反激式 DC-DC 电源的集成化研究*

叶剑利　李明峰　胡长生　浙江大学电气工程学院，(杭州 310027)

摘　要：文章简要介绍利用分立元件搭构的反激式 DC-DC 变换的拓扑以及实际电路。给出试验结果，分析该拓扑的特点，各项工作性能。该项工作为日后该拓扑的集成化打下基础。

叙　词：DC-DC　电流型控制　集成化

1　引言

电源的集成化是国内电源发展的方向。在开关电源的应用中，PWM 控制电路是电源设计的核心，PWM 控制电路可以由分立元件来实现，因而，就可以设想把 PWM 及反馈控制和自保护电路集成到一个芯片上，在国外，这种控制芯片早就成为商品，如 UC3842，Topswisch 等。因而，电源的集成化研究将成为一个发展趋势。

由于反激变换器的电路拓扑简洁，输出与输入电压电气隔离，能高效提供多组直流输出，升降压范围宽，因此在中小功率场合得到广泛应用。于是本文利用反激变换器的特点，设计了利用分立元件搭构的驱动控制电路，驱动反激变换器，为日后的集成化作准备。

2　驱动控制电路拓扑

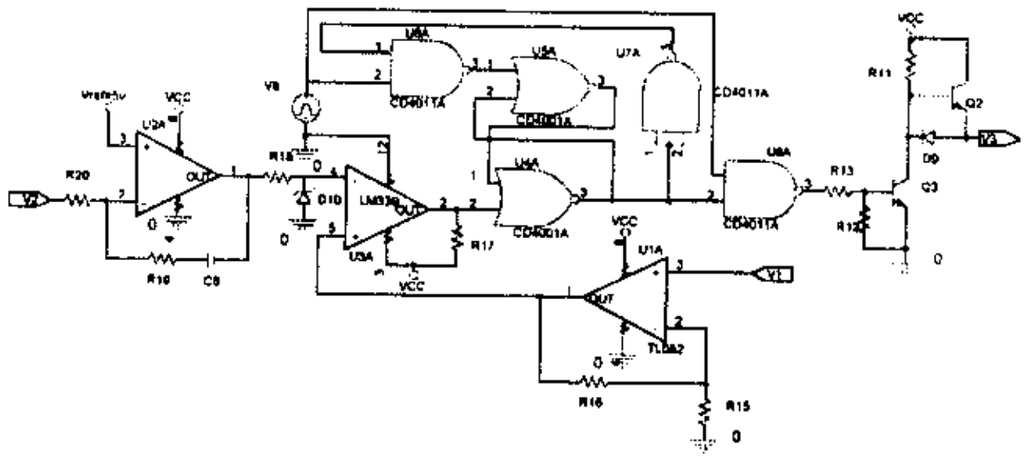


图 1　PWM 逻辑电路及输出电路

图 1 中，V_8 为振荡电路产生的振荡脉冲，其占空比为 50%，由该脉冲并决定开关器件的工作频率。V_1 为原边电流采样电阻上的压降，V_2 为输出电压的反馈值，V_3 是用于驱动开关管的信号。V_2 经过 PI 调节器进行误差放大后输入到比较器的反向端，与输入到比较器同向端的经过误差放大后的 V_1 值进行比较，从而决定 V_3 的脉宽大小。逻辑电路产生的信号经过输出级后用来驱动 MOSFET 的开通和关断，该信号(V_3)的占空比与输出电压的反馈值 V_2 成反比，实现电压反馈式的控制环，同时，该信号的占空比还与输入的直流电压值成反比，以实现电路的前馈控制。V_3 信号由经过放大后的原边电流的采样电阻上的电压值和经过 PI 调节器的输出电压的反馈值共同来控制。图 2 为各个反馈信号的误差放大值、振荡脉冲 V_8 以及 MOSFET 的驱动信号 V_3 波形。图 2 中，图 1)为振荡脉冲 V_8 的波形，2)为驱动信号 V_3 的波形，3 和 4)为电压反馈和电流反馈值经过误差放大后的波形(V_2 和 V_1 的波形)。

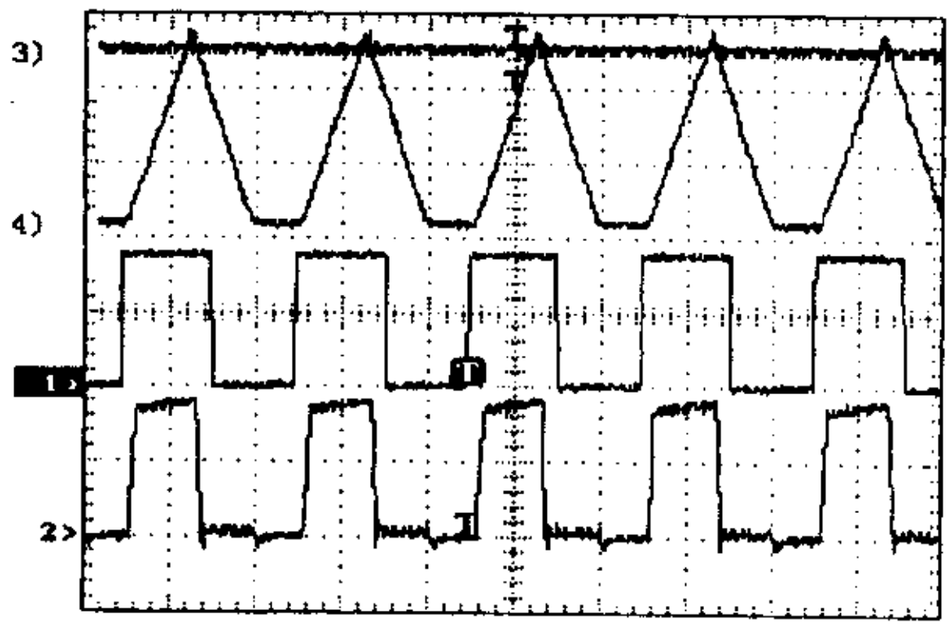


图 2　PWM 波形图

由图可知，当反馈电流的误差放大值 V_1 大于反馈电压的误差值 V_2 时，比较器就输出高电平，驱动信号变成低电平，使 MOSFET 管关断，直到下一个振荡脉冲到来，MOSFET 管才开通，因而可以看出，该电路采用的是电流的峰值控制。

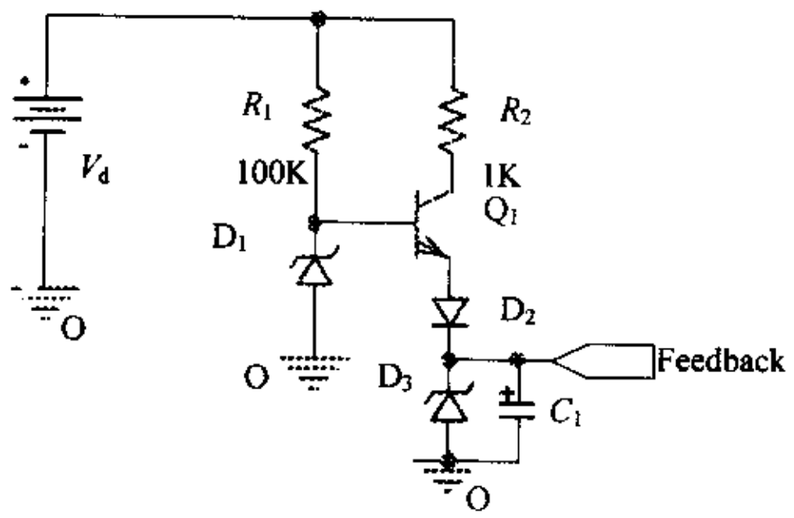


图 3　启动电路图

图 3 为启动电路图。该启动电路由双极型晶体管 Q_1，稳压管二极管 D_1，D_3 和二极管 D_2 以及电容 C_1 构成，在电路启动的初期，输入的直流电源通过双极型晶体管 Q_1 给电容 C_1 充电，使电

* 该项目得到了浙江省科委专项基金项目(991110434)的大力支持。

路开始工作。等到反馈的电压值 Feedback 比电路中的稳压二极管 D_1 的稳压值大时，双极型晶体管 Q_1 被关断，该电路停止工作，PWM 比较器的工作电压由 Feedback 信号提供。这种电路的优点是可以有效的减小损耗，而很多国外产品的启动电路是由大电阻和电容构成，因而在电阻上将会有一定的损耗。

在图 1 的驱动控制电路中，我们还可以看到，该电路有逐周电流检测功能。逐周的峰值漏电流限制电路以原边电流的采样电阻作为检测电阻。器件内部的 PI 调节器的输出值设有 + 5V 的电压限制，而采样电阻上的电压值放大 5 倍后与 PI 调节器的输出值进行比较，故设计电路时就可以精确的计算出电流峰值，通过选定采样电阻值和原副边的匝数比来进行电流限制。当 MOSFET 的漏极电流太大使采样电阻上的压降放大后超过 + 5V 的阈值电压时，MOSFET 就会被关断，直到下一个时钟周期开始。

3 试验结果，工作性能

电路动态特性

(1)负载变化时输出电压的动态特性

当负载变化时，输出电压也在瞬间变化，然后反馈到控制引脚，器件内部的控制电路就会做出相应的调整，改变 MOSFET 器件开关的占空比，以实现输出电压稳定的目的。

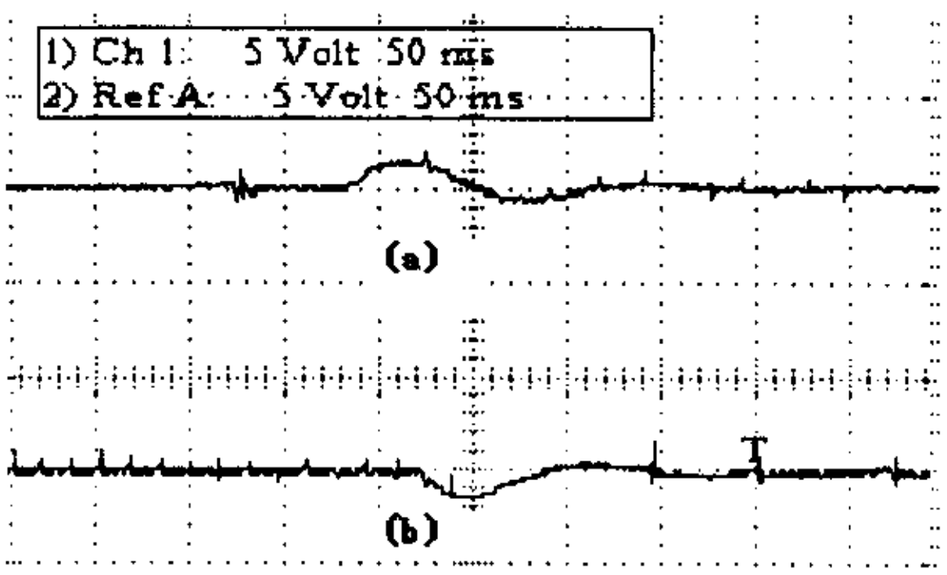


图 4 负载动态特性图

图 4(a)是负载变小时输出电压波形的变化情况。负载变小，输出电压变大，导致电压反馈的误差放大值变小，脉宽调制器的输出波形的占空比变小，使输出电压变小，最终使输出电压趋向于稳定值。此时，输出电压的反馈值为 + 5V。

图 4(b)是负载变大时的输出电压波形。同理，可以分析出输出电压的变化过程。

在同一个输入电压不同负载情况下 MOSFET 器件的 U_{DS} 的波形如图 5 所示。图中 1)负载为 40Ω 时的波形，2)负载大小是 30Ω 时的波形。由图可知，在不同负载下，MOSFET 器件开关的占空比是不相同的，负载大则 MOSFET 器件的导通时间长。

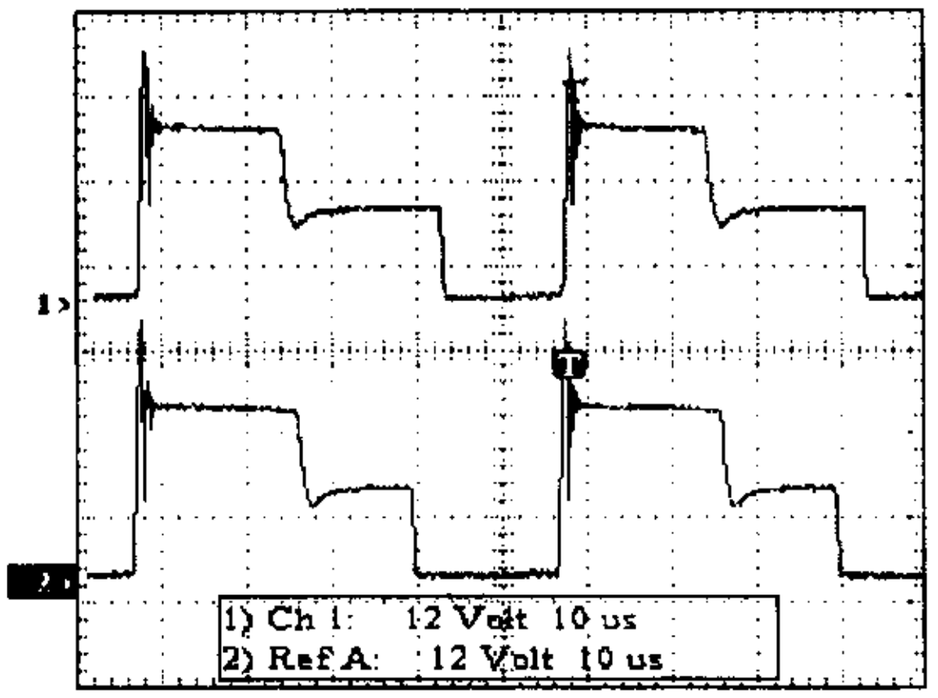


图 5 负载变化时开关管的 UDS 波形

(2)输入电压变化时输出电压的动态特性

当输入电压发生变化时，输出电压也会在瞬间随着发生变化，由于输入电压的变化直接导致输入电流的变化，在电流采样电阻上的压降的上升斜率随着变化，可以直接导致输出占空比的改变，同时，输出电压的反馈环节同样起着调节作用。图 6 为

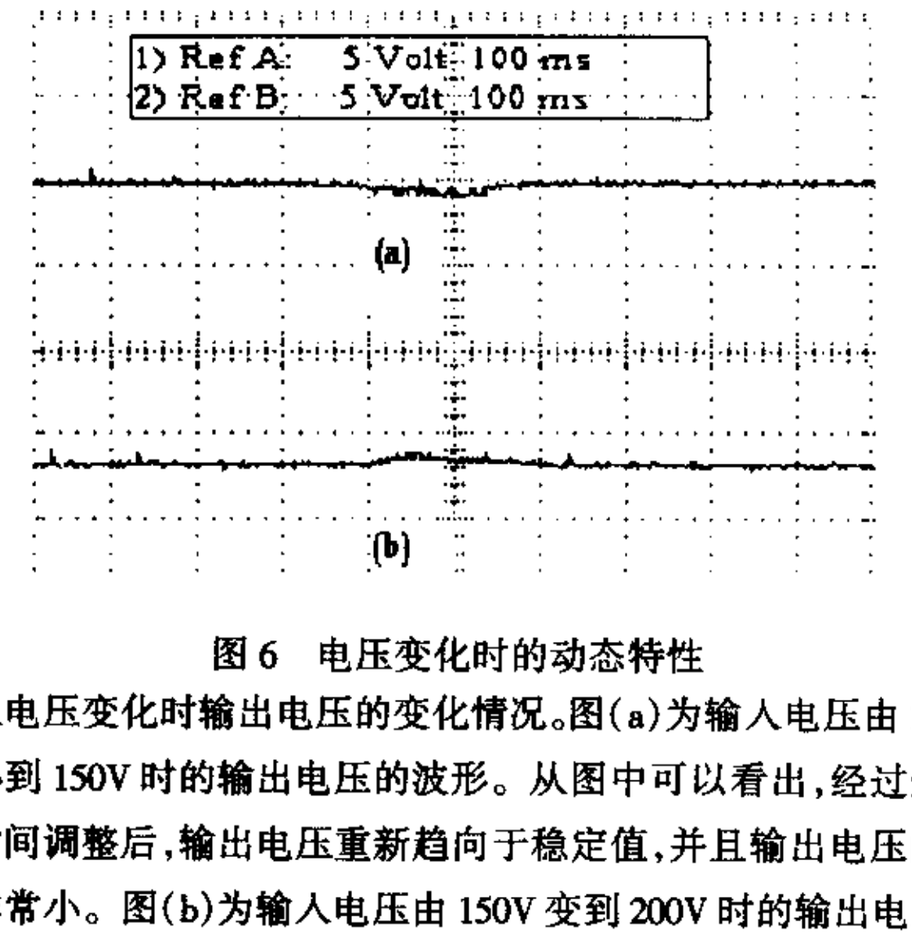


图 6 电压变化时的动态特性

输入电压变化时输出电压的变化情况。图(a)为输入电压由 200V 减小到 150V 时的输出电压的波形。从图中可以看出，经过短暂的时间调整后，输出电压重新趋向于稳定值，并且输出电压的变化非常小。图(b)为输入电压由 150V 变到 200V 时的输出电压波形。

4 结论

本文在给出反激电路拓扑的基础上，通过实际的分立元件搭构实现该拓扑。给出多组试验波形，以此分析了驱动控制电路的特点以及工作性能。试验证明，这种电路控制方法简洁，性能优良。该电路不仅可以应用于反激式电路，也可以应用于正激式和其他 DC - DC 电路中。由于所有元件由分立元件搭构，这就为将来的集成化，以至最终研制芯片提供了基础，验证了可行性。

参考文献

[1] 沙占友，新型特种集成电源及其应用，人民邮电出版社，1998 年 3 月

(下转第 530 页)

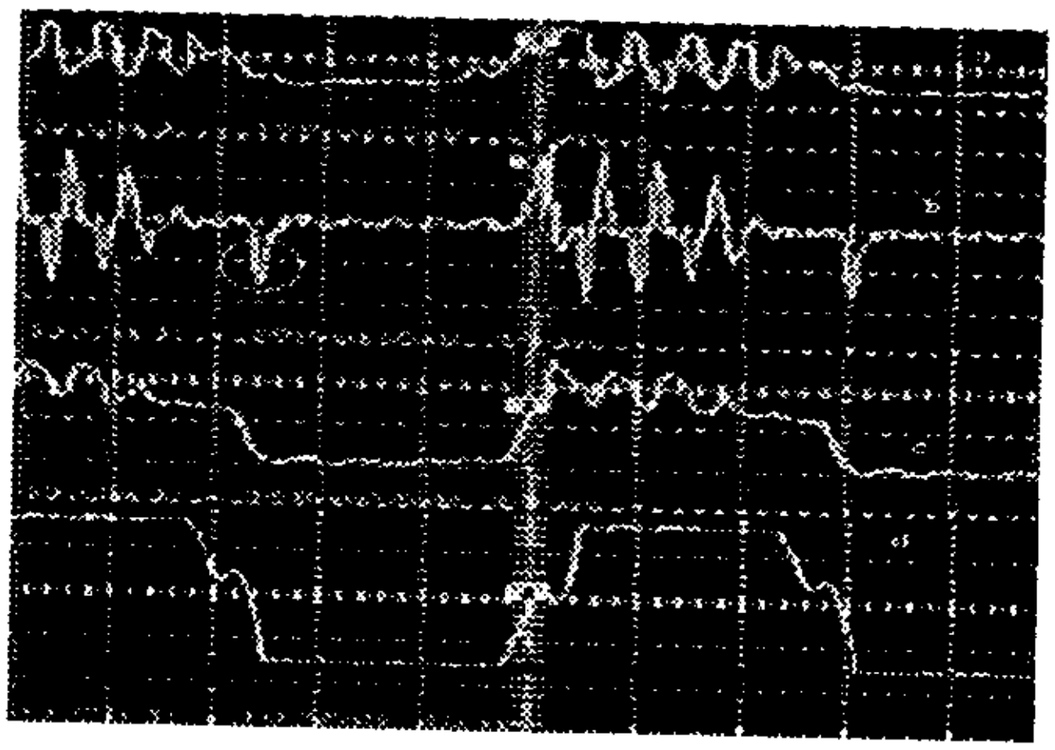


图 7　试验波形

a)Q1 门极电压波形 b)T1,C4 谐振电流波形

c)C4 电容电压波形 d)T1 原边电压波形

总体而言,使用这种方法,门极控制结构简单,实用性强,开关损耗小,适用于低成本,大批量的生产使用。

参考文献

[1]Y. Konishi, Efficient Ozonizer using PDM and PWM Controlled Resonant Invert and its Performance Evalutions, 0-7803-3823-5/1997, IEEE.

[2]H. Fujita, Pulse-Density-Modulation Power Control of a 4 kHz Voltage-Source Inverter for Induction melting applications, Vol. 32, N0. 2, pp. 279-286, 1996, IEEE.

[3]Oleg Koudriavtsev, A Novel pulse-Density-Modulated High-Frequency Inverter for Slient-Discharge-Type Ozonizer, VOL. 38, No. 2, MARCH/APRIL2002, IEEE.

[4]Wei Cai, Impact of stator Windings and End-bells on Resonant Frequencies and Mode Shapes of. Switched Reluctance motors, VOL. 38, NO. 4, JULY/AUGUST2002 .

[5]H. Shioka, K. Kai, T. Nishikawa, and E. Sakai, "High concentration tube ozone generator," in Proc. 13th Ozone World Congr., vol. 2, 1997, pp. 907-912.

[6]R. Feng, G. S. P. Castle, and S. Jayaram, "Automated system for power Measurement in the silent discharge," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 34, pp. 563-570, May/June 1998.

[7]"Standard test methods for measurement of energy and integrated charge transfer due to partial discharges (corona) using bridge techniques," in 1993 Annual Book of ASTM Standards, Section.

作者简介

王峰,男,硕士,从事电力电子及电气拖动方面的研究。

张波,男,博士,教授,博士生导师,从事电力电子及电气拖动,电路系统混沌现象等方面研究。

(上接第 537 页)

为开关性能优良的超快速、软恢复二极管。

2　新型快速反向恢复二极管

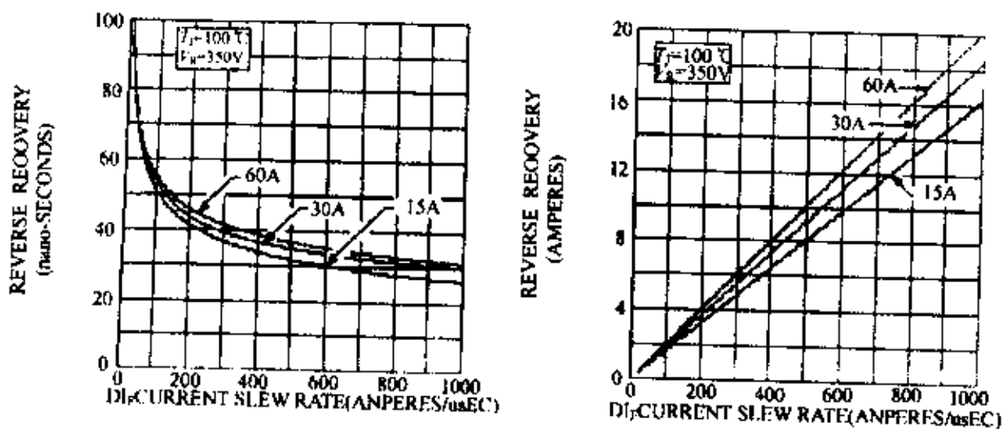


图 7　新型超快反向恢复二极管的 di/dt 对 t_{rr} 和 I_{rm} 的影响

近年来为减小快速反向恢复二极管的反向恢复时间 t_{rr}、反向恢复峰值电流 I_{rm} 和过硬的反向恢复特性,出现了高性能超快软恢复二极管 HiPer FRED、Dyn FRED(或称为高频快恢复二极管 High Frequency Soft Recoverry Rectifier),与常规快速反向恢复二极管相比,新型超快速反向恢复二极管的实际反向恢复时间 t_{rr} 降低到 25 ns 左右,反向恢复峰值电流 I_{rm} 降低到额定正向电流的 1/4 或更多,反向恢复特性软化。如图 7、所示。很明显,新型超快反向恢复二极管的反向恢复时间和反向恢复峰值电流远低于图 1、图 2 器件。可减少功率变换器中的开关管和二极管的开关损耗、输出电压尖峰和 EMI。

参考文献

[1] www.advancedpower.com/pressreleases/data/30d60b.pdf

[2] www.ixys.com/products/power/search/rectifier/ferd/d5.pdf

(上接第 569 页)

参考文献

[2] 张占松、蔡宣三,开关电源的原理与设计,电子工业出版社,1998 年 7 月

[3]何希才,新型开关电源设计与应用,科学出版社,2001年2月

[4]林渭勋,电力电子技术基础,机械工业出版社,1990年10月