

# CUK 电路理论分析

辽宁石化职业技术学院 王华龙

## 1. 引言

CUK 变换器是一种兼有研究与应用价值的 DC/DC 变换器。CUK 变换器的电路拓扑结构由美国加州理工学院 Slobodan Cuk 博士于 1976 年在其博士论文中提出,该电路只有一个开关,控制简单,导通比可大于 0.5,在输入和输出之间由一个电容传递能量,有利于减小体积,提高功率密度。在输入和输出端均有电感,从而有效地减小了输入和输出电流的脉动,输入输出电流均连续,开关电流被限制在变换器内部,因此产生的输出纹波和电磁干扰都比较小。CUK 变换器又称 Boost-Buck 串联变换器。其基本思想是:电路的第一级是 Buck,第二级是 Boost, Buck 的输出为 Boost 的输入。

## 2. CUK 变换器的电路拓扑结构

基本的 CUK 变换器结构如图 1 所示,在升压变换器后串联一个降压变换器。其中,  $L_1$ 、 $L_2$  为储能电感,  $Q$  为功率开关管,  $D$  为续流二极管,  $C$  为传输能量的耦合电容,  $C_0$  为滤波电容。CUK 变换器能够提供一个反极性、不隔离的输出电压,输出电压可高于或低于输入电压,而且其输入电流和输出电流都是连续的、非脉动的。

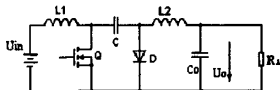


图 1 CUK 变换器电路结构

当工作在连续状态下时, CUK 变换器输入电流和输出电流不是脉动的,而且增加电感  $L_1$  和  $L_2$  的值,可使交流纹波电流的值为任意的小。

CUK 变换器像降压-升压变换器一样,可以提供某一输出电压值,其大小主要决定于图 2.1 中的开关  $Q$  占空比  $D_1$ 。在 CUK 变换器中的开关、二极管和电容的电流与工作在相同电压增益及输入电压的降压-升压变换器相对应的电路相比是相当的,但如果输入和输出抗电磁干扰滤波器加到降压-升压变换器时, CUK 变换器结构显得简单得多。

### 2.1 电路工作原理

1. 为分析稳态特性,简化推导公式的过程,特作如下几点假定:

(1) 开关晶体管、二极管均是理想元件,也就是可以快速的“导通”和“截止”,而且导通时压降为零,截止时漏电流为零。

(2) 电感、电容是理想元件。电感工作在线性区而未饱和,寄生电阻为零,电容的等效串联电阻为零。

(3) 输出电压中的纹波电压与输出电压的比值小到允许忽略。

### 2. 工作过程

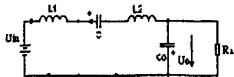


图 2 Q 导通状态的等效电路

Q 导通 ( $0 \leq t \leq t_{on}$ )

在  $t_{on}$  期间,  $Q$  导通, 等效电路如图 2 所示。  $L_1$  储能, 电容  $C$  上的电压使  $D$  反偏, 通过负载  $R_L$  和  $L_2$  传输能量, 负载获得反极性电压,  $L_2$ 、 $C_0$  储能。  $Q$  管和二极管  $D$  同步工作,  $Q$  导通,  $D$  截止;  $Q$  截止,  $D$  导通。

在  $t_{on}$  期间,  $L_1$  中的电流以  $V_{in}/L_1$  的速率线性上升,  $L_1$  的电流增量为:

$$\Delta i_{L1(on)} = \frac{V_{in}}{L_1} t_{on} = \frac{V_{in}}{L_1} D_1 T \quad (2.1)$$

在  $t_{on}$  期间,  $C$  供电,  $L_2$  储能, 若  $C$  的值足够大, 可忽略  $C$  上的压降, 则  $L_2$  上的电压为  $V_c - V_o$ ,  $L_2$  中的电流以  $(V_c - V_o)/L_2$  的速率线性上升, 在  $t_{on}$  期间,  $L_2$  的电流增量为:  $\Delta i_{L2(on)} = \frac{V_c - V_o}{L_2} t_{on} = \frac{V_c - V_o}{L_2} D_1 T$  (2.2)

Q 关断 ( $t_{on} \leq t \leq T$ )

在  $t_{off}$  期间,  $Q$  截止, 等效电路如图 3 所示。  $D$  导通, 电容  $C$  被充电,  $L_1$  通过  $C$  和  $D$  向  $C$  充电储能, 同时  $L_2$  向负载释放能量。无论在  $t_{on}$  期间还是在  $t_{off}$  期间都能从输入向输出传输能量, 只要电感  $L_1$ 、 $L_2$  和电容  $C$  足够大, 输入输出电流基本是平滑的。在  $t_{off}$  期间  $C$  充电, 在  $t_{on}$  期间  $C$  向负载放电, 可见  $C$  起着传递能量的作用

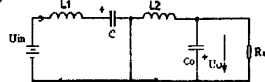


图 3 Q 关断状态的等效电路

在  $t_{off}$  期间,  $L_1$  释放能量,  $L_1$  上的压降为  $V_{in} - V_c$ ,  $L_1$  中的电流以  $(V_{in} - V_c)/L_1$  的速率线性下降,  $L_1$  的电流减量为:  $\Delta i_{L1(off)} = \frac{V_{in} - V_c}{L_1} t_{off}$  (2.3)

其中,  $V_c$  为电容  $C$  上的平均电压值。

能量的储存和传递是同时在两个开关期间(即  $t_{on}$  和  $t_{off}$ )和两个环路中进行的如图 2.4 所示。设开关周期为  $T$ , 导通期为  $t_{on} = D_1 T$ , 截止期为  $t_{off} = (1 - D_1) T$ ,  $D_1 = t_{on}/T$  为导通占空比。当经过若干周期进入稳态后:

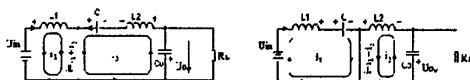


图 4 CUK 变换器中电流分配

(a) Q 导通 (b) Q 关断

(1) 在  $t_{on}$  期间, 如图 4(a) 所示。此时  $Q$  导通, 把输入输出环路闭合,  $D$  反偏而截止, 这时输入电流  $i_1$  使  $L_1$  储能;  $C$  的放电电流  $i_2$  使  $L_2$  储能, 并供给负载。

(2) 在  $t_{off}$  期间, 如图 4(b) 所示。  $Q$  截止,  $D$  正偏而导通, 将输入输出环路闭合。这时电源输入和  $L_1$  的释能电流  $i_1$  向  $C$  充电, 同时  $L_2$  的释能电流  $i_2$  以维持负载。由此可见, 这个电路无论在  $t_{on}$  及  $t_{off}$  期间, 都从输入向输出传递功率。只要输入输出电感  $L_1$ 、 $L_2$  及耦合电容  $C$  足够大, 则  $L_1$  及  $L_2$  中的电流基本上是恒定的。在  $t_{off}$  期间, 输入电流  $i_1$  使  $C$  充电储能; 在  $t_{on}$  期间,  $C$  向负载放电释能。因此,  $C$  是个能量的传递元件。

### 2.2 电路各点的波形

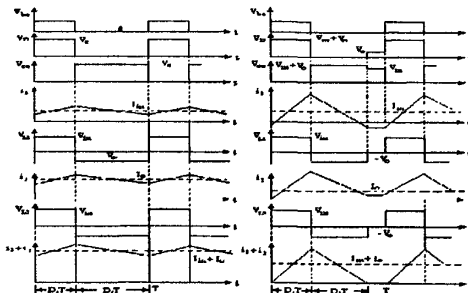


图 5 CUK 变换器工作波形

(a) 电感电流连续 (b) 电感电流不连续

电路进入稳态后, 图 5(a) 所示为电感电流连续工作模式; 图 5(b) 所示为电感电流不连续工作模式。分析时, 除以前相似假定外, 并设电容  $C$  上的电压  $V_c$  的纹波与其平均值之比很小, 这样  $V_c$  可认为是恒定电压。

### 3. CUK 变换器变形演化原理

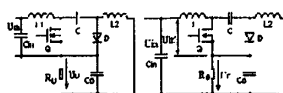


图 6 CUK 变换器变形演化过程

(a) CUK 变换器的等效变换

(b) 变形演化后的 CUK 变换器

# 初中数学课堂教学的情境创设

河南省安阳市外国语学校 刁晓慧

学生的学习积极性顺利完成学习任务的心理前提,而学习积极性又是学习动机伴随学习兴趣形成的,第斯多惠说:“教学的艺术不在于传授的本领,而在于激励、唤醒、鼓舞。”教学实践证明,精心创设各种教学情境,能够激发学生的学习动机和各种好奇心,培养学生的求知欲望,调动学生思维活动的积极性和自觉性,促使学生为问题的解决形成一个合适的思维意向。以下是我在数学课堂教学中的尝试。

一、用故事创设情境。这可以集中学生注意力,活跃课堂气氛,使学生看到数学也是一门有趣的学科。

例如:在讲“平面直角坐标”之前,讲一个笛卡儿发明直角坐标系的故事,数学家笛卡儿潜心研究能否用代数中的计算来代替几何中的证明时,有一天,在梦境中他用钥匙打开了数学宫殿的大门,遍地的珠之光彩夺目。他看见窗框角上有一只蜘蛛正忙着织网,顺着吐出的丝在空中飘动。一个念头闪过脑际:眼前这一条条的经线和纬线不正是全力研究的直线和曲线吗?惊醒后,灵感的阶段终于来了,那只蜘蛛的位置不是可以由它到窗框两边的距离来确定吗?蜘蛛在爬行过程中结下的网不正是说明直线和曲线可以由点的运动而产生吗?由此,笛卡儿发明了直角坐标系,解析几何诞生了。

二、用新颖而又有趣的事例,生动而又富有感情的讲述创设情境。教师一上课,不直接板书课题,而以充沛而丰富的思想感情,用有趣而富有思考的问题,用精湛而富有魅力的谈话,吸引学生的注意,激发学生的兴趣,以产生直接的内驱力。

在讲麻的运算之前,讲芝麻与太阳的质量:一粒芝麻的质量不到克,它与太阳的质量简直是不能相比的。但是,如果把一粒芝麻作为第一代播种下去,收获的芝麻作为第二代,把第二代再播种下去……,如果播种下的芝麻全部能发芽,成长,这样一直到第十三代,芝麻的质量是太阳质量的5倍!这是一个惊人的增长,学生求知的欲望。这时就可以顺势导入幂的运算。

三、用数字实验创设情境。根据抽象与具体相结合,可把抽象的理论直

观化,不仅能丰富学生的感性认识,加深对理论的理解,且能使学生在观察、分析的过程中茅塞顿开,情绪倍增,从而达到培养学生创造性思维能力的目的。

在讲授“证明”时,拿出一条长长的纸带,把一头反面刷上浆糊与另一头的正面粘合在一起,变成一个大圆圈,问学生:把这个纸圈沿着纸带中心线剪开,会得到什么结果?学生说会变成两个纸圈。教师拿起剪刀沿中心线剪开,学生个个睁大眼睛;并没有得到两个纸圈。这说明在数学上单凭想当然是靠不住的,从而引出推理和下结论须步步有据。

四、联系旧知识,创设情境。教师在复习与新课有关旧知识的过程中,以旧引新,激发学生对新知识的探求。

在讲“三角形中位线定理”时,先让学生画任意的凸四边形,把各边中点依次连结起来,当学生发现这些图形都是平行四边形时,会感到惊讶和疑问,从而引出课题。

五、利用生产和生活中的实际问题创设情境。对于实际问题,学生看得见,摸得着,有的亲身经历过。所以当老师提出这些问题时,他们跃跃欲试,想学以致用。这能起到调动学习积极性的作用。

在讲“正多边形和圆”时,指出正多边形有无数种,那些正多边形可以用来设计铺地的美术瓷砖?因为周角等于3600,所以用正多边形既无空隙又不重叠地铺满地面的条件是:围绕每一公共顶点P的各角之和等于3600,通过计算得出:用一种规格的瓷砖铺地,只能使用正三角形,正方形和正六边形三种。

创设课堂教学情境的方法是多种多样的,教师应根据具体情况和条件,创造出适合学生思想实际,内容健康有益,紧紧围绕教学中心而又富有感染力的教学情境;同时,要使学生情景交融之中愉快地探索,深刻地理解,牢固地掌握所学的数学知识。

虽然Cuk变换器有很多优点,但是Cuk变换器都没有得到广泛的应用。最主要的原因对于开关管、二极管的电压要求与单管正/反激式开关电源的要求相同,在大占空比条件下开关管承受的应力比较大,需要两个电感,使电路变得复杂,体积增大,需要耦合电容器,而耦合电容器将流过高幅值的纹波电流,普通电容器不能满足要求,由于是两级变换器,效率有所下降。针对Cuk变换器的问题可以通过演化,避开缺点,发挥优点。

Cuk变换器变形演化过程如图6所示。

基本Cuk变换器的输入输出关系为

$$U_o = \frac{-D}{1-D} U_{in} \quad (3.1)$$

假设输出电压 $U_o$ 恒定不变,而且电感 $L_1=L_2$ 。将基本Cuk变换器等效变换成图6(b),输出电压的参考方向改变,输入输出关系变为

$$U_o = \frac{D}{1-D} U_{in} \quad (3.2)$$

将变换器的输入端由原来接开关管改为接输出负端,如图6(b)所示,这时的变换器的实际输入电压为:

$$U_{in}' = U_{in} - U_o \quad (3.3)$$

变形后Cuk变换器的输入输出关系为

$$U_o = \frac{D}{1-D} (U_{in} - U_o) \quad (3.4)$$

开关管与二极管的电压峰值为

$$U_{U_1} = U_{in} \quad (3.5)$$

$$U_{U_2} = U_{in} \quad (3.6)$$

与Buck变换器的输入输出关系相同。Buck变换器在开关管导通期间,输入向输出提供电能,并将多于输出的电能存储在电感中。开关管关断期间,由于开关管的关断,输入与输出间的通路消失,输入不能向输出提供电能,而由电感释放储能的方式向输出提供电能。

## 参考文献:

1. Slobodan Cuk R D Middlebrook. A New Optimum Switching DC-to-DC Converter. Power Electronics Specialists Conference, 1977, PESC 77 Record: 160-179
2. Spangler. J. Proc. Sixth Annual Applied Power Electronics Conf, 1991.10-15
3. 周志敏, 周纪海. 开关电源实用技术设计与应用. 北京: 人民邮电出版社, 2007
4. 王增福, 魏永明. 开关电源原理与应用. 北京: 电子工业出版社, 2006
5. 林渭勋. 现代电力电子技术. 北京: 机械工业出版社, 2005
6. 阳鸿钧. 电源集成电路必备宝典. 北京: 机械工业出版社, 2007

# CUK电路理论分析

作者: [王华龙](#)  
作者单位: [辽宁石化职业技术学院](#)  
刊名: [金色年华\(下\)](#)  
英文刊名: [GOLDEN TIMES](#)  
年, 卷(期): 2011(5)

## 参考文献(6条)

1. [阳鸿钧](#) [电源集成电路必备宝典](#) 2007
2. [林渭勋](#) [现代电力电子技术](#) 2005
3. [王增福;魏永明](#) [软开关电源原理与应用](#) 2006
4. [周志敏;周纪海](#) [开关电源实用技术设计与应用](#) 2007
5. [Spangler. J](#) [查看详情](#) 1991
6. [Slobodan Cuk;R D Middlebrook](#) [A New Optimum Switching DC-to-DC Converter](#) 1977

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_jsnh201105252.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsnh201105252.aspx)