

低電圧大電流 DC-DC コンバータの技術動向

Trend of low voltage and high current Technology for DC-DC Converters.

鈴木正太郎
Shotaro Suzuki

株式会社ベルニクス Bellnix Co.,Ltd.

Abstract-

This paper presents the trend of low voltage and high current technology for DC-DC converters. It can be said that the output voltage of the on-board power supply has been rapidly moving forward a low voltage in proportion to the minuteness of the semiconductors. As for as its speed is concerned, the change of the market situation seems to be faster than that of R&D for the low voltage and high current products put out by power supply manufacturers. Here, the present situation and the trend of non-isolated type step-down DC-DC converter and isolated type DC-DC converter called "Brick" will be taken up mainly from the following point of view.
-low voltage and high current keeping up with the current demand for the latest telecommunication networks and broadband.
-build-up of the total solution for dispersion system power supply.
In this paper, an explanation is given to mainly concerning to the newest products in the supplier's position.

低電圧、大電流時代の最新鋭オンボードモジュール電源と背景

低電圧大電流化への動向とともに高速負荷応答性能も要求される、最近のオンボード電源への要望をまとめると①オンボード電源は分散化へ ②分散化されたモジュールは負荷近くに置かれる ③ヒートシンクが邪魔になった、ヒートシンクから開放されたい ④低出力電圧ではノイズレベルが問題になる低ノイズ化してほしい ⑤最新の CPU に対応できる高速負荷応答特性を持たせたい。

ヒートシンクから開放されないとオンボード電源の分散化と高密度実装は難しい、しかしオンボード電源をヒートシンクから開放させるには効率を今以上に、高めシンプルな回路で構成されなければ実現しない。

低損失スイッチング、同期整流回路で効率を改善するのは当然として、全ての機能をワンチップにした MCM-IC 化、あるいは回路の集積化、パワーデバイスの小型化、トランス、チョーク類の小型かつ損失化など高効率化技術とシンプル高密度実装技術が必修になる。電源を設計する者にとって大変厳しい時代になったとも言える。昔は高度な回路技術で解決できた事が、最近では個性のある半導体、先端部品、特別なプリント基板、高密度実装技術、多額な開発費の負担、豊富な経験など個人の力の及ばない時代になってきたのである。

急激に進化している電源周辺！ 5V がメイン電圧の時代が終わり 3.3V 以下の低電圧時代になった。

デジタル回路と言うとつい最近まで 5V の TTL を思い浮かべるのは私だけでは無いと思う。しかし、最近のデジタル回路は 5V、3.3V、2.5V、1.8V、1.3V、1.0V・・・と低電圧でしかも多出力になって来ている。最新のオンボード DC-DC コンバータへの要求は、半導体プロセスの微細化(0.18μ、0.16μ...)が可能になりこれに伴い、半導体の駆動電圧を低圧化して動作時間を高速化するようになってきたからである。しかし、これに驚いている間もなく、もう既に 1V 以下の市場要求が出てきている。

変貌する DC-DC コンバータへの要求をまとめてみると、①低電圧出力への要求(0.8V~5V) ②低電圧大電流化(たとえば、1.3V6A、0.8V45A など) ③超高効率化(1V 出力で 90%以上を希望される) ④低入力電圧化(5V や 3.3V から更に低電圧化する) ⑤小型化、面実装化(SMD)、低背化 ⑥低ノイズ化(出力電圧が低下に伴う低ノイズ化) ⑦高速負荷応答の高速化(CPU の動作速度に対応) ⑧ノーヒートシンク化(電子機器の高密度化対策) ⑨電源の分散化対応(低電圧大電流高速負荷応答時代ではラインインピーダンス、共通インピーダンスを低減させる使い方が重要になる)

図1 LSI の出力電圧推移
1999年-2010年

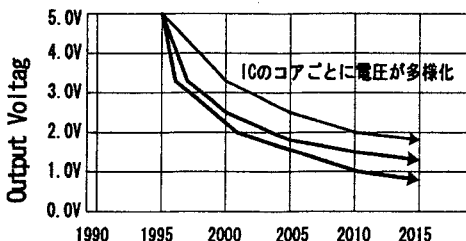
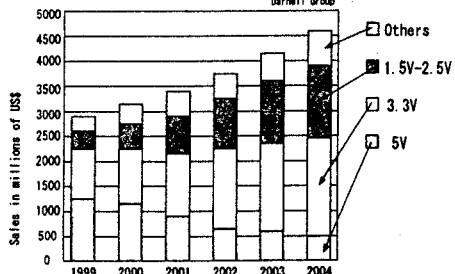


図2 出力電圧から市場の動向を見る
Darnell Group



以上が最近のオンボード DC-DC コンバータへの市場要求の一例であるが、実際に前記の要求を満たす最新の DC-DC コンバータはあまり市販されていない。その理由は低電圧(0.8V~3.3V)で動作する DC-DC コンバータ用の IC があまり市販されて無く、市販されていたとしても効率が悪く、あるいは高効率を引き出せない、という状況が続いてきた(最近米国製 IC の発売が急だが、日本製 IC はほとんど見られない)。

図1は IC のコアごとに動作電圧が多様化している表で、1995 年までは 5V 中心だったデジタル回路電圧が 1997 年頃から急速に低電圧化して行く傾向が分かる。図2は 1999 年から 2004 年までの電圧の傾向をグラフにしたものだが、2004 年には 5V という電圧は全体の 10% 程度になって 1.8V~3.3V 時代に変貌する予測図である。現場の人間の目に映るのは、実態は低電圧化への移行は、図2よりも速い速度で推移していると言うのが実感である。

低電圧・大電流時代での問題点 ラインインピーダンスの低減と高速負荷応答速度に対応させる電源の分散化技術

CPU 技術を中心とした低電圧大電流化は電源と電源実装技術に新しい問題を提起させた。高密度化する電子回路基板に大電流を流すにはプリント基板のパターンを厚く広くして回路インピーダンスを下げる必要が生じる。

しかし実際には実装密度が高密度化する中、プリントパターンを太くする余裕など無くなってしまふ。そこで考えられたのが低電圧大電流に対応する DC-DC 変換は負荷のすぐ近くに DC-DC コンバータモジュールを配置する方法である。

図3は DC-DC コンバータと負荷を離してプリント基板設計した時のイメージ図である。DC-DC コンバータと負荷間はラインインピーダンスとラインインダクタンスが直列につながり、ここに大電流が流れると大きな電圧降下の発生とラインインダクタンスによる負荷インピーダンスの上昇という、最悪の事態が予想される。対策としてバスコン C1、C2 を電源ラインに挿入しても大電流によるラインインダクタンスの方が強力で挿入コンデンサは電源ラインのインピーダンス低減に役立たない。

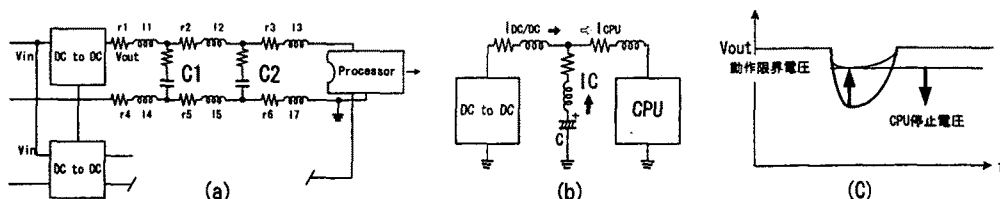


図3. 配線によるインピーダンスとインダクタンスの影響

低電圧時代では使用電圧が 0.8V、1V、1.3V、1.8V ととても低い電圧となり、0.8V と 1V では 200mV しか電圧差がない。

図3のような配線による電圧降下で負荷電圧が不足してトラブルの要因になる事は容易に想像できる。

高速応答、低電圧大電流時代が電源を分散化させる理由の一つがここにある。

DC-DC コンバータモジュールと CPU や低電圧で動作する「負荷のすぐそば」に配置する、これがポイントとなる。

図4 DC-DCコンバータと負荷が離れていると配線によるラインインピーダンスとインダクタンスが負荷電圧を降下させ、しかも負荷応答速度を悪くする。

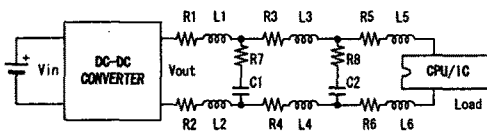
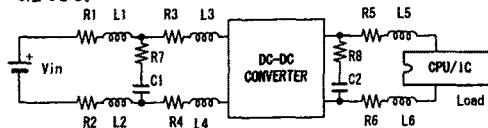


図5 DC-DCコンバータと負荷を近くに配置すると配線によるラインインピーダンスとインダクタンスを低減できる、コンデンサC2の効果も期待でき負荷応答速度も改善できる。



電源の分散化時代の配置はコンバータと負荷を近くにする

図4は DC-DC コンバータと負荷間の関係をイメージした図となる。出力インピーダンスの低い DC-DC コンバータを製作しても、これを使う技術者が電源と負荷間のラインインピーダンス改善を意識しないと市場で問題を生じる事になる。実際にこの例のトラブルは多く見られる。

理想的な DC-DC コンバータと負荷間の配置は ①負荷と DC-DC コンバータを極力近くに配置する ②DC-DC コンバータと負荷間にラインインダクタンスを低減させるコンデンサを入れる ③このコンデンサは高周波特性の良いものを使う ④付加コンデンサの実装はリード端子を極力短くしてコンデンサのリードインダクタンスを無くす工夫をする ⑤プリントパターンは可能な限り厚く太くする。

要は DC-DC 電源と負荷間の配線によるインダクタンス、インピーダンスの影響を最小限に小さくする事が重要となるが、先にも述べた通り、実際の高密度プリント基板実装設計は難しい、これを解決する方法として DC-DC コンバータを機能別に負荷近くに配置する電源の分散化が行われる。しかしこれをイメージに沿って実施するには分散化モジュールからヒートシンクを取り去る事が前提となる。

分散電源システムの動向

インターネット・ブロードバンドは通信ネットワーク電子システムだけではなく産業機器、医療機器などの広範囲な電子機器システムでネットワーク化が進んでいる。つい最近まで通信機器の代表は電子交換機を使った電信電話システムであったが、今は IP 時代となった。通信ネットワークの進展は電源システムを変えた。最近まで(でも)、電源システムは図 6 のように、整流器(AC-DC Rectifier)から供給される 48V バス電源をメイン電圧源として、各負荷に対して絶縁型 DC-DC コンバータを電圧ごとに複数個組み合わせる図 6(a)の様で使用している、現状もこの方法が最も多用されている。この電源システムを分散電源システム[Level 3]と呼んでいる。(Level 1, 2)についてはこれまでの方法なので記述しない。)

このやり方は分散電源システムの代表であるが最新ではない。集積回路の微細化とブロードバンドに代表される様に負荷電圧は多様化し、高速応答を要求され、IC 電圧はより低電圧化されてゆく中、[Level 3]では要求を満たせなくなりつつある。図 6(b)は[Level 3.5]とよばれて(TDK 財津氏)いるシステムである、これは次に述べる Bus コンバータ[Level 4]へ移行する中間の状態を示しているが、電源メーカーからの視点では最も引き合いの多いシステムになった。

低電圧大電流を必要とする負荷へ、低電圧専用の高効率 DC-DC コンバータをできるだけ負荷回路の近くに配置される。しばらくはこの[Level 3] と[Level 3.5]のシステムが多用され、本格的 IP 時代に[Level 4]へ移ると思われる。

図 7 は[Level 4]である、従来の 48V バスラインから 12V のサブバスを作り、12V のサブバス電圧を入力とする低電圧出力の DC-DC コンバータを、必要電圧に応じて必要数を並べる方法である。この方法で完全な分散電源システムが構築される。

[Level 4]では、回路の絶縁は Bus コンバータの 1 個のみが請け負う、その他のコンバータは全て非絶縁型のステップダウン DC-DC コンバータで構成される。

この[Level 4]システムでは、低電圧 DC-DC モジュールは 90%以上の高効率で、しかもヒートシンクを使わないやり方が絶対となる。[Level 4]システムは小型化に加速が付くがコストも 40%は低減できるので世界的なグローバルスタンダードになるであろう。

図 6(a) 分散電源システム

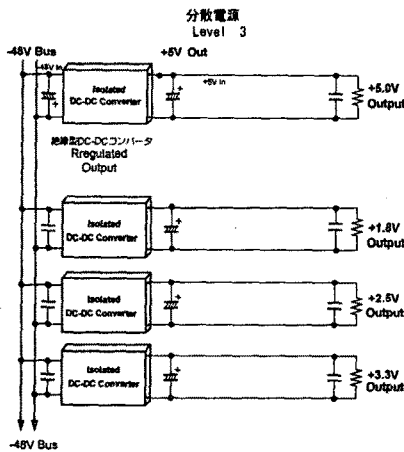


図 6 (b) 分散電源システム

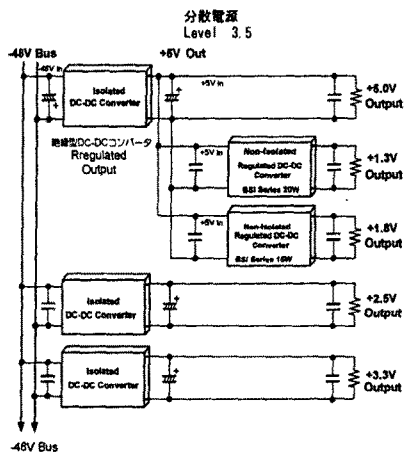
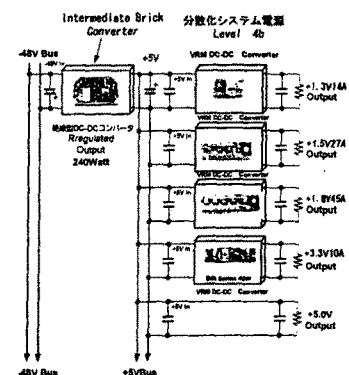
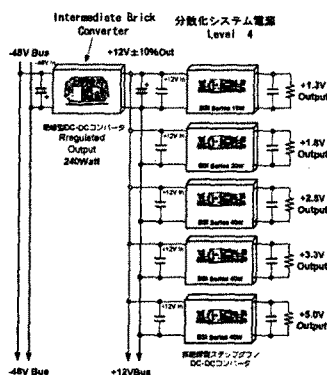
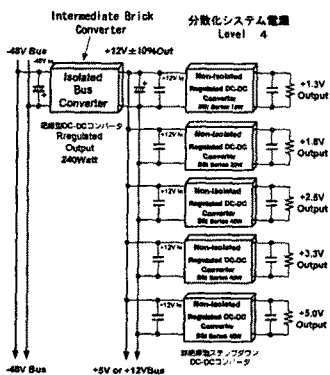


図 7(a, b, c) 分散電源システム[Level 4]



高効率を求められる非絶縁型ステップダウン DC-DC コンバータ

非絶縁型ステップダウン DC-DC コンバータ(バックコンバータとも呼ばれている)は分散化電源を構成するコンバータの一つで市場のニーズを整理すると ①超小型で高効率なモジュールと ②超小型で高速応答特性のモジュールとなる。更に入力電圧も ①3.3V~5V ②9V~12V の2種類になる。IEEE1394 での要望は 7V~40V となるが、3.3V~5V 入力は負荷近くに配置したい分散化電源用途が多く②の新しい傾向で 9V~12V はサブバス電源に使われようとしている。

これら的高効率ステップダウン DC-DC コンバータに要求される項目は ①超高効率(90%~95%以上) ②低ノイズ ③低入力電圧(2V、2.5V、3.3V、5V)で使える事 ④低出力電圧(0.8V、1.2V、1.8V、2V、2.5V、3.3V、5V) ⑤出力電圧の可変機能(IC 電圧の低電圧化即時対応) ⑥SIP、DIP サイズ共に低背(Low Profile)化 ⑦放熱器からの開放(ノーヒートシンク化) ⑧Bus コンバータ化へも対応できる構造と機能を有していること。などが上げられる。

前記の市場ニーズを達成させた新しいステップダウン DC-DC コンバータを下記に紹介する。写真1は T0-3PL パッケージに 10W~20W を収納させた非絶縁型のステップダウン DC-DC コンバータである。この製品は外付けコンデンサを必要とせず、且つヒートシンクも不要な製品に仕上がっている。

図7は同期整流回路を採用している、パワー-MOSFET は低オン抵抗品を使用しているがゲート容量 Q_g も意識している、MOSFET は専用の IC(BIC1850EB)を使用し同期整流の効率を上げている。チョークコイルは超薄帯アモルファス磁性材を開発し、鉄損銅損を最小限にした。平滑コンデンサは固体アルミ電解コンデンサを採用して出力ラインの低インピーダンス化を図っている。この BSI シリーズの効率は平均 94% であり、20W 出力時にもヒートシンクは不要である。

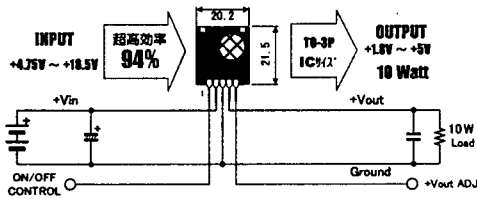


図7 非絶縁型ステップダウン DC-DC コンバータ BSI Series



写真1. 10Watt Series



写真2. 20Watt Series

図8 BSI シリーズの回路図

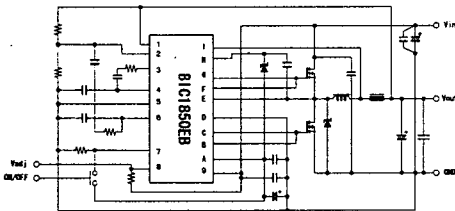
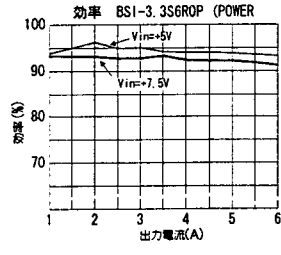
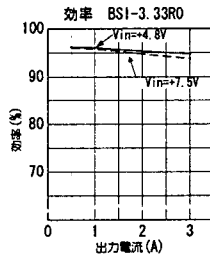


図9 BSI シリーズの効率



分散化システムを意識した超小型(50W)ステップダウン DC-DC コンバータ

BLSN シリーズの概要(50 Watt)

入力: 12V 出力: 1V~5V 10A(50Wmax) 効率=96%

入力: 3~5V 出力: 1V~3.3V 10A(33Wmax) 効率=94%

写真3. BLSN シリーズ (50W)

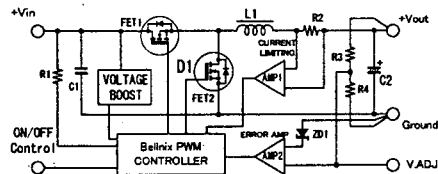


図10 BLSN シリーズのブロック図

図11 BLSN シリーズの外形図

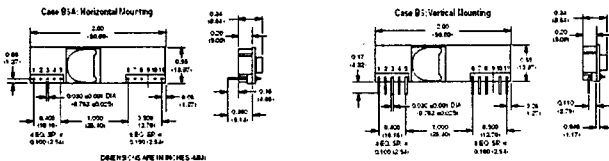
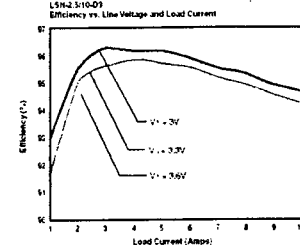
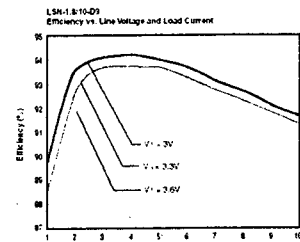


図12 BLSN シリーズの効率特性



低電圧入力、低電圧大電流、高速応答速度、高効率 DC-DC コンバータ

低電圧入力、低電圧大電流出力、しかも、効率が90%以上、負荷応答速度は160nsと超高速な次世代 DC-DC コンバータを紹介(BSVシリーズ)する。BSVシリーズは24pinIC サイズで20Wも取り出せてヒートシンクを必要としない。

この画期的 DC-DC コンバータは独自の高周波技術を駆使し、3MHzと言う、これまでの電源では実現不可能だった高周波で構成されている。しかも全ての回路はワンチップ IC(BGA 構造)に収納されている。

BSV-3.3S6R0 の概要は ①入力電圧範囲:3V~5.5V ②出力電圧:0.8V~3.3V ③出力電流:0~6A(20W) ④効率:90%以上(入力=3.3V、出力=1.8V6A) ⑤サイズ:40.6×4.5×17mm(世界最少クラス) ⑥応答速度:160ns(0A⇄6A, 300A/μs) ⑦ヒートシンク:不要 となっている。20W の DC-DC コンバータでは世界で最も部品点数が少ない。

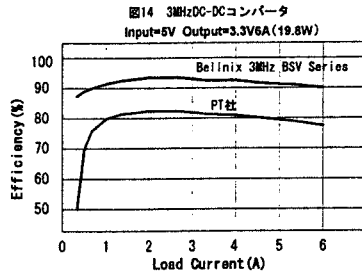
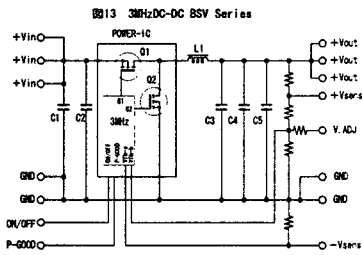


写真4 3MHz BSV Series [Belinix]



図13は20W BSVシリーズのブロック図である。POWER MOSFETを含めたすべての半導体はBGAパッケージの中にIC化してある、こうしなければ配線インダクタンスの影響を受けて高効率を引き出せない。

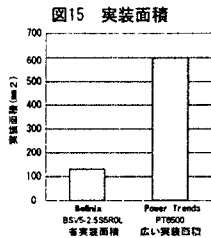
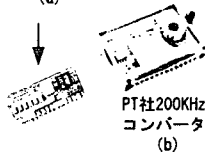
メインスイッチのハイサイドFETは低ON抵抗の低損失MOSFETを採用、転流ダイオードはMOSFETでの同期整流方式を用いた。MOSFETの微妙なQg管理はMOS-ICで構成したコントロール回路ICでドライブされている。全ての半導体をPOWER-ICとして集積化し、3MHzというこれまで実現できなかった周波数を実現させた。

このBSVシリーズは入力端に33μF、出力端に2.2μFを付加するだけで20Wが簡単に取り出せる。20W出力時の効率は図14の様に3.3V6Aで90%以上を実現しているので基本的にヒートシンクは不要である。周囲温度が40℃以上の場合には空冷を行い85℃で6A引くことができる。また、軽負荷時の効率も0.5Aにて88%と高く回路の工夫がなされている。

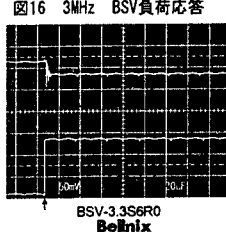
3MHz DC-DC コンバータは外付けコンデンサが少なく、高速負荷応答が得られ分散化システム電源に最適

BSVシリーズは3MHz高周波スイッチング動作を行う為、外部に付加するコンデンサは極めて最少で済む。この3MHzスイッチングの効果は実装面積で明確にその差が現れる。写真6(b)はPT社の200KHz DC-DC コンバータだが、BSVシリーズと実装スペースを比較するとBSVシリーズは約1/5のスペースで実装が可能である(図14)。実装面積が小さくて済むと言う事は、コンバータをより負荷端に近くに実装でき、理想的分散化システム電源を構成できる。

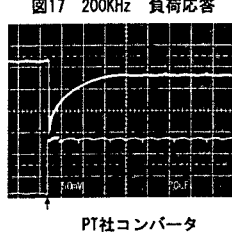
写真5 Belinix 20W BSVシリーズ (a)



Current Step Load=0A-6.5A,300A/μs



Current Step Load=0A-6.5A,300A/μs



前記の通り最新のDC-DCコンバータに要求される仕様に負荷変動に対する応答速度がある。これはCPUの高速化に伴いCPU及びその周辺のICが高速度動作をする為にその供給電源であるDC-DCコンバータも高速応答させる必要があるからで、負荷が高速でON/OFFする場合にDC-DCコンバータ側が遅い応答では出力電圧は下がってしまい、負荷が電圧不足になってしまう。

図15は3MHzスイッチング周波数の応答速度写真である、応答速度は160nsと極めて速い、一方発振周波数が200KHzの回路での応答速度は80μsである。また、超高効率の実現で超小型20Wモジュールでノーヒートシンク化を可能にした。

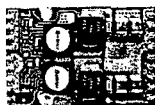
これらの用途は、ワークステーション、サーバ、デスクトップコンピュータ、DSP アプリケ、ワークステーション、分散電源アーキテクチャ、通信テレコム機器、LAN/VAN、データ処理アプリケーション、CPU 駆動、グラフィックカード、FPGAs、Busターミネーション、Telecom Line Cards、VRMsポルテージレギュレータ、各種デジタル電源で使われる。

分散電源システムに対応する、最新ステップダウン DC-DC コンバータ

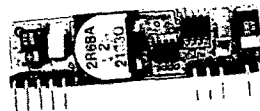
BSV 20W Seies **Belnix**
 Input=3V - 5.5V
 Output=0.8V~3.3V 6A
 Power=20W
 Efficiency=91% 写真6



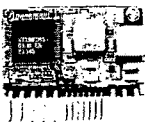
BSV 35W Seies **Belnix**
 Input=3V - 5.5V
 Output=0.8V~3.3V 14A
 Power=35W
 Efficiency=91% 写真7



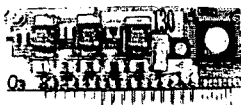
BLSN/LSN Seies **Belnix/DATEL**
 Input=3V, 5, 12V
 Output=1V~5V 10A
 Power=50W
 Efficiency=92-96% 写真8



BSV 14A Seies **Belnix**
 Input=3V - 5.5V
 Output=1.2V~3.3V 14A
 Power=46W
 Efficiency=91% 写真9



BSV 27A Seies **Belnix**
 Input=4.5V - 5.5V
 Output=1.2V~1.8V 27A
 Power=49W
 Efficiency=92% 写真10



BSV 45A Seies **Belnix**
 Input=4.5V - 5.5V
 Output=1.2V~3.3V 45A
 Power=81W
 Efficiency=92% 写真11

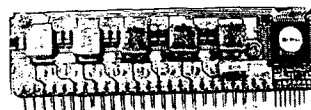


写真6~12は最新技術で設計された非絶縁タイプの同期整流方式ステップダウン DC-DC コンバータである。これらの新しい製品の特徴は、高速負荷応答特性 (0-6A 160ns) と非常に高速である事とが挙げられる。この高速でしかも低電圧大電流は新しい通信ネットワークでの VRM (Voltage Regulator Module) として分散電源システムのキー部品として [Level 4] 段階で重要な役割を担う。新しい通信ネットワークでの VRM (Voltage Regulator Module) は下記のように入力電圧が極めて低いサブ Bus は 12V なのか 5V なのか、あるいは更に低くなるのかは半導体のより微細化の進展で左右される。

いづれにしても通信機器以外の電子機器、装置、システムはネットワークプロセッサやマイクロプロセッサを多用されてきたので下記の VRM (Voltage Regulator Module) が [Level 4] 段階の主流になると考えられる。また VRM の設計技術面でも従来の技術から大きくかけ離れてきた、下記の製品群の全ては 1MHz~3MHz での高周波スイッチング動作であり、出力電圧が 1.2V 付近でも効率率は 90% 以上を達成している。しかも回路はワンチップモノリシック IC 化されている。新しいコンバータは回路技術と低損失部品そして集積回路技術で決まる。

最新鋭の絶縁型 DC-DC コンバータを見る

最新鋭の定義も難しいのですが、独断で裁定すると最新鋭 DC-DC コンバータは ①今まで無い超小型製品である ②回路方式が低電圧大電流時代を代表している ③制御 IC、パワーデバイスが機能的性能的に改良され小型、効率改善がなされている ④トランス、チョークがプリント基板で巻線されて省力小型化を図っている、あるいは薄型プレーナートランス、チョークを駆使している。⑤変換効率率は 90% 以上である。⑥Quarter-Brick で 100W 以上が出せる ⑦Half-Brick で 160W 以上が出せる ⑧ヒートシンクを使わない ⑨アルミベース基板を使わない ⑩P-S 間絶縁がしっかりしてコモン・モード・ノイズがとても小さい ⑪従って多出力化が作り易く分散電源システムの構成が考慮されている。などを満たしている製品を考えている。写真 12、13 は Quarter-Brick 絶縁型 DC-DC コンバータである。外形は 36.8×58.8×10.2mm、このサイズで 100W の出力が取れる(要空冷)。

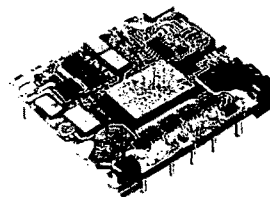
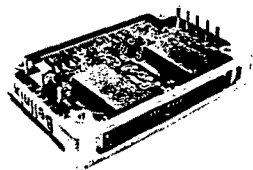


写真 12 BUSQ/USQ Series (Belnix/DATEL)

写真 13 1/4 Brick PQ Series

写真 14 BUHP/UHP Series (Belnix/DATEL)

写真 12, 13: 1/4 Brick 36.8×58.8×10.2mm 写真 14: 1/2 Brick 58.42×60.96×10.2mm

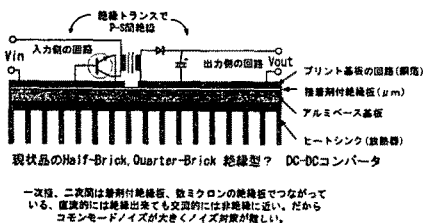
アルミベース基板は交流的絶縁が難しく問題が多い

図 18 はアルミベース基板に回路部品を搭載した絶縁型 DC-DC コンバータである。アルミベース基板とはアルミの板に絶縁フィルムを糊で貼り、その上に銅箔を更に貼りつけたプリント基板である。普通のガラスエポキシ基板と同じようにエッチングによって回路を作る。

このアルミベース基板は熱抵抗の小さいアルミニウム板なので発熱の伴う電源にはとても良いのですが、良いのは熱放散だけで絶縁型コンバータでは 1 次-2 次間の静電的結合がノイズのトラブルを生み易い、更には熱に弱い部品をも暖めてしまうためコンデンサと電力半導体の混在実装が難しい、端子の取り付けもスルーホールが不可能の為、工夫を要する。

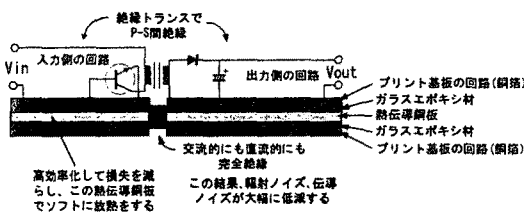
図 18(a) はアルミベース基板に電子部品を実装したイメージ図であるが、絶縁を必要とする 1 次回路も 2 次回路も金属板の上に実装されている。薄い絶縁フィルムの下には、電気を通すアルミ金属板である。果たしてこれで 1 次-2 次間は本当に絶縁できるのだろうか？ 直流的には絶縁できて交流的には容量結合の影響で非絶縁的なのである？

これまで、各社からアルミベース基板使用のオンボード電源が販売されてきたが、思う様に拡張できていないのは、この 1 次-2 次の容量結合がコモン・モード・ノイズを発生させ、ユーザはノイズ対策に悩まされてきた事も要因の一つであろう。



一次側、二次側は接着剤付絶縁膜、数ミクロンの絶縁膜でつながっている。直流的には絶縁出来ても交流的には非絶縁に近い。だからコモンモードノイズが大きくなるノイズ対策が難しい。

図 18(a) アルミベース基板回路実装



高効率化して損失を減らし、この熱伝導銅箔でソフトに放熱をさせる。この結果、輻射ノイズ、伝導ノイズが大幅に低減する。

図 18(b) ガラスエポキシ多層基板回路実装

最新 Brick DC-DC コンバータの多層ガラスエポキシ基板は各層の銅箔の厚みが違う、

写真 15、16 は多層ガラスエポキシのプリント基板の側面である。写真 15 は Eighth Brick(1/8) の 12A 品の側面写真である、8 層多層板を採用している。写真 16 は同じく Eighth Brick(1/8) の 15A 品の側面写真であるが、最大出力電流は過電流保護回路が動作する点が $15A \times 1.2 = 18A$ となり、設計上はプリントコイルに 18A 常時流せなければならない。この基板は 16 層の多層板であるが、各層の銅箔の厚みはそれぞれ違っている。当然大電流を流すパターン部は厚くしたい。

1 次-2 次間はガラスエポキシで絶縁されているので交流的容量結合が少ないのでコモン・モード・ノイズは小さい。絶縁トランスは多層パターンの組み合わせで必要な巻き数を作る。電線の巻き線と違い、線間容量もプリントコイルの方が小さく出来、また絶縁素材がガラスエポキシですから 1 次-2 次間の絶縁は高く、写真の製品(100W)で、DC2000V もの絶縁が実現できる。



写真 15 Eighth Brick 8層ガラスエポキシ基板
P-S 間絶縁耐圧は DC2000V 12A モデル(60W)



写真 16 Eighth Brick 16層ガラスエポキシ基板
P-S 間絶縁耐圧は DC2000V 15A モデル(75W)

絶縁型、低電圧・大電流 DC-DC コンバータの回路

世界の電源メーカーは今、Quarter-Brick に 100W 以上を入れ込む競争に懸命である。すでに 1/4 Brick は 40A 品が一般化されつつある、現状では 1/8(Eighth) Brick サイズに何ワット入れられるかが競われている。

図 19 は低電圧大電流に適したスイッチングコンバータ回路である(特許)。この回路方式はマルチインバータ方式と呼ばれているが、マルチとはバックコンバータ+フォワード式プッシュプルを組み合わせたものである。PWM 制御は電圧の高い 1 次側で行う、Q1、Q2、L1、C2 で PWM 制御のステップダウン(バック)コンバータを構成している。

Q1、Q2 は 2 個のフォワード回路がデューティ 50% で交互に ON/OFF を繰り返している、この部分だけを見ると非安定制御である。2 次側は POWER MOSFET による同期整流回路になっており効率改善回路である。2 次側の電圧 $Vs1$ 、 $Vs2$ は 1 次側が 50% デューティでドライブされるプッシュプル動作になるため、図 19 波形図の様に、1 次と同じデューティ 50% づつの矩形波形が出力されている。

このデューティ 50% づつの繰り返し波形を一周期で見ると全波整流波形になる、全波整流はそのまま直流であるから LC 平滑回路が要らない、つまり「平滑コンデンサに依存しない平滑」が可能となる。

2次側の低電圧ラインにはチョークのような直列抵抗として発熱する部品がないので損失が大幅に低減できる、この回路は低電圧大電流に適した回路と言える。

更にトランスの2次側巻線は僅かなデットタイムを除き常に電圧が存在しているので同期整流がやり易い。また2次の大電流側はPWM制御によるOFF期間がないのでリップルノイズ共に小さいものとなる。

この方式の欠点は直列に二つのコンバータの構成となるので部品点数が多くなり、小型化、コスト低減では問題が残るが回路をICにして集積度を上げる方法も試みられる。IC化が進めばコスト、形状の問題も解決する。

図20は、2002年10月から業界に先駆けて量産タイプとして販売される Eighth(1/8) Brick である。Eighth(1/8) Brick は Quarter(1/4) Brick が開発された当初から待ち望まれていたが、早くも市場へ投入された。回路方式は、同期整流方式のフォワードコンバータである。回路をシンプルにして部品数を減らしオリジナル制御ICを用いて小型化に成功した。効率、48V入力、5V12A(60W)路で92%となっている。プリント基板は16層の多層基板である、基板内のパターン厚はそれぞれ厚さが違う。

図19 低電圧大電流に適したマルチインバータ方式
バックコンバータ+プッシュプルコンバータの組合せ

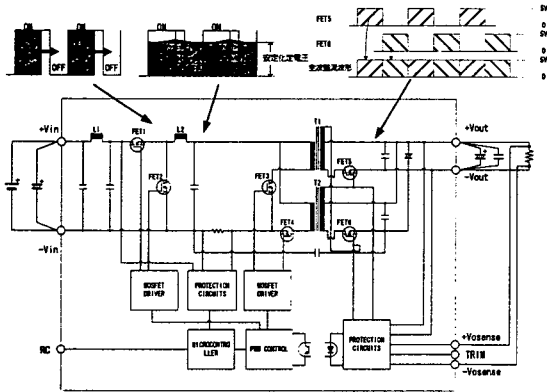
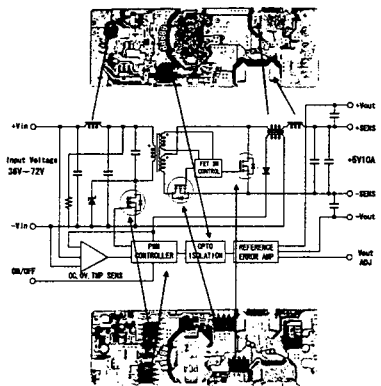


図20 シンプルなフォワードコンバータと同期整流
BULE/ULE Series (Bellnix/DATEL) 1/8 Brick



オープンフレームでも雑音端子ノイズは小さい

製品が裸で部品が露出していると輻射ノイズが、リーケージフラックスの様にたくさん輻射される様に見える。それでは密閉ケースはどうだろう？

これまでの密閉ケースは殆どが「樹脂モールドケース」が採用されてきた。外観はスマートに囲まれているが、樹脂は電磁的、静電的シールドの効果が「ゼロ」ない。オープンフレーム構造でもノイズは低減できている事を確認するために、雑音端子電圧を測定してみた。図21はEMIテスト回路で、CISPR規格により測定した。

結果は、図22の実測データである。CISPR Pub22 Class Aを余裕を持って満たしている。オープンフレームでもノイズの影響は小さい事を確認された。

図21 測定回路

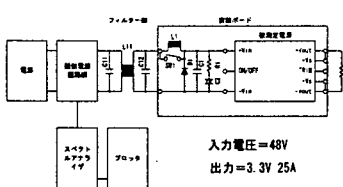


図22 雑音端子電圧特性

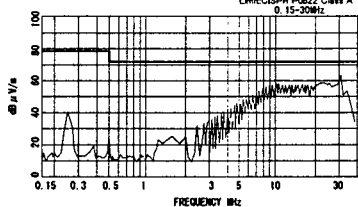
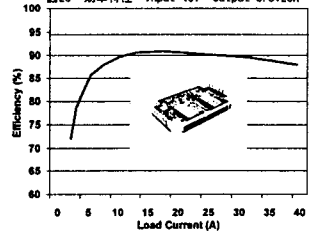


図23 効率特性 Input=48V Output=3.3V25A



効率とオープンフレーム構造

DC-DC絶縁型コンバータの効率を測定した。図23が効率特性である。テストした製品はクォータブリックタイプの3.3V25Aの製品である。効率は90%に達しており、オープンフレームでノーヒートシンクが可能なる。

分散電源システムの近未来、それは Bus Converter + Buck Converter ?

分散電源システムは[Level 3]から[Level 4]に近い将来移行するだろう。その理由は電源の多出力化の構成を考えた場合合理的であるからである。①第一に価格が40%は低減できる ②電子装置やシステム電源が小型化される ③それぞれの負荷に合った DC-DC モジュールを最適な場所へ配置できる。などメリットは大きい。

[Level 3.5]から[Level 4]へ移行する時間はそれほど要しないが [Level 4]の時代で最も重要なものは Bus Converter と呼ばれ始めた超高効率な絶縁型 DC-DC コンバータをどの様に作るかである。通信ネットワークでの主バス電源は 48V であることは、今後も変わらないであろう、[Level 3]までの時代は 48V から 5V あるいは 3.3V へ変換するコンバータを作り、組み合わせていたが [Level 3.5]から[Level 4]のシステムでは 48V から 0.8V、1.3V、1.8V を作らなければならない。これは非効率な方法となる。

分散電源システム[Level 3.5]そして[Level 4]では 48V を 12V または 5V へ変換する「中間バス電圧コンバータ」つまり「Bus Converter」が必要となる。しかし、Bus Converter は主バスと負荷の間に存在し Bus Converter と分散モジュールとは直列になるので効率が下がる事になる。従って Bus コンバータは超高効率である事が望ましい。

我々は新しい 240W の Bus コンバータを試作した、サイズは 1/4 Brick である、効率は 48V→12V20A 時に 97% となった、回路方式は先に解説したマルチインバータ方式からバックコンバータを取り除き、非安定化したものである。

大型の通信システム電源装置では「整流器」と呼ばれる AC-DC48V 電源が使われるが、インターネット・ブロードバンドなどの新しい通信ネットワークで使われる AC-DC フロントエンドは定電圧精度が高く、ここから電力供給を受ける中間バス電源(Bus コンバータ)は、非安定化 DC-DC コンバータでも問題が無い、最終段の分散化 DC-DC モジュールは安定化機能付であるので、Bus Converter は非安定化でも問題が無い場合が多い、絶縁と高効率化がポイントになりそうだ！

図 24 は、新しい通信ネットワーク時代の分散電源システムのイメージ図である。超高効率な絶縁型 Bus コンバータでサブバス電源を作り、負荷に合わせて分散 DC-DC コンバータモジュールを組み合わせる。図 25

サブバス電圧は 12V なのか？ 5V なのか？ まだ、だれも決めかねている状況である、高速で動作する CPU などへは低電圧入力で低電圧出力の高速応答タイプの DC-DC コンバータが使われる。図 26 は、-48V から +5V をつくり、ここを DC2000V で、しっかりと絶縁させ、次にこの +5V から超小型、高効率、高速な非絶縁型ステップダウン DC-DC コンバータを使って、3.3V、1.8V、1.0V をつくる、このやり方を [Level 4b]と呼ぶ事にする。この非絶縁型ステップダウン DC-DC コンバータが超小型高効率であれば放熱の為のヒートシンクが不要となり、高速低電圧負荷のすぐ近くに配置できる事になる。

図24 Bus Converterのイメージ

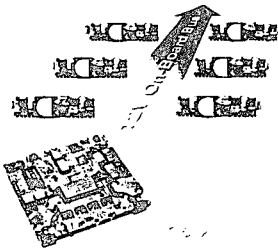


図25 12V Bus Converter

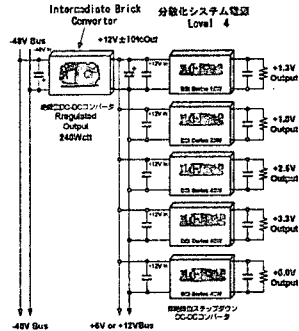
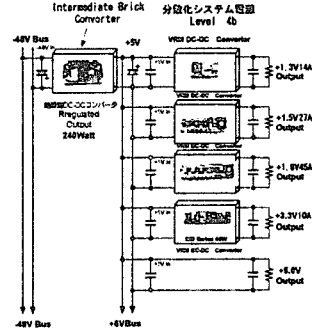
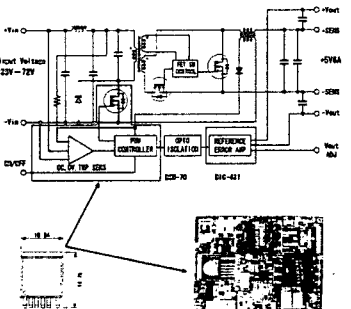


図26 5V Bus Converter



次世代オンボード電源はより集積化される

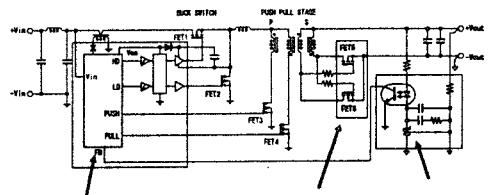
より集積化された絶縁型DC-DCコンバータ(30W)



より集積化される絶縁型DC-DCコンバータ

(Quarter/Half Brick 100W-250W)

高集積化は部品点数が大幅に減少してコスト低減と実装サイズの小型化を実現させる！



バックコンバータとプッシュプルコンバータが一つのICに集積された

二次側の同期整流MOSFETがワンパッケージに入った

TL431回路がH-IC化して小型に！