

# 关于 Royer 电路的基本原理及其设计方法

刘吉昌 广州金升阳科技有限公司 (广州 510660)

**摘要:** Royer 电路主要由一对推挽工作的晶体管和一个具有矩形磁滞回线的磁芯组成,属于一种自激振荡推挽式电路。基本工作原理:当电源  $V_s$  接通时,晶体管  $Q_1$ 、 $Q_2$  通过  $R_1$  均获得正向偏置而趋于导通,但是由于两个晶体管的特性不会完全一样,存在差异性,因此必定会有其中一个晶体管流过的电流较大,从而获得优先权,一旦其中的一个晶体管先导通,就必定会抑制另一个管子的打开,以雪崩的方式完成启动过程。Royer 电路的参数计算。

**叙词:** Royer 推挽 自激振荡 磁芯饱和 开关电源

## 1 引言

随着现代开关电源技术的日益发展,各种 PWM 芯片层出不穷,一些基本的传统型开关电源电路逐渐地被人们忽略了,取而代之的是一些更简单、更智能的集成电路或超大规模集成电路。作为从事开关电源设计工作的我们,在为新技术的高速发展而欢欣鼓舞的同时,如能回过头来重温一下那些在历史上曾经风靡一时的经典电路拓朴,弄清它们的工作原理,不仅能开阔我们的视野,同时还能增强我们对基本电路结构的理解,为设计更加复杂,更加庞大的开关电源提供帮助。

而 Royer 电路属于这种情况。熟悉并掌握 Royer 电路的基本工作原理和设计方法,对于我们设计更大型的推挽、桥式、半桥等电路有着莫大的帮助。

本文拟从这一角度,同时对该电路本文提出另外一种基本观点,与电源同行做一些探讨。

## 2 Royer 电路的基本介绍

Royer 电路主要是由一对推挽工作的晶体管和一个具有矩形磁滞回线的磁芯组成,属于一种自激振荡推挽式电路。

该电路能产生比较稳定的时钟频率,故早期亦常用作时钟振荡器。在现代的一些工业应用中,也常用做背光电源、A/D 转换、以及做为一些 IGBT 的驱动等小功率场合。

该电路主要有结构简单,成本低廉,稳定可靠等一些优点,故在现代小功率电源市场仍然占有一席之地。

Royer 电路的基本结构如下图所示:

在分析 Royer 电路的基本工作之前,我们来回顾一下几个基本概念。

## 3 晶体管的一些基本特性

我们知道:三极管的饱和区是指对应于  $V_{CE}$  较小 ( $V_{CE} \leq V_{BE}$ ) 的区域,即输出特性曲线上陡直上升靠近纵轴的区域(见图 2)。三极管的饱和条件是集电结与发射结都处于正向偏置状态。饱

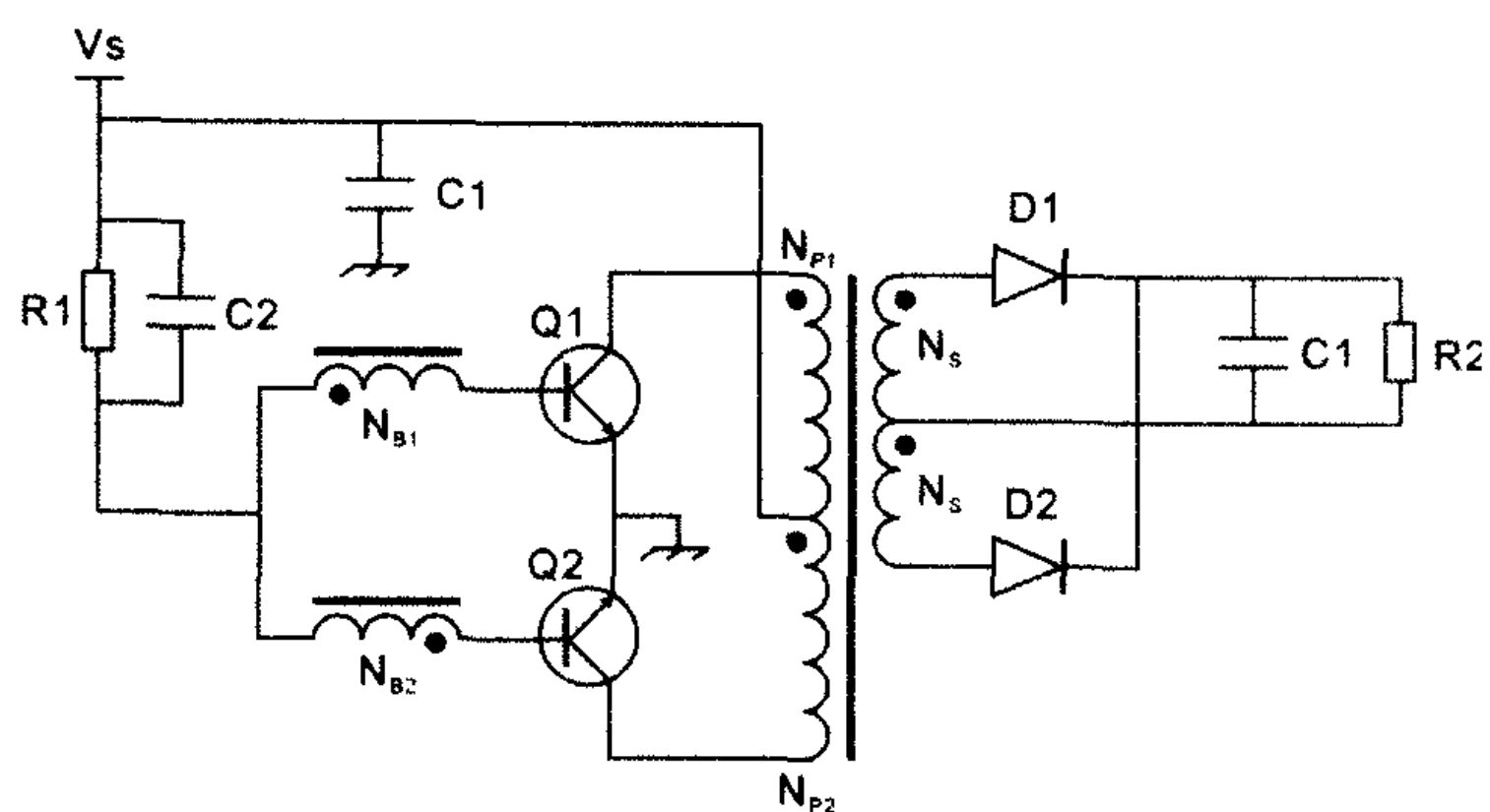


图 1

和的特征是:  $V_{CE}$  很低,  $I_C$  不受  $I_B$  控制,在  $V_{CE}$  一定的条件下,尽管  $I_B$  增加,但  $I_C$  并不增加,三极管失去放大作用。

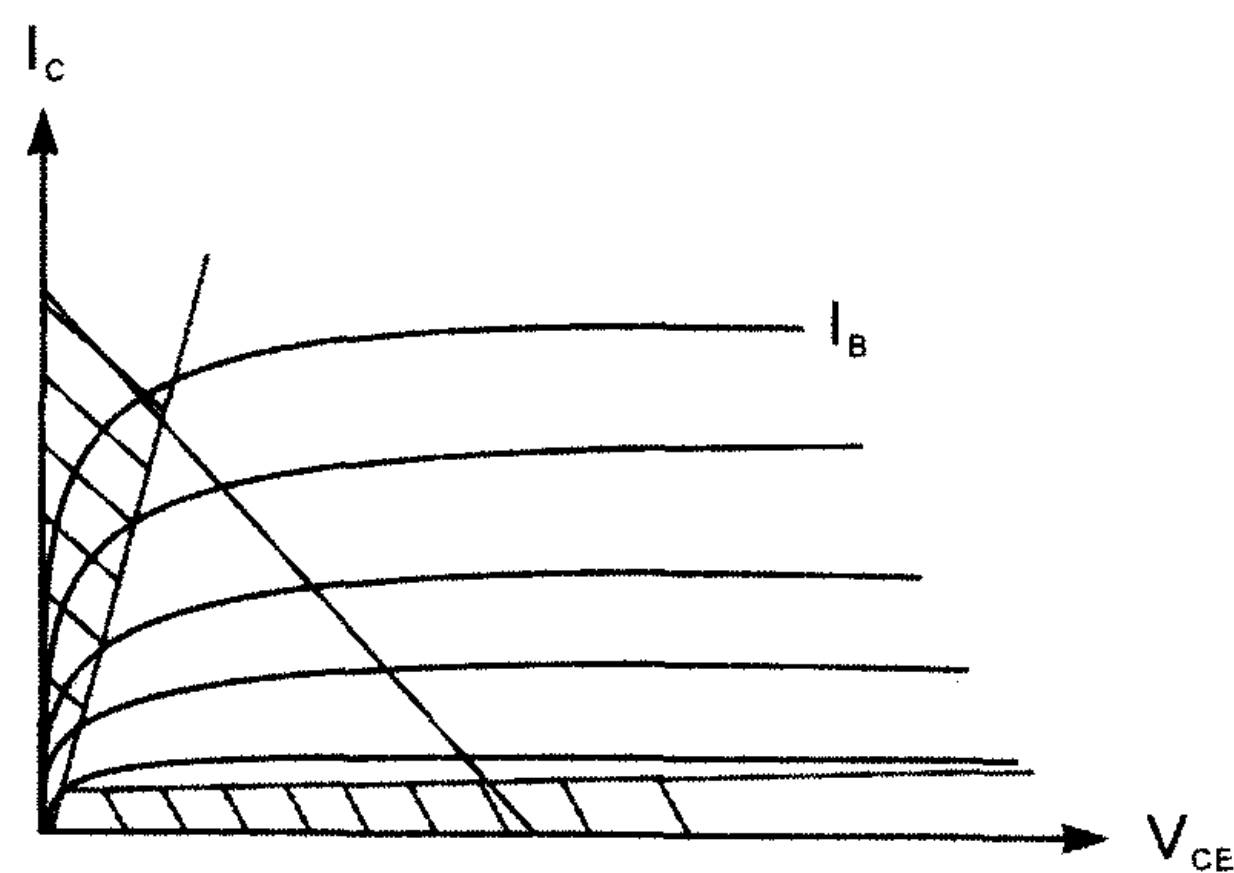


图 2

一般认为,当三极管的  $V_{CE}$  减少到  $V_{BE}$  时,就称做临界饱和状态,此时,  $V_{CE} = V_{BE}$ ,即  $V_{CB} = 0$ ,表示加在集电结上的反向电压已经减少到零,集电结的内电场无力将基区中靠近集电结边缘的绝大部分电子拉到集电区,这就是  $I_C$  进入饱和状态的主要原因。

## 4 饱和磁感应强度和电磁感应定律

每一家磁芯厂家都会为用户提供饱和磁感应强度(即  $B_M$ ) 这一指标。该指标的定义是指在一一定的频率下,当随着外加电

场的不断增加,所测得的  $B$  值变化非常小的时候,此时的  $B$  值即定义为该种条件下的饱和磁感应强度。

$$e = -N * d\phi/dt \quad (1)$$

### 5 Royer 电路的基本工作原理

当电源  $V_S$  接通时,晶体管  $Q_1$ 、 $Q_2$  通过  $R_1$  均获得正向偏置而趋于导通,但是由于两个晶体管的特性不会完全一样,存在差异性,因此必定会有其中一个晶体管流过的电流较大,从而获得优先权,一旦其中的一个晶体管先导通,就必定会抑制另一个管子的打开,以需崩的方式完成启动过程。具体工作过程如下:

假设  $I_{C1} > I_{C2}$ , 则  $N_{P1}$  上的感应电压高于  $N_{P2}$  上的感应电压,相应的  $N_{B1}$  上的感应电压高于  $N_{B2}$  上的感应电压,从而使  $Q_1$  获得更大的基极电流,  $Q_1$  更趋于导通,从图 1 可以看出,  $Q_1$  导通时在  $N_{B2}$  上将感应出上正下负的电压,该电压与电源电压反向,减少了  $Q_2$  的基极电流,从而更进一步抑制了  $Q_2$  的导通(正如前文所说,它被抑制了),这是一个正反馈的过程,因而将很快地使  $Q_1$  饱和导通,  $Q_2$  完全截至。电源电压  $V_S$  加在  $N_{P1}$  上,变压器的副边绕组  $N_S$  经二极管整流后输出电流至负载  $R_2$ 。以上为启动过程,下面讨论  $Q_1$ 、 $Q_2$  的翻转过程:

当  $T=0$  时,接通电源  $V_S$ ,假设  $Q_1$  先导通,  $I_{B1}$  将沿着右图 3 中红色的交流运行曲线上升,同时  $I_{C1}$  也线性增加,  $V_{CE1}$  迅速减小,而  $V_{BE1}$  基本保持不变,从而导致  $V_{CB1}$  迅速接近于零,如图 3,当  $I_{B1}$  增大到  $t_1$  时间点时,  $Q_1$  达到临界饱和点,磁芯磁化曲线达到  $+B_m'$  点,此后,  $I_{C1}$  将迅速增加且不再受到  $I_{B1}$  的控制,  $V_{CE1}$  相对保持稳定,绕组  $N_{P1}$  上几乎承受全部的电源电压,在  $t_1 \sim T/4$  时间段内,磁芯磁通强度增大到  $+B_m$ ,即达到该频率下的饱和点,  $dB$  趋近于零,由式可知,此时再随着时间的延长将导致  $N_{P1}$  上感应电压降低,即  $V_{CE}$  又开使增大,在  $T/4 \sim T/2$  时间段内,  $Q_1$  从饱和点向反方向运行,再次达到临界饱和点并继续通过该点进入放大区域(见右图 3 红色运行曲线左上角部分),相应地,  $N_{B1}$  上感应电压下降,使  $I_{B1}$  减少,晶体管  $Q_1$  向截至方向变化,此时,变压器所有绕组上的感应电压将反向,此为负反馈过程,  $Q_1$  将沿着红色曲线退出放大状态而转入截止,在  $T/2$  时,  $Q_1$  完全截止。从图 1 各绕组同铭端分析可知,此时刚好满足  $Q_2$  迅速转入导通并饱和的条件。此后,重复进行这种过程,形成振荡。振荡频率为:

$$f = 10^4 * V_S / (4 * B_M * A_e * N) Hz$$

### 6 Royer 电路的参数计算

设计条件(电路图如图 1 所示):

$$V_{IN}: 5V_{DC}$$

$$V_{OUT}: +15V$$

• 702 •

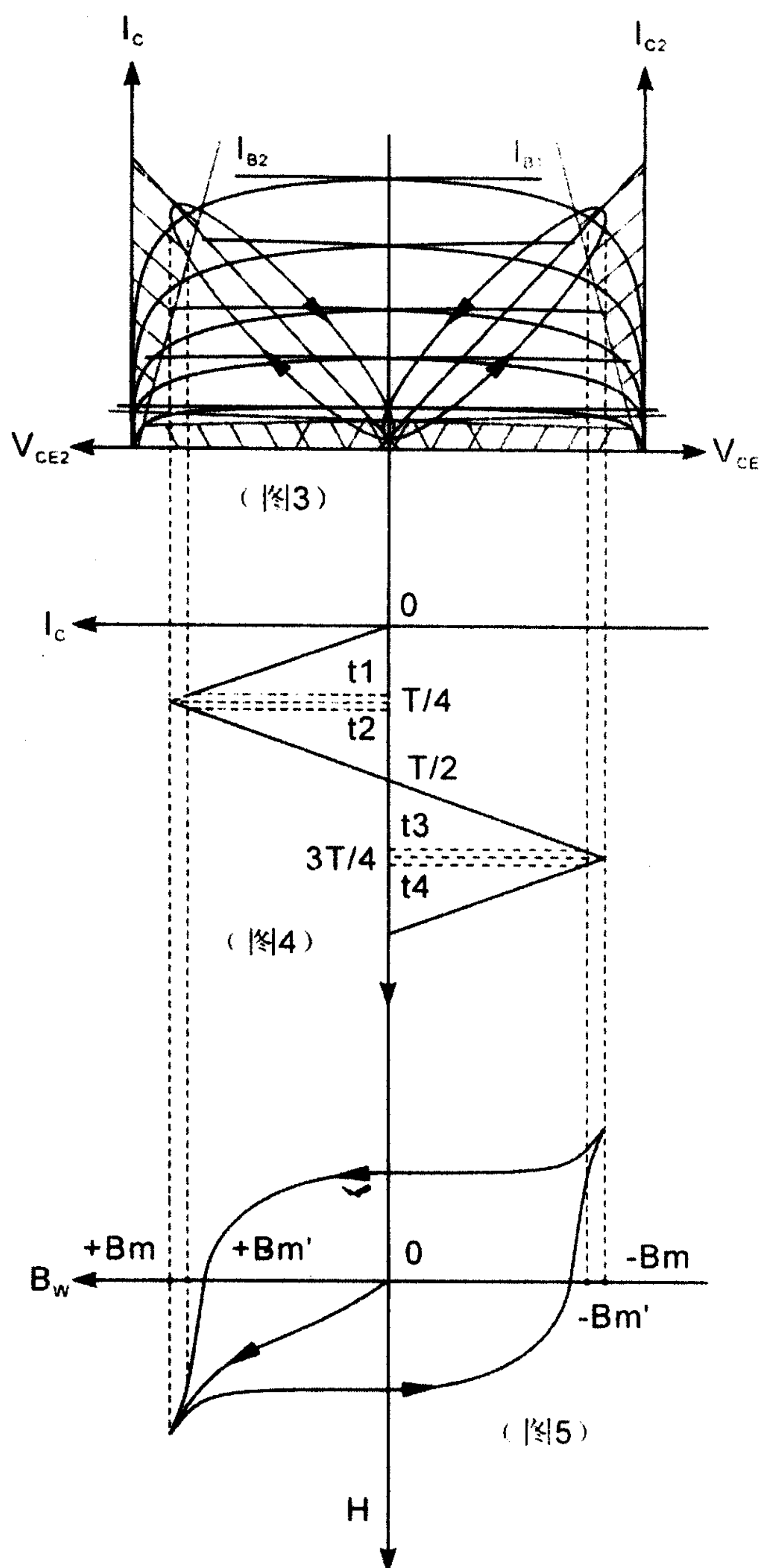


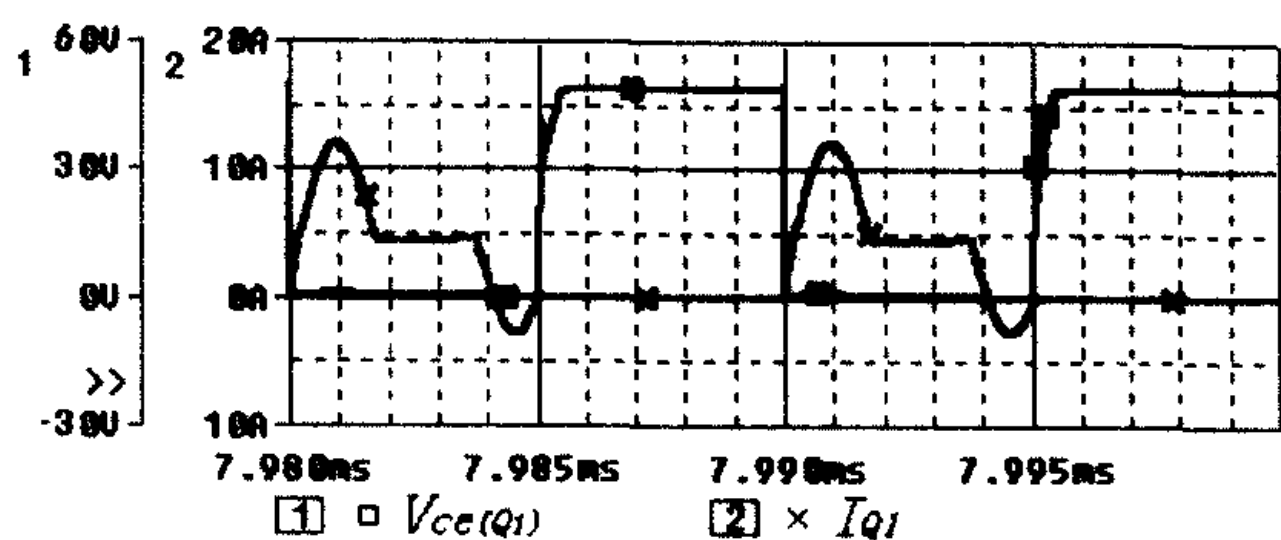
图 3

$I_{OUT}: 70mA$

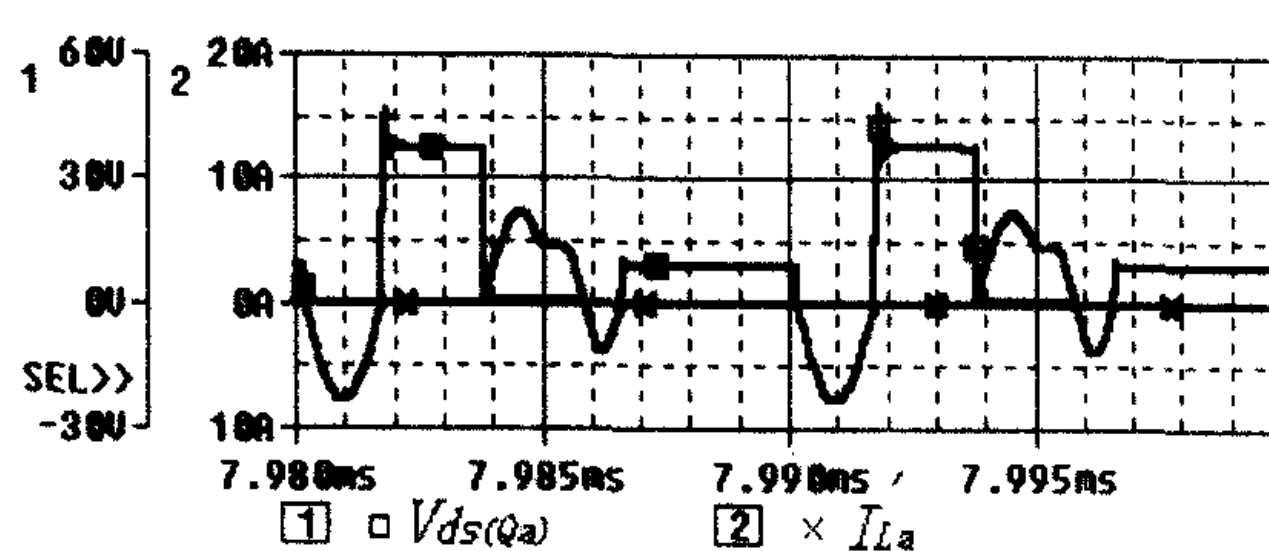
1. 假设工作频率设为 100kHz

2. 黑箱估算:取效率 0.75, 则  $I_{C1} = P_o / (\eta * V_{IN}) = 0.28A$ , 考虑到电流峰值,取 2~3 倍裕量,应该选取  $I_C$  电流为 1A 左右的晶体管,同时考虑到耐压问题,我们这里选取 491, 该三极管  $I_C = 1A, V_{CEO} = 40V$ , 基本符合我们的要求。

(下转第 682 页)

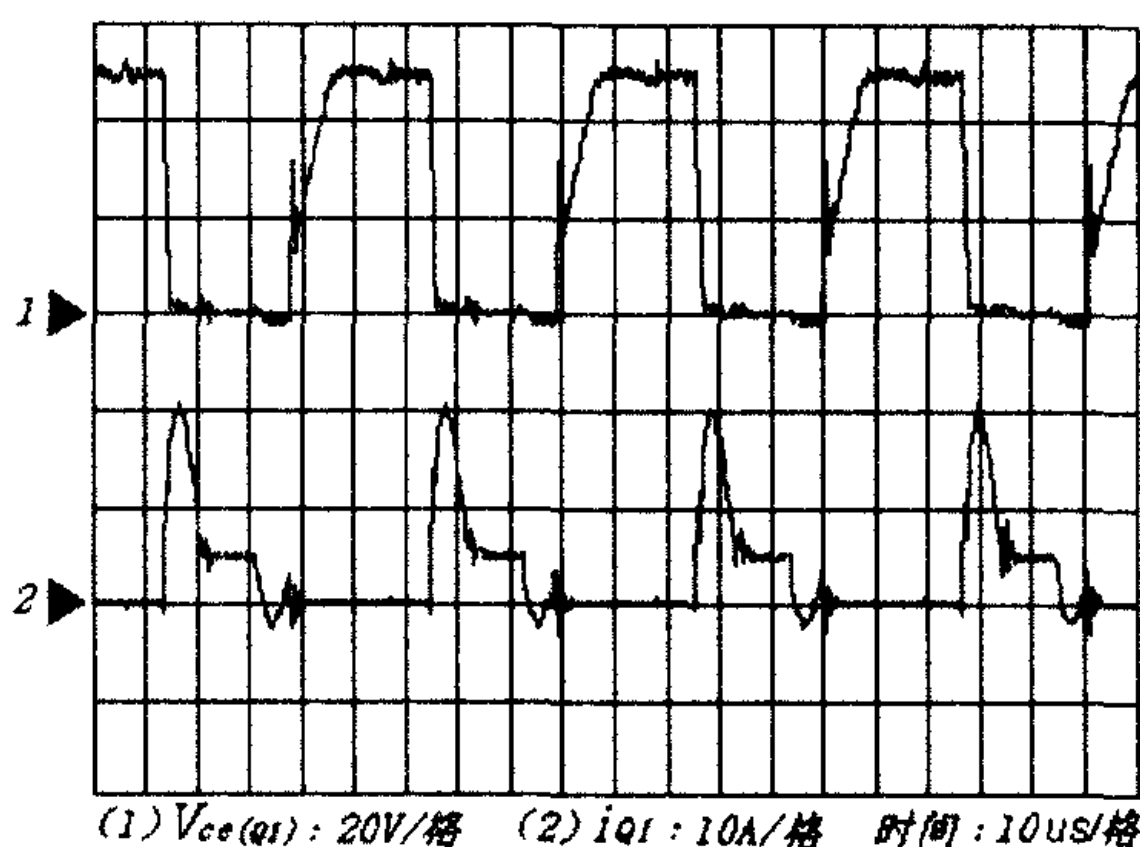


(a)主开关电压、电流波形

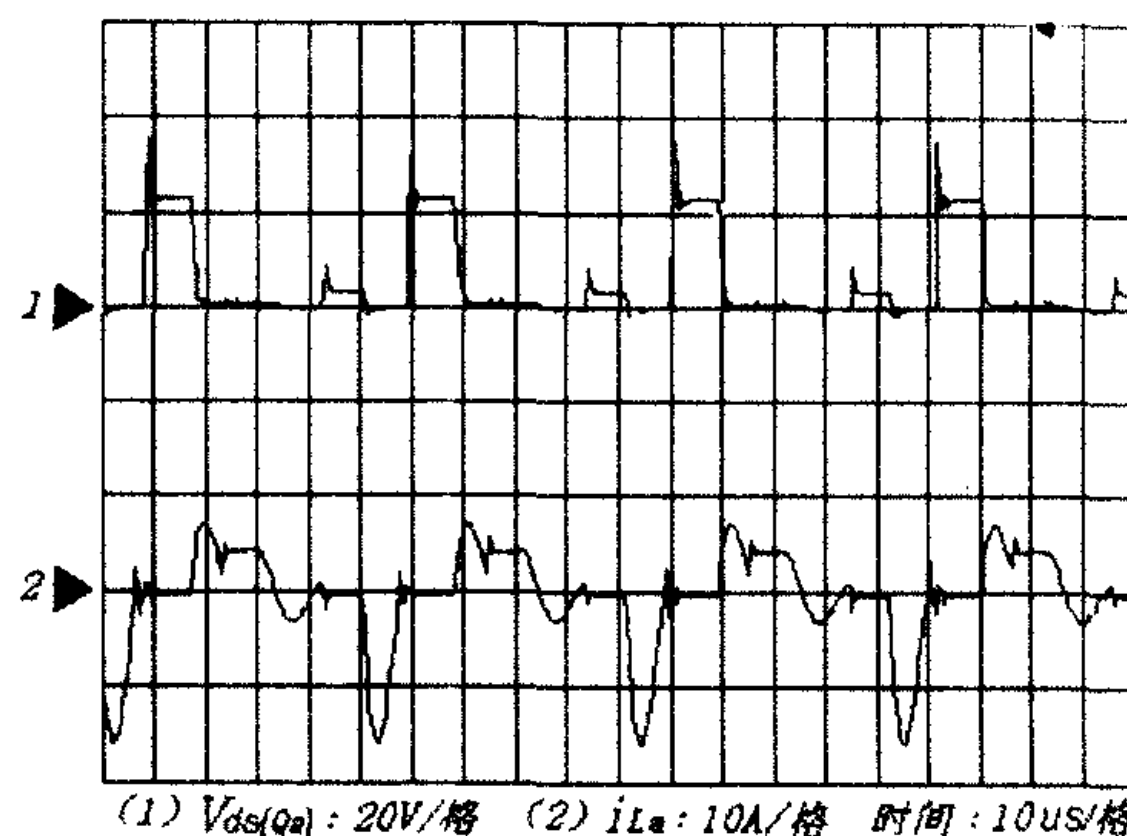


(b)辅助开关电压、电流波形

图3 仿真结果



(a)主开关电压、电流波形



(b)辅助开关电压、电流波形

图4 实验结果

参考文献

[1] 阮新波,严仰光. 直流开关电源的软开关技术[M]. 北京:科学出版社,2000.  
 [2] 王聪. 软开关功率变换器及其应用[M]. 北京:科学出版社,

2000.

作者简介

陆冬良,男,1979年生,硕士生,专业:电力电子技术。

(上接第702页)

3. 磁芯的选取:因传输功率较小,约1W,可适当选择小一点的磁芯,如国产的 $6 \times 3.15 \times 1.5$ 。

4. 根据式(1)可得  $N_{P1} = 13.7$ ,取整得14匝。取晶体管放大倍数  $\beta = 100$ ,可计算出  $I_{B1} = 3\text{mA}$ 。

5. 假设  $N_{B1}$ 上感应电压取0.7V,则可得  $N_{B1} = 2$ 匝。

6. 考虑到晶体管放大倍数在不同的温度下的变化,我们适当增加  $I_B$ (例如取2倍)以形成过驱动,则可得  $R_1 = 961.7\Omega$ ,取1K电阻比较合适。

7. 全波整流,整流管按电流及耐压选取即可。至此,我们完成了该电路主要元件的计算,如下:

$$N_{P1} = N_{P2} = 14 \text{ 匝}$$

$$N_{B1} = N_{B2} = 2 \text{ 匝}$$

$$N_S = 43 \text{ 匝}$$

以上参数,经实际验证通过,效率约为0.78,在 $-55^\circ\text{C}$ 及 $+85^\circ\text{C}$ 下均能稳定工作。

7 结语

本文从三极管饱和的角度对Royer电路提出了一种新的理解。简单来说就是,三极管的工作过程是:截止→放大→饱和→放大→截止,三极管必须在磁芯以前饱和,才能确保其在饱和或截至区域进行状态转换,否则将有可能直接在放大区发生翻转,此时三极管的工作状态已经不符合我们的开关电源的要求了。

参考文献

[1] 张占松,蔡宣三.《开关电源的原理与设计》. 电子工业出版社.  
 [2] 赵修科.《实用电源技术手册磁性元器件分册》. 辽宁科学技术出版社.  
 [3]《模拟电子技术》清华大学教研室,高等教育出版社.

作者简介

刘吉昌,男,28岁,现就职于广州金升阳科技有限公司,从事微功率开关电源开发工作多年。