

低ノイズ&高効率パワー回路の実験

13 13.56 MHz, 150 W 高周波電源の設計と製作

稲葉 保
Tamotsu Inaba

Eクラス・アンプはZVS動作が基本になっており、高周波スイッチングで低損失なパワー回路も実現できます。今回はさらに高周波化に挑戦し、13.56 MHz (14 MHz帯)の150 W、高周波電源用Eクラス・アンプを設計・製作します。

● 高周波電源とは

13.56 MHzは、工業用に割り当てられた周波数で、高周波電源として多く使われています。出力電力は50 W程度から数kWの製品があります。高周波電源は超音波洗浄、誘導加熱、高周波プラズマなど産業用の用途に使用されます。そのほかにも400 kHz、800 kHz、2 MHz、27.12 MHz、40.68 MHz、60 MHz、100 MHz、200 MHzなどがあります。

図13-1に示すのは、定電力制御方式の高周波電源の構成です。今回設計・製作するのはEクラス・アンプ部です。

設計・製作する高周波電源のあらまし

● 仕様

製作するEクラス・アンプの主なスペックは、出力周波数 $f = 13.56 \text{ MHz}$ 、出力電力 $P_{out} = 150 \text{ W}$ 、負荷抵抗 $R_L = 50 \Omega$ 、電源電圧 $V_{DD} = 120 \text{ V}_{max}$ です。

図13-2に製作した13.56 MHz、150 Wの高周波電

源の回路を示します。写真13-1に製作したプリント基板の外観を示します。

● 水晶発振器の出力電力を増幅してEクラス・アンプを駆動

信号源には周波数13.56 MHz ± 0.01%以内の安定した正弦波発振器を使用します。水晶発振器の出力をEクラス・アンプに必要なゲート・ドライブ電力(約5 W)まで増幅して出力します。

● Eクラス・アンプに供給する電源電圧を可変して出力電力を一定値に制御

一定電力制御の目的で、可変電源回路の出力電圧を可変します。これは誤差増幅器(エラー・アンプ)を使用して、検出した出力電力が設定電力と等しくなるように電圧を可変します。電圧可変電源については、連載第5回(2004年6月号)および第6回(2004年7月号)を参照してください。

● SWRメータを見ながら出力と負荷をマッチングする

出力と負荷の間には反射電力を計れるSWRメータを挿入します。通常は出力電力を低く設定して電源を入れ、反射電力を見ます。ここで負荷のマッチング用バリコン(CV_1 、 CV_2)を可変して、反射電力を最小に

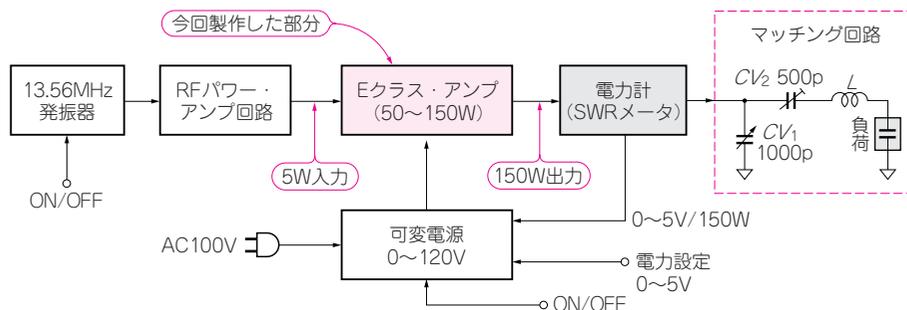


図13-1 定電力制御方式の高周波電源の構成
Eクラス・アンプ部を今回製作する

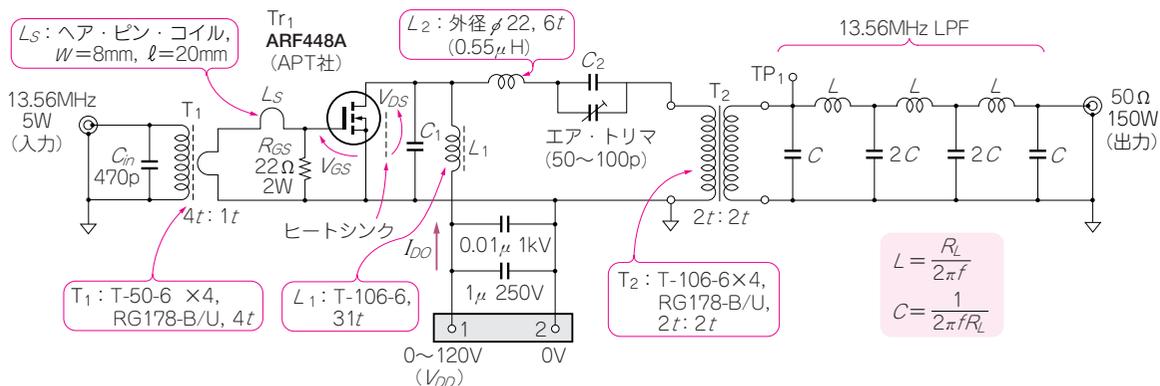


図 13-2 製作した 13.56 MHz, 150 W の高周波電源の回路
5 W 入力, 150 W 出力, 効率 85 % 以上の E クラス・アンプ

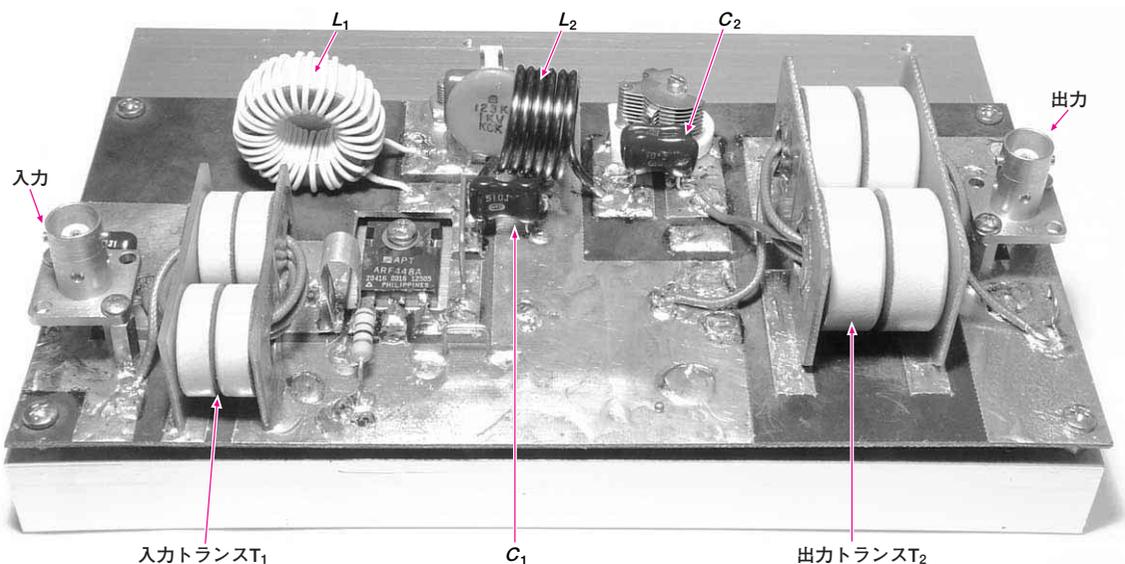


写真 13-1 製作したプリント基板の外観

します。それから規定の出力電力に設定します。
まず、入力整合回路でパワー MOSFET の入力インピーダンスと整合させます。出力段はシングル・スイッチ方式です。インピーダンス変換の必要がないので、出力トランス T_2 は巻き数比 1 : 1 です。
 Q_L を低く設計したので、出力信号に含まれるひずみは少なくありません。そこで出力段に 3 段のローパス・フィルタ (LPF) を直列に付加して、低ひずみの出力を得ています。

13.56 MHz で確実にスイッチングする方法

- スwitching 特性の良いパワー MOSFET を選ぶ
スイッチング周波数が高くなるほど、さまざまな問題が生じます。

入力周波数 13.56 MHz の 1 周期は 73.74 ns です。E クラス・アンプでは、その 1/2 周期でスイッチ ON/OFF するので、ON 時間はわずか 36.87 ns です。
使用できるパワー MOSFET は限られてしまい、いわゆる高周波パワー・アンプ用を選択することになります。ここでは APT (Advanced Power Technology) 社の ARF448A を使用しました。

- 高い周波数ではドライブ電力も大きくなる
パワー MOSFET のゲート・ソース間には静電容量があります。
入力容量 C_{iss} は数百 pF から数千 pF あるので、スイッチング周波数が高くなるほどゲート・ドライブが大変になります。今回のゲート・ドライブ電力は約 5 W が必要です。

