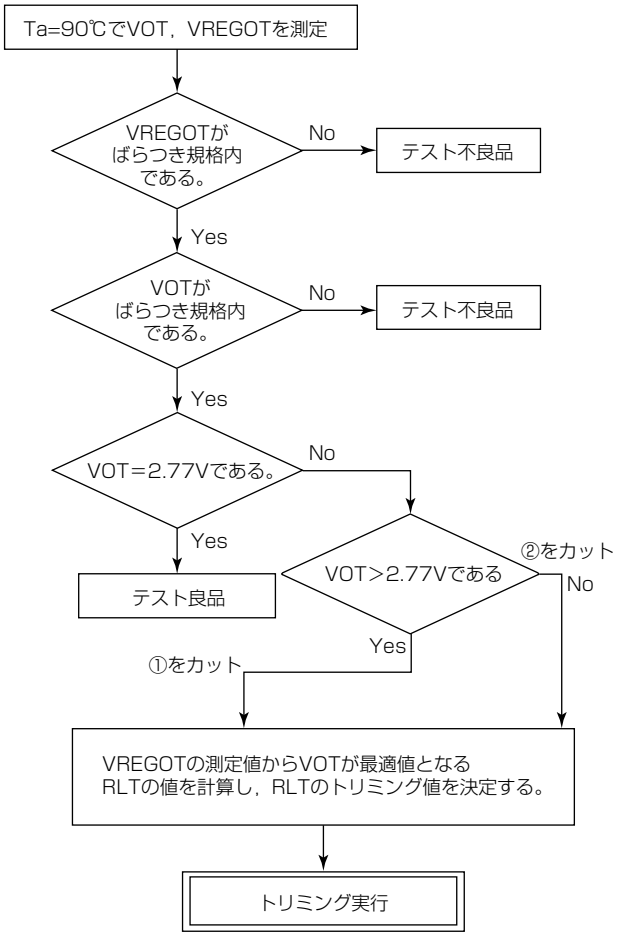


図5．レーザトリミングのフローチャート

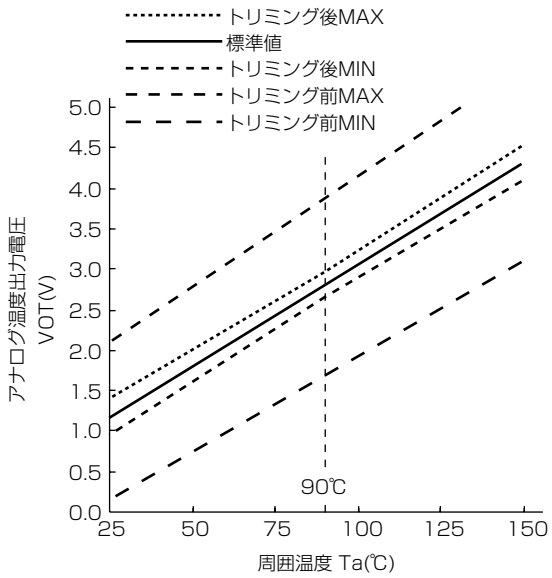


図6．トリミング前後のアナログ温度出力電圧

4. む す び

レーザトリミング技術を用いた高精度温度出力機能を内蔵したLVICを開発した。今後，このLVICに用いた温度検出技術を他のDIPIPMシリーズへ展開する。

また，レーザトリミング技術を用いて電流検出精度などの特性を向上させた製品を展開し，今後も市場ニーズに適した製品を開発していくことで，インバータ制御用途への需要拡大に貢献する。

参 考 文 献

(1) 清水和宏，ほか：第2世代分割RESURF構造を適用したHVIC技術，三菱電機技報，**84**，No.4，228～231（2010）