

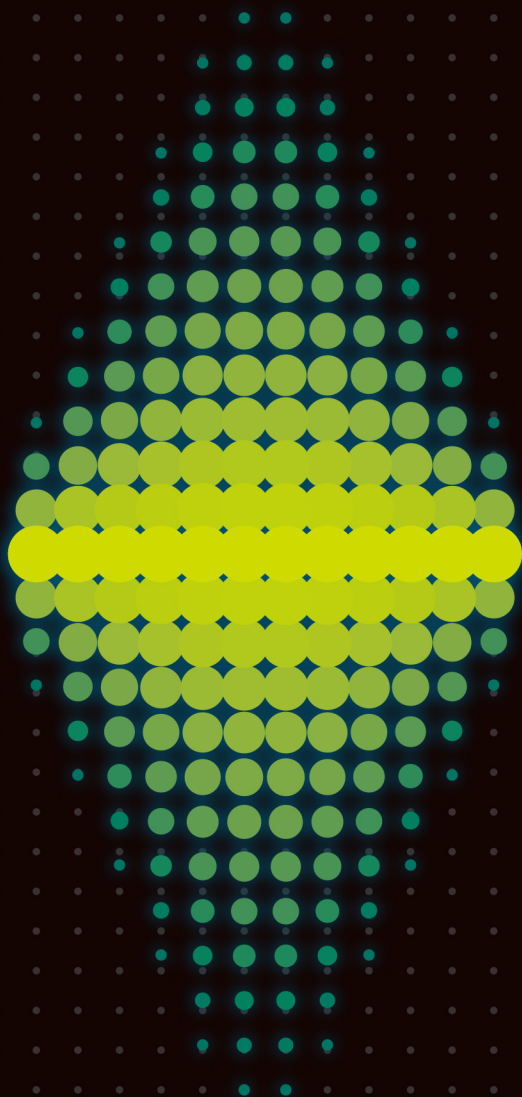


力率改善 PFCによる ACパワーの有効活用技術

整流回路の基礎実験から高力率回路の先端設計技術まで

吉岡 均^[著]

Hitoshi Yoshioka



CQ出版社

第1章

電子機器のAC入力電流を観測する

電子機器におけるAC入力電流，
つまり壁にあるAC100Vのコンセントから
「私たちが取り出している電流がどのような波形になっているのか？」
が気になったので，筆者宅にある電子機器の入力電流を調べることにしました。

1-1

AC入力波形や力率を実測する

図1-1に測定系のブロック図を示します。はんだごてや測定器，照明や家電機器などのAC入力電流波形を観測するのが目的です。同時に，入力電流と入力電力の実効値を測定し，力率を求めてみたので以下に紹介します。入力電圧はすべてAC100V，周波数は関東地方なので50Hzです。ただし，自宅の壁のコンセント環境からスライド・レギュレータを使った測定なので，いわゆるAC入力のライン・インピーダンスはやや高い状況です。測定した入力電圧波形が純粋な正弦波ではありませんが，ご了承ください。

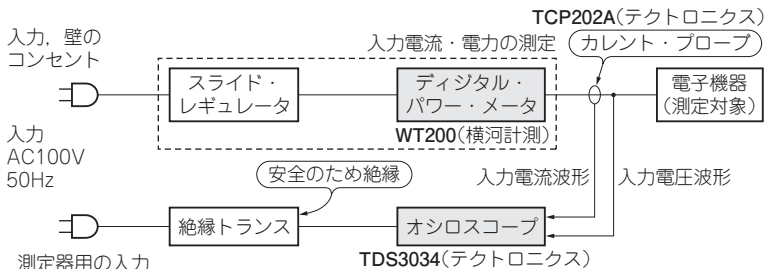


図1-1 さまざまな電子機器のAC入力電流を調べるための測定系

測定系の都合でスライド・レギュレータ（スライダック）とパワー・メータは一体になっている

第2章

整流&平滑回路を徹底研究する

近年の電子機器はICを主とする半導体の活躍によって成り立っていて、多くが直流(DC)電源からのエネルギーによって動作しています。コンセントに來ているのはAC電源ですが、必要なのはDC電源。AC-DC変換を行うのが整流・平滑回路です。

2-1

ブリッジ整流回路の動作と実験の準備

● スイッチング電源構成におけるブリッジ整流回路

ACライン入力からDCへの電力変換を行うには、AC電圧をDC電圧に変換するいわゆる整流回路が必要です。また、整流回路には半波整流方式と全波(両波)整流方式があります。小電力用途では半波整流でも構いませんが、通常は効率的な電力変換のために全波整流が使われます。そこに使用されるのが整流ダイオードと呼ばれる半導体素子で、回路形状から一般に「ブリッジ・ダイオード」とも呼ばれています。図2-1に一般的なスイッチング電源におけるブリッジ・ダイオードを使用した整流回路の構成を示します。ブリッジ整流回路と呼ばれています。

ブリッジ整流回路はAC入力段における保安回路、EMIノイズ・フィルタなどを経て後段に配置されます*1。なお後述するPFC回路では、「ブリッジレス・ブースト(BLB)」や「トータムポールPFC」と呼ばれるブリッジ整流ダイオードを使用しない方式も実現されています。

ブリッジ整流ダイオードは、4本のダイオードをブリッジ接続して1パッケージにモジュール化した4端子の半導体素子です。AC電圧を入力する端子が2本、整流出力となるプラスとマイナスの端子が各1本、合計で4本です。使用する電流が大きくなると、流れる電流 I_F とダイオードのもつ順方向電圧降下 V_F によって($I_F \times V_F$)の発熱が生じるので、放熱が必要であればヒート・シンクにビス止めできる

*1 AC入力段の設計は、保安回路やEMIノイズ・フィルタもとても重要です。これらについては「スイッチング電源 [1] AC入力1次側の設計」(森田 浩一 著; CQ出版社)に詳しく紹介されています。

第3章

電源回路の力率と力率改善/高調波の話

「電源回路」は、「配電用ACライン」と
「電子機器」とにおけるエネルギー変換器です。
そのため電源回路には高いエネルギー変換効率と共に、
力率の確保、高調波の抑制などが強く求められています。

3-1

力率と高調波

力率改善は、PFC(Power Factor Correction)とも呼ばれています。似たような発音の“Collection”は集めるという意味です。本書のテーマであるPFCの“Correction”…修正、校正、調整とはまったく異なる言葉なので注意しましょう。

PFC回路はAC入力の変圧波形に対して、電流波形を相似形にして消費することができます。AC入力の電力を有効に使うことができ、効率の良い電力変換ができます。

なお、力率改善回路のことを一部では「アクティブ・フィルタ」と呼ぶ例があるようです。しかし電子回路の世界で「アクティブ・フィルタ」と言うと、一般にはOPアンプを用いた信号系のアクティブ・フィルタを指します。一方、紹介する昇圧DC-DCコンバータによる力率改善の技術は、その後に開発されたものです。よって、例えば「力率改善用アクティブ・フィルタ」のように言葉を限定すべきだと思います。

● ACラインにつながる負荷

ACラインにおける力率PF(Power Factor)とは、「インダクタ負荷(L 負荷)やキャパシタ負荷(C 負荷)による、AC入力電圧に対する入力電流の位相ずれ」を表す場合と、「キャパシタ負荷による、AC入力電圧に対する入力電流の狭い導通角」を表す場合があります(導通角については後述)。現在の電子機器の電源回路では、主に後者の「入力電流の狭い導通角」を力率として計測しています。

第4章

アクティブPFCの基礎と応用回路の基本

アクティブPFC回路は整流後の高電圧を高速スイッチングして
大容量コンデンサへの充電をこまめに行い、
整流ダイオードの導通角を広げる考え方です。
大容量コンデンサへの充電を細かく時分割することで力率改善が実現されています。

4-1

アクティブPFCの基本回路技術

● メイン・ループは出力電圧を安定化する負帰還

アクティブPFC回路は、単独回路として考えると図4-1に示すような定電圧出力の安定化電源です。出力電圧を安定化するフィードバックがメイン・ループ(電圧ループ)になります。ただし入力電流波形を入力電圧波形と相似形にするために、

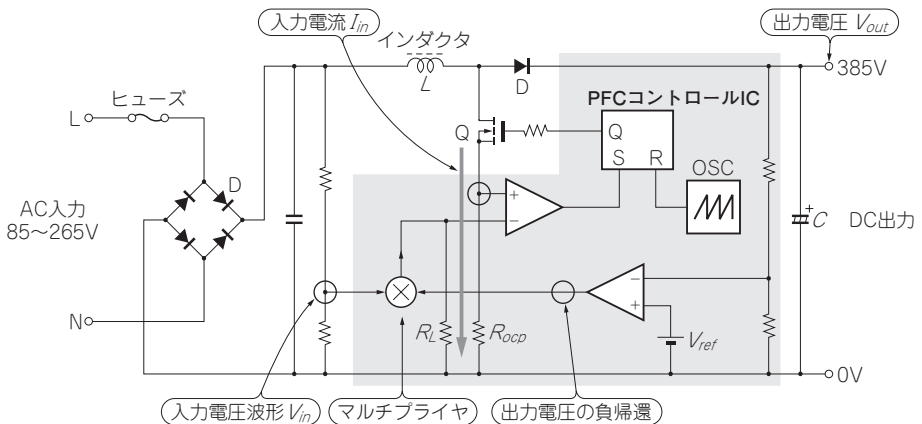


図4-1⁽³⁰⁾ マルチプライヤをもつPFCの基本回路

電流連続モードの昇圧DC-DCコンバータの一例。昇圧DC-DCコンバータとしての出力電圧安定化と、入力電流波形を入力電圧波形と相似形にするためにマルチプライヤが巧みに使用されている

第5章

ワールド・ワイド対応PFC昇圧コンバータの設計

高出力を前提とするスイッチング電源前段に使用される
実用的なPFC回路の設計法を紹介します。
電源装置のAC入力段を設計するので、
保安設計に関する十分な配慮が重要です。

5-1

LLC共振コンバータにつなぐPFC昇圧コンバータの仕様

図5-1にワールド・ワイド対応PFC昇圧コンバータと絶縁型スイッチング電源(DC-DCコンバータ)の接続例を示します。PFC回路の後段にDC385V入力/任意出力仕様の絶縁型スイッチング電源を用意することになりますが、近年ではここに低ノイズ・高効率のLLC共振コンバータが利用されることが多くなっています。

LLC共振コンバータは低ノイズ・高効率が最大の特徴なのですが、じつは入力電圧変動に対しては弱点があります。しかし、これはPFC昇圧コンバータを前段にもってきて組み合わせることで、

- PFCの付加で高調波等の規制はクリアできる
- LLC共振コンバータの使用で低ノイズ・高効率が実現できる

となって、近年はこの組み合わせが典型的になってきています。

ここでは汎用性のあるPFC昇圧コンバータの設計例を紹介します。設計仕様は次のようにします。

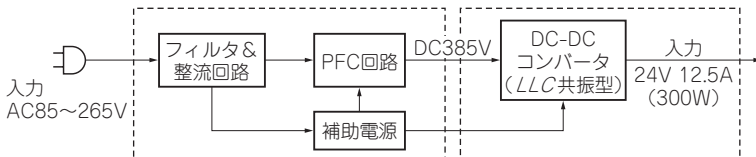


図5-1 LLC共振コンバータと組み合わせられるPFCコンバータの構成例

第6章

大電力用に活用する
インターリーブPFCとブリッジレス・ブースト技術

大電力回路ほど省エネルギー技術は重要です。
本章では専用制御ICによる効率化のためのPFC並列化、
入力段整流回路との組み合わせ技術について紹介します。

6-1

2回路並列構成のインターリーブPFC

● インターリーブPFCとは

PFC回路に限らず電源回路では出力電流を増やすとき、あるいは応答速度を改善するためのテクニックとして、電力変換部を並列にする考え方が以前からありました。2並列なら位相を 180° 、3並列なら位相を 120° ずらすことで、複数回路を位相差をもってスイッチング動作させるものです。大電流を必要とするパソコン用CPUをドライブするDC-DCコンバータVRM(Voltage Regulator Module)ではマルチフェーズと呼ばれ、以前から実用化されているアプローチです。

PFC回路ではインターリーブ(interleave)と呼ばれ、2並列で 180° 位相制御を行うICが多くあります。インターリーブは、「挟み込む、差し込む」という意味です。図6-1にインターリーブPFCの基本回路と動作波形を示します。インターリーブ用PFCコントローラでは、2組の昇圧回路を 180° の位相差でスイッチングさせます。2組の回路を使うので部品点数が増加します。しかし、同じ電力のPFC回路であれば入力キャパシタ、インダクタ、MOSFET、ダイオードなどのスイッチング電流は半分になります。

また、スイッチング周波数は擬似的に2倍になるのでリップル電流が小さくなり、同じ容量の出力キャパシタであれば出力リップル電圧が少なくなります。あるいは、出力リップル電圧が問題にならないければ、許容リップル電流の観点から出力キャパシタを小型化することも可能です。高さの厳しいインダクタの小型化、低背化に貢献し、とくに大型・薄型液晶テレビなどの低背型電源回路用として利用することができます。

第7章

ブリッジレス・ブーストから双方向の電力変換への応用

第6章で紹介したブリッジレス・ブーストPFC技術によって、
MOSFETのAC入力段への適用が始まり、
MOSFET活用の展望がさらに広がってきました。
入出力双方向での電力変換技術の可能性があるのであります。

7-1

MOSFET応用は同期整流から双方向電力変換へ

これまで解説してきた昇圧型PFC、インターリーブPFC、BLB(Bridgeless Boost)方式PFCは、電力変換回路の中にダイオードが使用されています。しかしダイオードは逆方向への電流は流せないで、一般には一方方向(順方向)の電力変換しか行えません。つまり、昇圧型PFCとスイッチング電源の構成では図7-1に示すようにAC入力段にブリッジ整流ダイオード、PFC回路に昇圧ダイオード、トランス2次側に整流ダイオードがあるので、あくまでAC入力側からDC出力側に一方方向の電力変換になります。

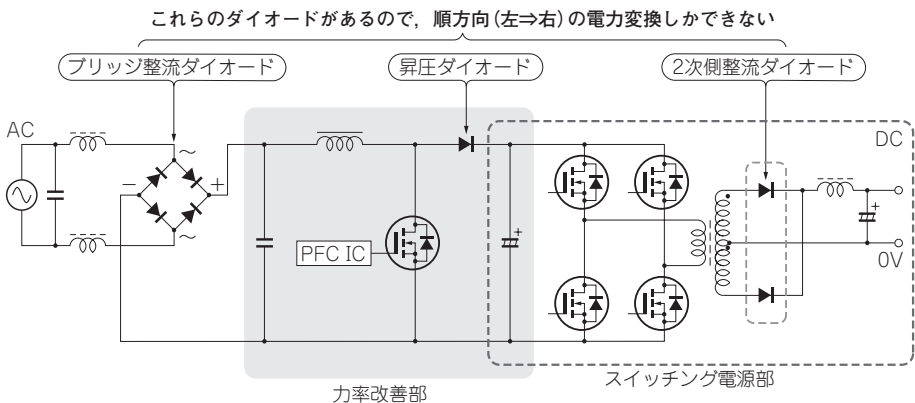


図7-1 一般的な大電力用PFC機能付きスイッチング電源の構成例

第8章

PFC回路とLLC共振コンバータを制御するコンボIC

高調波電流を抑制するPFC回路と、
ソフト・スイッチングで高効率低ノイズなLLC共振コンバータを
1個で制御するコンボICの活用が盛んになってきました。
主なコンボ・チップの概略を紹介します。

8-1

PFC+LLCのコンボICが増えてきた

● AC入力電子機器では高調波電流の限度値が決まっている

これまで解説してきたように、私たちの使用する電子機器の多くはAC入力電源によって使用されています。そして電子機器のAC入力電流は製品のカテゴリと消費電力によって、許容されている高調波電流の限度値が規制されています。

高調波電流を減らすにはAC入力における力率を改善する回路が必要です。このため多くの機器に使用される電源では、前述したように昇圧コンバータを応用した(アクティブ)PFC回路がデファクト・スタンダードになっています。

PFC回路はトランスを使わない非絶縁AC-DC電力変換なので、整流器(回路)とも呼ばれます。PFC回路ではAC入力の力率改善と、出力電圧を安定化する2つの機能が実現できます。またPFC回路の基本的な動作は、使用するインダクタの電流波形が連続する電流連続モードCCM、電流不連続モードDCM、臨界電流モードCRMです。このときのスイッチング周波数は、固定周波数のDCMとCCM、可変周波数のCRMがあります。PFC回路の出力電圧は、後段の絶縁型スイッチング電源の入力電圧となります。

● ソフト・スイッチングで高効率低ノイズなLLC共振コンバータ

一方、絶縁型スイッチング電源には低ノイズで内部ロスの少ない(発熱が少ない)高効率な回路が要求されており、現在では図8-1に示すようなLLC(インダクタ・インダクタ・キャパシタ)の共振タンクによるゼロ電圧スイッチONが可能なZVS

ISBN978-4-7898-3605-0

C3055 ¥2800E

CQ出版社

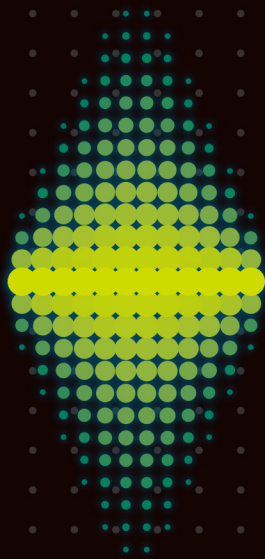
定価 3,080円 (本体2,800円) ⑩



9784789836050



1923055028005



電力線のACラインは正弦波形と思っている方が多いのですが、現実の電流波形を眺めると正弦波形ではなくて「何の波形?」と訝るような形をしています。動作する負荷(電子機器)の種類によっては正弦波形が崩れ、ACラインに高調波が生じることもあるようです。結果、提供されている電力が有効エネルギーへ100%変換されているケースは多くないのです。

本書では初めにACラインにつながる代表的な機器の力率等を説明し、DC変換における整流回路の在り方、各種の力率改善(PFC)ICの効果的な利用例について広く紹介しています。近年のパワー・エレクトロニクスでは、力率を上げる、効率を上げる回路技術が強く求められています。