

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

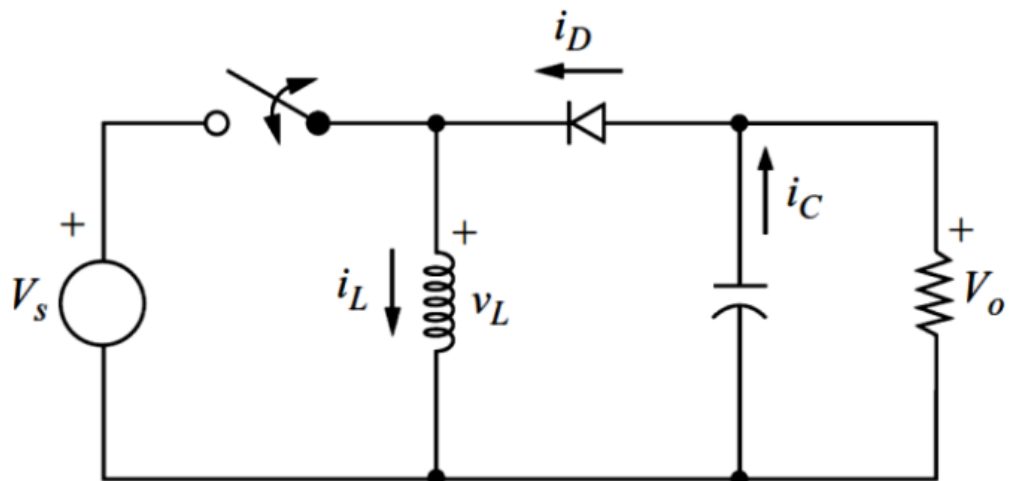
نام درس: الکترونیک صنعتی

جلسه ۱۷: برشگرهای DC (مبدل‌های DC به DC)

ارائه دهنده: علی دستفان

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مبدل کاهنده-افزاینده

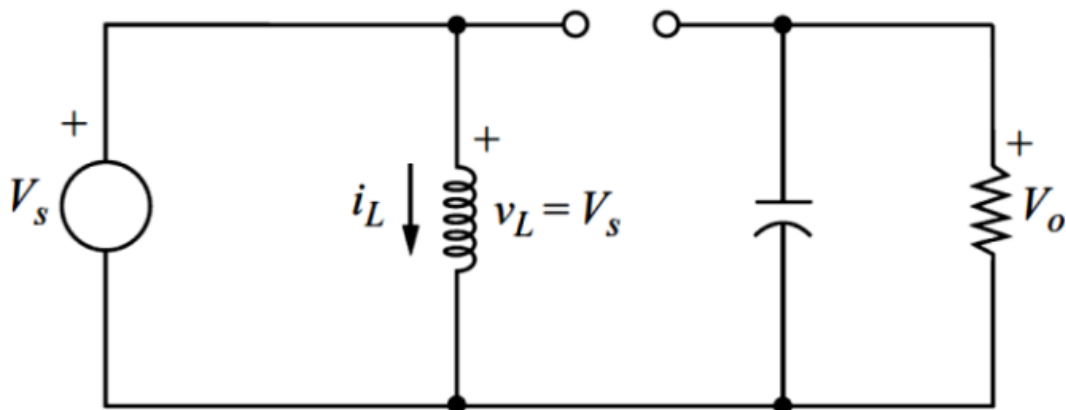


فرضیات زیر در مورد عملکرد مبدل در نظر گرفته می شود:

۱. مدار در حالت دائم عمل می کند.
۲. جریان سلف پیوسته است.
۳. خازن به قدر کافی بزرگ است تا بتوان ولتاژ خروجی را ثابت فرض کرد.
۴. کلید برای مدت زمان  $DT$  بسته و برای مدت زمان  $(1-D)T$  باز می باشد.
۵. قطعات ایده آل هستند.

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## محاسبه نسبت تبدیل (کلید روشن)



$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt}$$

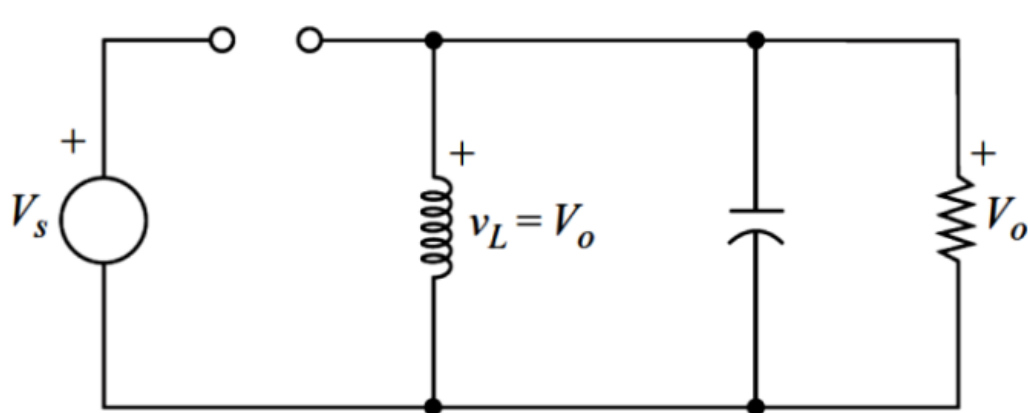
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L}$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L}$$

$$(\Delta i_L)_{closed} = \frac{V_s DT}{L}$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## محاسبه نسبت تبدیل (کلید خاموش)



$$v_L = V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_o}{L}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_o}{L}$$

$$(\Delta i_L)_{open} = \frac{V_o(1-D)T}{L}$$

$$(\Delta i_L)_{closed} + (\Delta i_L)_{open} = 0$$

$$\frac{V_s D T}{L} + \frac{V_o(1-D)T}{L} = 0$$

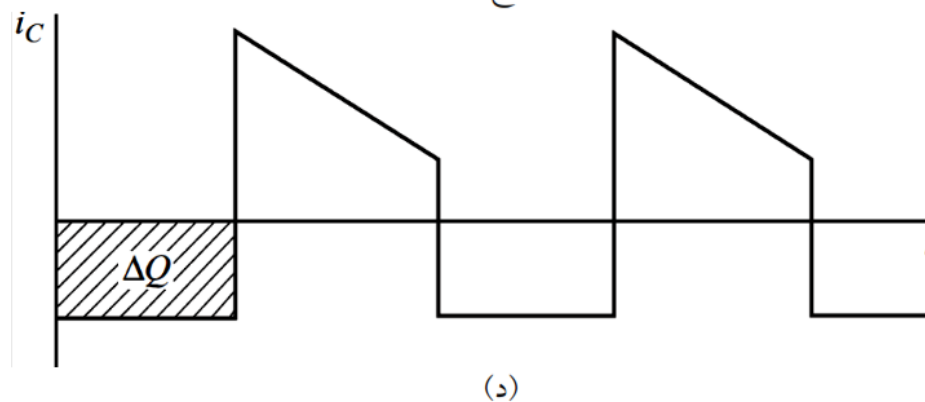
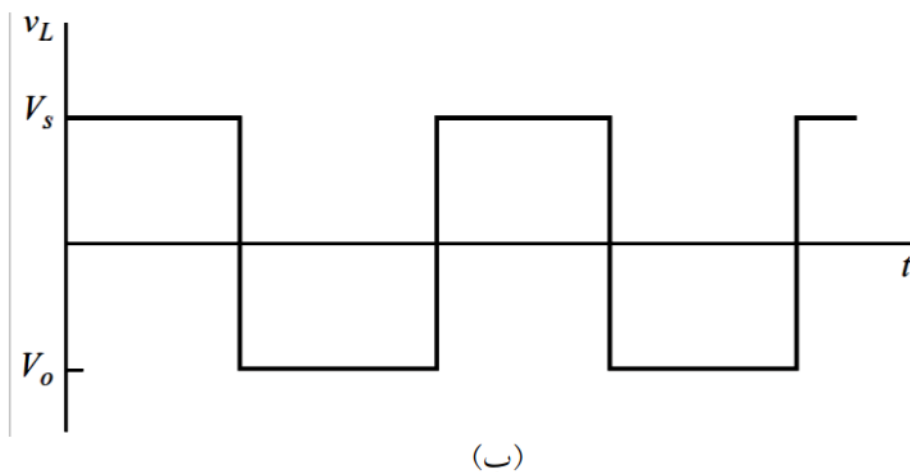
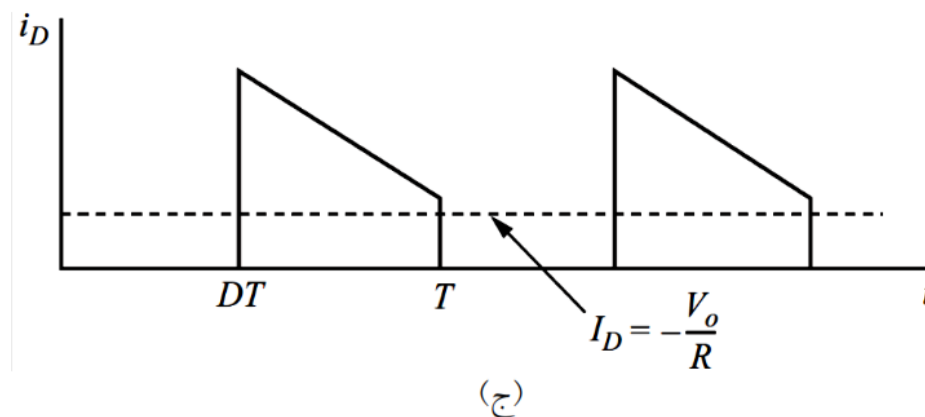
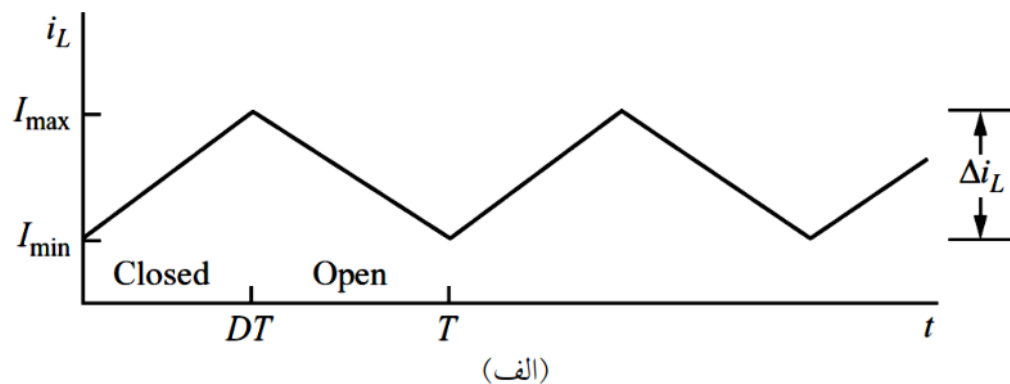
$$V_o = -V_s \left( \frac{D}{1-D} \right)$$

$$V_L = V_s D + V_o(1-D) = 0$$

اگر  $D > 0.5$  باشد، ولتاژ خروجی بزرگتر از ورودی و اگر  $D < 0.5$  باشد، خروجی کوچکتر از ورودی خواهد بود. بنابراین این مدار قابلیت‌های مبدل‌های کاهنده و افزایشده را ترکیب می‌کند.

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مبدل کاهنده-افزاینده



# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## محاسبه حداقل L

$$P_o = \frac{V_o^2}{R}$$

$$P_s = V_s I_s$$

$$\frac{V_o^2}{R} = V_s I_s$$

$$I_s = I_L D$$

$$\frac{V_o^2}{R} = V_s I_L D$$

$$I_L = \frac{V_o^2}{V_s R D} = \frac{P_o}{V_s D} = \frac{V_s D}{R(1-D)^2}$$

$$I_{\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s D}{R(1-D)^2} + \frac{V_s D T}{2L}$$

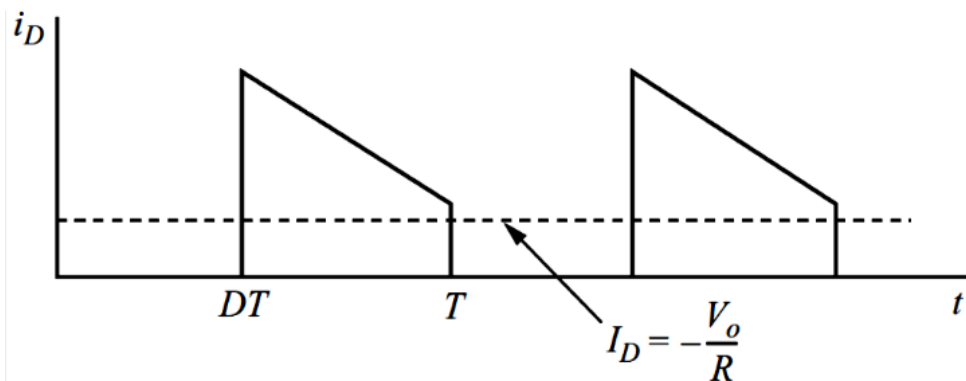
$$I_{\min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s D}{R(1-D)^2} - \frac{V_s D T}{2L}$$

$$(Lf)_{\min} = \frac{(1-D)^2 R}{2}$$

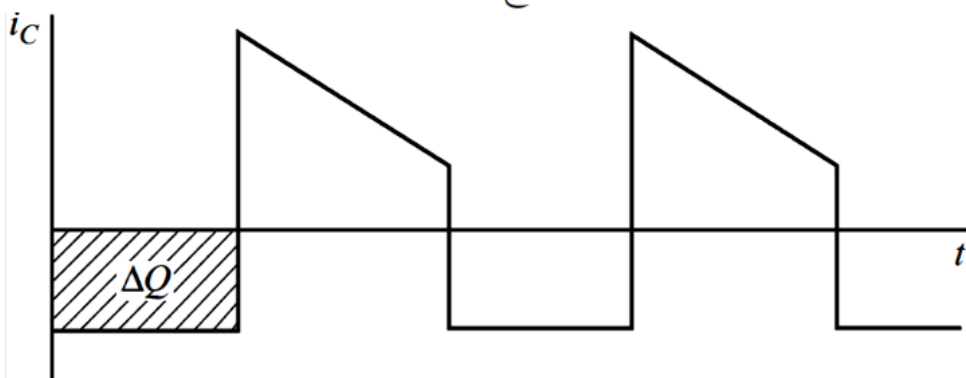
$$L_{\min} = \frac{(1-D)^2 R}{2f}$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## محاسبه C



(ج)



(د)

$$|\Delta Q| = \left( \frac{V_o}{R} \right) DT = C \Delta V_o$$

$$\Delta V_o = \frac{V_o DT}{RC} = \frac{V_o D}{RCf}$$

$$\boxed{\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf}}$$

$$\Delta V_{o,ESR} = \Delta i_C r_C = I_{L,\max} r_C$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مثال ۱

### مبدل کاهنده-افزاینده

مدار کاهنده-افزاینده شکل ۶-۱۱ دارای پارامترهای زیر است:

ولتاژ خروجی، میانگین جریان سلف، مقادیر حداکثر و حداقل جریان سلف، و ریپل ولتاژ خروجی را تعیین کنید.

■ حل:

ولتاژ خروجی

$$V_o = -V_s \left( \frac{D}{1-D} \right) = -24 \left( \frac{0.4}{1-0.4} \right) = -16 \text{ V}$$



## دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

### مثال ۱ (ادامه)

جریان سلف

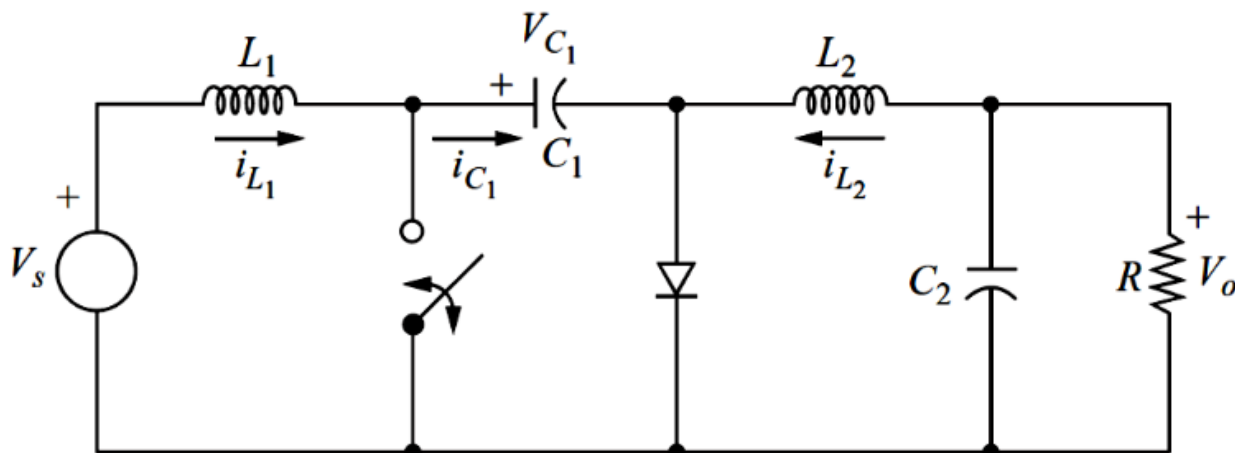
$$I_L = \frac{V_s D}{R(1-D)^2} = \frac{24(0.4)}{5(1-0.4)^2} = 5.33 \text{ A} \quad I_{L,\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = 5.33 + \frac{4.8}{2} = 7.33 \text{ A}$$
$$\Delta i_L = \frac{V_s D T}{L} = \frac{24(0.4)}{20(10)^{-6}(100,000)} = 4.8 \text{ A} \quad I_{L,\min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = 5.33 - \frac{4.8}{2} = 2.93 \text{ A}$$

ریپل ولتاژ خروجی

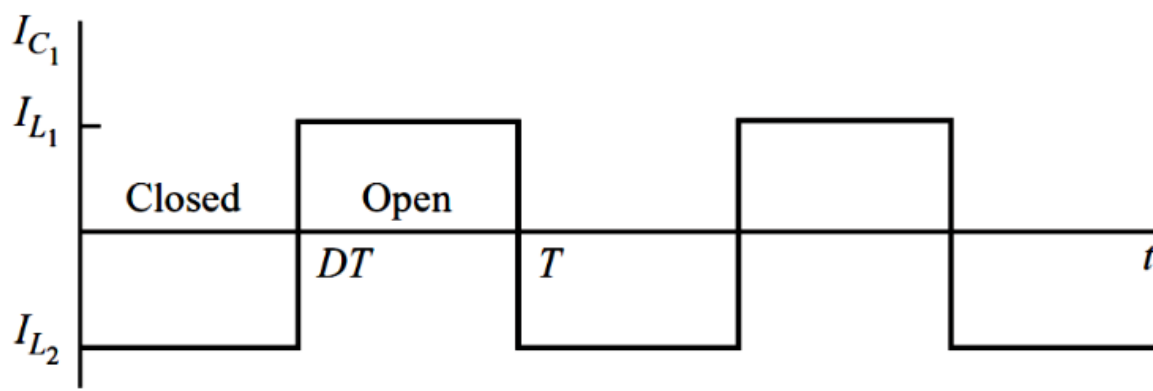
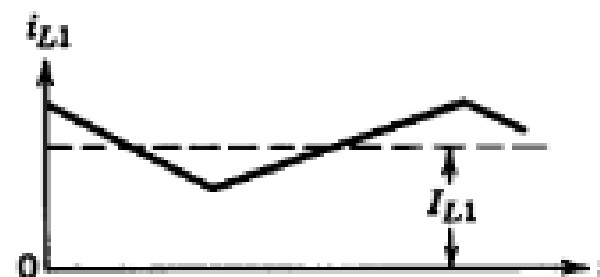
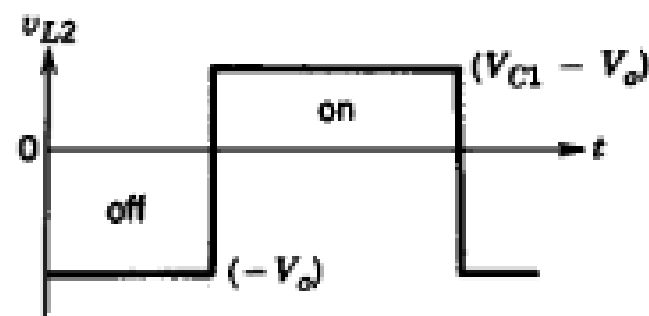
$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} = \frac{0.4}{(5)(80)(10)^{-6}(100,000)} = 0.01 = 1\%$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود - دانشکده مهندسی برق

## مبدل چاک

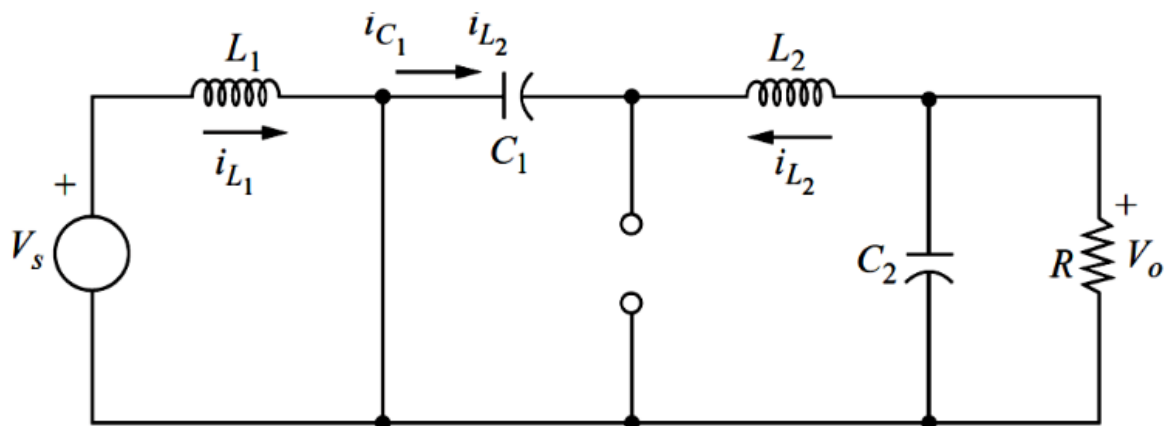


$$V_{C1} = V_s - V_o$$



# دانشگاه صنعتی شاهرود - دانشکده مهندسی برق

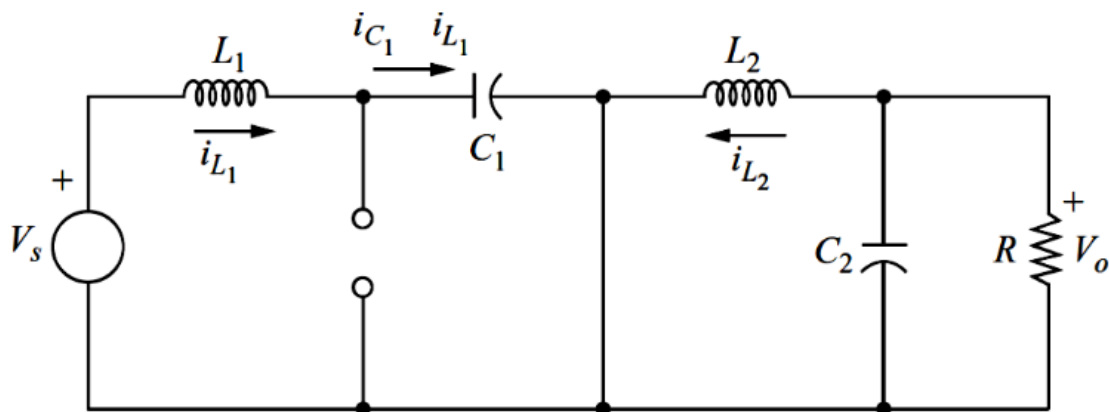
## مبدل چاک



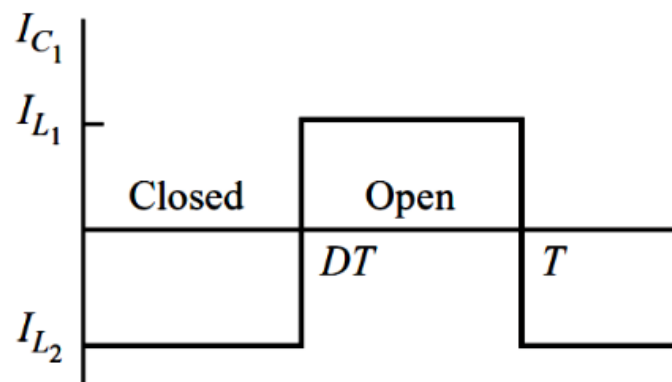
$$(i_{C_1})_{closed} = -I_{L2}$$

$$(i_{C_1})_{open} = I_{L1}$$

$$-V_o I_{L2} = V_s I_{L1}$$



$$[(i_{C_1})_{closed}]DT + [(i_{C_1})_{open}](1-D)T = 0$$



# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مبدل چاک

$$-I_{L2}DT + L_{L1}(1-D)T = 0$$

$$\frac{I_{L1}}{I_{L2}} = \frac{D}{1-D}$$

$$P_s = P_o$$

$$V_s I_{L1} = -V_o I_{L2}$$

$$\frac{I_{L1}}{I_{L2}} = -\frac{V_o}{V_s}$$

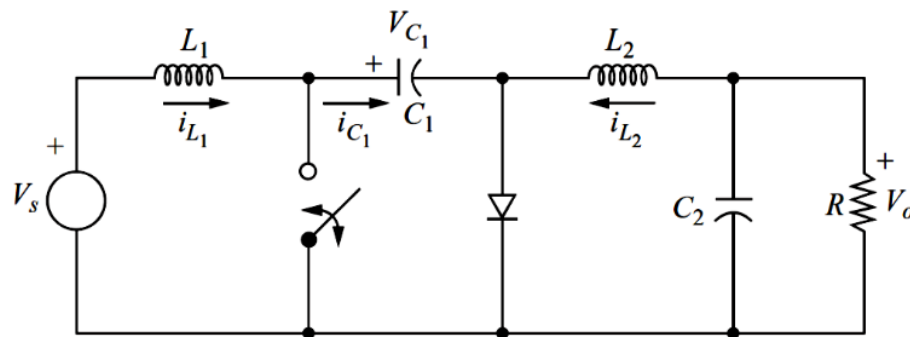
$$V_o = -V_s \left( \frac{D}{1-D} \right)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8L_2C_2f^2}$$

ریپل یا تغییرات در ولتاژ خروجی  
همانند مبدل کاهنده هست. چرا؟

$$\Delta v_{C1} \approx \frac{1}{C_1} \int_{DT}^T I_{L1} d(t) = \frac{I_{L1}}{C_1} (1-D)T = \frac{V_s}{RC_1 f} \left( \frac{D^2}{1-D} \right)$$

$$\Delta v_{C1} \approx \frac{V_o D}{RC_1 f}$$



# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مبدل چاک

$$v_{L_1} = V_s = L_1 \frac{di_{L1}}{dt}$$

$$\frac{\Delta i_{L1}}{DT} = \frac{V_s}{L_1}$$

$$\Delta i_{L2} = \frac{V_s DT}{L_2} = \frac{V_s D}{L_2 f}$$

در حالت جریان پیوسته در سلف‌ها، میانگین جریان باید بزرگتر از نصف تغییرات جریان باشد، حداقل اندازه سلف‌ها برای جریان پیوسته به صورت زیر می باشد:

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_s DT}{L_1} = \frac{V_s D}{L_1 f}$$

$$L_{1,\min} = \frac{(1-D)^2 R}{2Df}$$

$$L_{2,\min} = \frac{(1-D)R}{2f}$$

$$v_{L2} = V_o + (V_s - V_o) = V_s = L_2 \frac{di_{L2}}{dt}$$

## دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

### مثال ۲

#### طراحی مبدل چاک

یک مبدل چاک ورودی  $V_i = 12$  دارد و باید خروجی  $V_o = 18$  داشته باشد و بار  $W = 40$  را تامین کند. نسبت وظیفه، فرکانس کلیدزنی و اندازه سلف‌ها را به گونه‌ای انتخاب کنید که تغییرات جریان‌های سلف بیشتر از ۱۰ درصد جریان میانگین سلف نباشد. رپل ولتاژ خروجی کمتر از ۱ درصد باشد و رپل ولتاژ دو سر  $C_L$  بیشتر از ۵ درصد نباشد.

■ حل:

$$\frac{V_o}{V_s} = -\frac{D}{1-D} = \frac{-18}{12} = -1.5$$

نسبت وظیفه

$$D = 0.6$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مثال ۲ (ادامه)

با انتخاب فرکانس کلیدزنی ۵۰ کیلوهرتز

$$I_{L2} = \frac{P_o}{-V_o} = \frac{40W}{18V} = 2.22 \text{ A}$$

$$I_{L1} = \frac{P_s}{V_s} = \frac{40W}{12V} = 3.33 \text{ A}$$

$$\Delta i_L = \frac{V_s D}{Lf}$$

$$L_2 \geq \frac{V_s D}{f \Delta i_{L2}} = \frac{(12)(0.6)}{(50.000)(0.222)} = 649 \text{ } \mu\text{H}$$

$$L_1 \geq \frac{V_s D}{f \Delta i_{L1}} = \frac{(12)(0.6)}{(50.000)(0.333)} = 432 \text{ } \mu\text{H}$$

$$C_2 \geq \frac{1-D}{(\Delta V_o / V_o) 8 L_2 f^2} = \frac{1-0.6}{(0.01)(8)(649)(10)^{-6} (50,000)^2} = 3.08 \text{ } \mu\text{F}$$

میانگین ولتاژ دو سر  $C_1$  برابر است با:  $V_S - V_o = 12 - (-18) = 30V$ ، بنابراین حداکثر تغییرات

$$R = \frac{V_o^2}{P} = \frac{(18)^2}{40} = 8.1 \text{ } \Omega$$

در  $V_{C1}$  برابر است با  $30(0.5) = 15V$ .

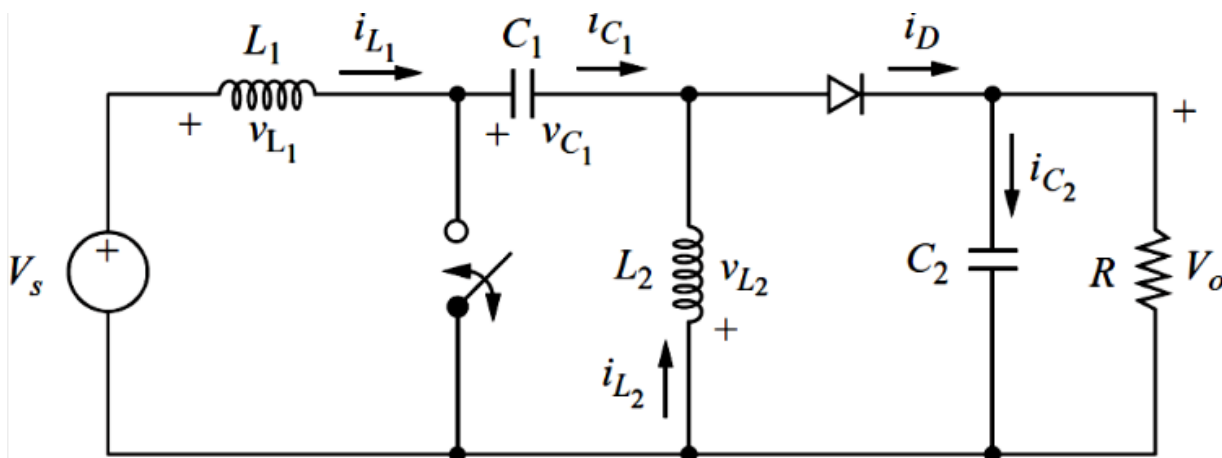
# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مبدل SEPIC

$C_1$  از رپیل خواسته شده

$$C_1 \geq \frac{V_o D}{R f \Delta v_{C1}} = \frac{(18)(0.6)}{(8.1)(50,000)(1.5)} = 17.8 \mu\text{F}$$

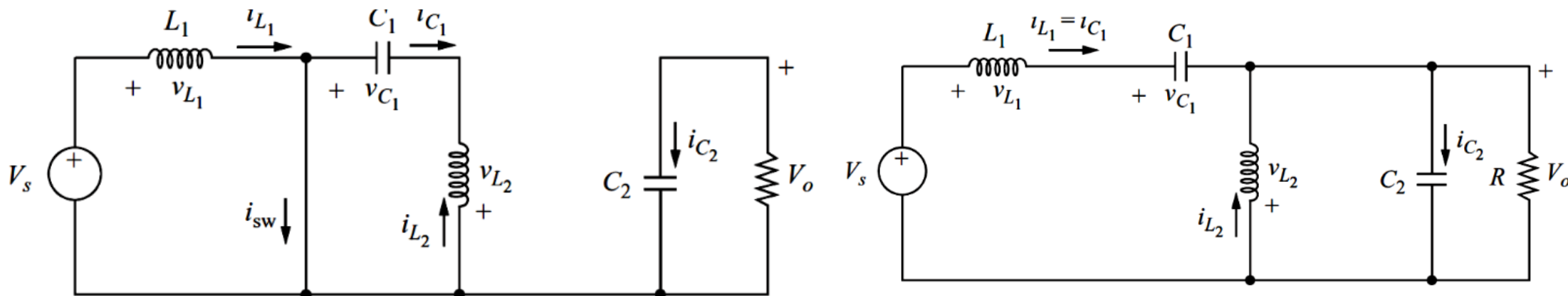
Single-Ended Primary Inductance Converter





# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مبدل SEPIC



$$-V_s + v_{L1} + v_{C1} - v_{L2} = 0$$

$$v_{L1} = V_s \quad \text{هنگامی که کلید بسته است}$$

$$-V_s + 0 + v_{C1} - 0 = 0$$

$$-V_s + v_{L1} + v_{C1} + V_o = 0 \quad \text{هنگامی که کلید باز است}$$

$$V_{C1} = V_s$$

$$-V_s + v_{L1} + V_s + V_o = 0 \quad v_{L1} = -V_o$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مبدل SEPIC

$$(v_{L1,swclosed})(DT) + (v_{L1,swopen})(1-D)T = 0$$

$$V_s(DT) - V_o(1-D)T = 0$$

$$V_o = V_s \left( \frac{D}{1-D} \right)$$

$$D = \frac{V_o}{V_o + V_s}$$

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_s DT}{L_1} = \frac{V_s D}{L_1 f}$$

$$i_{L2} = i_{C2} + I_o - i_{C1}$$

$$I_{L2} = I_o$$

$$I_{L1} = I_s = \frac{V_o I_o}{V_s} = \frac{V_o^2}{V_s R}$$

$$v_{L2} = v_{C1} = V_s = L_2 \left( \frac{di_{L2}}{dt} \right) = L_2 \left( \frac{\Delta i_{L2}}{\Delta t} \right) = L_2 \left( \frac{\Delta i_{L2}}{DT} \right)$$

$$v_{L1} = V_s = L_1 \left( \frac{di_{L1}}{dt} \right) = L_1 \left( \frac{\Delta i_{L1}}{\Delta t} \right) = L_1 \left( \frac{\Delta i_{L1}}{DT} \right)$$

$$\Delta i_{L2} = \frac{V_s DT}{L_2} = \frac{V_s D}{L_2 f}$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

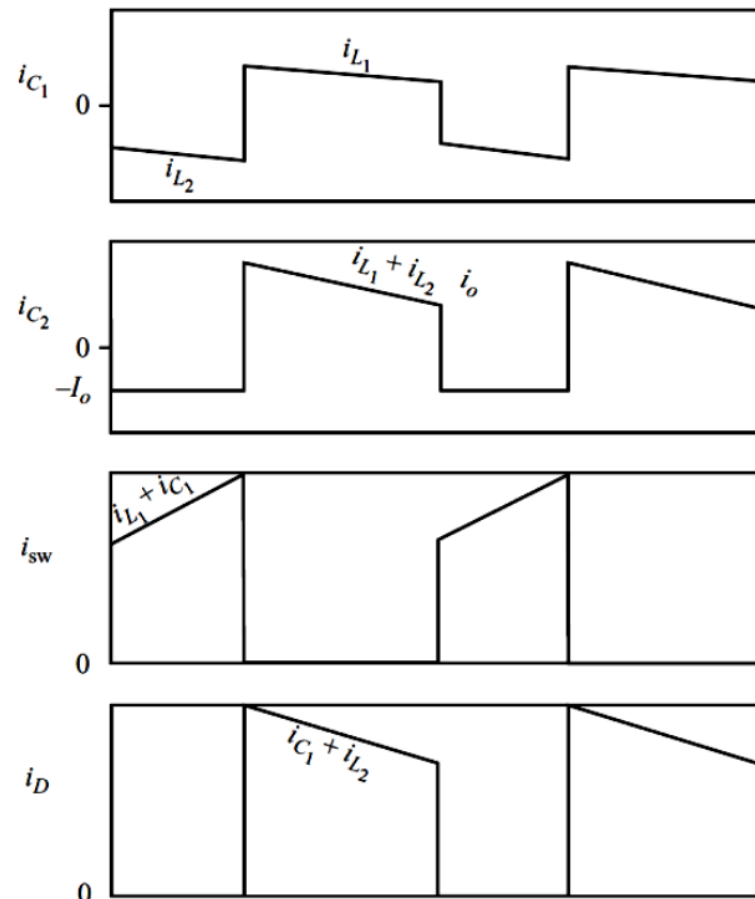
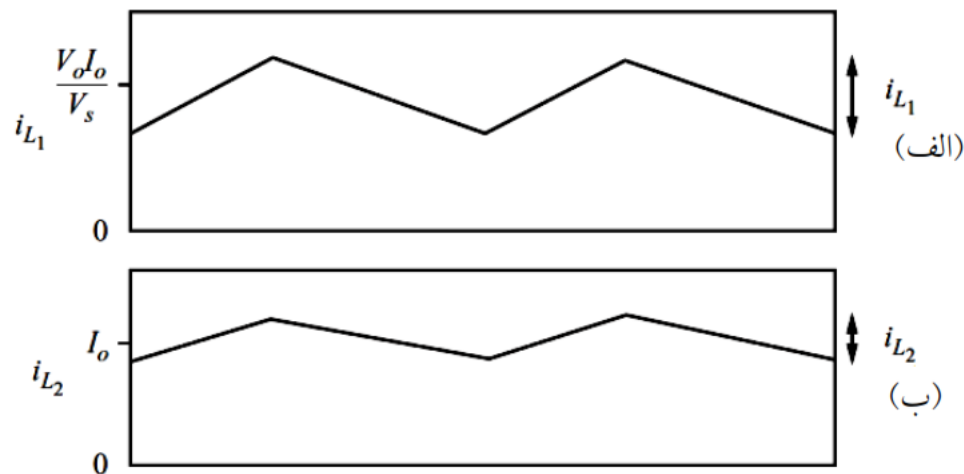
## مبدل SEPIC

$$i_D = \begin{cases} 0 & \text{when switch is closed} \\ i_{L1} + i_{L2} & \text{when switch is open} \end{cases}$$

when switch is closed  
when switch is open

$$i_{sw} = \begin{cases} i_{L1} + i_{L2} & \text{when switch is closed} \\ 0 & \text{when switch is open} \end{cases}$$

when switch is closed  
when switch is open



# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مبدل SEPIC

$$\Delta V_o = \Delta V_{C2} = \frac{V_o D}{RC_2 f}$$

$$C_2 = \frac{D}{R(\Delta V_o / V_o) f}$$

$$\Delta V_{C1} = \frac{V_o D}{RC_1 f}$$

$$C_1 = \frac{D}{R(\Delta V_{C1} / V_o) f}$$

$$\Delta V_{C1} = \frac{\Delta Q_{C1}}{C} = \frac{I_o \Delta t}{C} = \frac{I_o D T}{C}$$

## دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

### مثال ۳

مدار SEPIC دارای پارامترهای زیر است:

$$V_s = 9 \text{ V}$$

$$L_1 = L_2 = 90 \text{ } \mu\text{H}$$

$$D = 0.4$$

$$C_1 = C_2 = 80 \text{ } \mu\text{F}$$

$$f = 100 \text{ kHz}$$

$$I_o = 2 \text{ A}$$

ولتاژ خروجی، میانگین، حداکثر و حداقل جریان های سلف ها و تغییرات در ولتاژ دو سر هر خازن را تعیین کنید.

■ حل:

$$V_o = V_s \left( \frac{D}{1-D} \right) = 9 \left( \frac{0.4}{1-0.4} \right) = 6 \text{ V}$$

ولتاژ خروجی

جریان میانگین در  $L_1$

$$I_{L1} = \frac{V_o I_o}{V_s} = \frac{6(2)}{9} = 1.33 \text{ A}$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مثال ۳ (ادامه)

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_s D}{L_1 f} = \frac{9(0.4)}{90(10)^{-6}(100,000)} = 0.4 \text{ A}$$

$$\Delta i_{L2} = \frac{V_s D}{L_2 f} = \frac{9(0.4)}{90(10)^{-6}(100,000)} = 0.4 \text{ A}$$

$$I_{L1,\max} = I_{L1} + \frac{\Delta i_{L1}}{2} = 1.33 + \frac{0.4}{2} = 1.53 \text{ A}$$

$$I_{L2,\max} = 2 + \frac{0.4}{2} = 2.2 \text{ A}$$

$$I_{L1,\min} = I_{L1} - \frac{\Delta i_{L1}}{2} = 1.33 - \frac{0.4}{2} = 1.13 \text{ A}$$

$$I_{L2,\min} = 2 - \frac{0.4}{2} = 1.8 \text{ A}$$

$$\Delta V_o = \Delta V_{C2} = \frac{V_o D}{RC_2 f} = \frac{6(0.4)}{(3)80(10)^{-6}(100,000)} = 0.1 \text{ V}$$

$$\Delta V_{C1} = \frac{V_o D}{RC_1 f} = \frac{6(0.4)}{(3)80(10)^{-6}(100,000)} = 0.1 \text{ V}$$

مقاومت بار معادل به مقدار  $3 \Omega$   $A=3$   $V/2$