

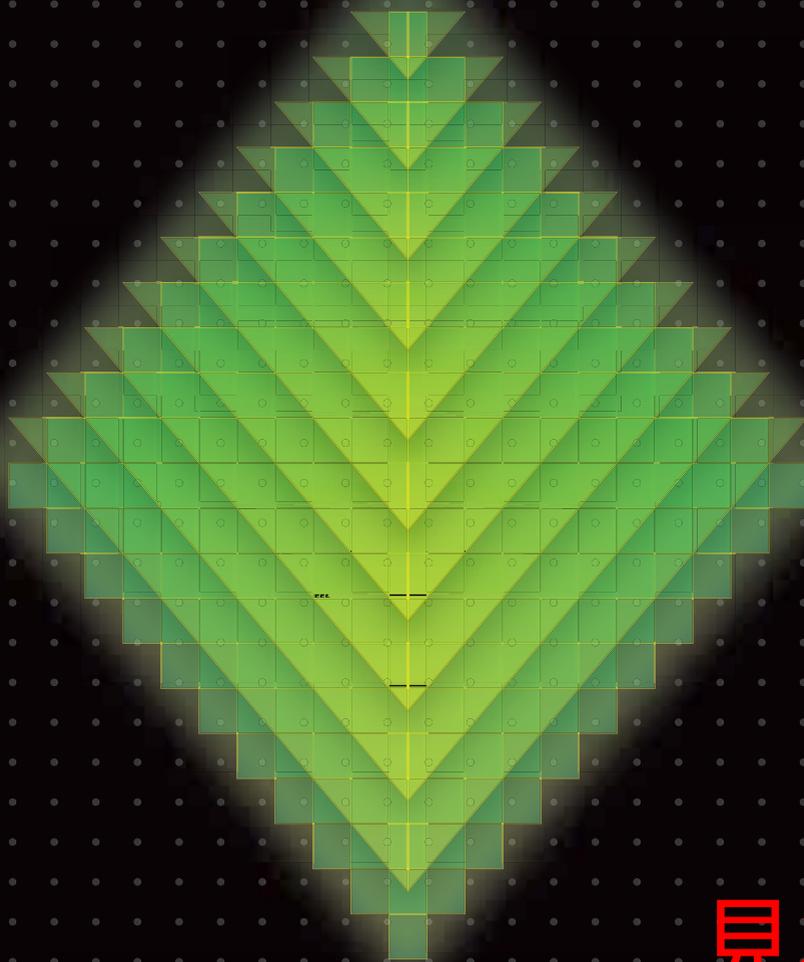


スイッチング電源[1] AC入力1次側の設計

安全保持/ノイズEMC対策/整流・平滑回路の基幹技術をマスター

森田浩一 [著]

Kouichi Morita



見本

CQ出版社

第 1 章

エレクトロニクス機器の電源技術考

本書の目的・位置づけを明示するために設けたプロローグ的な章です。
 まずはエレクトロニクス機器における電源、
 およびスイッチング電源のあらましを理解しておきます。

1-1

電気エネルギー…交流と直流

● エレクトロニクス機器ではエネルギー源が必須

身の回りで多くの便利を実現している電気・電子機器では、エネルギー源として電源を欠かすことができません。もっとも省エネと思われる腕時計でさえ、 $1.5V \times 1\mu A = 1.5\mu W$ 程度の電力エネルギーを消費しており、最新技術を集めたスマホや携帯電話などの充電器においては4～10W 程度のエネルギーが必要です。照明

[表 1-1] 身近にある電気機器・電子機器の消費電力

近年は電池動作の電子機器が増えてきている。AC入力電源で動作はするものの、機器内部がDC電源だけで動作するものも増え、AC電源のまま動作する機器は減る傾向にある

電池(DC)だけで動作するもの		腕時計(数 μW)、携帯電話(5～10W)、スマートホン(10～20W)、携帯ゲーム機、デジタル・カメラ、ラジカセ、ノートPC(50～150W)、タブレット端末、携帯ラジオ、携帯型測定器、携帯型医療器、除細動器、懐中電灯など	
AC入力電源で動作するもの	ACをDCに変換して使用する	サーバー、パソコン(150～300W)、計測機器、医療機器、液晶テレビ(32型：150W)、音響機器、電子楽器、アミューズメント機器、LED照明	
	ACのまま使用する	モータ系 ^(注1)	エアコン(800W)、冷蔵庫(400W)、洗濯機(500W)、掃除機、扇風機、換気扇、電動工具
		光系	電球(60W)、蛍光灯 ^(注1) (40W)
		熱系	床暖房(1kW)、こたつ(600W)、炊飯器(300～700W、IH型：700～1300W)、トースタ(800W)、電気ポット(800W)、アイロン(1200W)など

(注1) 近年はDC化しつつある

(注2) カッコ内のW数は典型的な例を示した。改良され、少なくなっているものも多い

…光，電気こたつ…熱，洗濯機…動力などの機器においてはさらに大きなエネルギーが必要になることはご存知の通りでしょう。表 1-1 に，おもな電気・電子機器のエネルギー供給形態と必要とされる消費電力について整理してみました。

表 1-1 からうかがえることは電気・電子機器のエネルギー供給源として，大きくは交流(AC)電源と直流(DC)電源とになっていることです。しかし時代の変遷を重ねてみると，以前の便利は光や熱，動力などによる交流エネルギーを利用する「電気機器」と呼ばれるものが多かったのが，近年では半導体技術の進化とデジタル化による情報化時代となり，直流エネルギーによるいわゆる「電子機器」と呼ばれるものが主流になっていることがわかります。以前は電池…直流で動かす機器はどちらかと言うと補助的であったのですが，近年は交流で動かす機器のほうが補助的になりつつあることに気づきます。

● しかし大きなエネルギーは交流で

とはいえ，大きな電力の製造には火力発電所・水力発電所・(原子力発電所)などが欠かせません。発電のメインは，タービン発電機によって 50あるいは 60Hz の交流(正弦波)エネルギーが生成されています。Hz…ヘルツとは 1 秒間に同じ波形を何回繰り返したかの単位で，周波数と呼ばれています。50Hz では 1 秒間に 50 周期の波形が繰り返され，60Hz では 1 秒間に 60 周期の波形が繰り返されます。日本国内では，この周波数が二つに分かれています。東京電力地域より東側(新潟，群馬，山梨，静岡県富士川以東)は 50Hz，中部電力地域より西側(富山，長野，静岡県富士川以西)は 60Hz となっています。

この周波数問題は，電気が導入された明治時代，東京ではドイツ製 50Hz の発電機，大阪ではアメリカ製 60Hz の発電機を輸入したことが原因のようです。その後，周波数統一の話は何回かあったようですが実現せずに今日にいたっています。1970 年代以前は，東京から大阪に引っ越すと周波数が違うことから，レコード・プレーヤ(プーリの交換)や電気時計(ギヤの交換)，電子レンジ(鉄共振方式)，蛍光灯器具，冷蔵庫，洗濯機などにおいて，場合によっては使えなくなるということがありましたが，近年はインバータ方式の導入によってそのような心配はなくなりました。

そして発電所から送電される交流は，じつは 22 万 V(ボルト)とか，50 万 V とかの非常に高い電圧になっています。大きなエネルギーを長距離にわたって送るには，高電圧による送電が効率的なのです。図 1-1 に発電所から個人宅までの送られている交流エネルギーの配電系統の例を示します。

電力エネルギー W(ワット)は [電圧×電流] です。同じエネルギーを送るには，

2

 第2章

1次側の安全設計…ヒューズとサージ・アブソーバ

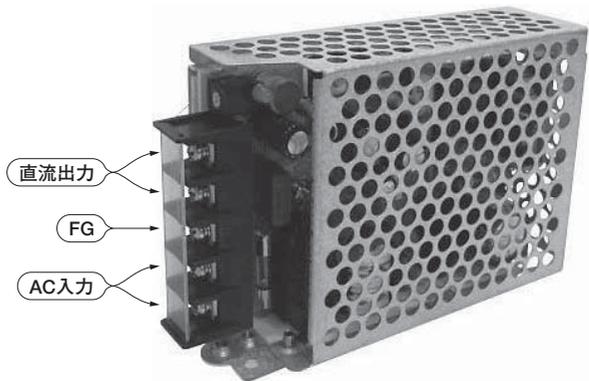
本書で扱うスイッチング電源は、商用AC電源ラインに接続し、そこからACエネルギーをもらいます。よって安全の保持と、他への十分すぎるほどの配慮と対策が重要です。

2-1

AC入力1次側構成のあらまし

● 電源スイッチはどうする？

身近にあるほとんどの電気機器、電子機器には必ずといっていいほど電源スイッチが付いています。ところが産業用電子機器などを扱っていると、電源スイッチを目にすることはあまりありません。単体の測定器などには付いていますが、多くの産業用電子機器や通信用機器などはシステム・ダウンが許されない用途であり、大きな盤(装置)の中に組み込まれ、24時間連続使用することが当たり前です。つまり、電源の管理は盤内などに設置されるブレーカが担うことが多いのです。したがって、組み込み用スイッチング電源などでは、写真2-1に示すように電源スイッチ



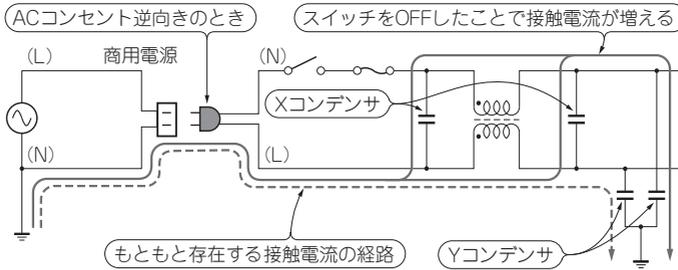
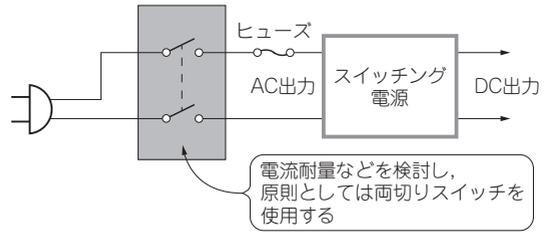
[写真2-1]

組み込み用スイッチング電源の例電源は一般に端子接続となる。電源スイッチを付けるケースは少ない。FGはフレーム・グラウンド(ケース・グラウンド)。フレームがオプションになっていることもある

[図2-1]

単体の電子機器では商用ACの入り口に両切りスイッチを入れる

感電の心配のない小型機器では片切りスイッチを使うこともあるが、点検・保守などが行われる機器では両切りスイッチを使う



[図2-2] 片切りスイッチは漏れ電流トラブルの元になることも

コンセント側のグラウンド接続が逆に接続されると、スイッチOFFのときライン・フィルタのコンデンサを介して漏れ電流が流れ、トラブルになることがある

のようなものは用意されていません。

本書では多くの電源回路が登場しますが、原則としてAC入力部に電源スイッチは記載しません。電源スイッチの要/不要については応用のとき検討します。

とはいえ、大型の電気機器、電子機器ではやはり電源スイッチが必要です。とくにAC電源の入り/切り…ON/OFFには図2-1に示すように両切りスイッチが使用されます。点検・保守サービスなどを行う機器において電源スイッチOFFということは、機器内部に手を触れても良いというサインでもあります。

感電の心配がない小型機器では、片切りスイッチが使用されています。ただし、片切りスイッチではスイッチOFFで完全にラインとのつながりがOFFにならず、コンセントの接続向きによっては図2-2に示すように漏れ電流が流れてしまうので注意が必要です。

AC電源スイッチには、機械接点(メカニカル)スイッチが一般的です。代表的には表2-1に示すロック・スイッチなどがあり、材料、性能、表示などについて各国の安全規格で細かく定められています。代表的な規格としてIEC61058-1と、それに対応する各国規格、UL規格、CSA規格のなかで耐突入電流性能を規定したTV定格と呼ばれるものもあります。

第3章

ノイズEMC対策とライン・フィルタの設計

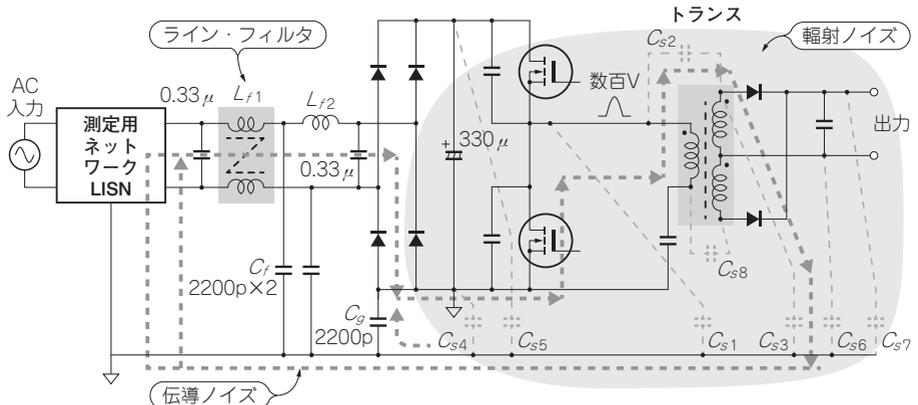
スイッチング電源の採用は、ノイズEMCとの闘いといわれることもあります。
電源回路技術を知る前に、後手に回らないよう、
ノイズEMCへの知識を深めておくことが重要です。

3-1

なぜAC入力1次側にノイズEMC対策？

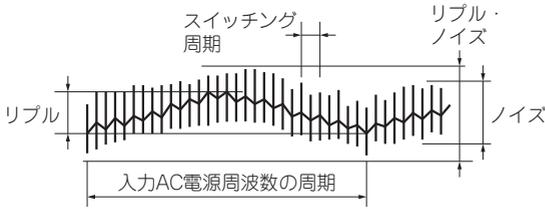
● スwitching電源自体がノイズ源である

スイッチング電源はその構成からも推測できるように、「AC入力1次側で高電圧(大容量ならさらに大電流)を高速にスイッチングする」機器です。そのため回路方式によって大きさの違いはありますが、電源回路自身がスイッチング・ノイズの発

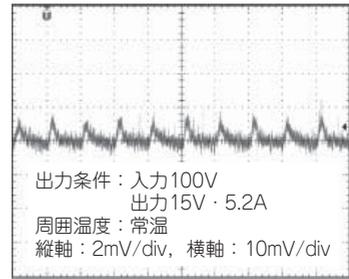


[図3-1] スwitching電源モジュールの発生するノイズ

回路は近年使用されることが多くなってきたLLC共振型と呼ばれる構成。低ノイズであることが売り物。伝わり方の違いで伝導ノイズと輻射ノイズとに分けている。さまざまな回路部品や配置・配線経路における分布容量やトランスの漏れインダクタンスが、静電的あるいは磁氣的に結合して、ノイズ発生要因になっている



(a) 出力リップルの定義



(b) LLC共振型電源の出力ノイズ例

[図3-2]⁽¹³⁾ スイッチング電源の出力ノイズ

仕様書などに示されている出力ノイズはいわゆる出力リップルと、スイッチングに伴うスパイク的なノイズが合成されたものである。(b)のデータは超低ノイズを謳ったスイッチング電源の出力ノイズ例

生源であるともいえます。スイッチング・ノイズ…これは言い換えると電磁障害…EMI (Electro-magnetic interference) とも呼ばれています。

図3-1は、スイッチング電源におけるEMIノイズの伝わり方を示しています。EMIは、その伝わり方によって伝導ノイズと輻射ノイズという二つのルートがあります。伝導ノイズとは実際の電線…AC電源ラインや信号ケーブルなどを通して伝わるノイズのことで端子雑音とも呼ばれるノイズのこと、輻射ノイズは放射 (radiation) ノイズとも呼ばれるように、電磁波…電波として空中から伝わるノイズのことです。これらEMIノイズは、横軸を周波数、縦軸を信号強度(レベル)とし、準尖頭値の測定できるスペクトル・アナライザによって測定します。

なお電源などにおいては出力ノイズとして、図3-2に示すリップル・ノイズと呼ばれるものがあります。これはオシロスコープによって測定されるもので、横軸が時間、縦軸が電圧レベルになっています。大事な性能の一つですが、EMIとは直接には関連しません。

図3-3に、一般のスイッチング電源モジュールにおける伝導ノイズ・スペクトルの例を示します。(a)はノイズ対策を行っていないときの例ですが、(b)と(c)はAC入力部に後述するライン・フィルタによってノイズ対策を行ったときの例です。回路技術の進歩によってノイズ発生が少ないスイッチング電源も出現しつつありますが、完全ノイズ・フリーの状況にはいたっていません。

ACラインに発生(重畳)したノイズが、一定レベル以上スイッチング電源から外部に出ないようにするには、ライン・フィルタと呼ばれる部品を装備して対策します。ライン・フィルタの役割は、スイッチング電源の発生するノイズ(EMI)を他の機器に被害をおよぼさぬレベルまで減衰させること、加えてACラインを通して外

第4章

AC入力1次側 整流・平滑回路の設計

スイッチング電源は、商用電源…AC入力を直接、整流・平滑して
直流高電圧を得るところからはじまります。

整流・平滑回路は古典的な技術ですが、高電圧かつ発熱部品と
共存する箇所でもあるので、信頼性確保のうえからとても重要です。

4-1

整流回路のあらまし

● 整流・平滑後のDC高電圧を100～375Vにする

スイッチング電源ではほとんど回路方式によらず、AC入力電圧は高電圧のまま整流して、まずはDC高電圧を得ます。そのDC高電圧は数十～数百kHzの高周波でスイッチングされ、トランスによって絶縁・降圧され2次側に出力されます。スイッチング周波数を高くすることにより、トランスは商用周波数によるものにくらべると大幅に小さくすることができます。

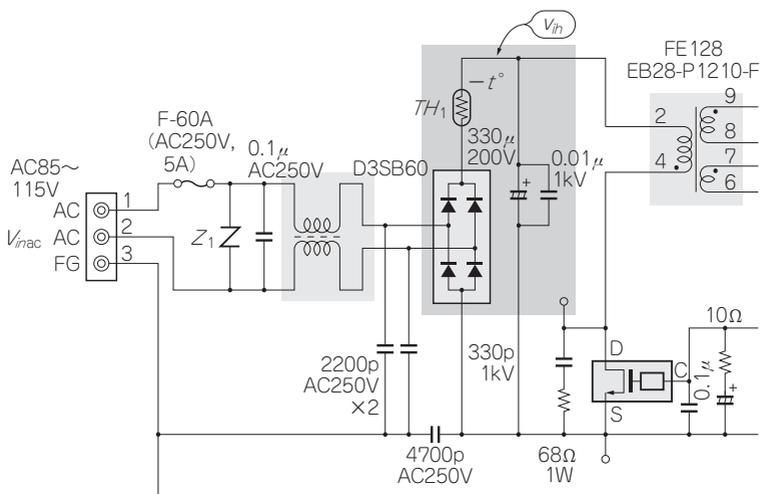
スイッチング電源の基本的なブロック図を図4-1に示します。入力電圧 V_{inac} (実効値) は国内仕様であるならAC85～115Vであり、整流後のDC高電圧 V_{ih} はDC100～163Vになります。ワールド・ワイド入力であるなら、入力電圧仕様 V_{inac} をAC85～265V^(*) とすると、整流後のDC高電圧 V_{ih} はAC(rms)の $\sqrt{2}$ 倍よりいくぶん低下したDC100～375Vになります。

そしてDC高電圧 V_{ih} をスイッチング素子…パワー MOSFETなどでON/OFF制御することで、トランス2次側での高周波整流をへて、任意の直流出力を得ることになります。

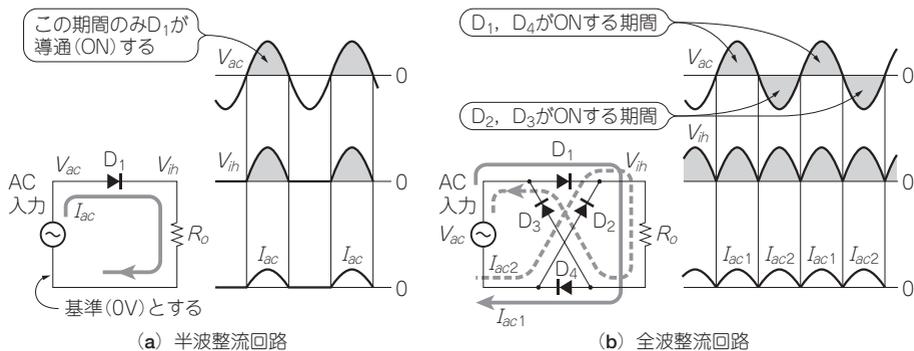
● 整流・平滑は…コンデンサ入力型整流回路が多い

スイッチング電源には多くの種類・形式がありますが、商用ACラインに接続し

(*) 入力電圧仕様を加味した値 = 230V + 15%、あるいは240V + 10%



[図4-1] スイッチング電源におけるAC入力部の構成例(フライバック・コンバータ)



[図4-2] 整流回路の基本

電圧波形 V_{in} を見ると、ダイオードを通しただけの波形はDCとほど遠い。しかし、積分してみると間違いなくDC電圧になっている

で使用される携帯機器用ACアダプタあるいは、ケースに収納された電源モジュールなどがその典型といえます。商用ACラインからエネルギーを受け、きれいで安定したDC(直流)電源を生成するのが役割です。

整流回路とはAC入力からのエネルギーを、DCエネルギーに変換する回路です。図4-2に整流回路の基本構成を示しますが、使用する素子は整流ダイオードです。整流素子とも呼びます。ただし図を見るとわかるように、ダイオードを通しただけ

5

 第 5 章

突入電流制限回路の設計

電源回路の設計において、電源投入時に流れる突入電流…
 ラッシュ電流の問題を無視するわけにはいきません。
 複数の電子機器の電源が同時に投入され、ブレーカが飛んだ…
 という話が跡を絶ちません。

5-1

突入電流制限への工夫と設計法

● AC電源が投入されるとき課題…突入電流

スイッチング電源では、AC入力部整流回路に平滑用大容量コンデンサ C_f が入っています。この平滑コンデンサは電源投入前には放電されているので、AC電源が投入されると整流ダイオードを通して定常電圧まで充電するとき大きな電流(=充電電流)が流れ、そののち定常状態になります。この大きな電流のことを突入電流あるいはラッシュ電流と呼んでいます。

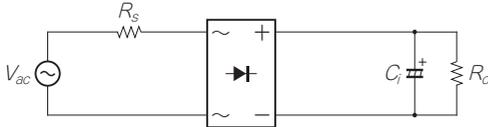
先の図2-14に示した電流波形は、突入電流を制限してないときスイッチング電源の入力段に流れる電流波形を示したものです。電源投入タイミングのACの位相にもよりますが、大きな突入電流が流れ、コンデンサが充電されるに従って入力電流は減少しますが、回路がスイッチング動作をはじめると再び電流が増加します。

突入電流への対策を持たないAC入力部においては、およそ次のような突入電流が流れることが推定できます。たとえば、AC電源のライン・インピーダンスを $0.5\ \Omega$ 、ライン・フィルタの直流抵抗分を $1\ \Omega$ と仮定して、AC100Vの正弦波ピーク(位相が $90^\circ/270^\circ$)のタイミングで電源を投入すると、流れるピーク電流 I_{ip} は、

$$I_{ip} = \sqrt{2} \times 100 / (0.5 + 1) = 94.3\text{A}$$

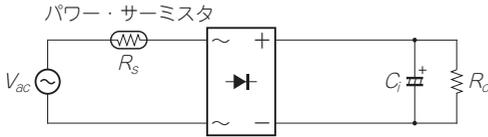
という非常に大きな値になります。

つまり突入電流を制限する回路がないと、電源投入時の大きな突入電流の影響で商用ACライン電圧が瞬時低下(瞬低)を起こしたり、ブレーカのトリップ、ヒュー



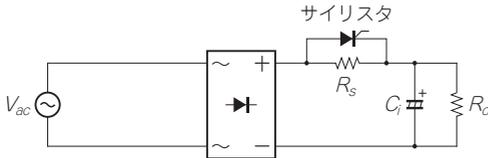
(a) 抵抗方式

- 回路が簡単で小電力(30W以下)向き
- 低コスト
- 損失は大きい



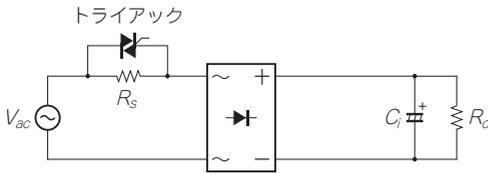
(b) パワー・サーミスタ方式

- 回路が簡単で小～中電力(～200W)向き
- パワー・サーミスタの温度によって制御するので、短時間ON/OFFには対応できない



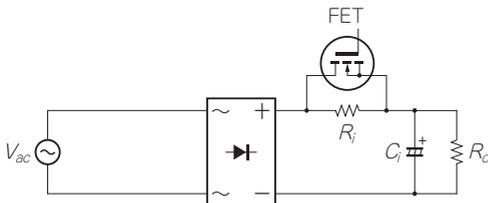
(c) サイリスタ方式

- 中～大電力(200～500W)向き
- コンバータが動作してからコンバータの電力でサイリスタをONする
- サイリスタのONタイミングによっては2次突入電流が流れる



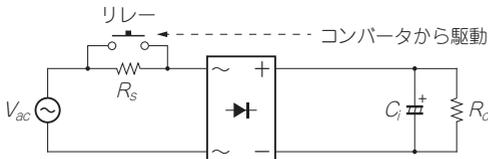
(d) トライアック方式

- 大電力(500～700W)向き
- コンバータが動作してからコンバータの電力でトライアックをONする
- トライアックにゼロ・クロス・スイッチが使える



(e) FET方式

- 小～中電力(50～300W)向き
- FETのON電圧が小さくできるので高効率
- コスト高い



(f) リレー方式

- 大電力向き
- リレーの接点溶着事故多し
- リレーのONタイミングによっては2次突入電流が流れる

[図5-1] いろいろな突入電流制限回路の構成

ISBN978-4-7898-4637-0

C3055 ¥2300E

CQ出版社

定価：本体2,300円（税別）



9784789846370



1923055023000

このPDFは、CQ出版社発売の
「スイッチング電源[1]AC入力1次側の設計」の一部見本です。

内容・購入方法などにつきましては以下のホームページをご覧ください。

内容 <http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/46/46371.htm>

購入方法 <http://www.cqpub.co.jp/order.htm>

あらゆる意味で広く注目されているのが電源の技術です。エレクトロニクス技術に携わる人にとってのコモンセンスともいえます。なかでも「スイッチング電源」は効率および環境性に関わる主要技術です。本書では、これまであまり詳しく語られることの少なかった安全保持のためのヒューズの取り扱い、電磁環境性（ノイズ対策）に欠かせないライン・フィルタの設計、エレキ部分の効率・信頼性に欠かせない整流・平滑回路の設計技術について、初心者にも十分把握・実用できるようないねいに解説しています。

「スイッチング電源」本体の設計技術については[2]以降で、同様にいねいに解説しています。

見本