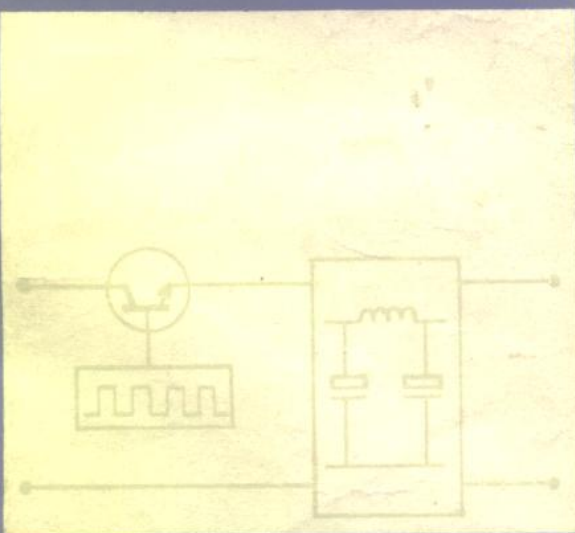


电子设备电源技术普及丛书

开关电源

杨承丰 尹凤鸣 编著



人民邮电出版社

电子设备电源技术普及丛书

开 关 电 源

杨承丰 尹凤鸣 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书介绍了常见的晶体管开关电源的工作原理、特点、种类和应用范围。并且对怎样提高开关电源的各种性能指标进行了阐述，还列举了一些有参考价值的实用电路。

本书通俗易懂，适合开关电源的使用者、无线电爱好者、电子技术初学者以及从事电子技术和通信工作的工人与非电源专业的技术人员阅读。

DT97/34

电子设备电源技术普及丛书

开 关 电 源

杨承丰 尹凤鸣 编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京北方印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

开本：787×1092 1/32 1987年2月第一版

印张：3 12/32 页数：54 1987年2月北京第一次印刷

字数：74千字 印数：1—6,500册

统一书号：15045·总3341—有5499

定价：0.60元

丛 书 前 言

任何电子设备都离不开电源，为了普及电源技术知识，我们编辑出版了“电子设备电源技术普及丛书”。对一些常用的电源设备或器件，通俗易懂地简单讲解它的基本原理、规格性能、使用注意事项，并列举一些实用电路，介绍制作或调测方法等等。

主要读者对象为无线电爱好者、电子技术初学者以及从事电子技术和通信工作的工人和非电源专业的技术人员。

这套丛书要求在普及电源技术知识的同时，力求与实际相结合，向初学者介绍起码的实用技术，使之能解决简单的具体问题，从而为登堂入室创造条件，希望为我国电源技术培养人才起一定的促进作用。

本丛书已出版有关于电池、微型电池、锌银蓄电池、镉镍电池、常用晶体管稳压电源、半导体整流器、逆变器知识、可控硅电源、小型充电机等方面的小册子，欢迎关心科普的作者和读者对本丛书的选题、内容等方面提出意见和建议。

本丛书是1979年11月在第二届全国电源技术年会上倡议组织的，并成立了编委会，负责审定本丛书编写原则和选题，推荐适宜的作者和审核书稿等事宜。编委会由下列人员组成：

章燕翼 李朔生 李道恺 李厚福 倪本来
李颀达 李宗光 马传添 谭 信 蔡效平

“电子设备电源技术普及丛书”编委会

一九八六年三月

前 言

遨游太空的人造卫星、各种各样的电子计算机、色彩鲜艳的彩色电视机等都需要直流稳压电源。特别是以电子计算机为代表的现代电子技术和设备的飞速发展,对电源提出了效率高、体积小、重量轻的新要求。于是晶体管开关电源便应运而生。

六十年代末期出现了无工频变压器开关电源,这种电源装置直接将交流电整流、滤波,甩掉了传统的工频变压器,因此使电源效率增高,体积及重量大为减小。它一出现立即受到人们的普遍重视,世界上各工业强国竞相研制,竞相推广,从而使电源技术的应用开始了一个新的阶段。当然,晶体管开关稳压电源也有它固有的缺点,例如噪声干扰较大,精度较差,所以不可能在所有的领域内都取代线性电源,但是晶体管开关电源将成为电源主流的趋势是越来越明显了。

随着晶体管开关电源的推广应用,很多人希望对这类电源有个基本的了解,本书正是为了满足这种要求而编写的。

本书是一本科普读物,所以尽量避免繁杂的数学推导,而采用通俗的方法,由浅入深地介绍一些常见的晶体管开关电源的种类、特点、基本工作原理及应用范围,最后还列举了一些有参考价值的实用电路。

本书适合作为开关电源的使用者、初学者和无线电爱好者的自学入门读物,也可供有关技术人员参考。

本书承马传添、庄蓄田同志审阅,提出不少宝贵意见,谨表谢意。

作 者

1985年12月

目 录

一、从晶体管线性稳压电源到晶体管开关稳压电源

- 1.1 线性稳压电源所面临的难题…………… (1)
- 1.2 晶体管直流变换器的出现及晶体管串联开关稳压电源的兴起…………… (3)
- 1.3 新型的无工频变压器开关稳压电源…………… (4)

二、串联开关稳压电源

- 2.1 一种简单、常用的串联开关稳压电源…………… (6)
- 2.2 为什么储能电感的电感量必须大于临界值? …………… (11)
- 2.3 怎样减小纹波电压? …………… (12)
- 2.4 怎样提高电源的效率? …………… (15)
- 2.5 什么叫电压维持时间, 它有什么用处? …………… (18)
- 2.6 怎样用集成稳压器来组成控制电路? …………… (20)
- 2.7 怎样使输出电压大于输入电压? …………… (24)
- 2.8 怎样使输出电压的极性与输入电压的极性相反? …………… (26)

三、直流变换器

- 3.1 一种常用的单管直流变换器…………… (28)
- 3.2 自激型推挽直流变换器是怎样工作的? …………… (31)
- 3.3 为什么要采用自激型推挽双变压器电路? …………… (36)
- 3.4 怎样接成半桥、桥式变换器电路? …………… (41)

- 3.5 怎样设置变换器的启动电路? (44)
- 3.6 他激型变换器是怎样工作的? (47)
- 3.7 怎样防止晶体管的共态导通? (49)

四、无工频变压器开关稳压电源

- 4.1 一种常用的无工频变压器开关稳压电源..... (52)
- 4.2 扩大输出功率的巧妙办法——功率叠加法..... (59)
- 4.3 提高铁芯的利用率的方法—加恒磁片..... (62)
- 4.4 为什么要设置反偏激励电路? 怎样设置? (65)
- 4.5 一种典型的集成脉宽调制器SG1524..... (71)
- 4.6 振荡、变换、调整合为一体的自激型无工频变压器开关稳压电源..... (75)
- 4.7 无工频变压器开关稳压电源的发展方向——高频化..... (78)

五、实用电路举例

- 5.1 实验室用串联开关稳压电源..... (83)
- 5.2 计算机用的串联开关稳压电源..... (85)
- 5.3 通信设备用的直流变换器..... (90)
- 5.4 彩色电视机用的无工频变压器开关稳压电源..... (92)
- 5.5 黑白电视机用的无工频变压器开关稳压电源..... (97)
- 5.6 实验室用的小型无工频变压器开关稳压电源..... (98)

一、从晶体管线性稳压电源 到晶体管开关稳压电源

1.1 线性稳压电源所面临的难题

晶体管线性稳压电源是五十年代初在电子管线性稳压电源的基础上发展起来的。常见的是用晶体管作为调整元件与负载相串联的“串联线性稳压电源”，它具有输出电压可以调节，电压稳定度及负载稳定度高、纹波小、瞬态响应快、线路较简单等优点，但是它也有严重的缺点，那就是效率低、体积大、比较笨重。

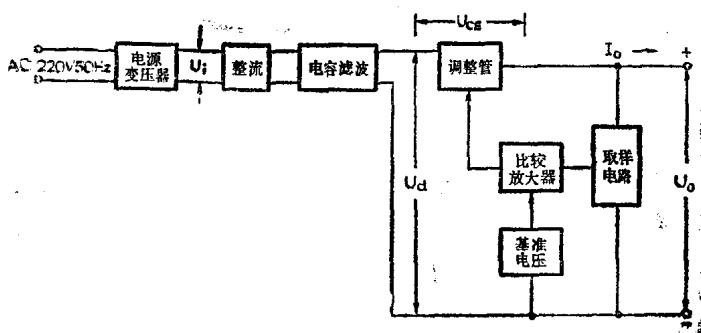


图1.1 串联线性稳压电源的方框图

现在让我们来分析一下产生上述缺点的原因。图1.1所示为串联线性稳压电源的方框图。它的稳压原理如下：当交流电源电压降低或负载电流增大时，引起输出电压 U_o 降低， U_o 经取样

电路送至比较放大器与基准电压比较，然后将误差信号放大去控制调整管两端的压降，使其减小，如果减小的数值正好等于输出电压降低的数值，则输出电压重新回升到原先的数值从而保持了稳定。反之，当交流电源电压升高或负载电流减小时，则使调整管两端压降增大以维持输出电压的稳定。在工作过程中，调整管的状态始终处于晶体管特性曲线的线性放大区。这样，调整管本身就要耗费一定的功率，同时调整管还会由于较大的功耗而发热。为了散热必须在调整管上配置庞大的散热器，这是造成串联线性稳压电源效率低、体积大、比较笨重的第一个原因。

第二个原因是，在串联线性稳压电源中使用了工频降压变压器，这只变压器不仅大大增加了电源的体积和重量，而且因变压器本身的效率为80~90%，从而降低了整个电源的效率。

第三个原因是，要使串联线性稳压电源正常工作，必须使调整管在任何时候都处于线性放大区，因此要给予调整管一个最起码的压降，我们称它为起始电压 U_{CEmin} ，起始电压与调整管的饱和压降 U_{CES} 有关，也与整流、滤波后的直流电压 U_d 中的纹波电压峰峰值 U_{PP} 有关，即

$$U_{CEmin} = U_{CES} + U_{PP}$$

U_{PP} 值的大小主要决定于滤波电容的数值，为了减少 U_{PP} 就得增大滤波电容的数值，因而电源的体积、重量相应地增加。

在射极输出的电压控制型串联线性稳压电源中， U_{CES} 值因调整管接成2~3级达林顿复合管，通常达到1.4~2.1伏；在集电极输出的高效率的电流控制型串联线性稳压电源中 U_{CES} 只需0.65伏。但集电极输出的电路因为工艺原因极难做成集成稳压器。此外它的所谓高效率也仅表现在 $U_{CES} = 0.65$ 伏这

一点上，作用是很有限制的。

由于上述三种原因，使串联线性稳压电源的效率大为降低，体积、重量大为增加。例如对于用得最广泛的5伏稳压电源来说，其效率只有30~40%。对大型计算机来说，其中5伏电压的负载电流就需要上千安培，可以想象，效率的降低会对机器的散热带来多大的困难！

1.2 晶体管直流变换器的出现及晶体管串联开关稳压电源的兴起

通常，我们把直流电变成交流电的装置叫做逆变器，而把直流电变成交流电再变成直流电的装置叫做直流变换器，采用直流变换器可以从只有一种直流输入电源得到极性、数值不相同的多路直流输出电压。早期的换流设备采用旋转式或机械振子式，这样的换流设备寿命短、可靠性差、转换的效率也低。1955年美国罗耶(G.H.Royer)首先研制成功利用磁芯的饱和来进行自激振荡的晶体管直流变换器，此后各种形式的晶体管直流变换器不断涌现出来。由于晶体管直流变换器中的功率晶体管工作在开关状态（只有极少数谐振型变换器例外），所以电源效率高、体积小、重量轻，被广泛地应用于航天及军用的电子设备上。

五十年代到六十年代的直流变换器由于晶体管的耐压不高而采用低压输入，从六十年代末开始由于高反压大功率晶体的出现，直流变换器就可直接由市电经整流、滤波后输入，不再需要用工频变压器降压，从而大大扩大了它的应用范围，并在此基础上创造了无工频变压器开关稳压电源。

为了减少串联线性稳压电源中调整管的功耗，以便提高电源的效率并减小电源装置的体积和重量，人们在五十年代中期

发明了晶体管串联开关稳压电源，这种电源结构比较简单，控制电路既可采用分立元件，也可采用集成稳压器或集成脉冲调制器，电源的调试很方便，可靠性也比较高，而且由于功率晶体管工作在开关状态，电源的效率明显提高（特别在输入电压大幅度变动、输出电压大范围调节时），体积和重量也比线性电源明显减小，在电子计算机、军用电子设备及实验室中得到广泛的应用。

我国的晶体管直流变换器及串联开关稳压电源的研制工作开始于六十年代初期，到六十年代中期进入了实用阶段。

1.3 新型的无工频变压器开关稳压电源

串联开关稳压电源虽然提高了电源的效率、减小了电源的体积及重量，但是它仍然带有一只工频变压器使电源显得笨重。与此同时，半导体技术从六十年代初的小规模集成电路发展到七十年代初的大规模集成电路，电子设备的组装密度越来越高，造成电源与电子设备在体积、重量方面的比例严重失调，由于效率低而导致的散热问题也越来越突出，要解决这些矛盾，就必须找寻出一种效率高、体积小、重量轻的电源来。人们希望能找到一种既能保持串联开关电源的优点而又不用工频变压器的电源。这种设想早在1964年美国就有人提出过，1969年由于高反压功率晶体管的问世，设想变成了现实，美国首先研制成功开关频率为25kHz的无工频变压器开关稳压电源，由于这种电源比串联线性电源在效率、体积和重量方面优越得多，所以它一出现立刻在世界各国引起了强烈反应，各种杂志、文章大量刊登有关此类电源的原理、特点、产品种类、应用范围，与此同时与这种电源有关的高频电容、开关二极

管、开关变压器铁芯等元器件也不断地涌现出来，使无工频变压器开关电源得到了飞速的发展，并广泛地应用于电子计算机、通信、航天、彩色电视机等领域，从而使无工频变压器开关电源成为电源中的佼佼者。现将三种电源的主要特点比较列于表1，其中串联开关稳压电源及无工频变压器开关稳压电源均以工作频率为20kHz左右为准。

表1 三种电源的主要特点比较

项 目	串联线性稳压电源	串联开关稳压电源	无工频变压器开关稳压电源
电压稳定度	0.01~0.05%	<0.1~0.2%	<0.1~0.2%
负载稳定度	0.02~0.05%	<0.1~0.2%	<0.1~0.2%
纹波电压 ΔU_{PP}	<5mV	<50~100mV	<50~100mV
瞬态响应	微秒级	毫秒级	毫秒级
效率	30~40% (5V)	50~60% (5V)	65~75% (5V)
体 积	1	1/2左右	1/3~1/5
重 量	1	1/2左右	1/3~1/5
可靠性MTBF	1×10^6 小时	1×10^6 小时	1×10^6 小时
噪声干扰	无	有	有
电路结构	简单	略复杂	复杂

我国从1972年开始研制无工频变压器开关稳压电源，并于1974年研制成功工作频率为10kHz、输出为5伏50安的DK—1型无工频变压器开关稳压电源。近十年来，我国的许多研究所、工厂及高等院校也研制了多种型号的工作频率为20kHz、输出功率在1000瓦以下的无工频变压器开关稳压电源，并应用于电子计算机、通信、电视等方面，取得了很好的效果。工作频率为100~200kHz的高频开关电源也已初步试制成功。当然，我国目前开关电源的技术与世界先进水平相比仍有较大的差距。

二、串联开关稳压电源

串联开关稳压电源，由于其输出电压总是低于输入电压，所以又称为降压式开关电源。根据振荡器的形式它可分成自激型和他激型两类。这种电源的电路比较简单，调试方便。可靠性高、成本低廉、在某些场合还经常被采用。下面介绍这种电源的一些基本知识，其中有些对无工频变压器开关稳压电源同样适用。

2.1 一种简单、常用的串联开关稳压电源

在讲串联开关稳压电源之前我们先来说明一下开关稳压电源的作用原理，图2.1所示为开关稳压电源的作用原理示意图。

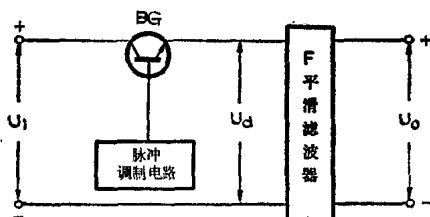


图2.1 开关稳压电源的作用原理示意图

图中 U_1 为直流输入电压，BG为理想的晶体管开关（即导通时集射极饱和压降为零；截止时集射极漏电流为零；由导通到截止及由截止到导通的转换时间也为零）， U_d 为BG的输出电压，F为理想的平滑滤波器， U_o 为电源的输出电压，则

$$U_o = U_i \cdot \frac{T_{on}}{T} = U_i T_{on} f = U_i \cdot \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = U_i \cdot \delta$$

式中 T_{on} —BG的导通时间

T_{off} —BG的截止时间

$T = T_{on} + T_{off}$ —BG的工作周期

$f = \frac{1}{T}$ —BG的工作频率

$\delta = \frac{T_{on}}{T}$ —BG的脉冲占空比

根据上式，我们可以看出只要改变 δ 值就能改变 U_o 的大小。也就是说当 U_o 有变化时，只要在电路中接入一个脉冲调制电路，用它来控制 δ 值就能使 U_o 保持不变，从而达到稳压的目的。改变脉冲占空比 δ 的方法有下列三种：

(1) 保持工作频率 f 不变，改变 T_{on} ，称为脉冲宽度调制，这种方法用得最多。

(2) 保持 T_{on} 或 T_{off} 不变而改变 f ，称为脉冲频率调制，这种方法用得较少。

(3) 既改变 T_{on} ，也改变 f ，称为脉冲宽度频率混合调制，这种方法多在自激型电路中采用。

下面，我们来看一下串联开关稳压电源是怎样工作的。图2.2是一种简单而常用的串联开关稳压电源的电路。它的输入为交流220伏，输出为12伏、3安，电压稳定度及负载稳定度均为0.3%，现在我们来分析一下电路的工作原理。

晶体管开关由 BG_1 、 BG_2 组成， BG_1 与 BG_2 这种连接方法称为达林顿连接，其目的是只要给 BG_2 一个很小的基极电流便可在 BG_1 集电极上得到一个很大的集电极电流。 BG_3 则与 BG_1 构成

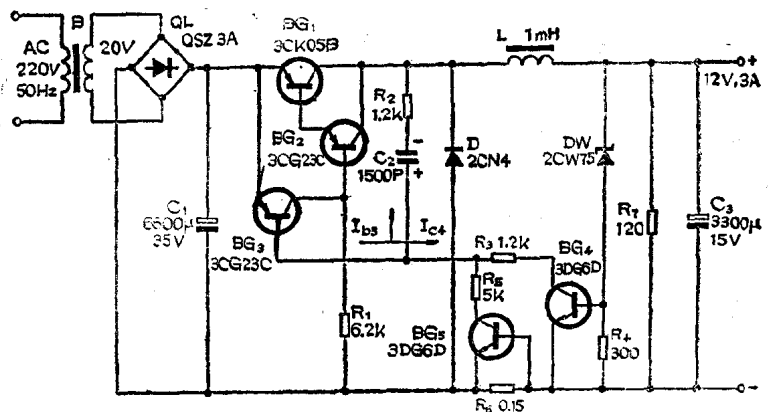


图2.2 一种简单而常用的串联开关稳压电源电路

一个反相开关：BG₃截止时，BG₁、BG₂通过R₁导通，BG₃导通时则因其集射极饱和压降很小，致使BG₁、BG₂得不到足够的基极激励电压而被迫处于截止状态。这样，只要控制BG₃的导通和截止就等于控制BG₁的截止和导通了。那么电路的自激振荡又是怎样产生的呢？从图2.2中我们可以看出，当电路接通输入交流电源后，电容C₁上产生一个约28伏的直流电压，但此时电源尚无输出，故BG₄、BG₅、BG₃均处于截止状态，BG₁和BG₂则通过R₁处于导通状态，使输出端逐步建立起电压，经过若干毫秒的暂态时间，电路便进入稳态工作。在BG₃导通期间（BG₁截止），BG₃的基极电流I_{b3}一部分通过R₃流到BG₄的集电极，另一部分流向电容C₂，向C₂充电（极性如图），随着时间的增长，C₂上电压不断增大，BG₃基极电位也不断地相应提高，BG₃的基射极电压便不断减小，待到此电压值小到等于BG₃的临界导通电压时（约0.6—0.7伏），BG₃即开始进入截止状态，BG₃的集射极电压增大使BG₁、BG₂开始有点导通，BG₁集射极电压便开始减小，由于C₂上电压不能突变，遂使

BG_3 的基极电位进一步提高，这是一个强烈的正反馈过程，结果使 BG_3 迅速进入截止状态， BG_1 迅速进入导通状态。此后，电容 C_2 通过 R_3 、 BG_4 、 C_1 、 BG_1 、 R_2 放电， C_2 上电压不断减小， BG_3 基极电位便不断下降，使 BG_3 基射极电压不断增大，待到此电压值等于其临界导通电压值时， BG_3 又开始进入导通状态，与上述类似由于 C_2 的正反馈作用使 BG_3 迅速进入导通， BG_1 迅速进入截止状态。如此周而复始形成了自激振荡。从上面的分析中可以清楚地看出，电容 C_2 的充电时间决定了 BG_1 的截止时间，电容 C_2 的放电时间则决定了 BG_1 的导通时间，而 C_2 的充放电又受 BG_4 集电极电流的控制，也就是说受 BG_4 的基极电位控制，由于 BG_4 的基射极电压与电源的输出电压只相差一个固定的电压（即稳压管 D_w 上电压），故当输出电压发生变动时， BG_1 的脉冲占空比便发生变化而使输出电压维持稳定。显然，这种电路属于脉冲宽度频率混合调制式。

为了防止电源在使用过程中出现过载或短路而引起诸如整流组件 QL 、晶体管 BG_1 及续流管 D 等元器件的损坏，设置了过流保护电路。过流保护电路由 BG_5 、 R_6 、 R_7 组成， R_7 叫电流抽样电阻，正常时 R_7 上压降小于0.6伏， BG_5 截止，此时对 BG_1 无影响，当发生过电流时， R_7 上压降大于0.6伏， BG_5 导通，相当于在 BG_4 上并了一个小电阻，使 C_2 的充电时间变长而放电时间缩短，也就是说使 BG_1 截止时间变长，导通时间缩短，结果使电源的输出电流限制在一定的数值，从而实现了保护。最后，我们来看一下储能电感 L 、续流管 D 、滤波电容 C_1 是如何工作的。

当 BG_1 导通时，续流二极管处于反偏状态而截止，输入电流在流过 BG_1 后只能流入电感 L ，由于流过 L 的电流不能突变，只能逐渐变化，所以 L 起到了滤波作用。在 BG_1 导通的过程中， L 不断

储存磁能，在前半期L中流过的电流因小于负载电流故只供应负载（此时 C_3 向负载放电以弥补负载电流的不足部分），在后半期。从L中流出的电流分成二路，一路是供应负载，另一路是将负载用不了的多余的电流送入电容 C_3 ，变为电能储存起来。当 BG_1 截止时，由于电磁感应作用电感电压发生极性颠倒，续流管D导通，储存在电感中的磁能开始转变成电流释放出来。此时流出L的电流仍分成二路，一路提供给负载以保持负载中电流的连续性，另一路将负载不用的多余电流继续送入电容 C_3 ，到电感的感应电流小于负载电流时，电容 C_3 便开始将电能释放出来，向负载提供电流，电容 C_3 的放电过程一直维持到 BG_1 重新导通流过L的电流又上升到等于负载电流时为止。这样由L、 C_3 、D共同构成了一个平滑滤波器，使负载得到一个非常稳定的直流电流。由于 BG_1 与负载是串联的，所以称这种电路为串联开关电源。图2.3为理想情况下串联开关电源主电路波形。

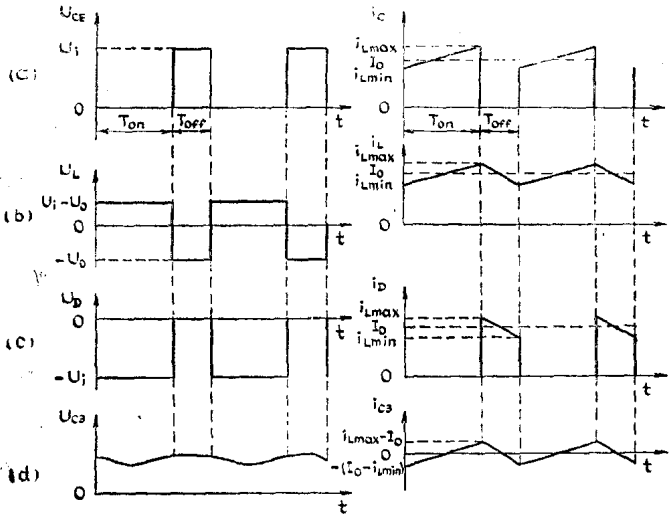


图2.3 理想情况下主电路波形