

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

فصل سوم

خاموشی تریستور

Thyristor Commutation

تعریف کموتاسیون

به روش‌های خاموش کردن تریستور در اصطلاح کموتاسیون می‌گویند که به دو دسته:

▪ طبیعی یا خط

▪ اجباری

تقسیم می‌شوند.

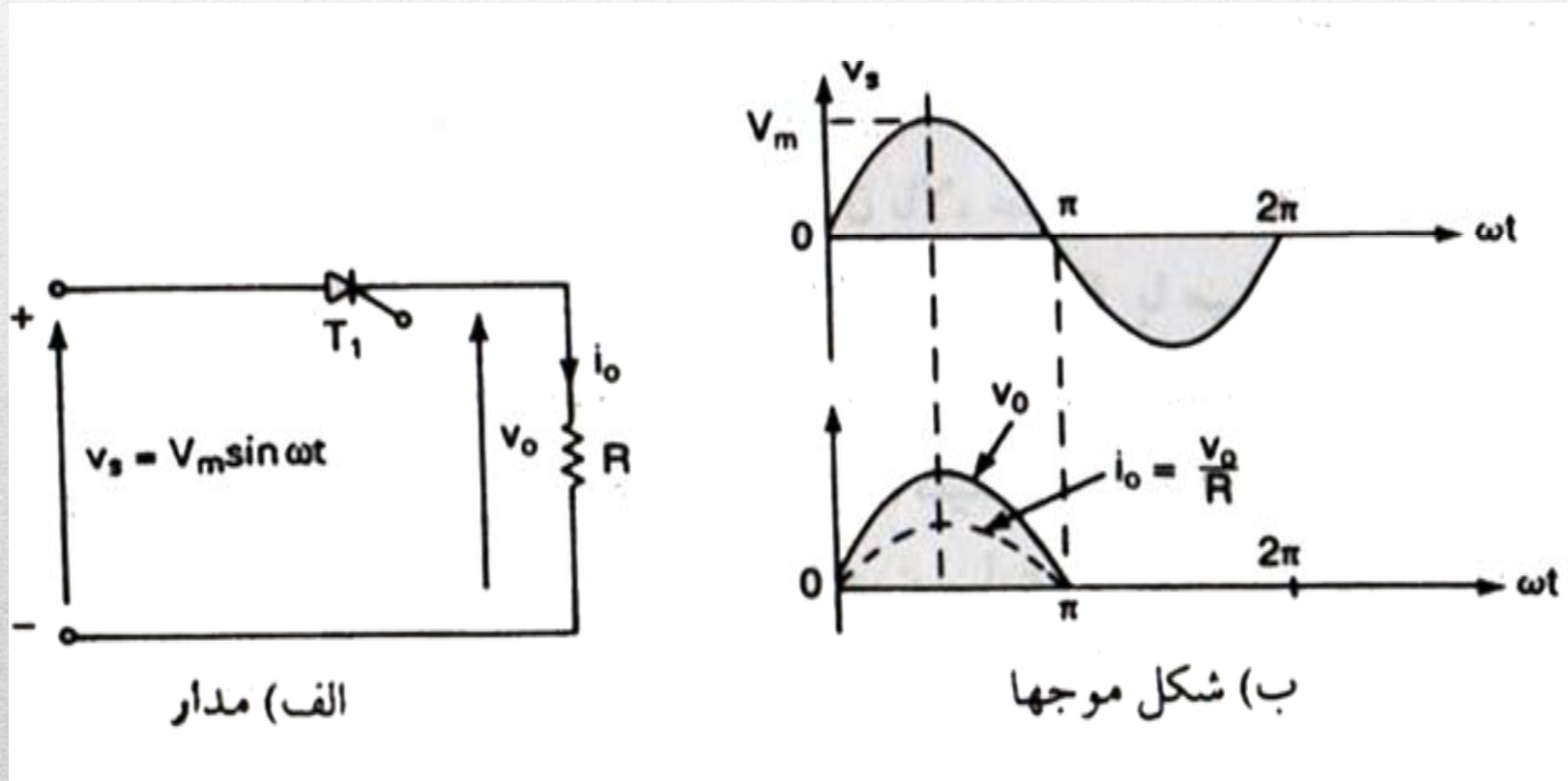
کموتاسیون طبیعی

Natural Commutation

اگر منبع ولتاژ متناوب باشد جریان تریستور به طور طبیعی صفر شده و یک ولتاژ معکوس روی دو سر تریستور ظاهر گشته که باعث میشود عنصر به طور اتوماتیک بخاطر رفتار طبیعی منبع خاموش می‌گردد.

این پدیده کموتاسیون طبیعی یا خط نامیده می‌شود.

کموتاسیون طبیعی



کموتاسیون اجباری

Forced Commutation

در بعضی از مدارات ولتاژ ورودی dc بوده و برای خاموش کردن تریستور از مداری اضافی بنام کموتاسیون استفاده می‌کنیم.

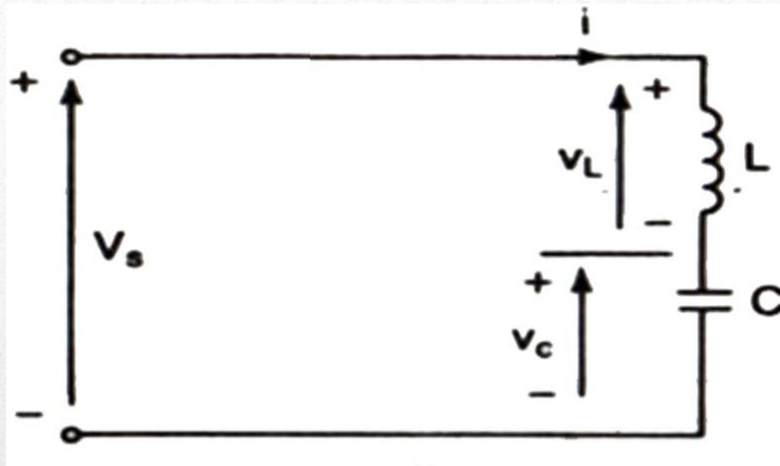
روش‌های مختلفی برای خاموش کردن تریستور بصورت اجباری وجود دارد که در ادامه اشاره می‌کنیم:

انواع کموتاسیون اجباری

- ۱- کموتاسیون خود به خود **Self Commutation**
- ۲- کموتاسیون ضربه **Impulse Commutation**
- ۳- کموتاسیون پالس تشدید **Resonant Pulse Commutation**
- ۴- کموتاسیون مکمل **Complementary Commutation**
- ۵- کموتاسیون پالس خارجی **External Commutation**
- ۶- کموتاسیون در سمت بار **Load Side Commutation**
- ۷- کموتاسیون در سمت خط **Line Side Commutation**

کموتاسیون خود به خود

Self Commutation



پیوست ۴ کتاب رشید: آنالیز گذرای DC

رابطه KVL

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt + V_c(t=0) = V_s$$

با حل این معادله دیفرانسیل با شرایط اولیه زیر:

$$V_c(t=0) = V_0 \quad i(t=0) = I_m$$

جواب عبارت است از:

$$i(t) = (V_s - V_0) \sqrt{\frac{C}{L}} \sin \omega_m t + I_m \cos \omega_m t$$

$$V_c(t) = I_m \sqrt{\frac{L}{C}} \sin \omega_m t - (V_s - V_0) \cos \omega_m t + V_s$$

$$\omega_m = 1/\sqrt{LC}$$

حالت اول

کموتاسیون خود به خود

شرایط اولیه:

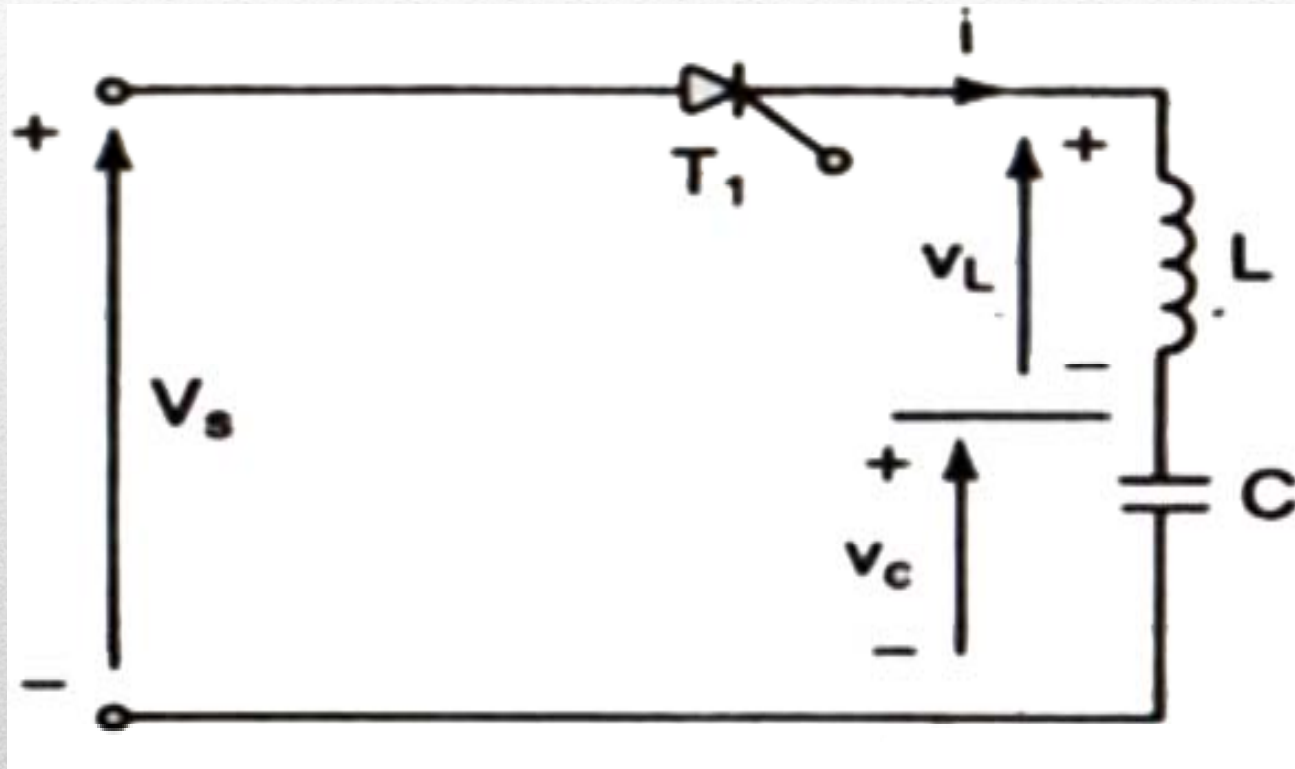
$$V_0 = 0$$

$$I_m = 0$$

پاسخ معادله دیفرانسیل:

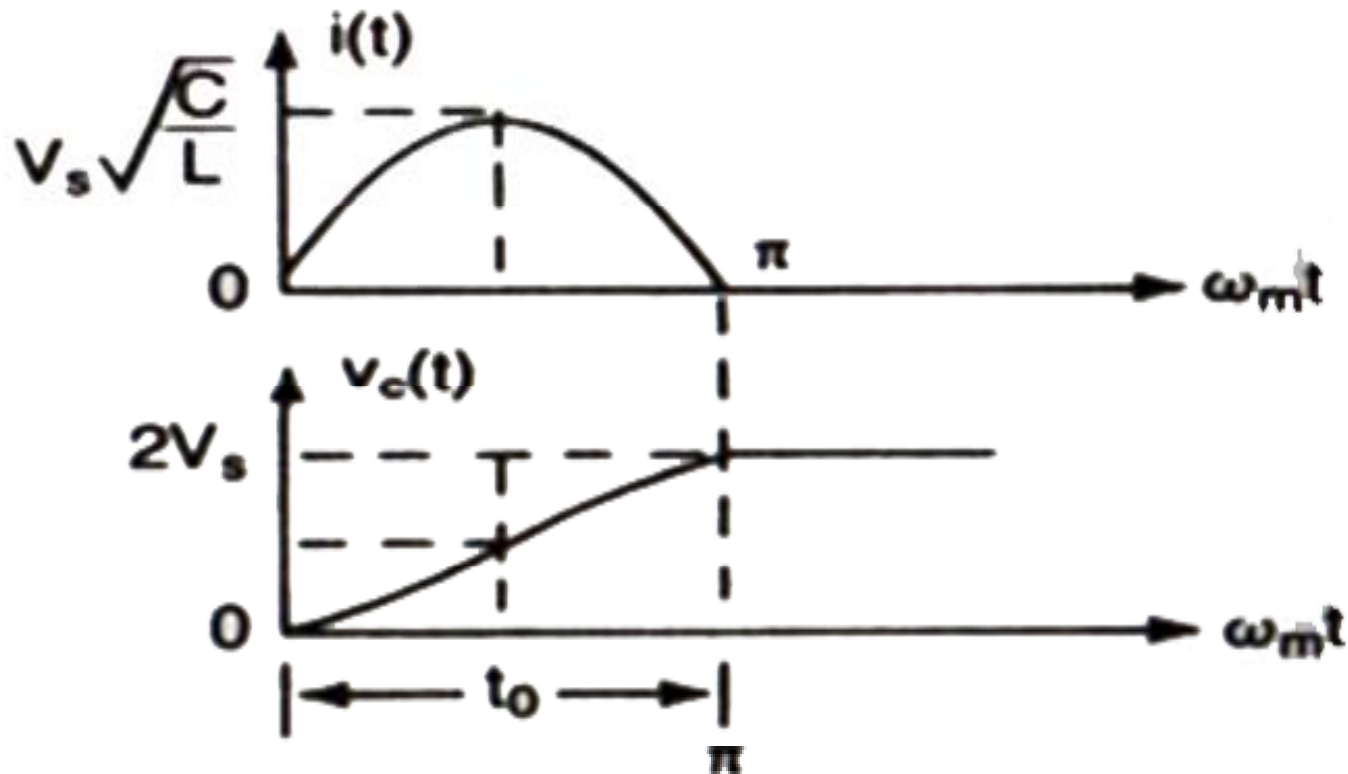
$$i(t) = V_s \sqrt{\frac{C}{L}} \sin \omega_m t$$

$$V_c(t) = -V_s \cos \omega_m t + V_s$$



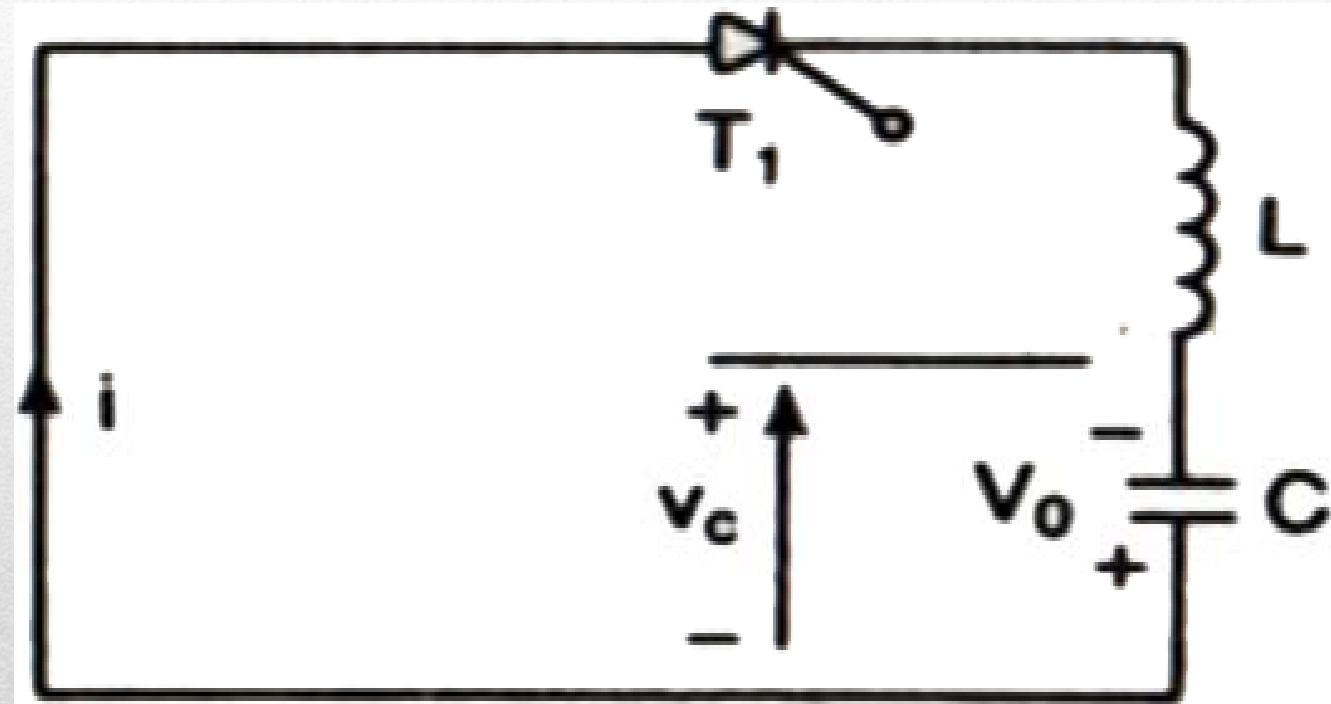
حالت اول

کموتاسیون خود به خود



حالت دوم

کموتاسیون خود به خود



شرایط اولیه:

$$V_0 = -V_0$$

$$I_m = 0$$

$$V_s = 0$$

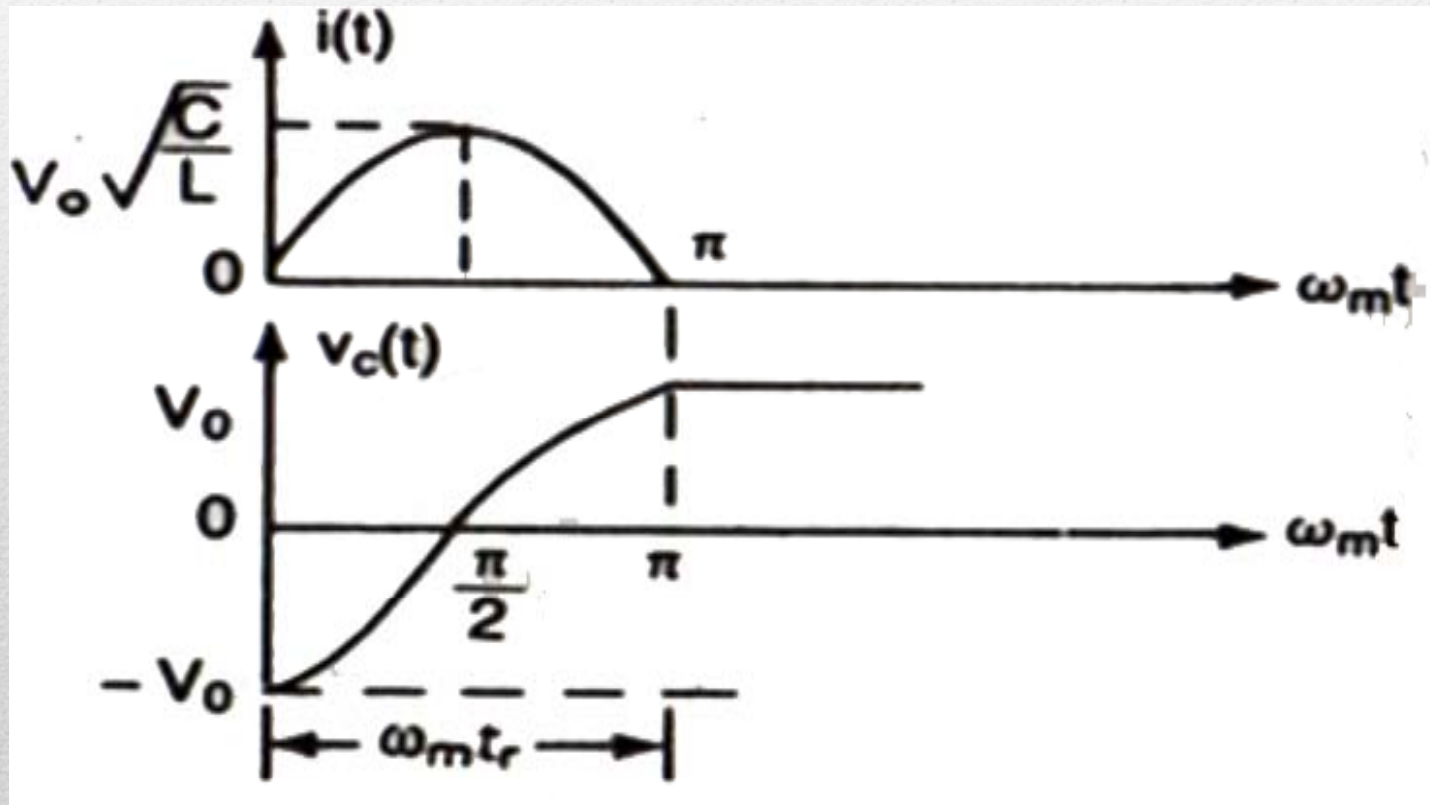
پاسخ معادله دیفرانسیل:

$$i(t) = V_0 \sqrt{\frac{C}{L}} \sin \omega_m t$$

$$V_c(t) = -V_0 \cos \omega_m t$$

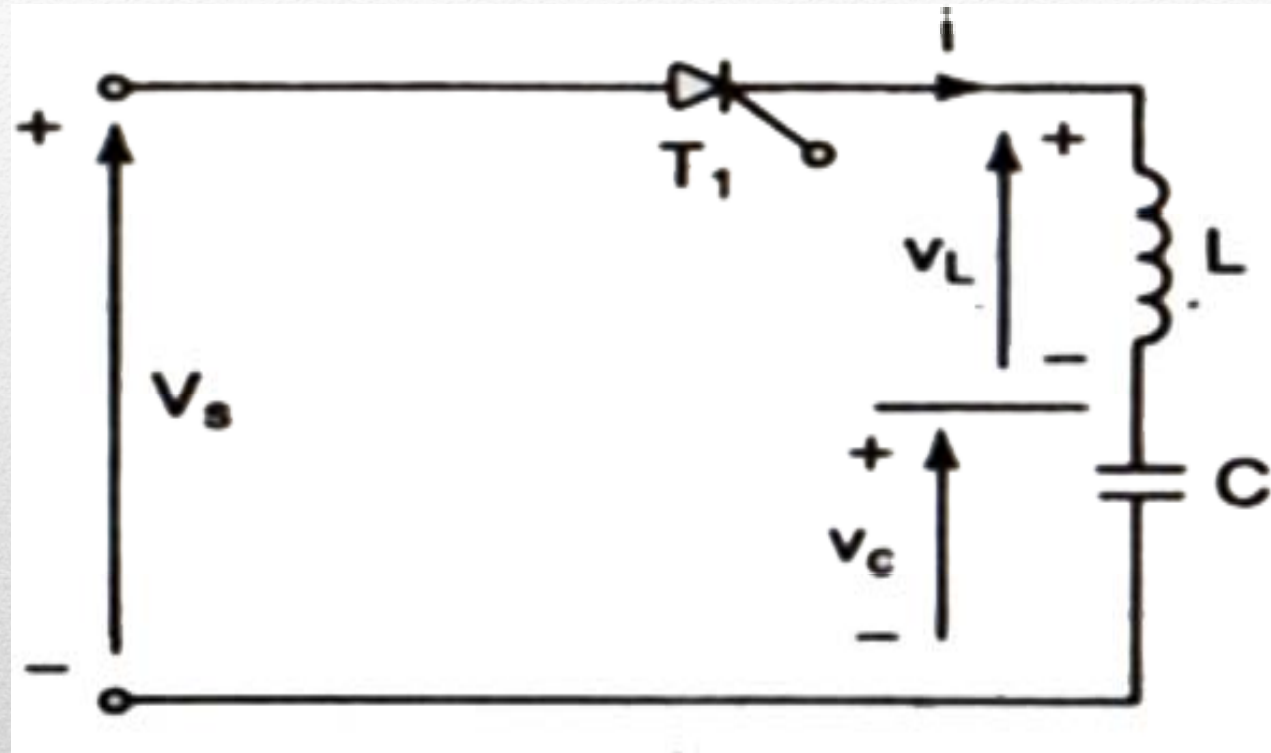
حالت دوم

کموتاسیون خود به خود



حالت سوم

کموتاسیون خود به خود



شرایط اولیه:

$$V_0 = +V_s$$

$$I_m \neq 0$$

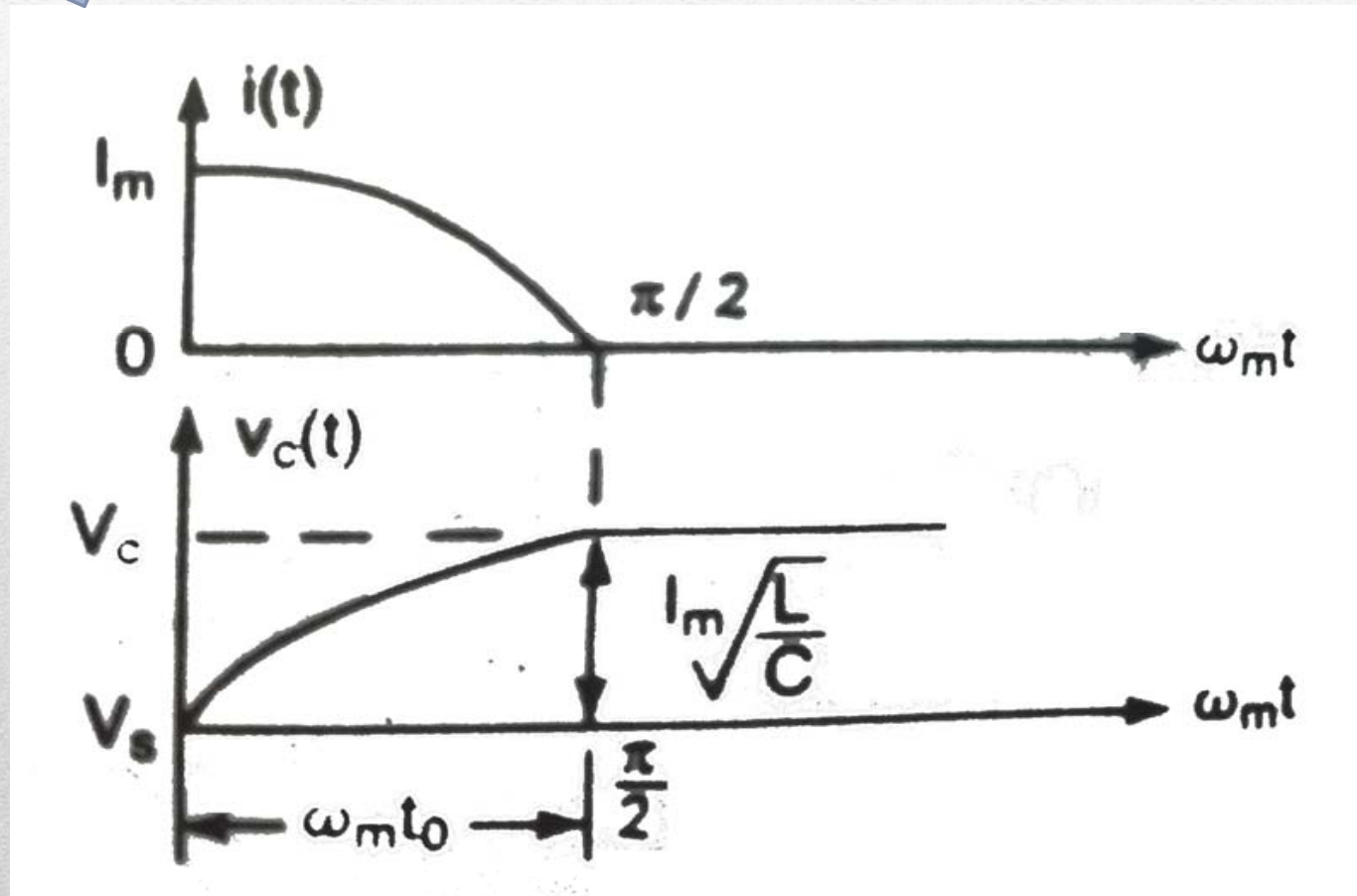
پاسخ معادله دیفرانسیل:

$$i(t) = I_m \cos \omega_m t$$

$$V_c(t) = I_m \sqrt{\frac{L}{C}} \sin \omega_m t + V_s$$

حالت سوم

کموتاسیون خود به خود



کموتاسیون خود به خود

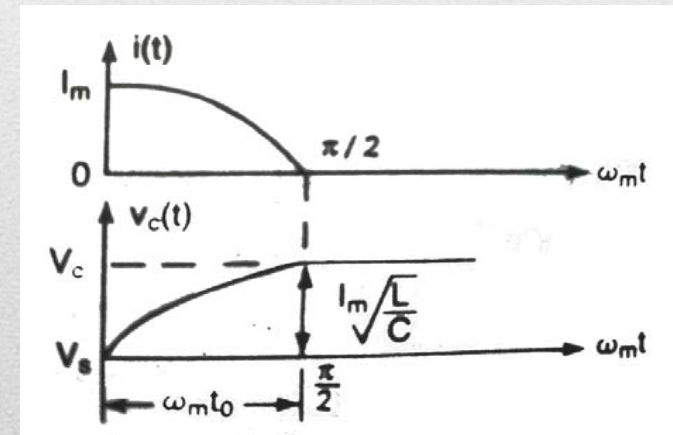
مثال:

در مدار کموتاسیون خودبخود، اگر $L=10 \mu\text{H}$ و $C=50 \mu\text{F}$ و $V_s=V_0=200 \text{ v}$ و $I_m=250 \text{ A}$ باشد و تریستور T1 در زمان $t=0$ روشن شود، زمان هدایت تریستور و ولتاژ خازن را پس از خاموش شدن تریستور را بدست آورید.

$$i(t) = I_m \cos \omega_m t$$

$$V_c(t) = I_m \sqrt{\frac{L}{C}} \sin \omega_m t + V_s$$

$$V_c(t) = 250 \times \sqrt{\frac{10 \times 10^{-6}}{50 \times 10^{-6}}} + 200 = 111.8 + 200 = 311.8 \text{ v}$$

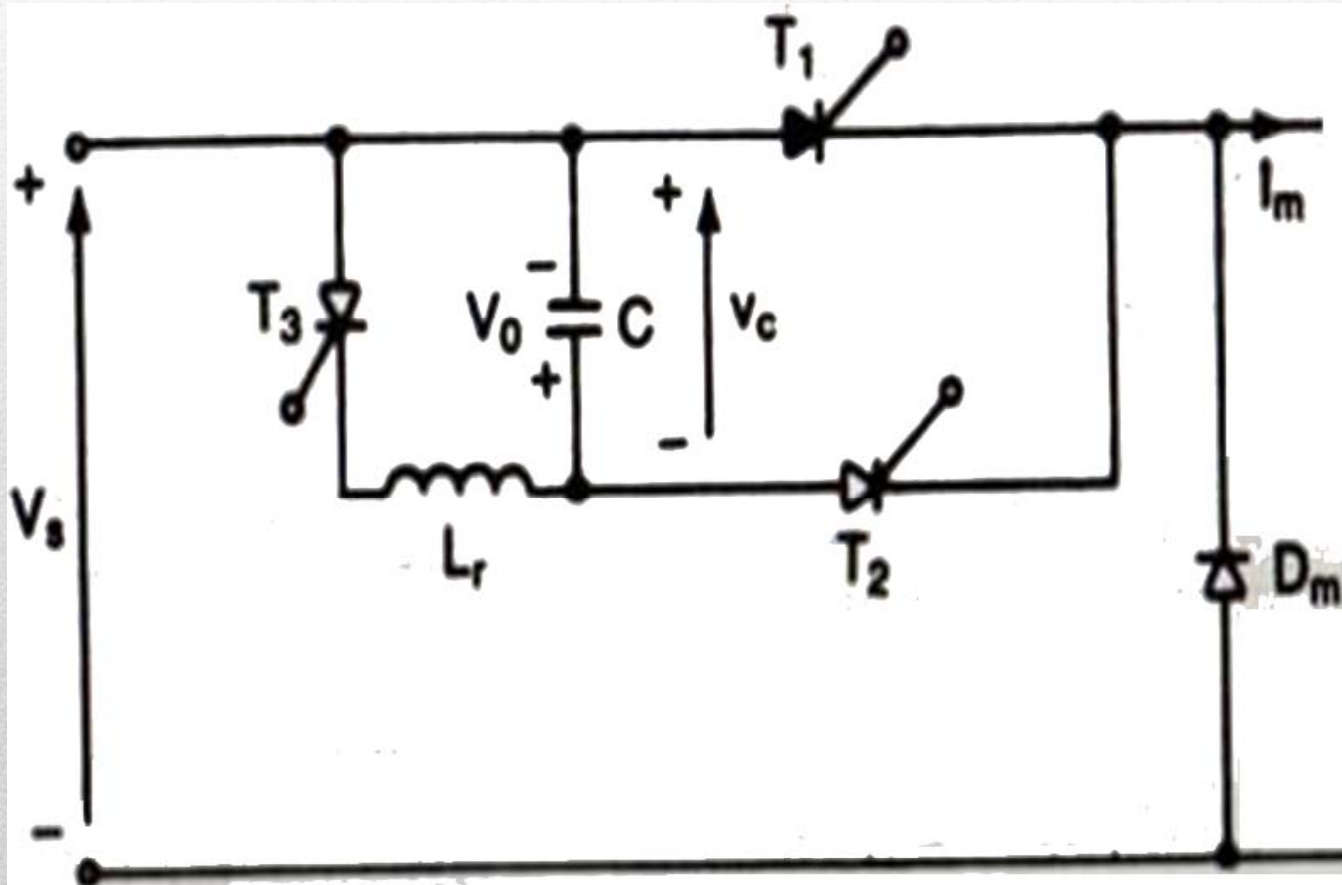


$$\omega t = \frac{\pi}{2} \Rightarrow t = \frac{\pi}{2\omega} = \frac{\pi\sqrt{LC}}{2} = \frac{\pi\sqrt{10 \times 10^{-6} \times 50 \times 10^{-6}}}{2} = 35.12 \mu\text{Sec}$$

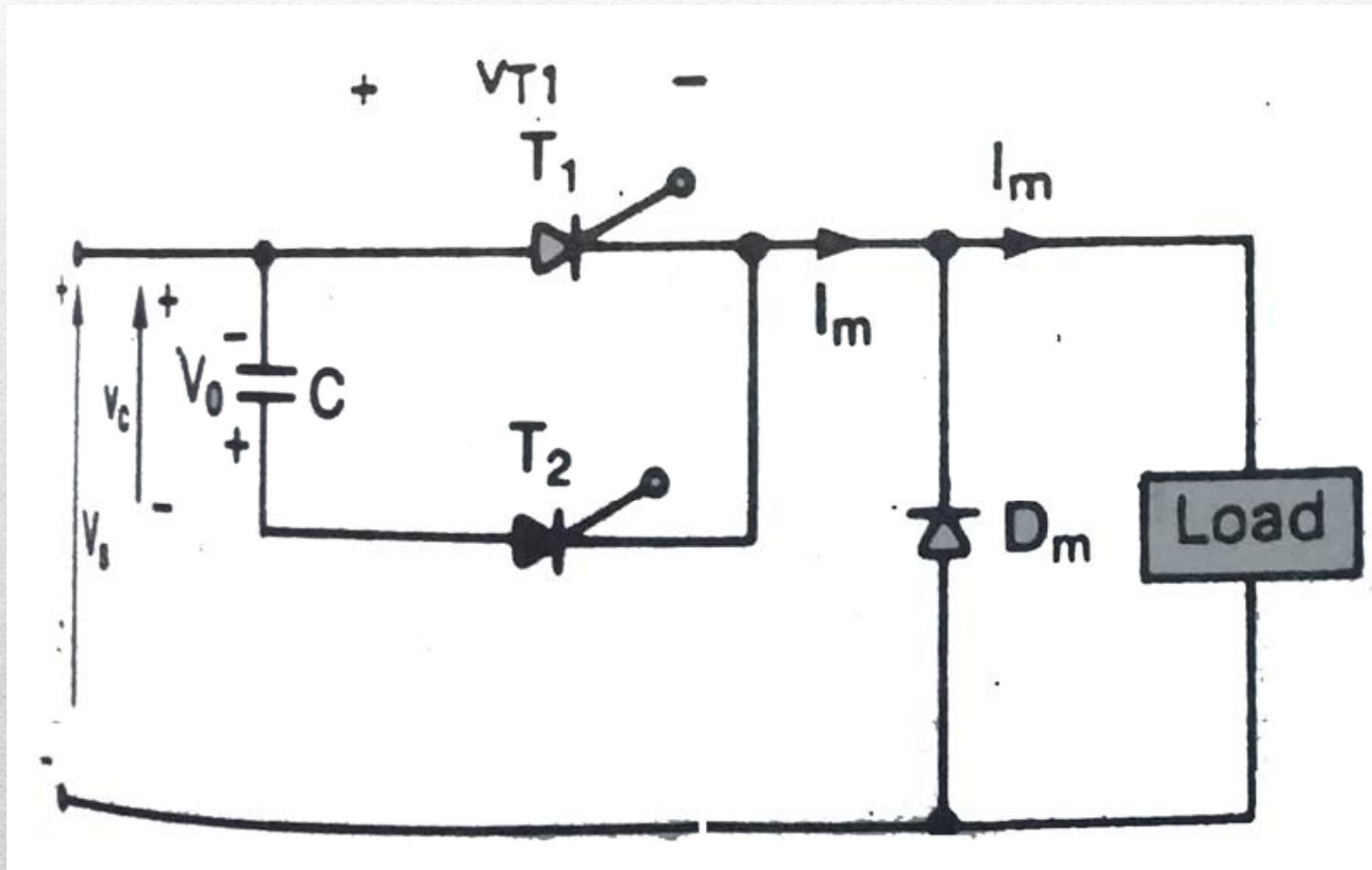
کموتاسیون ضربه

Impulse Commutation

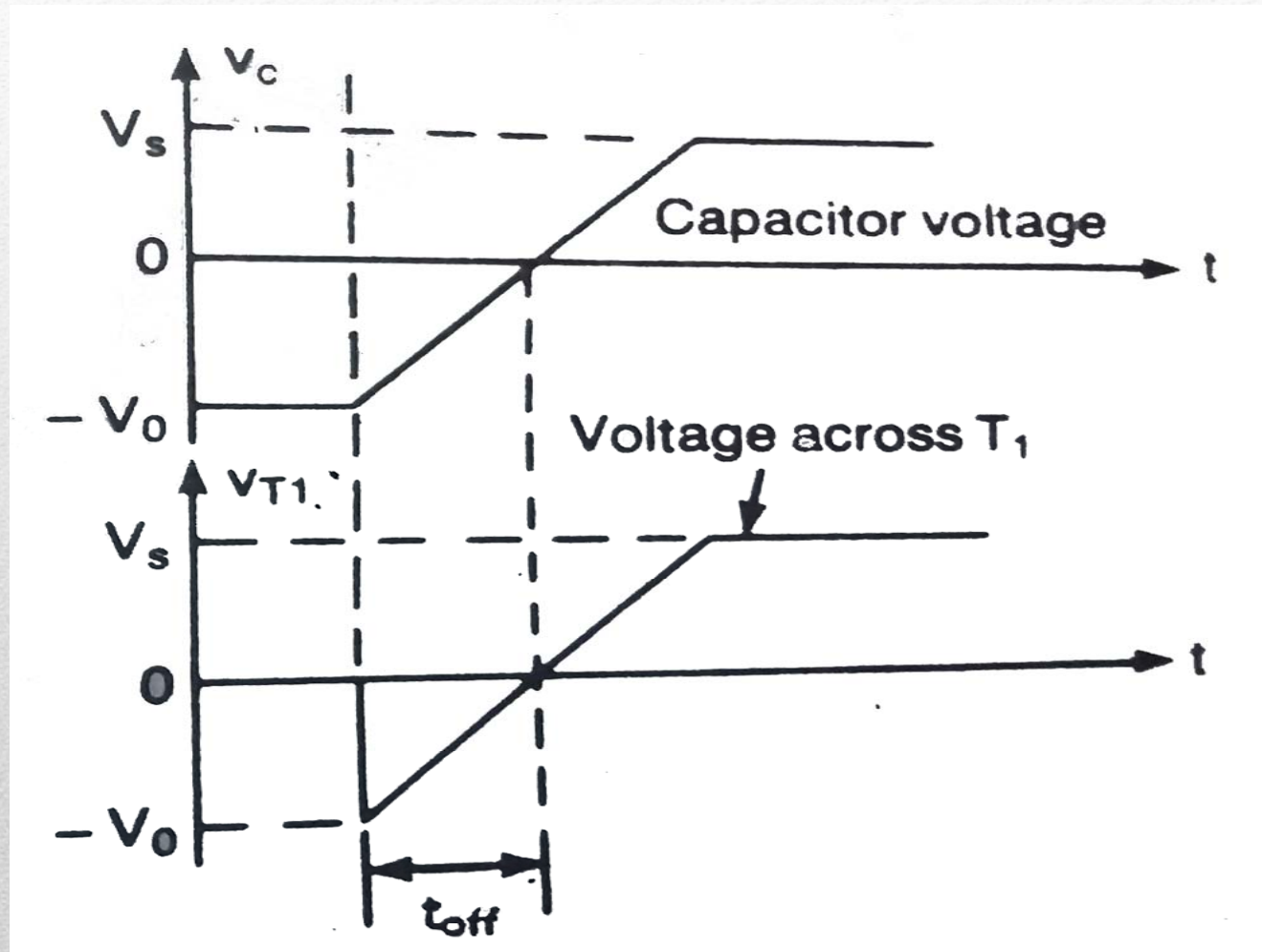
کموتاسیون ضربه



کموتاسیون ضربه



کموتاسیون ضربه



کموتاسیون ضربه

مثال:

در مدار کموتاسیون ضربه، اگر $R=10\ \Omega$ و $C=5\ \mu\text{F}$ و $V_s=V_0=200\ \text{V}$ و $I_m=250\ \text{A}$ باشد و تریستور T1 در زمان $t=0$ روشن شود، زمان خاموشی مجاز مدار را بدست آورید.

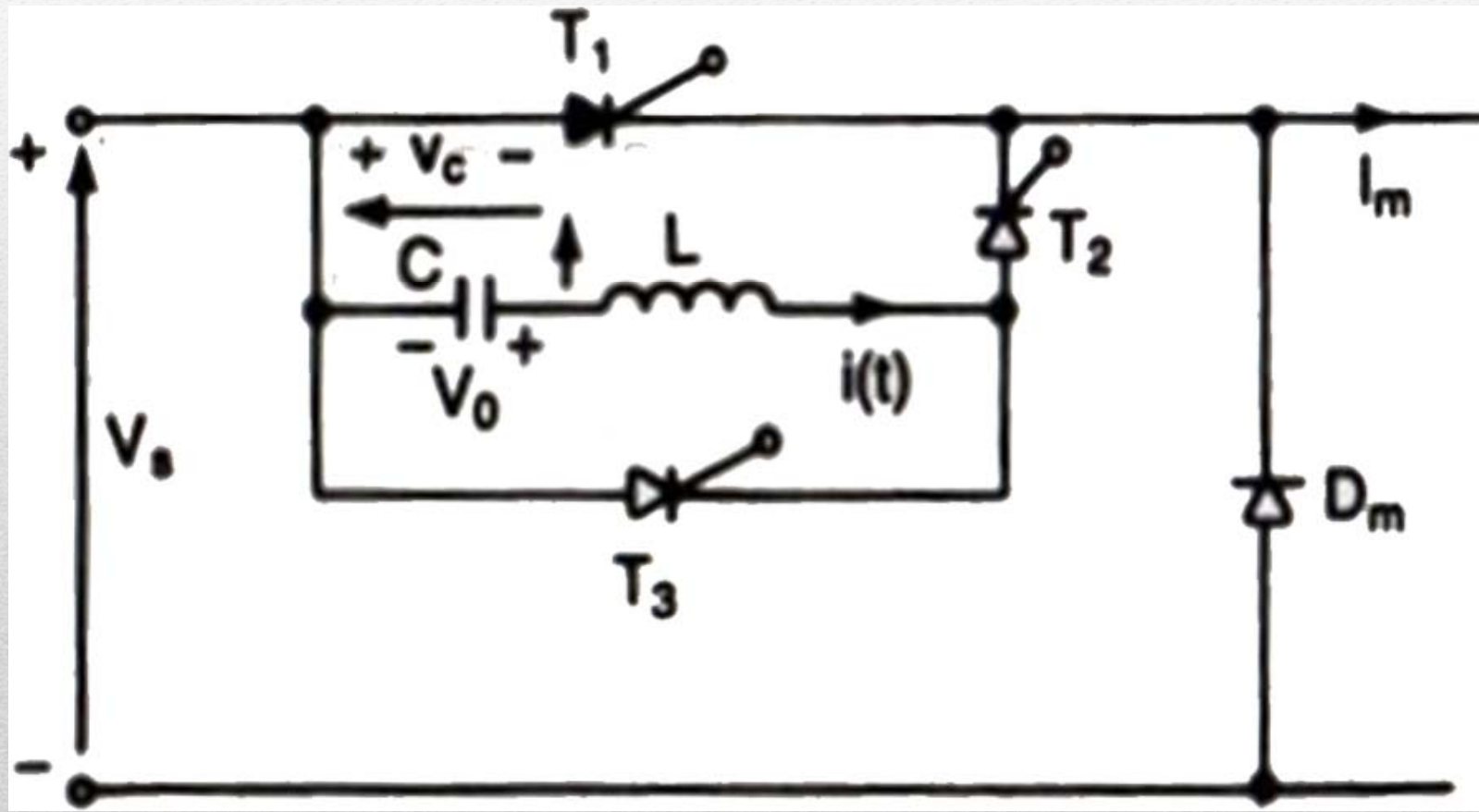
$$V_c(t) = V_f(1 - 2e^{-t/RC})$$

$$t_{\text{off}} = RC \ln 2 = 10 \times 5 \times 10^{-6} \times \ln 2 = 34.7\ \mu\text{Sec}$$

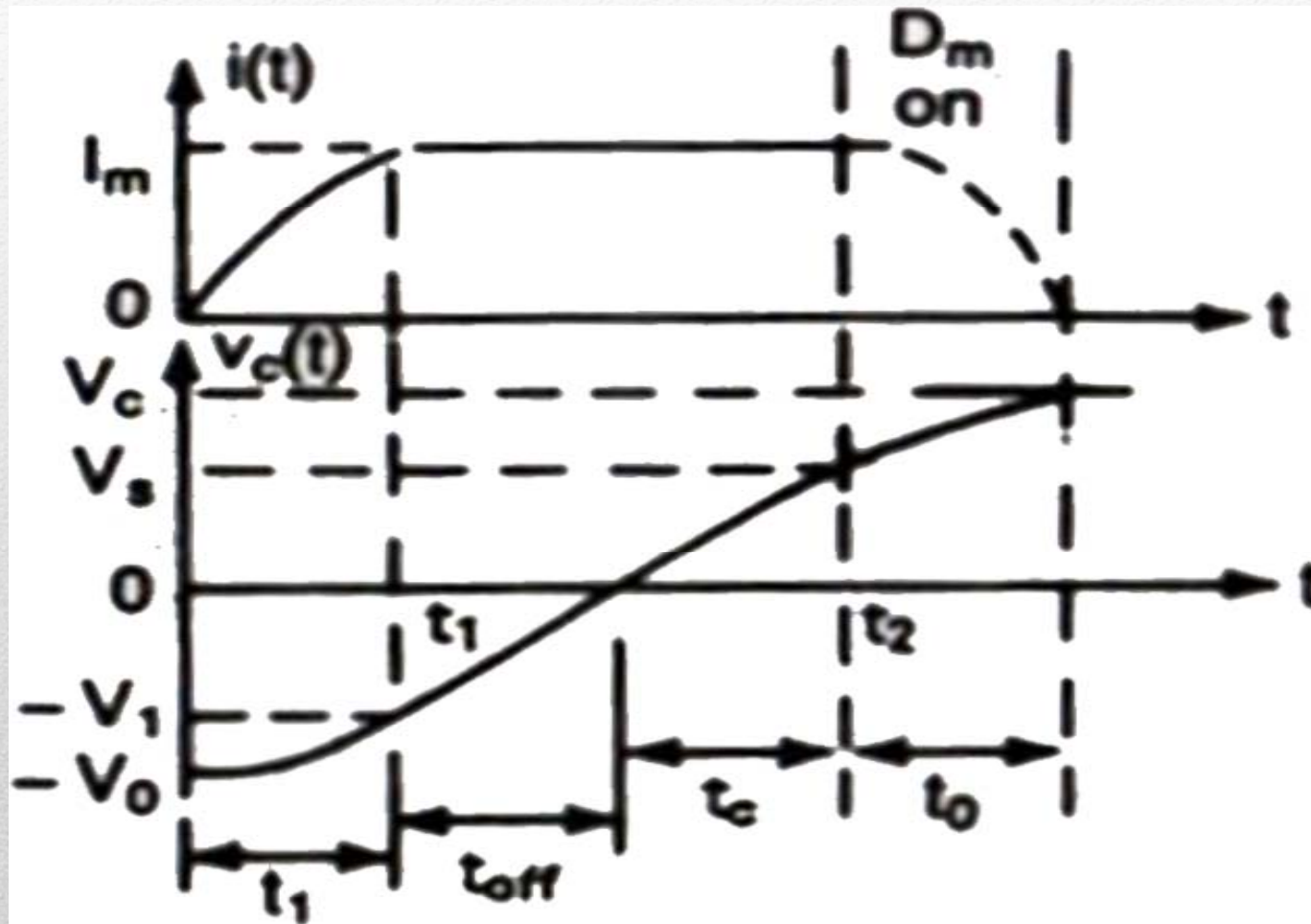
کموتاسیون پالس تشدید

Resonant Pulse Commutation

کموتاسیون پالس تشدید



کموتاسیون پالس تشدید



کموتاسیون پالس تشدید

$$i(t = t_1) = V_0 \sqrt{\frac{C}{L}} \sin \omega t = I_m$$

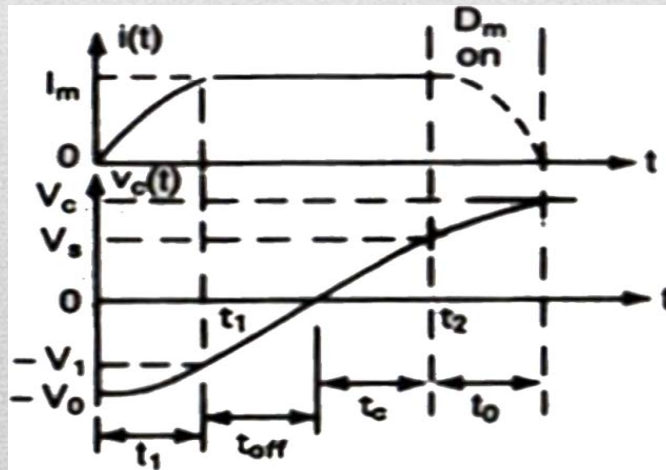


$$t_1 = \sqrt{LC} \sin^{-1} \left(\frac{I_m}{V_0} \sqrt{\frac{L}{C}} \right)$$

$$V_c(t = t_1) = V_1 = -V_0 \cos \omega t_1$$

$$V_1 = V_0 \cos \omega t_1$$

$$t_{off} = \frac{CV_1}{I}$$



کموتاسیون پالس تشدید

مثال:

در مدار کموتاسیون پالس تشدید، اگر $L=4 \mu\text{H}$ و $C=30 \mu\text{F}$ و $V_0=200 \text{ v}$ باشد و تریستور T_1 در زمان $t=0$ روشن شود، برای دو حالت جریان بار: الف) $I_m=250 \text{ A}$ ب) $I_m=50 \text{ A}$ باشد، زمان خاموشی مجاز مدار را بدست آورید.

$$t_1 = \sqrt{LC} \sin^{-1} \left(\frac{I_m}{V_0} \sqrt{\frac{L}{C}} \right) = \sqrt{4 \times 10^{-6} \times 30 \times 10^{-6}} \sin^{-1} \left(\frac{250}{200} \sqrt{\frac{4 \times 10^{-6}}{30 \times 10^{-6}}} \right) = 5.192 \mu\text{sec}$$

$$V_1 = V_0 \cos \omega t_1 = 200 \times \cos(\sqrt{4 \times 10^{-6} \times 30 \times 10^{-6}} \times 5.192 \times 10^{-6}) = 177.95 \text{ v}$$

$$t_{\text{off}} = \frac{CV_1}{I} = \frac{30 \times 10^{-6} \times 177.95}{250} = 21.35 \mu\text{sec}$$

$$t_1 = \sqrt{LC} \sin^{-1} \left(\frac{I_m}{V_0} \sqrt{\frac{L}{C}} \right) = \sqrt{4 \times 10^{-6} \times 30 \times 10^{-6}} \sin^{-1} \left(\frac{50}{200} \sqrt{\frac{4 \times 10^{-6}}{30 \times 10^{-6}}} \right) = 1.0014 \mu\text{sec}$$

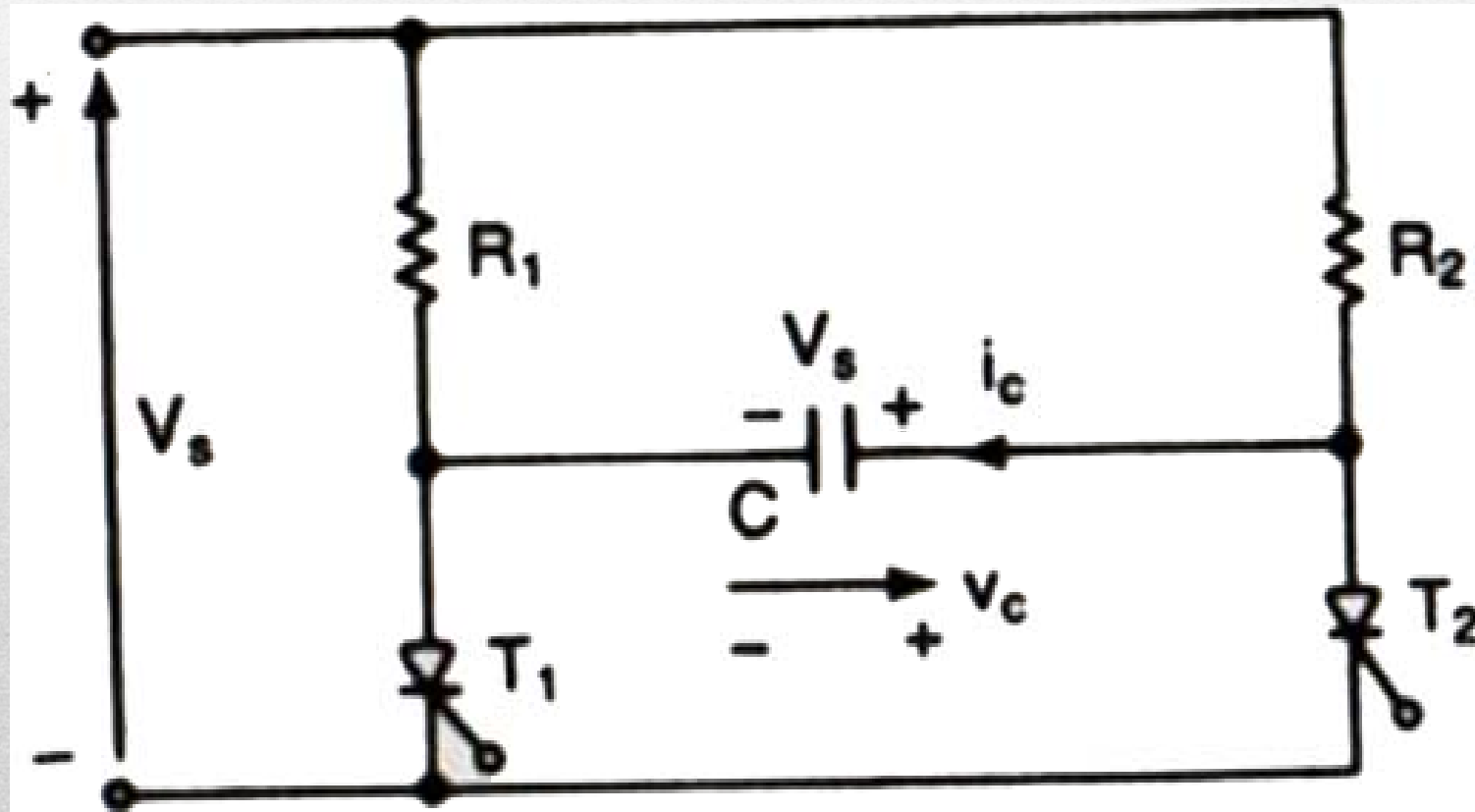
$$V_1 = V_0 \cos \omega t_1 = 200 \times \cos(\sqrt{4 \times 10^{-6} \times 30 \times 10^{-6}} \times 1.0014 \times 10^{-6}) = 199.16 \text{ v}$$

$$t_{\text{off}} = \frac{CV_1}{I} = \frac{30 \times 10^{-6} \times 199.16}{50} = 119.5 \mu\text{sec}$$

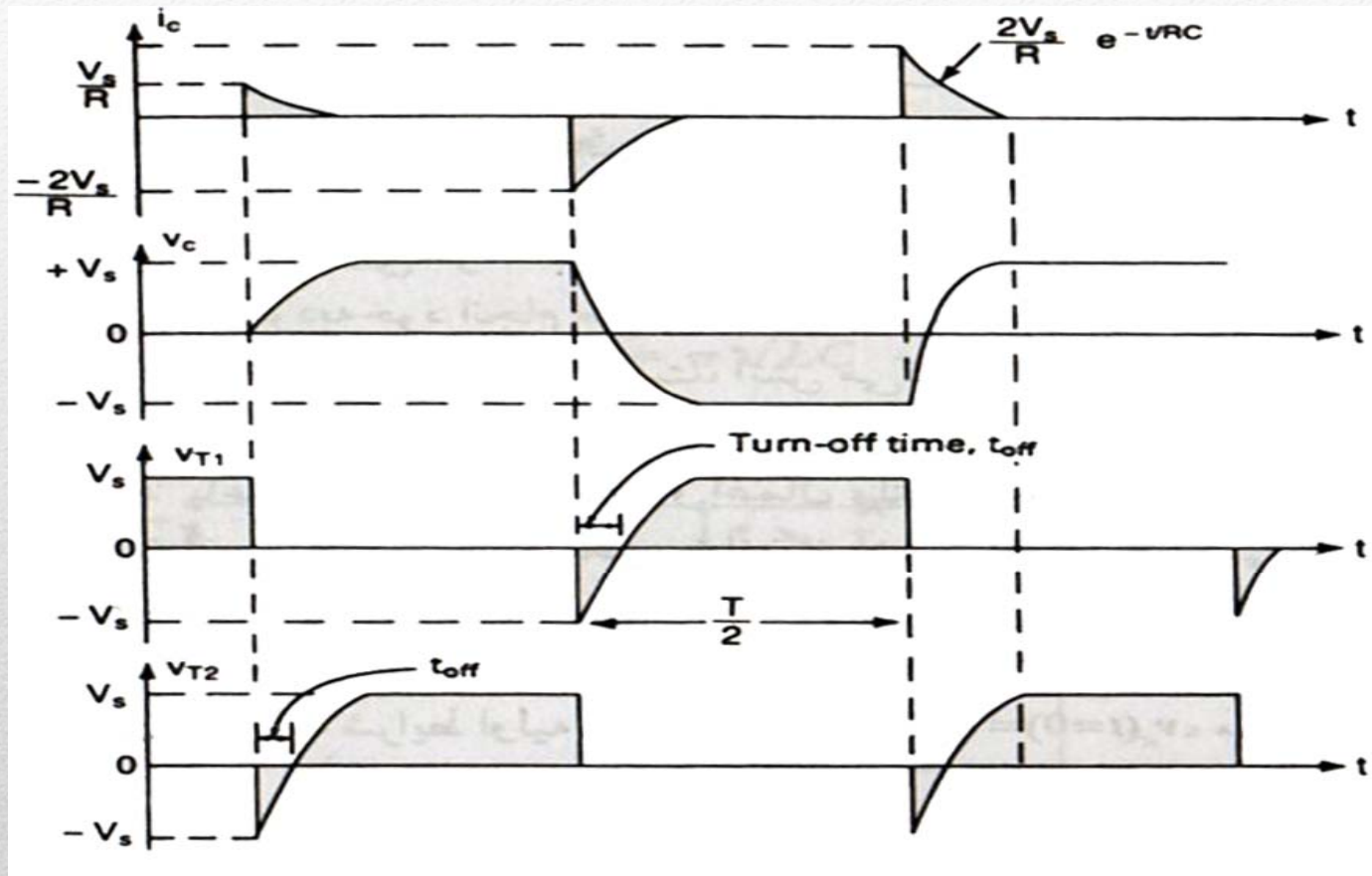
کموتاسیون مکمل

Complementary Commutation

کموتاسیون مکمل



کموتاسیون مکمل



$$t_{off} = RC \ln 2$$

کموتاسیون مکمل

مثال:

در مدار کموتاسیون مکمل، اگر $R=5 \Omega$ و $C=10 \mu F$ و $V_0=100 V$ باشد و تریستور T1 در زمان $t=0$ روشن شود، زمان خاموشی مجاز مدار را بدست آورید.

$$V_c(t) = V_f(1 - 2e^{-t/RC})$$

$$t_{off} = RC \ln 2 = 5 \times 10 \times 10^{-6} \times \ln 2 = 34.7 \mu Sec$$

پایان