

第5章 インダクタのコアを選択と 巻き線の決め方がポイント

LCによる出力フィルタの製作

平川 大司
Daiji Hirakawa

第4章では、D級出力段が出力する V_{DD} から V_{SS} まで振幅するPWM波から、アナログ・オーディオ信号を復調する出力フィルタの設計法について説明がありました。

本章では、図1に示す定数の求まっている出力フィルタを、実際の部品を使って製作します。出力フィルタはコンデンサとインダクタの組み合わせですが、そのほとんどの作業は、インダクタの設計に終始します。

理想的なインダクタとは

デジタル・アンプの出力フィルタ用のインダクタとして必要な性能を次にまとめます。

● インダクタンス値が安定していること

電流、周波数、周囲温度、インダクタ自身の温度上昇などの使用環境に対して、インダクタンス値が安定でリニアリティが良いことが要求されます。

● ひずみ発生が少ないこと

電流に対してインダクタンス値のリニアリティが良く、ピーク電流が流れてもコアが飽和しないことが望まれます。D級出力段がひずみのないPWM方形波を出力しても、インダクタでひずんだのでは意味がありません。

● 損失が極力少ないこと

損失には、鉄損と銅損の2種類あります。

鉄損はコアに発生する損失です。コアは高周波に対して抵抗値が低くなり、うず電流が流れて熱になり消費されます。銅損は、巻き線に生じる損失で、電流出力が大きいほど増大します。

● 不要輻射ノイズが少ないこと

インダクタには、D級出力段が出力するPWM信号の高周波電流が流れますから、放射ノイズが外に漏れ出ます。ほかの機器に悪影響を与えないように、ノイズを出さないことも重要です。

● 小型かつ安価であること

現時点では、出力フィルタのインダクタは、デジタル・アンプを構成する部品のうち大きな実装スペースを占めています。小型軽量化のための高効率なデジタル・アンプですから、小型であることが望まれます。

また、デジタル・アンプを構成する部品のなかでインダクタは大きなコストを占めています。当然コスト・ダウンは要求されるでしょう。

出力フィルタ用インダクタに適した形状や材料

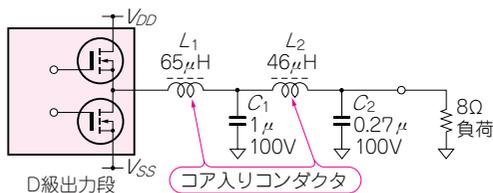
■ 形状のいろいろ

表1にインダクタの形状とその特徴をまとめました。インダクタは、その形状によって次のように分類できます。

● 大きさのわりに大きなインダクタンスが得られ放射ノイズも小さいトロイダル型

写真1に典型的なトロイダル・コアの外観を示します。完全に近い閉磁路になるので、大きなインダクタンス値が得られます。外部への漏れ出る不要ノイズも少

〈図1〉 定数を求め終えた出力フィルタ(シャ断周波数 30 kHz, パワーソース特性)



Keywords

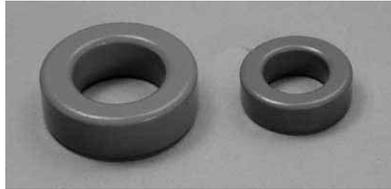
トロイダル型, ソレノイド型, EI型, EE型, パーマロイ・ダスト, 鉄カーボニル・ダスト, センダスト, フェライト, アモルファス, 珪素鋼板, 磁気飽和, 磁束密度, 初期透磁率, 起磁力, 磁路長, 鉄損, 銅損, 単層巻き, 多層巻き。

〈表1〉 出力フィルタ用インダクタの形状とその特徴

項目 \ 形状	ソレノイド	EIまたはEE	トロイダル
インダクタンスの安定性	良い	ギャップ長による	コアによる
不要ノイズ	多い(シールドが必要)	普通	少ない
大きさ	大型になりやすい	普通	小型にできる
ひずみ	小さい	かなり小さい	コアによる
コスト	安価(コア入りの場合)	やや安価	高価になりやすい
損失	銅損が増える	普通	コアによる



(a) タムラ精工社のトロイダル・コア

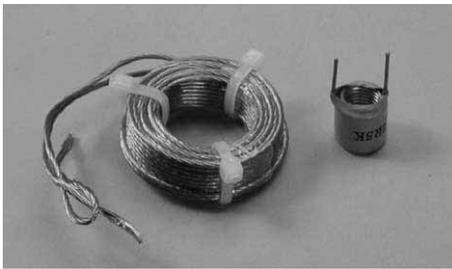


(b) Micrometals社のトロイダル・コア(赤色)

〈写真1〉 トロイダル・コア



〈写真3〉 ドラム・コアを使ったインダクタ



〈写真2〉 ソレノイド型インダクタ



〈写真4〉 コアで覆ってシールドしたタイプのインダクタ

なくなります。巻き線には専用のトロイダル巻き線機を使うか、小さすぎて巻けない場合は手で巻きます。

技術的にトロイダル状にコアを整形できるようになってから、トロイダル・インダクタの採用が飛躍的に増加しました。閉磁路なので透磁率が高く、磁気飽和しやすいため、途中にギャップを設けるなどの対策を施します。ほかの形状より実装しにくいですが、現在では最も採用例が多いものです。

● シンプルな構造で安価なソレノイド型

写真2に示すように、空芯状のとてもシンプルな形状です。同じインダクタンス値を得るには、ほかのタイプに比べてたくさん導体を巻く必要があります。デジタル・アンプのメリットをなくすくらい大型になることがあります。また、漏洩磁束も多くなります。

スイッチング周波数成分が減衰する4次フィルタの高次側(図1の L_2)に採用された例はあります。巻き線機による自動化が容易ですから、コストは安くなります。

写真3に示すように、巻き枠コアにつばをつけたドラム・コアに巻き線するタイプは、小出力のデジタル・アンプに採用されることがあります。

写真4に示すように、不要ノイズを低減するためにインダクタ全体をコアで覆い、シールドする場合があります。インダクタンス値は算出しにくく、だいたいの目安をつけて最終的にはカット&トライで仕様を決める場合が多いようです。

● ノイズが出にくいEI型またはEE型

閉磁路になるので、インダクタンス値はソレノイド型に比べて大きくできます。外部に漏れ出る成分もソレノイド型に比べれば少なくなります。

コアにギャップを入れて、インダクタンス値を安定化することがあります。形状が角ばらないようにすると、アンテナ効果が減って、不要ノイズが減衰します。

■ コア材のいろいろ

表2にインダクタに使う各種のコア材と特徴をまとめました。

● パーマロイ・ダスト

パーマロイ(Fe-Ni)合金を絶縁して圧粉、加圧、成形したものです。高周波損失が低く、透磁率も飽和磁束密度も高いので、出力フィルタに向いています。