



第5章 直流-直流变流电路

5.1 基本斩波电路

5.2 复合斩波电路和多相多重斩波电路

本章小结

● 直流斩波电路 (DC Chopper)

- ✦ 将直流电变为另一固定电压或可调电压的直流电。
- ✦ 也称为**直流--直流**变换器 (DC/DC Converter)。
- ✦ 一般指**直接**将直流电变为另一直流电，不包括直流—交流—直流。习惯上，DC—DC变换器包括以上两种情况，且甚至更多地指后一种情况。

1 移动电子设备供电



2 高效LED电源



3 功率优化器



4 与高频变压器结合



● 电路种类

- ✦ 6种基本斩波电路
- ✦ 复合斩波电路——不同结构基本斩波电路组合。
- ✦ 多相多重斩波电路——相同结构基本斩波电路组合。





5.1

基本斩波电路

5.1.1 降压斩波电路

5.1.2 升压斩波电路

5.1.3 升降压斩波电路和Cuk斩波电路

5.1.4 Sepic斩波电路和Zeta斩波电路

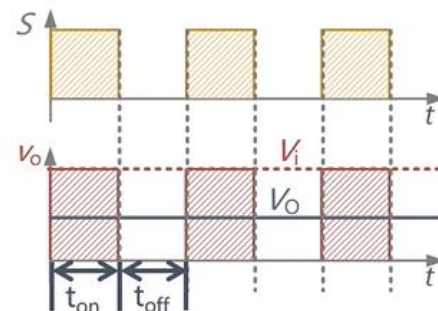
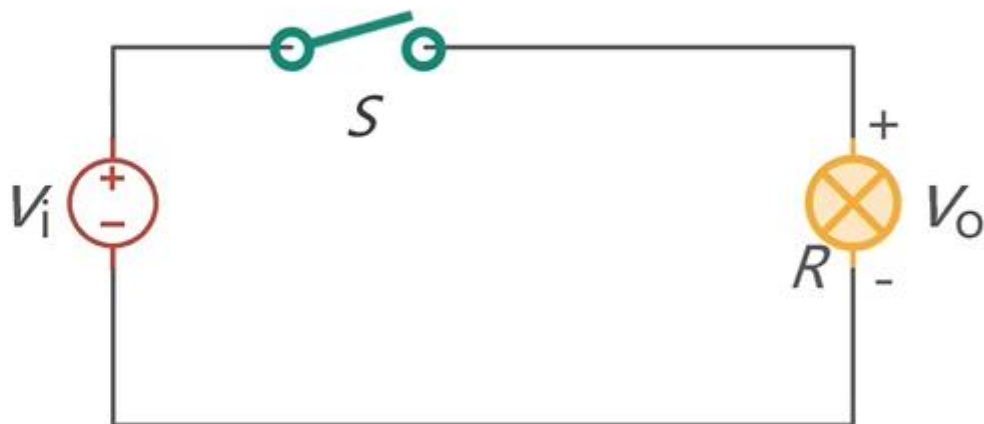
问题的引出

如何改变输出电压，进而对灯泡调光？

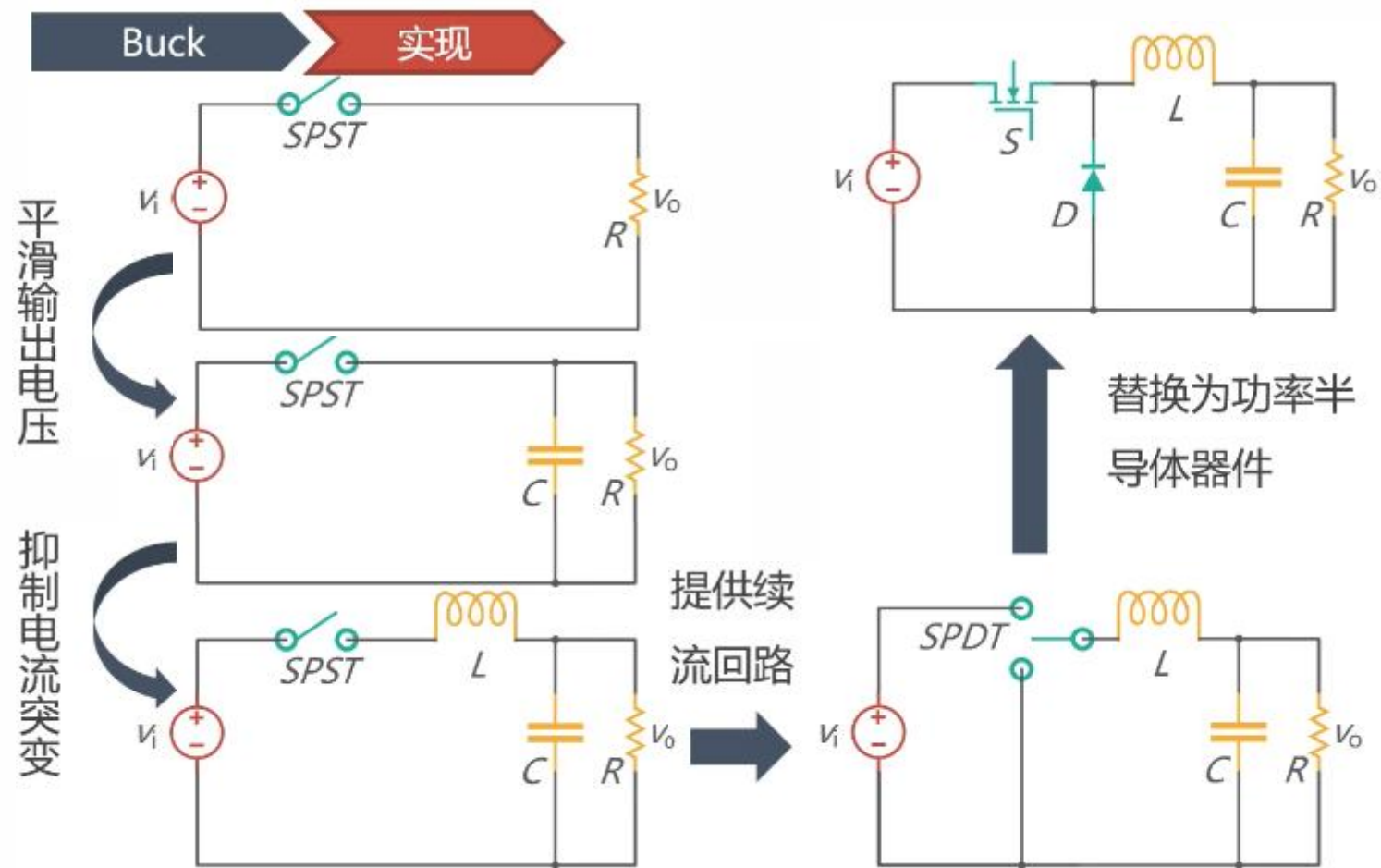


问题的引出

如何改变输出电压，进而对灯泡调光？

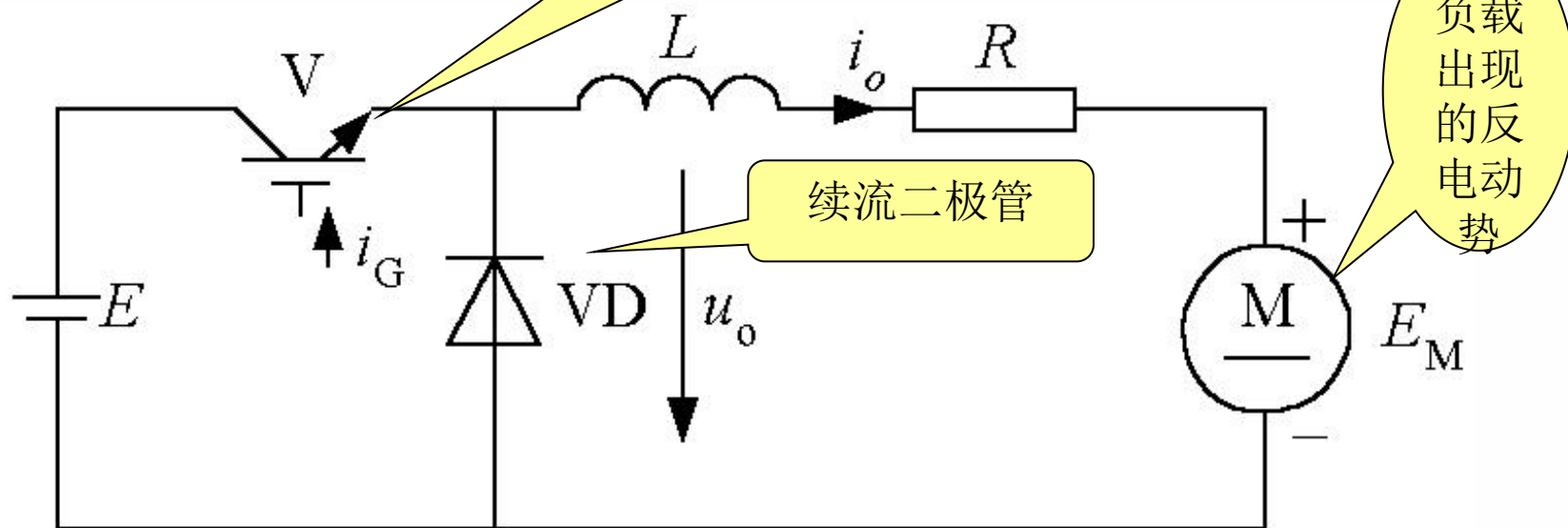


将开关周期性导通和关断！



降压斩波电路 (Buck Chopper)

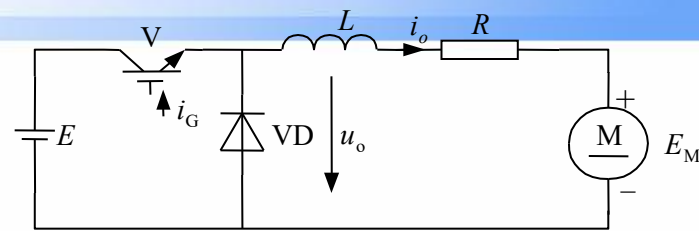
● 电路结构



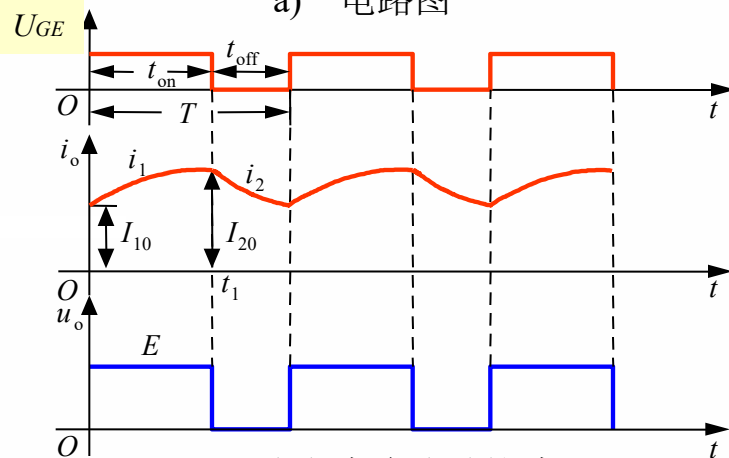
● 典型用途之一是拖动直流电动机，也可带蓄电池负载。

工作原理

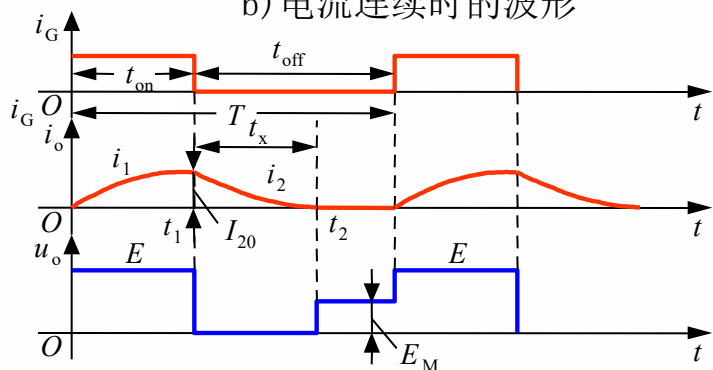
- $t=0$ 时刻驱动 V 导通，电源 E 向负载供电，负载电压 $u_o=E$ ，负载电流 i_o 按指数曲线上升。
- $t=t_1$ 时控制 V 关断，二极管 VD 续流，负载电压 u_o 近似为零，负载电流呈指数曲线下降。
- 通常串接较大电感 L 使负载电流连续且脉动小。
- 动画演示。



a) 电路图



b) 电流连续时的波形



c) 电流断续时的波形

图5-1 降压斩波电路得原理图及波形

数量关系

电流连续

输出电压平均值:

$$U_o = \frac{t_{\text{on}}}{t_{\text{on}} + t_{\text{off}}} E = \frac{t_{\text{on}}}{T} E = \alpha E \quad (5-1)$$

t_{on} ——V通的时间 t_{off} ——V断的时间 α ——导通占空比 ($\alpha < 1$)

负载电流平均值:

$$I_o = \frac{U_o - E_M}{R} \quad (5-2)$$

电流断续, U_o 被抬高, 一般不希望出现。

- 斩波电路三种控制方式

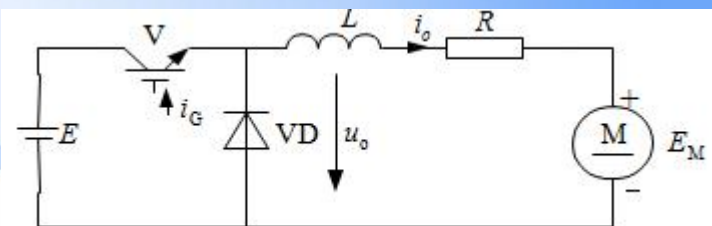
- ◆ T 不变，变 t_{on} —脉冲宽度调制（PWM）。
- ◆ t_{on} 不变，变 T —频率调制。
- ◆ t_{on} 和 T 都可调—混合型。

此种方式应用最多

- 第3章3.1节介绍过：电力电子电路的实质上是分段线性电路的思想。

- 基于“分段线性”的思想，对降压斩波电路进行解析。

- ◆ 分 V 处于通态和处于断态
- ◆ 初始条件分电流连续和断续



※ **V通态期间**，设负载电流为 i_1 ，可列出如下方程：

$$L \frac{di_1}{dt} + Ri_1 + E_M = E \quad (5-3)$$

设此阶段电流初值为 I_{10} ， $\tau = L/R$ ，解上式得

$$i_1 = I_{10} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{E - E_M}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (5-4)$$

※ **V断态期间**，设负载电流为 i_2 ，可列出如下方程：

$$L \frac{di_2}{dt} + Ri_2 + E_M = 0 \quad (5-5)$$

设此阶段电流初值为 I_{20} ，解上式得：

$$i_2 = I_{20} e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{E_M}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (5-6)$$

当电流连续时，有： $I_{10}=i_2(t_2)$ (5-7)

$$I_{20}=i_1(t_1) \quad (5-8)$$

即V进入通态时的电流初值就是V在断态阶段结束时的电流值，反过来，V进入断态时的电流初值就是V在通态阶段结束时的电流值。由式（5-4）、（5-6）、（5-7）、（5-8）得出：

$$I_{10}=\left(\frac{e^{t_1/\tau}-1}{e^{T/\tau}-1}\right)\frac{E}{R}-\frac{E_M}{R}=\left(\frac{e^{\alpha\rho}-1}{e^\rho-1}-m\right)\frac{E}{R} \quad (5-9)$$

$$I_{20}=\left(\frac{1-e^{-t_1/\tau}}{1-e^{-T/\tau}}\right)\frac{E}{R}-\frac{E_M}{R}=\left(\frac{1-e^{-\alpha\rho}}{1-e^{-\rho}}-m\right)\frac{E}{R} \quad (5-10)$$

式中： $\rho=T/\tau$ ， $m=E_M/E$ ， $t_1/\tau=\left(\frac{t_1}{T}\right)/\left(\frac{T}{\tau}\right)=\alpha\rho$ 由图5-1b可知， I_{10} 和 I_{20} 分别是负载电流瞬时值的最小值和最大值。

把式（5-9）和式（5-10）用泰勒级数近似，可得

$$I_{10} \approx I_{20} \approx \frac{(\alpha - m)E}{R} = I_o \quad (5-11)$$

上式表示了平波电抗器 L 为无穷大，负载电流完全平直时的负载电流平均值 I_o ，此时负载电流最大值、最小值均等于平均值。

同样可以从能量传递关系出发进行的推导

- 假定 L 为无穷大，负载电流 I_o 维持不变。
- 电源只在 V 处于通态时提供能量，为 $E I_o t_{on}$
- 在整个周期 T 中，负载消耗的能量为 $(R I_o^2 T + E_M I_o T)$

一周期中，忽略损耗，则电源提供的能量与负载消耗的能量相等。

$$E I_o t_{on} = R I_o^2 T + E_M I_o T \longrightarrow I_o = \frac{\alpha E - E_M}{R}$$

$$E I_1 = \alpha E I_o = U_o I_o \longleftarrow I_1 = \frac{t_{on}}{T} I_o = \alpha I_o$$

I_1 为电源电流平均值

输出功率等于输入功率，可将降压斩波器看作直流降压变压器。

● 负载电流断续的情况（L值较小时）

$$I_{10}=0, \text{ 且 } t=t_x \text{ 时, } i_2=0 \xrightarrow[\text{式 (5-7)}]{\text{式 (5-6)}} t_x = \tau \ln \left[\frac{1 - (1-m)e^{-\alpha\rho}}{m} \right] \quad (5-16)$$

电流断续的条件:

$$m > \frac{e^{\alpha\rho} - 1}{e^{\rho} - 1} \quad (5-17)$$

$t_x < t_{\text{off}}$

输出电压平均值为:

$$U_o = \frac{t_{\text{on}}E + (T - t_{\text{on}} - t_x)E_M}{T} = \left[\alpha + \left(1 - \frac{t_{\text{on}} + t_x}{T} \right) m \right] E \quad (5-18)$$

负载电流平均值为:

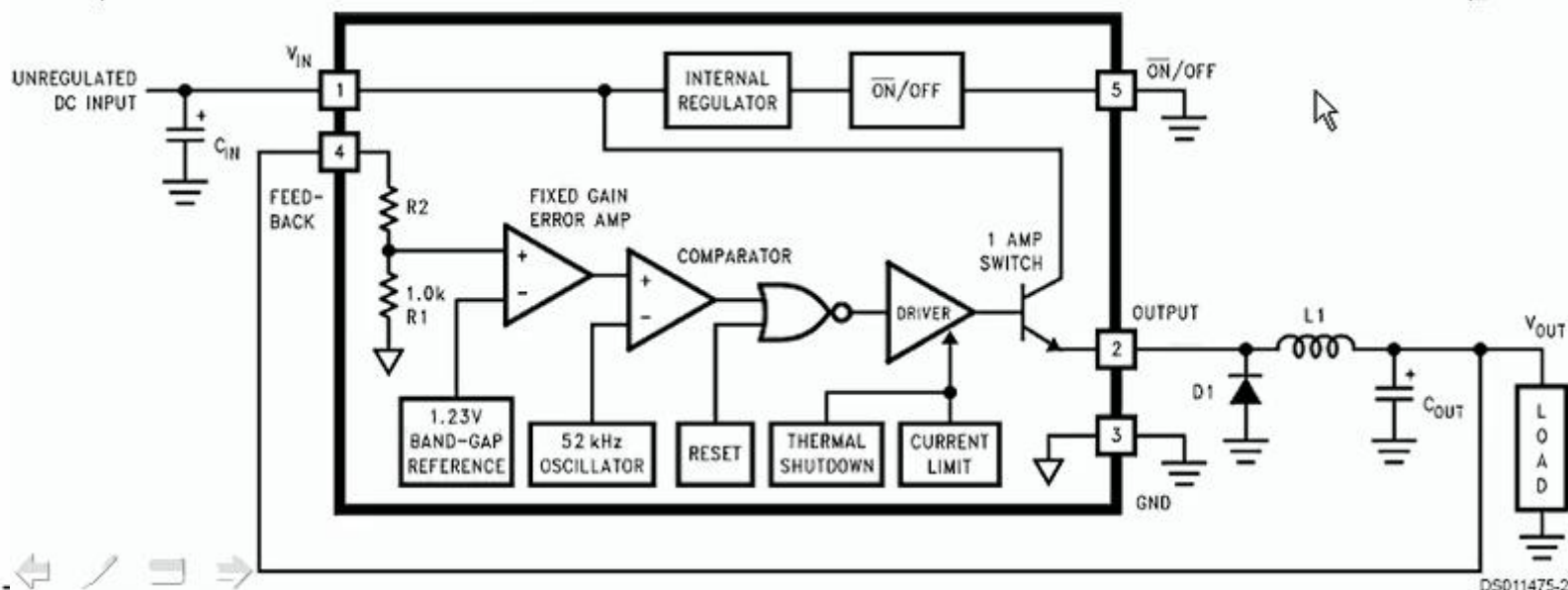
$$I_o = \frac{1}{T} \left(\int_0^{t_{\text{on}}} i_1 dt + \int_0^{t_x} i_2 dt \right) = \left(\alpha - \frac{t_{\text{on}} + t_x}{T} m \right) \frac{E}{R} = \frac{U_o - E_m}{R} \quad (5-19)$$



降压斩波电路典型应用

---- (LM2575系列开关稳压集成电路)

- LM2575系列开关稳压集成电路是美国国家半导体公司生产的1A集成稳压电路；
- 它内部集成了一个固定的振荡器，只须极少外围器件便可构成一种高效的稳压电路，可大大减小散热片的体积，而在大多数情况下不需散热片；
- 内部有完善的保护电路，包括电流限制及热关断电路等；芯片可提供外部控制引脚。
- 是传统三端式稳压集成电路的理想替代产品。



■ 例5-1 在图5-1a所示的降压斩波电路中，已知 $E=200V$ ， $R=10\Omega$ ， L 值极大， $E_m=30V$ ， $T=50\mu s$ ， $t_{on}=20\mu s$ ，计算输出电压平均值 U_o ，输出电流平均值 I_o 。

解：由于 L 值极大，故负载电流连续，于是输出电压平均值为

$$U_o = \frac{t_{on}}{T} E = \frac{20 \times 200}{50} = 80(V)$$

输出电流平均值为

$$I_o = \frac{U_o - E_m}{R} = \frac{80 - 30}{10} = 5(A)$$

■例5-2 在图5-1a所示的降压斩波电路中, $E=100V$, $L=1mH$, $R=0.5\Omega$, $E_m=10V$, 采用脉宽调制控制方式, $T=20\mu s$, 当 $t_{on}=5\mu s$ 时, 计算输出电压平均值 U_o , 输出电流平均值 I_o , 计算输出电流的最大和最小值瞬时值并判断负载电流是否连续。

解: 由题目已知条件可得:

$$m = \frac{E_m}{E} = \frac{10}{100} = 0.1$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0.001}{0.5} = 0.002$$

当 $t_{on}=5\mu s$ 时, 有

$$\rho = \frac{T}{\tau} = 0.01$$

$$\alpha\rho = 0.0025$$

由于

$$\frac{e^{\alpha\rho} - 1}{e^\rho - 1} = \frac{e^{0.0025} - 1}{e^{0.01} - 1} = 0.249 > m$$

所以输出电流连续。

此时输出平均电压为

$$U_o = \frac{t_{\text{on}}}{T} E = \frac{100 \times 5}{20} = 25(V)$$

输出平均电流为

$$I_o = \frac{U_o - E_M}{R} = \frac{25 - 10}{0.5} = 30(A)$$

输出电流的最大和最小值瞬时值分别为

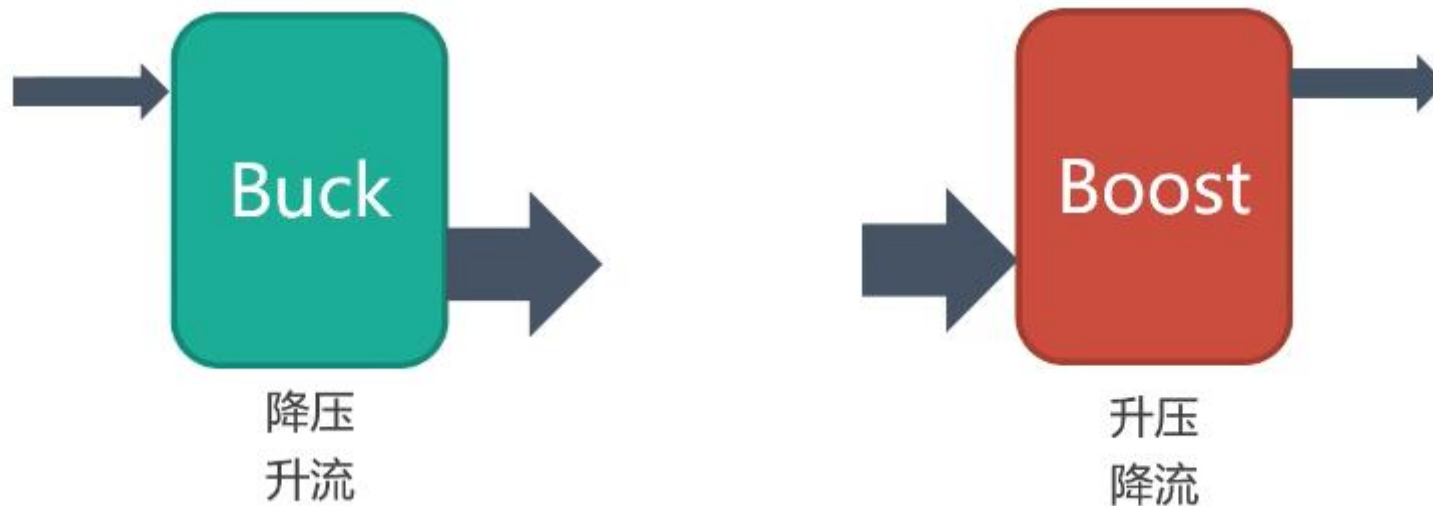
$$I_{\text{max}} = \left(\frac{1 - e^{-\alpha\rho}}{1 - e^{-\rho}} - m \right) \frac{E}{R} = \left(\frac{1 - e^{-0.0025}}{1 - e^{-0.01}} - 0.1 \right) \frac{100}{0.5} = 30.19(A)$$

$$I_{\text{min}} = \left(\frac{e^{\alpha\rho} - 1}{e^{\rho} - 1} - m \right) \frac{E}{R} = \left(\frac{e^{0.0025} - 1}{e^{0.01} - 1} - 0.1 \right) \frac{100}{0.5} = 29.81(A)$$

Boost

概念

若将DC/DC变换器看做“**直流变压器**”，那么在不考虑电路的损耗时，其输入功率与输出功率一致。



可构造降流电路间接构造升压电路！

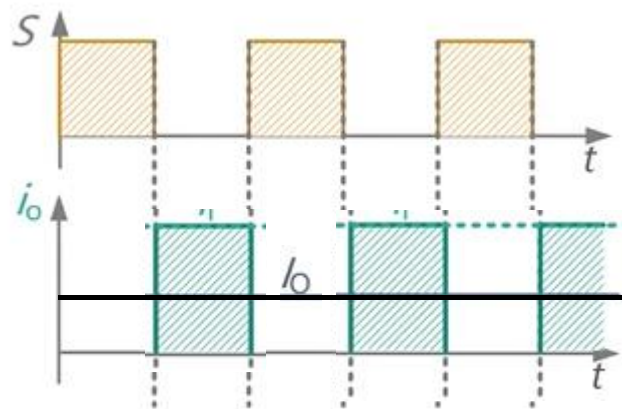
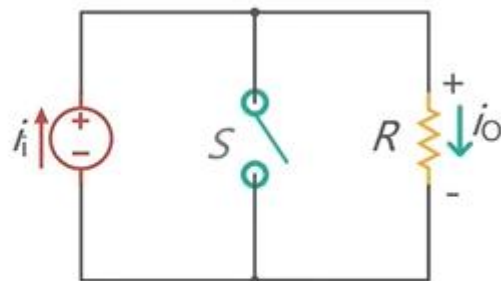


如何降流？

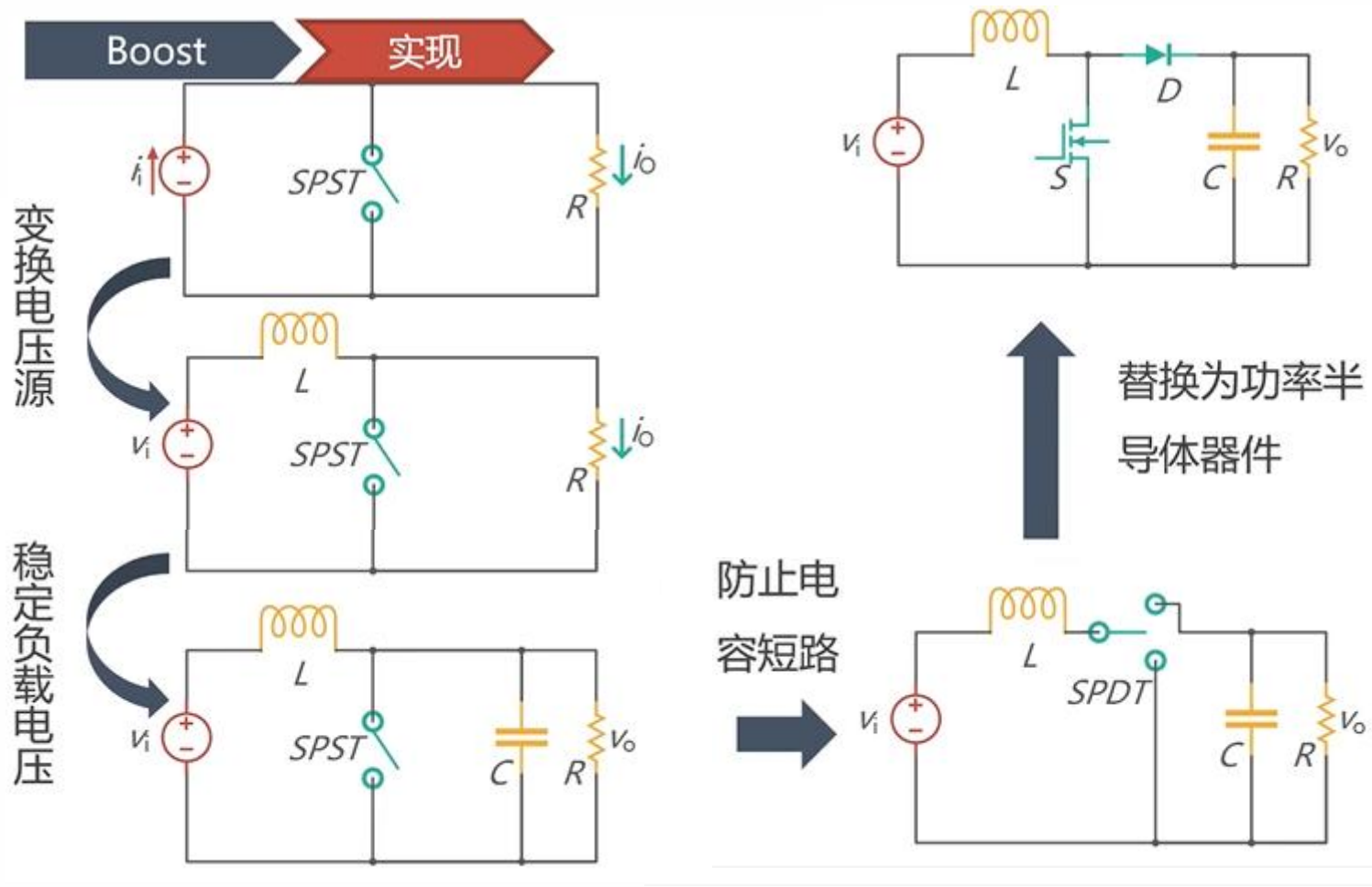
Boost

概念

升压电路等同于设计一个降流电路，仅包含一个输入直流电源 i_i ，一个开关 S 和一个负载 R ，其上电流 i_o 为输出电流，对 S 进行通断操作。



5.1.2 升压斩波电路

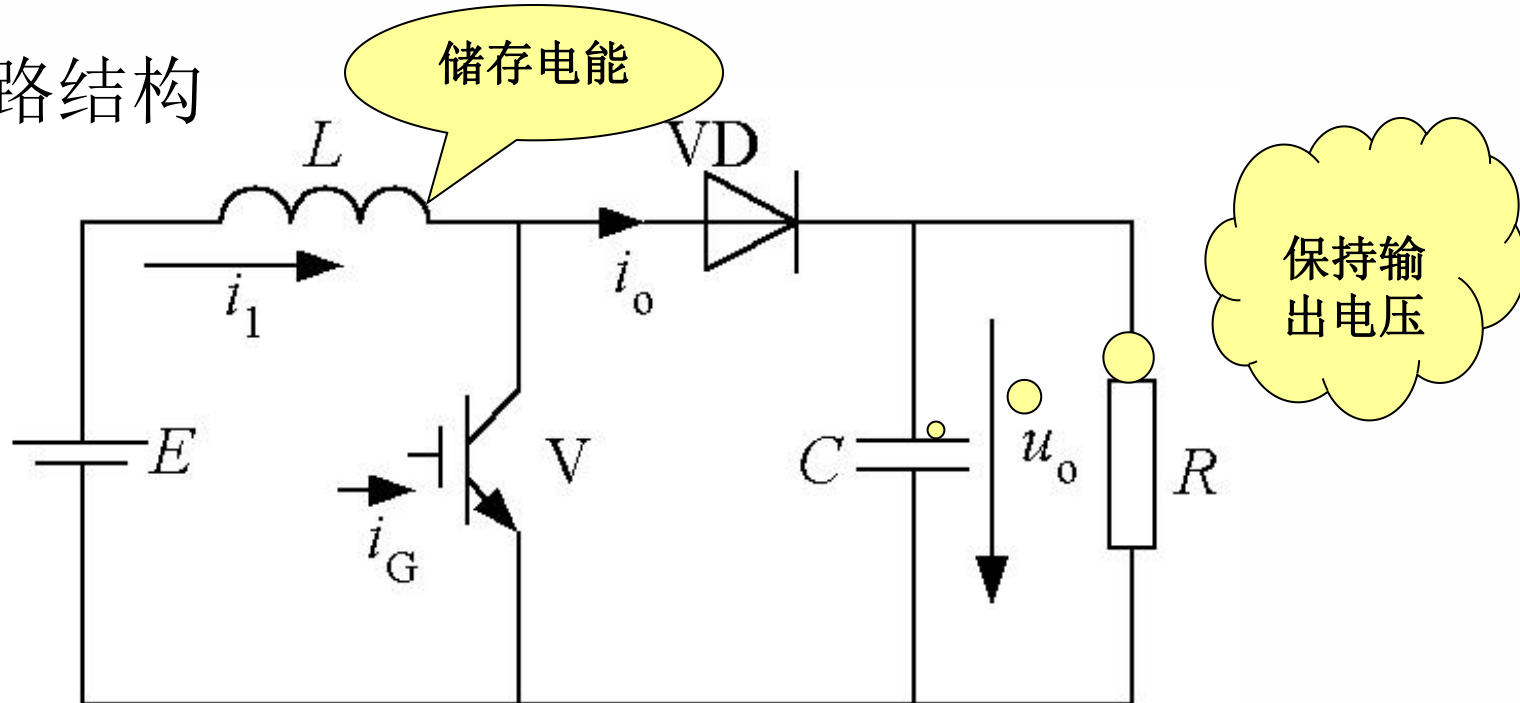


5.1.2 升压斩波电路

升压斩波电路 (Boost Chopper)

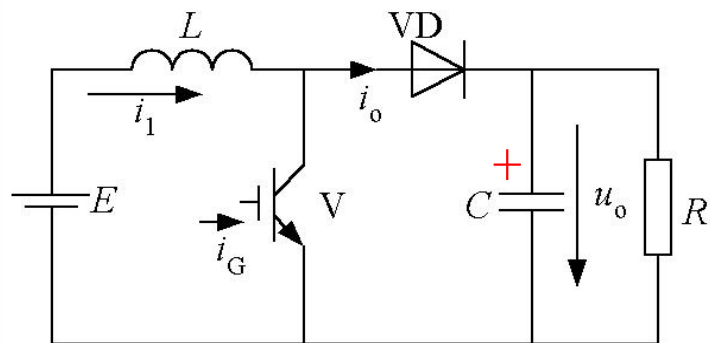
1) 升压斩波电路的基本原理

● 电路结构

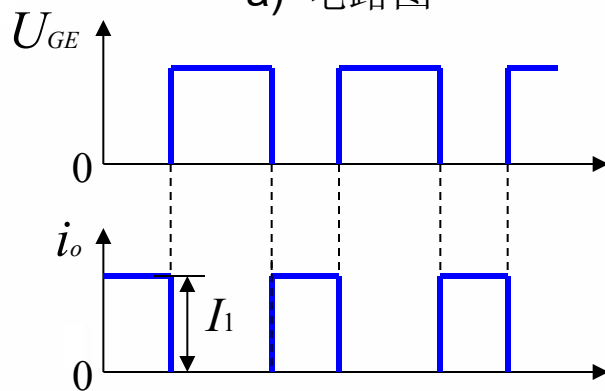


● 工作原理

- ✦ 假设 L 和 C 值很大。
- ✦ V 处于通态时，电源 E 向电感 L 充电，电流恒定 I_1 ，电容 C 向负载 R 供电，输出电压 U_o 恒定。
- ✦ V 处于断态时，电源 E 和电感 L 同时向电容 C 充电，并向负载提供能量。
- ✦ 动态演示。



a) 电路图



b) 波形

图5-2 升压斩波电路及工组波形

数量关系

- 设V通态的时间为 t_{on} ，此阶段 L 上积蓄的能量为 $E I_1 t_{on}$
- 设V断态的时间为 t_{off} ，则此期间电感 L 释放能量为 $(U_o - E) I_1 t_{off}$
- 稳态时，一个周期 T 中 L 积蓄能量与释放能量相等：

$$E I_1 t_{on} = (U_o - E) I_1 t_{off} \quad (5-20)$$

$$\text{化简得： } U_o = \frac{t_{on} + t_{off}}{t_{off}} E = \frac{T}{t_{off}} E \quad (5-21)$$

$T/t_{off} > 1$ ，输出电压高于电源电压，故为升压斩波电路。

T / t_{off} ——升压比；升压比的倒数记作 β ，即 $\beta = \frac{t_{off}}{T}$ 。

$$\beta \text{和} \alpha \text{的关系： } \alpha + \beta = 1 \quad (5-22)$$

$$\text{因此，式（5-21）可表示为 } U_o = \frac{1}{\beta} E = \frac{1}{1-\alpha} E \quad (5-23)$$

- 电压升高的原因：电感L储能使电压泵升的作用
电容C可将输出电压保持住

- 如果忽略电路中的损耗，则由电源提供的能量仅由负载R消耗，即： $EI_1 = U_o I_o$ 。(5-24)

与降压斩波电路一样，升压斩波电路可看作直流变压器。

- 输出电流的平均值 I_o 为：

$$I_o = \frac{U_o}{R} = \frac{1}{\beta} \frac{E}{R} \quad (5-25)$$

- 电源电流的平均值 I_1 为：

$$I_1 = \frac{U_o}{E} I_o = \frac{1}{\beta^2} \frac{E}{R} \quad (5-26)$$

■ 例5-3 在图5-2a所示的升压斩波电路中，已知 $E=50V$ ， L 值和 C 值极大， $R=20\Omega$ ，采用脉宽调制控制方式，当 $T=40\mu s$ ， $t_{on}=25\mu s$ 时，计算输出电压平均值 U_o ，输出电流平均值 I_o 。

解：输出电压平均值为：

$$U_o = \frac{T}{t_{off}} E = \frac{40}{40 - 25} \times 50 = 133.3(V)$$

输出电流平均值为：

$$I_o = \frac{U_o}{R} = \frac{133.3}{20} = 6.667(A)$$

2) 升压斩波电路典型应用

- 一是用于直流电动机传动
- 二是用作单相功率因数校正（PFC）电路
- 三是用于其他交直流电源中

⊕ 用于直流电动机传动

- 再生制动时把电能回馈给直流电源。
- 电动机电枢电流连续和断续两种工作状态。
- 直流电源的电压基本是恒定的，不必并联电容器。

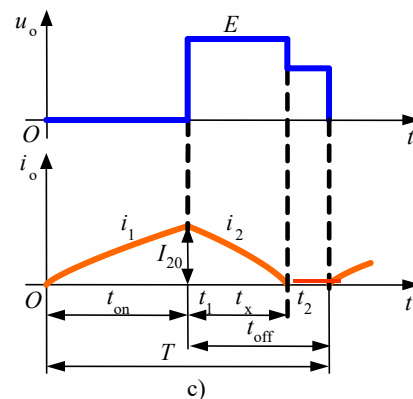
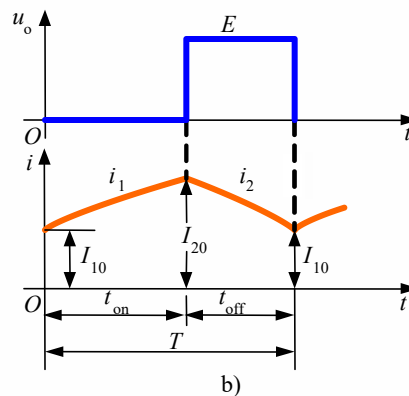
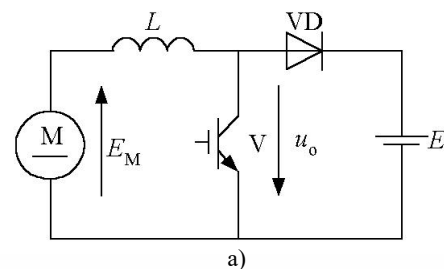
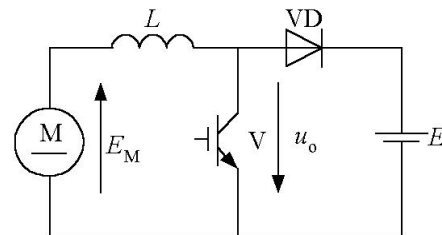
● 动画演示。

图5-3 用于直流电动机回馈能量的升压斩波电路及其波形

a) 电路图 b) 电流连续时 c) 电流断续时

5.1.2 升压斩波电路



数量关系

- 当V处于通态时，设电动机电枢电流为 i_1 ，得下式：

$$L \frac{di_1}{dt} + Ri_1 = E_M \quad (5-27)$$

式中R为电机电枢电阻与线路电阻之和。

- 当V处于断态时，设电动机电枢电流为 i_2 ，得下式：

$$L \frac{di_2}{dt} + Ri_2 = E_M - E \quad (5-29)$$

- 当电流连续时，考虑到初始条件，近似L无穷大时电枢电流的平均值 I_o ，即

$$I_o = (m - \beta) \frac{E}{R} = \frac{E_M - \beta E}{R} \quad (5-36)$$

- 该式表明，以电动机一侧为基准看，可将直流电源电压看作是被降低到了 βE 。

5.1.2 升压斩波电路

如图5-3c，当电枢电流断续时：

当 $t=0$ 时刻 $i_1=i_{10}=0$ ，令式（5-31）中 $i_{10}=0$ 即可求出 i_{20} ，进而可写出 i_2 的表达式。

另外，当 $t=t_2$ 时， $i_2=0$ ，可求得 i_2 持续的时间 t_x ，即

$$t_x = \tau \ln \frac{1 - me^{-\frac{t_{on}}{\tau}}}{1 - m}$$

$$\downarrow t_x < t_{off}$$

$$m < \frac{1 - e^{-\beta\rho}}{1 - e^{-\rho}} \quad \text{----- 电流断续的条件}$$

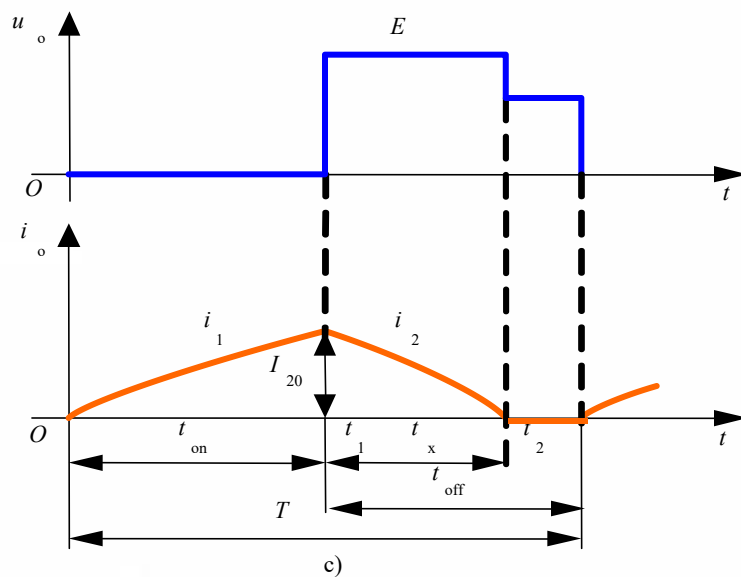
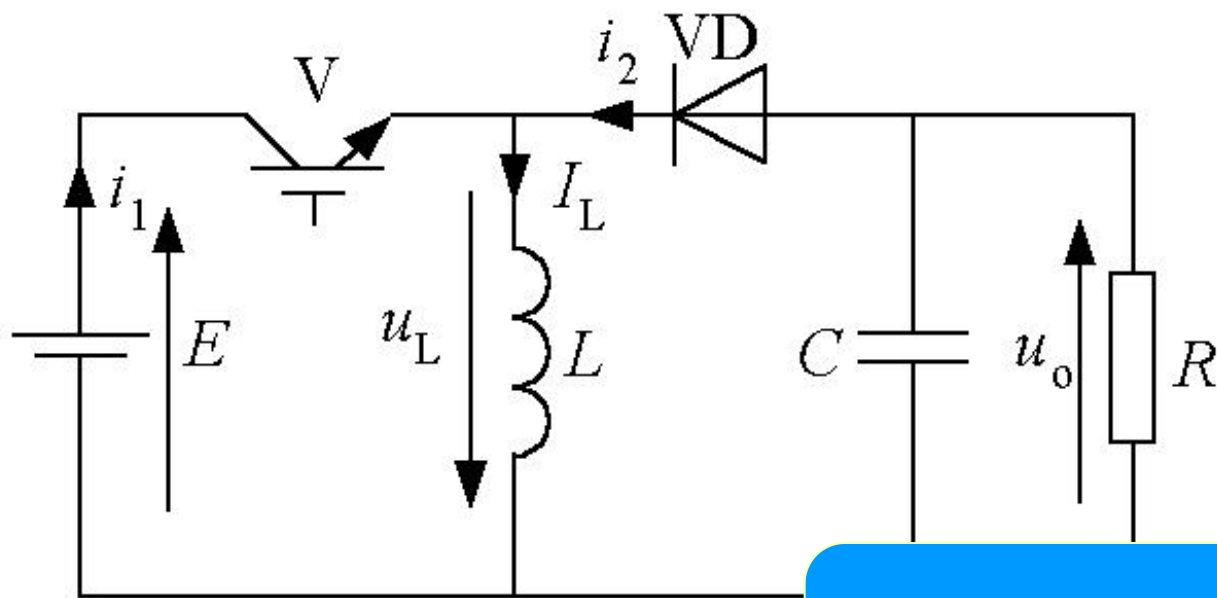


图5-3 用于直流电动机回馈能量的升压斩波电路及其波形

1) 升降压斩波电路 (buck -boost Chopper)

● 电路结构



V, L和VD三者之间的位置关系

● 基本工作原理

- ⊕ V 通时，电源 E 经 V 向 L 供电使其贮能，此时电流为 i_1 。同时， C 维持输出电压恒定并向负载 R 供电。
- ⊕ V 断时， L 的能量向负载释放，电流为 i_2 。负载电压极性为上负下正，与电源电压极性相反，该电路也称作反极性斩波电路。
- ⊕ 动态演示。

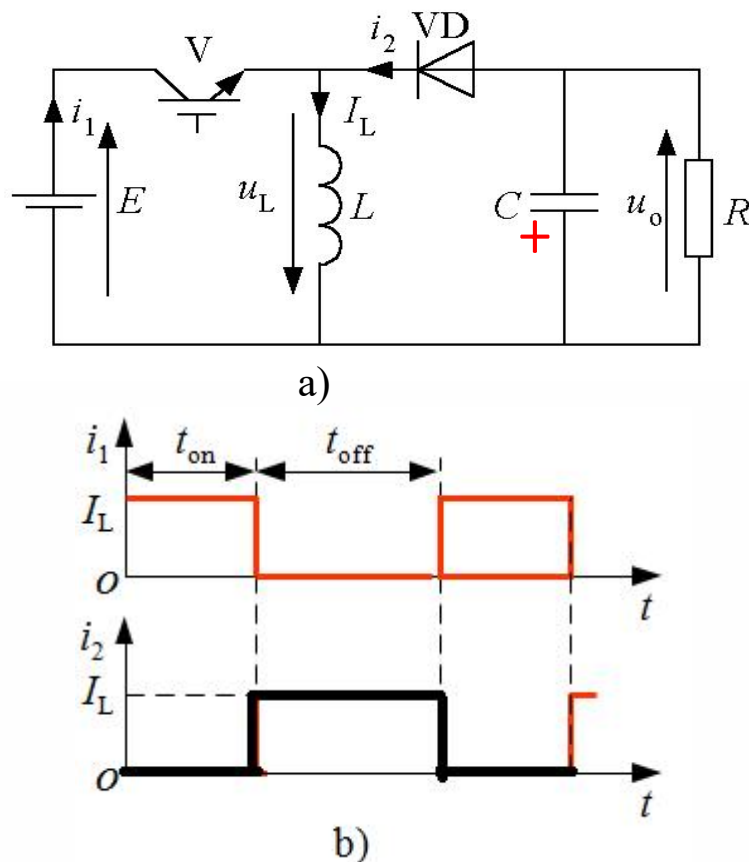


图5-4 升降压斩波电路及其波形
a) 电路图 b) 波形

● 数量关系

稳态时，一个周期 T 内电感 L 两端电压 u_L 对时间的积分为零，即

$$\int_0^T u_L dt = 0 \quad (5-39)$$

V处于通态

$$u_L = E$$

V处于断态

$$u_L = -U_o$$

$$E \cdot t_{\text{on}} = U_o \cdot t_{\text{off}} \quad (3-40)$$

所以输出电压为：

$$U_o = \frac{t_{\text{on}}}{t_{\text{off}}} E = \frac{t_{\text{on}}}{T - t_{\text{on}}} E = \frac{\alpha}{1 - \alpha} E \quad (5-41)$$

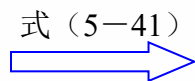
结论

- 当 $0 < \alpha < 1/2$ 时为降压，当 $1/2 < \alpha < 1$ 时为升压，故称作升降压斩波电路。也有称之为buck-boost变换器。
- 图5-4b中给出了电源电流 i_1 和负载电流 i_2 的波形，设两者的平均值分别为 I_1 和 I_2 ，当电流脉动足够小时，有：

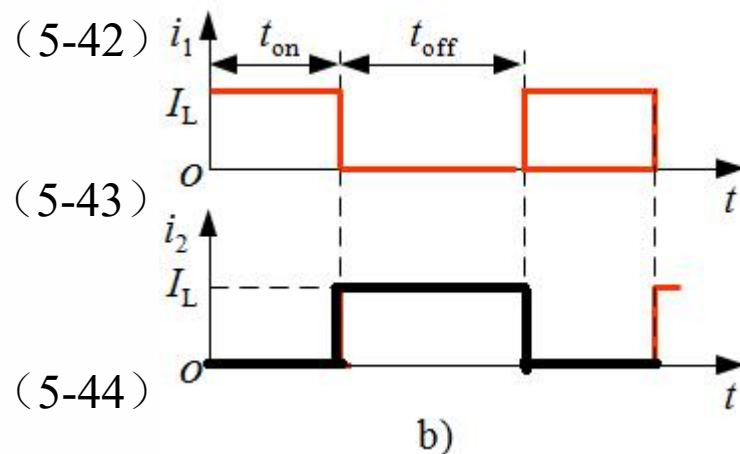
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{t_{\text{on}}}{t_{\text{off}}}$$

$$\text{由上式得: } I_2 = \frac{t_{\text{off}}}{t_{\text{on}}} I_1 = \frac{1-\alpha}{\alpha} I_1 \quad (5-43)$$

式 (5-41)



$$EI_1 = U_o I_2 \quad (5-44)$$



- 其输出功率和输入功率相等，可看作直流变压器。

2) Cuk斩波电路 (boost-buck Chopper)

- V通时, $E-L_1-V$ 回路和 $R-L_2-C-V$ 回路有电流。
- V断时, $E-L_1-C-VD$ 回路和 $R-L_2-VD$ 回路有电流。
- 输出电压的极性与电源电压极性相反。
- 电路相当于开关S在A、B两点之间交替切换。

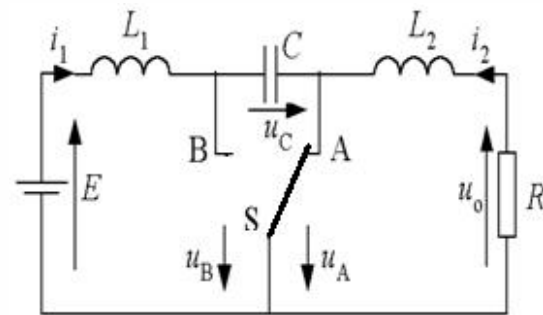
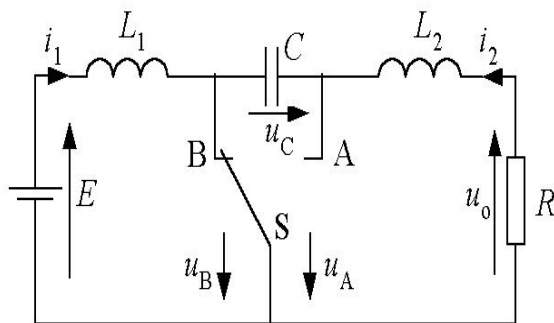
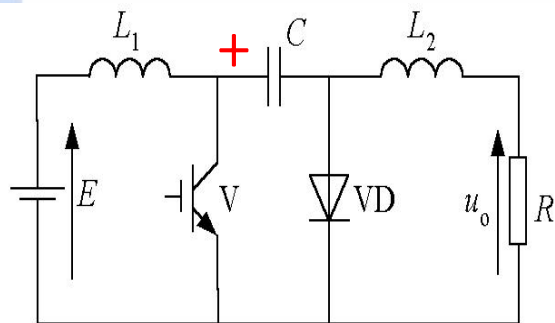


图5-5 Cuk斩波电路及其等效电路

a) 电路图

b) 等效电路

数量关系

- 稳态时，一个周期内电容电流 i_C 的平均值为零：

$$\int_0^T i_C dt = 0 \quad (5-45)$$

- V处于通态的时间 t_{on} ，则电容电流和时间的乘积为 $I_2 t_{on}$ 。
V处于断态的时间 t_{off} ，则电容电流和时间的乘积为 $I_1 t_{off}$ 。

由此可得： $I_2 t_{on} = I_1 t_{off}$ (5-46)

→ $\frac{I_2}{I_1} = \frac{t_{off}}{t_{on}} = \frac{T - t_{on}}{t_{on}} = \frac{1 - \alpha}{\alpha}$ (5-47)

$$U_o = \frac{t_{on}}{t_{off}} E = \frac{t_{on}}{T - t_{on}} E = \frac{\alpha}{1 - \alpha} E \quad (5-48)$$

优点（与升降压斩波电路相比）：

- 输入电源电流和输出负载电流都是连续的，且脉动很小，有利于对输入、输出进行滤波。

● Sepic电路原理

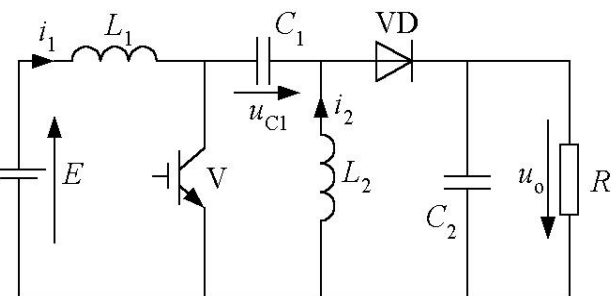
✦ V通态， **$E-L_1-V$** 回路和 **C_1-V-L_2** 回路同时导电， L_1 和 L_2 贮能。

✦ V断态， **$E-L_1-C_1-VD$** —负载回路及 **L_2-VD** —负载回路同时导电，此阶段 E 和 L_1 既向负载供电，同时也向 C_1 充电（ C_1 贮存的能量在V处于通态时向 L_2 转移）。

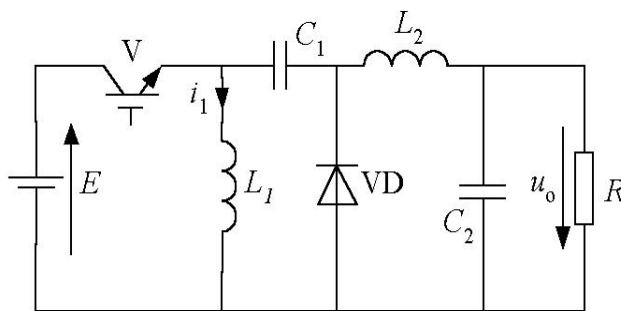
✦ 输入输出关系：

$$U_o = \frac{t_{on}}{t_{off}} E = \frac{t_{on}}{T - t_{on}} E = \frac{\alpha}{1 - \alpha} E$$

电源电压与输出电压极性相同



a) Sepic斩波电路



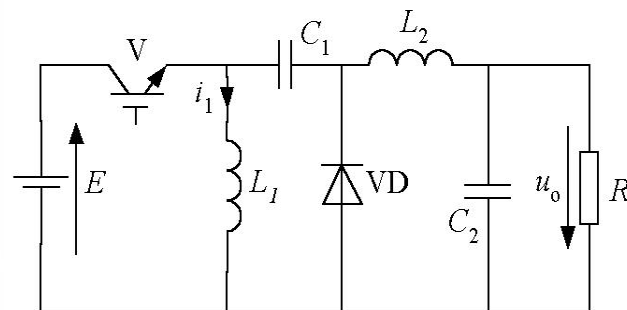
b) Zeta斩波电路

图5-6 Sepic斩波电路和Zeta斩波电路 (3-49)

5.1.4 Sepic斩波电路和Zeta斩波电路

● Zeta斩波电路原理

- ⊕ V处于通态期间，电源E经开关V向电感 L_1 储能。
- ⊕ V关断后， L_1-VD-C_1 构成振荡回路， L_1 的能量转移至 C_1 ，能量全部转移至 C_1 上之后，VD关断， C_1 经 L_2 向负载供电。



b) Zeta斩波电路

图5-6 Sepic斩波电路和Zeta斩波电路

- ⊕ 输入输出关系：
$$U_o = \frac{\alpha}{1 - \alpha} E \quad (5-50)$$

- 两种电路有相同的输入输出关系，且输出电压均为正极性。
- Sepic电路的电源电流和负载电流均连续，有利于输入输出滤波。



5.2复合斩波电路和多相多重斩波电路

5.2.1 电流可逆斩波电路

5.2.2 桥式可逆斩波电路

5.2.3 多相多重斩波电路

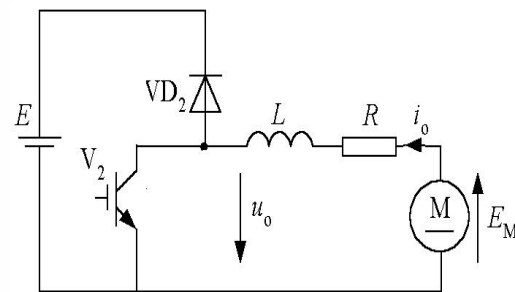
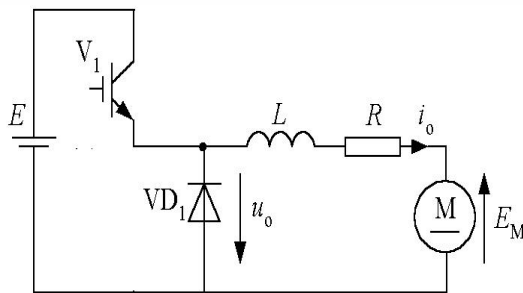
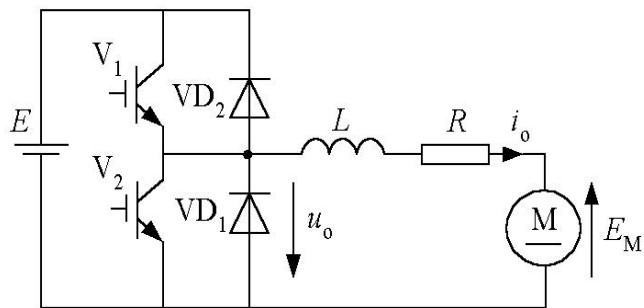
- ◆ 复合斩波电路——降压斩波电路和升压斩波电路组合构成
- ◆ 多相多重斩波电路——相同结构的基本斩波电路组合构成

● 电流可逆斩波电路

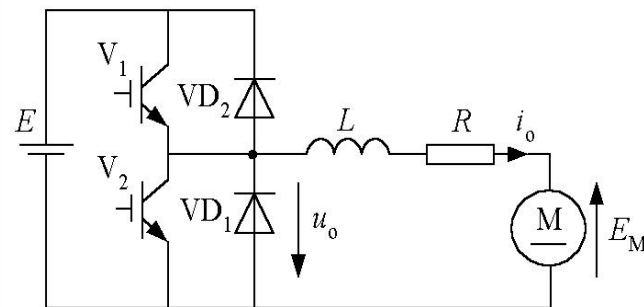
- ◆ 斩波电路用于拖动直流电动机时，常要使电动机既可电动运行，又可再生制动。
- ◆ 降压斩波电路能使电动机工作于第1象限。
- ◆ 升压斩波电路能使电动机工作于第2象限。
- ◆ **电流可逆斩波电路**：降压斩波电路与升压斩波电路组合。此电路电动机的电枢电流可正可负，但电压只能是一种极性，故其可工作于第1象限和第2象限。

● 电路结构

- ✦ V_1 和 VD_1 构成降压斩波电路，电动机为电动运行，工作于第1象限。
- ✦ V_2 和 VD_2 构成升压斩波电路，电动机作再生制动运行，工作于第2象限。
- ✦ 必须防止 V_1 和 V_2 同时导通而导致的电源短路



- ★ 只作降压斩波器运行时， V_2 和 VD_2 总处于断态
- ★ 只作升压斩波器运行时，则 V_1 和 VD_1 总处于断态
- ★ 第3种工作方式：一个周期内交替地作为降压斩波电路和升压斩波电路工作
- ★ 当降压斩波电路或升压斩波电路的电流断续而为零时，使另一个斩波电路工作，让电流反方向流过，这样电动机电枢回路总有电流流过。以图3-7b为例说明。
- ★ 在一个周期内，电枢电流沿正、负两个方向流通，电流不断，所以响应很快。



a) 电路图

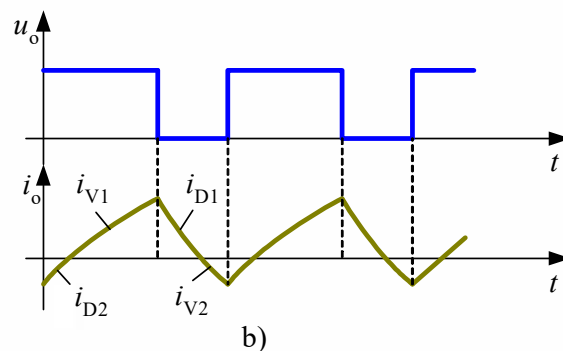
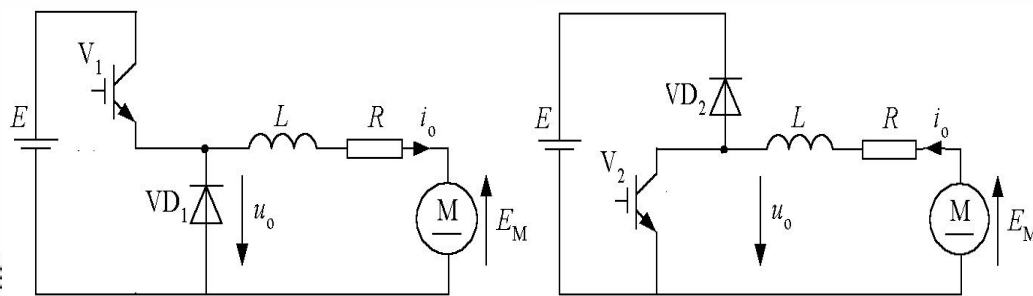


图5-7 电流可逆斩波电路及波形



- **桥式可逆斩波电路**——两个电流可逆斩波电路组合起来，分别向电动机提供正向和反向电压。
- 使 V_4 保持通态时，等效为图3-7a所示的电流可逆斩波电路，提供**正电压**，可使电动机工作于**第1、2象限**。
- 使 V_2 保持通态时， V_3 、 VD_3 和 V_4 、 VD_4 等效为又一组电流可逆斩波电路，向电动机提供**负电压**，可使电动机工作于**第3、4象限**。

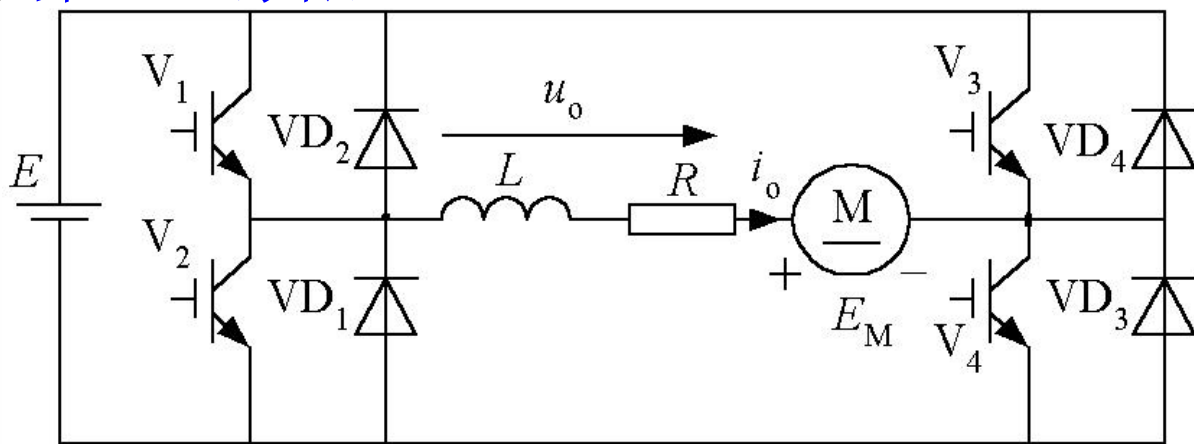


图5-8 桥式可逆斩波电路

➤ 基本概念

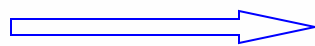
多相多重斩波电路

在电源和负载之间接入多个结构相同的基本斩波电路而构成

相数

一个控制周期中电源侧的电流脉波数

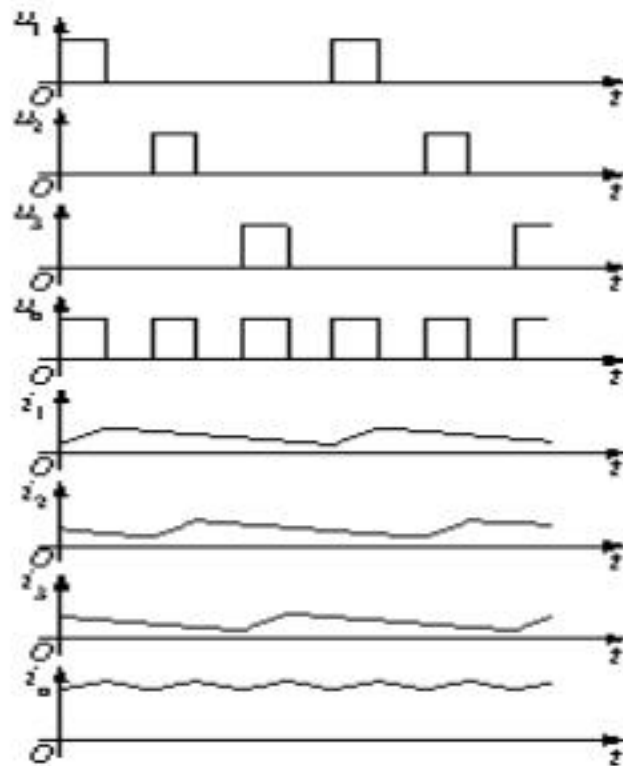
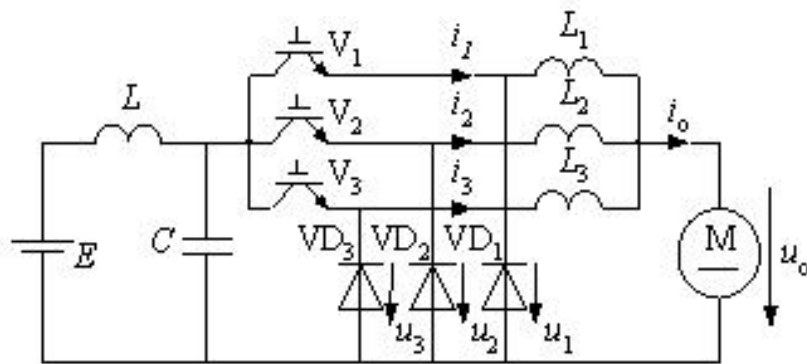
重数



负载电流脉波数

3相3重降压斩波电路

- 电路结构：相当于由3个降压斩波电路单元**并联**而成。
- 总输出电流为 3 个斩波电路单元输出电流之和，其平均值为单元输出电流平均值的3倍，脉动频率也为3倍。
- 总的输出电流脉动幅值变得很小。
- 所需平波电抗器总重量大为减轻。
- 总输出电流**最大脉动率**（电流脉动幅值与电流平均值之比）与相数的平方成反比。



5.2.3 多相多重斩波电路

- 当上述电路电源公用而负载为3个独立负载时，则为**3相1重斩波电路**。
- 而当电源为3个独立电源，向一个负载供电时，则为**1相3重斩波电路**。
- 多相多重斩波电路还具有备用功能，各斩波电路单元可互为备用。

本章小结

- 本章介绍了**6种基本斩波电路**、**2种复合斩波电路**及多相多重斩波电路。
- 本章的**重点**是，理解**降压斩波电路**和**升压斩波电路**的工作原理，掌握这两种电路的输入输出关系、电路解析方法、工作特点
- 直流传动是斩波电路应用的传统领域，而**开关电源**则是斩波电路应用的新领域，前者的应用在逐渐萎缩，而后者的应用是电力电子领域的一大热点。