

第5章 直直变换器



5.1 概述

- **直直变换器**（DC/DC Converter），即直流/直流变换器，它是将一种直流电源变换为另一种具有不同输出特性的直流电源的电力电子装置。
- 它通过对电力电子器件的快速通、断控制，而把恒定直流电压斩成一系列的脉冲电压，通过控制**占空比**的变化来改变这一脉冲序列的脉冲宽度，以实现输出电压平均值的调节，再经输出滤波器滤波，在负载上得到电压可控的直流电能。

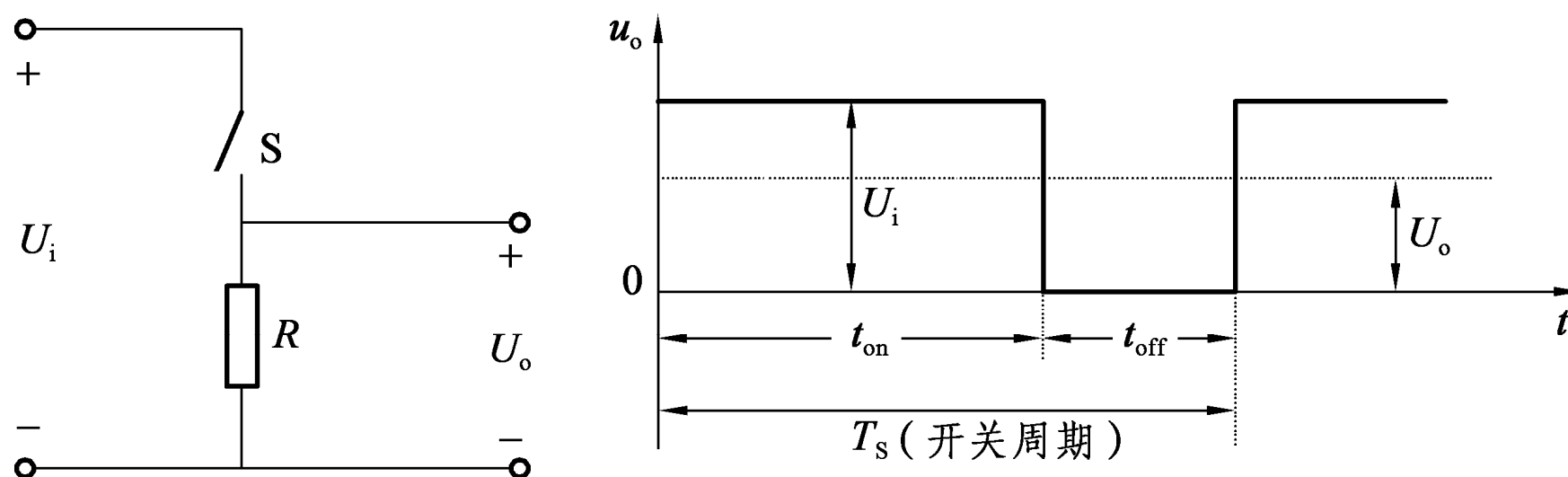
5.1 概 述

1.直直变换器的类型

- 直直变换器按输出端与输入端是否有电气隔离，可分为隔离型直直变换器和非隔离型直直变换器两类。
- 根据功能和电路结构形式，非隔离型直直变换器又可分为降压型、升压型、升降型和 Cuk 型等；
- 而隔离型直直变换器可分为正激型、反激型、半桥型、全桥型和推挽型等。

5.1 概 述

2.直直变换器的基本电路及波形

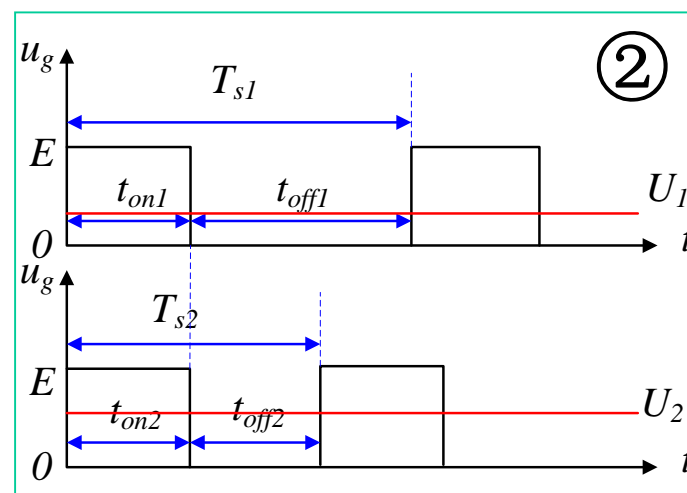
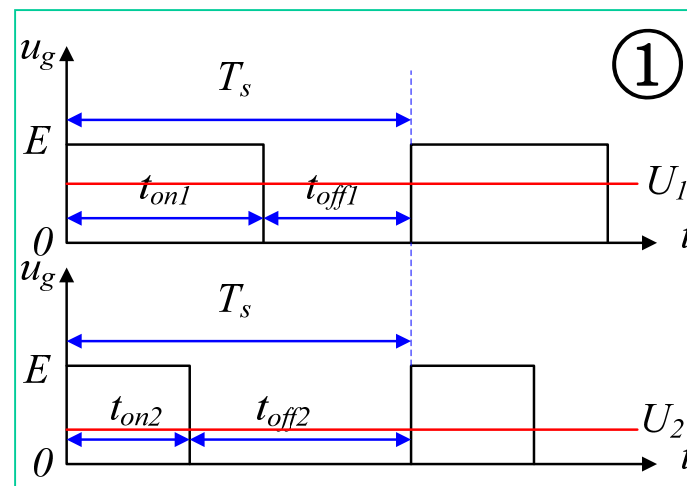


□ 如果开关导通时间设为 t_{on} ，关断时间设为 t_{off} ，从波形图中可看出，输出的平均电压 U_o 大小取决于开关的通断时间（ t_{on} 和 t_{off} ）。

5.1 概述

3. 控制输出电压基本的三种方法:

- ① 定频调宽控制。这种控制方式是保持开关工作频率不变，只改变开关的导通时间 t_{on} 。
- ② 定宽调频控制。这种控制方式是保持开关导通时间 t_{on} 不变，而改变开关的工作频率。
- ③ 调频调宽混合控制。这种控制方式不但改变开关的工作频率，而且也改变开关的导通时间。



5.1 概 述

在分析直直变换器电路时，用到的两个基本原理：

- ① 稳态条件下电感两端电压在一个开关周期内的平均值为零。
- ② 稳态条件下电容电流在一个开关周期内的平均值为零。

5.2 非隔离型直直变换器

5.2.1 降压（Buck）型直直变换器

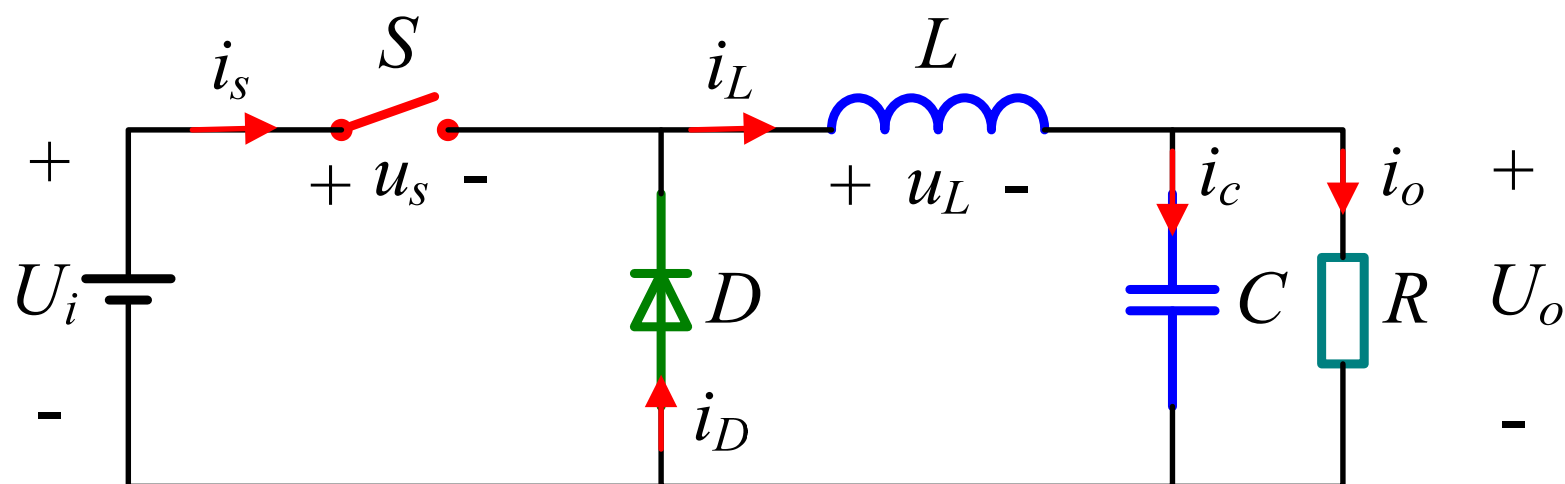


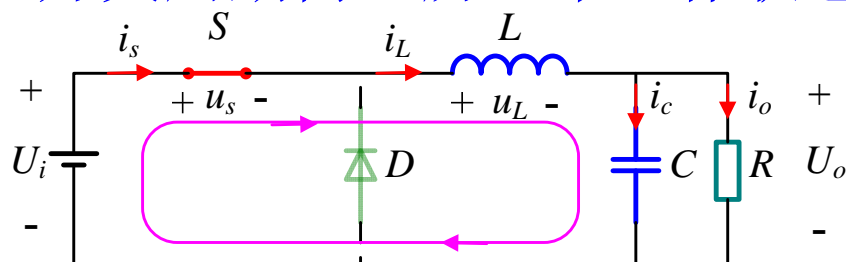
图 5.3 降压型直直变换器的电路结构

该电路存在电感电流连续和电感电流断续两种工作模式。

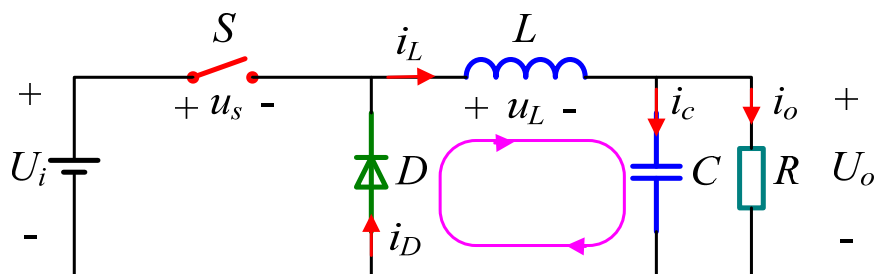
5.2.1 降压 (Buck) 型直直变换器

1. 电感电流连续工作模式

□ 当电感电流连续时，电路在 1 个开关周期内经历 2 个工作状态



(a) 工作状态 1 (S 接通, D 关断)



(b) 工作状态 2 (S 断开, D 导通续流)

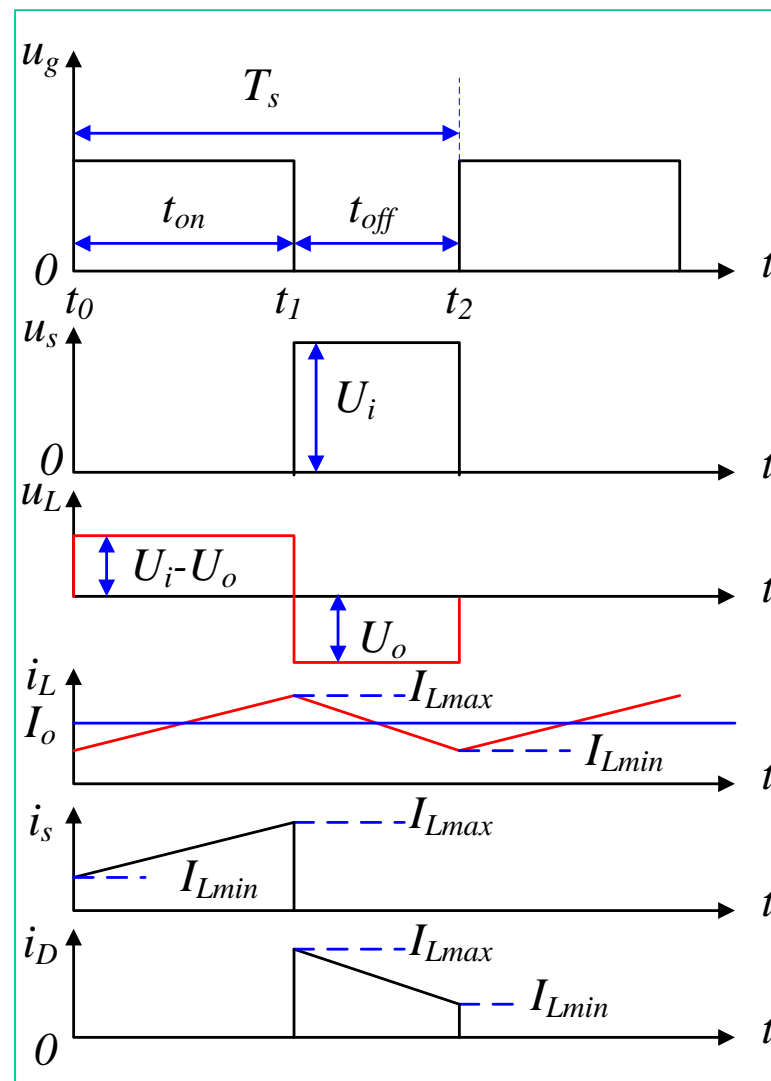


图5.4-5.5 降压型电路电流连续模式下的工作状态和波形

5.2.1 降压（Buck）型直直变换器

2. 电感电流临界连续

□ 降压型直直变换器电路的电感电流处于连续与断续的临界状态时，在每个开关周期开始和结束的时刻，电感电流正好为零。

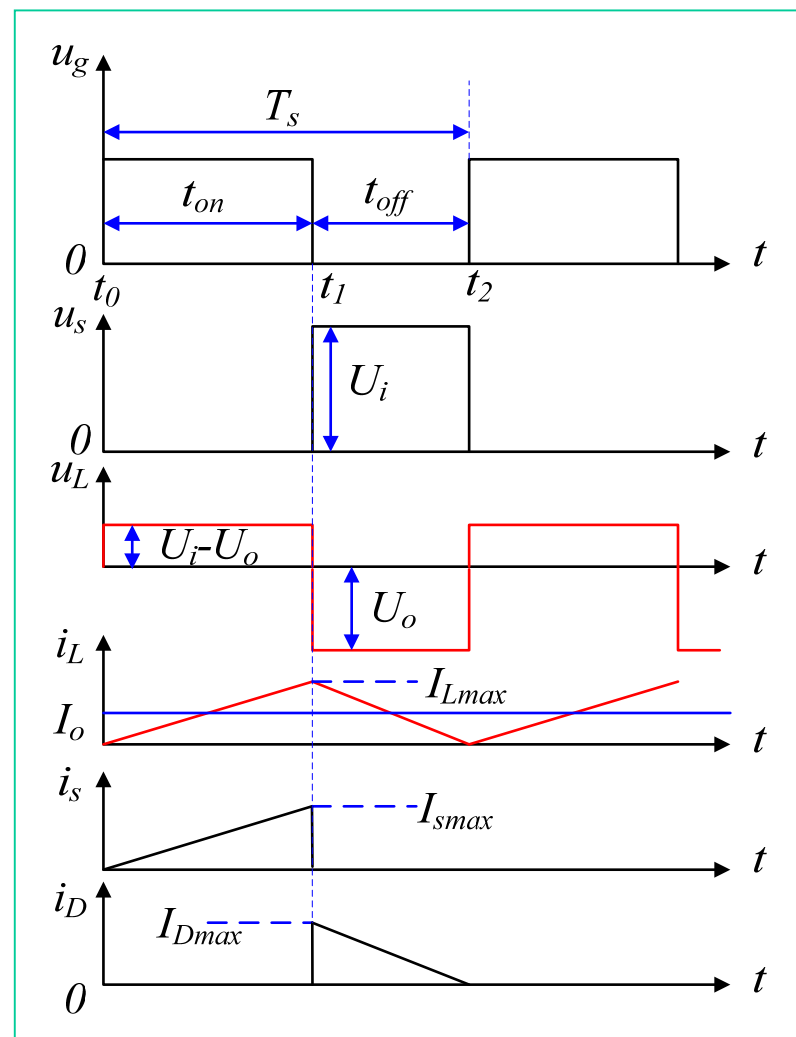


图5.8 降压型电路电流连续与断续临界状态时的工作波形

5.2.1 降压（Buck）型直直变换器

3. 电感电流断续工作模式

□ 当电流断续时，该电路在 1 个开关周期内经历 3 个工作状态

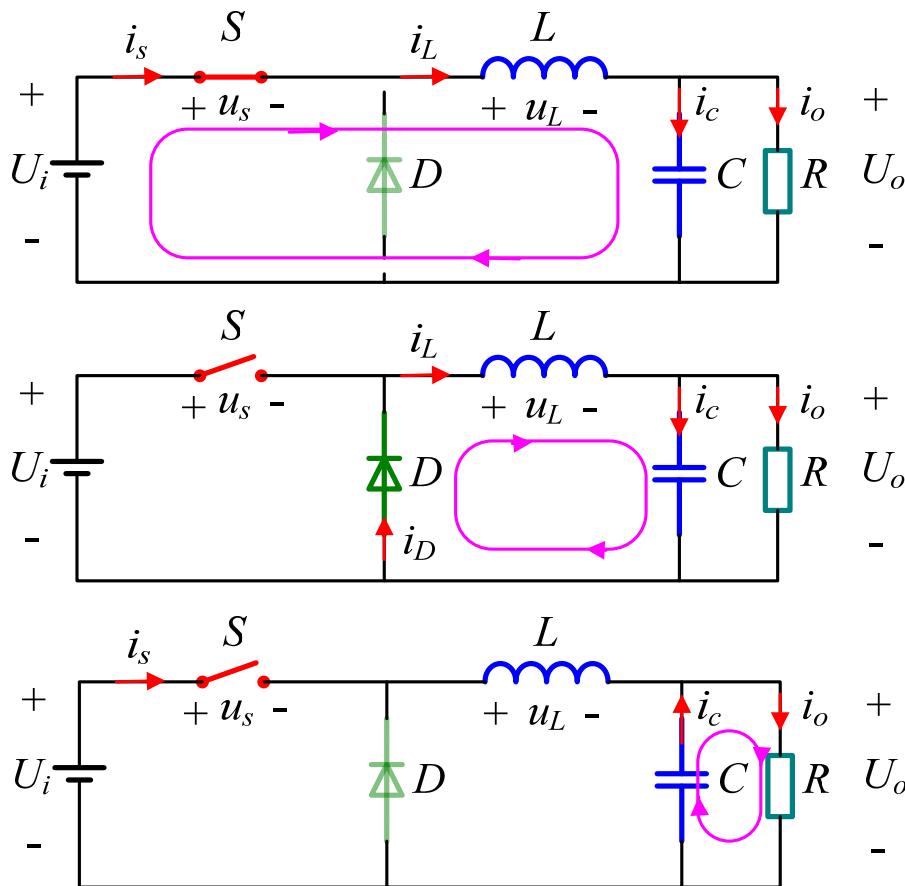


图 5.6 降压型电路电流断续时的工作状态

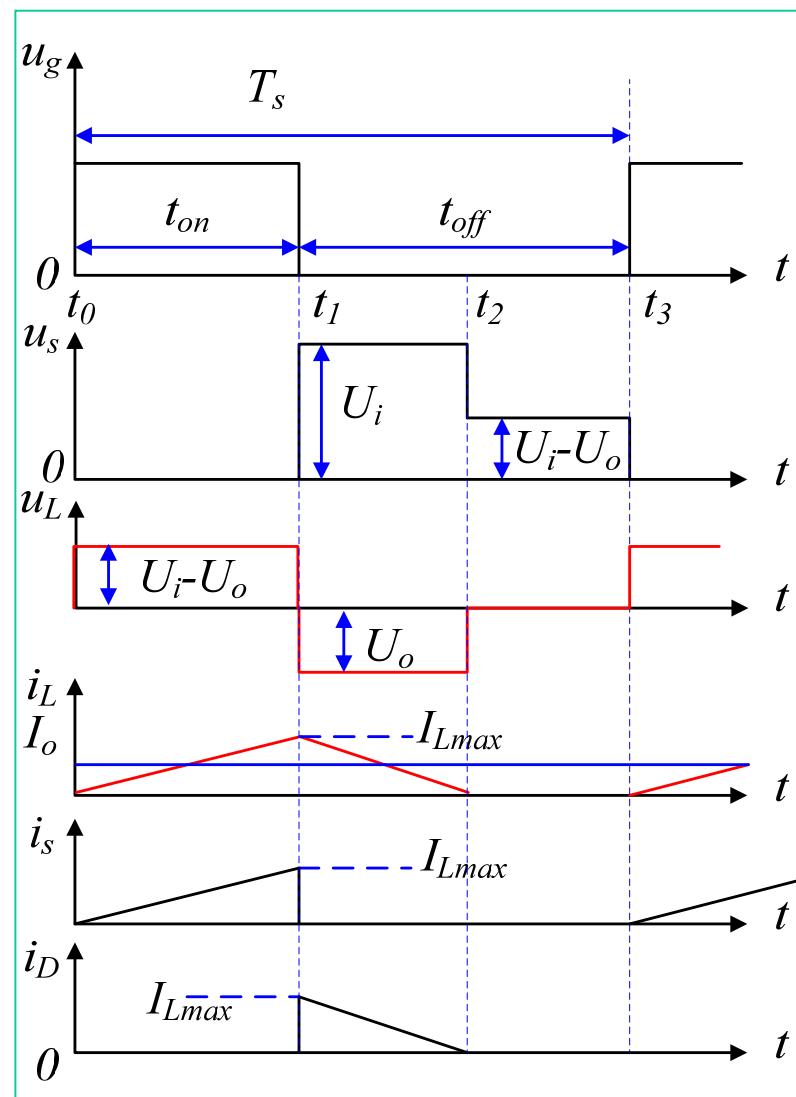
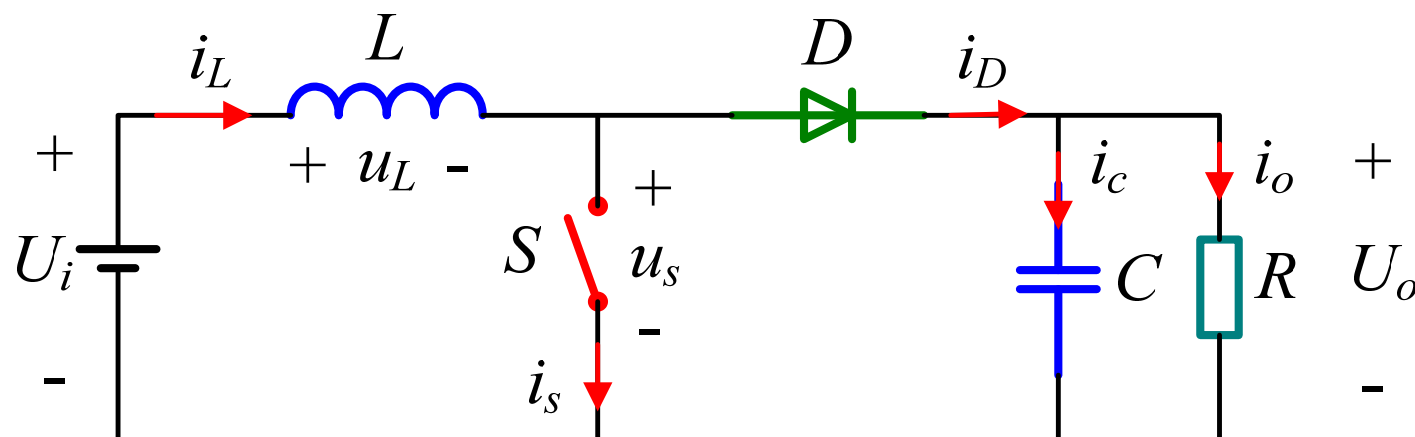


图 5.7 降压型电路电流断续时的工作波形

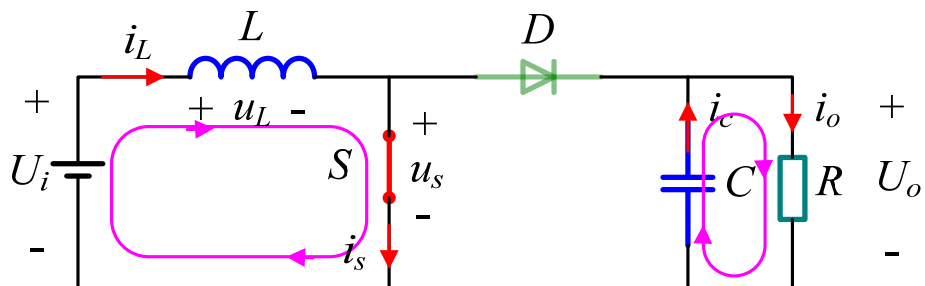
5.2.2 升压 (Boost) 型直直变换器



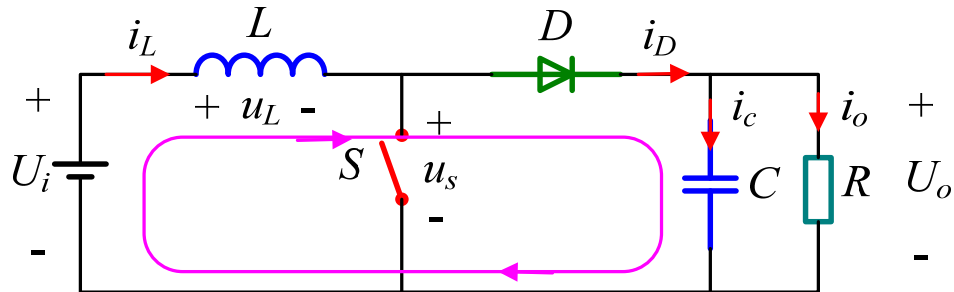
- 当开关 S 接通时，二极管 D 反向偏置，使输入与输出隔离，输入能量供给电感 L 。
- 当开关 S 断开时。输入能量以及电感储能供给输出负载。
- 假设滤波电容 C 足够大，稳态时，可认为输出电压恒定， $u_o(t) \approx U_o$ 。

5.2.2 升压 (Boost) 型直直变换器

1. 电感电流连续工作模式



(a) 工作状态 1 (S 接通)



(b) 工作状态 2 (S 断开)

图 5.11 升压型电路电流连续时的工作状态

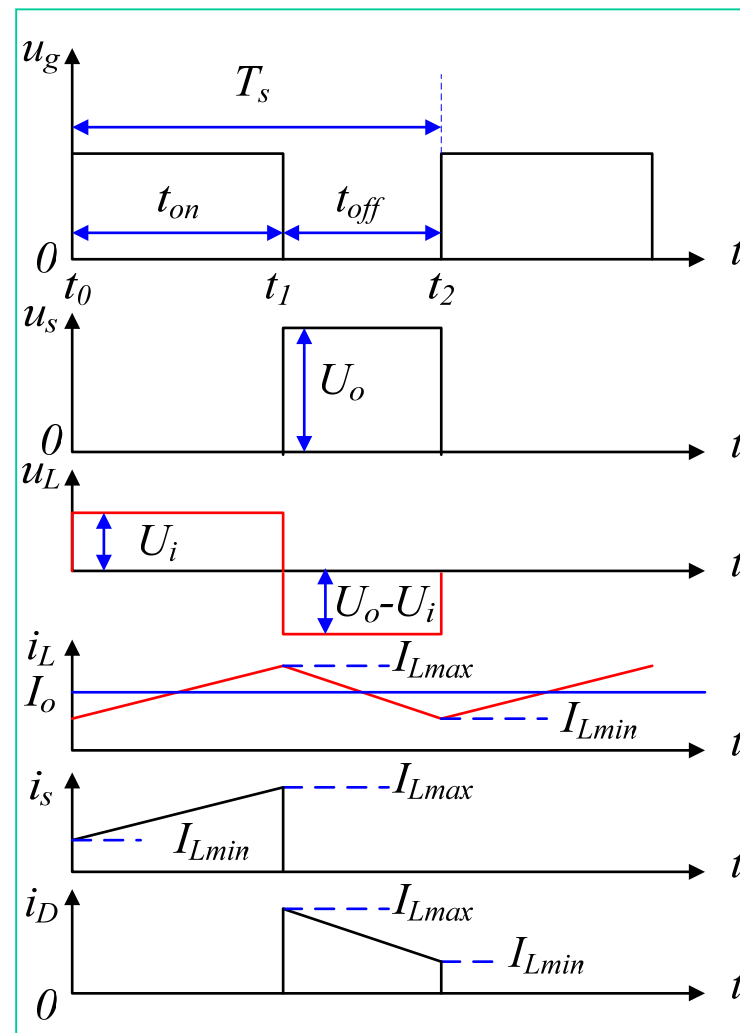


图 5.12 升压型电路电感电流连续时的工作波形

5.2.2 升压 (Boost) 型直直变换器

2. 电感电流临界连续

□ 升压型直直变换器电路的电感电流处于连续与断续的临界状态时，在每个开关周期开始和结束的时刻，电感电流正好为零。

临界电流
平均值
$$I_{oK} = \frac{D(1-D)^2}{2L} U_o T_s$$

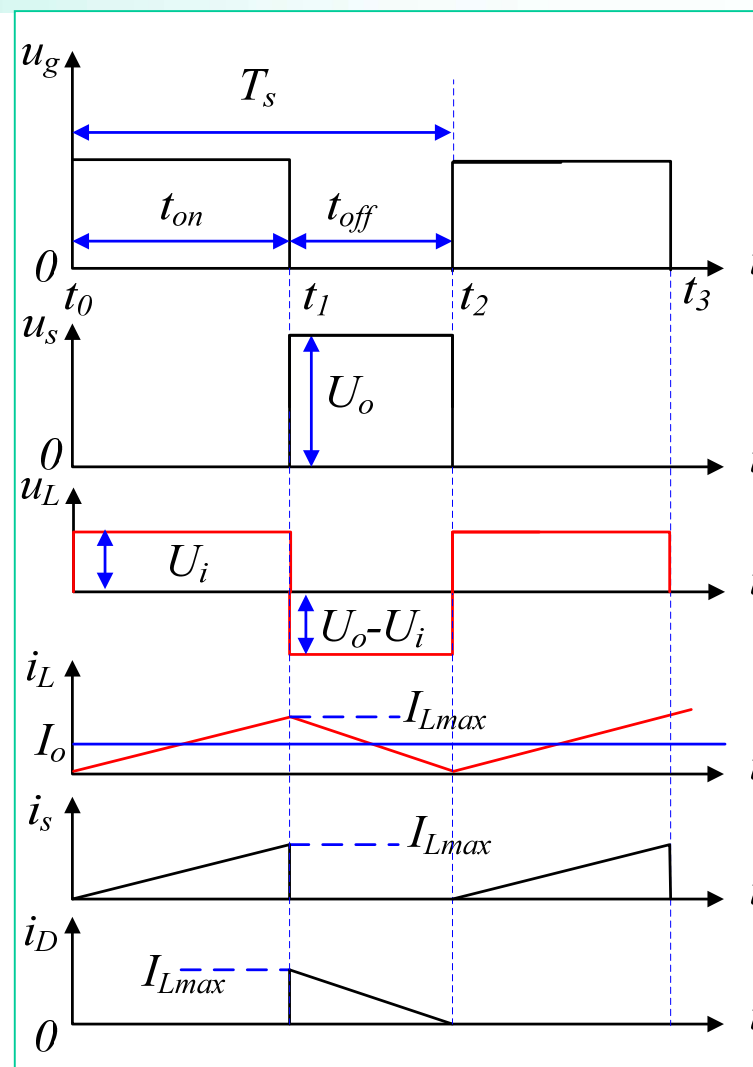
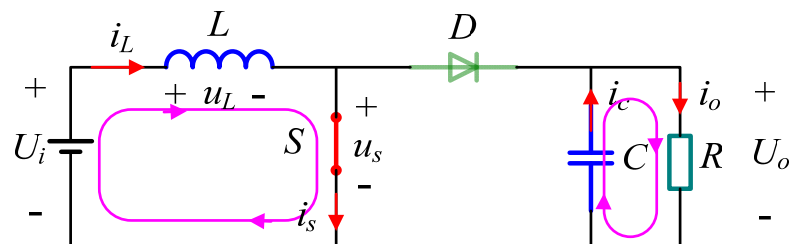


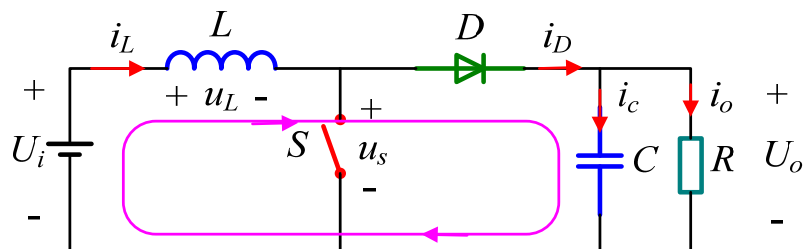
图 5.15 升压型电路电感电流连续与断续临界状态时的工作波形

5.2.2 升压 (Boost) 型直直变换器

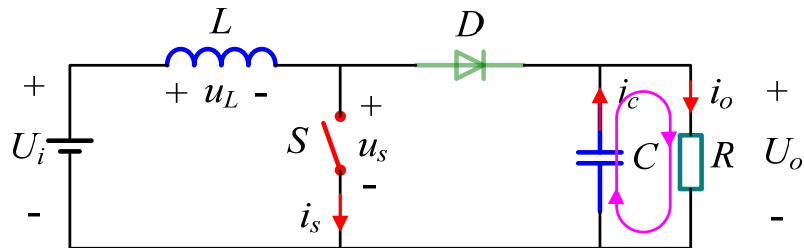
3. 电感电流断续工作模式



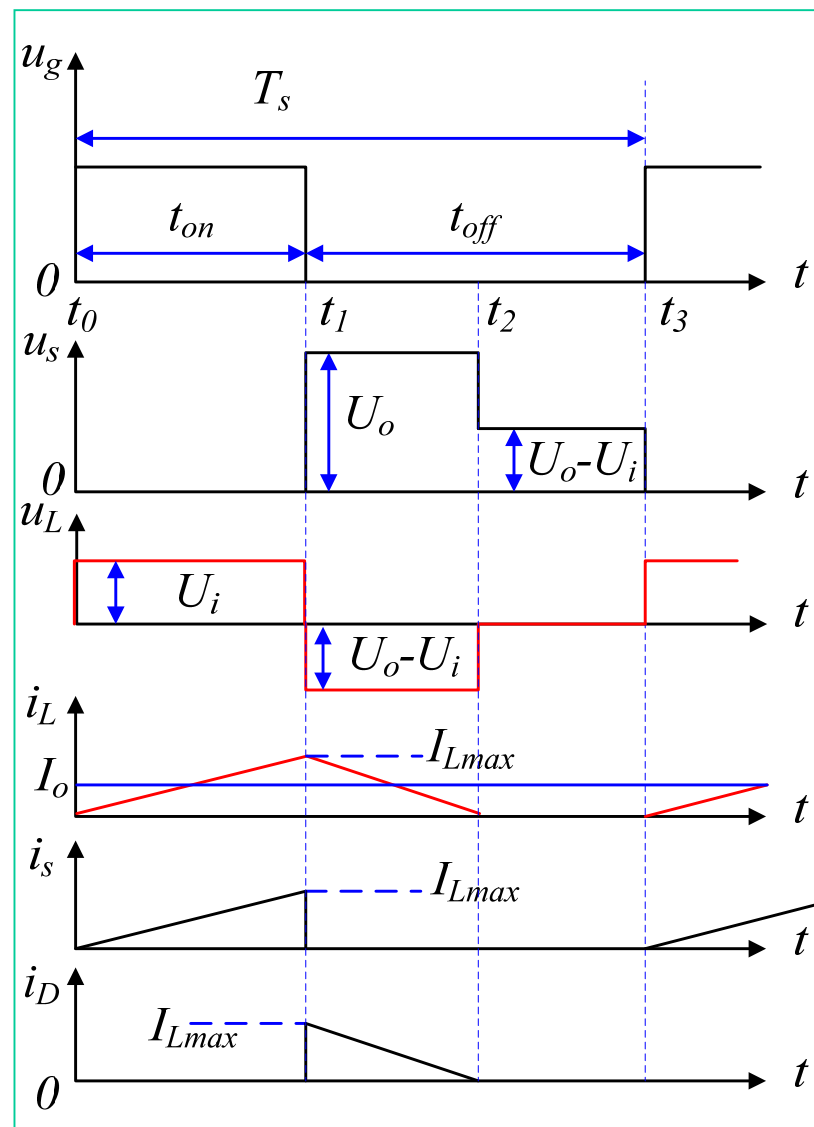
(a) 工作状态 1 (S 接通)



(b) 工作状态 2 (S 断开)



(c) 工作状态 3 (电感电流为零)



5.2.3 升降压 (Buck-Boost) 型直直变换器

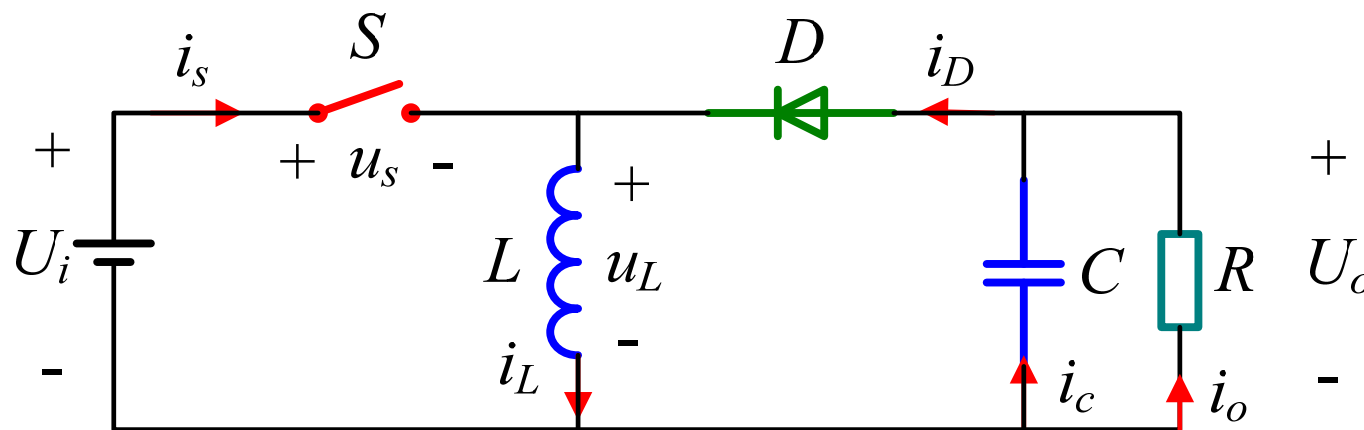


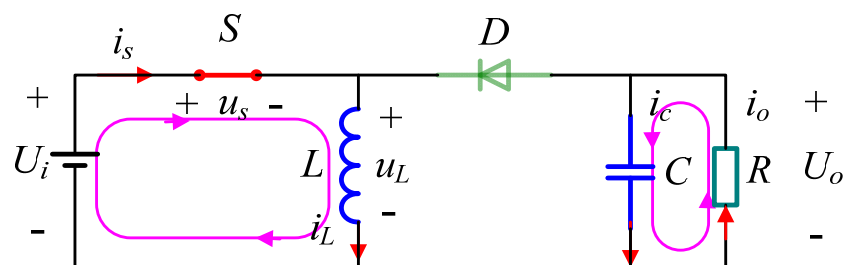
图 5.17 升降压型直直变换器的基本电路

当开关 S 接通时，输入提供能量给电感，二极管 D 反向偏置；当开关 S 断开时，电感储能供给负载，此时，输入不供给能量。

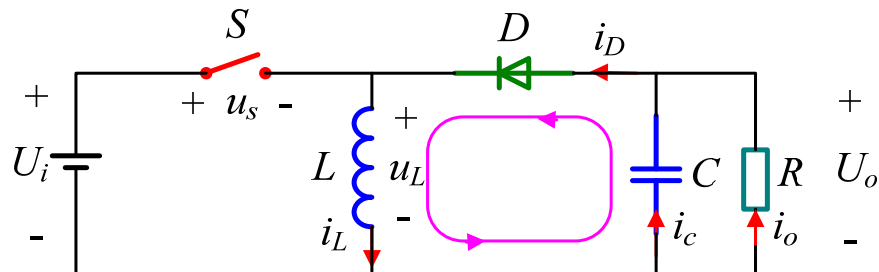
稳态分析时，因电容 C 足够大，可认为输出电压恒定，即 $u_o(t) \approx U_o$ 。

5.2.3 升降压 (Buck-Boost) 型直直变换器

1. 电感电流连续工作模式



(a) 工作状态 1 (S 接通)



(b) 工作状态 2 (S 断开)

图 5.18 升降压型电路电感电流连续时的工作状态

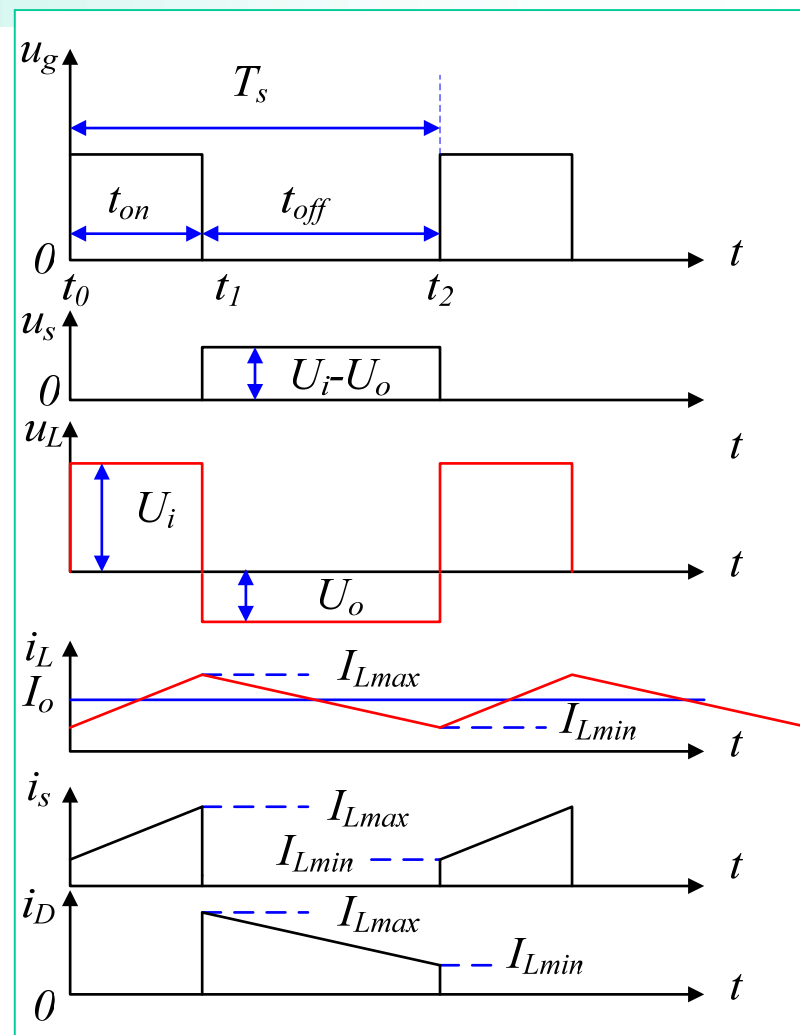


图 5.19 升降压型电路电感电流连续时的工作波形

5.2.3 升降压 (Buck-Boost) 型直直变换器

2. 电感电流临界连续

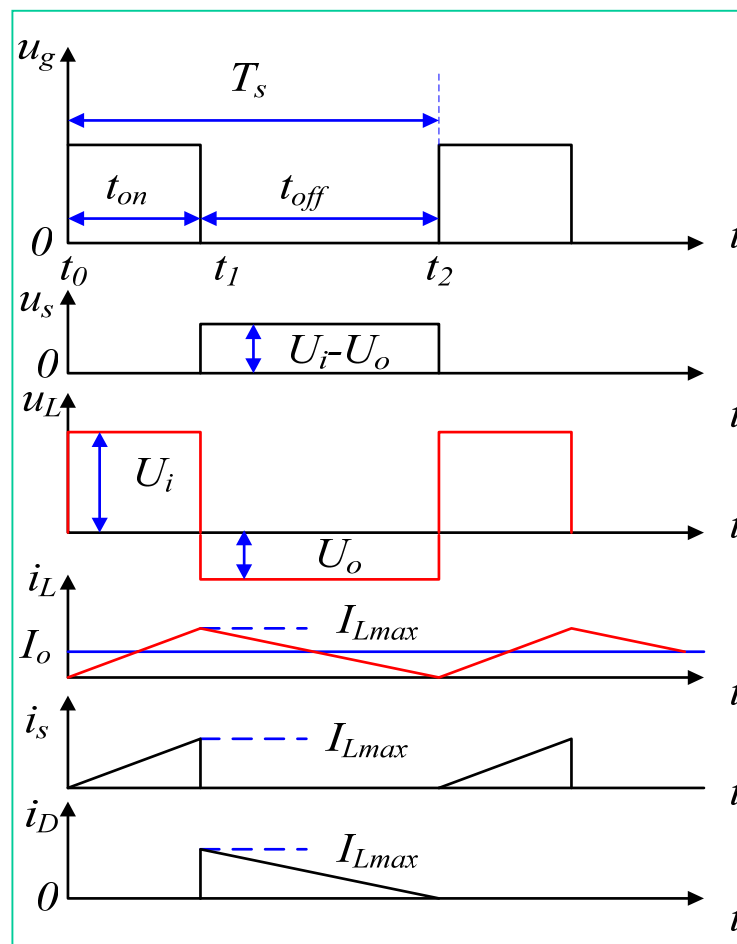


图 5.22 升降压型电路电感电流连续与断续临界时的工作波形

5.2.3 升降压 (Buck-Boost) 型直直变换器

2. 电感电流断续工作模式

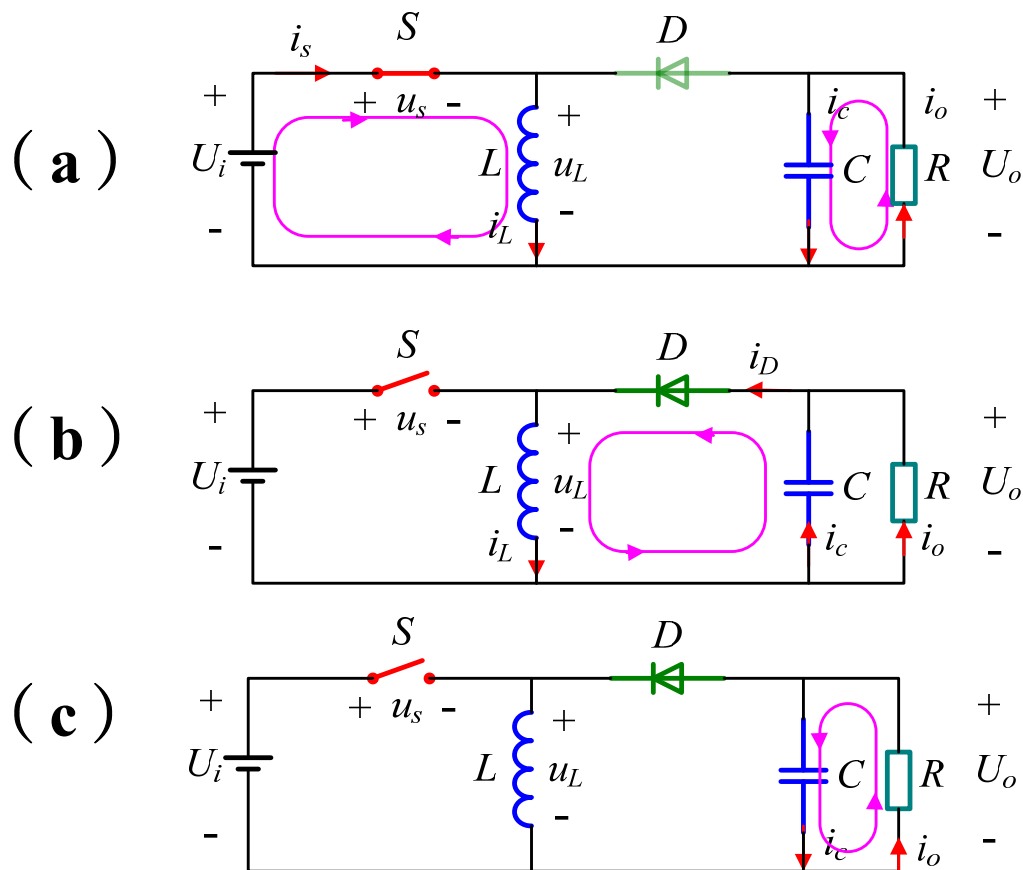


图 5.20 升降压型电路电感电流断续时的工作状态

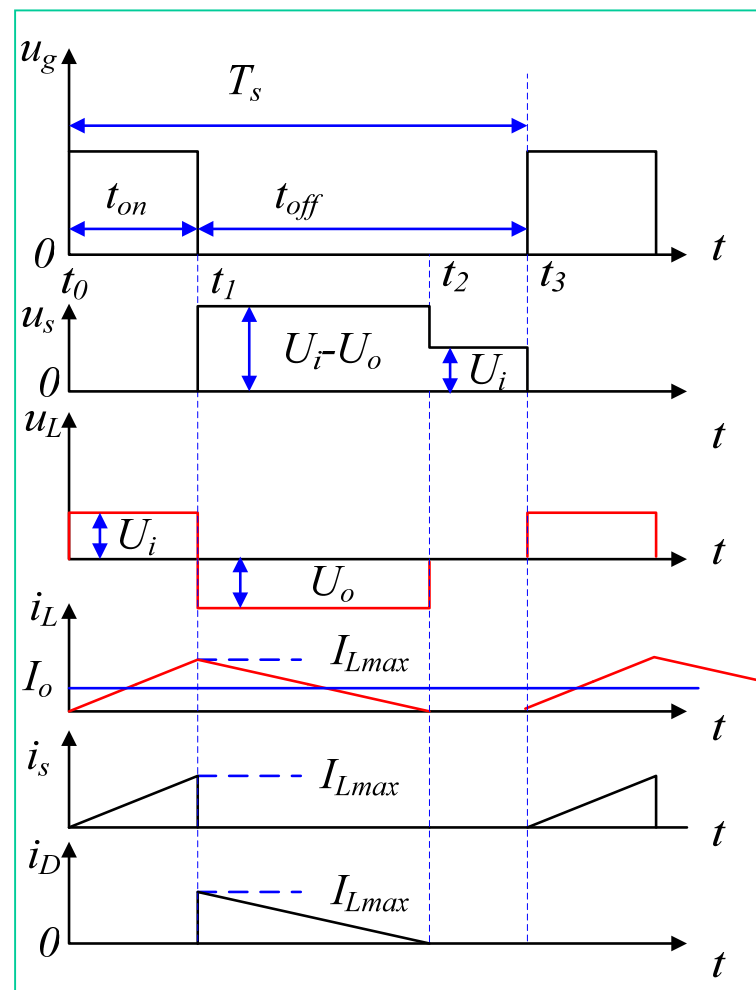
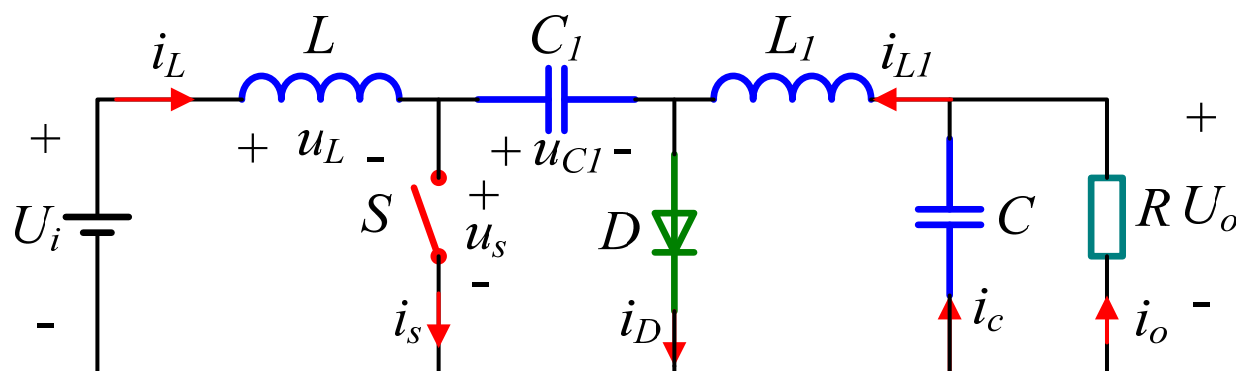


图 5.21 升降压型电路电感电流断续时的工作波形

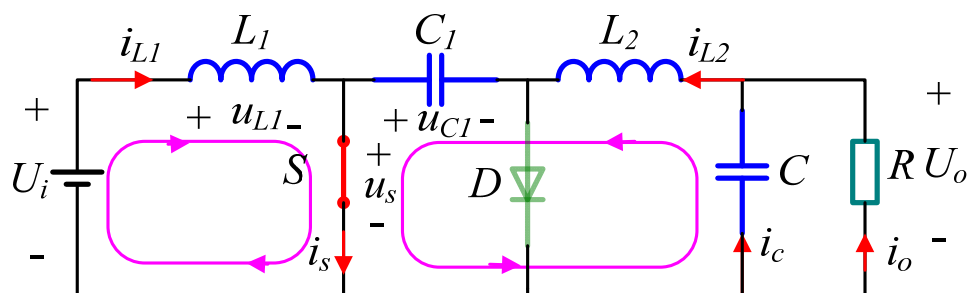
5.2.4 Cuk 型直直变换器



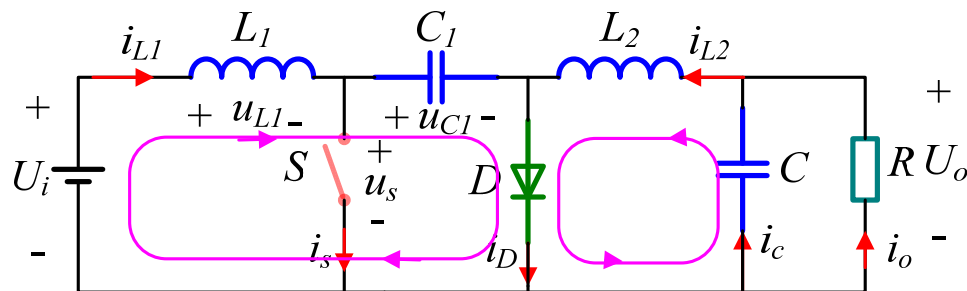
- Cuk（丘克）型直直变换器的电路结构
- Cuk 变换器可输出相对于输入电压为负极性的电压，电路中电容 C_1 用于存储能量并把输入能量传送到输出端。

5.2.4 Cuk 型直直变换器

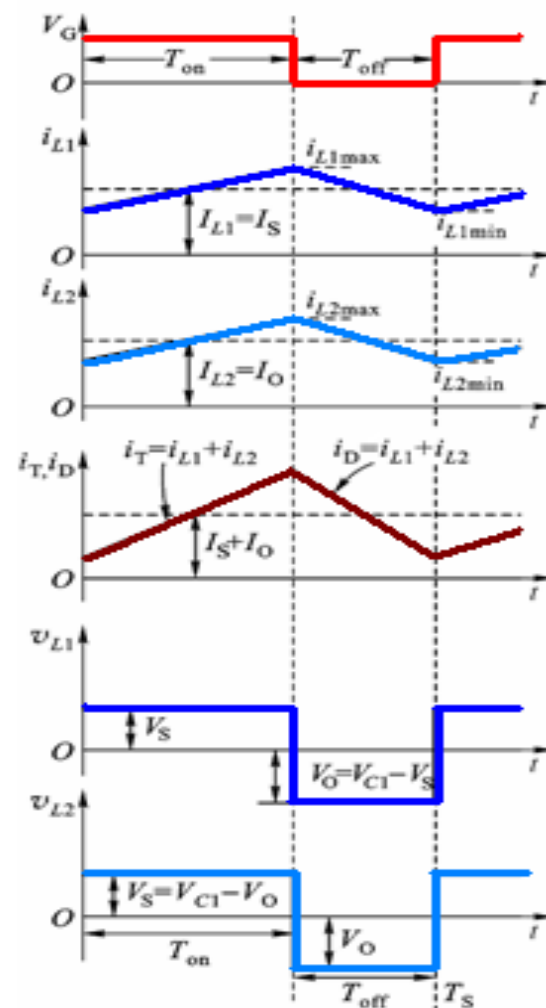
电感 L 和 L_1 的电流都连续时，电路在 1 个开关周期内经历 2 个工作状态，如图 5.25 所示。



(a) 工作状态 1 (S 接通)

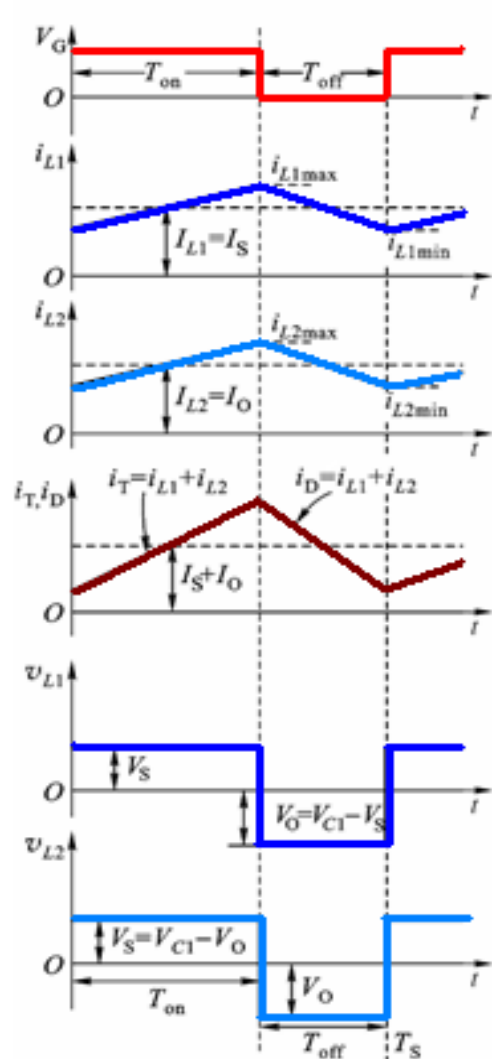


(b) 工作状态 2 (S 断开)

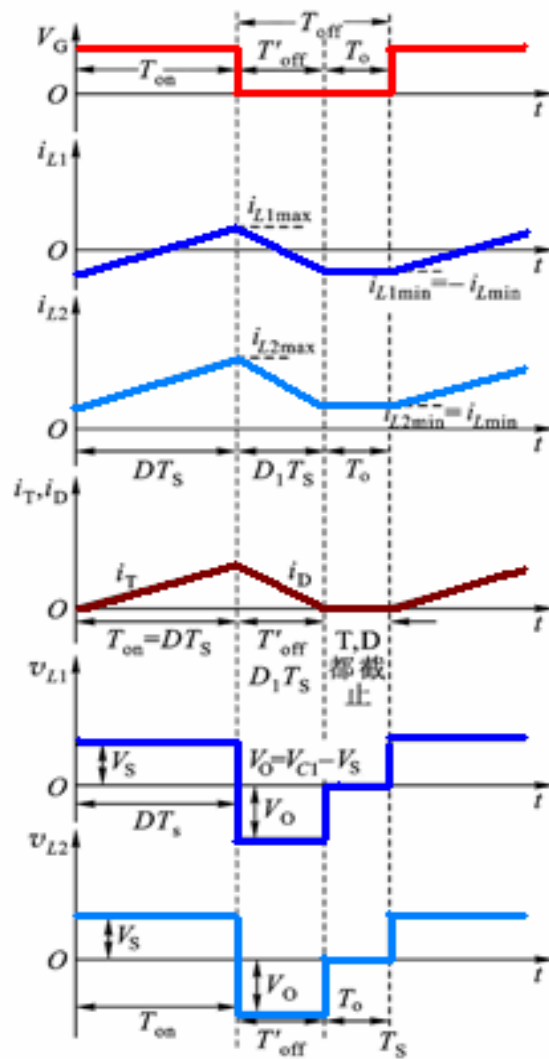


(c) 电流连续时波形图

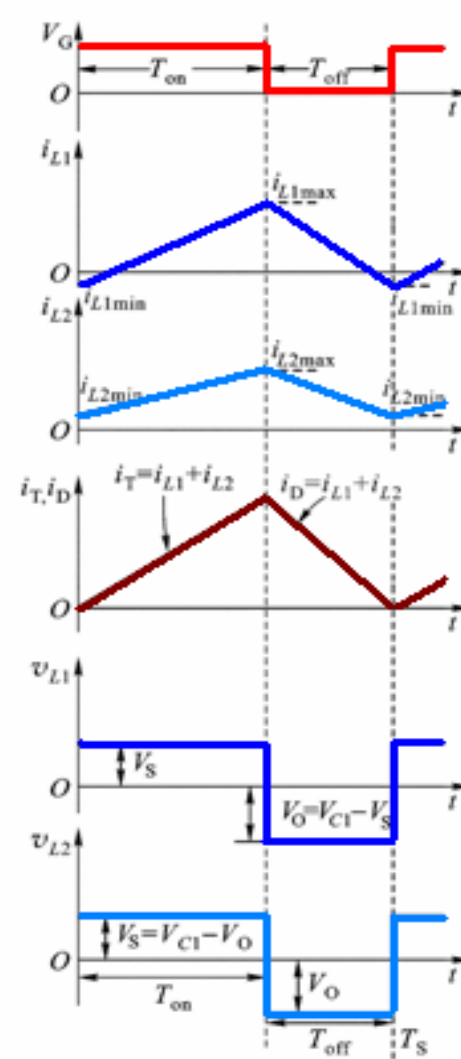
5.2.4 Cuk 型直直变换器



(c) 电流连续时波形图



(f) 电流断流时波形图



(g) 临界工况波形图

小结：不同变换器比较

	Buck变换器	Boost变换器	Buck-boost和Cuk变换器
电路结构			
电流连续时的变比	$M = \frac{U_o}{U_i} = D$	$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{1}{1-D}$	$M = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{D}{1-D}$
电流断续时的变比 $K = \frac{2L}{D^2 T_s R}$	$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{\sqrt{1+4K} - 1}{2K}$	$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4}{K}}}{2}$	$M = \frac{U_o}{U_i} = -\sqrt{\frac{1}{K}}$
电流临界连续的条件	$\frac{L}{RT_s} \geq \frac{1-D}{2}$	$\frac{L}{RT_s} \geq \frac{D(1-D)^2}{2}$	$\frac{L}{RT_s} \geq \frac{(1-D)^2}{2}$