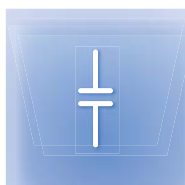
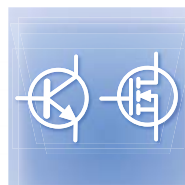


TDK Power Electronics World

TDKパワーエレクトロニクス製品 ガイドブック



パワーエレクトロニクス・ワールドへ、ようこそ。

Contents

基本編

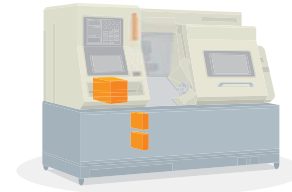
- DC(直流)とは? AC(交流)とは? 3
- 完全な直流、完全な交流はない 4
- 安定化回路はなぜ必要か? 5
- 電源デバイスのさまざまな役割分担 6
- 整流とは? 平滑とは? 7
- 主要部品の機能を知る 8
- 最適な電源システムを構築する 9
- 分散電源システムとパワーモジュール 10

技術編

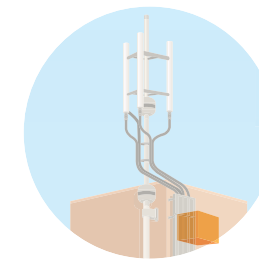
- リニア電源のしくみ 11
- スイッチング電源のしくみ 12
- 非絶縁型DC-DCコンバータの基本回路 13
 - ・チョップ方式(バックコンバータ、ブーストコンバータ)
 - ・チャージポンプ方式
- 絶縁型DC-DCコンバータの基本回路 15
 - ・フライバックコンバータ、フォワードコンバータ
 - ・RCC方式、プッシュプル方式、フルブリッジ方式
- さらなる高効率化のための技術 17
 - ・スイッチング電源の損失箇所、ソフトスイッチング
 - ・同期整流方式、デジタル制御
- 電源の性能を支えるキーパーツ 19
 - ・コンデンサ、コイル、トランス
- スイッチング電源のノイズ対策 20
- UPS(無停電電源装置)の選び方 21
- 新たな電源システムとバッテリー 22
- スイッチング電源発展の歴史



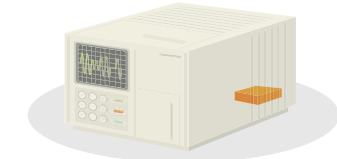
FA・制御機器



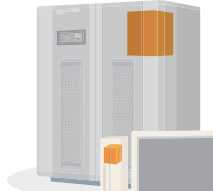
通信・放送機器



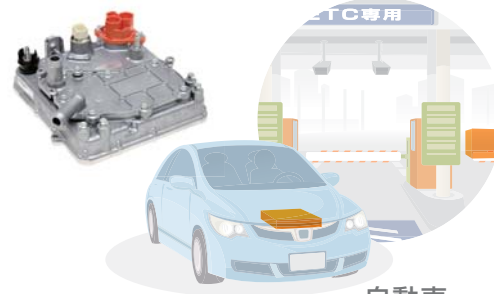
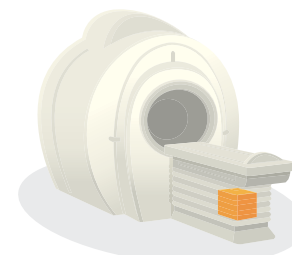
計測・試験機器



コンピュータ・OA機器



医療機器



自動車・交通制御機器



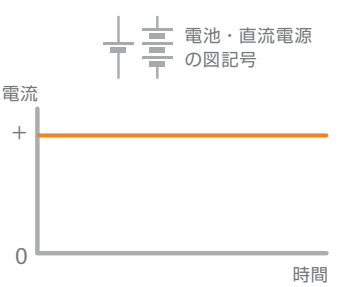
家電・民生機器

▶ DC(直流)とは? AC(交流)とは?

電流には直流(DC)と交流(AC)があります。直流は乾電池のように、電流の向きや大きさ(電圧)が一定な電流。交流は時間とともに、電流の向きと大きさが周期的に変化する電流です。昔は静電気(摩擦電気)しか知られていませんでしたが、電池が発明されて、まず直流が利用できるようになり、のちに発電機が発明されて、交流が利用されるようになりました。

DC(直流)は“Direct Current”(まっ直ぐな電流)の略語。

直流 直流は電流の向きと大きさが一定。



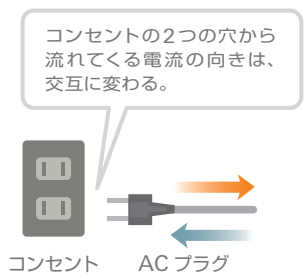
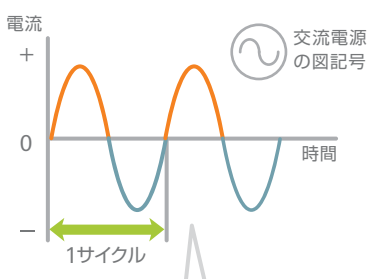
一次電池と二次電池

乾電池などの使い切りの電池を**一次電池**、充電して繰り返し使える電池を**二次電池(充電電池)**という。

リチウムイオン電池、鉛蓄電池、乾電池、ニッカド電池、ボタン電池

AC(交流)は“Alternating Current”(交互に替わる電流)の略語。

交流 交流は電流の向きと大きさが周期的に変化する。



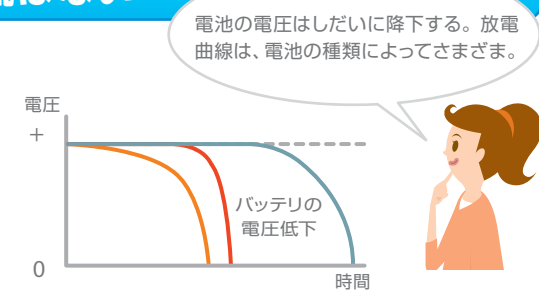
交流の周波数
交流電流の向きが、1秒間に何サイクル変わるかを交流の周波数という。単位はHz(ヘルツ)。商用交流の周波数は、東日本では50Hz、西日本では60Hz。

低周波、高周波
周波数が比較的小さな交流を低周波、大きな交流を高周波というが、一般に高周波とは、周波数がkHz、MHz以上の交流を意味する。

電力会社から供給される**商用交流**のこの波形を、サイン波(正弦波)という。
※交流電流はすべてサイン波とはかぎらない。パルス状の波形の交流もある。

▶ 完全な直流、完全な交流はない

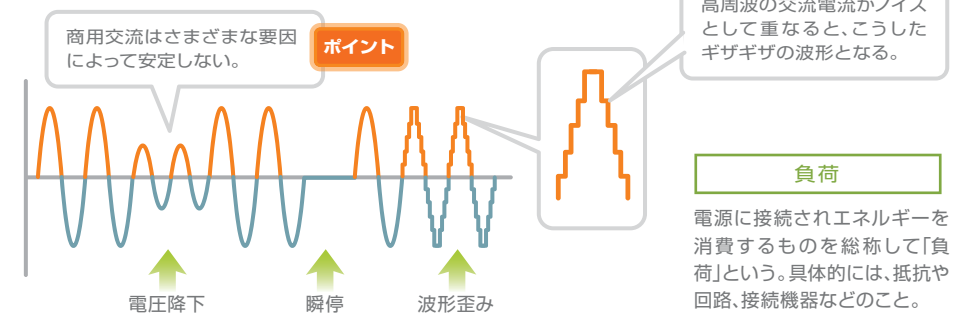
バッテリー(乾電池・充電電池)のパワーが落ちると、電気・電子機器が作動しなくなります。バッテリーの電圧は時間とともに低下していくからです。近年、ICの駆動電圧は低くなっているので、わずかな電圧変動も問題になってきます。



コンセントの交流電圧は100±10Vの間で変化していて一定ではない。

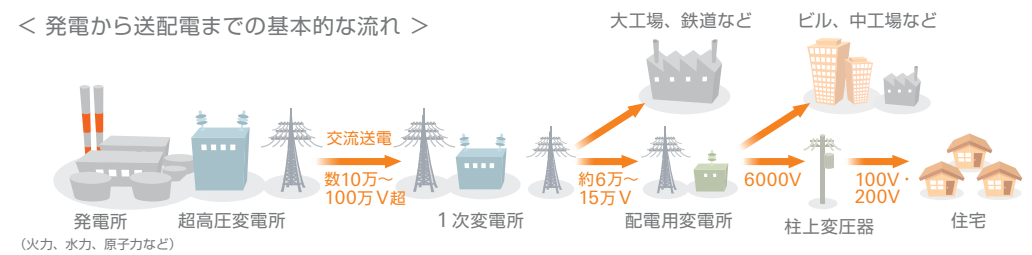
コンセントから得られる商用交流も安定なものとはいえません。配電網につながる負荷(接続機器類など)の状態によって、商用交流は不安定なものになります。たとえば真夏の昼時、近隣の家々がエアコンをいっせいに使い出ししたりすると電圧が低下します。このほか、瞬間的に送電がストップしたり(瞬停)、ノイズが加わって波形歪みが生じたりします。

< 商用交流の不安定要因 >



なぜ、電力は高圧の交流で送電されるのか?

< 発電から送配電までの基本的な流れ >



高い電圧で送電するほうが電力ロス(電線の抵抗による発熱ロス)が少ない。

交流はトランス(変圧器)で容易に電圧変換できるのが利点(一部の送電ルートでは直流送電も採用されている)。

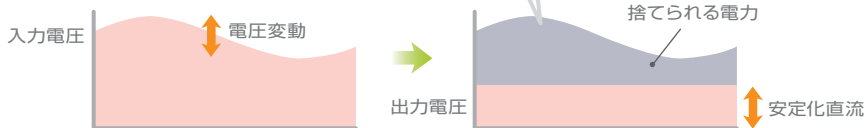
▶ 安定化回路はなぜ必要か？

バッテリーの直流も、商用交流をACアダプタなどで変換して得られる直流も、不安定な電圧変動を残しています。これでは、電圧変動に敏感な電子機器などでは誤動作を起こすので、安定化回路によって定電圧の直流をつくります。その方式として、リニア方式(シリーズ方式、ドロップ方式ともいう)とスイッチング方式があります。

リニア方式は原理的にシンプルだが、非効率で発熱ロスが大きい。

リニア方式(シリーズ方式)

< リニア電源 >

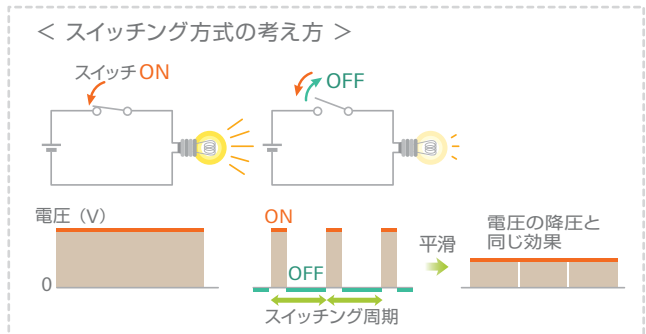


リニア方式は、凹凸(電圧変動)を削り取って、ならすような方式。

スイッチング方式は小型・軽量・高効率な安定化電源を実現する。

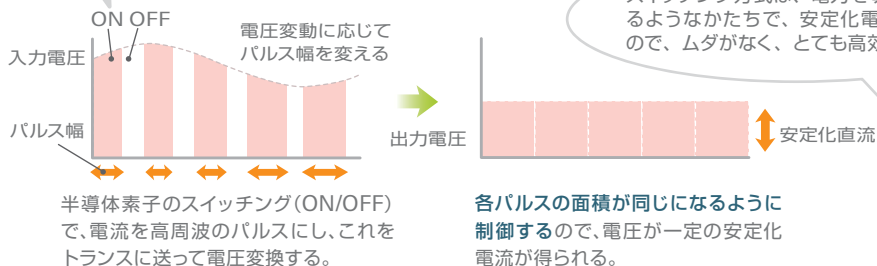
スイッチング方式

たとえば、右図のような回路で、スイッチをすばやくON/OFFすると、電圧が降圧したのと同じ効果でランプの明るさが落ちる。この動作を半導体素子によって実現するのがスイッチング方式の電源。



スイッチング方式は、電力を切り貼りするようなかたちで、安定化電流を得るので、ムダがなく、とても高効率。

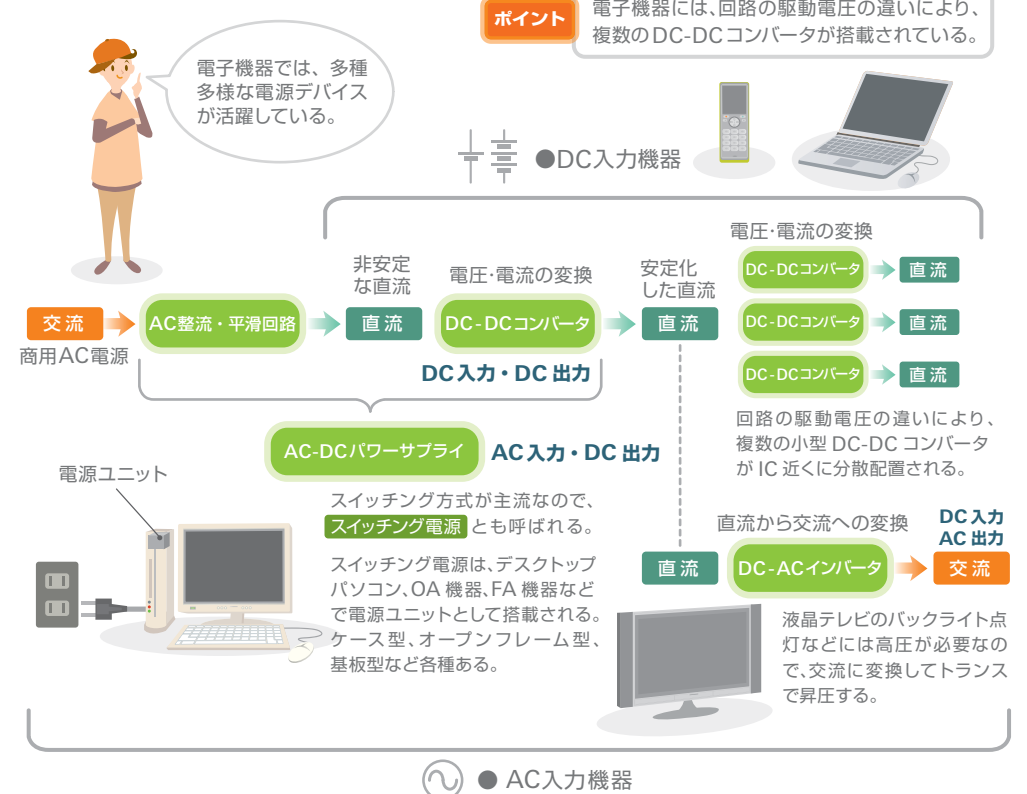
これを **PWM (Pulse Width Modulation: パルス幅制御)** という。



▶ 電源デバイスのさまざまな役割分担

ほとんどの電子機器は直流で動作します。そこで、商用交流を整流してから(まだ不安定な直流)、DC-DCコンバータにより電力変換(電圧や電流の変換)するとともに、安定化回路によって、きわめて安定化した直流を得ています。

< 電子機器内部の電力変換デバイス >



リニア電源とスイッチング電源の長所/短所。

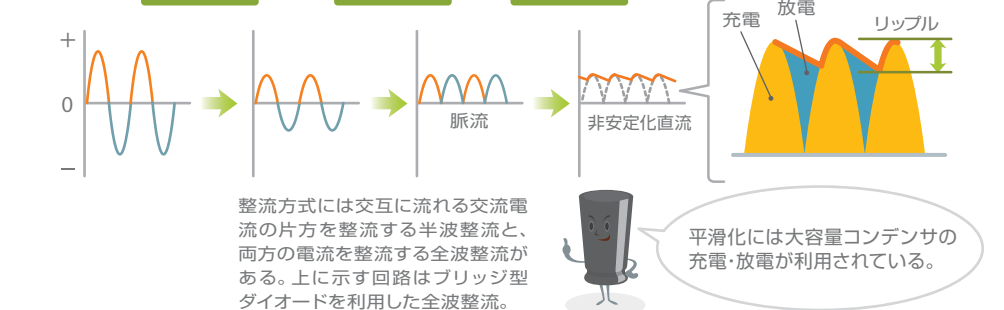
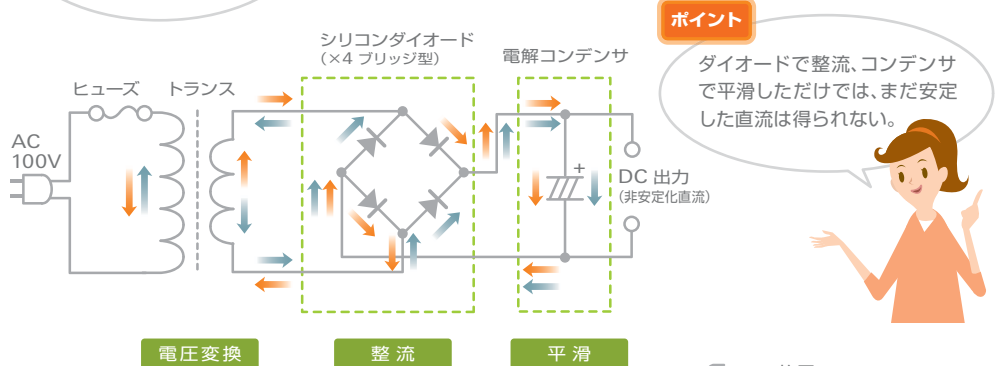
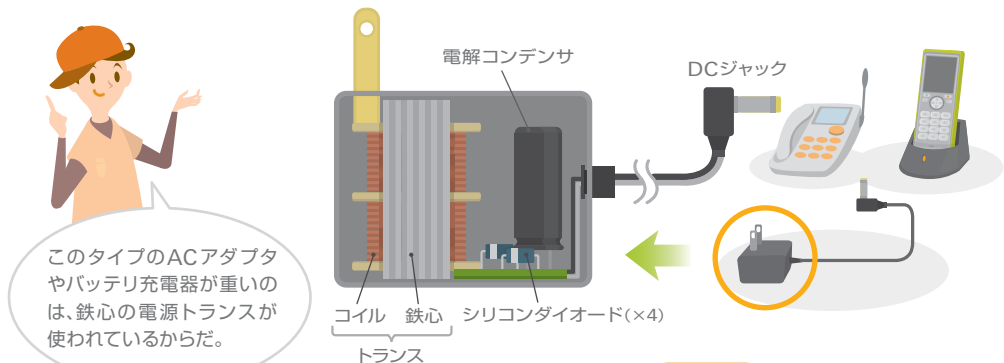
	リニア電源	スイッチング電源
効率	低い (30 ~ 60%)	高い (70 ~ 90% 以上)
放熱量	大	小
大きさ・重量	大型・重い	小型・軽い
安定度	高い	普通
放射ノイズ	なし	あり (ノイズ対策が必要)

スイッチング方式の電源の短所は、半導体素子の高速スイッチングにともなう**スイッチングノイズ**が発生すること。このため、**ノイズフィルタ**などによる**EMC対策(ノイズ対策)**が不可欠となる。

▶ 整流とは？ 平滑とは？

交流を直流に変換すること**整流**といいます。順方向の電流は通し、逆方向の電流は通さないダイオードを利用して整流します。ただし、整流しただけの直流には、交流の名残りのようなさざ波状の電圧変動（リップル）が残っています。そこで、これをコンデンサを利用してなだらかに平滑します。

簡易な AC アダプタ・バッテリーチャージャで電源回路の基本を知る。



▶ 主要部品の機能を知る

電源のしくみを理解するためには、主要部品の機能を知っておく必要があります。回路記号にも慣れておくと、電源回路の骨格が読み解けるようになります。

コンデンサ(C)、コイル(L)、抵抗(R)は、三大受動部品。

コンデンサ	コイル (インダクタ)	トランス (変圧器)	抵抗
<p>電解コンデンサ (+は極性を表す)</p> <p>SMD (表面実装部品) タイプのコンデンサは、積層セラミックコンデンサが主流。</p>	<p>点線 (あるいは実線) はコア (磁心) を表す。</p> <p>チョークコイルなどのコア入りコイル</p>	<p>1次巻線 2次巻線</p> <p>電源トランスや高周波トランスなど</p> <p>ポイント 1次側の電力はコアを通じて2次側に送られる。このときコアロスという損失 (主に発熱ロス) が生じるので、コア材料の特性が電源の効率に大きく影響する。</p>	<p>または</p> <p>学校教科書などでは、この図記号が用いられる。</p>
<p>大量の電荷を蓄えるのが、電源における平滑コンデンサの働き。瞬間的に充放電するバッテリーのように機能する。交流を通過させる性質もある。</p>	<p>コイルは直流をスムーズに通過させるが、交流に対しては抵抗のように振る舞い、電気エネルギーを蓄える。</p>		

電源回路に使われる半導体素子をとくにパワー半導体という。

ダイオード	トランジスタ	MOSFET	IC (集積回路)
<p>順方向の電流だけ流す</p>	<p>ベース コレクタ エミッタ</p>	<p>ゲート ドレイン ソース</p>	
<p>1方向にだけ電流を流す性質をもつ素子。整流回路などに使われる。</p>	<p>増幅機能をもつ半導体素子。電源回路では、電流をON/OFFするスイッチング素子としても使われる。MOSFET (モスフェット) は、金属酸化物半導体を用いた電界効果トランジスタ。</p>		<p>多数のトランジスタやダイオード、抵抗などを半導体基板 (シリコンなど) に形成した集積回路。</p>

▶ 最適な電源システムを構築する

スイッチング電源(AC-DCパワーサプライ)やDC-DCコンバータは、大きさ、容量、形状などにより、さまざまな種類があります。また、DC-DCコンバータは、絶縁型と非絶縁型に大別されます。絶縁型はトランスを用いたタイプ(感電防止の目的もある)、非絶縁型はトランスを用いていない小型タイプです。多数の部品を1つの基板にコンパクトに一体化した**パワーモジュール**も多用されています。

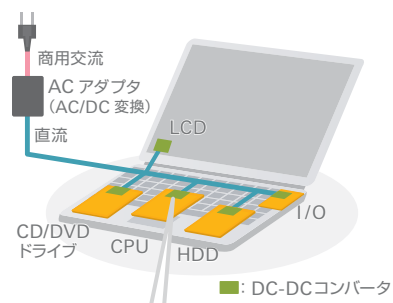
- 非絶縁型** 絶縁型の後段に用いて回路動作に必要な電圧に変換。小型で低価格。
- 絶縁型** トランスを用いて電氣的に絶縁。小型化や低価格化に難がある。

非絶縁型DC-DCコンバータは、小型のSMD(表面実装部品)タイプが多い。出力は1W未満~数百W程度。

- 非絶縁型 DC-DC コンバータ
- DC入力 DC出力
- 絶縁型 DC-DC コンバータ



出力は1W程度~数10W。



ノートパソコン内部にも、複数の小型DC-DCコンバータが搭載され、必要な電圧に変換して供給されている。

AC-DC パワーモジュール

- AC入力 DC出力



AC-DCコンバータとDC-DCコンバータをコンパクトに一体化。冷却ファン不要のコンダクション・クーリング(伝導放熱)方式。出力は50~1000W程度。

出力は10W未満~3000W以上。ワイド入力、マルチ出力など各種ある。

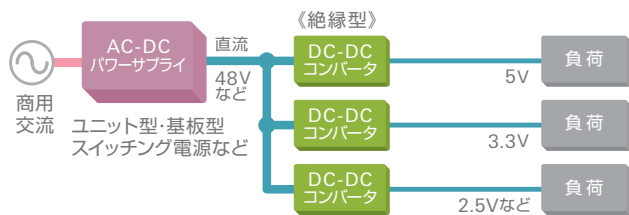
AC-DC パワーサプライ



▶ 分散電源システムとパワーモジュール

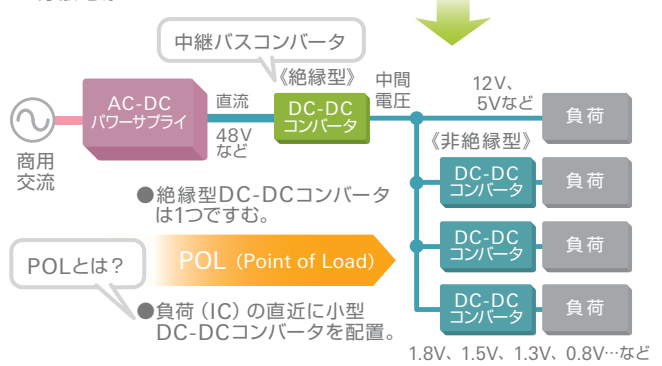
近年、ICの低電圧化・大電流化などにより、小型で高効率のDC-DCコンバータをIC近くに配置する分散電源システムへとシフトしています。

< 従来の電源システム >



- #### 従来システムの問題点
- 複数の絶縁型DC-DCコンバータを使用するのはコスト面や省スペースに難がある。
 - ICの低駆動電圧化が進んでいるが、いきなり低電圧に下げると効率がよくない。
 - 高周波になると負荷までの配線の抵抗やインダクタンス成分の影響が大きくなる。

< 分散電源システム >



- POLとは? POL (Point of Load)
- 絶縁型DC-DCコンバータは1つですむ。
 - 負荷(IC)の直近に小型DC-DCコンバータを配置。

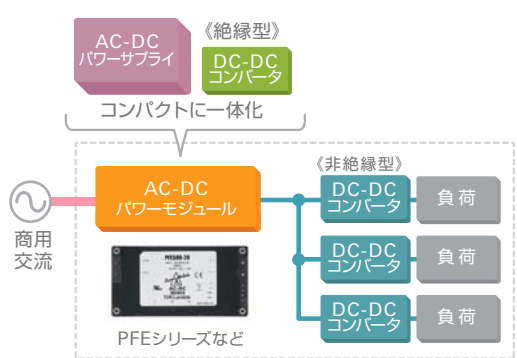
- #### 分散電源システムの利点
- ポイント** 高効率の非絶縁型DC-DCコンバータは、発熱が少なくヒートシンクが不要なので、プリント基板のICの直近に実装できる。

パワーモジュールによって簡便・コンパクトな分散電源システムが実現する。

AC-DCコンバータ、DC-DCコンバータほか、PFHC(高調波抑制・力率改善)機能(→17頁)などの各種電源回路をまとめて一体化した製品を**AC-DCパワーモジュール**といいます。さまざまな分散電源システムにフレキシブルに対応できます。

パワーモジュールは**ブリック**という単位で規格化されている。

< 分散電源システムとAC-DCパワーモジュール >



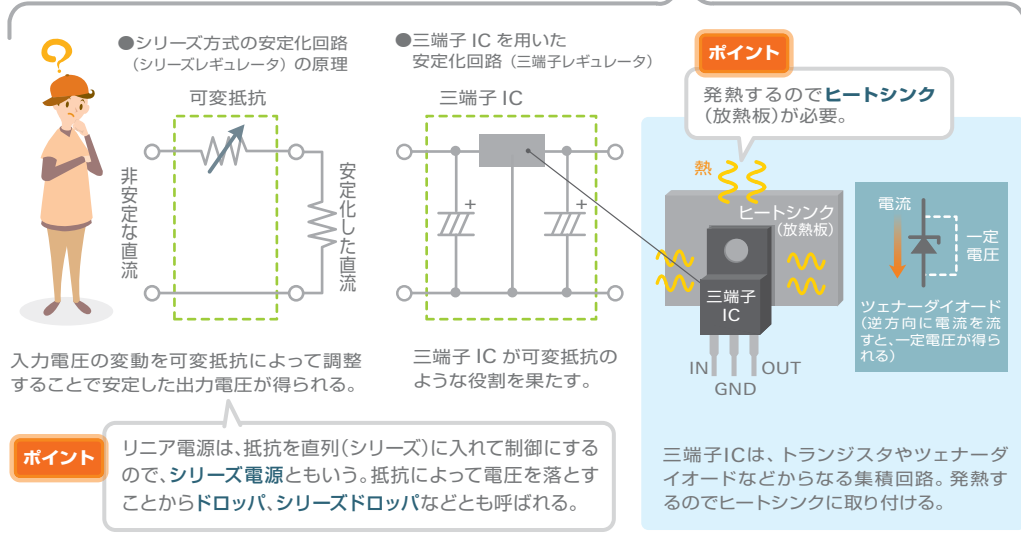
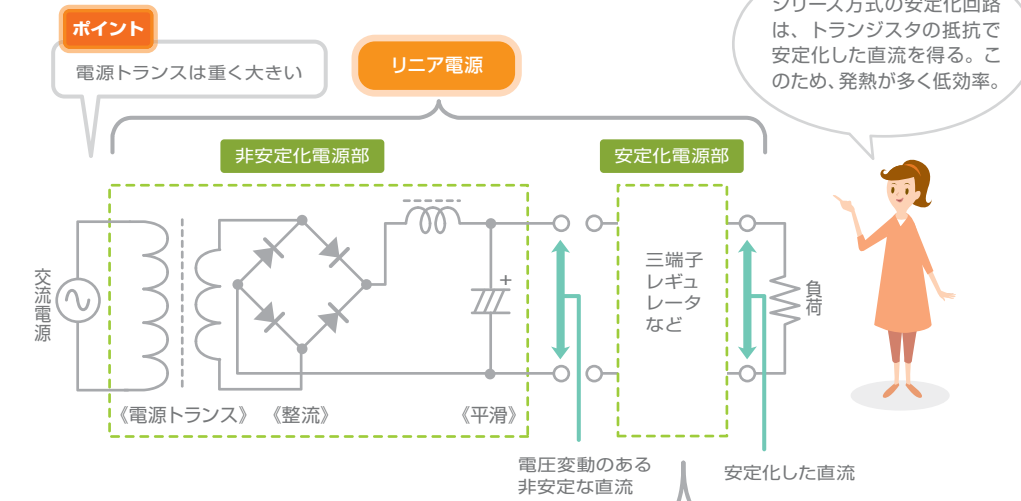
- #### ポイント
- パワーモジュールは、高効率化により冷却ファンが不要なコンダクションクーリング(伝導放熱)方式を採用。すべての電源デバイスを同じプリント基板に搭載できる。

▶ リニア電源のしくみ

商用交流を整流・平滑しただけでは、まだ非安定な直流です(→7頁参照)。これを電圧変動の少ない直流にするのが安定化回路です。まずは、かつての主流であったリニア方式の安定化回路を読み解いてみましょう。

リニア電源には重くて大きい電源トランスが必要になる。

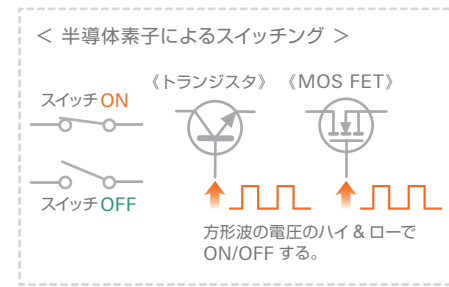
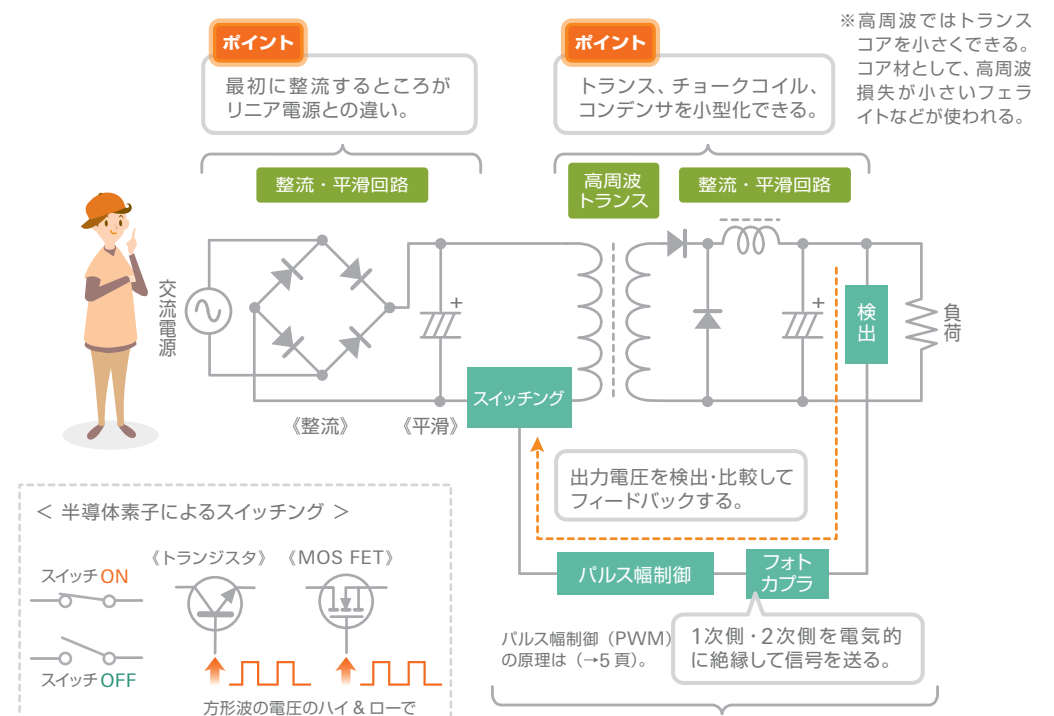
＜ 三端子ICを用いたリニア電源 ＞



▶ スイッチング電源のしくみ

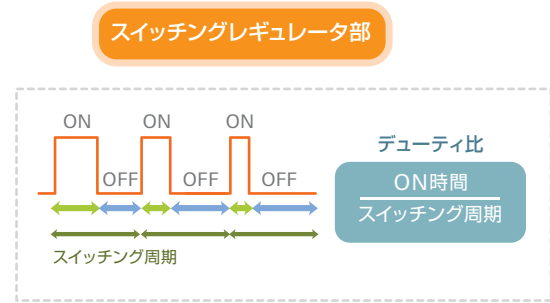
いったん整流された非安定な直流電力をスイッチング素子(トランジスタやMOSFET)による高速スイッチングで高周波のパルスにしてトランスに送ります。そして、その出力電圧を検出・比較してフィードバックし、パルス幅を制御することで、安定した直流を得ます。リニア電源とくらべて小型・軽量・高効率ですが、回路が複雑になること、また、高速スイッチングなどによるノイズが発生するのでノイズ対策が不可欠となります。

パルス幅をフィードバック制御することで定電圧の直流を得る。



スイッチングレギュレータの原理

スイッチング素子により一定周期で電流をON/OFFし、パルス波にしてトランスに送る。ON状態とOFF状態の時間の比(デューティ比、デューティサイクル)により、出力電圧を調整する。入力電圧の変動に対しては、デューティ比(パルス幅)を制御することで、出力電圧の安定化を図る(PWM方式)。

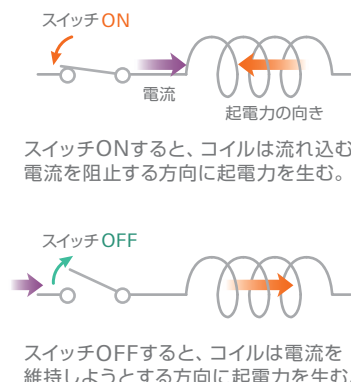
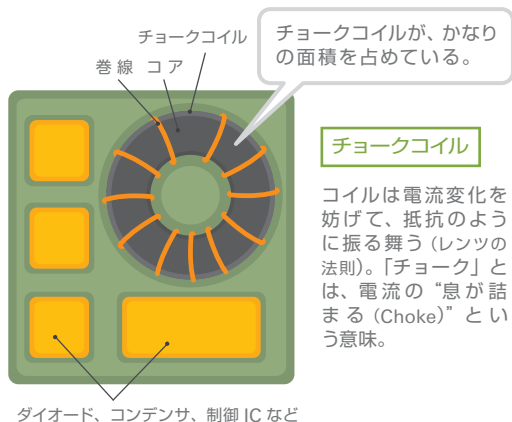


▶ 非絶縁型 DC-DC コンバータの基本回路

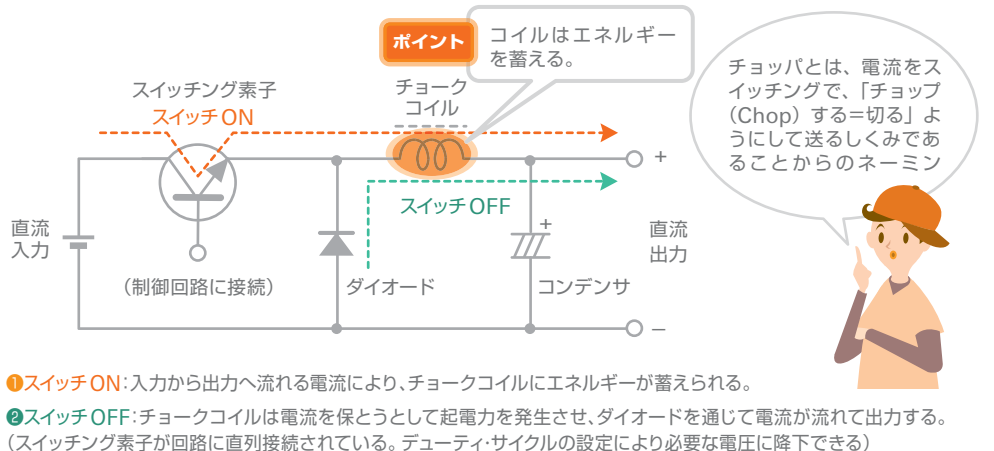
非絶縁型の DC-DC コンバータにも、いくつかの方式があります。出力 1W 未満～数 W 程度の小型オンボードタイプなどに採用されているのは **チョップ方式** と呼ばれるものです。これには降圧型 (**ステップダウン**) のバックコンバータ、昇圧型 (**ステップアップ**) のブーストコンバータなどがあります。いずれも少ない部品点数で小型・ローコストなローカル電源が作れます。より簡便なチャージポンプ方式は、コンデンサを活用し、コイルやトランスを用いていないのが特長です。

チョップ方式 小出力の小型オンボードタイプ

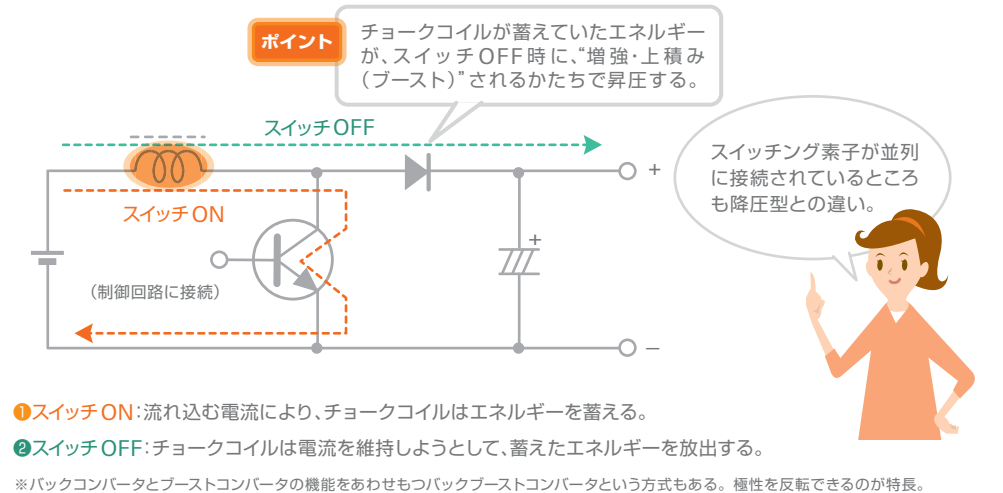
< 小型オンボードタイプの DC-DC コンバータ (チョップ方式) の部品実装の例 > < スイッチングとコイルの働き >



バックコンバータ (降圧) 入力電圧 > 出力電圧



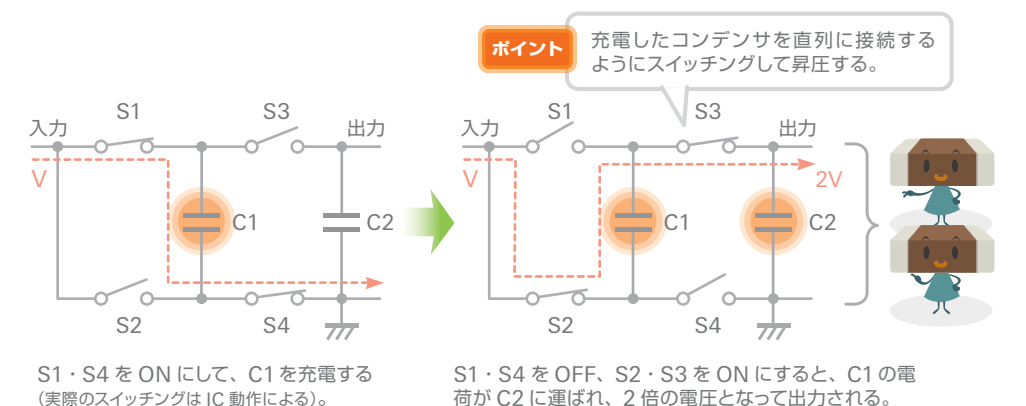
ブーストコンバータ (昇圧) 入力電圧 < 出力電圧



チャージポンプ方式 コンデンサを用いた小出力タイプ

コンデンサは蓄電器と呼ばれるように、電荷を蓄えるのが基本機能です。これを利用したのがチャージポンプ方式。トランスやコイルを用いず、コンデンサだけ電圧変換する小型・簡易な DC-DC コンバータです。コンデンサに蓄えた電荷を、スイッチングによりバケツリレーのように運んで昇圧します。

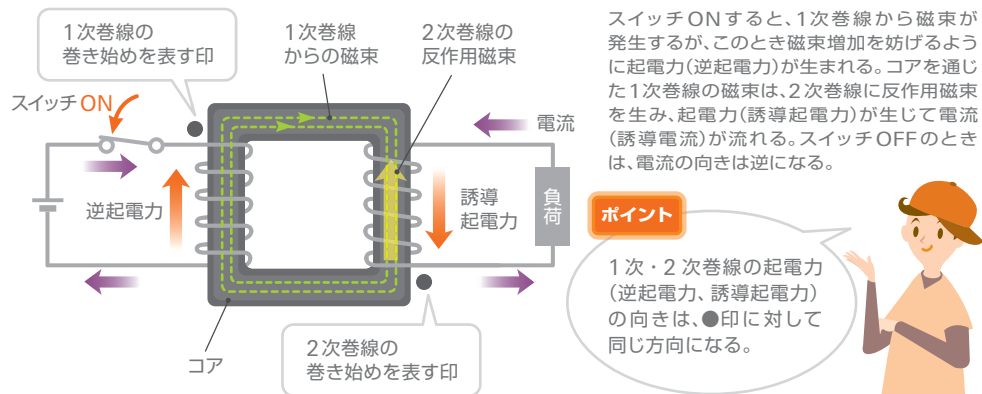
< チャージポンプ式の DC-DC コンバータ (昇圧型) の基本原理 >



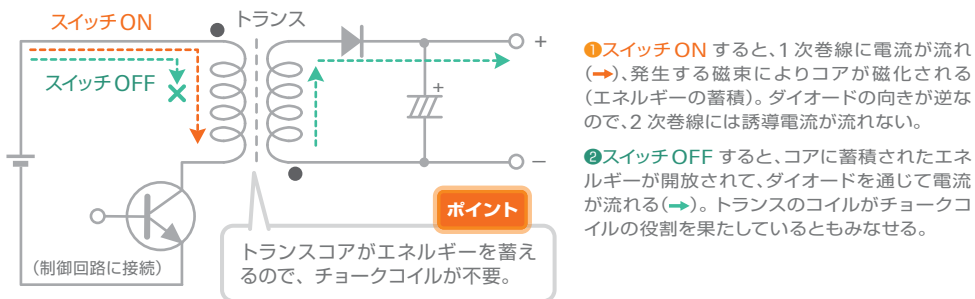
▶ 絶縁型 DC-DC コンバータの基本回路

絶縁型 DC-DC コンバータと呼ばれるのは、トランスを積極的に用い、大出力にも対応した本格的なタイプです。基本的な原理や骨格となる回路を知っておくと理解も深まります。

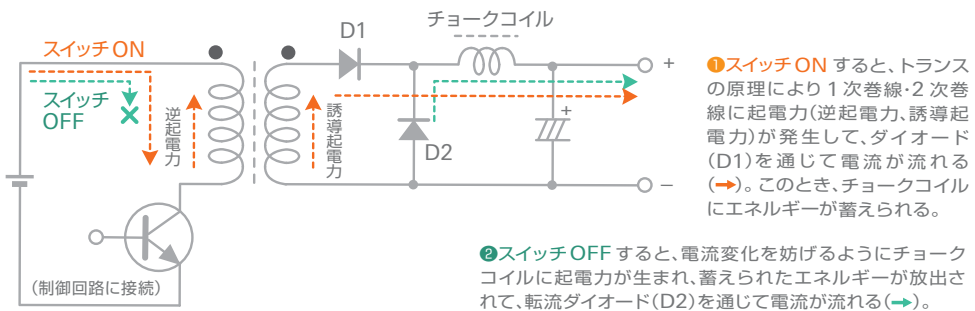
＜ トランスの原理と起電力の方向 ＞



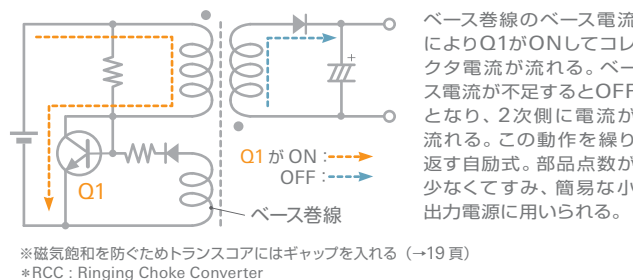
フライバックコンバータ 小～中出力タイプ



フォワードコンバータ (1石式) 中出力タイプ

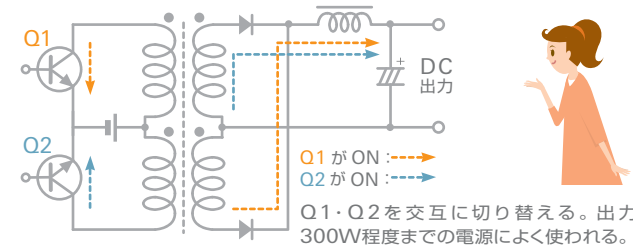


RCC方式(自動式フライバックコンバータ) 小出力タイプ

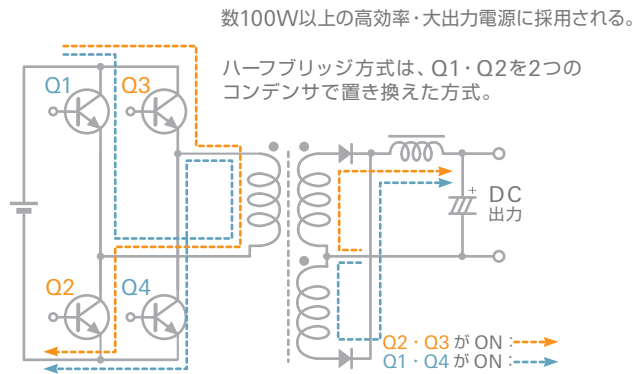


中～大出力タイプは複数のスイッチング素子を用いる多石式となり、回路は複雑になりますが、高効率化や低ノイズ化、高機能化が図れます。

プッシュプル方式 中～大出力タイプ



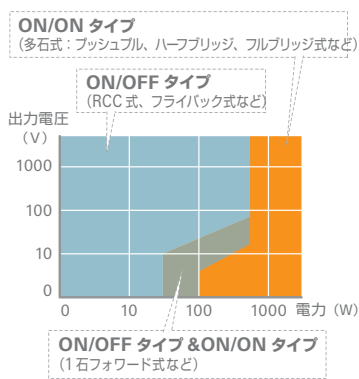
フルブリッジ方式 中～大出力タイプ



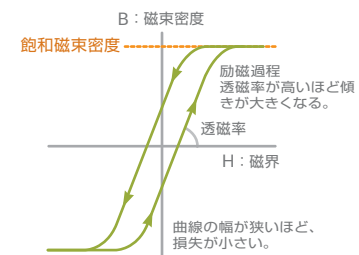
ON/ON方式とON/OFF方式

DC-DCコンバータには、スイッチング素子がONのときエネルギーを出力するON/ON方式と、スイッチング素子がOFFのとき出力するON/OFF方式がある。

出力電圧・電力別のタイプ



磁性体コアの B-H 曲線



各種コア材の性能比較

	ケイ素鋼	フェライト	アモルファス
透磁率	△	○	◎
飽和磁化	◎	△	△
鉄損	×	◎	◎
製造コスト	△	◎	×

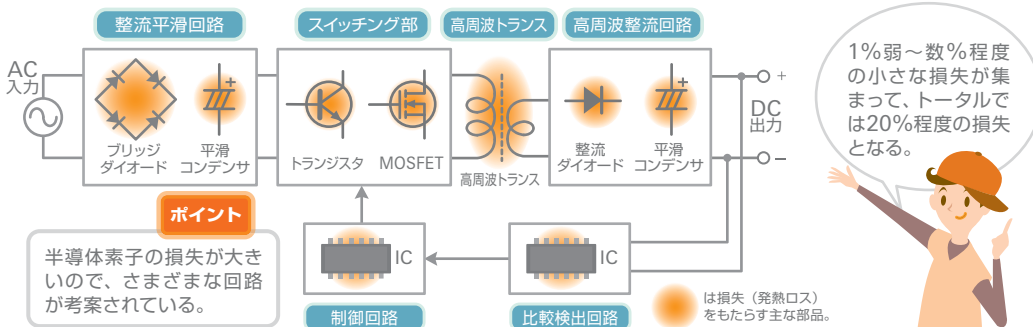
▶ さらなる高効率化のための技術

電源が1%効率化されるだけでも、社会全体では莫大な省エネ効果を生み出します。さらなる高効率化のための新技術をいくつかご紹介します。

スイッチング電源の損失箇所

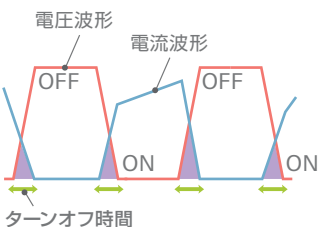
トランスのコア材の特性が効率に大きく影響する。蓄積したフェライト技術をもつのが TDK の強み。

＜ AC-DCスイッチング電源の主な損失(発熱ロス)箇所 ＞

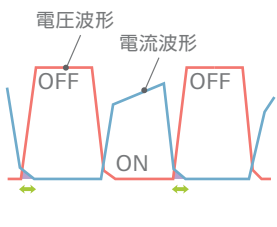


ソフトスイッチング

通常のスイッチング(ハードスイッチング)



ソフトスイッチング



ソフトスイッチングとは、ON/OFFのタイミングを高度に制御することで、スイッチング損失を減らす技術。電圧ゼロの状態ですwitchingするZVS方式や、電流ゼロの状態ですwitchingするZCS方式などがあります。

さらなる高周波化への対応として、コイルとコンデンサの共振ですwitchingする共振型電源という技術も実用化され始めています。

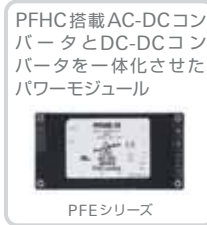
*ZVS: Zero Voltage Switching
ZCS: Zero Current Switching

高調波抑制・力率改善回路(PFHC)

商用交流に含まれる高調波(基本周波数の整数倍の成分)を抑制することで波形を整えて力率を改善する技術。

ポイント

電源ではコイルやコンデンサがエネルギーを蓄えたり、入力側に戻したりするので、力率は1未満となる。



電源の「効率」と「力率」

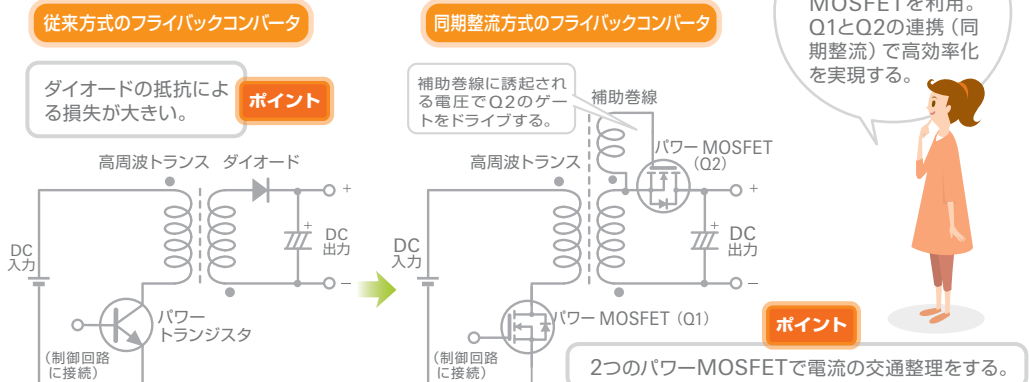
効率 = 出力電力 (W) / 入力電力 (W)
力率 = 有効電力 (W) / 皮相電力 (VA)

(皮相電力とは電圧計と電流計で得られる数値の積。見かけの電力のこと。)

スイッチング電源において損失が大きいのは半導体素子です。また、小型化するために、スイッチング動作の周波数を上げれば、損失も大きくなります。電源の技術最前線では、こうした問題の解決に向けて研究が進められています。

同期整流方式

＜ 絶縁型DC-DCコンバータの簡易な同期整流回路例 ＞



デジタル制御

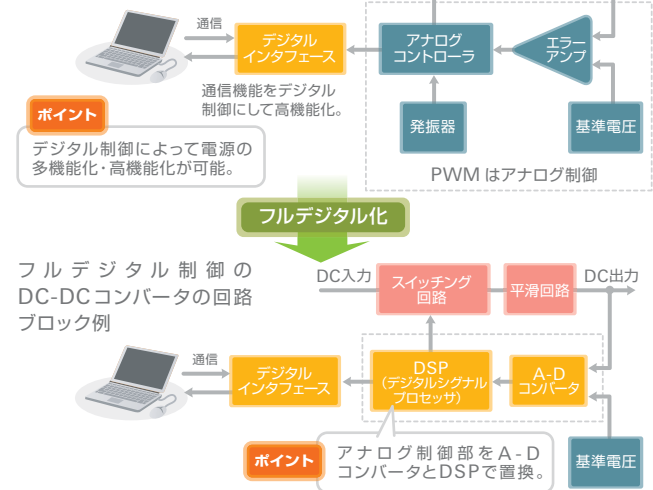
電源のデジタル制御は、通信系から始まり、制御回路を含めたフルデジタル制御へと発展を遂げています。

フルデジタル化のメリット

- 入力電圧、出力電流、温度などの電源情報が、リアルタイムでパソコンに表示できる。
- きめ細かな出力制御による省エネ。
- 突入電流による半導体素子の破損を防ぐためのソフトスタート機能なども容易に実現する。
- 複数のDC-DCコンバータを分散配置するPOLのパワーマネジメントにも有利。
- 部品点数を少なくできる。

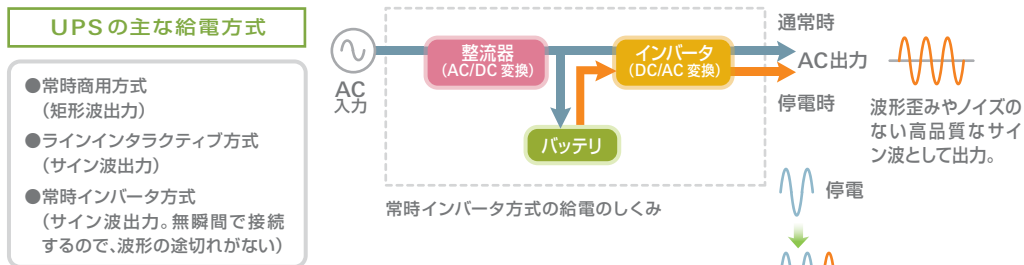
※2005年、DSP (Digital Signal Processing)を用いたフルデジタル制御DC-DCコンバータの開発を開始し、現在ではデジタル制御を活かしたAC-DC電源の製品化も進めています。

通信機能をデジタル制御にしたDC-DCコンバータの回路



▶ UPS(無停電電源装置)の選び方

停電や電圧低下、商用交流の波形歪みなど、さまざまな電源障害による不測のシステムダウンを防ぐのがUPS(無停電電源装置)。用途に応じた機種が豊富にラインナップされています。



< UPS容量の算定方法 >

- 総容量 (VA) = (VA 表記機器の合計容量) + (W 表記機器の合計容量 ÷ 0.6)
- 総容量 (W) = (VA 表記機器の合計容量 × 力率*) + (W 表記機器の合計容量)

V、A で表記されている場合は双方の数値を掛ける (例: 100V、1.8A → 180VA)
* 力率は接続機種により異なるので注意。一般的に 0.6 ~ 0.8。

算出した双方の数値より、大きい容量のUPSを選定する。バックアップ時間も余裕をもたせる。

UPSは容量と電源障害のレベルによって多種多様なタイプがある。



▶ 新たな電源システムとバッテリー

近年、UPSのバッテリーは従来の鉛蓄電池からリチウムイオン電池への置換が進み、UPSの小型・軽量・長寿命化が急速に進んでいます。ハイブリッドカー(HEV)などの電気自動車の普及の鍵となるのもバッテリーです。

電気自動車(HEV、EV)においてバッテリーはキーテクノロジー。

< 各種二次電池のエネルギー密度 >

ニッケル水素電池、リチウムイオン電池、ニカド電池

< HEV(パラレル方式の例)の基本メカニズムとDC-DCコンバータ >

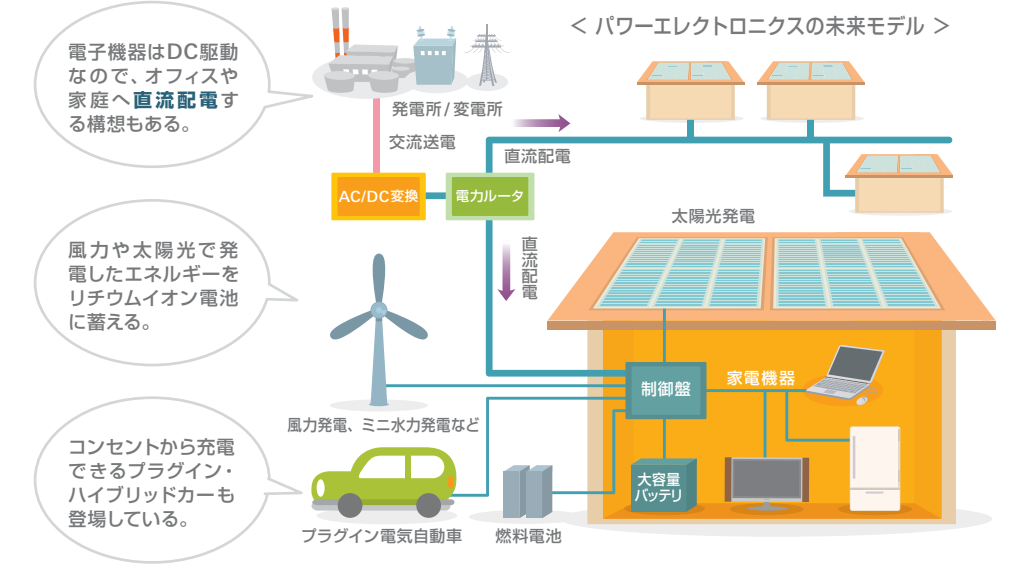
インバータ、モーター、ジェネレーター、エンジン、DC-DCコンバータ、高圧バッテリー、補機バッテリー、ランプ、ワイパなど、ジェネレーター、モーター

リチウムイオン電池、ニッケル水素電池などをスタック。約200~300Vの高圧。

TDKのHEV用DC-DCコンバータ。メインバッテリーの高圧を低圧に変換する。

ポイント バッテリーの節約に、高効率の車載DC-DCコンバータが求められている。

本格化する自然エネルギーの利用にも、リチウムイオン電池が活躍する。

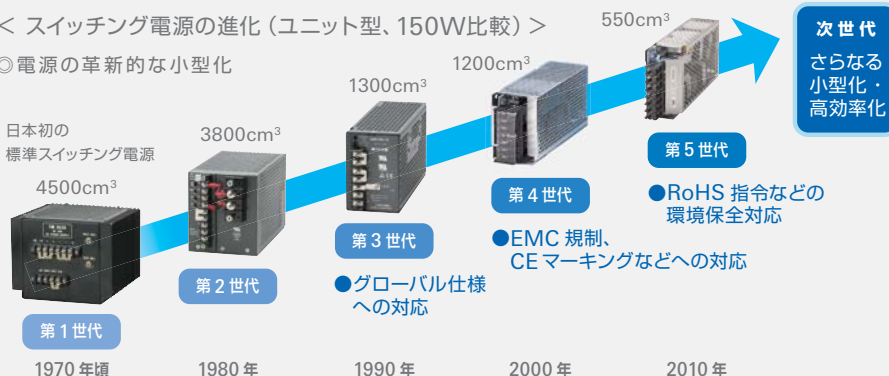


スイッチング電源発展の歴史

1960年頃	この当時、真空管を利用した安定化電源が主流 米国NASAが宇宙機器用にスイッチング電源の開発に着手
1965年頃	スイッチング電源向けの半導体素子が開発され始める
1970年頃	この頃、TDKおよび日本電子メモリ工業(ネミック・ラムダの前身)がスイッチング電源事業に着手
1972年	日本電子メモリ工業が日本初の標準スイッチング電源を製造・販売 TDKがスイッチング電源を製造・発売
1974年	業務用テレビゲームに採用され、スイッチング電源市場が拡大
1976年	TDKがスイッチング電源用トランスを製造・発売
1978年	日本電子メモリ工業の営業を譲受し、ネミック・ラムダ(デンセイ・ラムダの前身)を設立
1995年	TDKがHEV用DC-DCコンバータの生産開始
2000年	TDKがスイッチング電源RKWシリーズ、JBWシリーズを発売
2004年	デンセイ・ラムダ(TDKラムダの前身)がスイッチング電源HWSシリーズを発売
2005年	TDKグループにデンセイ・ラムダが加わる リチウムイオン電池搭載UPS(完全鉛フリー)発売
2006年	TDK-Lambdaブランド製品の発売開始 13シリーズ・234機種 of 電源用EMCフィルタ (全機種RoHS指令対応)を市場投入
2008年	TDKラムダ株式会社発足

< スwitching電源の進化 (ユニット型、150W比較) >

◎電源の革新的な小型化



TDKパワーエレクトロニクス・ワールド

発行日 2009年3月31日／発行者 TDK株式会社 広報部
〒103-8272 東京都中央区日本橋1-13-1 Tel.03-5201-7102

