

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

نام درس: الکترونیک صنعتی

جلسه ۱۳: برشگرهای DC (مبدل‌های DC به DC)

ارائه دهنده: علی دستفان

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مقدمه

مبدل کاهنده (BUCK)

مبدل افزایشنده (BOOST)

مبدل کاهنده - افزایشنده (BUCK-BOOST)

مبدل چاک (CUK)

۶-۸- مبدل SEPIC

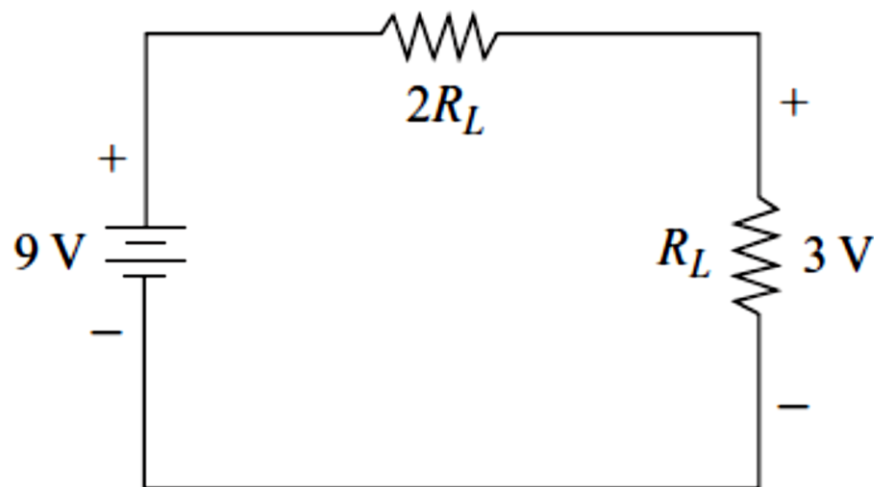
# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مقدمه

- تولید یک ولتاژ  $3V$  DC را از یک باتری  $9V$  در نظر بگیرید. هدف تغذیه بار مقاومتی با ولتاژ  $3V$  می باشد. یک راه حل ساده استفاده از یک تقسیم کننده ولتاژ می باشد که در شکل نشان داده شده است.

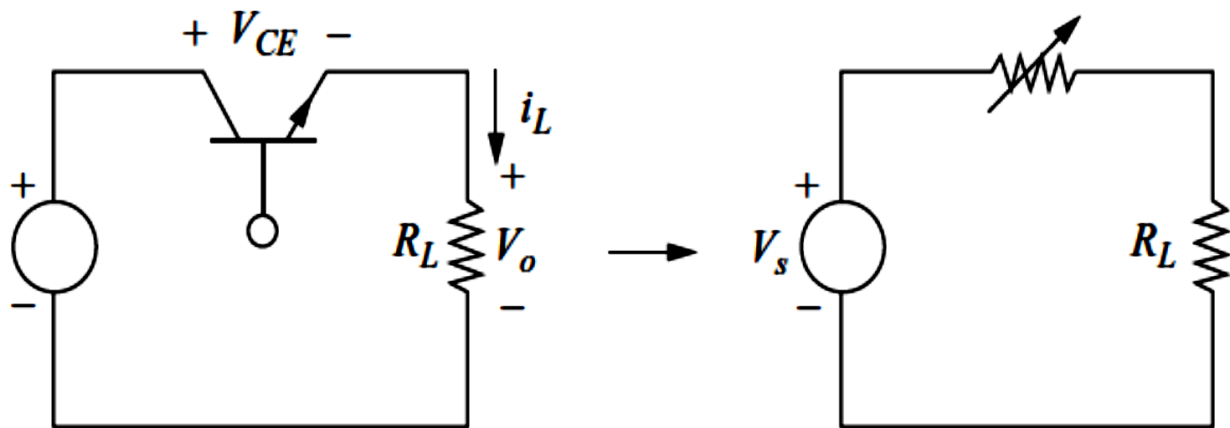
### مشکلات

- راندمان پایین ( $33\%$ )
- تغییر ولتاژ خروجی با تغییر مقاومت بار
- تغییر ولتاژ خروجی با تغییر ولتاژ ورودی



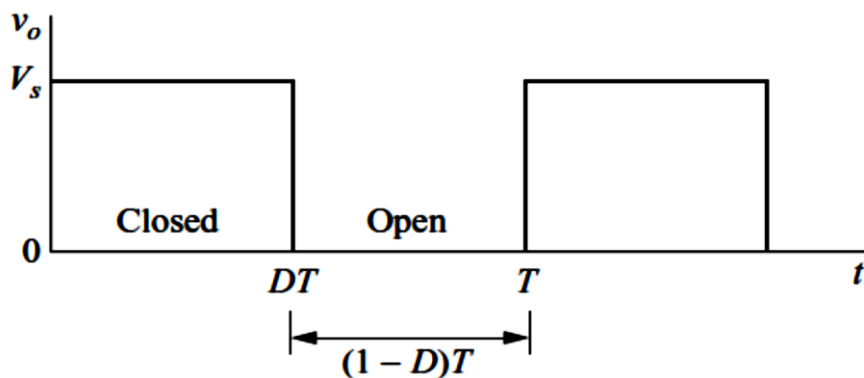
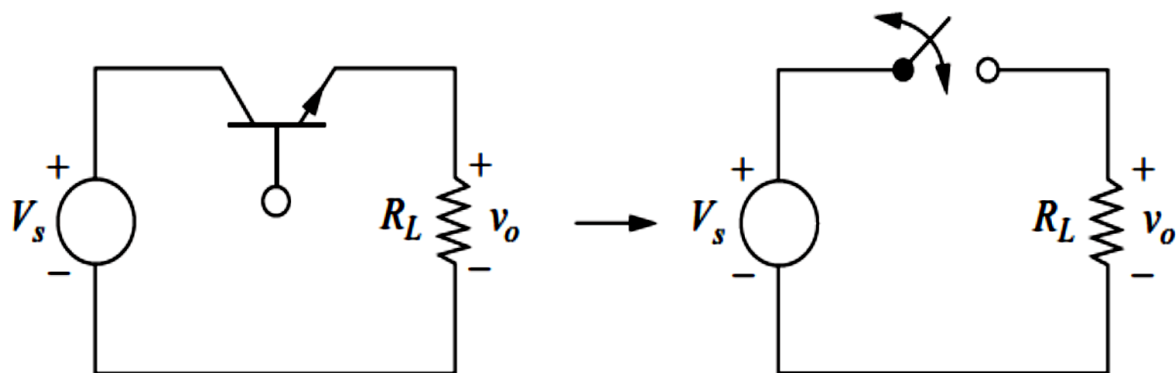
# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## استفاده از رگلاتور خطی



# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## استفاده از ترانزیستور بعنوان کلید

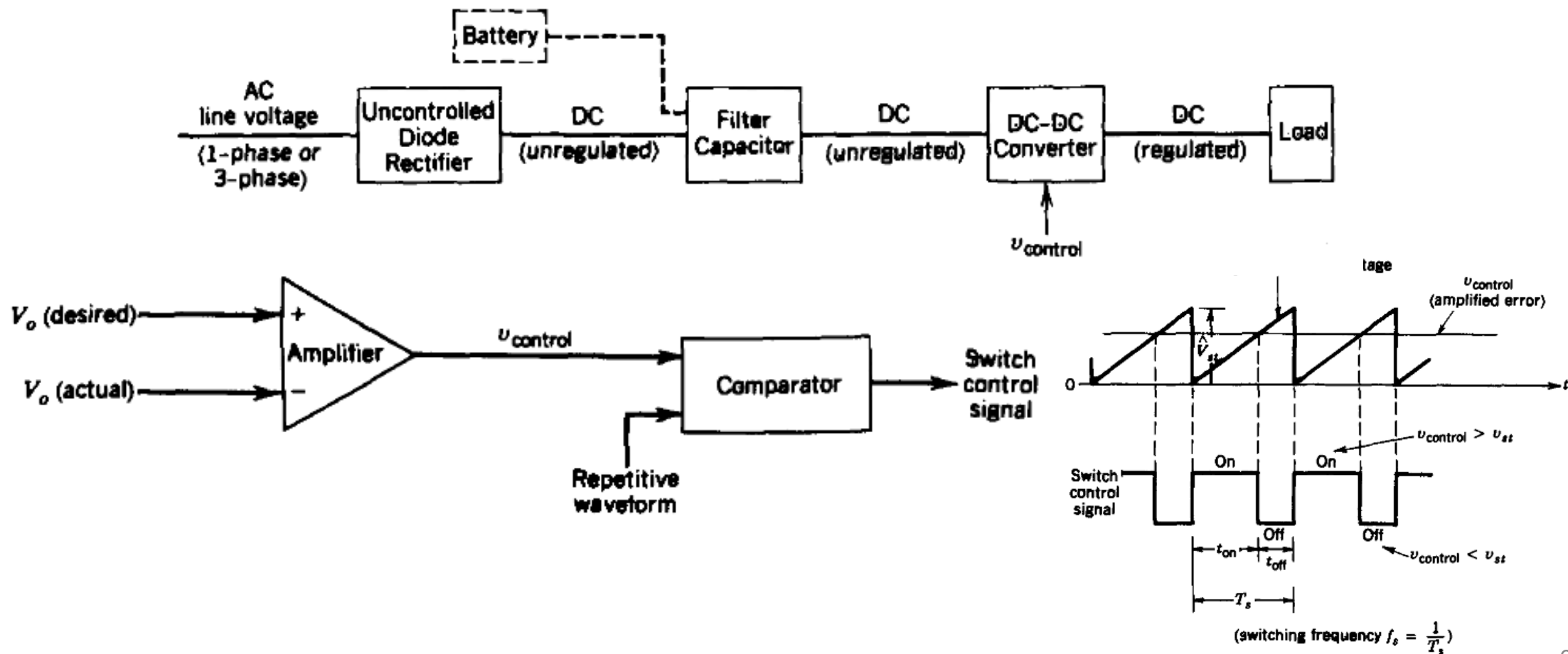


$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_s dt = V_s D$$

$$D \equiv \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} = t_{on} \cdot f$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## ساختار مورد نیاز

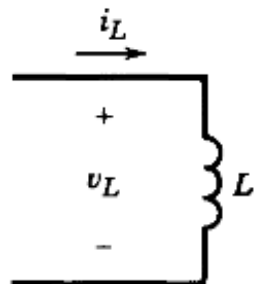


# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## اصل بقای انرژی در سلف و خازن در حالت پایدار

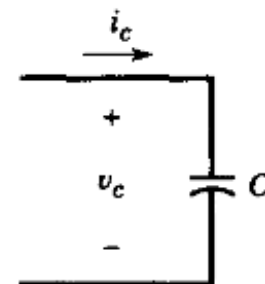
$$\int_{t_1}^{t_1+T} v_L d\xi = 0 \quad V_L = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} v_L(\lambda) d\lambda = 0 \quad v(t+T) = v(t) \quad \text{and} \quad i(t+T) = i(t)$$

$$\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} v_L d\xi = 0$$

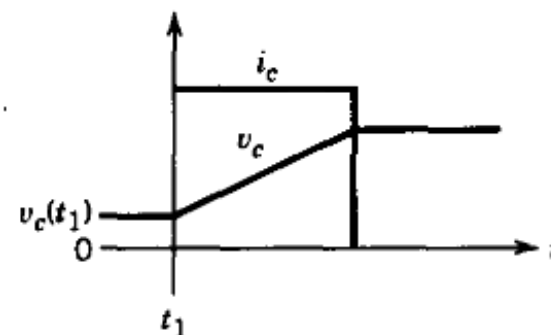
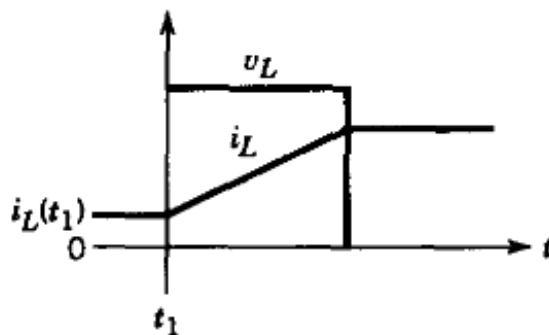


$$\int_{t_1}^{t_1+T} i_c d\xi = 0$$

$$I_C = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} i_c(\lambda) d\lambda = 0$$

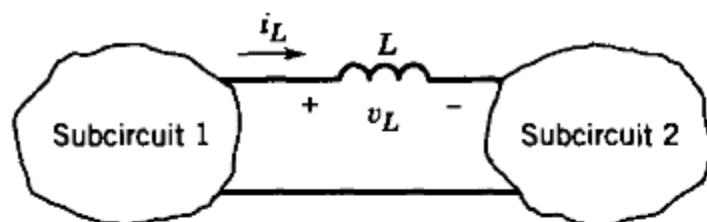


$$\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} i_c d\xi = 0$$

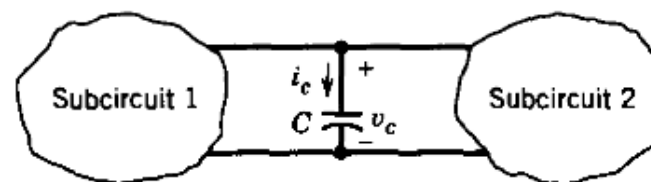
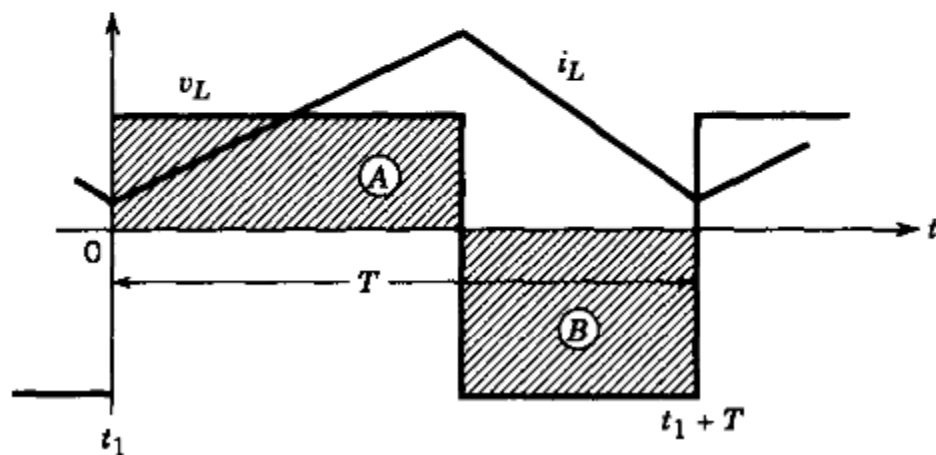


# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

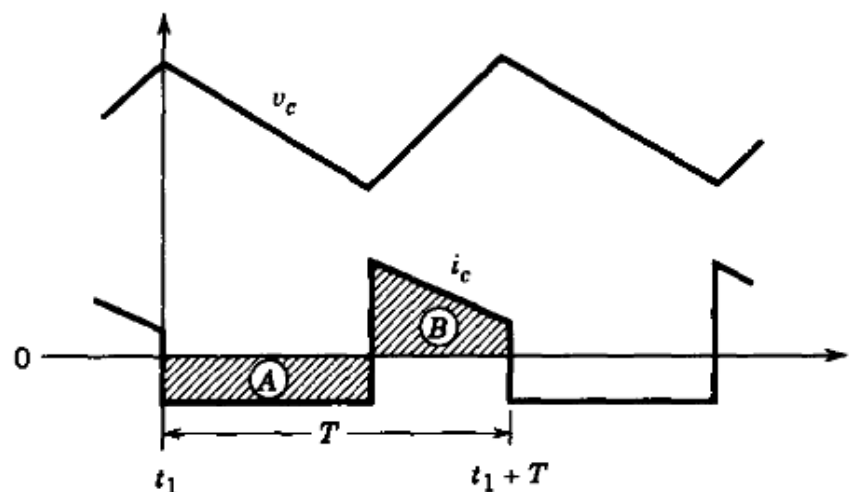
## اصل بقای انرژی در سلف و خازن در حالت پایدار



(a)



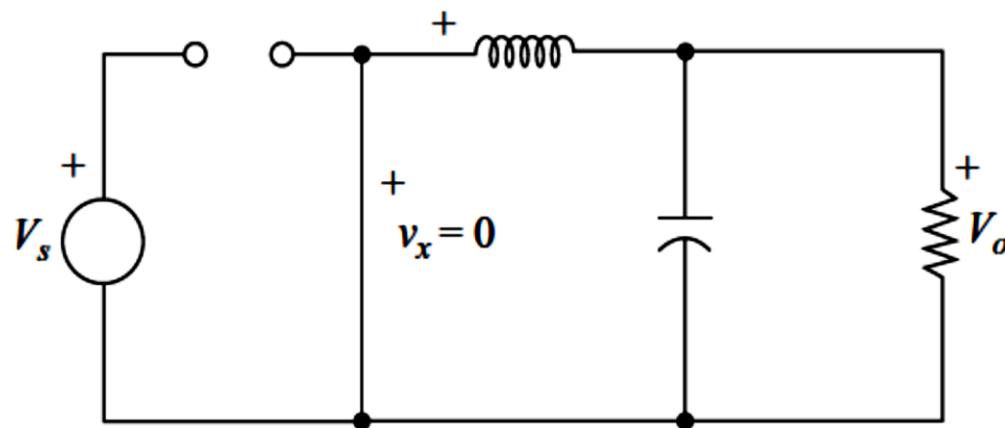
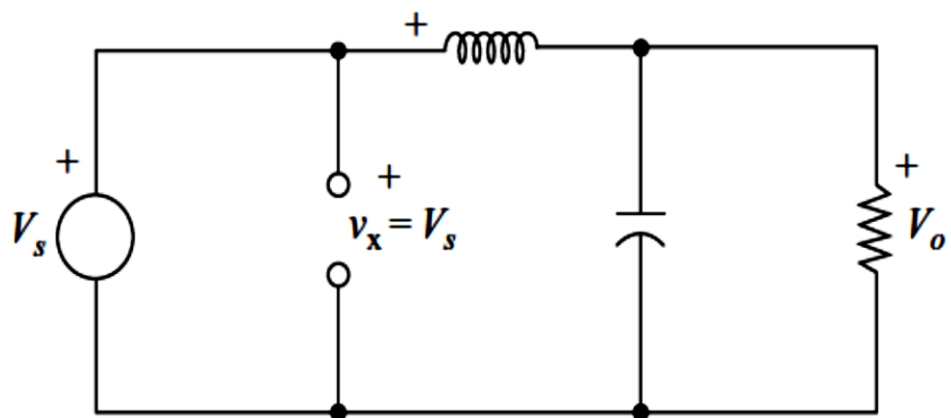
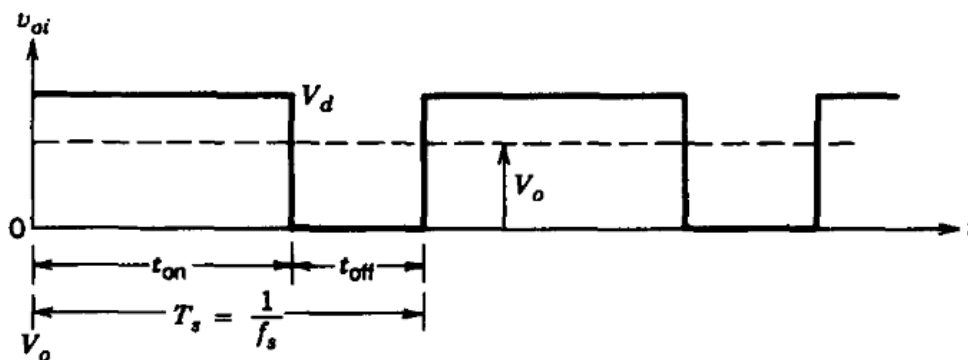
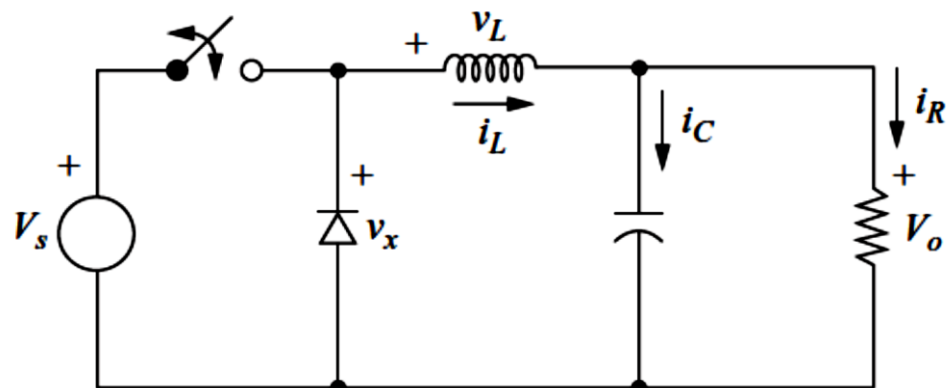
(a)





# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مبدل کاهنده



# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## فرضیات

۱. مدار در حالت دائم کار می کند.
۲. جریان سلف پیوسته است (همیشه مثبت است)
۳. خازن خیلی بزرگ است و ولتاژ خروجی مقدار ثابت  $V_o$  می باشد. این شرط بعداً برداشته خواهد شد تا تاثیر خازن با ظرفیت محدود نشان داده شود.
۴. دوره تناوب کلیدزنی  $T$  می باشد. کلید برای مدت زمان  $DT$  بسته و برای مدت زمان  $(1-DT)$  باز می شود.

۵. قطعات ایده آل هستند.

$$i_L(t + T) = i_L(t)$$

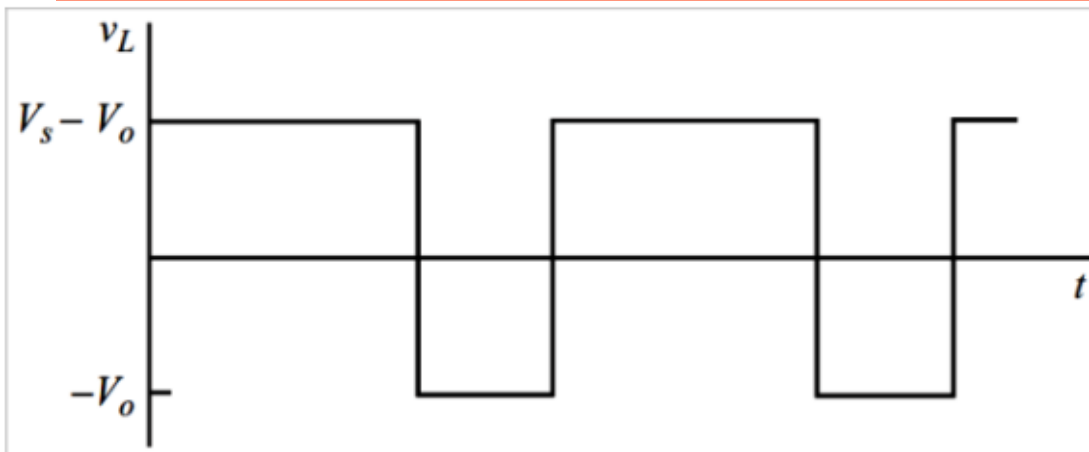
$$P_s = P_o \quad \text{ایده آل}$$

$$V_L = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} v_L(\lambda) d\lambda = 0$$

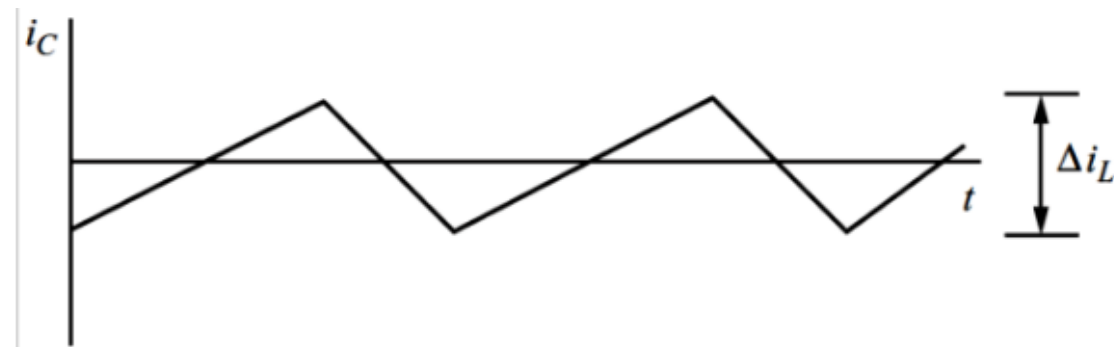
$$P_s = P_o + losses \quad \text{غیر ایده آل}$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

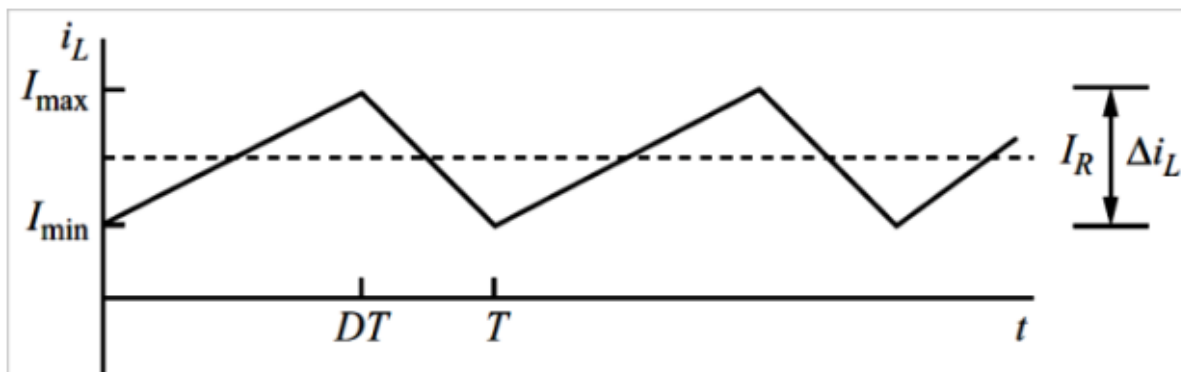
## مبدل کاهنده در حالت CCM



(الف)



(ج)



(ب)

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مبدل کاهنده در حالت CCM

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

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

در حالت کلید باز  $\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_o}{L}$

در حالت کلید بسته  $\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L}$

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

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s - V_o}{L}$$

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

$$(\Delta i_L)_{closed} = \left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)DT$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مبدل کاهنده در حالت CCM

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

$$I_L = I_R = \frac{V_o}{R}$$

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

$$I_{max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$= \frac{V_o}{R} + \frac{1}{2} \left[ \frac{V_o}{L} (1-D)T \right] = V_o \left( \frac{1}{R} + \frac{1-D}{2Lf} \right)$$

$$V_o = V_s D$$

$$I_{min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2}$$

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

$$= \frac{V_o}{R} - \frac{1}{2} \left[ \frac{V_o}{L} (1-D)T \right] = V_o \left( \frac{1}{R} - \frac{1-D}{2Lf} \right)$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مبدل کاهنده در حالت CCM (محاسبه مقدار L)

$$I_{\min} = 0 = V_o \left( \frac{1}{R} - \frac{1-D}{2Lf} \right)$$

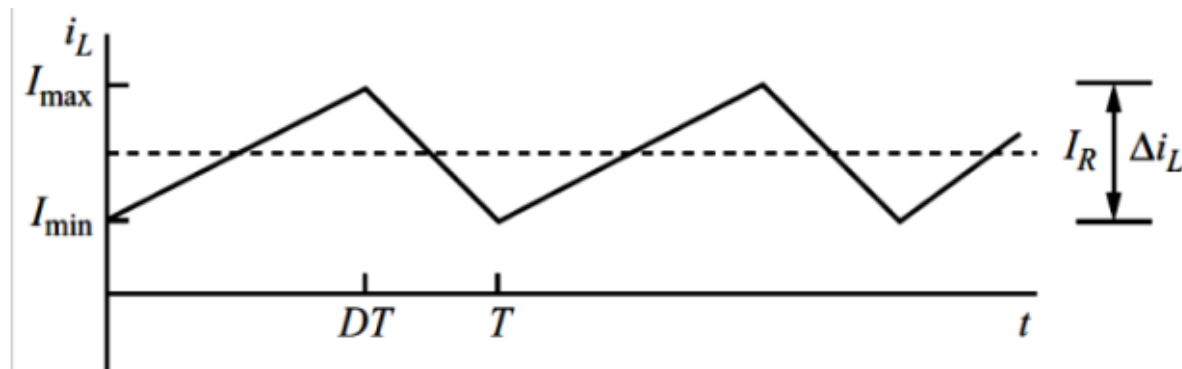
$$(Lf)_{\min} = \frac{(1-D)R}{2}$$

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

$$P_s = P_o$$

$$V_s I_s = V_o I_o$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{I_s}{I_o}$$

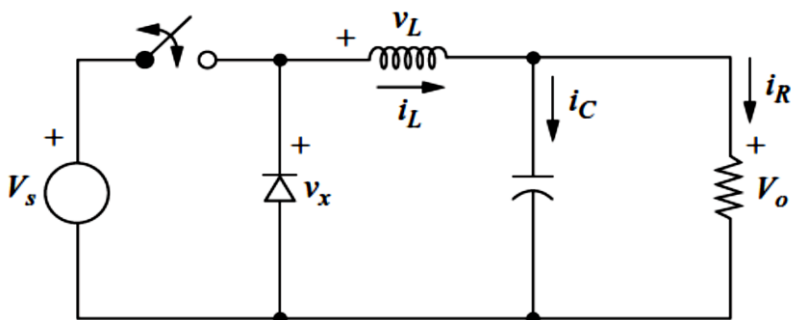


$$\Delta i_L = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) DT = \left( \frac{V_s - V_o}{Lf} \right) D = \frac{V_o(1-D)}{Lf}$$

$$L = \left( \frac{V_s - V_o}{\Delta i_L f} \right) D = \frac{V_o(1-D)}{\Delta i_L f}$$

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مبدل کاهنده در حالت CCM (محاسبه مقدار C)

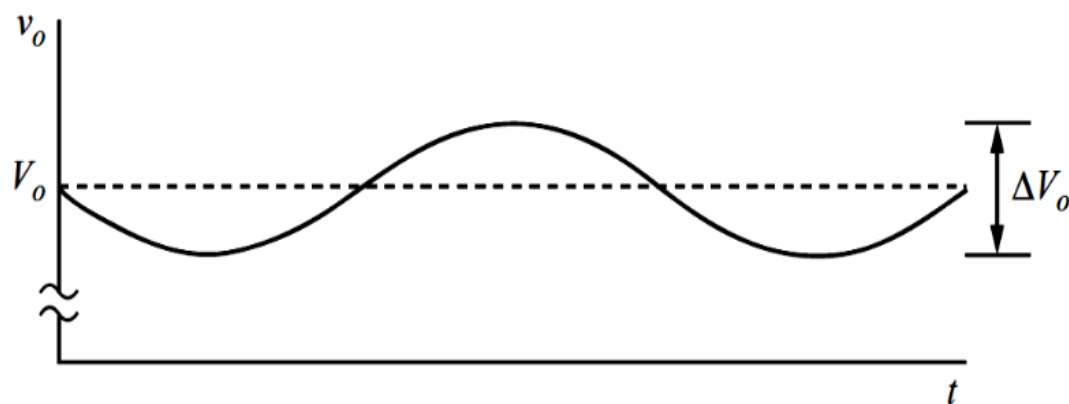
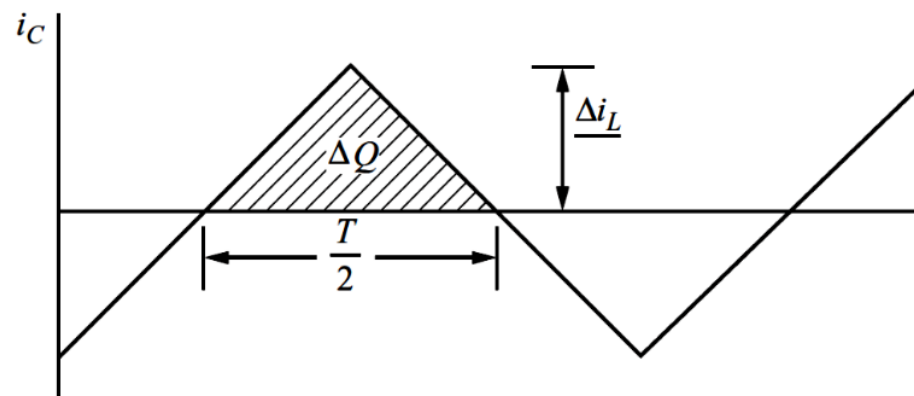


$$i_C = i_L - i_R$$

$$Q = CV_o$$

$$\Delta Q = C\Delta V_o$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C}$$



## دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

مبدل کاهنده در حالت CCM (محاسبه مقدار C)

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left( \frac{T}{2} \right) \left( \frac{\Delta i_L}{2} \right) = \frac{T \Delta i_L}{8}$$

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

$$\Delta V_o = \frac{T \Delta i_L}{8C}$$

$$C = \frac{1-D}{8L(\Delta V_o / V_o) f^2}$$

$$\Delta V_o = \frac{TV_o}{8CL} (1-D)T = \frac{V_o(1-D)}{8LCf^2}$$



# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مثال ۱

$$V_s = 50V$$

مبدل DC-DC کاهنده دارای پارامترهای زیر می باشد:

$$D = 0.4$$

با فرض اینکه اجزاء مدار ایده آل است، مطلوبست محاسبه: (الف) ولتاژ خروجی  $V_o$ ، (ب)

$$L = 400\mu H$$

حداکثر و حداقل جریان سلف، (ج) ریپل ولتاژ خروجی.

$$C = 100\mu F$$

(الف) جریان پیوسته در نظر گرفته می شود

$$f = 20kHz$$

$$R = 20\Omega$$

$$V_o = V_s D = (50)(0.4) = 20 \text{ V}$$

(ب) حداکثر و حداقل جریان سلف

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## مثال ۱ (ادامه)

$$I_{\max} = V_o \left( \frac{1}{R} + \frac{1-D}{2Lf} \right)$$

$$= 20 \left[ \frac{1}{20} + \frac{1-0.4}{2(400)(10)^{-6}(20)(10)^3} \right]$$

$$= 1 + \frac{1.5}{2} = 1.75 \text{ A}$$

$$I_{\min} = V_o \left( \frac{1}{R} - \frac{1-D}{2Lf} \right)$$

$$= 1 - \frac{1.5}{2} = 0.25 \text{ A}$$

جریان متوسط سلف ۱ A است و  $\Delta i_L = 1/5 \text{ A}$

ج) رپیل ولتاژ خروجی

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} = \frac{1-0.4}{8(400)(10)^{-6}(100)(10)^{-6}(20,000)^2}$$

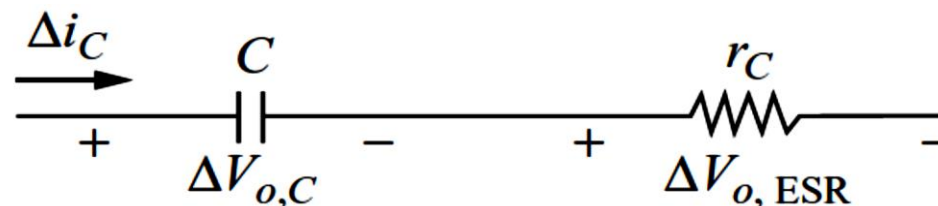
$$= 0.00469 = 0.469\%$$

از آنجا که رپیل ولتاژ خروجی به قدر کافی کوچک است، فرض ولتاژ خروجی ثابت، منطقی می باشد.

# دانشگاه صنعتی شاهرود – دانشکده مهندسی برق

## تأثیر مقاومت خازن بر روی رپل ولتاژ خروجی

$$\Delta V_{o,ESR} = \Delta i_C r_C = \Delta i_L r_C$$



$$\Delta V_o < \Delta V_{o,C} + \Delta V_{o,ESR}$$

$$\Delta V_o \approx \Delta V_{o,ESR} = \Delta i_C r_C$$

در مثال ۶-۱، خازن  $100 \mu F$  ممکن است که دارای ESR معادل  $r_C = 0.1 \Omega$  باشد. ولتاژ

رپل مربوط به ESR به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\Delta V_o / V_o = 0.15 / 20 = 0.75\%$$

$$\Delta V_{o,ESR} = \Delta i_C r_C = \Delta i_L r_C = (1.5 A)(0.1 \Omega) = 0.15 \text{ V}$$