



# スイッチング電源の コイル/トランス設計

磁気回路-コア選択-巻き線の難題を解く

見本

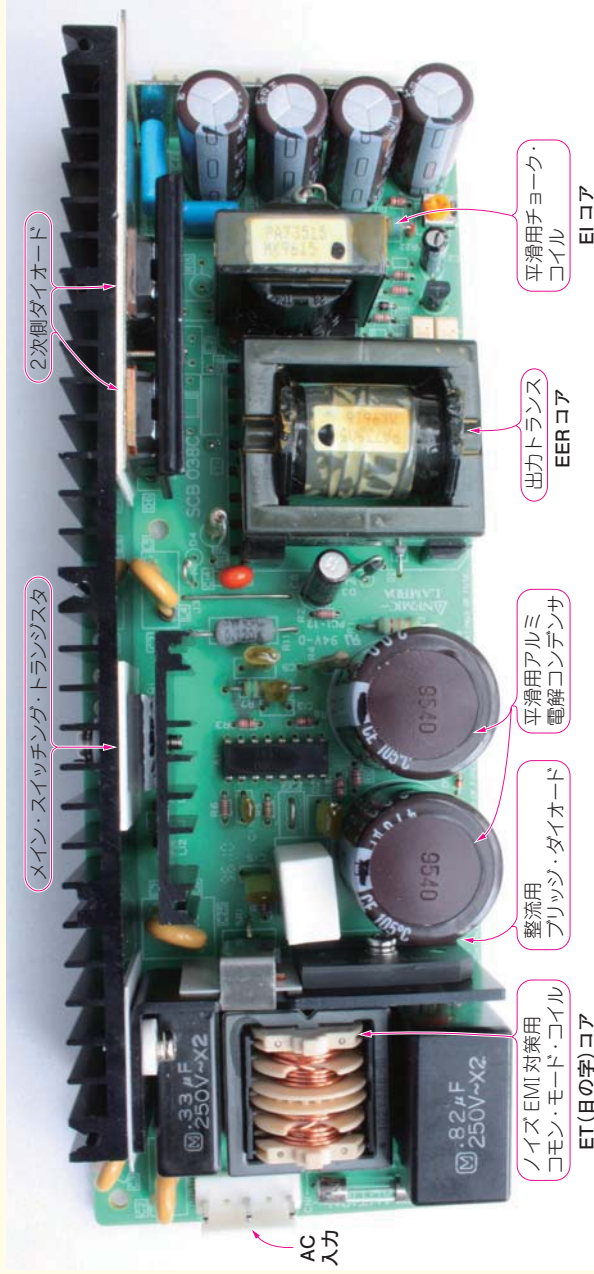
戸川治朗 [著]

Jiro Togawa

MAGNETICS

CQ出版社

## 【図1】 本書のテーマとなるスイッチング電源の構成例



AC100V入力、**DC36V・4.2A** (150W) **出力**の組み込み用電源回路である(デンセイ・ラムダ VS150-36)。フォワード・コンバータと呼ばれる典型的な回路方式。

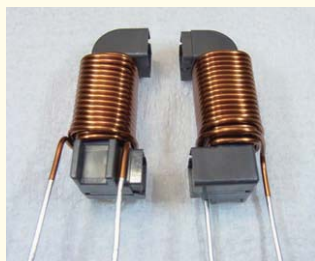
写真の左側からAC100Vが入力される。AC入力段にはノイズEMI対策に欠かせない**コモン・モード・コイル**とコンデンサが配置。上部を占める黒い部分はメインのパワー・スイッチング用半導体、2次側ダイオードの発熱を抑えるための放熱用フィン。大きい二つのアルミ電解コンデンサのある部分がAC100Vの整流・平滑回路。その上部に制御用DIP IC。右側に絶縁をかねた**出力トランス**、さらにその右に**平滑用チョーク・コイル**があって、出力用平滑コンデンサが並んでいる。

コモン・モード・コイルにはET(日の字形)コア、出力トランスにはEERコア、平滑用チョーク・コイルにはE1コアが使用されている。本書では、スイッチング電源の設計においてとくにわかりにくいと言われているチョーク・コイル、出力トランスの設計について詳しく紹介する。

## 【口絵2】 大電流用途に向け進化しているチョーク・コイル



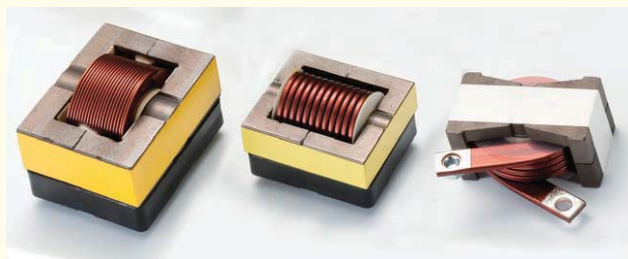
C形コア



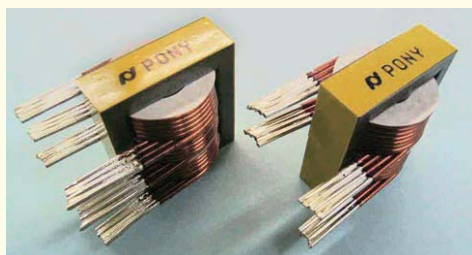
(a) トロイダル形コイル製造上の欠点を改善するよう工夫されたC形コア(センドスタ材)と呼ばれる大電流チョーク・コイル(東邦亜鉛株). 解説はp.136



(b) UU形コア・ブロック(センドスタ材)に平角線を巻き線した大電流チョーク・コイル(東邦亜鉛株ハイ・パワー・チョーク、定格40A(240  $\mu$ H)のインバータ用チョーク・コイル). 解説はp.79

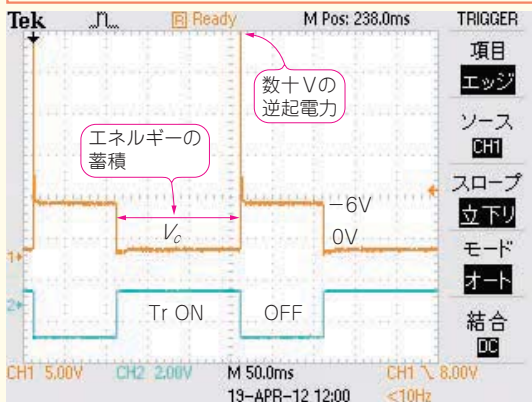


(c) EER形コア(センドスタ材)にエッジ・ワイズ巻き線を利用した大電流チョーク・コイル(東邦亜鉛株タクロンHKコイルEER形シリーズ、標準品がラインアップされている)

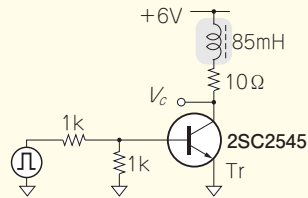


(d) 平角線を使用せず大電流対応を実現したコモン・モード・コイルの一例。複数の丸形線材を並列化しエッジ・ワイズ状を実現している。高周波特性も良好(ポニー電機株)

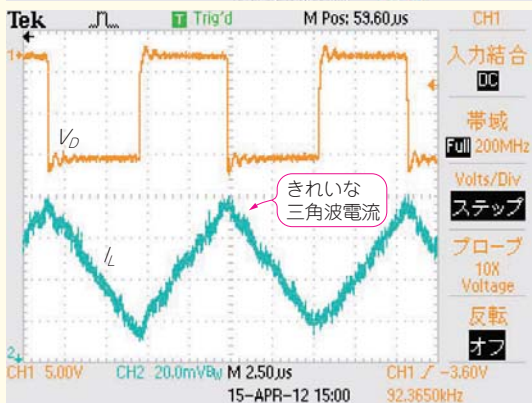
## 【口絵4】 チョーク・コイル 二つのポイント



◀コイルにおけるエネルギーの蓄積と逆起電力

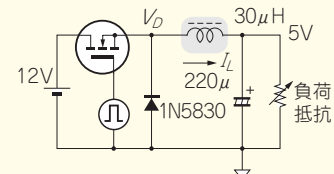


85mHのチョーク・コイルをスイッチング・トランジスタの負荷にしてコイル端の波形を観測した。数十Vの逆起電力を発生していることがわかる

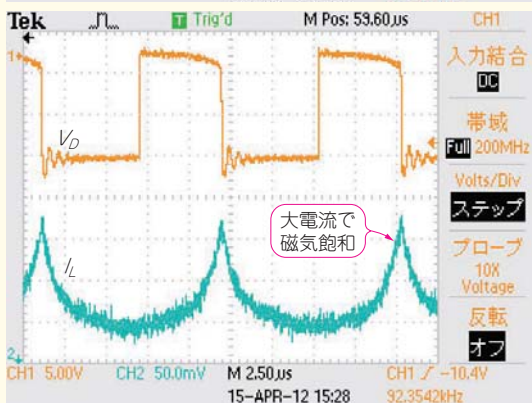


〈過大電流によるチョーク・コイルの磁気飽和を見る実験〉

◀正常なコイル電流 $I_L$ が流れている



負荷抵抗を可変して、チョーク・コイルに流れる電流 $I_L$ を観測した。上の波形ではきれいな傾斜の三角波だが、負荷電流が大きくなるとチョーク・コイルが飽和して電流波形が非線形になってくる



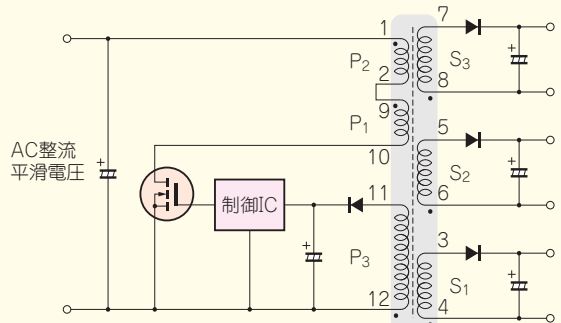
◀コイル電流 $I_L$ が大きく、コイルが磁気飽和に近くなっている。 $I_L$ が小さいときはきれいな三角波電流だが、磁気飽和により電流波形が非線形になっている



## 【口絵5】 出力トランス試作の工程 [この項の執筆：梅前 尚](1)

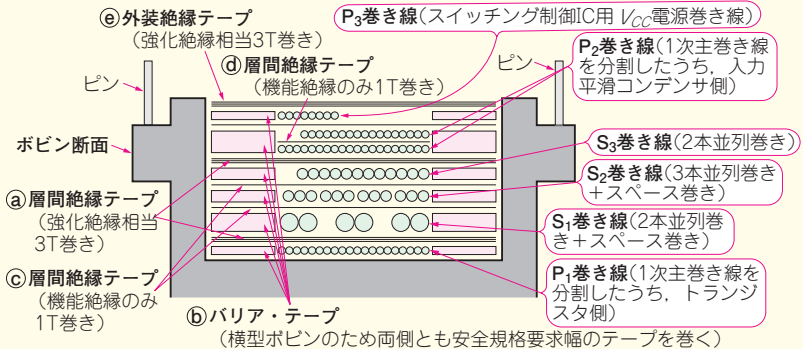
### 〈試作トランスの仕様〉

- ・入力電圧：AC85～265V(ワルド・ワイド入力)
- ・出力仕様：5/12/15V, 3出力=58W
- ・回路：他励式フライバック・コンバータ方式
- ・発振周波数 80kHz



●はトランス巻き線の極性(巻き始め)を表す

(a) 試作回路の構成



(b) 試作トランスの断面図

### 〈使用する部材〉

- ・コア：PC40材 EER-35 (TDK)
- ・ボビン：BEER35-1116CP HFR (TDK)
- ・バリア・テープ：コンビネーション・テープ (ポリエステル・フィルム+ポリエステル不織布), 673F0.27 (寺岡製作所)
- ・層間絶縁テープ, 外装絶縁テープ, クロスオーバー・テープ：ポリエステル・フィルム・テープ, 631S#25 (寺岡製作所)
- ・銅線：1種ポリウレタン銅線 (UEW1)



(c) 試作したトランスの外観

## 第1章

## チョーク・コイルとトランスのあらまし

電子回路，とくに電源回路には多くのチョーク・コイルやトランスがさまざまな目的で使われ，それぞれ重要な役割を担っています。はじめに電源回路，とくにスイッチング電源に使用されているチョーク・コイルとトランスの目的や基本特性から紹介します。

## 1-1

## チョーク・コイルのしくみと働き

## ● インダクタ/チョーク・コイル/リアクトル…

チョーク・コイル(Choke Coil)はほぼ同義の受動部品としてインダクタ(Inductor)と呼ばれることがあります，本書ではチョーク・コイルという用語を使うことにします。口絵1～3に，スイッチング電源やDC-DCコンバータに使用されているチョーク・コイルおよびトランスの一例を示しました。

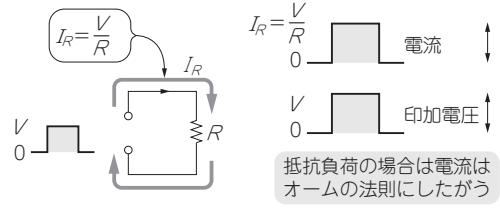
チョーク・コイルはリアクトル(Reactor)と呼ばれることもあります。語意から考えると，とくにコイルに蓄積したエネルギーを利用する動作(たとえばチョップパ型コンバータなど)のときに使われる用語と言えます。したがって，スイッチング電源に使用されるチョーク・コイルの多くは，本来の意味からはリアクトルのほうがふさわしいかもしれません。しかし，一般にはチョーク・コイルという用語が広く使用されており，本書ではチョーク・コイルで統一することとしました。

チョーク・コイルは電源回路以外でも，ノイズ&EMI(ElectroMagnetic Interference：電磁波による干渉)対策などに幅広く使用されています。また，材料(コア材+電線)さえ入手しておけば簡単に手巻きすることができるので，自作できることも大きな特徴です。

## ● 抵抗器…どのような周波数でも一様に電流を制限する

電気・電子回路において抵抗器は，図1-1に示すように回路に流れる電流を制限

[図1-1] 抵抗器にパルス波形を加えると  
抵抗器は理想的には抵抗成分だけ。よって周波数特性はない。パルス波形を加えても電流波形、電圧波形とも変わらない



するために用いられているのはご存じのとおりです。抵抗の存在する回路に流れる電流  $I_R$  は、オームの法則に従って  $I_R = V/R$  となります。流れる電流  $I_R$  の大きさは、加わる電圧が直流でも交流でもパルス波形でも方形波でも同様に、この式に従って決定されます。つまり、流れる電流の大きさは周波数に関係なく、抵抗  $R$  の大きさ…値によって制限されるということです。

抵抗  $R$  の抵抗値は ( $\Omega$ ) を単位として表されます。このとき抵抗  $R$  は、電流を制限する代償として電力を消費します。電力を消費すると、消費電力に比例した発熱…損失が生じます。このときの消費電力…電力損失を  $P_R$  とすると、

$$P_R = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R} \dots\dots\dots (1-1)$$

の損失が発生します。

● コイル(注1-1)…交流を流れにくくする

ここで抵抗  $R$  をコイル  $L$  に置き換えてみます。コイルは直流に対して(理想的には)電流を制限することはありません。コイルは(理想的には)直流に対する抵抗成分は0なのです(実際には0ということではなくて、ものにもよるが巻き線による数  $m\Omega$  ~ 数  $\Omega$  の値をもつ)。図1-2に示すように交流を加えると、(電圧が同じであれば)周波数の高低によって流れる電流の大きさが変化します。低い周波数であればある程度の電流が流れますが、周波数が高くなると周波数に比例して電流が流れにくくなります。このときの流れにくさがインダクタンスと呼ばれます。

つまり、コイルを流れる電流の大きさはインダクタンスによって制限されるわけです。そして、印加する電圧が正弦波交流であれば流れる電流の波形も正弦波になりますが、このときの電流は印加された電圧に対して位相が  $90^\circ$  遅れて流れます。

図1-3に示すように方形波(矩形波)電圧を印加すると、流れる電流はコイル  $L$  の

(注1-1)本書ではコイルとチョーク・コイルは使い分けしている。コイルのほうが広義で、コア(鉄芯)のない空芯コイルを含んでいる。チョーク・コイルは一般にコアと一体になっている。コアがあることでインダクタンスを稼ぐことができる。

# 第2章

## コイル/トランスのコア材を徹底理解する

チョーク・コイルやトランスに挿入されるコアは、いわゆる電子部品ではありません。磁性材料であり、磁気回路部品と呼ばれるもので、エレキ屋が苦勞する部分です。しかも、理想あるいは万能というコアはありません。用途・回路に応じて最適特性の磁性材を選択し、適切な設計・製作を行うことが良いコイル/トランス、ひいては特性の良い電源装置につながります。

### 2-1

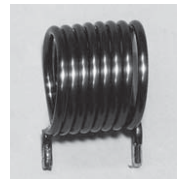
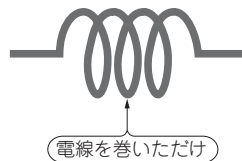
### コア材の役割と特性

#### ● なぜコアを使うのか

電源回路に使われるチョーク・コイルやトランスには、必ず内部にコア(core)を挿入します。コアのことを日本語では鉄芯といいます。材料に鉄系素材が用いられているからです。コアは磁気的な特性をもっているため、磁性材料という呼び方もします。写真2-1に、スイッチング電源回路においてチョーク・コイルやトランスに使用されているコアの外観を示します。

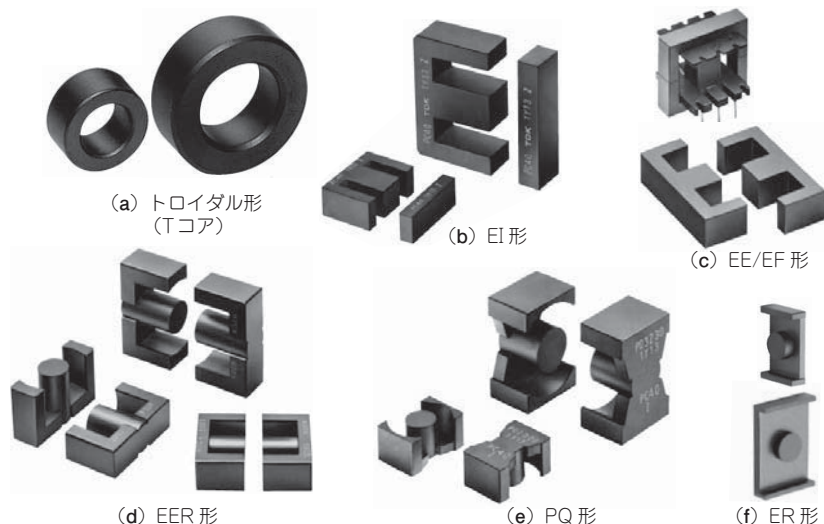
じつは図2-1に示すように、コアがなく、電線をただグルグル巻いただけでもコイルになります。空芯コイルと呼ばれています。このような円筒型コイルのインダクタンスは長岡係数を使った計算式から導くこととなりますが、ここでは煩雑になるので割愛します。

それどころか1本の電線でも、あるいは極端にいうとプリント基板の銅箔パターンでさえコイル…インダクタンスとしての性質をもっています。参考までに1本の電線あるいはパターンによるインダクタンス値を図2-2に示しておきます。長さ

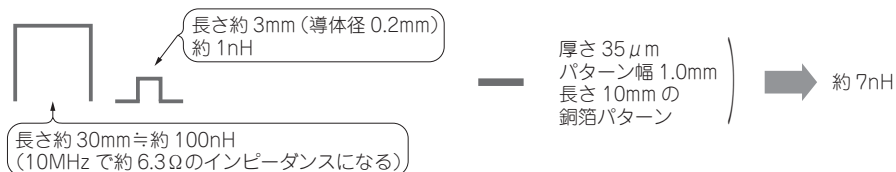


【図2-1】電線を巻いただけでもコイルになる空芯コイルという。スイッチング電源用ではなく、高周波回路用で数 $\mu\text{H}$ 以下のオーダーでは空芯コイルになる例が多い





[写真2-1] (3) チョーク・コイルやトランスに使用されるコアの外観(写真提供：TDK(株))  
 コアがチョーク・コイル用とかトランス用とかに決まっているわけではない。どう設計するかによってチョーク・コイルになったりトランスになったりする



[図2-2] 1本の電線にもインダクタンスがある

コイルにすることを目的にしていなくても、数十MHz以上の帯域で使用すると結果的にコイルのふるまいになってしまうことがある。高周波、あるいは高速デジタル回路などではトラブル要因になることがある

3mmで約1nHのインダクタンスをもつということは知っておくといいい数値です。

とは言え、電源回路である目的にそってコイルを動作させるために、空芯コイルに必要なインダクタンスを得ることは容易ではありません。空芯コイルに必要なインダクタンスを得ようとするともあまりにも多くの電線を巻かなくてはならず、大型化してしまい実用的ではありません。それを解消するためにもコア…鉄芯が有効なわけです。

コアを挿入する目的は二つあります。一つはエネルギーの変換効率を上げるためで、もう一つは必要なインダクタンスを小型な形状で得るためです。

# 3

第 3 章

## コイル/トランスの製作…巻き線の実践ノウハウ

チョーク・コイルやトランスのふるまいを真に理解するには、一度は自らの手でコイルあるいはトランスを設計して巻いてみることです。本番では協力会社に製作を依頼することが多いと思いますが、一度は巻き線を体験しておくことをお勧めします。

### 3-1

### 巻き線…電線の種類はどうする？

チョーク・コイルもトランスも、コアの内部あるいは周辺になにかしらの電線を巻かなければなりません。普通の配線に使うようなビニール電線を巻くわけにはいきません。トランス専用の電線を用いることになります。

用途・形状によっていくつかの種類の電線を使い分けることになります。

#### ● 耐熱と絶縁から電線の種類を決める

チョーク・コイルやトランスなどを巻く電線を総称してマグネット・ワイヤと呼んでいます。いくつかの種類があって、用途によって使い分けがなされています。

もっとも多く使われているのは銅の単線にエナメル系の皮膜で絶縁した電線ですが、チョーク・コイルやトランスは、各国の**安全規格**でも最重要部品に指定されています。とくに使用温度範囲は絶縁特性とも関係するので、きちんとした基準で選択しなければなりません。表3-1にJISによる巻き線類の耐熱クラス分けを示します。また、絶縁皮膜材による分類もあります。表3-2が絶縁材から分類した一覧を示します。絶縁材の種類によって使用できる**最高温度**が決まります。また絶縁皮膜には、皮膜の厚さの違いによる分類があります。これを表3-3に示します。皮膜の薄いほうから3種、2種、1種、0種となっていますが、一般には2種の電線を使用することが多いようです。巻き線をより多くするときには3種を使用することもあります。

もっとも一般的でしかも使いやすいのがUEWと呼ばれる種類で、絶縁種はE種、

〈表3-1〉巻き線類の耐熱クラス(JIS C4003)

耐熱クラス	Y	A	E	B	F	H	C
最高許容温度[℃]	90	105	120	130	155	180	180以上

〈表3-2〉絶縁材の種類から区別したエナメル線の種類

記号	PVF	UEW	PEY	EIW	AIW
名称	ホルマール線	ポリウレタン銅線	ポリエステル ナイロン銅線	ポリエステル イミド銅線	ポリアミドイ ミド銅線
耐熱クラス	A種(105℃)	E種(120℃)	B種(155℃)	H種(180℃)	C種(200℃)

〈表3-3〉絶縁皮膜厚さの分類…導体径0.1[mm] UEWの皮膜厚

線種	最小皮膜厚 [h]	最大外径 [D]	断面寸法
0種	0.016(mm)	0.156(mm)	
1種	0.009(mm)	0.140(mm)	
2種	0.005(mm)	0.125(mm)	
3種	0.003(mm)	0.118(mm)	

最高使用温度は120℃と規定されています。皮膜厚さを2種とすると、2UEWという呼び方になります。通常のチョーク・コイルやトランスに用いるには十分ですが、最近では温度上昇が高くてトランスを小型化しようとする傾向が強まっています。このような場合には、155℃でも使えるPEW(2PEW)などと呼ばれる種類のものも使われるようになっていきます。

E種UEWなどは電線の末端の処理がきわめて容易です。絶縁皮膜が、少し高温のはんだごてを当てると簡単に溶けてくれるからです。AIWなど高温用電線の皮膜は、この方法では取ることができません。専用のソルコートなどと呼ばれる剥離材(薬品)を使わなければなりません。

実験などで使用するとき、やすりやカッタ・ナイフで皮膜を削り取ることもできなくはないのですが、きれいに皮膜を取ることは難しく、信頼性のうえで問題が出てしまいます。

### ● 電流の大きさから電線径を決める

実際のマグネット・ワイヤは通常、写真3-1に示すように樹脂製ドラムに巻かれています。大きいものでは重量が10kg程度にもなりますが、種類によっては小型ドラムに巻かれたものもあります。

線径は非常に細かく細分化されていて、細いものは0.03φ程度から、太いものは

# 第4章

## スイッチング電源用チョーク・コイルの設計

スイッチング電源回路で使われる各種コイル…  
 主にチョーク・コイルの設計法について紹介します。  
 ただしチョーク・コイルといっても種類はさまざまで、  
 動作条件などによって構造や設計方法が異なります。

### 4-1

### チョーク・コイルのあらまし

チョーク・コイルは、いわゆる整流・平滑回路におけるフィルタとしての用途と、スイッチング電源の原理にもつながるエネルギーの蓄積/放出を目的とする用途があります。いずれにおいても、扱う電流の大きさ、周波数に対して適切なチョーク・コイル…コアの選択、あるいは設計がポイントです。表4-1に、本章で紹介する主なチョーク・コイルのポイントをまとめておきます。

[表4-1] チョーク・コイルのあらまし

チョーク・コイルといっても用途、定格などによって最適な設計を行うには留意点が多い。コアが磁気飽和すると大きな事故につながるので十分な注意が必要である

用途	リップル・フィルタ (整流・平滑用)	非絶縁降圧型 DC-DCコンバータ	非絶縁昇圧型 DC-DCコンバータ PFC用	ノイズ・フィルタ (コモン・モード・ コイル)
容量	低インダクタンス 20 $\mu$ H以下	設計値による	設計値による	大インダクタンス 数mH以下
留意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 直流重畳特性</li> <li>・ 小型化</li> <li>・ 低価格化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 連続電流による 直流重畳特性</li> <li>・ 小型化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ピーク電流の直流重 畳特性</li> <li>・ エネルギーの蓄積/ 放出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 巻き線間の絶縁</li> <li>・ 小型化</li> </ul>
コア材 (形状)	ダスト・コア Ni-Znフェライト (ドラム形、バー形)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 30 A以下ではセ ンダスト(トロイ ダル形)</li> <li>・ 30 A以上ではMn -Znフェライト (EE形、PQ形)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 小電流ではNi-Znフ ェライト(ドラム形)</li> <li>・ 30Aまではセンダ スト(トロイダル形)</li> <li>・ 30A以上ではMn -Znフェライト (EE形、PQ形)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ High<math>\mu</math>のMn-Znフ ェライト(トロイ ダル形)</li> </ul>
技術的な ポイント	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 30A以上では大 きなギャップ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 30A以上では大 きなギャップ</li> </ul>	第7章で詳述

● 基本はLCフィルタ…リップル・フィルタおよびノイズ・フィルタとして

図4-1に示すのは、高周波除去の基本となるもっとも簡単なLCフィルタの構成です。インピーダンス素子としてのコイル $L$ 、およびコンデンサ $C$ はそれぞれ、

$$Z_L = \omega L = 2\pi fL$$

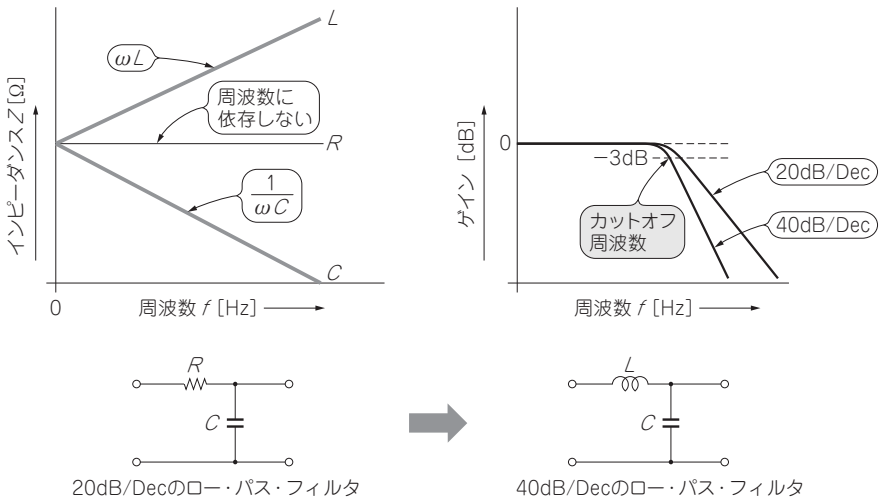
$$Z_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

という特性をもつので、コイルのインピーダンス $Z_L$ は周波数が上がると高くなり、コンデンサのインピーダンス $Z_C$ は周波数が上がると低下します。よって、 $L$ と $C$ を組み合わせたLCフィルタは、交流周波数が高くなるに従い、大きな減衰特性をもつロー・パス・フィルタ(LPF)としての機能をもつことになります。

図4-2は整流・平滑回路における典型的なリップル・フィルタの構成です。スイッチング電源に限らず、直流電源における整流・平滑回路は、基本的にこのLPFの働きを利用しています。整流で生じる脈流からリップル分をきれいすることから、リップル・フィルタとも呼ばれています。

図4-3はLCフィルタを多段にして、さらにリップル減衰率を稼ぐようにしたフィルタの構成です。

また図4-4に示すのは(スイッチング)電源に限りませんが、商用AC電源ライン



【図4-1】 LCフィルタの基本構成

$L$ と $C$ とは、インピーダンスで見ると周波数成分に対して逆のふるまいを行う。よって $LC$ を組み合わせることによって、通過信号の周波数特性を操作することができる。ロー・パス・フィルタの働きになる



# 第5章

## スイッチング電源用トランス設計のあらまし

電源回路においてトランスを用いる理由は大きく二つあります。  
 一つは電氣的な絶縁を行うため。絶縁を行うのはトランスの1次側と2次側というだけでなく、複数ある2次側の回路間を絶縁することもあります。  
 二つ目の理由は、電圧や電流を変換する…いわゆる電力の変換のためです。

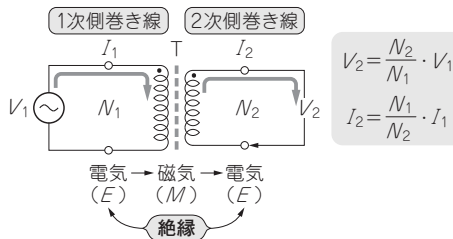
### 5-1

### トランスの基礎知識

#### ● トランスの基本的な働き…励磁電流が流れる

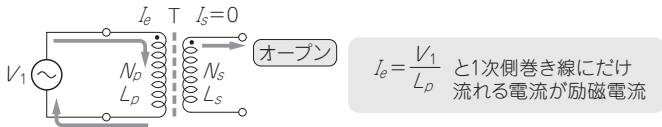
トランスの設計は回路方式によって大きく異なります。とくにスイッチング電源では、トランス設計の優劣によって、特性だけではなく、信頼性や安全性にも大きな問題を引き起こすことがあります。トランス設計の如何によって、電源の主要特性が決定されるといっても過言ではありません。

トランスの各巻き線間でどのように電圧・電流が変換されるかは、第1章においてすでに述べました。図5-1にトランスの基本構成を示しますが、電圧は1次側-2次側各巻き線の巻き数に比例し、電流は巻き数に反比例して変換されます。この特



【図5-1】 トランスの基本動作

動作の基本は、スイッチング電源でもその他のトランスにおいても同じ。交流電圧(電流)を磁気エネルギーに変換し、再び交流電圧(電流)に変換するものである。1次側、2次側の巻き数比を変えることにより電氣的に絶縁された任意の電圧、電流を得ることができる



【図5-2】 トランスには励磁電流が流れる

トランスの2次側がオープンであっても、1次側電流を測定するとわずかが一定の電流が流れている。励磁電流という。トランスを動作させるときには必ず磁気回路を励起させるための電流が必要になる。励磁電流が小さいと、トランスによるエネルギー変換効率は100%に近づく。励磁電流を小さくするには透磁率の高い材料が必要になる

性を利用して、さまざまな電力の変換を行っています。

1次側巻き線に加えられた電気エネルギー…すなわち電力はいったん磁気エネルギーに変換され、それが2次側巻き線で再度電気エネルギーに変換されます。見かけは電気エネルギーを直接変換しているようですが、じつは絶縁を行う目的のためにこのような経路をたどっているのです。ここでは第1章で触れなかった、しかしトランスにとって重要である項目について紹介します。

図5-2をご覧ください。トランスの2次側巻き線  $N_s$  側が開放…つまりオープン状態になっているときを考えてみます。1次側巻き線  $N_p$  には何らかの交流電圧  $V_1$  が印加されています。このとき  $N_p$  は2次側巻き線とはまったく無関係にインダクタンス  $L_p$  を持っています。このインダクタンス  $L_p$  に電圧  $V_1$  が印加されているわけですから、この中をいくつかの電流  $I_e$  が流れているわけです。この  $I_e$  は、

$$I_e = \frac{V_1}{L_p} \dots\dots\dots (5-1)$$

になります。この電流を励磁電流と呼びます。

ここで、トランス2次側には何ら電力を供給していません。つまり、この励磁電流は無効な電流ということになります。通常のトランスではこの無効な電流を減らすために、コアに透磁率  $\mu$  の高いものを使用してインダクタンス  $L_p$  を大きくし、励磁電流を減らそうとしています。

なお、スイッチング電源の回路方式によってはわざわざインダクタンスを小さくして、励磁電流をたくさん流そうとすることもあります。詳細は後述します。

1次側巻き線のインダクタンス  $L_p$  を励磁インダクタンスと呼んでいます。

● チョーク・コイルにも励磁電流は流れる

励磁電流は必ずしもトランスだから流れるわけではありません。巻き線が一つの

## 第6章

## スイッチング電源用トランスの設計

スイッチング電源回路は各種方式が考案され、実用されています。第4章でチョーク・コイルを設計しましたが、そこに登場したチョッパ方式(DC-DC)コンバータもスイッチング電源の仲間です。本章では、AC電源入力を基本とするスイッチング電源で使用する出力トランスの設計を主に紹介します。

## 6-1

## スイッチング電源のあらましとトランス

## ● 自励型と他励型

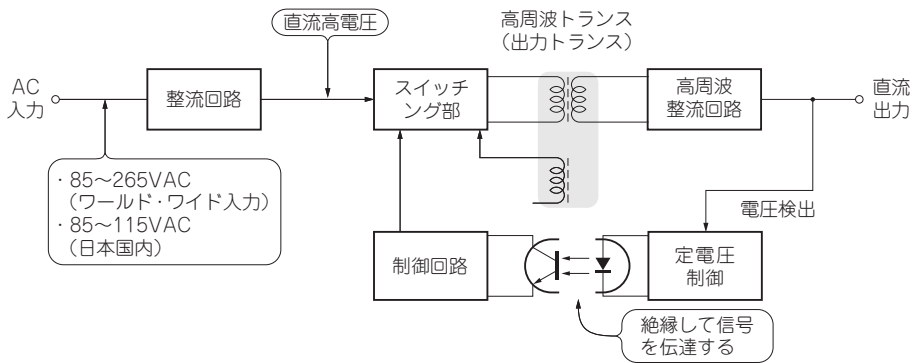
AC入力によるスイッチング電源の基本的な構成例を図6-1に示します。AC電源を直接入力源とするので、ライン・オペレート型あるいはオフライン・コンバータと呼ばれることもあります。

(a)の自励型というのは、スイッチング・トランジスタと出力トランスとの組み合わせによって発振を持続するように構成されたもので、現在はRCC(Ringing Choke Convertor)方式だけが使用されています。ACアダプタなど小容量電源への利用が多いようです。スイッチング時のトランスの逆起電力…フライバックを利用しています。

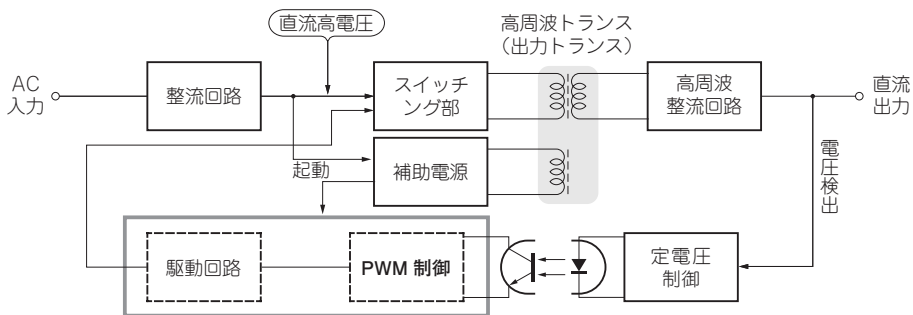
(b)の他励型は主に制御用ICを使い、スイッチング用発振回路をもった方式です。電圧安定化のためのPWM(パルス幅変調)制御回路や安全のための各種保護回路機能などを収納した制御用ICの使用により、容易に高性能電源を実現できるようになっています。RCC方式以外はほとんど他励型スイッチング電源と考えてよいでしょう。

## ● 出力容量で回路方式が異なる

AC入力スイッチング電源のおもな回路方式を表6-1に示します。本書は、スイッチング電源の設計法を主に紹介するものではないので細かい動作説明は省きますが、基本的に出力容量の大きさはパワー・スイッチング素子…実際にはパワー



(a) 自励型の回路構成



(b) 他励型の回路構成

【図6-1】 AC入力スイッチング電源の構成例

スイッチング電源回路にはいろいろな分類がある。ここではAC入力型を自励型と他励型とに分けてみた。自励型は実際はRCC方式しか存在しないが、数量的にはスイッチング電源の大半を占めている

【表6-1】 各種あるAC入力スイッチング電源の方式と出力容量

一般的に使用されているスイッチング電源における回路方式とおよその出力容量について整理した

回路方式	出力容量	パワー・スイッチング素子数	電圧の安定化制御	共振型への対応
RCC方式	～50W	1	(自励), $t_{on}$ 制御	疑似共振方式
フライバック・コンバータ方式	～100W	1	(他励), PWM制御	疑似共振方式
フォワード・コンバータ	～500W	1	(他励), PWM制御	アクティブ・クランプ方式
ダブル・フォワード・コンバータ	～1kW	2		
多石式ハーフ・ブリッジ	～1kW	2	(他励), PWM制御	LLC方式
多石式フル・ブリッジ	～数kW	4	(他励), フェーズ・シフトPWM制御	ZVS方式

## 第7章

## ノイズ・フィルタのコイル設計

電子機器の多くのAC入力ラインには、何らかのノイズ・フィルタが挿入されています。とりわけスイッチング電源を採用している機器では、電源部がノイズ発生源になってしまいます。ノイズ・フィルタは、ノイズが外部へ漏れて周辺機器へ障害を加えることを防止するために不可欠です。

## 7-1

## スイッチング・ノイズ発生 二つのモード

## ● 電子機器のノイズとは

ノイズとは、電子機器において本来必要となる成分の電気信号ではなく、止むなく生じる不要な電圧・電流成分のことです。ノイズが大きいと、

- ラジオ・オーディオ機器から、本来の信号以外の雑音…ノイズが聞こえる
- テレビ映像などで、本来の映像以外の雑音が見れる
- デジタル機器が誤動作したり、正常動作をしなかったりする
- 通信機器などにおいて本来の通信が行えなくなる

などの現象が生じます。そのため通常の電子機器においては、国や地域単位などで電子機器の発生するノイズの大きさの限度値が、規格によって決められています。電子機器メーカーにおいては、発生ノイズがその規格値に準じた値以内に収まるような電子機器を、設計・製造しなければならないわけです。

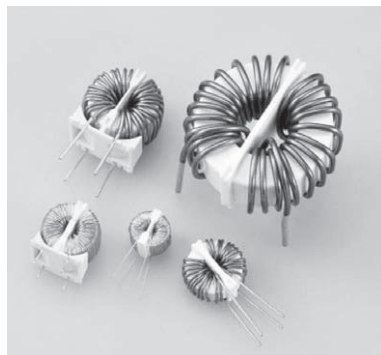
近年の電子機器はほとんどデジタル技術…スイッチング技術によって構成されています。電子機器がスイッチング技術に依っている以上、ノイズを発生させないようにすることは不可能に近いとも言えます。

そこで重要な働きをしているのが、止むなく発生したノイズを(規格値)レベル以下に抑えるためのノイズ・フィルタというわけです。写真7-1に産業用電子機器などで外付け使用されるライン用ノイズ・フィルタと、スイッチング電源回路内部に実装されているノイズ・フィルタの例を示します。





(a)<sup>(34)</sup> 産業用電子機器に外付けで使用されているノイズ・フィルタの例



(b)<sup>(10)</sup> スイッチング電源内部に配置されているノイズ・フィルタ(コモン・モード・コイル)の例

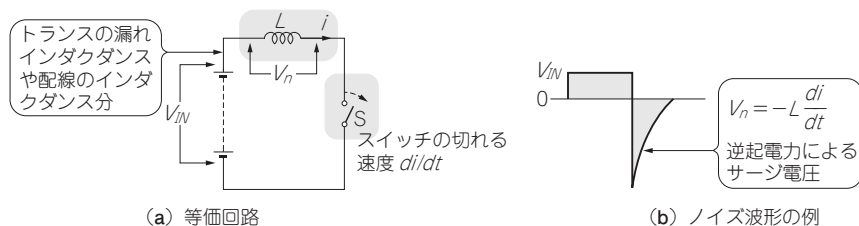
[写真7-1] 電子機器に実装されている電源ライン用ノイズ・フィルタの例

ノイズ規制の規格は地域、国によって異なっている。規格によってノイズ・フィルタの特性も異なる。EMIフィルタ、ライン・フィルタとも呼ばれている

● ノイズ発生の主因はスイッチング

スイッチング電源では図7-1に示すように、スイッチング・トランジスタや高周波整流ダイオード、さらにはトランスなどから大きなレベルのノイズが発生しています。スイッチング電源ではもとの動作波形が方形波とか三角波ですから、その波形の中に動作周波数の整数倍の高調波成分…高周波を含んでいます。この高周波が電子機器の外部に漏れれば、当然ノイズ…不要輻射になってしまいます。しかも、トランジスタのON/OFFするスピードはきわめて高速で、たとえば5Aもの電流を、あるいは350Vもの電圧を100ns程度の時間でスイッチしているのです。

ですから図7-2に示すようにスイッチングの過渡状態で、たとえば電流波形で見れば、電流の時間変化率 $di/dt$ が非常に大きいことになります。電流の流れる経路



[図7-1] スイッチング素子によるノイズの発生

スイッチング電源におけるノイズ発生例。スイッチは半導体なので、有接点(機械接点)にくらべるとノイズは大きくない。それでも、周囲にかなりのレベルのノイズをばらまいている

## 第8章

## コイル/トランスの測定

でき上がったコイルやトランスは、設計どおりになっているかどうかを検証しなければなりません。

測定方法をしっかり身につけておくこともとても重要です。

本章では、欠かせない基本的な測定項目と測定技術について紹介します。

## 8-1

## コイル/トランスにおける基本測定

もともとコイルやトランスを構成するすべての磁性材料が、カタログやデータシートに記載されているとおりの特性であるということはありません。もちろん通常は、記載された数値はほとんどの項目において余裕、つまりマージンを見込んでいます。コイルやトランスの設計時点ではこの数値を適用せざるを得ませんので、でき上がったコイルなどを測定して、設計値との間に大きな差異がある場合には、最終的には多少の修正・調整を行わなければならない項目も出てきてしまうのが実情です。

## ● インダクタンスの測定

コイルあるいはトランスでは、インダクタンスの測定が基本になります。しかし、インダクタンスは簡易的に測定するというわけにはいきません。専用測定器…インダクタンス・メータがないと実際の数値を把握することはできません。高精度の測定器は高価格で、簡単には入手することができませんが、じつは電源回路では数%程度の誤差があってもあまり大きな問題になることはありません。

写真8-1に示すのは、できれば用意しておきたい実験・試作に適した高速・高精度のLCRメータです。測定周波数を低周波(20mHz)～高周波(5.5MHz)まで変えることができるので、スイッチング電源などにおけるインダクタンス測定に適しています。

ハンディ型マルチメータでは、コンデンサの容量…キャパシタンスを測定する機



【写真8-1】 実験・試作用高速・高精度LCRメータの一例(エヌエフ回路設計ブロック(株)ZM2375)  
分解能6桁で、基本確度0.08%となっている。やや高価だが、パソコン・インターフェースも持っているので幅広く利用することができる

能や、インダクタンスを測定する機能をもったものが市販されています。これらであれば数万円以下で購入することも可能です。ただし、これらの測定器ではインダクタンスを測定をする条件として、通常、測定周波数が1kHz、測定電圧は1Vと決められています。しかし、実際のスイッチング電源などの動作周波数は数100kHzにもなります。「どうしたら良いだろうか?」と迷うところですが、特別なコアを使ったコイル以外では、測定周波数による測定値誤差はわずかです。

## ● 直流電流重畳特性の測定

スイッチング電源などにおけるコイルやトランスでは、直流電流重畳特性がとくに重要です。直流電流重畳特性を知るには、インダクタンス値を測定します。自動でコイルに直流を重畳し、測定してデータも自動的に表示してくれる装置もあります。しかし、このような設備は簡単には入手できません。ここでは手動で測定する方法を説明します。

図8-1に示すのが直流電流重畳特性の測定法です。出力電流可変の直流電源から試料のコイルに直流電流を供給します。このときのインダクタンスを測定するものです。インダクタンスの測定そのものは、静的な特性を測定することと変わりありません。直流電源から供給する電流が直流重畳になります。重畳する電流を0Aから少しずつ増やしていき、いくつかのポイントでインダクタンスを測定します。図8-2に示すように何箇所かでの測定値をプロットしていけば特性を得ることができます。

直流電源は十分に大きな電流を流せるものが必要ですが、電圧値としてはさほど大きな値を必要とはしません。

# 見本

このPDFは、CQ出版社発売の「スイッチング電源のコイル/トランス設計」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/46/46391.htm>

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



MAGNETICS

パワー・エレクトロニクス設計においてもっとも理解しにくく扱いにくいとされているのが、チョーク・コイルおよびトランスです。材料さえ手にすればだれにでも自作できるものですが、現実には検討すべきパラメータがあまりに多く、どのような手順で設計・製作を進めるのが効果的かの最適解がありません。系統だてて解説した成書も存在しませんでした。本書ではスイッチング電源回路設計の立場から、磁気回路、コアの選択、巻き線法などまで現実的にていねいに解説しています。