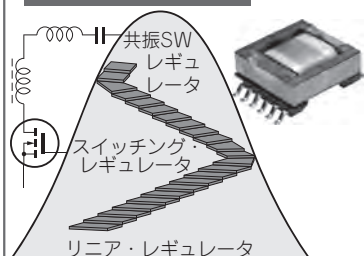


## 電源工房



# 小型&高効率・低ノイズの定番! LLC共振電源の設計入門

〈3〉 LLC共振コンバータ実験のキモ…  
コントロールICと応用回路

森田 浩一 Kouichi Morita

スイッチング電源≒PWM(Pulse Width Modulation: パルス幅変調)技術と考えていた方にとっては、これまでのスイッチング・コンバータとは大きく異なる原理のLLC共振コンバータは、かなり難易度の高い技術のように感じられるかもしれません。しかし、前回(2022年5月号)の末尾に示したLLC共振コンバータのメリットを見ていただくと、これからのスイッチング電源はやはり「LLC共振コンバータ」だとな納得いただけると思います。効率が良く、リニア電源と遜色がないほど低ノイズだからです。

### LLC共振コンバータの リニア電源並み超低ノイズ特性の確認

#### ● 当時はSMZと呼んでいた

図1に示すのは、筆者らが開発した当時のLLC共振コンバータのノイズ特性を示したものです<sup>(5)</sup> [学会発表]。当時はLLCではなく、SMZ(Soft-switched Multi-resonant zero-current-switch…すべてのスイッチング領域がソフト・スイッチング)方式と呼んでいました。

試作コンバータは専用のコントロールICを使用した15V・3.3A…50W程度ですが、伝導ノイズにおいても輻射ノイズにおいても、電波暗室そのもののデータ(暗ノイズ)と変わらないほどの超低ノイズ電源を実現できました。

図1(a)と図1(b)の伝導ノイズの比較では、発振周波数の基本波70k~80kHzが測定範囲外(規格範囲外)なので比較できませんが、第3高調波の220kHz付近のところと560kHzのところノイズが現れています。これ以外はほとんど出ていないといつてよいほどです。

図1(c)と図1(d)の輻射ノイズの比較では、ノイズが現れているところはなく、全体的に図1(d)のほうが太く見るといった程度です。

つまり、伝導ノイズについては、(国際規格であるCISPR)Class Aより40dB低く、Class Bより30dBノイズ・レベルが低い電源を作ることができ、超低ノイズのスイッチング電源が可能だと確認できたわけです。

#### ● リニア電源と変わらないノイズ・レベル

ちなみに、従来のコンバータによる50Wスイッチング電源の伝導ノイズ・レベルを図1(e)に示します。SMZ方式が大幅に低いノイズ・レベルを実現していることがわかります。また、商用トランス+トランジスタ回路で構成した(非スイッチングの)リニア電源においても、一般には商用整流用ダイオード(のリカバリ遅れによって)ノイズが出ていることが多く、それらの電源よりも小さいノイズに収まっていることを確認することができました。

### LLC共振コンバータの特徴… PFC回路との相性が良い

#### ● PFCと組み合わせたLLC共振コンバータの回路

写真1に示すのは、PFC(Power Factor Correction: 力率改善)回路と組み合わせた24V・6.7A…160W LLC共振コンバータの実験セットです。高効率・低ノイズを要求される比較的電力の大きな液晶テレビやモニター、あるいはOA機器などでは、IEC 61000-3-2クラスD高調波電流規格をクリアする必要があるため、近年は図2に示すようにLLC共振コンバータの前端にPFC回路を備える構成が一般的になっています。

PFC回路の設計技術については稿を改めることにして、ここではDC390VからのLLC共振コンバータの設計について解説します。AC85~265V入力をDC390V出力に変換する部分が(昇圧コンバータを含む)PFC回路です。

写真2にLLC共振コンバータ部分をアップしたものを示します。おもな使用部品を示していますが、中央のトランス以外には特殊なものはありません。

#### ● 実験・評価ボードの仕様

図3に設計したLLC共振コンバータ回路を示しますが、おもな仕様は次のようになります。写真2が実際の構成です。

- LLC共振コンバータ部はDC390Vの入力電圧
- 出力は24V・6.7A=160W
- メイン・トランスの様子は以下のとおり