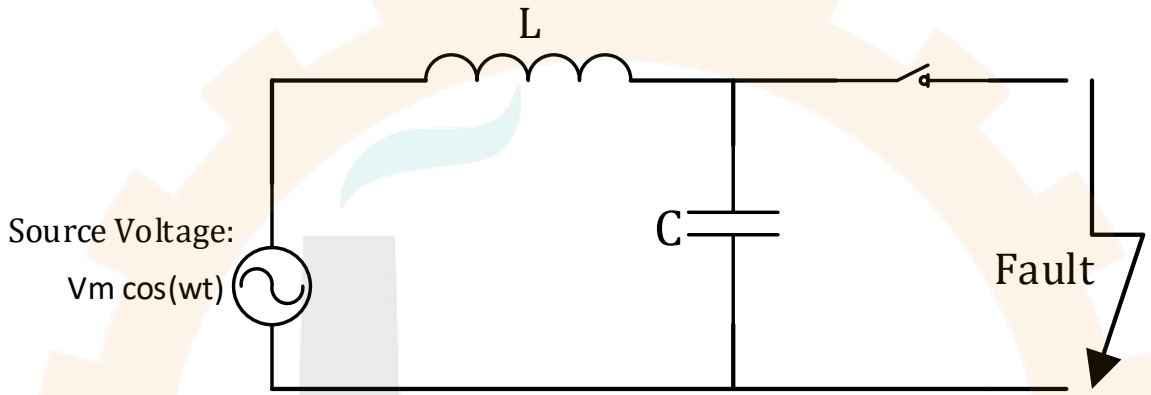
کلیدزنی در سیستم قدرت

- قطع جریان AC
- وصل خازن
- قطع خازن

Power Plant Academy
www.powerplantac.com

۲-۱ قطع جریان در سیستم قدرت:

فرض کنید یک مدار سیستم قدرت شامل منبع ولتاژ، امپدانس خط، خازن خط و کلید قطع کننده مدار را داریم:



که L مربوط به سلف خط و C مربوط به خازن خط می باشد.

وقتی خطایی اتفاق می افتد CB اقدام به قطع خطا در نقطه صفر جریان می کند. در این شرایط روابط زیر برقرار می باشد:

$$L\frac{dI}{dt} + V_c = V_m cos(\omega t)$$

که ω براساس فرکانس برق شهر بدست می آید. از خازن رابطه زیر بدست می آید:

$$I = C\frac{dV_c}{dt}$$

Power Plant Academy

۱-۲ قطع جریان در سیستم قدرت:

از ترکیب ۲ رابطه قبل میتوان رابطه زیر را بدست آورد:

$$\frac{d^2I}{dt^2} + \frac{V_c}{LC} = \frac{V_m}{LC}cos(\omega t)$$

فرض می کنیم که $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ در اینصورت با استفاده از تبدیل لاپلاس خواهیم داشت:

$$s^2 v_c(s) - sV_c(0) - V_c'(0) + \omega_0^2 v_c(s) = \omega_0^2 V_m \frac{s}{s^2 + \omega^2}$$

یا:

$$v_c(s) - \omega_0^2 V_m \frac{s}{(s^2 + \omega^2)(s^2 + \omega_0^2)} + V_c(0)\frac{s}{s^2 + \omega_0^2} + \frac{V_c'(0)}{s^2 + \omega_0^2}$$

از آنجایی که اتصال کوتاه رخ داده بود مقدار ولتاژ دوسر خان صفر می باشد همچنین از آنجایی که کلید جریان را در نقطه صفر قطع میکند جریان سلف صفر می باشد در نتیجه:

$$V_c(0) = 0, \qquad V_C'(0) = \frac{I_c(0)}{C} = 0$$

Power Plant Academy

۱-۲ قطع جریان در سیستم قدرت:

در تبدیل لاپلاس و از طریق تجزیه کسرها رابطه زیر برقرار است:

$$\frac{s}{(s^2+\omega^2)(s^2+\omega_0^2)} = \frac{1}{\omega_0^2-\omega^2}\left(\frac{s}{s^2+\omega^2} - \frac{s}{s^2+\omega_0^2}\right)$$

در نتیجه خواهیم داشت:

$$v_c(t) = V_m \frac{\omega_0^2}{\omega_0^2-\omega^2}\left(cos(\omega t) - cos(\omega_0 t)\right)$$

از آنجایی که فرکانس ω_0 از فرکانس ω بسیار بزرگتر می باشد در حین تغییرات $\omega_0 t$ میتوان از تغییرات ωt صرف نظر نمود.

ضمن اینکه کسر مربوطه را میتوان ۱ فرض نمود.

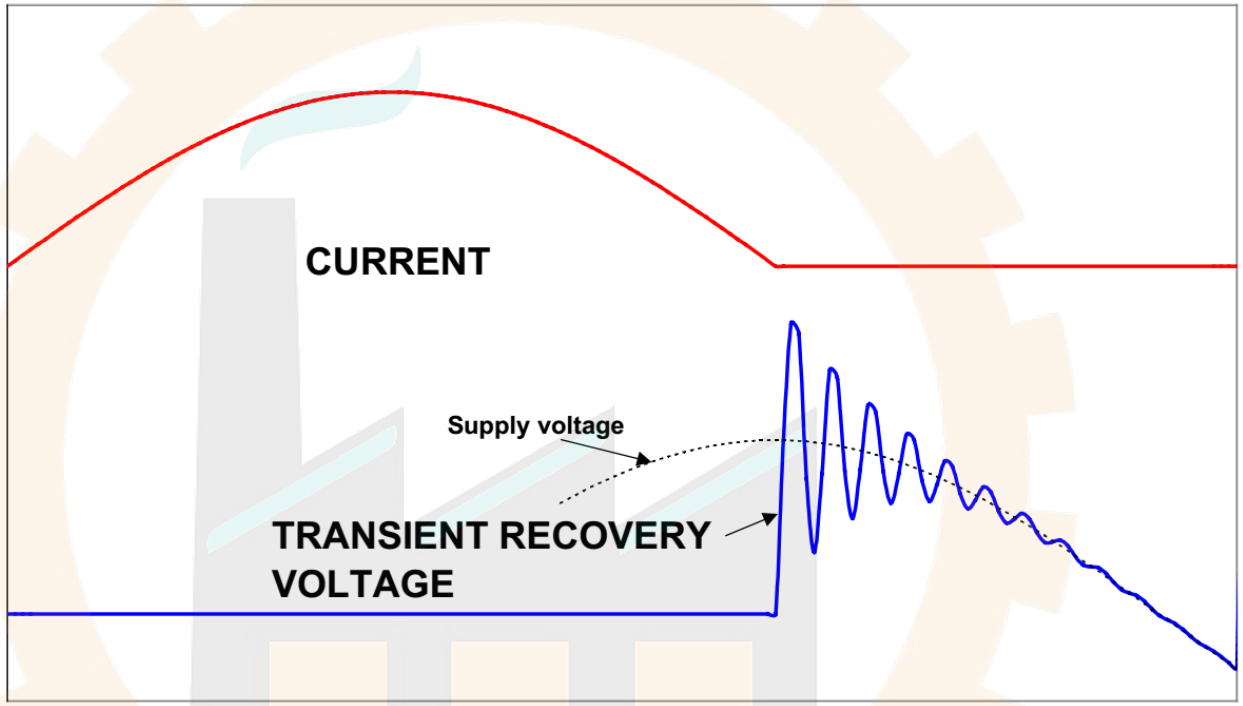
$$v_c(t) = V_m\left(cos(\omega t) - cos(\omega_0 t)\right) = V_m(1 - cos(\omega_0 t))$$

در رابطه فوق ولتاژ میتواند تا به 2Vm هم برسد.

Power Plant Academy

۱-۲ قطع جریان در سیستم قدرت:

به این ولتاژ که دو سر کلید قرار میگیرد TRV (Transient Recovery Voltage) می گویند.



طبق تعریف رسمی، ولتاژ TRV ولتاژی است که بعد از قطع جریان دو سر کلید قرار می گیرد و یکی از پارامترهای تعیین کننده کلید می باشد.

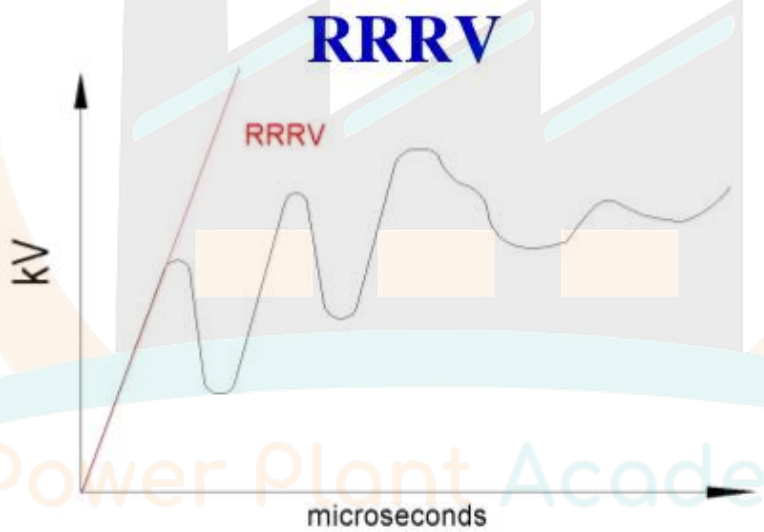
۱-۲ قطع جریان در سیستم قدرت:

Rate of Rise of Recovery Voltage R.R.R.V

پارامتر مهم دیگری که در انتخاب کلید نقش دارد نرخ تغییرات ولتاژ بازیابی می باشد:

RRRV مقدار حداکثر شیب تغییرات ولتاژی است که در لحظه قطع اتصال کوتاه دو سر کلید می افتد و باعث بروز استرس روی کلید می شود. کلید نصب شده در یک سیستم می بایست قادر به تحمل آن باشد.

$$RRRV = {\Delta V}/{\Delta t}$$



Power Plant Academy
www.powerplantac.com

۱-۲ قطع جریان در سیستم قدرت:

مثال: فرض کنید که یک چوک با مقدار سلف $1mh$ و مقدار خازن نشتی $400pf$ داریم. مقدار RRRV ناشی از قطع جریان آن بر روی کلید را حساب کنید. سطح ولتاژ سیستم $13.8kV$ می باشد.

حل:

طبق رابطه قبل مقدار ولتاژ دو سر کلید برابر خواهد بود با $V = V_m(1 - \cos(\omega_0 t))$

از آنجایی که مقدار RRRV همان شیب تغییرات ولتاژ می باشد مقدار متوسط حداکثر شیب را در نظر میگیریم. در کلیدزنی مقدار تغییرت ولتاژ دو سر کلید در نیم سیکل به $2V_m$ خواهد رسید.

فرکانس نوسانات برابر است با:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \rightarrow \quad f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.001 \times 400 \times 10e-12}} \approx 250kHz$$

در نتیجه مقدار طول دوره کلید زنی برابر با $4\mu s$ خواهد بود که نصف آن برابر $2\mu s$ می شود.

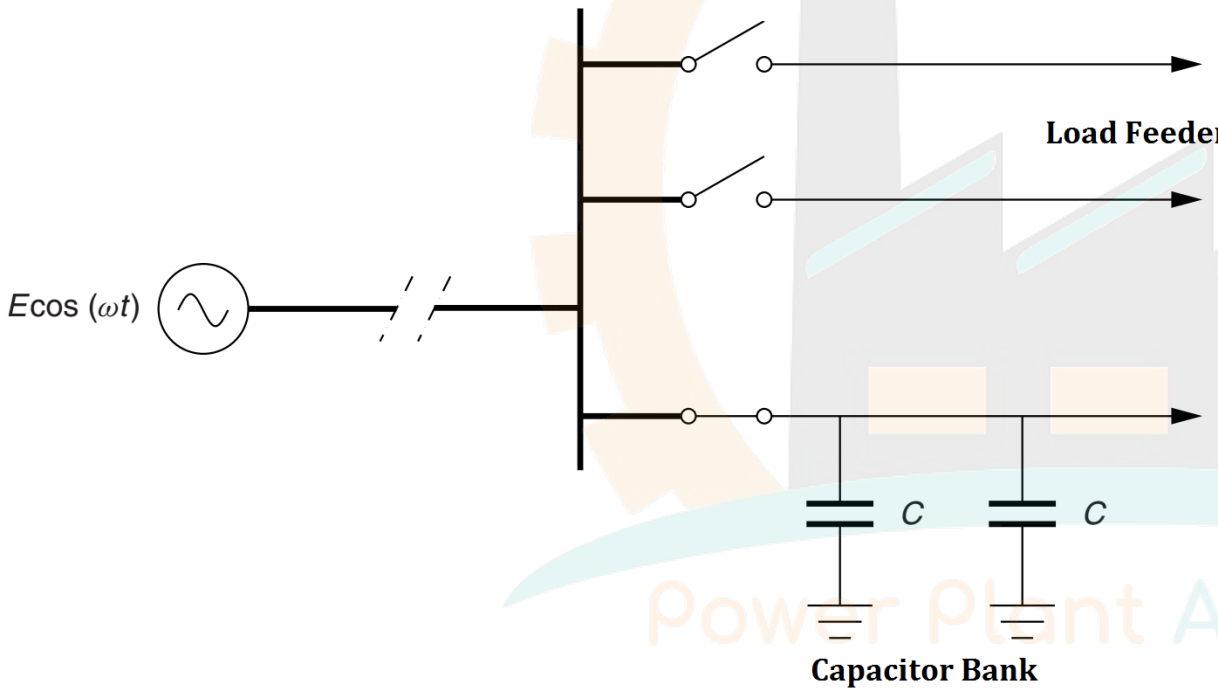
$$RRRV = \frac{2 \times 13.8\sqrt{2}}{\sqrt{3} \times 2} = 11.3kV/\mu s$$

www.powerplantac.com

۲-۲ اتصال بانک خازنی

بانک های خازنی به تعداد زیاد در پست ها و شبکه های برق مورد استفاده قرار میگیرند. خازن ها معمولا برای اصلاح ضریب توان یا تزریق توان راکتیو به منظور تثبیت و اصلاح پروفیل ولتاژ مورد استفاده قرار می گیرند.

از آنجایی که مقدار بار شبکه دایم در حال تغییر می باشد بانک های خازنی بصورت چند خازن موازی نصب میشوند که دائم در حال تغییر می باشند.

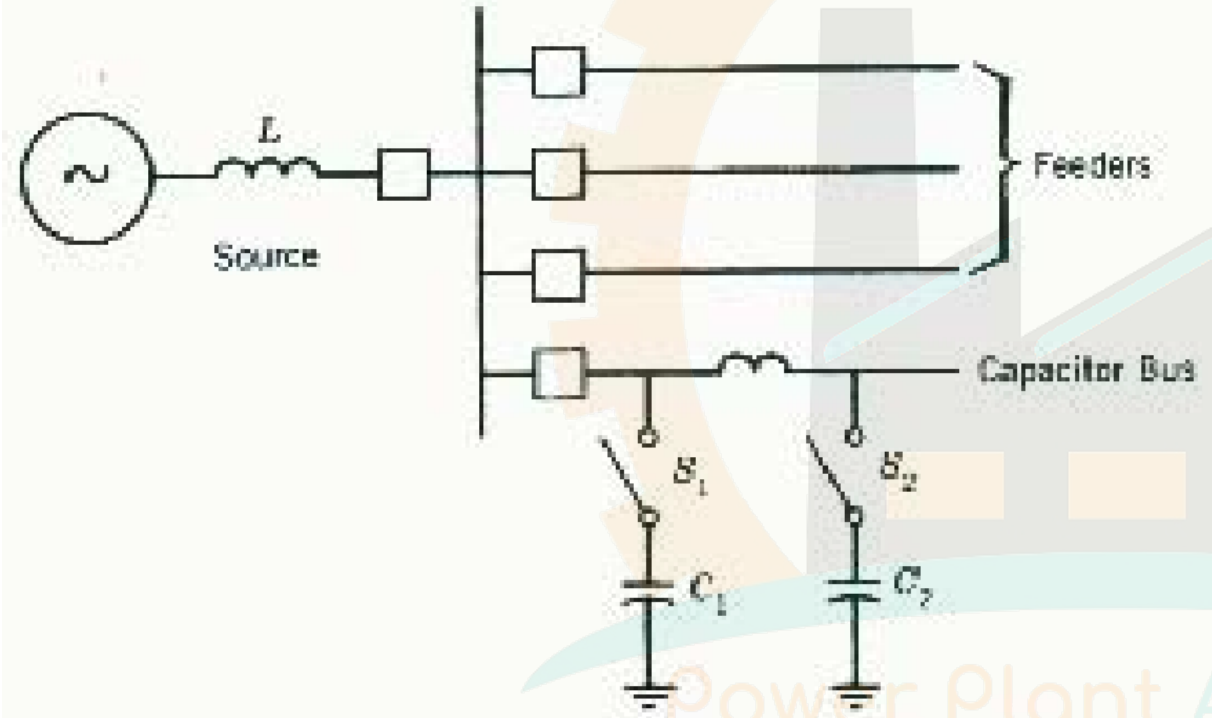


بدلیل کلیدزنی مداوم بانک های خازنی و تاثیر آنها روی کلیدها، این امر مورد بررسی قرار میگیرد.

Power Plant Academy
www.powerplantac.com

۲-۲ اتصال بانک خازنی

مثال: در پست شکل زیر ۲ خازن در یک بانک خازنی بصورت موازی با یکدیگر قرار دارند. خازن C1 با کلید S1 کنترل می شود و خازن C2 با کلید S2 کنترل می شود. امپدانس بین خازن مقدار L1 و امپدانس منبع مقدار L می باشد. توجه شود که امپدانس بین خازن بسیار کمتر از امپدانس منبع می باشد. مقاومت مدار بسیار ناچیز است که میتوان از آن صرف نظر نمود.



سطح ولتاژ سیستم 34.5kV، سیستم مستقیم زمین شده، ظرفیت خان C1=18MVA و خازن C2=10MVA می باشد. همچنین سطح اتصال کوتاه سیستم برابر 25kA rms می باشد. مقدار $L1=19.2\mu H$ فرض کنید.

ابتدا کلید S1 و سپس کلید S2 وصل میشوند، وضعیت حالت های گذرا را بررسی کنید.

Power Plant Academy
www.powerplantac.com

۲-۲ اتصال بانک خازنی

در ابتدا باید مقادیر خازن و سلف منبع را حساب کنیم.

برای خازن C1=18MVA:

$$I_{C1} = \frac{1.8\times10^7}{\sqrt{3}\times34.5\times10^3} = 301.2A \xrightarrow{\text{yields}} X_{C1} = \frac{34{,}500}{\sqrt{3}\times301.2} = 66.13\Omega \xrightarrow{\text{yields}} C_1 = 40.1\mu F$$

برای خازن C2=10MVA:

$$I_{C2} = \frac{1.0\times10^7}{\sqrt{3}\times34.5\times10^3} = 167A \xrightarrow{\text{yields}} X_{C2} = \frac{34{,}500}{\sqrt{3}\times167} = 119\Omega \xrightarrow{\text{yields}} C_2 = 22.3\mu F$$

امپدانس منبع:

$$X_L = \frac{34.5}{\sqrt{3}\times25} = 0.797\Omega \xrightarrow{\text{yields}} L = 0.0021H = 2100\mu H$$

Power Plant Academy
www.powerplantac.com

۲-۲ اتصال بانک خازنی

مقدار جریان Inrush current خازن از رابطه زیر بدست می آید:

$$I = \frac{V(0)}{Z_0}\sin(\omega_0 t) = V(0)\sqrt{\frac{C_1}{L}}\sin\left(\frac{t}{\sqrt{LC_1}}\right)$$

و مقدار پیک این جریان:

$$I = 34.5\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\sqrt{\left(\frac{40.1}{2100}\right)} = 3.893kA$$

فرکانس نوسان این جریان برابر خواهد بود با:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{2100 \times 40.1 \times 10^{-12}}} = 548Hz$$

Power Plant Academy

۲-۲ اتصال بانک خازنی

مرحله بعدی بسته شدن کلید S2 می باشد. بعد از بسته شدن کلید S2 جریان از خازن ۱ به سمت خازن ۲ سرازیر می شود بطوریکه مقدار ولتاژ ۲ خازن باهم برابر خواهد شد. در این حالت به دلیل دینامیک بسیار سریع از جریان ورودی از منبع صرف نظر میکنیم. مجموع ۲ خازن بعد از بسته شدن کلید دوم بدین صورت تغییر خواهد کرد:

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 14.32\mu F$$

$$Z_{01} = \sqrt{\frac{19.2}{14.32}} = 1.158, \qquad I_{peak} = \frac{V_{peak}}{Z_{01}} = \frac{\frac{34.5\sqrt{2}}{\sqrt{3}}}{1.158} = 22.3kA$$

مقدار فرکانس این جریان هجومی برابر خواهد بود با:

$$f = \frac{10^6}{(2\pi\sqrt{19.2x14.32})} = 9.6kHZ$$

البته مقدار این جریان ۲ برابر هم میتواند باشد. در طراحی و انتخاب کلید باید جریان فوق را مد نظر داشت.

www.powerplantac.com

۲-۲ اتصال بانک خازنی

در مرحله بعد بایستی تاثیر منبع را روی مجموع دو خازن ببینیم. به دلیل اینکه دینامیک داخلی ۲ خازن بسیار سریع می باشد تا زمانی که منبع بخواهد تاثیر خود را بگذارد خازن ها به مقدار ماندگار خواهند رسید. فرض کنید مقدار ولتاژ اولیه خازن C2 برابر -8kV باشد. مقدار نهایی ولتاژ ۲ خازن برابر خواهد بود با:

$$C_1V_1(0) + C_2V_2(0) = (C_1 + C_2)V(\infty)$$

$$V(\infty) = \frac{40.1 \times 28.17 + 22.28 \times (-8)}{40.1 + 22.28} = 15.25kV$$

از آنجایی که مقدار لحظه ای ولتاژ منبع برابر 28.17kV (همان مقدار پیک ولتاژ منبع) می باشد، بنابراین مقدار ولتاژ خازن ها حول این مقدار از ولتاژ 15.25kV تا 41.1kV نوسان خواهد داشت. فرکانس این ولتاژ برابر خواهد بود با:

$$f = \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{1}{2\pi[L(C_1 + C_2)]^{0.5}} = 439.7Hz$$

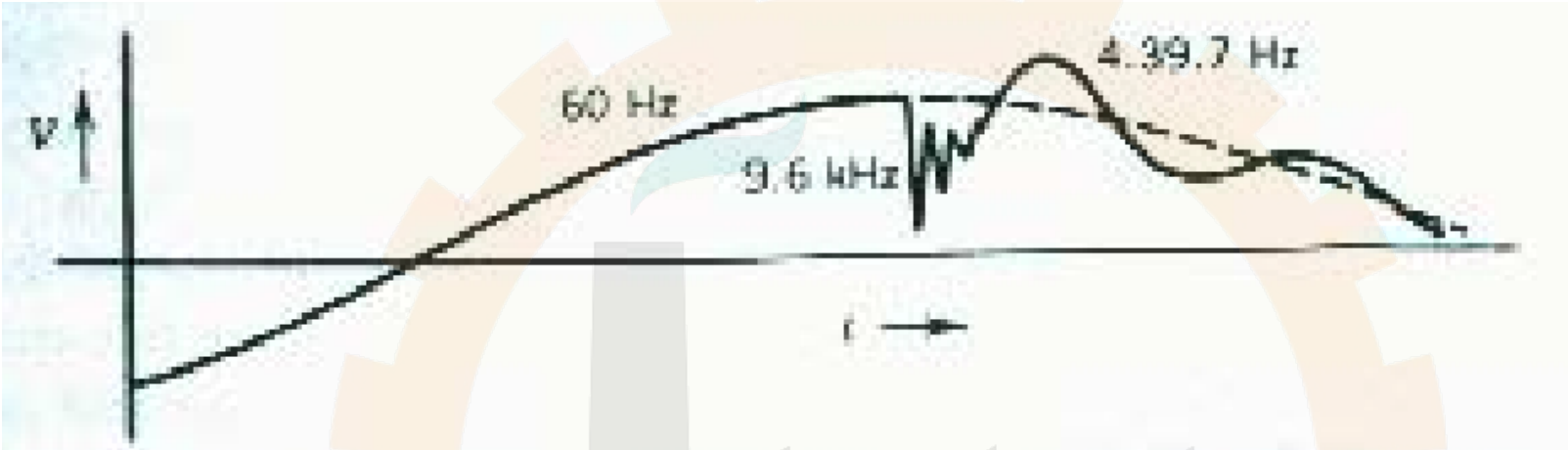
مقدار جریان مربوط به این نوسانات برابر خواهد بود با:

$$\left(V_p - V(\infty)\right)\left(\frac{C_1 + C_2}{L}\right)^{0.5} \sin(\omega_1 t) = (28.17 - 15.25)\left(\frac{62.38}{2100}\right)^{0.5} \sin(\omega_1 t) = 2.227 \sin(\omega_1 t)\, kA$$

www.powerplantac.com

۲-۲ اتصال بانک خازنی

نوسانات ولتاژ اتصال بانک به بانک خازن ها در شکل زیر نشان داده شده است:



برای کنترل و کاهش جریان هجومی میتوان از سلف یا مقاومت سری استفاده کرد اما استفاده از این روش باعث افزایش تلفات خواهد شد. راه دیگر که امروزه بیشتر کاربرد دارد استفاده از کلیدهای وصل سنکرون شده می باشد. بطوریکه عمل کلیدزنی در دو سر کلید زمانی انجام خواهد شد که ولتاژ دو سر کلید بسیار نزدیک به هم است. در نتیجه جریان هجومی بسیار کمتری شکل می گیرد.

Power Plant Academy
www.powerplantac.com

۳-۲ حالت گذرای غیرعادی: Abnormal Transient

در حالت گذرای عادی معمولا $Max\ TRV = 2V_m$

در حالت گذرای غیرعادی ممکن است: $Max\ TRV > 2V_m$

Power Plant Academy
www.powerplantac.com

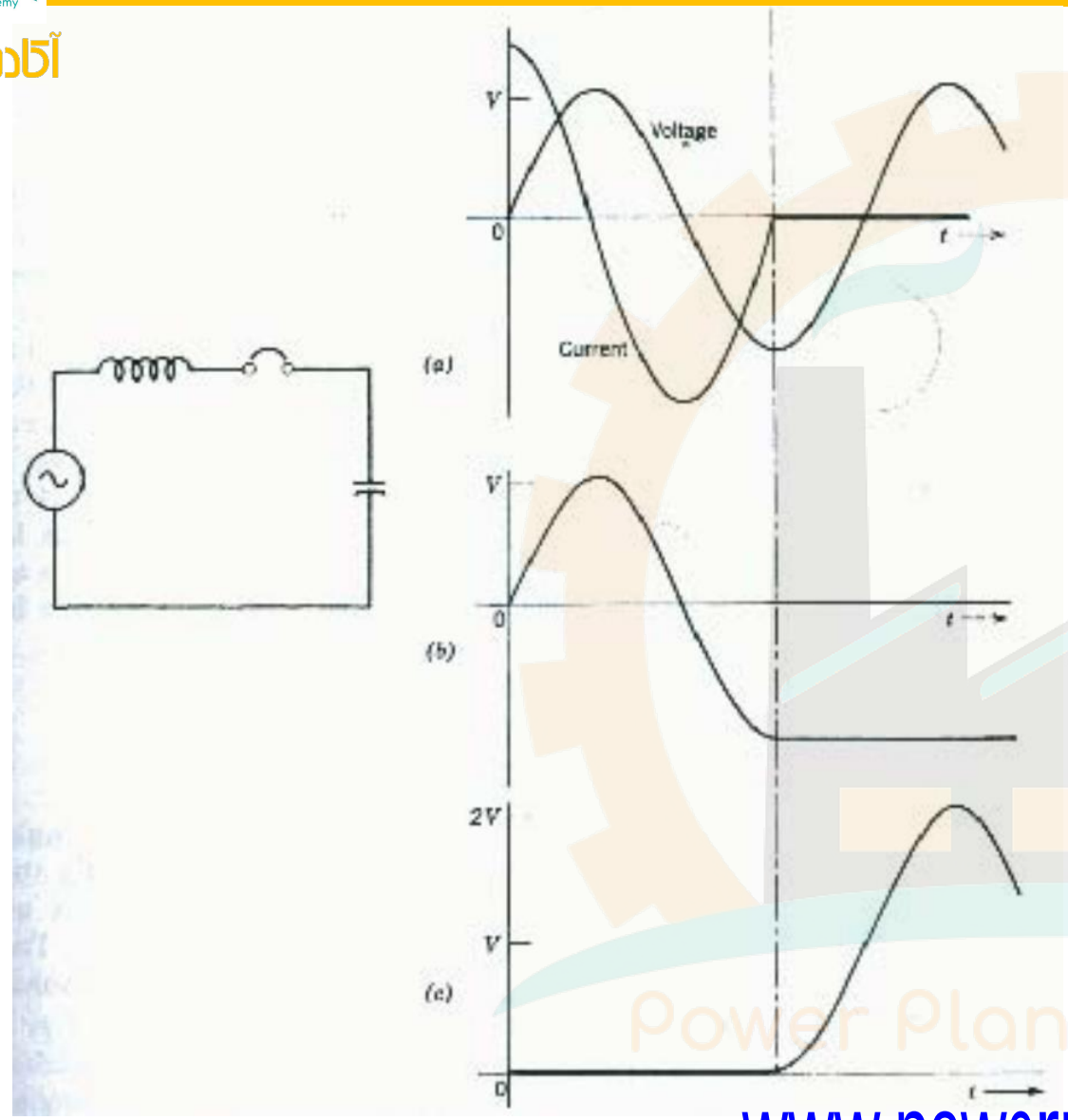
۳-۲ قطع خازن:

قطع خازن یکی از مسائل مهم کلیدزنی در سیستم قدرت می باشد.

- قطع خازن از آن جهت مهم می باشد که معمولا بصورت قطع یک بانک خازنی مطرح نمی باشد. بلکه قطع یک خط انتقال که معمولا بصورت یک سلف خط به همراه خازن موازی مدل می شود شباهت زیادی به قطع یک خازن تنها در انتهای خط دارد.
- بطور معمول چنین عملی (قطع یک خط بی بار) به تعداد زیاد برای کلید اتفاق می افتد.
- مشکل زمانی اتفاق می افتد که یک کلید در فرایند قطع قادر به تحمل استرس وارده نباشد و مجددا و بصورت مقطعی وصل شود (Reignite).
- این اتفاق در مجموع بسیار کم اتفاق می افتد اما به دلیل عمل کلیدزنی زیاد در این شرایط (قطع یک خط انتقال) نمیتوان از بررسی آن صرف نظر نمود.

Power Plant Academy
آکادمی نیروگاه

۳-۲ قطع خازن:



- کلیدزنی در نقطه صفر جریان صورت می پذیرد.
- ولتاژ خازن با جریان عبوری از آن ۹۰ درجه اختلاف فاز دارد.
- کلید زنی در نقطه پیک ولتاژ خازن صورت می پذیرد.
- شکل (a) ولتاژ منبع و جریان خازن را نشان می دهد.
- شکل (b) ولتاژ خازن را نشان می دهد.
- شکل (c) ولتاژ دو سر کلید را نشان می دهد.
- مقدار ولتاژ خازن در مقدار پیک باقی میماند که باعث میشود نیم سیکل بعد ولتاژ ۲ سرکلید به 2V برسد.

Power Plant Academy

www.powerplantac.com

۳-۲ قطع خازن:

مثال: یک بانک خازنی ۳ فاز، با ظرفیت 5000kVA، 13.8kV با نقطه نول زمین شده از مدار قطع می شود. فرض کنید که منبع هم زمین شده و اندوکتانس آن 1mH می باشد.

$$C = \frac{MVA}{\omega(kV)^2} = \frac{5}{377 \times 13.8^2} = 69.64\mu F$$

$$Z = \left(\frac{L}{C}\right)^{0.5} = \left(\frac{1000}{69.64}\right)^{0.5} = 3.789$$

یک restrike کلید در لحظه پیک ولتاژ منجر به مقدار پیک جریان

$$\frac{2 \times 13.8\sqrt{2}}{\sqrt{3} \times 3.789} = 5.947kA$$

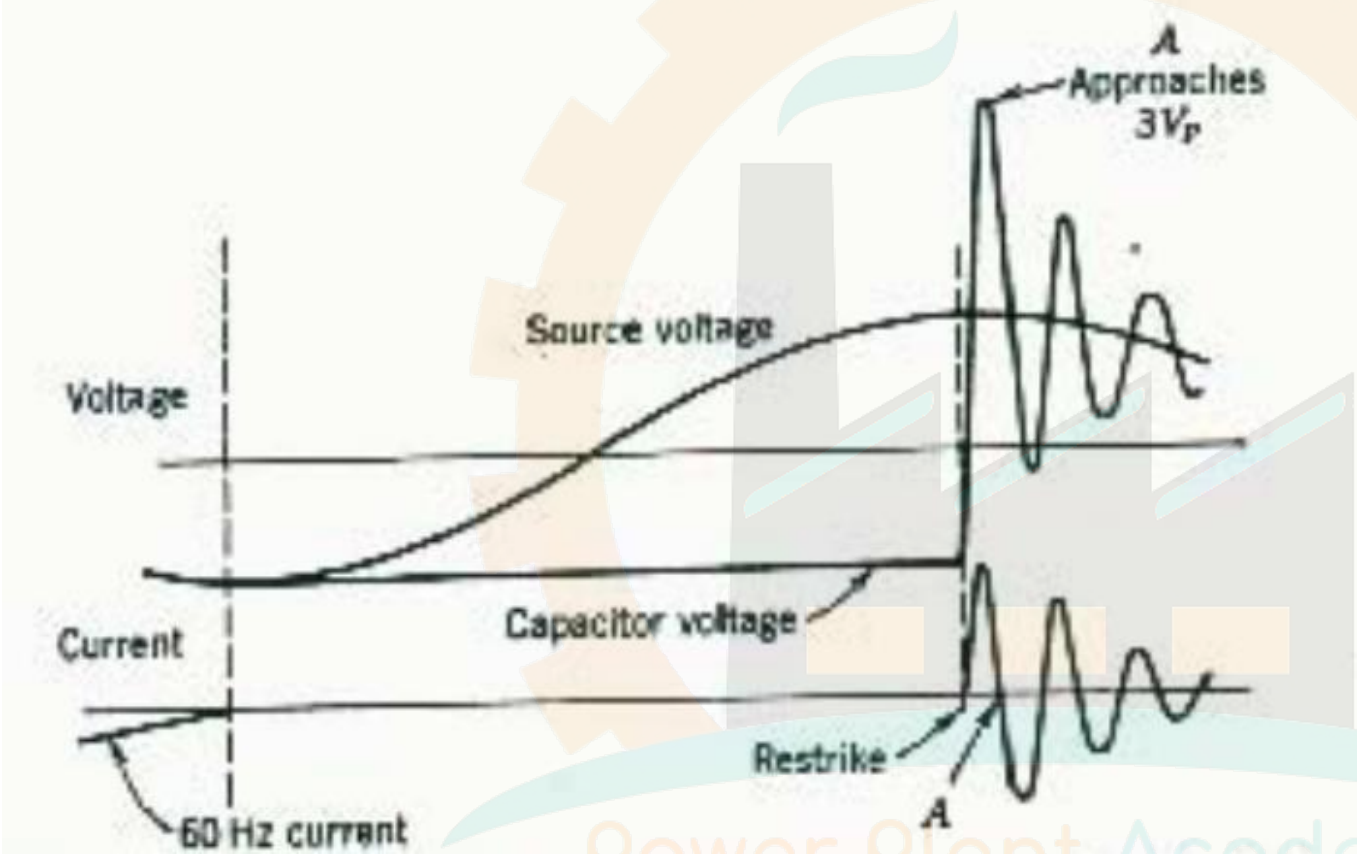
در فرکانس

$$f_0 = \frac{1}{2\pi(LC)^{0.5}} = 603Hz$$

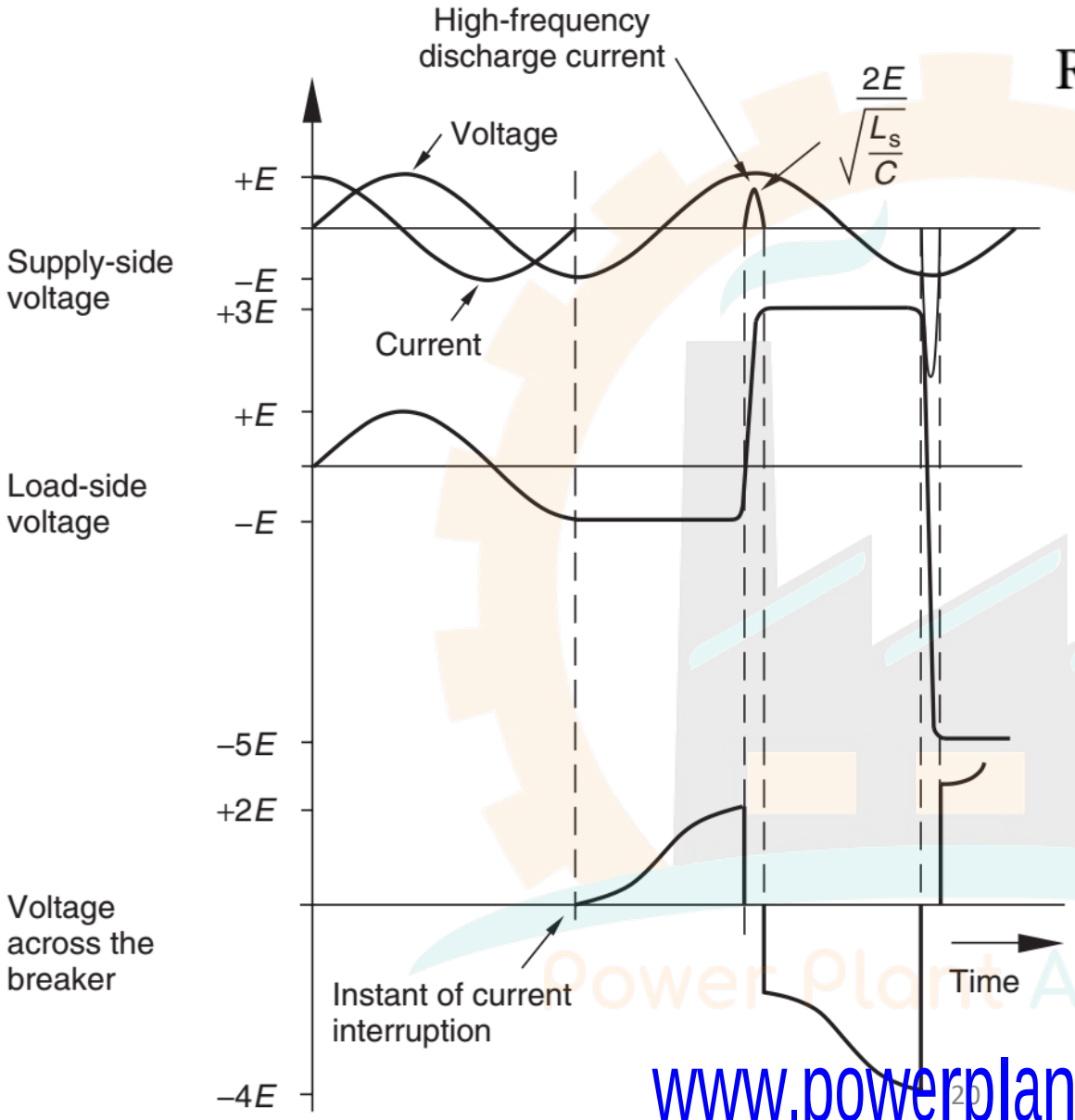
Power Plant Academy

۳-۲ قطع خازن:

کلید در زمانی که خازن در V– قرار دارد و ولتاژ منبع در نقطه V قرار دارد دچار restrike میگردد. در نتیجه ولتاژ خازن تا 3V هم میرسد.



Power Plant Academy



Re-ignition of the circuit breaker when interrupting a capacitive current

$$I = \frac{2E}{\sqrt{\frac{L_s}{C}}} \qquad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C}}$$

این فرایند افزایش ولتاژ تا زمانی اتفاق می افتد که خازن دیگر قادر به تحمل ولتاژ دوسر خود نباشد و دچار شکست دی الکتریک گردد.

www.powerplantac.com