

集成直流稳压器译文集

4

上海无线电七厂

集成直流稳压器译文集

(内部资料)

上海无线电七厂

1976

出版说明

本译文集收入近年来发表在日本期刊上的九篇资料，主要介绍集成直流稳压器的设计、制造与应用，可供从事这方面工作的工人和科技人员参考。

本译文集的选题、编辑、译校工作是在我厂三车间和有关部门的干部、工人和技术人员以及有关单位的支持下进行的。参加翻译的有我厂黄长国和内蒙古大学侯伯元、金国骅。厦门大学杨锦赐和我厂陈汝琛、杜金泉担任校对。译校过程中还得到京字116部队郑筑鸣、上海科技大学赵冷之等的帮助，我厂杨润生、孙环球等阅读了部分译文。付印前大部分译文经过复校，参加者有郁黎萍等。本译文集付印时得到佛山半导体器件厂的协助。

本资料付印仓卒，错误不妥之处请读者批评指正。

集成直流稳压器译文集

(内部资料)

上海无线电七厂编辑出版

1976年10月第一版1976年10月第一次印刷

印数 1~5000

毛 主 席 语 录

自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业，干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

目 录

直流稳压器.....	(1)
集成稳压器的设计原理.....	(59)
直流稳压器的小型化与集成化.....	(80)
产研电气公司的集成稳压器.....	(86)
日本电气公司的集成稳压器.....	(98)
SGS—ATES公司的集成稳压器.....	(113)
仙童公司的集成稳压器.....	(122)
莫托罗拉公司的集成稳压器.....	(128)
直流稳压电源的保护对策.....	(136)

直 流 稳 压 器

一、直 流 稳 压 器

1 直流稳压器是什么

通常在家庭、工厂、学校和商店里，一般使用的市电电源有单相100伏（50赫或60赫）和三相200伏两种。而且，在使用这种市电电源时，应该考虑到由于地区的不同，电源电压可能有 $\pm 5 \sim 15\%$ 左右的变动。

可是，电视机、收音机、立体声装置、录音机和各种测试仪器、各种通讯设备等内部所使用的电子元件和电子组件，若直接使用市电电源就不能工作，而一般都使用5伏、12伏、15伏、24伏、48伏和160伏等的直流电源。

各种电子设备，是由多种类型的电子元件组成的，设计规定各自在一定的额定电压下工作。为了使各种功能部件工作稳定而且可靠性高，需要在稳定的直流电压下工作。因此，需要把市电降压或升压的变压器、把交流变为直流的整流电路和能获得稳定电压的功能电路。一般把整流电路的非稳定输出电压变为稳定的电压的功能电路，称作直流稳压器。电源装置的电路图如图1所示。

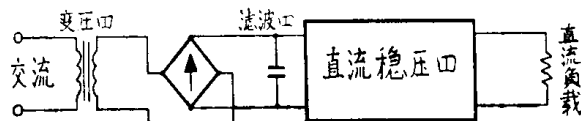


图1 电源装置电路图

这种直流稳压器需要满足下列条件：

- （1）必须能消除由于市电电源的变动而引起的非稳定电源电压变动；
- （2）因为直流稳压器的负载，即流过功能电路的电流时时刻刻在变动，因此，需要跟着负载的变动而自动调整；
- （3）为了使功能电路能稳定地工作，必须抑制交流部分的变动。因此，需要能够抑制输出纹波电压和噪声电压；
- （4）输出电压必须不随温度变化；
- （5）电源安装时，可能引起负载短路，或由于负载端的异常状态所发生的半短路状态，因此，对于这样的异常状态，负载电路和稳压电源都需要保护电路。

2 直流稳压器的工作原理

一般的直流稳压器的基本电路组成如图2所示，自非稳压电源通过调整电路接于负载。当由于输入电压变动或负载变动等而引起输出电压变动时，就由取样电路将其变动部分采出并与内部的基准电压相比较，其误差信号由放大器放大，控制调整电路去调节变动部分。因此，这种直流稳压器是由反馈回路来控制的。若设直流稳压器的输出电压为 E_o 、输入电压为 E_{in} 、负载电流为 I_o 、环境温度为 T ，则输出电压的变化量 dE_o 为：

$$dE_O = \left(\frac{\partial E_O}{\partial E_{IN}} \right) dE_{IN} + \left(\frac{\partial E_O}{\partial I_O} \right) dI_O + \frac{\partial E_O}{\partial T} dT \quad \dots\dots\dots (1)$$

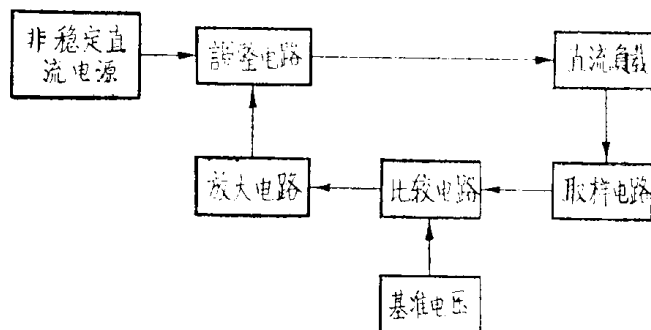


图2 直流稳压器的基本电路组成

若设自放大器的输入到输出的电压增益为A、输出阻抗为 R_O 、输出电压的温度系数为B, 则(1)式可化为:

$$\Delta E_O = A \cdot \Delta E_{IN} - R_O \cdot \Delta I_O + B \cdot \Delta T \quad \dots\dots\dots (2)$$

因此, 若希望输出电压变化小, A、 R_O 和B的所有系数必须设计得最小。直流稳压器的等效电路如图3所示。

若设加于直流稳压器的非稳定电源的纹波电压为 ΔE_{IN} 、输出纹波电压为 ΔE_O 、基准电压 V_{ref} 不变, 则按图3可得:

$$\Delta E_O = \Delta E_{IN} + G \cdot \beta \Delta E_O$$

式中: G为放大器的增益, β 为反馈系数。

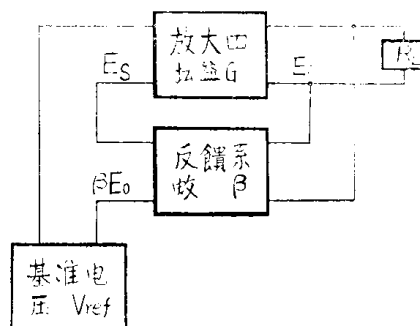


图3 直流稳压器的等效电路

因此 $A = \frac{\Delta E_O}{\Delta E_{IN}} = \frac{1}{1 - G\beta} \quad \dots\dots\dots (3)$

从(3)式可知, 相对于输入电压变化的输出电压变化减少了 $1/(1 - G\beta)$ 倍。

其次, 若设没有反馈电路时, 放大器的输出阻抗为R、负载电流为 I_O ,

$$\because G\beta E_O + I_O R = E_O$$

$$\therefore E_O (1 - G\beta) = I_O R$$

故 输出阻抗 R_O 为:

$$R_O = \frac{E_O}{I_O} = \frac{R}{1 - G\beta} \quad \dots\dots\dots (4)$$

也就是说, 在有反馈电路的场合下, 其输出阻抗减少了 $1/(1 - G\beta)$ 倍。

基准电压 V_{ref} 具有温度特性的场合, 取样电压与基准电压的误差信号 E_s 为:

$$E_s = \beta E_O - V_{ref}$$

因此, 基准电压与输出电压 E_O 之间的关系为:

$$E_O = G (\beta E_O - V_{ref})$$

$$\therefore E_O = \frac{-G}{1 - G\beta} V_{ref}$$

把该式的两边对温度T微分, 则有:

$$\frac{\partial E_O}{\partial T} = - \frac{G}{1 - G\beta} \cdot \frac{\partial V_{ref}}{\partial T} \quad \dots\dots\dots (5)$$

然而，为了得到稳定的反馈，必须使 $|1 - G\beta| > 1$ ，因此 $G\beta > 1$ 。这样从 (5) 式可得出：

$$\frac{\partial E_O}{\partial T} = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{\partial V_{ref}}{\partial T} \dots\dots\dots (6)$$

根据上面的结果，(2) 式又可以表示为：

$$\Delta E_O = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{\partial V_{ref}}{\partial T} dT + \frac{1}{1 - G\beta} \Delta E_{IN} + \frac{R}{1 - G\beta} \Delta I_O$$

式中因为放大器的电压放大系数 G 是频率 f 的函数，因此， ΔE_O 和 ΔI_O 与频率有关。

3 直流稳压器的主要参数和测试方法

在直流稳压器的产品目录或其特性表里，给出了许多参数的指标和电特性，但在实际使用直流稳压器时，如何确定其产品目录的参数值是非常重要的。

(1) 负载变化率

负载变化率是当输入电压不变，负载电流的直流变化引起输出电压的变化之百分比。若设负载电流值变化了 ΔI_O ，输出电压从最初的 E_O 变化了 ΔE_O ，则负载变化率为：

$$\text{负载变化率} = \frac{\Delta E_O}{E_O} \times 100 [\%] \quad (E_{IN} \text{ 为常数})$$

而且，负载变化又可以用直流输出阻抗 R_O 表示，这时，若设负载电流的变化为 ΔI_O 、输出电压的变化为 ΔE_O ，则：

$$R_O = \frac{\Delta E_O}{\Delta I_O}$$

(2) 输入变化率

输入变化率是负载电流固定，直流输入电压的变化引起输出电压的变化之百分比。若输入电压变化 ΔE_{IN} ，输出电压从最初的 E_O 变化了 ΔE_O ，则输入变化率为：

$$\text{输入变化率} = \frac{\Delta E_O}{E_O} \times 100 [\%] \quad (I_O \text{ 为常数})$$

(3) 温度系数

输入电压和负载阻抗始终保持不变，将稳压器置于恒温槽内工作，若环境温度变化 ΔT 时，输出电压 E_O 变化了 ΔE_O ，则温度系数为：

$$\text{温度系数} = \frac{\Delta E_O}{\Delta T \cdot E_O} \times 100 [\%/^{\circ}\text{C}] \quad (I_O, E_{IN} \text{ 为常数})$$

而且，温度系数可以温度变化 ΔT 与所引起的输出电压变化 ΔE_O 之比来表示，则有：

$$\text{温度系数} = \frac{\Delta E_O}{\Delta T} [\text{毫伏}/^{\circ}\text{C}]$$

(4) 输出阻抗 R_O

R_O 是负载电流的交流变化引起输出电压的交

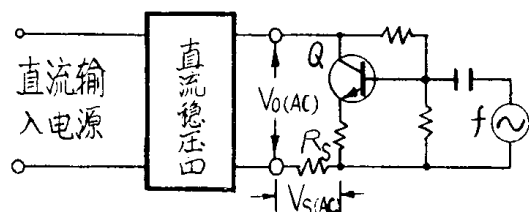


图 4

流变化，是表示稳压器的频率特性的一个参数。如图 4 所示那样，用振荡器驱动晶体管 Q 的基极使负载电流改变，用同步示波器测出这时的输出电压的交流变化。但必须注意，对于各测试频率，输出电压波形均为正弦波。

因为负载电流的变化幅度在直流负载变动特性的直线上，因此，应该在线性区进行测试。若输出电压和电流波形失真，那么测试就不正确了。

若设输出交流电压为 $V_O(AC)$ 、输出交流电流（实际是交流电压）为 $I_O(AC)$ ，则输出阻抗 R_O 为：

$$R_O = \frac{V_O}{I_O} \text{ [欧姆]}$$

$$\text{式中 } I_O = \frac{V_S}{R_S}$$

（5） 纹波抑制比

其意义是叠加在非稳定直流输入电压上的纹波电压，在直流稳压器的输出端被衰减了多少分贝，其测试电路如图 5 所示。

由振荡器驱动晶体管 Q 的基极，在电阻 R 上产生的电压降调制直流输入电压，使输入电压 E_{IN} 加入交流成分。用同步示波器测出其交流成分和负载端的电压波形。

由于在晶体管 Q 上流过直流偏置电流，而使工作点向高电压点移动，因此，输入电压 E_{IN} 的交流成分不得超过直流输入变动曲线的线性区，否则，输出电压波形畸变，不能获得正确的测试。

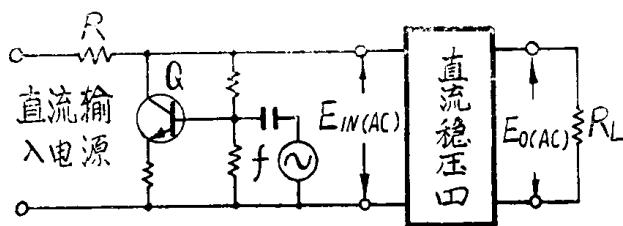


图 5

4 如何选择直流稳压器

直流稳压器的电参数有：输入电压范围、输出电压、输出电流容量、耗散功率、效率、输入电压变化率、输出阻抗、温度系数、工作温度范围、频率响应、输出纹波电压、输入输出电压差等。

从使用的功能方面来看，下列几点的考虑是重要的：

- （1）输出电压是否由外接电阻而可调；
- （2）内部包含的基准电压为几伏；
- （3）能否外接晶体管；
- （4）保护电路的形式；
- （5）对于由外接电阻来改变输出电压的可调式稳压器，需要知道取样用晶体管的基极电流大约是多少。

稳压器的规格，其表示方法随制造厂家的不同而不同，但从产品目录进行实际选择时，需要注意下列事项：

- （1）在全输入电压范围内或在某一限定的输入电压范围内，输入变化率是否符合规定值。
- （2）负载变动、输出阻抗从空载到满载的范围内是否符合规定值，在多大的频率范围内符合规定值，或负载电流在小范围内变化时，是否符合规定值。
- （3）温度系数是否在全工作温度范围内符合规定值，在多大的负载电流和输入电压下符合规定值。

(4) 纹波电压的大小?

(5) 最大输入电压、输出电流和功耗之间的关系如何?

(6) 保护电路,在负载短路时由于剩余电流的存在,调整管的功耗大约是多少?负载长期短路时,是否会引起热破坏?

(7) 管壳封装,各管脚间的绝缘耐压如何?

选择稳压器时,应该充分留意上述各点,根据实际使用条件,来选取适合的直流稳压器。

5 直流稳压器的小型化

用分立元件安装的电子电路,由于侧重于电性能而取用大元件,在电子设备本身设计得非常大的当时,电源电路的体积大并不是特别的问题。但是,随着集成电路的迅速发展,促进了各种功能元件的小型化,而随着电子设备自身的轻量化和小型化,越来越要求电源电路的小型化。

作为稳压器的电路形式,串联连续调整式具有精度高、纹波抑制比优越、设计容易、电路结构简单、噪声小、不需要特别重视调整管的开关特性等优点,因此,以往的稳压器都以串联连续调整式为主。

然而,在串联连续调整式中,把电路部分集成化,可以获得小型化的稳压器,但因为调整管的内部耗散功率大,因此,为了散热所需要的外壳也大。若过分要求小型化,内部容积没有宽余,则散热不好,器件内部的温度升高,电子设备自身的高精度和高稳定性等方面就存在问题,进而使可靠性降低。因此,串联连续调整式稳压器的小型化是受一定限制的。

开关式稳压器的效率高达70~90%,因为内部功耗小,所需散热器也小,可把电源设备小型化。开关稳压器在设计、电特性、安装和实装等方面均与串联连续调整式相同,所不同的是噪声电压较大,这是它的缺点。若主电源采用滤波和电屏蔽等措施,可使特性获得改善,现在使用简便的开关稳压器来作为局部电源,已经没有问题了。

这里,就电源电路中的稳压电路部分的小型化,特别是集成化和保护电路、辅助电路以及如何减少调整管和推动级晶体管的功耗等加以叙述。

(1) 混合式集成直流稳压器

直流稳压器的混合集成化,既克服了集成电路自身的缺点,又具有高电压、大功率等优点,是集成电路中最迟发展的领域。而且随着散热结构的改善、制造技术的提高、工艺的改进和厚膜印刷技术的提高等,目前实用化的阶段已经过去而进入商品化阶段。

混合式集成稳压器的优点:

- 1) 在分立元件电路里使用的大功率有源元件,照样可以使用;
- 2) 图案设计合理,大功率阻抗容易制作;
- 3) 散热机构简单。

而且,在多片式混合集成电路里,有接点少且连接在同一基片上等优点。但用面朝上的引线接合法的场合,不能认为其可靠性比用分立元件的电路高。因为受焊接质量的限制,每片基片的有源元件的高度集成有困难,因此,不能得到高精度的电源,若过分的设计则成本高。因此,用翻转片式焊接简单,而且可靠性高。

调整管的控制电路,采用半导体单片集成的混合式集成电路,在可靠性和电特性等方面是最理想的形式。

其次,若从实际使用情况来考虑,应该尽可能做到:

1) 内部包含着整流电路用的二极管,用最少的外接元件能简单地构成高电压大电流的电源。

2) 输出电压固定的集成稳压器,不需要外接电压设定用的可变电阻,输出电压长期稳定度要好。

3) 保护电路工作起始条件由集成电路内部规定时,不需要调节,安装简便。

4) 产品目录要附有使用曲线,散热器设计要简单。

(2) 半导体集成稳压器

小电流低电压的直流稳压器,大多数都采用半导体集成,小容量的稳压器和激励用的稳压器已实用化了,下面就半导体集成化的优点加以叙述:

1) 半导体集成电路,虽然电路结构复杂,但硅外延平面晶体管与二极管等半导体元件在同一制造工序制成,因此,固有的可靠性比用分立元件的场合能提高几十倍;

2) 由于高度集成可以小型化,对机械冲击等可靠性提高;

3) 寿命长;

4) 在用分立元件组成的电路里,其晶体管、二极管、电阻和电容等元件的可靠性和各特性都存在问题,但集成电路可以作为一个功能电路来考虑;

5) 由于电压低,故应力小。

半导体集成电路虽然具有上述的优点,但同时也具有缺点,也就是说,对于高集成度这个优点,一方面还要考虑它的缺点,因为每一基片的元件密度高,散热条件不好,可能引起特性恶化。因此,在使用半导体集成电路时,要充分留意散热设计。

其次,半导体集成电路的特点:

1) 产量大,成本低;

2) 国家半导体公司的集成稳压器 LM123、LM223、LM323,单独能获得 3 安的电流容量,但一般以小于 200 毫安最合适;

3) 适宜于制作小电流、低电压、高精度和高稳定度的稳压器;

4) 若作为电压比较器使用,能构成高精度、高稳定度的大电流稳压器;

5) 输出电压由内部固定的稳压器,使用起来大体与一个元件一样方便;

6) 取样部分采用差分放大器的场合,与运算放大器一样,用少量元件就能简单地构成开关稳压器。

(3) 如何减少耗散功率

与串联连续调整式相比较,开关式和开关连续调整式效率较高,因此,作为稳压器的功耗当然小,关于这些将在开关稳压器一节里加以叙述,这里只介绍串联连续调整式减少功耗的方法。

(3-1) 用保护电路来减少功耗

保护电路虽然不能减少正常工作点的功耗,但当发生负载完全短路等异常现象时,由于设置了电流限制型保护电路,就能减少直流稳压器自身的功耗。

也就是说,没有保护电路的场合,当发生负载短路等异常现象时,就流过不能控制的大电流,使调整管损坏。但若象图 6 ①所示那样,采用垂直型保护电路,由于剩余电流大,负载短路时的功耗为最大;若采用象图 6 ②所示的“フ”型保护电路,由于剩余电流小,负载短路时的功耗也很小;但是,在直流稳压器的输入电压高的场合,直线 B—D 间的功耗也很大,有可能使调整管损坏。

其次,用具有开关特性的电流截止型保护电路,直线B—O间没有功耗,这是最好的,但在负载恢复正常时,有不能自动复位的缺点。

(3—2) 由调整管的偏置方法来减少功耗

作为减少直流稳压器功耗的直接方法,是减少调整管的内部功耗。为此,需要把调整管工作时的输入输出电压差减小。最一般的是由调整管与推动级晶体管的连接方法来决定,如图7(C)所示那样,是共集电极的达林顿连接,但这种连接法,调整管正常工作时需要的电压等于 V_{BE1} 、 V_{BE2} 和电压比较器工作时所需的最低电压 V 之和。设 Q_1 和 Q_2 的功耗为 P_C 、 Q_1 的电流放大系数为 h_{FE1} 、输出电流为 I_0 时,则有:

$$P_C = I_0(V + V_{BE1} + V_{BE2}) + \frac{I_0}{h_{FE1}}(V + V_{BE2})$$

这时 Q_1 、 Q_2 的功耗仍很大。

在图7(a)的偏置方法中,设 Q_2 的饱和压降为 V_{CES2} 、 Q_1 的饱和压降为 V_{CES1} 、 Q_1 的电流放大系数为 h_{FE1} ,则 Q_1 、 Q_2 的功耗 P_C 为:

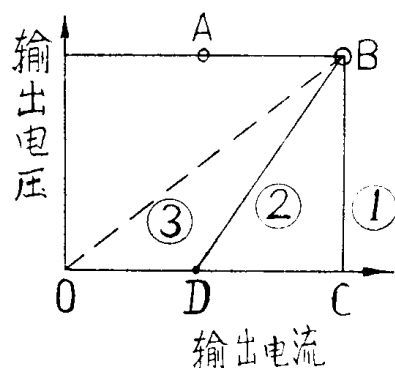
$$P_C = I_0(V_{CES1} + V_{CES2}) + \frac{I_0}{h_{FE1}} \cdot V_{CES2}$$

可见, Q_1 、 Q_2 的功耗得到减小。

图7(b)的偏置方法,因为 Q_2 在辅助电源 Z 驱动下工作,因此, Q_1 、 Q_2 的功耗 P_C 由下式给出:

$$P_C = I_0 V_{CES1} + \frac{I_0}{h_{FE1}} \cdot V_{CES2}$$

因此,这种偏置法的功耗最小。当加在直流稳压器的输入输出间电压差 V_D 远远大于驱动调整管的电压的场合,若采用图7(b)的偏置法,因为在 Q_2 的集电极—发射间的电压被辅助电源的电压固定,设辅助电源的电压为 V_S ,则 Q_2 的功耗等于 $V_S \cdot \frac{I_0}{h_{FE1}}$ 为一定;但(a)、(c)的方式, Q_2 的功耗为 $V_D \cdot \frac{I_0}{h_{FE1}}$,有所增大。因此,在希望直流稳压器的功耗尽可能小的场合,最好采用(b)的形式。



A: 正常工作点
B: 保护电路工作起始点
C、D: 为剩余电流

图6 各种保护电路的电流说明图

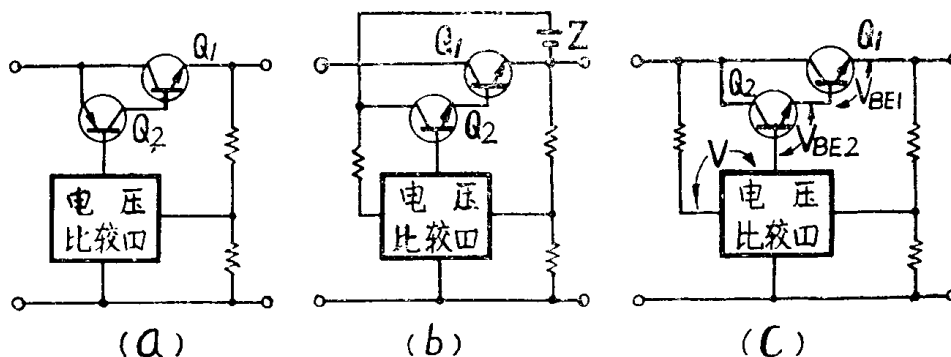


图7 调整管的偏置方法

二、开关稳压器

6. 近年来开关稳压器为什么被人们所重视

随着各种集成电路的发展,促进了电子设备更加高精度化、多功能化和小型化。但是,随着电子设备的集成度越高,要求电源的电流容量也就越大。

为了满足大电流容量的要求,若把一般的串联连续调整式稳压器并联起来使用,不仅体积增大、重量变重、调整管的功耗也增大,还存在散热问题,进而使电源本身和电子设备的可靠性大大地恶化。

基于上述的情况,开关稳压器必然引起人们重视。

以往的开关稳压器虽然效率高,但由于:

- 1) 用分立元件构成,电路复杂、元件接点多、布线复杂、成本高;
- 2) 容易产生噪声;
- 3) 输出纹波大;

4) 频率响应差等。因此,没有多大的实用价值。但是最近,随着用于激励开关晶体管的电路的半导体集成化、运算放大器、调节器和逻辑电路的发展,从而使开关稳压器的造价降低、布线简单和特性得到改善,并具有效率高、体积小、重量轻等特点,可以认为目前在各种形式的电源电路中,开关稳压器是最合适的形式。

7. 开关稳压器的基本工作原理

开关稳压器大体由开关元件、脉冲发生器、滤波电路等三部分组成。作为开关器件可以使用晶体管、半导体开关元件等功率有源元件,让这些元件重复地在饱和区与截止区进行开关工作。而脉冲发生器按照输入条件,改变其工作状态或频率来控制开关元件的调整端。滤波器也是开关稳压器的重要部分,它在决定效率、纹波电压、频率响应等电特性的同时,还有着把输出电压平均化和滤掉高频开关噪声的作用。

在图8中,当开关元件Q导通时,流过开关元件的电流就通过电感L而流向电容器C和负载 R_L 。若设非稳定电压为 E_{IN} 、流过电感L的电流变化量为 Δi_L 、输出电压为 E_O 、开关元件的导通时间为 t_{on} ,则有:

$$E_{IN} - E_O = L \frac{\Delta i_L}{t_{on}}$$

其次,其开关元件处于截止状态时,贮存在电感L上的能量 $-\frac{1}{2}L\Delta i_L^2$ 通过续流二极管(Free Wheeling Diode)D向电容器C充电。因此,若设这时开关元件的截止时间为 t_{off} ,则有:

$$E_O = L \frac{\Delta i_L}{t_{off}}$$

把上面二式整理后有:

$$E_O = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \cdot E_{IN}$$

由此可见在开关稳压器里,没有象连续调整式的串联电阻的功耗,输出电压只由输入电压、导通时间和截止时间来决定,在理想的情况下可得到100%的效率,但实际上因为各元件总有损耗,所以效率稍有降低。

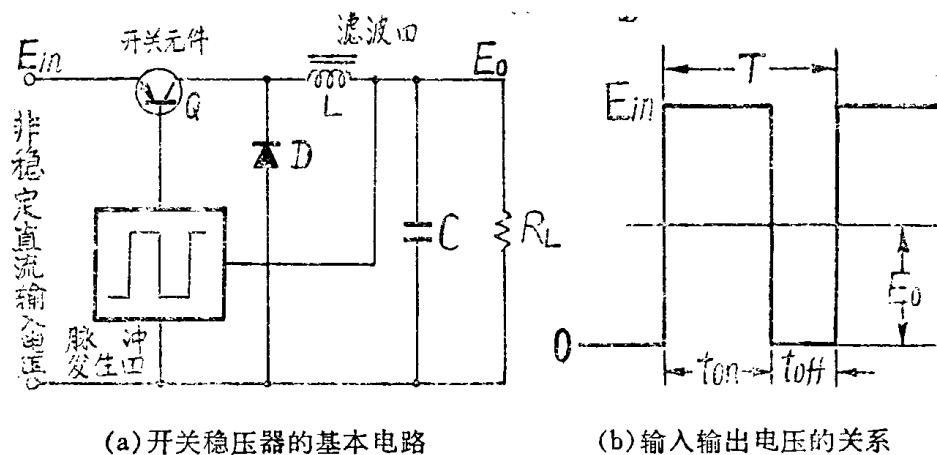


图 8 开关稳压器的基本原理

8. 开关稳压器的种类

不用变压器的，以晶体管和可控硅等作为开关元件的开关稳压器，大体可分为串联调整式和并联调整式两种。

串联调整式的输出电压比非稳定直流输入电压低，并联调整式的输出电压比非稳定直流输入电压显著提高。

其次，按开关元件的激励方式有自激式和他激式两种。自激式从输出电压取出信号与具有滞后特性的电压比较器（Voltage Comparator）的基准电压相比较，当输出电压 低于规定值

电路形式		电路拼成
串联控制式和并联控制式	自激式	串联控制式
	自激式	并联控制式
	他激式	脉冲宽度控制式
	他激式	频率控制式
	他激式	脉冲宽度频率控制式

表 1 开关稳压器的电路形式

电压时, 开关元件导通, 输出电压就上升; 如果输出电压高于规定值电压时, 开关元件截止, 输出电压就下降。由于重复地进行这种动作, 从而使输出电压稳定。

他激式按开关元件的导通时间 t_{on} 和截止时间 t_{off} 的调制方式, 可分为脉冲宽度调制式和频率调制式以及脉冲宽度—频率混合调制式。

以上各种形式列于表1。(见表上页)

(1) 频率控制式(脉冲宽度固定)开关稳压器

频率控制式(脉冲宽度固定)开关稳压器的等效电路如图9所示。若设开关元件的导通时间为 t_{on} 、截止时间为 t_{off} 、则自激多谐振荡器的振荡周期 T 可用 $T = t_{on} + t_{off}$ 来表示。因此, 这种电路形式是把开关元件的导通时间保持一定, 而截止时间可变, 即改变振荡周期来获得输出电压稳定化的方法。换言之, 如果负载不发生变动, 其输出电压保持一定, 则开关元件 Q_1 按自激多谐振荡器的电路常数所决定的周期, 重复一“开”一“关”地工作着, 从而获得稳定的平均输出电压。

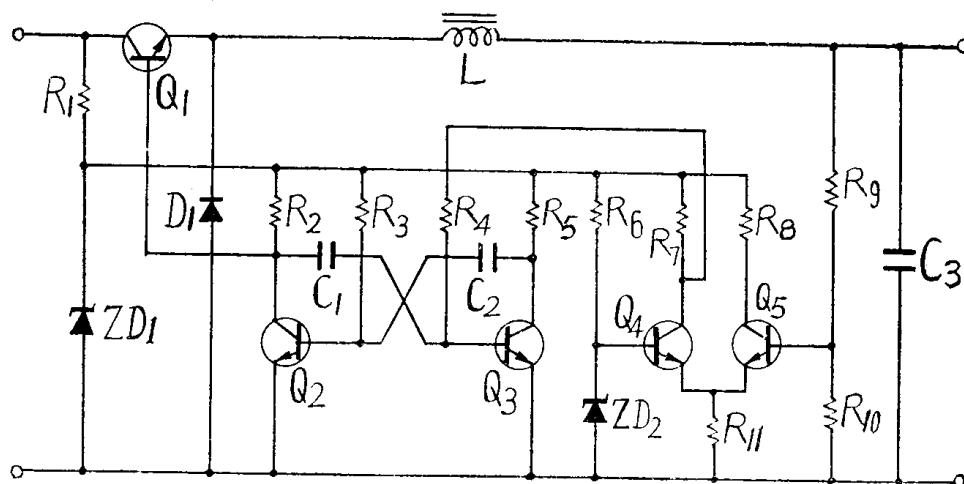


图9 频率控制式(脉冲宽度固定)开关稳压器

其次, 在负载发生变动而使输出电压下降时, 其变动部分由电压比较器放大而成为误差信号, 这个误差信号使自激多谐振荡器的截止时间 t_{off} 缩短, 输出电压上升而补偿其下降部分。另一方面, 在输出电压上升的场合, 由于 t_{off} 增长, 输出电压下降而补偿其上升部分。由于开关稳压器重复于这种状态下工作着, 从而获得稳定的输出电压。其电路结构如下:

Q_1 、 L 、 D_1 和 C_3 是基本的开关电路元件; 由 Q_4 、 Q_5 所组成的差分放大器与 ZD_2 等组成取样电路(即电压比较器); Q_2 和 Q_3 等组成自激多谐振荡器。但在实际使用电路中, 如表1所示那样, 对于以上的电路功能要增加由单稳态自激多谐振荡器构成的脉冲整形电路。

⊙ 自激多谐振荡器如何进行频率控制

一般的自激多谐振荡器如图10所示, 如果设 $V = 0$ 、导通时间为 t_{on} 、截止时间为 t_{off} 、周期为 T , 则有 $T = t_{on} + t_{off} \approx 0.7(R_3C_2 + R_4C_1)$, 并在 V_o 端上产生脉冲宽度固定的一定振荡频率的输出波形。

可是, 在 $V \neq 0$ 且可变的场合, 设此时的等效阻抗为 R , 虽然 $t_{on} \approx 0.7R_3C_2$ 是一定的, 但 t_{off} 可用 $t_{off} \approx 0.7C_1[R_4 + R(V)]$ 表示, 由于 t_{off} 是电压 V 的函数随周期 T 而变动, 从而实现了频率控制。

作为控制方式的一例，是在A、B点之间接上电阻R和pnp晶体管，只要改变其基极电压就能改变 t_{off} ，如图11所示。

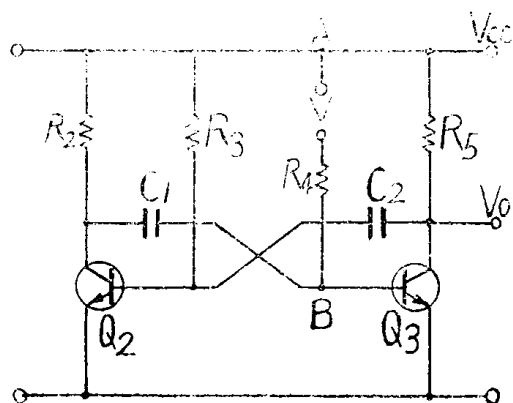


图10 自激多谐振荡器电路

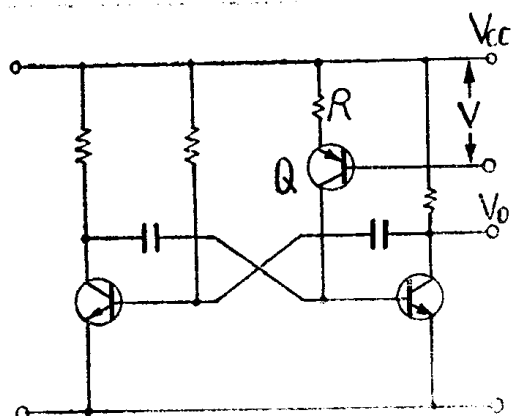


图11 由自激多谐振荡器组成的频率控制电路

(2) 脉冲宽度控制式(频率固定)开关稳压器的的工作原理

其等效电路如图12所示，该电路形式是通过改变开关元件 Q_1 的导通时间 t_{on} 和截止时间 t_{off} 之比(即占空比)，来获得稳定的输出电压。就是说，由自激多谐振荡器的振荡输出作为触发，激励由单稳态多谐振荡器所构成的脉冲宽度控制器。其结果，由构成单稳态多谐振荡器的电路常数所决定的固有频率，使开关元件 Q_1 处于“开”或“关”的工作状态，从而获得稳定的平均输出电压。

如果因负载变动而使输出电压下降时，其变动部分由取样电路放大，由误差信号来激励脉冲宽度控制器来改变占空比，使开关元件的导通时间增长，输出电压上升，而补偿输出电压的下降部分。

其次，若设负载变动而使输出电压上升时，与上述的情况一样，其变动部分由取样电路取出，由误差信号来改变脉冲宽度控制器的占空比，使开关元件的导通时间缩短，而使输出电压下降，补偿其上升部分。

由于反复于以上的工作状态，从而获得稳定的输出电压。这时的输出电压 V_o 与输入电压 V_{in} 的关系可用下式表示：

$$V_o = V_{in} \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$$

电路构成如下： Q_1 、 D_1 、 L_1 和 C_0 为基本的开关元件；由 Q_8 、 Q_9 和 ZD_2 等组成的差分放大

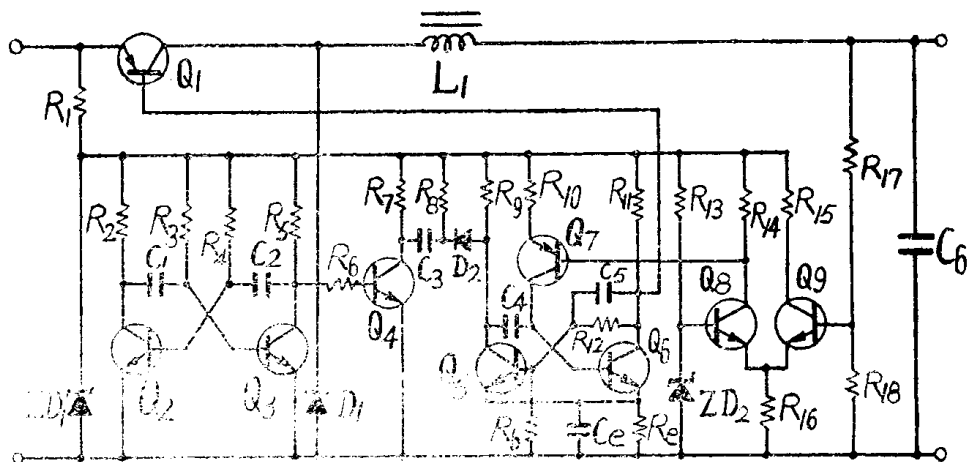


图12 脉冲宽度控制式(频率固定)开关稳压器

器作为取样电路；由 Q_5 、 Q_6 等组成的单稳态多谐振荡器用作脉冲宽度控制器而工作；由 Q_2 、 Q_3 等构成的自激多谐振荡器作为振荡器而工作。

③ 单稳态多谐振荡器如何实现脉冲宽度变调

如图13所示，单稳态多谐振荡器自身的触发脉冲周期是一定的，若电路元件的参数为一定时，则振荡输出波形对于各触发脉冲都有相同的波形。

在图14中，当 R 用 pnp 晶体管和电阻 R_{10} 所构成的可变阻抗电路代替时，就获得脉冲宽度变调。就是说，若电压 V 增大， Q_7 的集电极电流增加， C_4 的放电时间缩短，输出脉冲宽度也变小。

反之，若电压 V 变小，则 Q_7 的集电极电流减少， C_4 的放电时间增加，输出脉冲宽度变大。

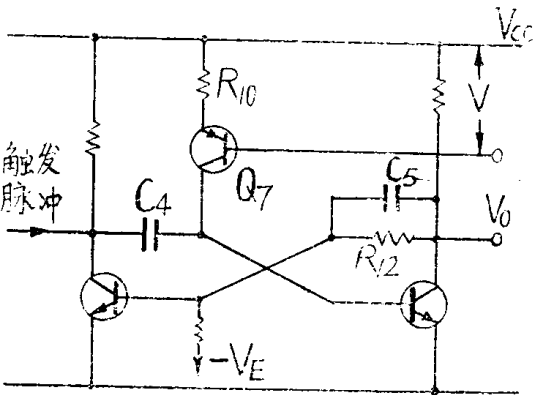


图 13

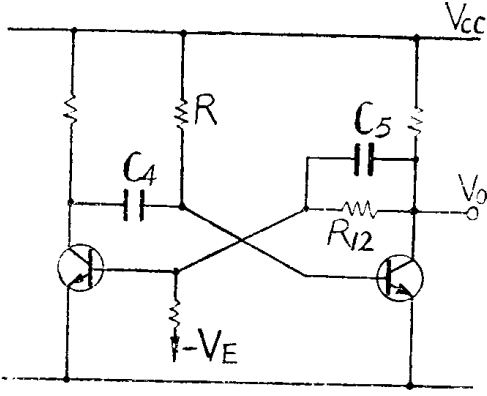


图 14

图12中，若设触发脉冲周期为 T 、 Q_6 的基极与电源之间的等效阻抗为 R 时，则有：

$$T = 0.7RC_4 \text{ [秒]}$$

可是，在图14中，若接上随电压变化的等效可变阻抗电路来代替 R 时，则在输出端所产生的脉冲宽度为 $T = 0.7RC_4(V)$ [秒]，是电压 V 的函数，从而获得由电压 V 变调的输出脉冲宽度。

(3) 脉冲宽度—频率控制式开关稳压器的的工作原理

脉冲宽度—频率控制式开关稳压器的等效电路如图15所示。

频率控制式开关稳压器是使开关元件的导通时间 t_{on} 保持一定，改变其截止时间 t_{off} ，而实现输出电压的稳定。而脉冲宽度—频率控制式开关稳压器是靠改变 t_{on} 和 t_{off} 这两个主要参数来实现输出电压的稳定。也就是说，若负载不变，输出电压亦不变，则开关元件按自激多谐振荡器的电路常数所决定的周期，重复于“开”与“关”的工作状态，而使输出电压保持不变。

如果负载变动而使输出电压上升时，则构成取样电路的差分放大器的集电极电流就不平衡，两个晶体管的集电极就有电位差，由于该集电极电位差而使自激多谐振荡器的接点A—B间的等效阻抗 R_{AB} 增大，A—C间的等效阻抗 R_{AC} 减小。因此，自激多谐振荡器的导通时间 t_{on} 增长，截止时间 t_{off} 缩短。其结果，开关元件 Q_1 的导通时间 t_{on} 缩短，截止时间 t_{off} 增长，输出电压下降而补偿其电压上升部分。

另一方面，在负载变动而使输出电压下降的场合，由于 R_{AB} 减小， R_{AC} 增大。其结果，开