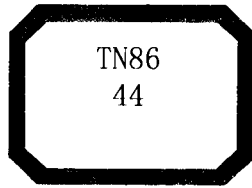


实用开关电源 维修技术

刘毓敏 等编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





实用开关电源维修技术

刘毓敏 主编



机械工业出版社

本书共五章：在第一章对各类型开关电源的原理和技术特点进行了简要介绍；在第二章从检修的角度介绍了各类常用器件的技术性能和特点；第三章介绍了开关电源的检测和维修的一般方法；在第四、五章中，结合开关电源的主要应用领域，如家用电器、计算机及办公自动化等具体应用，以实例介绍了各类开关电源的检修原理与一般方法。

本书的读者对象主要是开关电源的开发、维修的技术人员及相应基本职业技能培训人员。

图书在版编目 (CIP) 数据

实用开关电源维修技术/刘毓敏主编. —北京：机械工业出版社，2004.1

ISBN 7-111-13208-4

I. 实… II. 刘… III. 开关电源—维修 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 095325 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：牛新国 版式设计：霍永明 责任校对：申春香

责任编辑：姚光明 责任印制：施红 封面设计：陈沛

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 9 月第 1 版·第 2 次印刷

787mm × 1092mm $\frac{1}{16}$ ·13 印张·1 插页·324 千字

4001—7000 册

定价：21.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

电源是电子设备的必不可少的功能模块，其性能的优劣直接影响到电子设备的技术性能和可靠性。目前，电子设备中常用的直流稳压电源主要有线性电源和开关电源两类。前者也称串联调整式稳压电源，其稳压性能好，输出纹波电压很小，但必须使用工频变压器与市电网隔离，该变压器不仅体积大，而且重量重。加之线性电源的电压调整管的功率损耗较大，致使这类电源无法实现轻型化、小型化和高效化，从而，使其成为电子设备轻型化、小型化和高效化发展的主要障碍。开关电源无需工频变压器，而只用体积很小的高频变压器来实现电源与市电网的隔离，而且其内部关键元器件工作在开关状态，因此功耗很低，电源效率可高达80%~90%，比线性电源提高近一倍；此外，开关电源工作在高频状态，采用的滤波元件和散热器的体积也很小，所有这些都决定了开关电源是当今电子设备电源的主流发展方向。

开关电源以其高效率、高可靠性、小型化、轻型化已成为各类电子设备的主流电源，因此，开关电源的常见故障检修技术已成为电子技术人员必备的基本职业技能。而作者观察到目前同类书籍，要么以开关电源的设计为主，面向开关电源开发人员，要么以单一品种的电子设备（如，电视机、电信设备等）的开关电源的故障检修为主，很少从职业技术教育的角度编写。本书试图写成以开关电源检测与维修技术为主，作为跨行业电子技术人员的基本职业技能为培养目标的的教学参考书。围绕这一目标，本书在第一章对各类型开关电源的原理和技术特点进行简介的基础上，以较大的篇幅在第二至五章介绍了实用性较强的开关电源检修技术；在第二章从检修的角度介绍了各类常用器件的技术性能和特点；第三章介绍了开关电源的检测和维修的一般方法；在第四、五章，结合开关电源在一些主要应用领域，如家用电器、计算机及办公自动化等的具体应用情况，介绍了各类开关电源检修原理与一般方法。

本书由刘毓敏策划，参加编写的人员有刘毓敏、黄燕、列泳瑶等，其中第二章第四节，第五章第三、四节为黄燕编写，第五章第一节为列泳瑶编写，其余均为刘毓敏编写。全书由刘毓敏统稿。囿于作者理论和实践，书中错漏之处在所难免，敬请读者指正。在本书的编写过程中，作者参考了大量的文献资料，在书后的参考文献中列出，在此作者对参考文献的作者们致以衷心的感谢。

作 者

目 录

前 言

第一章 常见开关电源的基本电路形式

及其原理 1

第一节 开关电源技术概况 1

一、开关电源的技术特点 1

二、开关电源的若干技术问题 4

第二节 DC—DC 变换器的基本电路形式

及特点 7

一、DC—DC 变换器的种类 7

二、DC—DC 变换器的基本电路形式 7

三、常见 DC—DC 变换器的特点 15

第三节 开关状态控制电路 16

一、开关状态控制方式的种类 16

二、PWM 控制电路的基本构成和原理 17

第四节 开关电源电路的附加功能 18

一、开关电源电路常见的附加功能 18

二、开关电源电路典型的过电流保护 电路 18

三、开关电源电路典型的过电压保护 电路 21

第五节 谐振式开关电源 22

一、谐振式开关电源的基本原理 22

二、谐振式开关电源电路 24

第二章 开关电源主要器件及其特性 ... 29

第一节 开关器件 29

一、双极型晶体管 29

二、场效应晶体管 31

三、绝缘栅双极型晶体管 35

第二节 集成 DC—DC 变换器 39

一、升压型正电压 DC—DC 变换器 39

二、降压型正电压 DC—DC 变换器 (PWM) 43

三、升/降压型正电压 DC—DC 变换器 (PWM) 45

四、倒相式 DC—DC 变换器 47

五、泵式电容开关变换器 49

第三节 开关电源集成控制器 51

一、开关电源集成控制器的典型结构

及其工作原理 51

二、SG1524/2524/3524 系列 PWM 控制器 ... 53

三、SG1525/1527 系列 PWM 控制器 54

四、SG3525 系列 PWM 控制器 54

五、电源控制型 PWM 控制器 55

六、移相谐振控制器 58

七、功率因数校正器 62

八、功率因数校正—PWM 控制复合 IC 72

第四节 厚膜电路 79

一、综述 79

二、IX0205CE 系列厚膜电路 80

三、IX0247CE 系列厚膜电路 81

四、IX0308CE 系列厚膜电路 82

五、IX0689CE 系列厚膜电路 82

六、STR440 系列厚膜电路 83

七、STR5312 系列厚膜电路 84

八、STR6020 系列厚膜电路 84

九、STR40090 系列厚膜电路 84

十、STRD 系列厚膜电路 85

十一、SIX0465、LA51120、STR50103A、 STR50115B、STR54041、STR51213

型厚膜电路 86

第三章 开关电源电路的测试与检修

方法 87

第一节 开关电源电路的测试方法 87

一、分立元件开关电源电路的测试方法 87

二、单片开关电源电路的测试方法 95

三、开关电源电路的在线测量技术 99

第二节 开关电源电路的检修方法 103

一、分立元件开关电源电路故障检修的 基本方法 103

二、单片开关电源的检修方法 105

第四章 常用家用电器开关电源的维修 ... 111

第一节 大屏幕彩色电视机开关电源的

维修 111

一、大屏幕彩色电视机开关电源的技术

特点及其检修方法	111	二、常见原装 PC 机主机开关电源的典型 电路结构及其工作原理	159
二、国产大屏幕彩色电视机开关电源的 维修	116	三、常见兼容 PC 机主机开关电源的典型 电路结构及其工作原理	164
三、进口大屏幕彩色电视机开关电源的 维修	122	四、检修方法	167
第二节 激光视盘机开关电源的维修	133	第二节 PC 机显示器开关电源的维修	175
一、激光视盘机开关电源的技术特点	133	一、PC 机显示器开关电源的技术原理	175
二、激光视盘机开关电源的维修	137	二、检修方法	180
第三节 磁带录像机开关电源的检修方法	152	第三节 打印机开关电源的维修	188
一、磁带录像机开关电源的技术特点	152	一、打印机开关电源典型电路结构及其 工作原理	188
二、松下 VHS 录像机开关电源的检修 方法	152	二、检修方法	191
三、日立 VHS 录像机开关电源的检修 方法	155	第四节 传真机开关电源的维修	192
第五章 计算机及办公自动化设备开关 电源的维修	158	一、传真机开关电源的典型电路结构及其 工作原理	192
第一节 PC 主机开关电源的维修	158	二、检修方法	196
一、PC 主机开关电源的技术特点	158	参考文献	201
二、常见原装 PC 机主机开关电源的典型 电路结构及其工作原理	159		
三、常见兼容 PC 机主机开关电源的典型 电路结构及其工作原理	164		
四、检修方法	167		
第二节 PC 机显示器开关电源的维修	175		
一、PC 机显示器开关电源的技术原理	175		
二、检修方法	180		
第三节 打印机开关电源的维修	188		
一、打印机开关电源典型电路结构及其 工作原理	188		
二、检修方法	191		
第四节 传真机开关电源的维修	192		
一、传真机开关电源的典型电路结构及其 工作原理	192		
二、检修方法	196		
参考文献	201		

第一章 常见开关电源的基本电路形式及其原理

第一节 开关电源技术概况

电源是电子设备的必不可少的部件，其性能的优劣直接影响到电子设备的技术性能和可靠性。目前，电子设备中常用的直流稳压电源主要有线性电源和开关电源两类。前者也称串联调整式稳压电源，其稳压性能好，输出纹波电压很小，但必须使用工频变压器与市电网隔离，该变压器不仅体积大，而且重量重，加之其电压调整管的功率损耗较大，致使这类电源无法实现轻型化、小型化和高效化。从而，使电源成为电子设备轻型化、小型化和高效化发展的主要障碍。开关电源无需工频变压器，而只用体积很小的高频变压器来实现电源与市电网的隔离，而且其内部关键元器件工作在开关状态，因此功耗很低，电源效率可高达80%~90%，比线性电源提高近一倍；此外，开关电源工作在高频，采用的滤波元件和散热器的体积也很小，所有这些都决定了开关电源是一种高效率、高可靠性、小型化、轻型化的稳压电源。因此，开关电源成了当今电子设备的主流电源。

一、开关电源的技术特点

(一) 开关电源电路的基本构成和原理

1. 基本构成 图 1-1 是开关电源电路的典型结构。它主要由整流滤波电路、DC-DC 变换器、开关占空比控制电路及取样比较电路等模块构成。

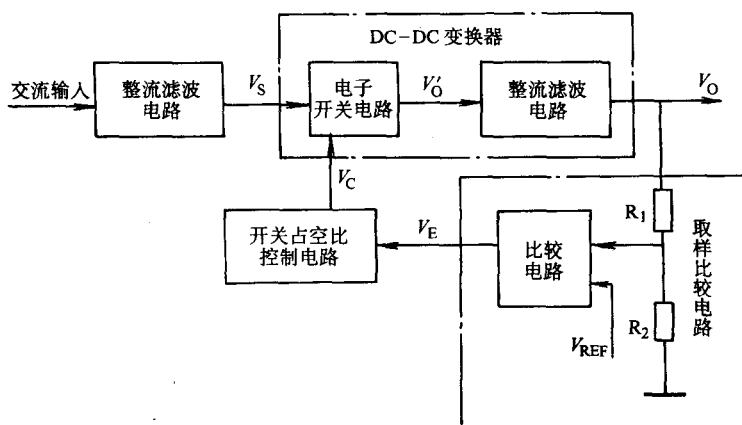


图 1-1 开关电源的典型结构

2. 基本工作原理 开关电源的基本工作原理：

输入的交流电（市电）首先经整流滤波电路形成直流电压 V_S ，该直流电压 V_S 再经通/断状态由图 1-2a 所示波形 V_C 控制的电子开关电路后，变换成脉冲状交流电压 V'_O （见图 1-2b）， V_S 再经电感、电容等储能元件构成的整流滤波电路平滑后，输出直流电压 V_O （见图

1-2c)。显然，输出直流电压 V_O 的大小取决于脉冲状交流电压 V'_O 的有效值大小（成正比），而 V'_O 的有效值又与开关的导通占空比 $D = T_{ON}/T$ （其中 $T = T_{ON} + T_{OFF}$ ）成正比。此外，通过取样比较电路中的取样电阻 R_1 、 R_2 ，对输出电压 V_O 取样，并使之与基准电压 V_{REF} 进行比较，若取样电压高于 V_{REF} ，则比较电路输出 $-V_F$ ，去控制占空比控制电路，使 $T_{ON}/T \downarrow$ ，从而使 $V_O \downarrow$ ；若取样电压低于 V_{REF} ，则输出 $+V_F$ ，使 $T_{ON}/T \uparrow$ ，从而使 $V_O \uparrow$ ，这样就可使开关电源的输出电压 V_O 稳定在一个恒定值上。

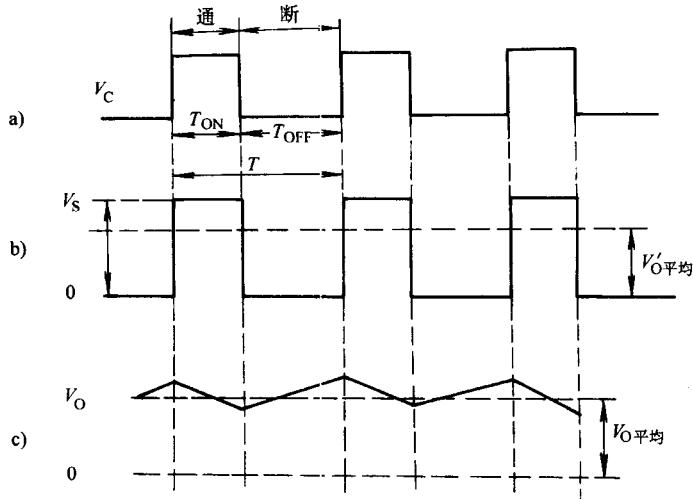


图 1-2 开关电源工作波形图
a) V_C 波形 b) V'_O 波形 c) V_O 波形

(二) 开关电源的优点

开关电源具有功耗小效率高、体积小重量轻、稳压范围宽、电路形式灵活等多方面的优点。

1. 功耗小、效率高、工作可靠稳定 在图1-1所示的开关电源电路中，电子开关在控制信号 V_C 的控制下，交替地工作在导通—截止和截止—导通的开关状态，转换速度很快，频率一般为 50kHz，甚至高达兆赫兹级。这使得开关器件的功耗很小，电源效率可大幅度提高，通常可达 80% 以上。

而功耗小使得电子设备内温升也低，周围元器件不会因长期工作在高温环境下而损坏，有利于提高整个电子设备的可靠性和稳定性。

2. 体积小、重量轻 开关电源由于没有采用笨重的工频变压器，加之开关器件的功耗大幅度降低后，又毋需加装散热片，此外，由于开关电源的滤波效率大为提高，使滤波电容的容量和体积大为减小，所有这些因素都使得开关电源的占地空间和重量都大幅度下降。

3. 稳压范围宽，适用范围广 开关电源的输出电压是由开关控制信号的占空比来调节的，输入信号电压的变化可通过调频或调宽进行补偿，因此，在工频电网电压变化较大时，它仍然能保证有较稳定的输出电压。一般情况下，当输入交流电压在 150~250V 范围内变化时，开关电源都能达到很好的稳压效果，输出电压变化在 2% 以内。而且在输入电压发生变化时，始终能保持稳压电路的高效率，因此，开关电源能适用与电网电压波动较大的地区。

4. 安全可靠 开关电源一般都设有自动保护电路,当稳压电路、高压电路、负载等出现故障甚至短路时,这些自动保护电路能自动切断电源,其保护功能灵敏、可靠。

5. 电路形式灵活多样、设计简便 开关电源的电路形式多种多样,这就为设计者根据应用需要和各款开关电源电路的特点,灵活选择。

(三) 开关电源的技术性能指标

电源电路的技术性能指标有两大类:特性指标和质量指标。

1. 特性指标 特性指标是规定一个电源电路的适用范围的指标。包括:

- (1) 输出电压 (V_O);
- (2) 输出电压(调节)范围 ($V_{OMAX} \sim V_{OMIN}$);
- (3) 输出电流 (I_O);
- (4) 最大输出电流 (I_{OMAX}) 等。

2. 质量指标 质量指标是反映一个电源电路的优劣的指标。包括:

(1) 输出电压调整率 (S_D) 输出电压调整率用于衡量电源在负载电流和环境温度不变时维持输出电压不变的能力。通常用单位输出电压变化量 ΔV_O 与输入电压变化量 ΔV_I 之比来表示。

(2) 稳压系数 (S) 稳压系数也是衡量电源维持输出电压不变的能力。用 $(\Delta V_O/V_O)$ 或 $(\Delta V_I/V_I)$ 表示。

(3) 输出电阻 (R_O)。

(4) 交流输出阻抗 (Z_O) 交流输出阻抗用于衡量电源在输入电压和环境温度不变时,带负载的能力。用 $\Delta V_O/\Delta I_L$ 表示。

(5) 纹波抑制比 (S_{rip}) 纹波抑制比用于衡量电源对输入电压中交流纹波电压分量的抑制能力。通常用叠加在未稳直流输入电压上的纹波电压在输出端被衰减的分贝 (dB) 数表示。

(6) 输出电压的时间漂移 输出电压的时间漂移又称长期稳定性,用于衡量电源输出电压随时间的变化。通常用在规定的环境温度范围内,在额定的输入直流电压和负载电流下,1000h 内输出电压的最大变化量表示。

(7) 输出电压的温度漂移 输出电压的温度漂移用于衡量电源输出电压随环境温度变化而变化的情况。通常用在电源的工作温度范围内,当输入直流电压和负载电流不变时,单位温度变化所引起的输出电压的相对变化量表示。

(8) 输出噪声电压 (V_N)。

(四) 开关电源技术发展简况

开关电源技术已有几十年的历史。早期产品的开关频率很低,成本昂贵,仅用于诸如卫星等尖端电子设备。20世纪60、70年代相继出现的晶闸管(可控硅)和其他分立元件制作而成的开关电源,均因效率低下、开关频率低、电路复杂、难于调试等因素而难以普及。70年代后期,随着集成电路设计与制造工艺水平的不断提高,各种质优价廉的开关电源专用集成电路相继出现,以及制造开关电源的新材料、新器件成为开关电源普及的主要动力。除了各种集成电路外,一些诸如MOS功率开关管(MOSFET)、肖特基二极管(SBD)、超快恢复二极管(SRD)、瞬态电压抑制管(TVS)、压敏电阻器(VSR)、熔断电阻器(FR)、自恢复熔丝(RF)、线性光耦合器、可调式精密并联稳压器(TL431)、电磁干扰滤波器(EMI

Filler)、高导磁率磁性材料、由非晶合金制成的磁珠、三重绝缘线、玻璃珠胶合剂等一系列新器件、新材料,正广泛应用于开关电源,从而使开关频率已从 20kHz 发展到数百千赫兹甚至数兆赫兹,使开关电源得以广泛应用。

在开关电源轻型化、小型化、高效化的发展历程中,集成电路技术起了决定性的作用。近 20 年来,集成开关电源是沿着如下两个方向不断发展的:一个方向是,对开关电源的核心单元——控制电路的集成;另一个方向是,对中、小功率开关电源实现单片集成化,单片开关电源实际上是一种 AC—DC 电源变换器。

沿着前一个方向,首先在 20 世纪 70 年代后期研制成功脉冲宽度调制 (PWM) 控制器集成电路,如美国摩托罗拉公司 (Motorola)、SG (Silicon General) 公司和尤里特鲁德 (Unitrode) 公司等相继推出一批 PWM 控制集成电路,典型产品如 MC3520、SG3524、UC3842 等。90 年代以来,又研制成功了开关频率高达 1MHz 的高速 PWM、脉冲频率调制 (PFM) 控制集成电路,典型产品如 UC1825、UC1564 等。

沿着后一方向,主要经历了两个阶段:第一阶段是,20 世纪 80 年代,SGS—汤姆森 (SGS-Thomson) 公司率先推出的 L4960 系列单片开关式稳压器,该公司于 90 年代又推出了 L4970 系列。这类单片稳压器的特点是将 PWM 控制、功率输出级、保护电路等集成到一块芯片中,使用时需要配工频变压器与电网隔离,适于制作 5.1~40V 低压连续可调式输出、400W 以下大中功率、1.5~10A 大电流、超过 90% 的高效率的开关电源。这类芯片本质上仍属于 DC—DC 变换器。第二阶段是,90 年代中后期由美国电源集成 (PI, Power Integration) 公司开发成功的三端隔离、PWM 型反激式单片开关电源,其第一代产品是 TOPSwitch 系列,第二代产品是 TOPSwitch-II 系列以及 90 年代后期该公司推出的高效率、小功率、低价格的四端单片开关电源 TinySwitch 系列,1999 年又推出 TNY256 系列。此后,摩托罗拉公司于 1999 年推出称为高压功率开关调节器的 MC33370 系列五端单片开关电源。2000 年 PI 公司又推出 TOPSwitch-FX 系列五端单片开关电源。这些单片开关电源充分展示出了单片开关电源的优势和广阔应用前景。

二、开关电源的若干技术问题

1. 开关电源电路的隔离技术 开关电源一般由两部分组成:一是功率主电路,二是控制电路。离线变换器功率主电路进线往往与市电网连接,电压高,但输出电路和控制电路多由低压电子元器件所组成。为了人身和低压电子元器件的安全,功率主电路与输出电路应该电气隔离,即两者不共地。图 1-3 是两个常见的电气隔离方案:一是,主要通过 T_1 、 T_2 两个变压器实现隔离 (见图 1-3a);另一是,主要用一个变压器 T_1 和光耦合器实现隔离 (见图 1-3b)。光耦合器由发光二极管和光敏晶体管组成,依靠光传输信号,因此是较好的隔离元件。光耦合器的发光二极管与输出整流滤波器有共地点 1;光耦合器的光敏晶体管、PWM 控制 IC、功率开关管和市电的整流滤波有共地点 2。但共地点 1 和 2 必须严格分开。

2. 开关电源电路的轻、薄、小型化技术 我们知道,缩小设备尺寸,就会因散热面积的减小而导致温度升高,因此要设法降低损耗,或减少工作电流和电压,以减小各个环节上的功率。

但是,电源电路为提供负载功率,不能减小电压和电流,为使电源轻、薄、小型化,首先就得设法降低电路内的损耗。虽说开关电源以半导体开关的通/断为基本原理,从理论上

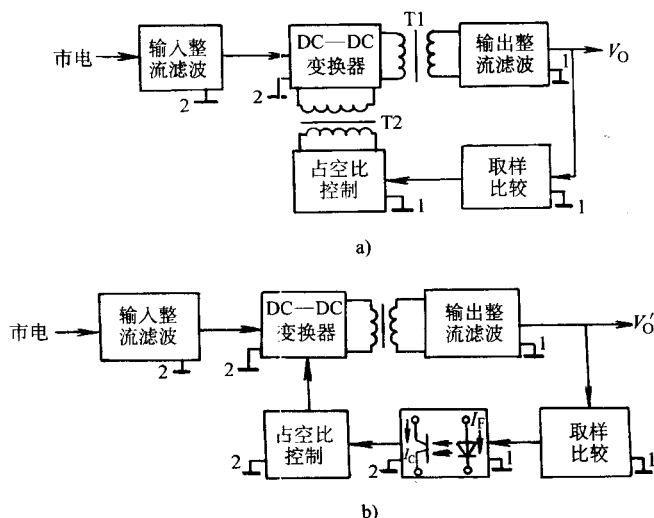


图 1-3 两种常见的电气隔离方案

a) 用变压器实现隔离的方案 b) 变压器与光耦合器结合实现隔离的方案

说是低损耗的。但是，半导体开关毕竟存在着开关损耗，而且这种损耗与开关频率成正比关系。

虽然开关电源里的变压器、电抗器等磁性元件和平滑波形的电容器等都可通过提高开关频率使其小型化，但这些元器件的损耗也会因此增大。元器件损耗增大会引起温度升高，为避免这种温升又必须增大尺寸，这又会导致可靠性下降。开关元器件中采用双极性晶体管制成的 100kHz、用 MOSFET 制成的 500kHz 电源，虽已实用化，但其频率有待于进一步提高。要提高开关频率，就要减少开关损耗，而要减少开关损耗，就需要有高速开关元器件。然而，开关速度提高后，会受电路中分布电感和电容或二极管中存储电荷的影响而产生浪涌或噪声。这样，不仅会影响供电电路，而且还会大大降低电源电路本身的可靠性。

其中，为防止随开关通/断所发生的电压浪涌，可采用 RC 或 LC 缓冲器，而对由二极管存储电荷所致的电流浪涌可采用非晶态等磁心制成的磁缓冲器。不过，对 1MHz 以上的高频，要采用谐振电路，以使开关上的电压或通过开关的电流呈正弦波，这样既可减少开关损耗，同时也可控制浪涌的发生。这种开关方式称为谐振式开关，采用这种方式不需大幅度提高开关速度就可在理论上把开关损耗降到零，而且噪声也小，已成为开关电源高频化的一种主要方式。

目前，开关电源的小型化主要通过高频化和高密度化来实现。在高频化技术解决了一系列附带问题的同时，也降低了变压器、滤波磁性元件及电容器等元件的尺寸；在提高开关电源的高效率方面，已通过对开关晶体管、二极管等主开关元器件和铁氧体磁心、电解电容器等元件特性的改善及电路的改进，降低了因高频化而增大的损耗。其次，通过混合集成电路等高密度安装技术减少了元器件数，并缩小了安装空间。

总之，开关电源的任何一项技术都是一种高技术，今后将通过表面安装技术 (SMT) 提高安装空间系数。同时，还将通过开发谐振变换器等技术减小噪声和降低开关损耗，以不断推出更小型、轻量和高效率的开关电源。

3. 开关电源电路的噪声及其控制技术 开关电源是一个很大的噪声源，开发开关电源

的目的旨在实现小型化，而越是小型化，就越要使开关频率高频化。目前通过对开关元器件的改进，使用的频率已高达兆赫兹数量级。过去只有开关脉冲的高次谐波对射频区有影响，而今一经这种高频化，其基波本身也构成了一种干扰源，发出一种更强的传导干扰波。此外，通过改进元器件达到高频化的同时，也会因辐射干扰波而导致一种超标准值的杂散信号。

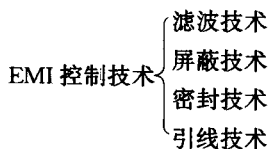
电源电路作为一种供电源，起着外部与设备的接口作用。因此，在受到外部噪声最强影响的同时，也是设备本身的噪声的最终出口。正因为如此，同设备内部的任何电路、器件相比，就要更关心电源的噪声问题。

电源噪声是一种电磁干扰 (EMI)，被干扰对象是无线电通信。为使无线电波不受 EMI 的影响，就要限定这种 EMI 的大小。一般来说除特殊情况外，都要采取法定措施加以限制。

EMI 一般有两种传播途径，要按各个途径进行评价及控制。一种是以波长长的频带向电源线传播，给发射区以干扰的途径，一般在 30MHz 以下。这种波长长的频率在附属于电子设备的电源线的长度范围内还不满 1 个波长，其辐射到空间的量也很小，由此可掌握发生于电源线上的电压，进而可充分评价干扰的大小，这种噪声叫做传导噪声。

当频率达到 30MHz 以上，波长也会随之变短。这时如果只对发生于电源线的噪声电压进行评价，就会与实际干扰不符。因此，采用了通过直接测定传播到空间的干扰波评价噪声大小的方法，该噪声叫做辐射噪声。测定辐射噪声的方法有上述按电场强度 [$\text{dB}/(\mu\text{V}/\text{m})$] 对传播到空间的干扰波进行直接测定的方法和测定泄漏到电源线上的功率 (dB/W) 的方法。像家用电子产品，如果其设备本身是小型的，可以只由电源线辐射的前提进行辐射噪声评价。这种方法叫做吸收钳位法。

开关电源 EMI 控制技术的基本方法如下：



其中主要是滤波技术，滤波器从简单的电阻到电感、电容和放电器等都有。近来，作为一种噪声抑制元件多采用一种应用非晶磁性矩形比的扼流圈。

在传导噪声和辐射噪声的两种传播途径中，应用电子元器件最多的是传导噪声控制。传导噪声的频率范围最宽，为 10kHz~30MHz，使用一个元件很难使这种频带衰减，尤其像开关电源，在其基波的高频化已达到成为额定对象的频带的今天，是不容易处理的。

噪声控制的根本问题是解决噪声源本身的问题，要在全力控制噪声的发生上想办法。采用屏蔽技术和滤波技术难以阻止已经发生的噪声。像开关电源，即使我们知道脉冲本身或上升部分发生的杂散现象是噪声源，但从电源效率的观点看要通过控制其上升时间降低噪声也未必是一种好办法，这也是 EMI 噪声控制问题上的一个难点。

同样的现象也存在于辐射噪声的控制上，时钟信号上升时间的杂散现象也会成为一个很大的噪声源。即使可通过控制上升时间来降低噪，但有时会导致传输信号质量下降以及在图像信号等方面发生影响图像质量等问题。总之，EMI 噪声控制工作要在各种制约条件下进行。

第二节 DC—DC 变换器的基本电路形式及特点

一 DC—DC 变换器的种类

表 1-1 所示是常见的 DC—DC 变换器。

表 1-1 常见的 DC—DC 变换器

分类方式	变换方式		开关管的数目	输入/输出隔离	控制方式	
DC—DC 变换器 类型	斩波 方式	降压型	单管式	非隔离	他激式（脉宽调制或 脉频调制）	
		升压型				
	升/降压型					
	回扫式	多管式	隔离			
	正向激励式					
	推挽式					
	半桥式					
	全桥式	单管式	自激式	(频率)		
RCC 式（振铃扼流变换式）						
洛埃耶式	多管式			(幅度)		
井森式						

二、DC—DC 变换器的基本电路形式

1. 降压型 降压型 DC—DC 变换器又称串联开关稳压电源、三端开关型降压稳压器或别克 (Buck) 变换器。

图 1-4a 是为降压型的电路结构, 图 1-4b 则是它的输入和输出波形。晶体管开关可以是双极型晶体管, 也可以是功率 MOSFET。MOSFET 开关较快而无存储时间, 故在较高工作频率下开关损耗较小; 另外所需要的开关驱动功率小, 降低了电路的复杂性。双极型晶体管, 导通时电阻较低, 故适合用在开关损耗并不显著的较低频率情况下。

该电路工作原理如下: 当 VT 导通时 (T_{ON}), L 将能量以磁场的形式储存起来, 随着电源电压 V_S , 对 L 的充电, L 电流对 C 充电, 并提供负载电流。VD 被反向偏置而截止。只有当 VT 导通时, 来自电源的电流才会流动。当 VT 截止时, L 中消失的磁场使其极性颠倒, VD 加上正向偏压。L 和 C 在 T_{OFF} 提供负载电流。由于储存在 L 中的 $-V_S$ 值必须等于释放出来的 $-V_S$ 值, 若不计 VD 和 VT 的压降, 则有 $V_O = V_S T_{ON}/T = V_S D$, 式中, $D = T_{ON}/T$ (其中 $T = T_{ON} + T_{OFF}$) 为导通占空比。因为不计损耗时功率守恒, 所以, 有 $I_O = I_I$ 平均 / D。根据上面两个关系式可知: 因为 $D \leq 1$, 所以 $V_O \leq V_S$, 因此这种串联式变换器只能降压。其主要缺点是, 输入电流是脉动的, 往往需要一个输入滤波器, 而且只能使电压下降。通常适用于大电流、中功率 (直到大约 800W) 的降压情况下。

2. 升压型 升压型 DC—DC 变换器又称并联开关稳压电源、三端开关型升压稳压器或布斯特 (Boost) 变换器。

图 1-5a 是升压型的电路结构, 图 1-5b 是其输入、输出的波形。升压型变换器可采用一

个NPN开关，而不需悬浮驱动电路，原因是，该开关将L直接接至输入电源，以供储存能量。

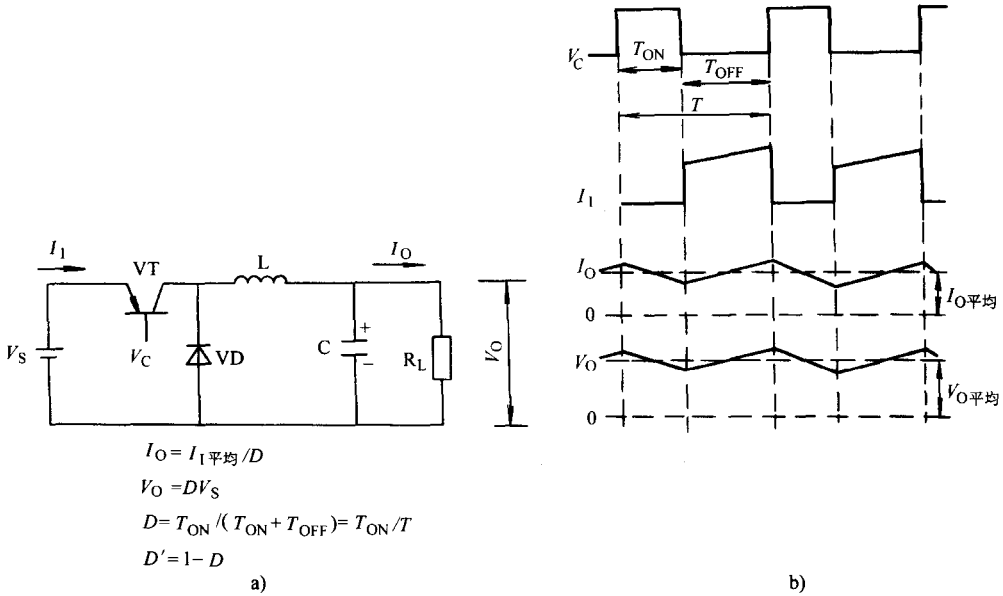


图 1-4 降压型 DC—DC 变换器

a) 典型结构 b) 工作波形

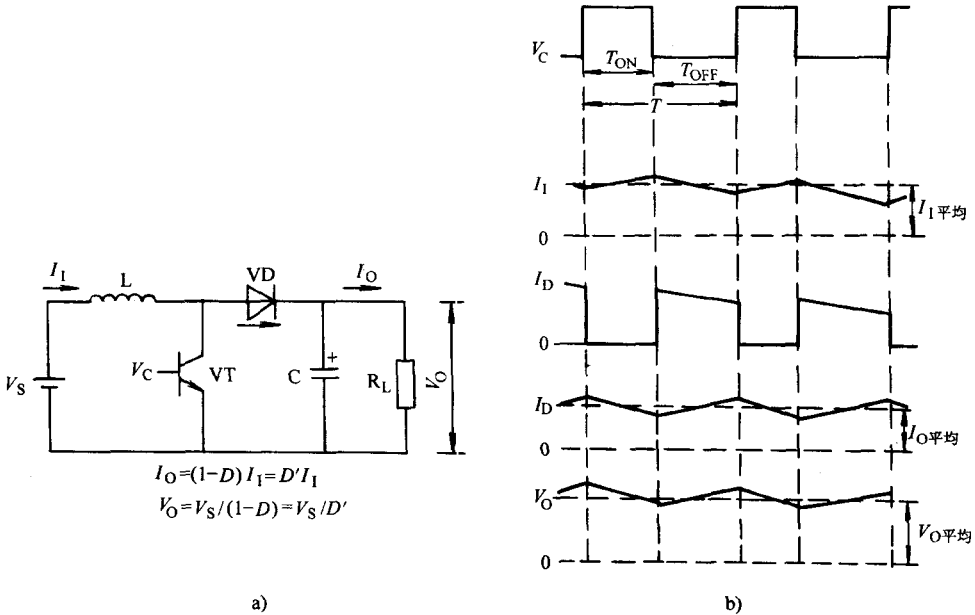


图 1-5 升压型 DC—DC 变换器

a) 典型结构 b) 工作波形

该电路的工作原理如下，当VT导通时（ T_{ON} ），能量储存在L中。由于VD截止，所以在 T_{ON} 期间负载的电压和电流由C供给。在 T_{OFF} 期间，VT截止，储存在L中的能量，通过正向偏置的VD传送到负载和C，L中的磁场消失，其电压的极性与 V_S 相同，且与 V_S

相串联，因而提供了一种升压作用。

如果忽略损耗和开关元器件上的电压降，则有 $V_O = V_S / (1 - D) = V_S / D'$ 和 $I_O = I_1 (1 - D) = I_1 D'$ 。可见， V_O 不可能增大到无穷大，这是因为，各种电阻性损耗元件将使输出电压以某个上升比（通常在 5~10 之间）达到一个极限值。升压型变换器由于输出纹波较大，一般用于功率较低（最高大约为 500W）、电流较小的情况下，由于输出电流以脉冲形式输送到 R_L 和 C 上，故会产生噪声问题，升压型变换器只能使电压升高。

3. 升/降压型 升/降压型 DC—DC 变换器又称极性反转型变换器，电压反相器或布斯特-别克 (Buck-Boost) 变换器。

图 1-6a 是其电路结构形式，图 1-6b 是其输入、输出波形。它可以用来升压或降压。若 $D > 0.5$ ，其功能为升压；若 $D < 0.5$ ，则为降压。

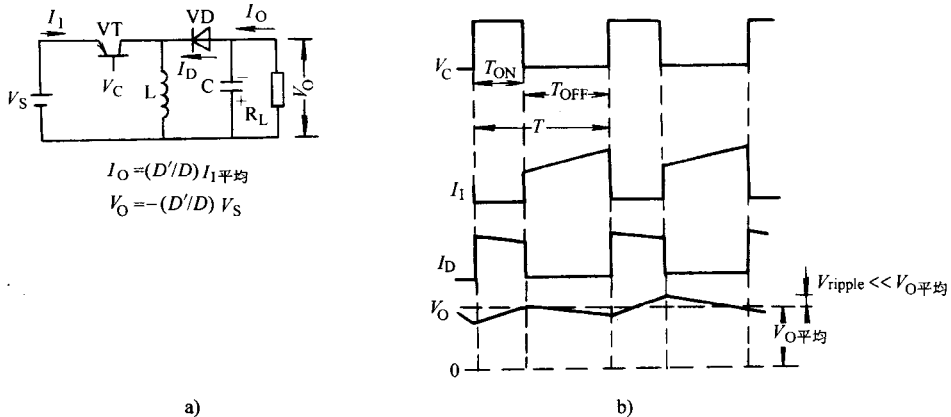


图 1-6 升-降压型

a) 典型结构 b) 工作波形

该电路的工作原理如下：当 VT 导通时 (T_{ON})，接在 V_S 两端的电感器储存能量，由于 VD 截止，所以负载电流由 C 供给。当 VT 截止时，储存在 L 中的能量经过 VD 输送到 C 和 R_L ，因为 L 上消失的磁场颠倒了电感器电压的极性。理想的输入和输出电压，以及电流的变化关系如图 1-6b 所示。

由于来自电压源 (V_S) 的电流及经过 VD 送到输出部分的电流都是脉动的，所以难于控制极性反转式中的传导电磁干扰 (EMI)，传导 EMI 包括各种开关瞬变，它们通过电源线进行传送，并干扰连接到同一电源电路的其他设备。

4. 库克型 库克 (Cuk) 型 DC—DC 变换器又称布斯特-别克串联变换器。

图 1-7a 是其电路结构形式，图 1-7b 是其输入输出波形。如图 1-7a 所示，输入和输出电路都包含 L，因而输入和输出电流都不是脉动的。这就极大地减小了传导 EMI 问题，从而可以使用较小的滤波元件。

该电路工作原理如下：在 VT 导通期间，由于 C_1 被充电，所以 VD 截止，如图 1-7a 所示。电感器 L_1 通过 VT 接收来自 VT 的能量；而 C_1 通过 L_2 、负载，并通过输出滤波电容 C_2 放电，所以这时 C_1 将能量转移给 L_2 ，当 VT 截止时， L_2 中消失的磁通使 L_2 的极性相反，并使 VD 导通。然后， L_2 将能量转送给 C_2 和 R_L ，在 VT 截止期间， C_1 通过 VD 向 $V_S + V_{L1}$ 放电，应当注意， C_1 是一个耦合电容，在能量转移过程中是很重要的。 L_1 在 T_{OFF} 期间

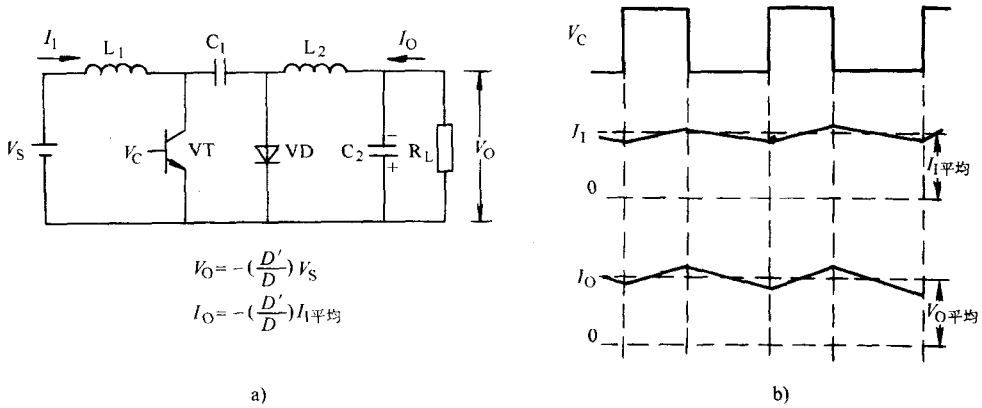


图 1-7 库克型 DC—DC 变换器

a) 典型结构 b) 工作波形

将能量转送给 C_1 ；在 T_{ON} 期间， C_1 将能转送给 L_2 ， C_2 和 R_L 。

库克型变换器的理想输入/输出关系与极性反转式相同： $V_O = - (D/D') V_S$ 和 $I_O = - (D'/D) I_1$ 。所以当 $D > 0.5$ 时，可以用作升压；而当 $D < 0.5$ 时，则可用作降压。

库克型变换器要比其他电路复杂，但纹波性能得到改善，所以在许多应用中虽然成本高一些也化得来。库克型变换器可用于高达千瓦级甚至更高的功率。

5. RCC 式 图 1-8a 是带扼流圈的激振 (RCC) 变换器的基本电路，图 1-8b 是其工作波形。

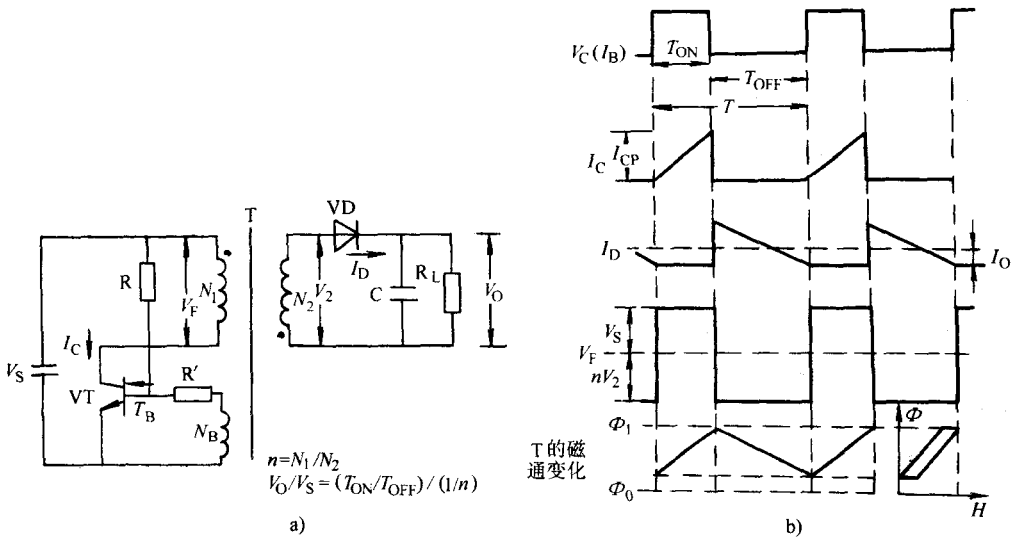


图 1-8 RCC 式 DC—DC 变换器

a) 典型结构 b) 工作波形

晶体管 VT 接通时，由变压器 T 的一次电感 L_{N1} 和输入电压决定的电流 $I_C = V_S T_{ON} / L_{N1}$ 。通过该电流储存的能量为 $W = V_S^2 T_{ON}^2 / 2L_{N1}$ 。

断开时，该能量 W 即作为 I_D 为通过二次绕组被供给负载。当 I_D 为零时，VT 会再次接通，就是说其基本原理是在极性反转式变换器的电感 L 处设置了具有 L_{N1} 的变压器 T。现

设一次和二次绕组圈数分别为 N_1 和 N_2 ，则有 $V_O/V_S = (I_C/I_D) (T_{ON}/T_{OFF}) = (N_2/N_1) (T_{ON}/T_{OFF})$ 。按周期 T (频率 $f=1/T$) 工作的变换器其输出 P_O 则为： $P_O = V_O I_O \approx V_S^2 T_{ON}^2 / 2LT$ 。VT 为 OFF 时， N_1 上的回扫电压 V_F 即为： $V_F = (N_1/N_2) V_2 \approx (N_1/N_2) V_O$ 。

该方式元器件少，是绝缘型变换器中最简单的一种，但同输出容量相比，其开关电流的峰值大，变压器的外加电压只是单向，因而利用率差，只限于 100W 以下的小容量输出。

该方式的控制特点是占空比与输入电压 V_S 成正比减小 (频率增大)，不受负载影响 (占空比不变，但频率与输出电流成正比下降)，而且容易进行大范围控制。

6. 回扫式 回扫式与 RCC 自激式原理不同，它采用他激式。图 1-9 是他激回扫式变换电路的典型结构和工作波形。从图中可见，轻负载时电流呈不连续状态，重负载时呈连续状态。

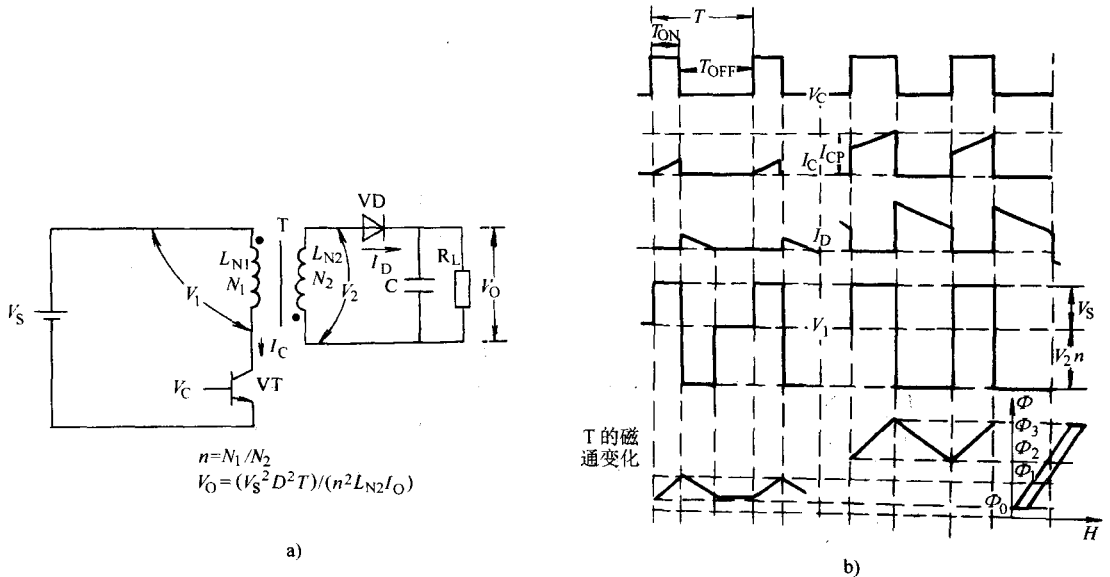


图 1-9 回扫式 DC—DC 变换器

a) 典型结构 b) 工作波形

不连续状态是一种变压器 T 的储能释放完的状态，连续状态则是一种在变压器储能没有完全释放时就接着进行供给的一种方式。其条件是当 $L_{N2} \geq V_O T_{OFF}^2 / 2I_O T$ 时，为不连续状态，输出电压 V_O 和主开关器件 VT 的峰值 (I_{CP}) 分别为： $V_O = (N_2/N_1) (T_{ON}/T_{OFF}) V_S$ 和 $I_{CP} = V_S T_{ON} / L_{N2}$ 。而连续状态的条件是 $L_{N2} < V_O T_{OFF}^2 / 2I_O T$ ，其中 V_O 和 I_{CP} 可分别用 $V_O = (N_2/N_1)^2 (V_S^2 T_{ON}^2 / 2L_{N2} I_O T)$ 和 $I_{CP} = (P_O / V_S) (2T / T_{ON})$ 两式表示。

连续状态下，主开关器件 VT 和变压器 T 的利用率都会提高，同 RCC 式一样，电流在一次绕组和二次绕组都会发生断续，且输出电容器的纹波电流大，实用输出范围可达数百瓦。由于连续型和不连续型的控制特点不同，所以设法使系统稳定就显得很重要。

7. 正向激励式 正向激励式变换器的电路比较简单，不仅是中容量输出，而且从小容