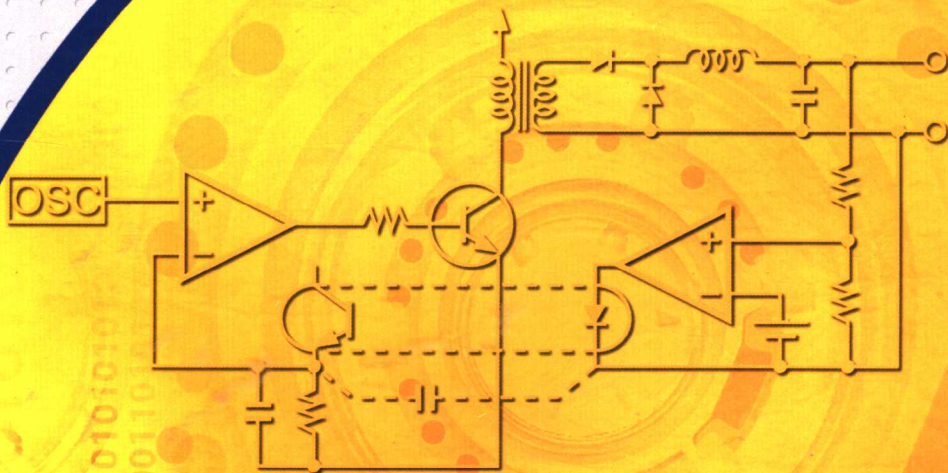


图解实用电子技术丛书

# 开关稳压电源的 设计与应用

开关稳压电源的基本原理与设计方法及应用

[日] 长谷川 彰 著  
何希才 译



科学出版社

www.sciencep.com

图解实用电子技术丛书

# 开关稳压电源的 设计与应用

开关稳压电源的基本原理与设计方法及应用

图例 01-10 空图

〔日〕长谷川 彰 著

何希才 译

ISBN 7-03-011962-2  
2002年10月第1版  
2002年10月第1次印刷  
北京人民邮电出版社

中国标准书号(GB 5646) 4309·63  
定价: 28.00元

责任编辑: 李淑华  
封面设计: 李士斌  
印刷: 北京人民邮电出版社  
<http://www.rtpbook.com.cn>

科学出版社  
www.sciencep.com  
邮编: 100071  
北京

## 科学出版社

北京

图字：01-2006-0588号

## 内 容 简 介

本书是“图解实用电子技术丛书”之一。本书分两部分对开关稳压电源进行介绍；第一部分主要介绍开关稳压电源的基本原理、电路构成及特征；第二部分从应用的角度对开关稳压电源进行了论述，具体内容包括：开关稳压电源的设计方法与应用实例、脉宽调制电路与保护电路、开关稳压电源效率的改善措施、谐振变换器以及仿真软件在开关电源中的应用。

本书最大的特点是简明易懂、实用性强，使读者能够较为轻松地学会并掌握开关稳压电源的设计方法。

本书可作为电子技术领域的工程技术人员的参考用书，也可供电子相关专业的大学生以及广大的电子爱好者参考阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

开关稳压电源的设计与应用/(日)长谷川彰著；何希才译. —北京：科学出版社，2006

(图解实用电子技术丛书)

ISBN 7-03-017496-8

I. 开… II. ①长…②何… III. ①开关稳压电源-设计 IV. TN86-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第069772号

责任编辑：赵方青 崔炳哲 / 责任制作：魏 谨

责任印制：刘士平 / 封面设计：李 力

北京东方科苑图文有限公司制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2006年8月第 一 版 开本：B5(720×1000)

2006年8月第一次印刷 印张：17

印数：1—4 000 字数：253 000

定 价：37.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换〈新欣〉)

# 前 言

---

本书初版的编写目的是使初学者能够轻松地掌握开关稳压电源的设计,但出乎作者意料的是初版一经出版就受到广泛读者的欢迎。与开关稳压电源有关的读者有这么多,令本人也感到吃惊。同时,作者也非常敬佩 CQ 出版株式会社明智的选题策划。

然而,这初版已出版了 6 年,其中一部分内容已经陈旧,有必要做些修改以适应现代需要。初版书出版后最重要的变化是,开关元件的 FET 技术迅速发展。初版书出版时,由于开关元件主要是双极型晶体管,大的半导体厂家也将其作为开关元件,投资资金制造双极型晶体管,其实这是判断上的失误。

作者对于 FET 应用,从结型功率 FET 的年代开始就积累了经验,在日本也最早积累了应用日立制功率 MOS FET 的经验,后来从事比成本重视性能的通信设备电源研发工作时,就开始致力于功率 FET 应用方面的实用化工作。出版本书初版是,将 FET 技术与利用非晶质磁芯的磁放大器的开关电源作为有力手段,在渡过 OEM 开关电源事业艰难期不久的事情了。

若开关元件使用 FET,则在双极型晶体管年代的复杂驱动电路也就变得很简单,而且驱动电路的功率也降低了。因此,驱动电路的辅助电源也可以简单化,现在的开关电源几乎都朝着这个方向发展。

最新开关稳压电源的集成控制器也变成用于驱动 FET,考虑使用这种控制器多的原因是容易得到辅助电源。另外,电流型集成控制器、谐振型专用集成控制器等也有出售,也推出了很多内置功率部分的混合式集成电路等。

另一个潮流的变化是谐振开关电源的登场。在本书的初版出版时,作为纯粹的谐振模式电源,在日本作为使用光缆的海底中继器的馈电电源,以 NTT 为中心,从 20 世纪 70 年代后期开始开发了大功率用谐振电源,这也是比较早期实用化的谐振电源,而美国等一部分厂家也使用了这种电源,但这部分内容在本书的初版中省略了。虽然遗留了几个问题,但近几年来随着高频化的推进这些

问题都解决了,高频化作为减少开关损耗的最可靠方法加快了开关电源应用的进展。

从元件方面看,内设损坏时间或带定时器的元件性能的改善,以及铝电解电容寿命的延长,还有有机高分子电容与固态铝质电容等的推出,使得电源的寿命与高频特性均得到了大幅度改善。

从设计方法看,当时主要是8位计算机,现在主要是32位计算机了,这种计算机完全能胜任电路仿真工作,设计与评价方法也从根本上进行了改变。例如,若使用SPICE的典型电路仿真软件,在电子技术工作者缺乏过渡过程理论等知识的情况下,技术人员也能像在示波器上观察波形一样对电路进行评价。所不同的是关于分析时间的问题,在开关电路的设计中也可能使用到这种分析时间。对于理论计算较难的整流电路那样非线性电路也能简单仿真。修订初版时,考虑到这种现状并做了修改。本书中数学式很多,电路仿真软件对其错误也进行了纠正。

修订时,对第1章和第2章的基础部分基本上没有修改。但考虑到企业等教学用书,减少了数学式等一些部分的推导过程,改为初学者容易理解的内容。在第3章的具体设计中,列表给出初版中省略的整流电路的正确设计方法。关于变压器与扼流圈的设计,表面看来没有太大的改变,但增添了新型磁芯对应的设计程序,以求使用方便。

第7章介绍谐振变换器,其说明的方式尽量便于读者理解。第8章是对PSPICE的介绍,这种软件被限定用于开关稳压电源的场合,对介绍书中难以理解、可能忽略的内容进行了特别的说明。在开关稳压电源的过渡过程的分析中讲解了一种方法,用这种方法可求出短时间内对负载的过渡过程响应的大概值。挑战难解的计算,这在不求出实用的稳定条件下也非常有效。

最后,对担任本书策划与编辑的CQ出版株式会社的渡边哲良科长深表谢意。另外,对本书编写所参考与引用资料的有关厂家和作者表示感谢。

# 科学出版社

## 科龙书友服务卡

亲爱的读者：

为了提高我们的图书质量以及选题策划水平，也使我们更好地为您服务，请您填写以下信息。我们会根据您的需要，定期地给您提供科龙图书目录。

姓名：\_\_\_\_\_ 电话：\_\_\_\_\_ 传真：\_\_\_\_\_

电子信箱：\_\_\_\_\_

工作单位：\_\_\_\_\_ 邮编：\_\_\_\_\_

地址：\_\_\_\_\_

教育程度：初中(中职) 高中(高职) 本科 硕士 博士

职业：技术人员 科研人员 教师 学生

曾购买科龙图书书名(条码上方有标注“东方科龙”)：

\_\_\_\_\_ ISBN 7-03-\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ ISBN 7-03-\_\_\_\_\_

对本书评价：\_\_\_\_\_

期望和要求：\_\_\_\_\_

所从事专业领域：\_\_\_\_\_

非常感谢您购买科龙图书，若您发现书中有误，请您填写以下勘误表，以便再版时及时更正，进一步提高本书的质量。

勘误表

页码	行数	错误	修改

备注：我公司承诺对于读者所填的信息给予保密，只用于我公司的图书质量改进和新书信息快递工作。已经购买我公司图书并回执本“科龙书友服务卡”的读者，我们将建立服务档案，并给予直接从我公司邮购图书 95 折免邮费的优惠。

回执地址：北京市朝阳区华严北里 11 号楼 3 层

科学出版社东方科龙图文有限公司电工电子编辑部(收)

邮编：100029



# 目 录

---

<b>第 1 章 开关稳压电源的基本原理</b>	<b>1</b>
1.1 特 征	1
1.2 稳定度	4
1.3 反电动势	6
1.4 电容 $C$ 的充放电电流与电感 $L$ 的充放电电压	8
1.5 无变压器的最简单开关稳压电源	11
1.5.1 降压型开关稳压电源	11
1.5.2 升压型开关稳压电源	13
1.5.3 极性反转型开关稳压电源	16
1.6 正激式电路与回扫式电路	18
1.7 输入电压与输出功率决定的电路方式	20
1.7.1 输入电压低的场合	20
1.7.2 输入电压高的场合	20
1.7.3 小功率的场合	22
<b>第 2 章 开关稳压电源的电路构成及特征</b>	<b>23</b>
2.1 电路构成的特征	23
2.2 自激式直流-直流变换器的优、缺点	24
2.3 R. C. C 变换器	25
2.4 R. C. C 电路输出电压的控制方式	28
2.5 利用变压器饱和的直流-直流变换器	32
2.6 利用磁放大器的直流-直流变换器	36
2.7 利用磁放大器的稳定化电路及其特征	39
2.8 他激式开关稳压电源及其特征	49
<b>第 3 章 开关稳压电源的设计方法</b>	<b>53</b>
3.1 高频整流电路	53
3.2 整流电路电压的最低值	63

3.3	平滑电路中电容量的求法	65
	【专栏】 开关稳压电源的寿命由电解电容器决定	67
3.4	输入滤波电容的实用设计方法	75
3.5	高频变压器的最佳设计	78
3.6	变压器设计实例	87
3.6.1	设计实例1(正向激励电路)	94
3.6.2	设计实例2(桥式电路)	97
3.7	带磁芯电感的最佳设计方法	99
3.8	扼流圈的设计实例	107
	【专栏】 用户得不到好处的高频化是没有意义的	115
<b>第4章</b>	<b>脉宽调制电路与保护电路</b>	<b>117</b>
4.1	脉宽调制电路与集成控制器	117
4.2	控制用辅助电源与启动电路	128
4.3	过电流与过电压保护电路	132
4.4	最新集成控制器的发展趋势与关键问题	138
<b>第5章</b>	<b>开关稳压电源应用实例</b>	<b>147</b>
5.1	三个有源元器件构成带磁放大器的直流-直流 变换器	147
5.2	使用电流控制型磁放大器的三路输出电源	150
5.3	半桥脉宽调制的开关电源	153
	【专栏】 仅由电平不能判断开关电源的纹波与 噪声是否良好	159
	【专栏】 电源瞬断时冲击电流防止电路完全 不动作	160
5.4	多路输出电源实例	161
<b>第6章</b>	<b>开关稳压电源效率的改善措施</b>	<b>167</b>
6.1	电源效率的概念	167
6.2	效率提高的关键	169
	【专栏】 仅由输出电流与效率不能计算出开关 电源的输入电流	173
	【专栏】 正态噪声与共模噪声的不同点	174
6.3	开关晶体管驱动方法对效率的改善	176



---

6.4	吸收电路的改进对效率的改善 .....	181
6.5	由集电极电压与电流波形判断逆变器的 工作情况 .....	183
6.6	开关元件使用功率 FET 注意的问题 .....	185
<b>第 7 章</b>	<b>谐振变换器 .....</b>	<b>195</b>
7.1	谐振变换器的特征 .....	195
7.2	无变压器的电压与电流谐振变换器 .....	196
7.3	带变压器的桥式谐振变换器 .....	200
7.4	利用变压器漏感的电流谐振变换器 .....	202
7.5	增设谐振电感的正向激励电流谐振变换器 .....	204
7.6	谐振电源的控制电路 .....	205
<b>第 8 章</b>	<b>仿真软件 PSPICE 在开关电源中的应用 ...</b>	<b>207</b>
8.1	计算机的电路仿真 .....	207
8.2	PSPICE 使用时的准备工作 .....	209
8.3	开关电源中使用的元件与电路方式及关键点 ...	214
8.4	CIR 文卷编制的关键点 .....	222
8.5	开关稳压电源中使用 PSPICE 时的注意 事项与关键点 .....	227
8.6	PSPICE 在开关电源中的应用实例 .....	235
<b>【专栏】</b>	<b>参考图的说明 .....</b>	<b>250</b>
<b>附 录</b>	<b>.....</b>	<b>252</b>
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>259</b>

# 第 1 章

# 开关稳压电源的基本原理

## 1.1 特 征

开关稳压电源与线性稳压电源相比,其优点是小型轻量、效率高。开关稳压电源的这种优点适应电子设备的轻、薄、短、小与节能等的要求,其应用范围迅速扩大。

表 1.1 示出了开关稳压电源与线性稳压电源性能的比较。开关稳压电源的优点不仅是小型轻量,而且容易对应较宽的输入电

表 1.1 开关稳压电源与线性稳压电源性能的比较

项 目	线性稳压电源	开关稳压电源
功率	低(30%~60%)	高(70%~85%)
尺寸	大型(变压器和散热器的空间)	小型(为线性稳压电源的 1/4~1/10)
质量	重(变压器和散热器的质量)	轻(为线性稳压电源的 1/4~1/10)
电路	简单(变压、整流与稳压电路)	复杂(整流、开关脉冲调制、变压和整流电路)
稳定度	高(0.001%~0.1%)	一般(0.1%~3%)
纹波(p.p 值)	小(0.1~10mV)	大(10~200mV)
过渡过程响应速度	快(50 $\mu$ s~1ms)	一般(500 $\mu$ s~10ms)
对应的输入电压	输入电压范围宽时效率低 直流输入电压不能调节	输入电压范围宽也能与直流输入电压相对应,100V/200V 可共用
成本 <sup>1)</sup>	低	一般(性能/价格比在迅速降低)
可靠性	元器件少,可靠性高,温升较低	温升较低,有可能与线性稳压电源一样
不需要的辐射	无	有(可以用滤波与屏蔽方式防止辐射)
用途	高精度电源,高速可编程电源,10W 以下电源,实验用可调电源	机内所用电源,直流输入设备的电源,要求小型高效率的电源
安装难易程度	由于变压器较重,不能实装在印制电路板上	由于采用小型轻量的元器件,几百瓦以下的电源可以实装在印制电路板上

1)每瓦的成本随功率与电路数量不同大幅度地改变。

注:( )内的数字为一般的情况,但例外也很多。

压范围,通过改变变压器的抽头与电路元器件常数来设计的开关稳压电源,也可以在输入电压不同的国家中使用。

另外,电信机房中很多通信设备的电源经常采用直流电源,移动或可搬运型设备的电源采用干电池与蓄电池等直流电源,对于这些电源中的直流-直流(DC-DC)变换器,开关稳压电源是其不可缺少的部分。

开关稳压电源的缺点是开关晶体管、整流二极管、变压器与扼流圈等产生噪声,这些噪声影响了其他电子设备的正常工作。然而,通过电路方式的改进、滤波与屏蔽措施的采用,开关稳压电源的这种缺点有可能被克服。

理论上,开关稳压电源的稳定性有可能与线性稳压电源相同,但纹波与噪声影响了开关稳压电源的稳定性,为了提高其稳定性,有必要采取措施消除这些影响。然而,对于一般的使用方法其稳定性不会有问题。

开关稳压电源的元器件较多,因此,可靠性也比线性稳压电源低。然而,对于通常设计的开关稳压电源,电解电容器的寿命极大地影响了它的可靠性,温度越高,电解电容器的寿命越短。因此,对于同样尺寸的开关稳压电源,效率高的开关稳压电源其温升较低,可以提高可靠性。但由于开关稳压电源的元器件更小而使其过于小型化,为了平衡内部损耗其温升会较高,有可能制作一个可靠性低的开关稳压电源,因此,要注意这一点。尤其是最近,不仅是开关元器件等性能得到改善,而且开关频率也在高频化,这样,较容易实现开关稳压电源的小型化。然而,降低损耗比小型化的困难要多,因此,在进行最佳散热设计的同时,选择在高温下可靠性也不会降低的元器件非常重要。

开关稳压电源的固定元器件中寿命非常短的电解电容器,最近其寿命也有所延长;由于高频化的原因,滤波电容器的容量也有可能减小,于是可以选用叠层陶瓷电容器。这样,有可能制作出不用电解电容器的高可靠性的开关稳压电源。另外,对于交流输入的开关稳压电源,因电压与容量关系,难以除掉电解电容器的输入滤波部分,通过采用以全波整流的脉动电流工作的升压型开关稳压电源,可以除掉电解电容器的同时,还可以改善输入功率因数。

线性稳压电源有串联与并联方式,但多数采用串联方式,因此,本书所介绍的线性稳压电源指的是串联线性稳压电源。图 1.1 示出了串联线性稳压电源与开关稳压电源的原理图。图 1.1

(a)是串联线性稳压电源的原理图,由于串联晶体管( $T_r$ )将无用功率以热量的形式散发掉,因此,效率低,还需要较大的散热器,而且产生的损耗还随输入电压与输出电压值的不同发生较大变化。另外还需要接入如图 1.1 所示的工频变压器,这样,就提高电源的质量并增大了其尺寸,同时,也降低了电源的效率。

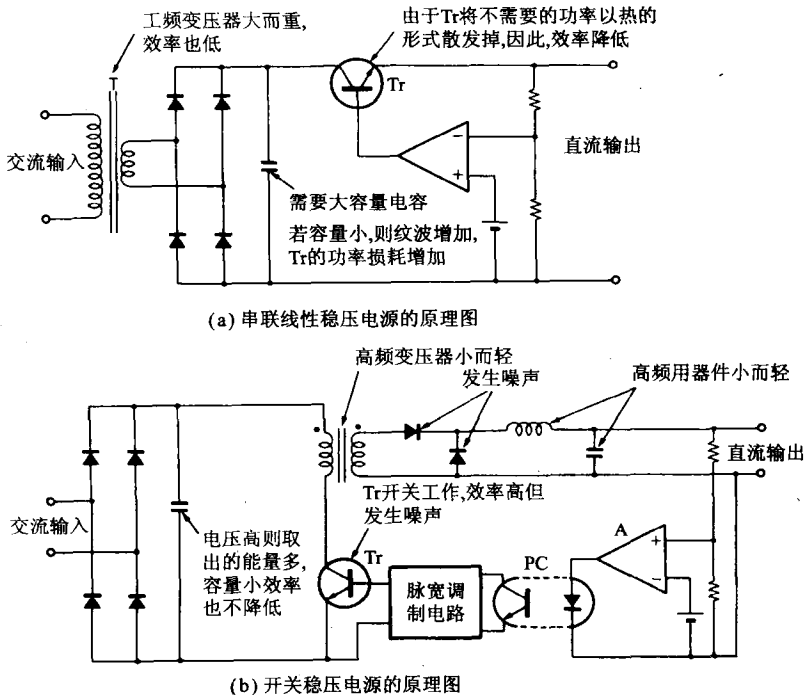


图 1.1 串联线性稳压电源与开关稳压电源的原理图

图 1.1(b)是开关稳压电源的原理图,开关晶体管( $T_r$ )为开关工作方式。因此,功率损耗小;变压器也采用高频变压器,可实现小型化;同时绕组匝数也可大幅度地减少,相应降低了铜损,这样,可以设计出制作损耗较低的稳压电源。另外,开关稳压电源是通过开关元件的通-断比来控制输出电压,因此,损耗受输入、输出电压的影响较小,且电源的效率也不会降低。

在图 1.1(b)所示的开关稳压电源的典型构成中,电路中开关晶体管  $T_r$  由脉宽调制电路的电压进行驱动,将直流电压变为交流脉冲电压加到高频变压器上。该脉冲电压经变压器变压,再经过二次电路的整流器与平滑电路变换为直流电压,作为开关稳压电源的输出电压。这时,平滑电路将变压器正向期间时的二次电压

平均化,通过这种作用得到输出电压,该电压与1个周期内电压积分的平均值成比例,因此,可以得到与脉冲宽度成比例的输出电压。

反馈放大器A将输出电压与基准电压进行比较,其输出加到光耦合器中的光电二极管上。反馈放大器A的输出通过光耦合器(PC)的隔离被脉宽调制电路所接收,输出电压高时,脉宽调制电路的脉宽变窄;反之,脉宽变宽。这样,由被控制的脉宽驱动开关晶体管(Tr),再将与该脉宽成比例的脉冲加到高频变压器上,控制输出电压使其保持稳定。

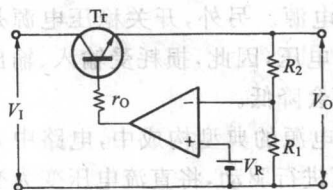
## 1.2 稳定度

开关稳压电源的稳定度比线性稳压电源低,对于输入电压的变化,线性稳压电源的输出电压几乎不变,而开关稳压电源输出电压的变化比线性稳压电源大 $10^3$ 倍左右。

图1.2是线性稳压电源稳定度的说明,电路中不接入反馈放大器时,输入电压变化 $\Delta V_I$ 与输出电压变化 $\Delta V_O$ 之比约为 $h_{rb}$ 倍(这里, $h_{rb}$ 为共基电路方式的输入反馈系数,为 $10^{-3}$ 以下)。因此,若接入反馈放大器进行负反馈,则这种变化变为 $1/(1+A)$ ,这里,A为反馈放大器的电压放大倍数,其中包含电阻 $R_1$ 和 $R_2$ 分压器引起的衰减。因此,输出电压与输入电压变化之比为输入变化率,即

$$\frac{\Delta V_O}{V_I} \approx \frac{h_{rb}}{1+A} \quad (1.1)$$

式中,若 $h_{rb}$ 为 $10^{-3}$ ,A为 $10^3$ ,根据式(1.1)得到 $\Delta V_O/\Delta V_I$ 为 $10^{-6}$ ,即可得到输入电压变化10V,输出电压只变化 $10\mu\text{V}$ 的高稳定度稳压电源。



输入电压变化率  $\frac{\Delta V_O}{\Delta V_I} \approx \frac{h_{rb}}{1+A}$

输出电阻  $R_O \approx \frac{h_{ie} + r_O}{(1+h_{rb})(1+A)}$

式中,A为放大器的电压放大倍数,包括电压、检测器的分压比引起的衰减

图1.2 线性稳压电源稳定度的说明

若晶体管(Tr)共射电路方式的输入电阻为  $h_{ie}$ , 电流放大系数为  $h_{fe}$ , 反馈放大器的输出电阻为  $r_o$ , 则稳压电源的输出电阻  $R_o$  为:

$$R_o \approx \frac{h_{ie} + r_o}{(1 + h_{fe})(1 + A)} \quad (1.2)$$

若  $h_{ie} = 100\Omega$ ,  $r_o = 100\Omega$ ,  $h_{fe} = 200$ ,  $A = 1000$ , 则  $R_o = 1\text{m}\Omega$ 。

图 1.3 是开关稳压电源稳定度的说明。在电路中, 当输入电压与输出电压相同时, 若忽略反馈放大器的作用, 则输入变化原样呈现在输出中。输出电阻等于扼流圈  $L$  的直流电阻  $r_L$  与整流器等效直流电阻  $r_D$  之和。因此, 由于反馈放大器的作用, 则有

$$\frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} \approx \frac{1}{1 + A} \quad (1.3)$$

$$R_o \approx \frac{r_D + r_L}{1 + A} \quad (1.4)$$

式中,  $A$  为放大器的增益, 包含分压器  $R_1$  和  $R_2$  引起的衰减。若  $A$  为 1000, 则  $\Delta V_o / \Delta V_i \approx 10^{-3}$ 。这就意味着, 输入变化 10V 时输出变化 10mV。该变化值比线性电源大  $10^3$  倍。对于线性稳压电源, 串联晶体管不仅有反馈放大器的作用, 还可以将输入变化改善  $h_{fe}$  倍 ( $10^{-3}$  以下), 再由于反馈放大器使电压稳定的作用, 因此, 可容易得到高稳定度的稳压电源。

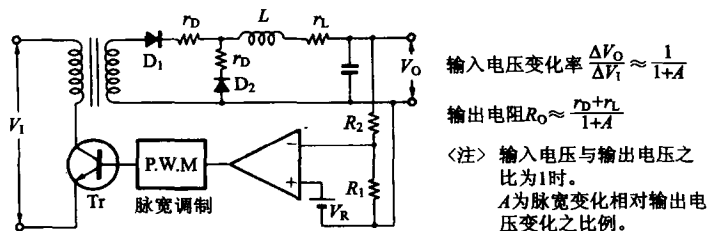


图 1.3 开关稳压电源稳定度的说明

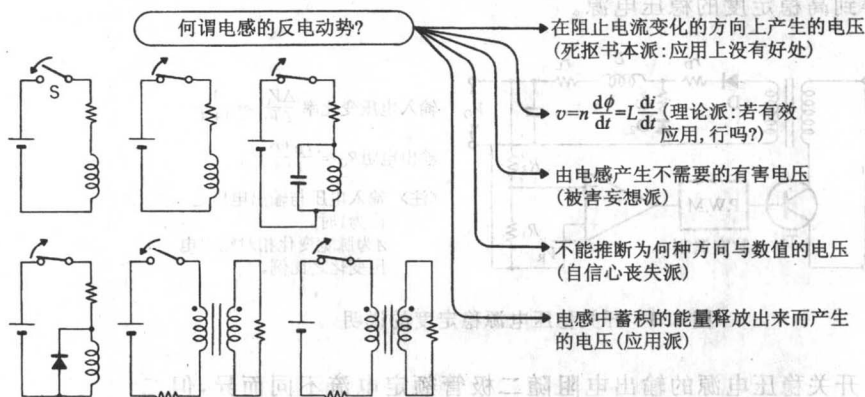
开关稳压电源的输出电阻随二极管额定电流不同而异, 但二极管的等效串联电阻  $r_D$  为几十毫欧, 扼流圈的串联电阻  $r_L$  有可能为相同值。若  $r_D = 20\text{m}\Omega$ ,  $r_L = 30\text{m}\Omega$ ,  $A = 1000$ , 则输出电阻  $R_o = 50\mu\Omega$ , 对于同等的反馈放大器的增益其输出电阻也比线性稳压电源低。

另外, 若将开关稳压电源与线性稳压电源的过渡过程响应进行比较, 线性稳压电源的过渡过程响应几乎由晶体管  $h_{fe}$  的频率特性决定, 实用上此值可以忽略。然而, 开关稳压电源的输入过渡过

程的变化不衰减,而以原来的比例出现在输出中。为了要降低这种变化,反馈放大器的增益与频率特性的受到很大影响,这种变化的时间一般为几毫秒数量级。在提高开关频率的同时,改进反馈放大器的频率特性,这个问题也有可能得到解决。对于负载变化的过渡过程响应,线性稳压电源由反馈放大器的频率特性与输出电容容量及特性决定,而开关稳压电源主要由输出 LC 滤波器的特性决定,因此,提高开关频率,降低输出滤波器中  $L$  与  $C$  乘积的方法有可能改善其过渡过程响应特性。

### 1.3 反电动势

说明电感作用的术语有——反电动势。“所谓反电动势就是阻止电感中电流发生变化而感应的电压。”若在学生时代除了电压与功率同在的情况下,这种认识概念是正确的。然而,反电动势作为说明电感作用的术语是不确切的。电子技术工作者一般对电容理解较深,但对变压器与电感的理解较少,不经考虑发表见解的人多是这种情况。若将电流换成电压,则对电容考虑的方法有可能与电感完全相同(图 1.4)。



用反电动势能求出上述电路上的电压与电流吗?

图 1.4 反电动势的说明

说明电感的作用时,考虑以下原则非常方便。

- (1) 电感中蓄积的能量为  $LI^2/2$ 。
- (2) 由于电感中蓄积的能量不能瞬时变化,因此,瞬时切断自

耦电感中的电流  $i$ , 其电流方向不能瞬时改变。

(3) 对于有 2 次回路的电感, 若切断 1 次回路中的电流时, 对于同等安匝数, 2 次回路中电流产生的磁场保持同等。

(4) 若电感两端电压为  $V$ , 则电感  $L$  中电流的变化率为  $V/L$  (图 1.5)。

理解了上述原则, 即使不使用反电动势的术语, 也能充分理解电感的性质。关键是, 电感中的能量是以磁通的形式蓄积的, 这种磁通量与方向不能瞬时改变。因此, 为了维持电感中的磁通, 安匝数与方向也同样不能瞬时改变。按照这种原则, 就能如图 1.5(c) 所示那样, 正确判断 2 次绕组中电流的方向与大小。

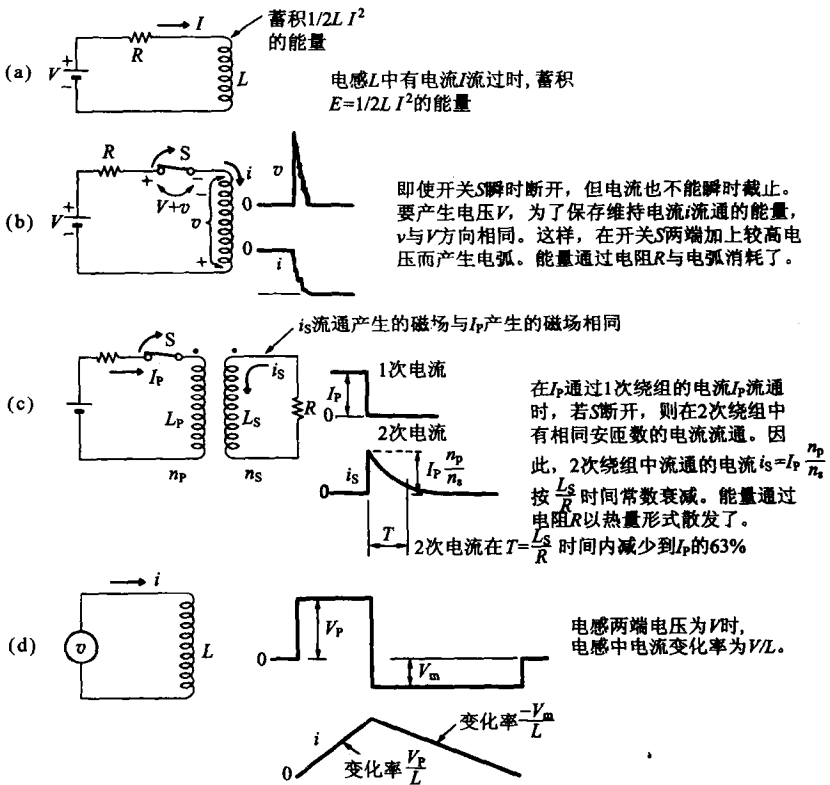


图 1.5 电感的性质

反电动势是电压理解电感时所使用的术语, 然而, 若电容以电压方式蓄积能量, 这就相当于电感以电流方式蓄积能量。因此, 对电感使用反电动势的术语, 若采用同等表现形式, 对电容就使用反



电流的术语。对于电容的放电电流称为反电流,这种说法不太自然,然而,若认为这种说法难以理解,则认识电感产生的电动势称为反电动势的说法不确切也是可以理解的。

## 1.4 电容 $C$ 的充放电电流与电感 $L$ 的充放电电压

对电容进行充电时,它以电压的形式蓄积能量,若将被充电的电容从电路中卸下来,测量其两端电压,则很容易感觉到短路瞬间产生的火花与声响。然而,对于电感来说,电感中有电流流通时,它以电流的形式蓄积能量,若将电感从电路中卸下来,能量瞬间以电弧等形式消耗了,不像电容那样,简单地感觉到电感中蓄积的能量。

由于以上原因,电子技术工作者不能实际感觉到电感中蓄积的能量,其结果是对电感的性质理解不深,产生很多的误解。为了进一步理解开关稳压电源,不要忘记考虑电感中蓄积的能量。因此,若像电容中有充放电电流那样,考虑电感中也有充放电电压,则就能容易理解电感的工作原理。

如图 1.6(a)所示,若电容中电流为  $i$ ,电容两端电压为  $v$ ,时间为  $t$ ,则有

$$v = \int \frac{i}{C} dt \quad (1.5)$$

若式(1.5)中电流  $i$  为恒流源  $I$ ,则有

$$v = \frac{I}{C} t \quad (1.6)$$

由此可知,电容两端电压  $v$  与电流和时间成比例,其波形如图 1.6(a)所示。

若在电感两端加上电压  $v$ ,则电流  $i$  为:

$$i = \int \frac{v}{L} dt \quad (1.7)$$

若电压  $v$  为恒压源  $V$ ,由于  $V$  为常数,则有

$$i = \frac{V}{L} t \quad (1.8)$$

由此可知,电感中电流  $i$  与电压和时间成比例,其波形如图 1.6(b)所示。

这里,电感和电容的内阻为零,可忽略不计。对于内阻  $R$  不能忽略的电容或电感,若电流增加,则电阻  $R$  引起的电压降也增加,