

doi: 10.7690/bgzd.2015.10.026

# 一种基于 D 类功放的逆变电源设计

张春成

(海军装备部驻重庆地区军事代表局, 重庆 404312)

**摘要:** 针对传统正弦波逆变电源设计中输出电压出现的线性及非线性失真问题, 提出一种基于 D 类功率放大电路的正弦波逆变电源设计方法。分析传统逆变电源的缺点, 根据 A 类、AB 类功率放大电路的不足, 采用基于 IR 公司的 D 类芯片 IRS2092S 为核心设计电路, 并进行实验验证。结果表明: 该方法不但能有效解决传统正弦波逆变电源间歇性感性负载的波形失真难题, 而且具有良好的高效性和实用性。

**关键词:** 逆变电源; 间歇性感性负载; D 类功率放大电路; IRS2092S

**中图分类号:** TP303 **文献标志码:** A

## Design of Inverter Power Supply Based on Class D Power Amplifier

Zhang Chun Cheng

(Military Representative Office in Chongqing District, Navy Equipment Department, Chongqing 404312, China)

**Abstract:** For the problem that traditional output voltage of sine wave inverter has linear or nonlinear distortion, a design method class D power amplifier circuit based on sine wave inverter has been proposed. The shortcomings of traditional inverter such as class A, AB class power amplifier circuit have been analyzed. In terms of the shortcomings, circuit based on IR's class D chip IRS2092S core has been designed and verification experiments have been carried out. The results show that the method not only can effectively solve the problem of intermittent inductance loads distortion in the traditional sine wave inverter, but also have efficiency and applicability.

**Keywords:** inverter power supplies; intermittent inductive load; class D power amplifier circuit; IRS2092S

### 0 引言

逆变电源从输出波形上分为 2 类: 一类是方波逆变电源, 另一类是正弦波逆变电源。其中, 方波逆变电源输出的方波电压中含有大量的高次谐波, 在带有铁心电感或变压器的负载用电器中将产生附加损耗, 会对电视机等设备产生干扰。如所带的负载过大, 方波输出电压中包含的 3 次谐波成份将使流入负载中的容性电流增大, 严重时损坏负载的电源滤波电容。相比方波逆变电源, 正弦波逆变电源输出谐波小, 对使用的电器影响小, 被广泛运用在车用电器、船用电器、日常生活、备用电源中<sup>[1]</sup>。

传统的正弦波逆变电源在使用时, 要求感性负载频繁接通与断开, 电感反电动势的存在, 使输出正弦波波形严重失真。一般采用 A 类或 AB 类功放方案来解决输出波形失真的难题, 但该类功放转换效率低, 不符合节能高效的要求, 同时损失的能量以热的形式消耗, 导致电源需要较大的散热器, 增加了电源体积和重量。此外, 根据器件可靠性经验, 器件温度每升高 10 °C<sup>[2]</sup>, 器件的可靠性降低 1 倍。故急需设计高性能、高效的正弦波逆变电源。笔者分析了传统逆变电源缺点, 针对 A 类和 AB 类功放

缺点, 展开了一种基于 D 类功率放大电路的正弦波逆变电源设计方法的探索。

### 1 功率放大电路数学模型

#### 1.1 A 类、AB 类功放数学模型

A 类功率放大器又称甲类功率放大器。在一个完整的信号周期中, A 类放大器的功率晶体管一直处于线性放大状态, 非线性失真最小。但其偏置电流  $I_Q$  大于输入电流, 静态偏置点处于输出电压正弦波波形的中心。A 类放大器电路结构如图 1 所示。

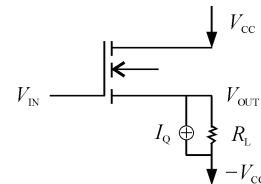


图 1 A 类功率放大电路结构

图 1 中,  $V_{CC}$  为 A 类功率放大电路的电源电压,  $V_{IN}$  为输入需要放大信号,  $V_{OUT}$  为输出功率信号,  $R_L$  为负载电阻。根据功率放大电路理论, 得到输出负载的平均功率  $P_L$  表达式:

$$P_L = \frac{V_{OUT}^2}{2R_L} \quad (1)$$

收稿日期: 2015-06-08; 修回日期: 2015-07-18

作者简介: 张春成(1982—), 男, 重庆人, 硕士, 工程师, 从事通信与信号处理、机电一体化研究。

电源的输入功率为

$$P_s = 2 \times V_{CC} I_Q \quad (2)$$

得到 A 类功率放大电路的效力为

$$\eta = \frac{P_L}{P_s} \times 100\% = \frac{V_{OUT}^2}{4V_{CC} I_Q R_L} \times 100\% \quad (3)$$

由公式 (3) 分析得到, 当  $V_{OUT}=V_{CC}$  且  $V_{OUT}=I_Q R_L$  时, A 类功率放大电路的效率  $\eta \leq 25\%$ , 即 A 类功率放大电路的效率理论上不会超过 25%, 效率极低, 在输出功率大的运用场合, 将要求很多的散热器进行散热, 也不适合现在高效环保的要求。鉴于 A 类功率效率低的缺点, 除非对输出信号失真要求很苛刻, 一般不采用该类功放。

A 类功放电路效率低, 而 B 类功放由于存在一个晶体管截止而另一个晶体管导通需要过渡时导致交越失真, 使输出波形非线性失真大。为克服 A 类效率低及 B 类功放电路大的交越失真问题, 有学者<sup>[3]</sup>提出了介于 A 类与 B 类的一类功率放电路, 又称 AB 类。晶体管工作时间介于半个周期与一个周期之间, 即导通角  $90^\circ < \theta < 180^\circ$ 。大部分时间只有 1 个晶体管工作, 在交越点时, 2 个晶体管都截止, 且偏置电流  $I_Q$  远小于峰值电流。AB 类放大器的电路结构如图 2 所示。

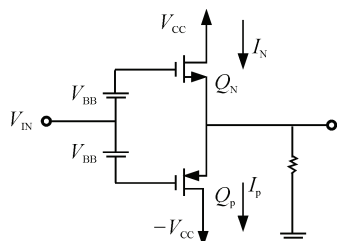


图 2 AB 类功率放大电路结构

此外, AB 类功率放电路的效率与直流偏置点  $I_Q$  相关,  $I_Q$  越小, 效率越高, AB 类效率比 B 类效率要低, 所以 AB 类效率为  $25\% < \eta < 78.5\%$ 。虽然 AB 类功放比 A 类功放效率有很大提高, 然而效率也不可能超过 78.5%。一旦输出功率要求 200 W 时, AB 类功放将至少产生 43 W 对应热量消耗在功率管, 仍需要较大的散热器进行散热。

## 1.2 D 类功率放大器设计

### 1.2.1 D 类功率放大器介绍

D 类功率放大电路与 A、AB 类功率放大电路最大的区别: 不是利用功率管的线性工作区进行放大, 而是采样电压比较、脉宽调制等技术实现。D 类功率放电路又称数字放大电路<sup>[3]</sup>。D 类放大器

是从电源获得所要求的输出功率, 而不像 A 类、AB 类从电源获得所要求的电流, 不会在输出晶体管消耗剩余的功率; 因此, D 类放大器的工作效率理论上可达到 100%<sup>[4]</sup>。然而, D 类放大器输出 MOSFET 的导通电阻  $R_{DSon}$ 、开通关断损耗及输出滤波器等等效电阻的存在, 导致实际输出效率比理论要低, 输出级上损失的功率相对较低, 与 A 和 AB 类放大器相比, 效率最高。

### 1.2.2 D 类功率放大器原理分析

D 类功率放大器结构框图如 3 所示。D 类功率放电路主要由比较器构成 PWM 生产者、功率 MOSFET 管构成的信号功率放电路和输出 LC 滤波电路<sup>[5]</sup>构成。

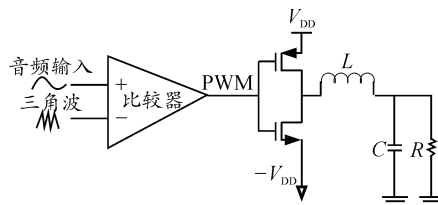


图 3 D 类功率放大电路结构

输入音频信号和频率固定的三角波通过比较器输出占空比变化的 PWM 波, 用来控制功率 MOSFET 管的开通与关断。功率 MOSFET 管输出的方波通过 LC 滤除方波中基波的谐波成分, 最终输出与输入音频信号同频率的波形, 以驱动最终负载。D 类功率放大电路动作波形图如图 4 所示。

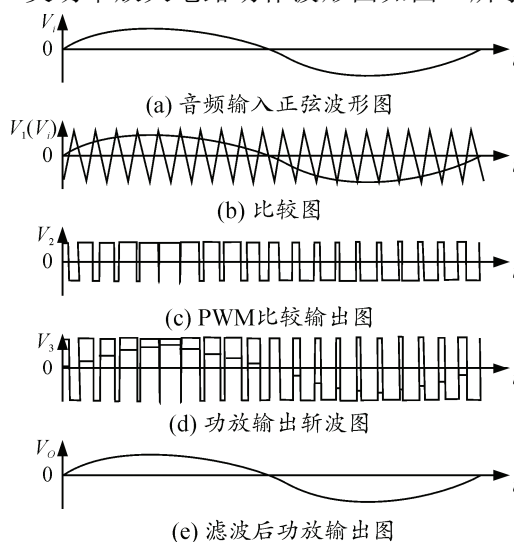


图 4 D 类功率放大电路工作波形

D 类功率放大电路载波频率很高, 一般在 0.25~1 MHz 之间<sup>[6]</sup>。由 MOSFET 管的损耗公式 (4)~(7) 可知, 在选择 MOSFET 时除了耐压、电流等常规要求外, 还需要考虑其他主要参数来减小

MOSFET 的损耗。

$$P_{total} = P_{sw} + P_{cond} + P_{gd} \quad (4)$$

其中：

$$P_{cond} = I \cdot R_{DSon} = \frac{P_{out}}{R_L} \cdot R_{DSon} \quad (5)$$

$$P_{sw} = C_{oss} V_{CC}^2 F_s \quad (6)$$

$$P_{gd} = 2Q_g V_{CC} F_s \quad (7)$$

其中： $C_{oss}$  为 MOS 管的等效输出电容； $Q_g$  为 MOS 管基极充电电荷； $R_{DSon}$  为 MOS 管的导通电阻； $R_L$  为负载电阻； $V_{CC}$  为电源电压； $F_s$  为 PWM 的载波频率。

在选择输出 LC 滤波电路参数时，电感要求选用具有高频特性的磁芯绕组而成，并且要求寄生电容小，而电容  $C$  选用具有高频特性的 MKP 薄膜电容，LC 滤波器的截止频率  $W_c$  应满足式 (8)，式中  $W_1$  表示基波角频率。

$$W_1 < W_c < 0.2W_s \quad (8)$$

## 2 逆变电源电路设计

### 2.1 逆变电源整体介绍

逆变电源输出负载为 3~6 mH 的电感，负载感量大，如果仍采用传统的基于 DSP+SPWM+H 桥方案，DSP 中断及算法处理需要较长时间，导致 PWM 的频率最高值小于 100 kHz 的经验值。控制时间周期长，负载电感在关断与开通时，反电动势的存在会导致输出波形失真。虽然 A 类和 AB 类放大器能够保障功能实现，但是鉴于二者效率低的缺点，实用性较低。相比而言 D 类功率放大器的效率高且 PWM 斩波频率高，可以解决因感性负载开通或关断导致的波形失真问题。基于 D 类功率放大电路的 400 Hz 有效值为 38 V 的逆变电源的结构框图如图 5 所示。

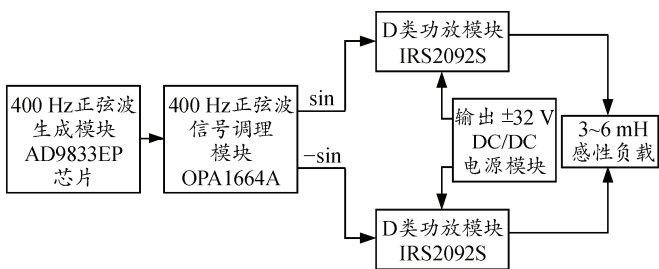


图 5 逆变电源的结构框

基于 D 类功率放大电路的电源模块输出采用桥接方式给负载供电，该方式可降低供电电压，提高系统的可靠性。整个电源模块分为：400 Hz 正弦波产生模块、400 Hz 正弦波信号调理模块和 D 类功率

放大模块构成。DC/DC 电路将输入 36~55 V 的直流电压变换为 ±32 V 电压输出供 D 类功放使用。

### 2.2 正弦波生产电路

由于输出正弦波逆变电源，故需要产生所需频率的波形，设计中采用 AD 公司生产的 DDS 芯片 AD9833EP 为核心，使用 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320F28035 的 SPI 通信来配置 AD9833EP 芯片，使之生产需要频率的正弦波，详细电路图如图 6。

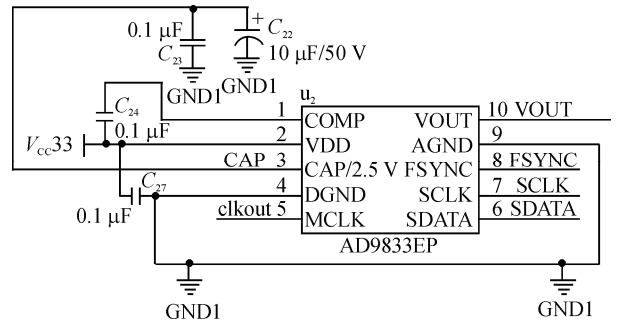


图 6 正弦波产生电路

### 2.3 正弦波信号调理电路

AD9833EP 芯片产生的正弦波值在 0.038~0.650 V 之间，输出的正弦波幅值小，并且存在直流分量，需要对该信号进行幅值放大和剔除直流分量信号处理。信号幅值小、信号调理选用 TI 公司具有高信噪比的运放 OPA1664A 来进行信号调理，该运放电路主要实现放大、减乘、信号取反功能，具体电路如图 7 所示。

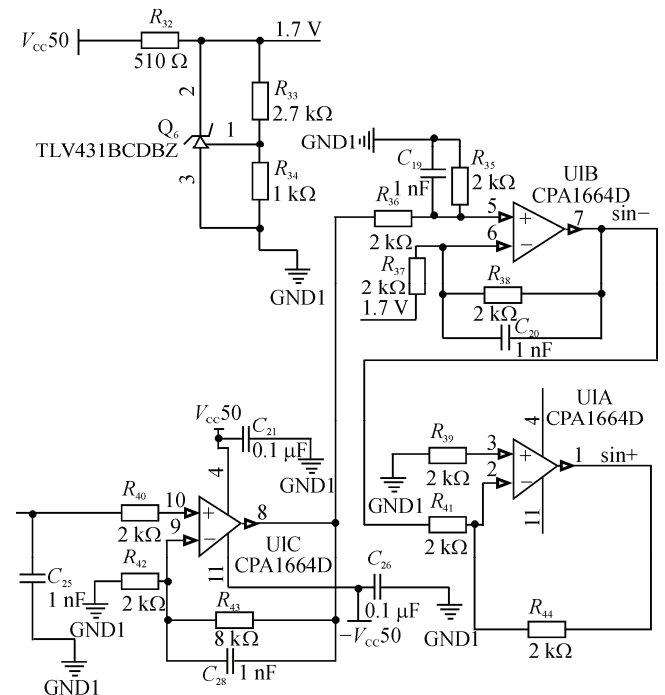


图 7 正弦波调理电路

### 2.4 D 类功放电路

将调理后的两路反向正弦信号送入 D 类功率放大电路进行放大，输入的正弦信号峰峰值为 6.0 V。由于 D 类功放输出采用桥接方式，故功放只需要将输入信号幅值放大 9 倍，D 类功放电路采用基于 IR 的 IRS2092S 实现。

## 3 实验结果

### 3.1 实验条件

电源：使用固纬电子的线性电源 GPS-3303C 提供 36~55 V 直流电压；

负载：采用线绕的感量为 3~6 mH 的电感及可以控制电感开通 30 ms 关断 25 ms 的控制单元，来模拟感性负载的间歇性工作；

实验测试设备：使用泰克 TDS2012 进行输出波形测试。

### 3.2 试验结果

逆变电源带负载工作实物如图 8 所示。

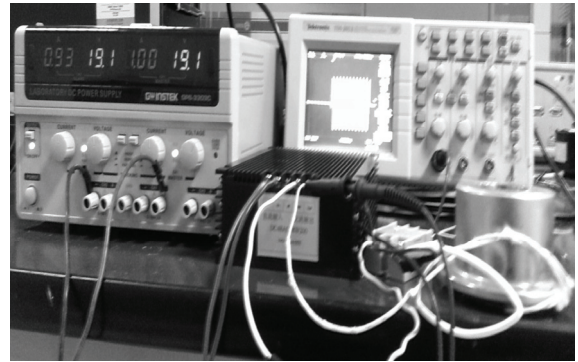


图 8 系统工作实物

图中示波器表笔与感性负载两端相连，通过固态继电器来控制负载接通与关断，实验中通过示波器观察感性负载两端的电压是否达到要求。感性负载两端电压的波形如图 9、图 10 所示。

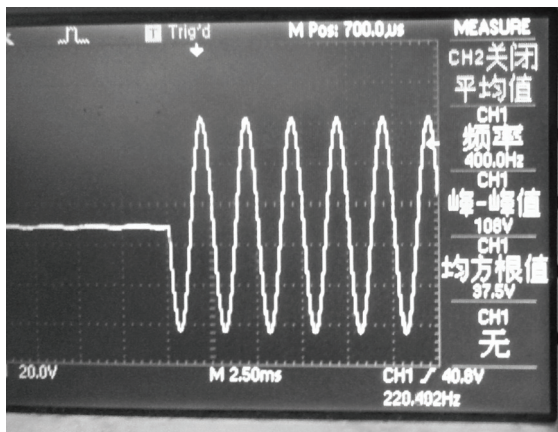


图 9 感性负载开通波形图

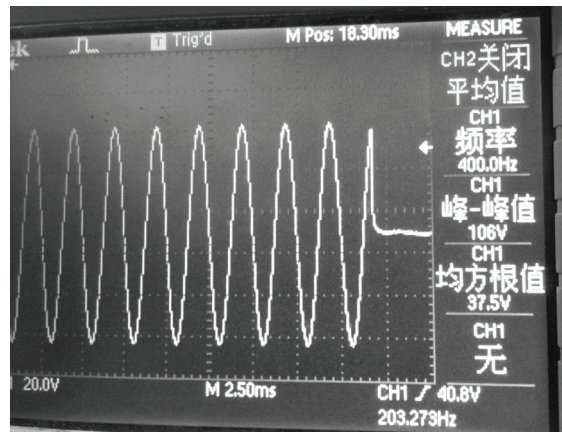


图 10 感性负载关断波形图

从图中可知，设计的逆变电源在感性负载的开通及关断过程中没有出现因感性负载的反电动势而使输出波形失真的问题。

## 4 结论

通过理论分析及实验验证，基于 D 类功率放大器的逆变电源可以有效解决间歇性感性负载的输出电压波动大的问题，同时能使逆变电源系统的效率得到较大的提高，是该种运用环境中最可靠的方案。

### 参考文献：

[1] 周平. 低失真正弦波逆变电源设计[J]. 现代电子技术,

2007, 30(10): 177-179.

[2] 陈金华. 浅析电子电路设计中的抗干扰措施[J]. 中国科技信息, 2006(4): 108-108.

[3] 吴孙桃, 林凡, 郭东辉, 等. 基于斩波技术的 CMOS 运算放大器失调电压的消除设计[J]. 半导体技术, 2003, 28(8): 60-64.

[4] Allen P E, 艾伦, Holberg D R, et al. CMOS 模拟集成电路设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 75-125.

[5] 雍家鹏, 张树丹. 一种低功耗音频三阶联  $\Delta\Sigma$  调制器设计[J]. 微计算机信息, 2008(35): 273-275.

[6] 黄春平. 数控 D 类功放系统的设计与分析[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2012, 12(10): 40-43.