

خازن گذاری در شبکه برق

توان راکتیو چیست؟

$$v(t) = V_m \sin \omega t$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t - \varphi)$$

$$p(t) = i(t) \cdot v(t)$$

$$= V_m \cdot I_m \sin(\omega t) \sin(\omega t - \varphi)$$

$$= \frac{1}{2} V_m I_m [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)]$$

توان لحظه ای

$$P(t) = \frac{1}{2} V_m I_m [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)]$$

عبارت فوق دارای دو جمله است، یکی ثابت و غیر متغیر با زمان و دیگری متغیر با زمان و بصورت یک تابع سینوسی از زمان با فرکانس دو برابر.

توان متوسط

$$\begin{aligned}P_{ave} &= \langle p(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} p(t) \cdot dt \\&= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} V_m I_m [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)] d(\omega t) \\&= \frac{V_m I_m}{4\pi} \cdot 2\pi \cos \varphi \\&= \frac{V_m I_m}{2} \cos \varphi \\&= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \cos \varphi = V_{rms} \cdot I_{rms} \cos \varphi\end{aligned}$$

مفهوم عملی مطالب فوق چیست؟

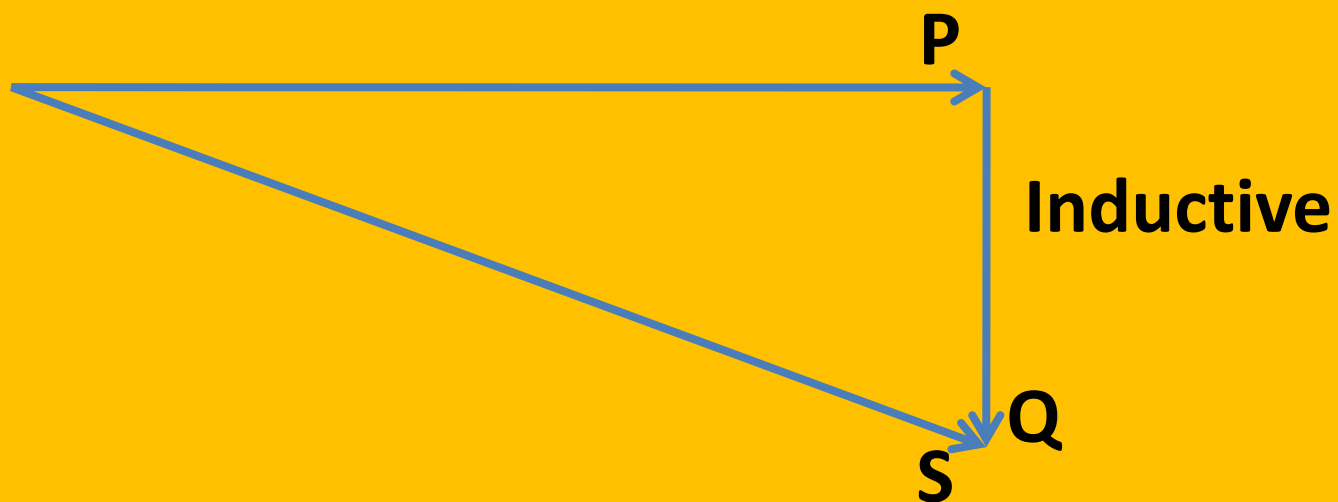
تعریف توان ظاهری و راکتیو

$$S = V_{rms} \cdot I_{rms} \Rightarrow P = S \cos \varphi$$

$$Q = S \sin \varphi$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

دیاگرام برداری



مضرات ضریب توان کم

(1) ظرفیت شبکه توزیع را اشغال میکند.

(2) باعث تلفات در کابل ها و ترانسفورماتور می

شود.

(3) باعث تغییر در ولتاژ می شود.

اشغال ظرفیت شبکه توزیع

ظرفیت کابل ها و ترانسفورماتورها با جریان آنها تعیین می شود نه با توان اکتیو عبوری از آنها.

$$P=V.I.\cos\phi$$

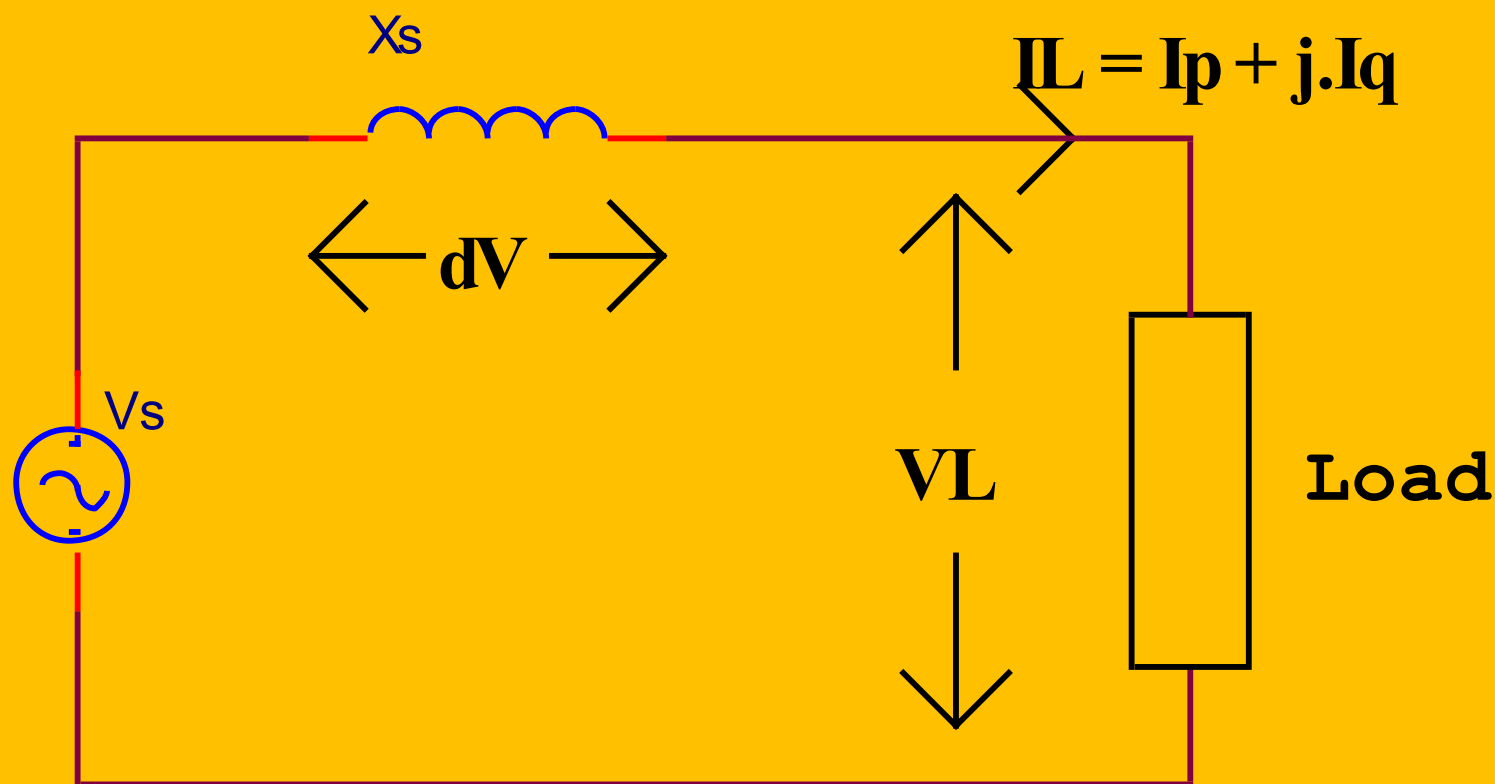
در صورتیکه ضریب توان کم شود جریان زیاد شده و ظرفیت کابل و ترانسفورماتور را اشغال می کند.

افزایش تلفات

$$P_{Loss} = r \cdot I^2$$

در صورت کاهش ضریب توان،
جریان افزایش پیدا کرده و تلفات
هم افزایش می یابد.

تغییرات ولتاژ (کاهش و افزایش)



تغییرات ولتاژ (کاهش و افزایش)

$$I_L = I_p$$



$$I_L = jI_q$$



بار سلفی باعث کاهش و بار خازنی باعث افزایش ولتاژ می شود.

بخاطر دلایل بالا، شرکت برق، مصرف کنندگانی که با ضریب توان کم انرژی مصرف کنند را جریمه می کند.

چون شرکت برق فقط پول انرژی اکتیو را از مصرف کنندگان میگیرد و اگر شما با ضریب توان کم انرژی مصرف کنید، ظرفیت شبکه را اشغال می کنید ولی به آن اندازه انرژی مصرف نمی کنید که به شرکت برق بابت آن پول بدهید.

مثال آن این است که اگر یک خازن یا سلف خالص را به شبکه وصل کنید، جریان می کشد ولی کنتور برق نمی چرخد.

جریمه راکتیو

کنتور اکتیو مقدار انرژی اکتیو مصرفی را نشان می دهد:

$$E_p(t) = \int_0^t p(\tau).d\tau$$

کنتور راکتیو مقدار انرژی راکتیو مصرفی را نشان می دهد:

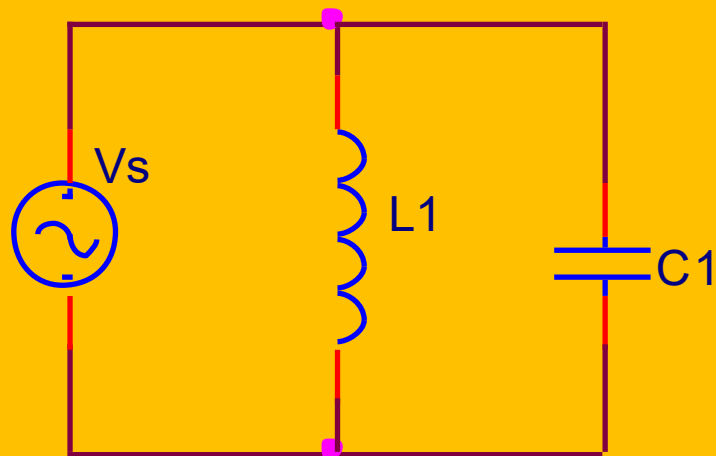
$$E_q(t) = \int_0^t q(\tau).d\tau$$

جریمه راکتیو

$$E_s = \sqrt{E_p^2 + E_q^2}$$

$$pf = \frac{E_p}{E_s} \quad \text{ضریب زیان} = \text{ضریب جریمه} = \frac{0.9}{pf} - 1$$

ضریب جریمه $\times$ هزینه اکتیو = هزینه راکتیو



$$X_L = j\omega L$$

$$X_C = \frac{1}{j\omega C}$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{V}{j\omega L} = -j \frac{V}{\omega L}$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{V}{\frac{1}{j\omega C}} = jV\omega C$$

با توجه به این
نتایج، جهت جریان
سلف و خازن
همیشه مخالف هم
است و می توانند
یکدیگر را خنثی
کنند.

تا اینجا بر لزوم اصلاح ضریب توان تاکید شد.

راه حل آن هم با توجه به ماهیت سلفی اکثر بار های صنعتی،
تجاری، اداری و خانگی، استفاده از خازن است.

در ادامه نکاتی در مورد خازن گذاری ذکر می گردد.

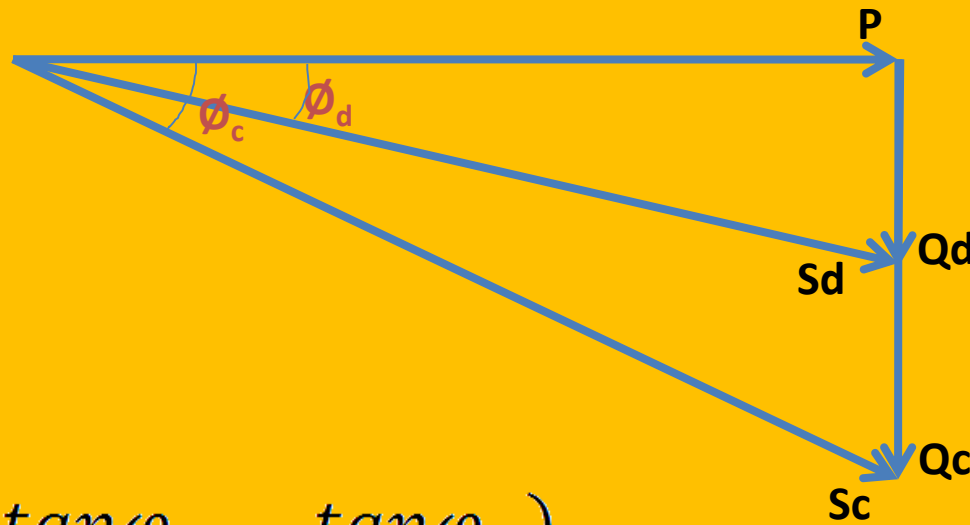
محاسبه مقدار خازن مورد نیاز

با توجه با رابطه صفحه 15 معمولاً ضریب توان مطلوب 0/9 است در بعضی موارد ممکن است اعداد دیگری مورد نظر باشد.

$$\tan \varphi_c = \frac{Q_c}{P}$$

$$\tan \varphi_d = \frac{Q_d}{P}$$

$$Q_c - Q_d = P(\tan \varphi_c - \tan \varphi_d)$$



تخمین از طریق بار های نصب شده (تقریبی):

(1) معمولاً ضریب توان موتورهای سه فاز بین 0/75 تا 0/88 است. (توان راکتیو مصرفی موتور ها با تغییر بار خیلی عوض نمی شود)

(2) ضریب توان لامپ های التهابی و هیترها یک است.

(3) ضریب توان لامپ های گازی و فلورسنت بین 0/4 تا 0/6 است.

تخمین از طریق بار های نصب شده (مثال):

در یک کارخانه بارهای نصب شده عبارتند از:

1) ده عدد موتور سه فاز، هرکدام به قدرت 55 کیلووات.

2) یک عدد هیتر سه فاز به قدرت 40 کیلووات.

3) هشتاد عدد لامپ بخار جیوه 250 وات برای روشنایی سالن ها و محوطه.

در صورتی که همه مصرف کننده ها باهم در مدار باشند، ضریب توان را در بهترین و بدترین شرایط محاسبه کنید.

چه مقدار خازن لازم است تا ضریب توان به 0/96 برسد.

چه مقدار خازن لازم است تا ضریب توان به 0/99 برسد.

حل در بدترین شرایط:

$$\cos \gamma = 0.75 \rightarrow \sin \gamma = 0.66$$

$$P = S \cdot \cos \phi$$

$$\cos \gamma = 0.4 \rightarrow \sin \gamma = 0.92$$

$$Q = S \cdot \sin \phi$$

$$\text{Heater: } P = 40\text{kW} \quad Q = 0$$

$$\text{Motor: } P = 10 \times 55\text{kW} = 550\text{kW} \quad Q = 550 \times 0.66 / 0.75 = 484\text{kVAr}$$

$$\text{Lamp: } P = 80 \times 0.25\text{kW} = 20\text{kW} \quad Q = 20 \times 0.92 / 0.4 = 46\text{kVAr}$$

$$P_{\text{total}} = 40 + 550 + 20 = 610\text{ kW} \quad Q_{\text{total}} = 484 + 46 = 530\text{ kVAr}$$

$$S_{\text{total}} = 808\text{ kVA} \quad \text{pf} = 610 / 808 = 0.75$$

حل در بهترین شرایط:

$$\cos \gamma = 0.88 \rightarrow \sin \gamma = 0.47$$

$$P = S \cdot \cos \emptyset$$

$$\cos \gamma = 0.6 \rightarrow \sin \gamma = 0.8$$

$$Q = S \cdot \sin \emptyset$$

$$\text{Heater: } P = 40\text{kW} \quad Q = 0$$

$$\text{Motor: } P = 10 \times 55\text{kW} = 550\text{kW} \quad Q = 550 \times 0.47 / 0.88 = 294\text{kVAr}$$

$$\text{Lamp: } P = 80 \times 0.25\text{kW} = 20\text{kW} \quad Q = 20 \times 0.8 / 0.6 = 27\text{kVAr}$$

$$P_{\text{total}} = 40 + 550 + 20 = 610 \text{ kW} \quad Q_{\text{total}} = 294 + 27 = 321 \text{ kVAr}$$

$$S_{\text{total}} = 689 \text{ kVA} \quad \text{pf} = 610 / 689 = 0.88$$

ضریب توان مطلوب = 0.96

$$\cos \phi = 0.96 \rightarrow \sin \phi = 0.28$$

$$Q_d = P \times \sin \phi / \cos \phi = 610 \times 0.28 / 0.96 = 178 \text{ kVAr}$$

در بدترین شرایط:

$$Q_c - Q_d = 530 - 178 = 352 \text{ kVAr}$$

در بهترین شرایط:

$$Q_c - Q_d = 321 - 178 = 143 \text{ kVAr}$$

ضریب توان مطلوب = 0.99

$$\cos \phi = 0.99 \rightarrow \sin \phi = 0.14$$

$$Q_d = P \times \sin \phi / \cos \phi = 610 \times 0.14 / 0.99 = 86 \text{ kVAr}$$

در بدترین شرایط:

$$Q_c - Q_d = 530 - 86 = 444 \text{ kVAr}$$

در بهترین شرایط:

$$Q_c - Q_d = 321 - 86 = 235 \text{ kVAr}$$

تخمین از طریق قبض برق (تقریبی):

در قبض برق انرژی اکتیو و انرژی راکتیو مصرفی و تعداد روز مربوطه ذکر می گردد.

با توجه به نوع شیفت و روزهای کاری می توان ساعات کار را تخمین زد.

حال انرژی را داریم زمان را هم داریم و می توانیم توان را محاسبه کنیم.

تخمین از طریق قبض برق (تقریبی):

مثال:

اعداد زیر از قبض برق یک کارخانه برداشت شده است، در صورتی که کارخانه روزهای عادی 8 ساعت و پنجشنبه ها 4 ساعت کار کند و جمعه ها هم تعطیل باشد، چه مقدار خازن لازم است تا ضریب توان این کارخانه به 0/96 برسد.

اکتیو میان باری: 29091

اکتیو اوج بار: 7272

اکتیو کم باری: 14545

راکتیو: 39912

تاریخ قرائت قبلی: 89/01/29

تاریخ قرائت

فعلی: 89/03/02

ضریب توان: 0/79

حل حالت اول با کار یک شیفت:

در این مدت شش روز تعطیل، 5 تا پنجشنبه و 24 روز عادی وجود داشته است.

جمع کل ساعات کاری میشود:

$$24 \times 8 + 5 \times 4 = 212 \text{ hours.}$$

$$E_p = 29091 + 7272 + 14545 = 50908 \text{ kWh}$$

$$P = 50908 / 212 = 240 \text{ kW}$$

$$E_q = 39912 \text{ kVArh} \quad Q = 39912 / 212 = 188 \text{ kVAr}$$

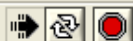
$$Q_d = 240 \times 0.28 / 0.96 = 70 \text{ kVAr}$$

$$Q_c - Q_d = 188 - 70 = 118 \text{ kVAr}$$

تخمین با اندازه گیری (دقیق):

با استفاده از دستگاه های ثابت توان که توان اکتیو و راکتیو مصرفی را در طول زمان ثبت می کنند می توان حداکثر توان راکتیو مصرفی یک کارخانه را اندازه گیری نموده و بر اساس آن مقدار خازن مورد نیاز را بدست آورد.

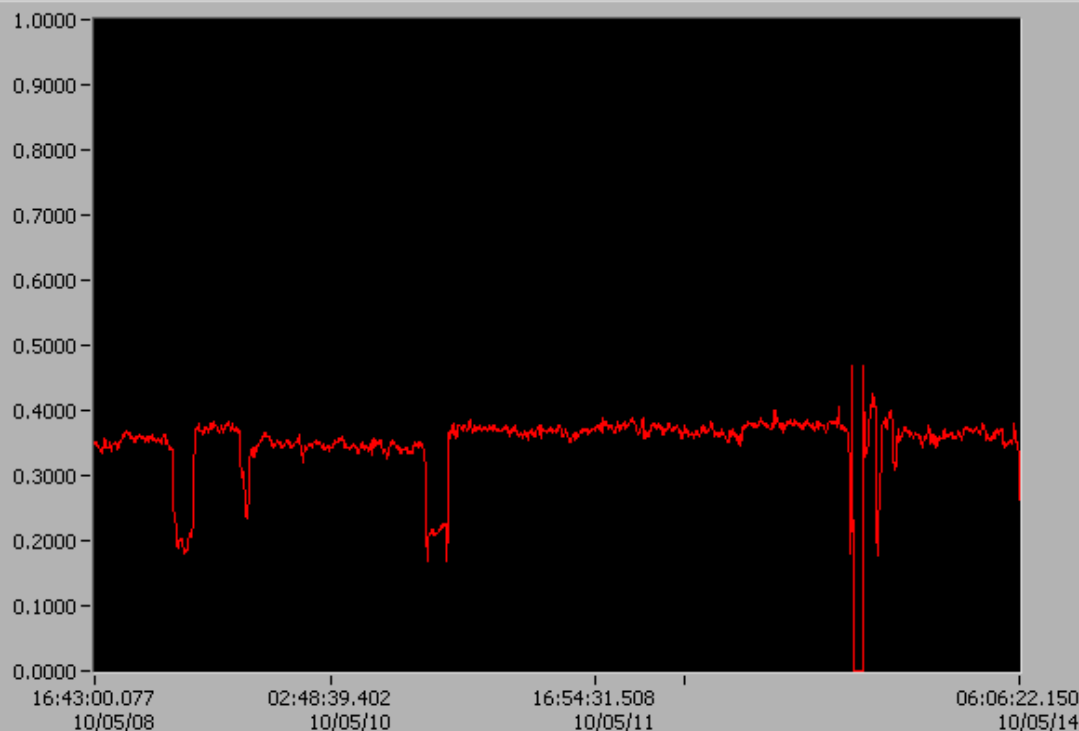




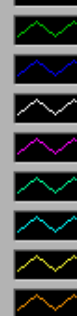
OFF LINE ON LINE

Show fault Show event Show log Energy analyzer

Select file Wave1 Wave2 Wave3 Wave4



Pf total(Atrak-PMCC) 4-Esfahan



Device

Atrak-PMCC

Frequency

Voltage

Current

Active Power

Reactive Power

Apparent Power

Power Factor

Harm V1

Harm I1

Harm V2

Power Factor 1(Atrak-PMCC)

Power Factor 1(min)(Atrak-PMCC)

Power Factor 1(max)(Atrak-PMCC)

Power Factor 2(Atrak-PMCC)

Power Factor 2(min)(Atrak-PMCC)

Power Factor 2(max)(Atrak-PMCC)

Power Factor 3(Atrak-PMCC)

Power Factor 3(min)(Atrak-PMCC)

Power Factor 3(max)(Atrak-PMCC)

Pf total(Atrak-PMCC) 4-Esfahan

SET

SETALL

SETPrint

SETXport

EXPORT

OFF

Start_Time

16:43:00

10/05/08

End_Time

06:06:22

10/05/14

Clear Graph

OFF



Cursor 0	16:20:00	0.0000
Cursor 1	10:14:30	0.0000

Formula..... for example : x1+x2*x3 3

SET

error out

status code

no error 0

source



مصرف کننده ها معمولاً بار ثابتی ندارند و باراکتیو و راکتیو مصرفی آنها تغییر میکند.

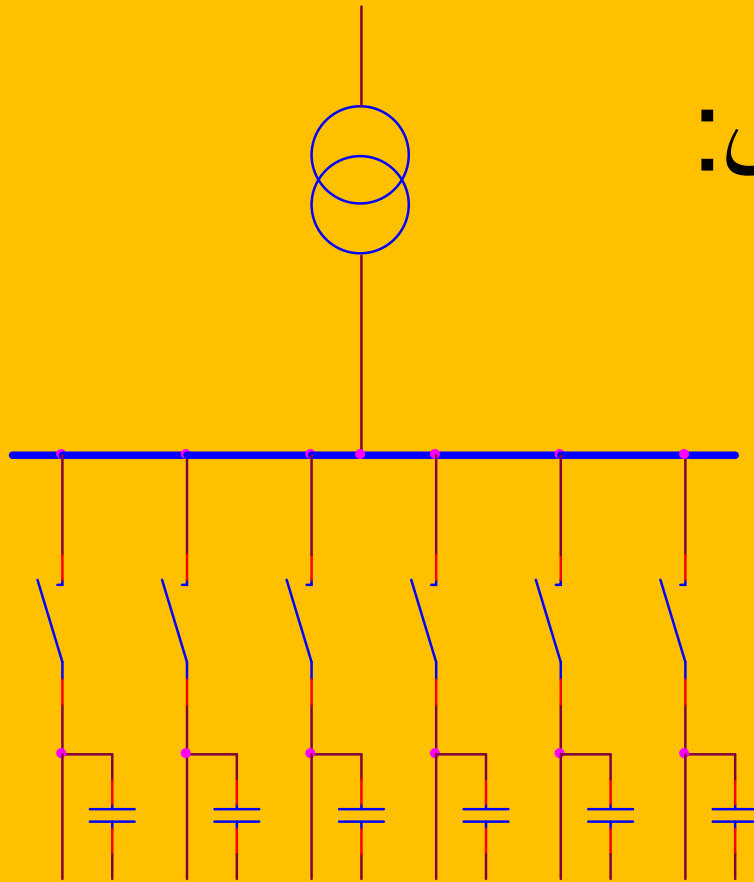
موتور ها و روشنایی ها در زمان های مختلف خاموش و روشن میشوند.

بار موتور ها دائماً در حال تغییر است.

اگر خازن ها دائم در مدار باشند، در زمان های بی باری، باز هم ضریب توان کاهش پیدا کرده، تلفات اضافه شده و باعث اضافه ولتاژ می شود.

پس باید مکانیزمی پیاده کرد که مقدار خازن با تغییر بار عوض شود.

خازن گذاری انفرادی:

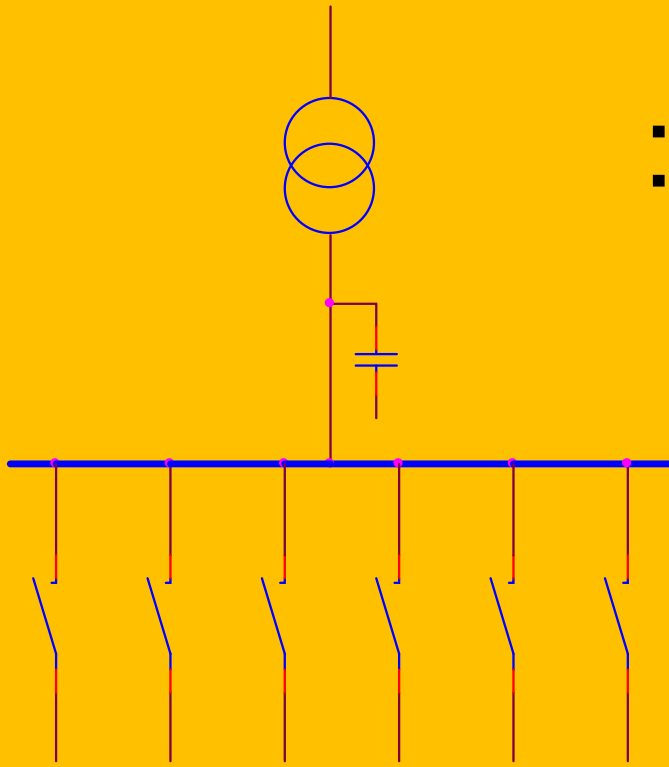


از نظر تئوری بهترین محل برای خازن گذاری نزدیک ترین محل به مصرف کننده است. چون تلفات کاهش یافته و سائز کابل ها و کلید ها هم کوچک می شود. ولی این کار اشکالاتی دارد.

خازن گذاری انفرادی:

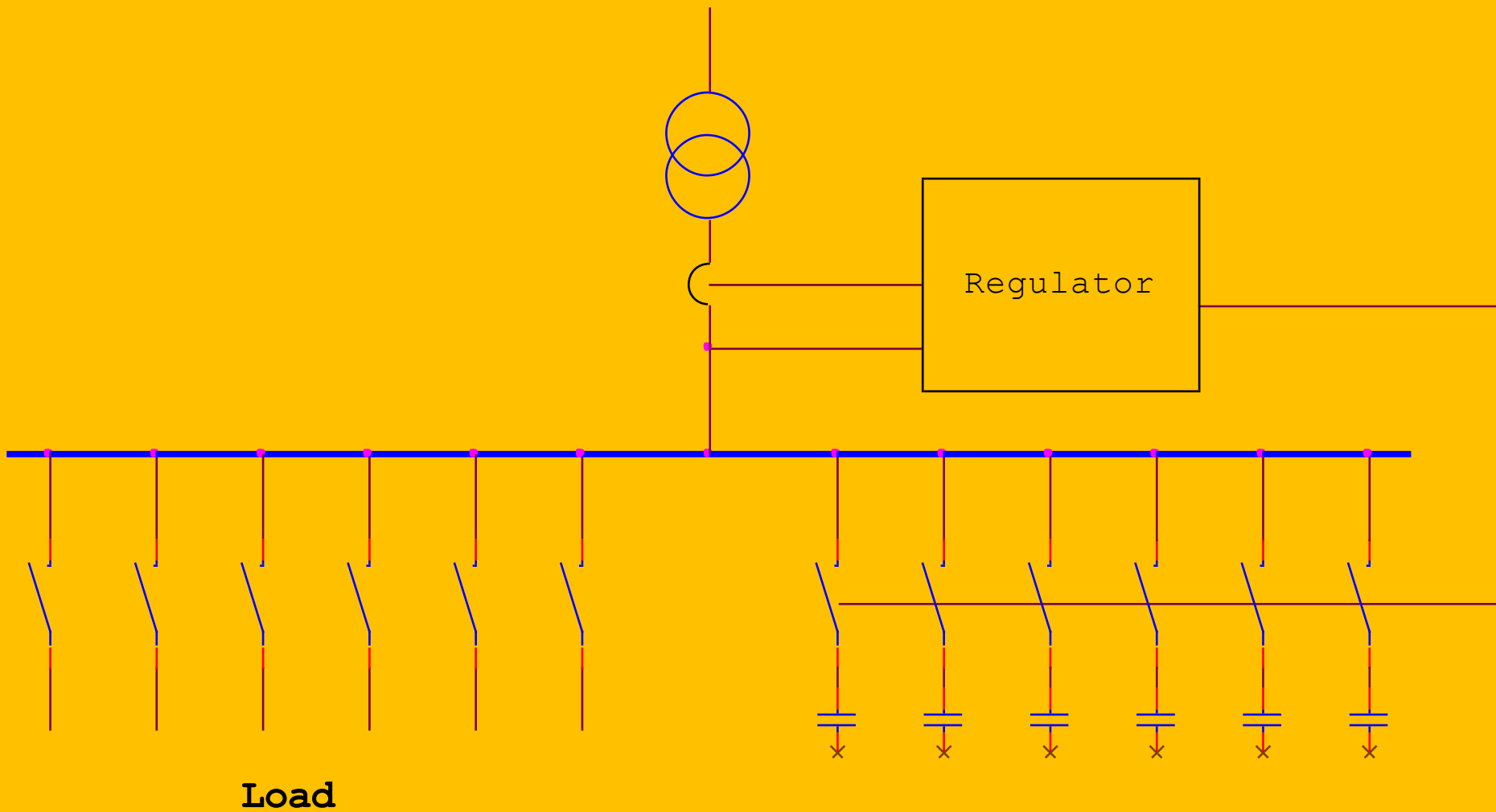
- (1) به خازن بیشتری احتیاج دارد چون به ضریب همزمانی توجه نشده است.
- (2) تعمیر نگهداری مشکل است چون خازن ها در مناطق مختلف پراکنده اند.
- (3) در چراغ ها چون نزدیک سقف نصب می شود همیشه گرم است و عمر خازن ها کم می شود.
- (4) خازن های کوچک گران تر است.

خازن گذاری متمرکز:



اقتصادی ترین روش از نظر قیمت بانک خازنی، خازن گذاری متمرکز است. در این روش یک بانک خازنی در زیر ترانس نصب شده و توسط رگولاتور خازن ها بر حسب نیاز وارد مدار می شوند.

محل نصب CT و رگولاتور



رگولاتور

رگولاتور وسیله ای است که با استفاده از یک ترانسفورماتور جریان و یک نمونه از ولتاژ (ترانس ولتاژ یا اتصال مستقیم) توان راکتیو مورد نیاز را تخمین زده و با دانستن ظرفیت هر یک از خازن ها به اندازه مورد نیاز خازن وارد مدار کرده تا به ضریب توان مطلوب برسیم. رگولاتور در انواع 5، 6، 7 و 12 پله در بازار عرضه می گردد.

در سطح ولتاژ فشار ضعیف بهتر است که هر پله خازن از 50 کیلووار بالاتر نباشد. در حالات خاص که ترانسفورماتو تغذیه کننده قوی است و تغییرات بار هم خیلی زیاد نیست می توان ظرفیت هر پله را تا 100 کیلووار هم بالا برد.

مشخصات رگولاتور

- (1) کنترل هوشمند پله های نا مساوی (1,1,1,1 – 1,2,2,2 – 1,1,2,2 – 1,2,4,4 – 1,2,4,8)
- (2) جابجایی خازن ها به نوبت
- (3) برنامه ریزی آسان
- (4) قابلیت تنظیم زمان های قطع و وصل
- (5) تشخیص اتوماتیک نسبت CT و آرایش پله ها
- (6) مدیریت هارمونیک ها
- (7) تعیین عمر خازن ها
- (8) نمایش پارامترها الکتریکی
- (9) آلارم خطا روی پانل و ریموت

آرایش پله های بانک خازنی

معمولاً بانک های خازنی بصورت ترکیبی از چند پله با اندازه های متفاوت ساخته می شوند. مثلاً:

$$2 \times 50 + 2 \times 25 + 2 \times 12.5 \qquad 3 \times 50 + 3 \times 25$$

$$8 \times 50 + 2 \times 25 + 2 \times 12.5 \qquad 10 \times 50$$

$$4 \times 100 + 4 \times 50 + 2 \times 25 + 2 \times 12.5$$

مقدار این پله ها توسط مهندس طراح و با توجه به شرایط زیر تعیین

می شود:

- (1) حداکثر مقدار خازن مورد نیاز

- (2) کمترین تغییرات مورد نیاز

- (3) قیمت

خازن ثابت

حتی الامکان از نصب خازن ثابت پرهیز نمایید.
مگر در مواردی که بنا به دلیلی مجبور به این کار
باشید و مطمئن شوید که از نظر فنی مشکلی بوجود
نمی آید. چون:

- (1) یک خازن ثابت همیشه در مدار است و عمر آن کم میشود.
- (2) در زمان بی باری باعث اضافه ولتاژ می شود.
- (3) در زمان بی باری با مصرف جریان راکتیو باعث تلفات میشود.

انواع خازن:

- | | |
|--------------|---------------|
| (1) روغنی | (3) خشک رزینی |
| (2) خشک گازی | (4) خشک معدنی |
-

- | | |
|-----------|------------|
| (1) تکفاز | (2) سه فاز |
|-----------|------------|
-

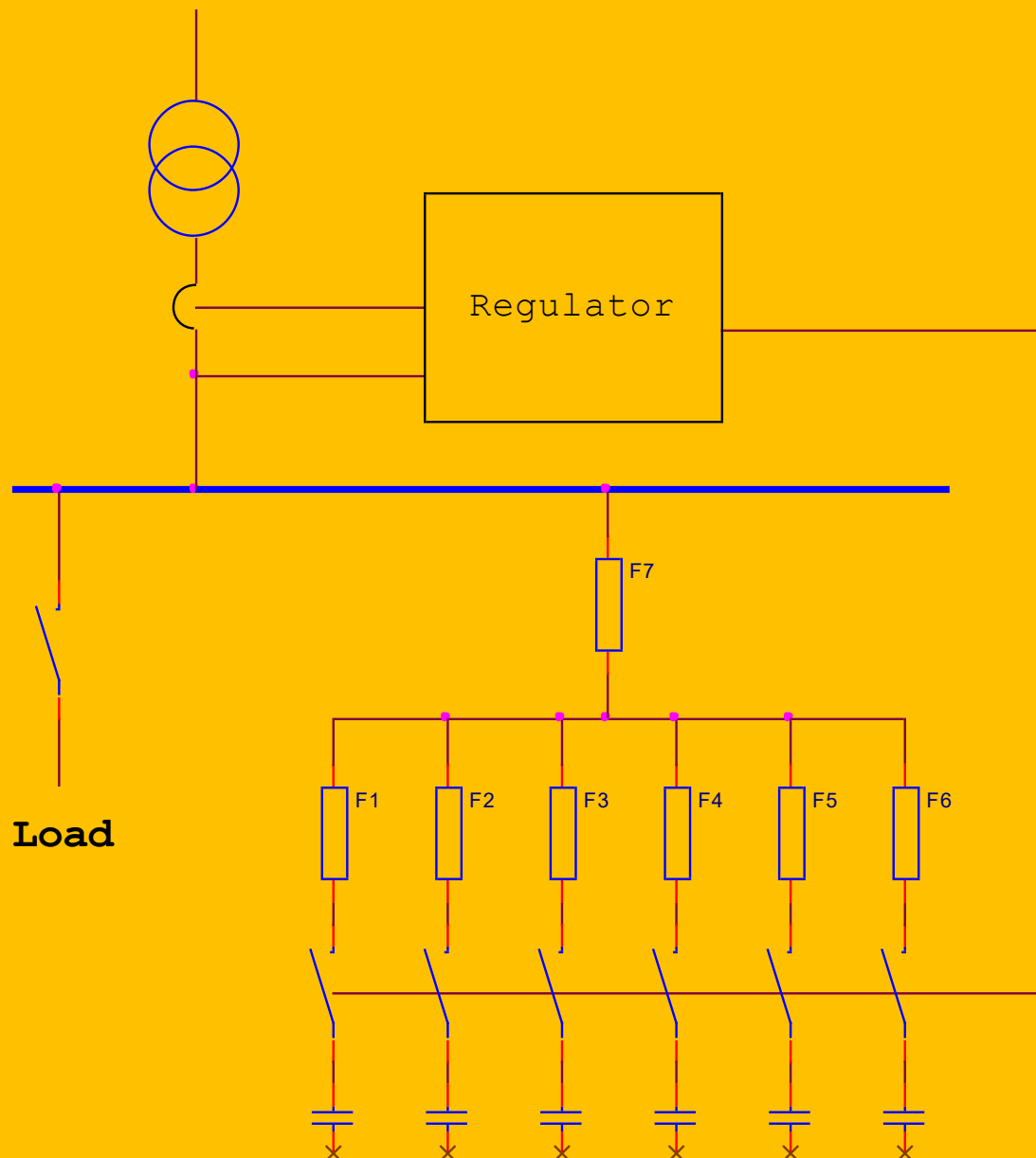
- | | |
|-----------|----------------|
| (1) مکعبی | (2) استوانه ای |
|-----------|----------------|

مشخصات مهم خازن:

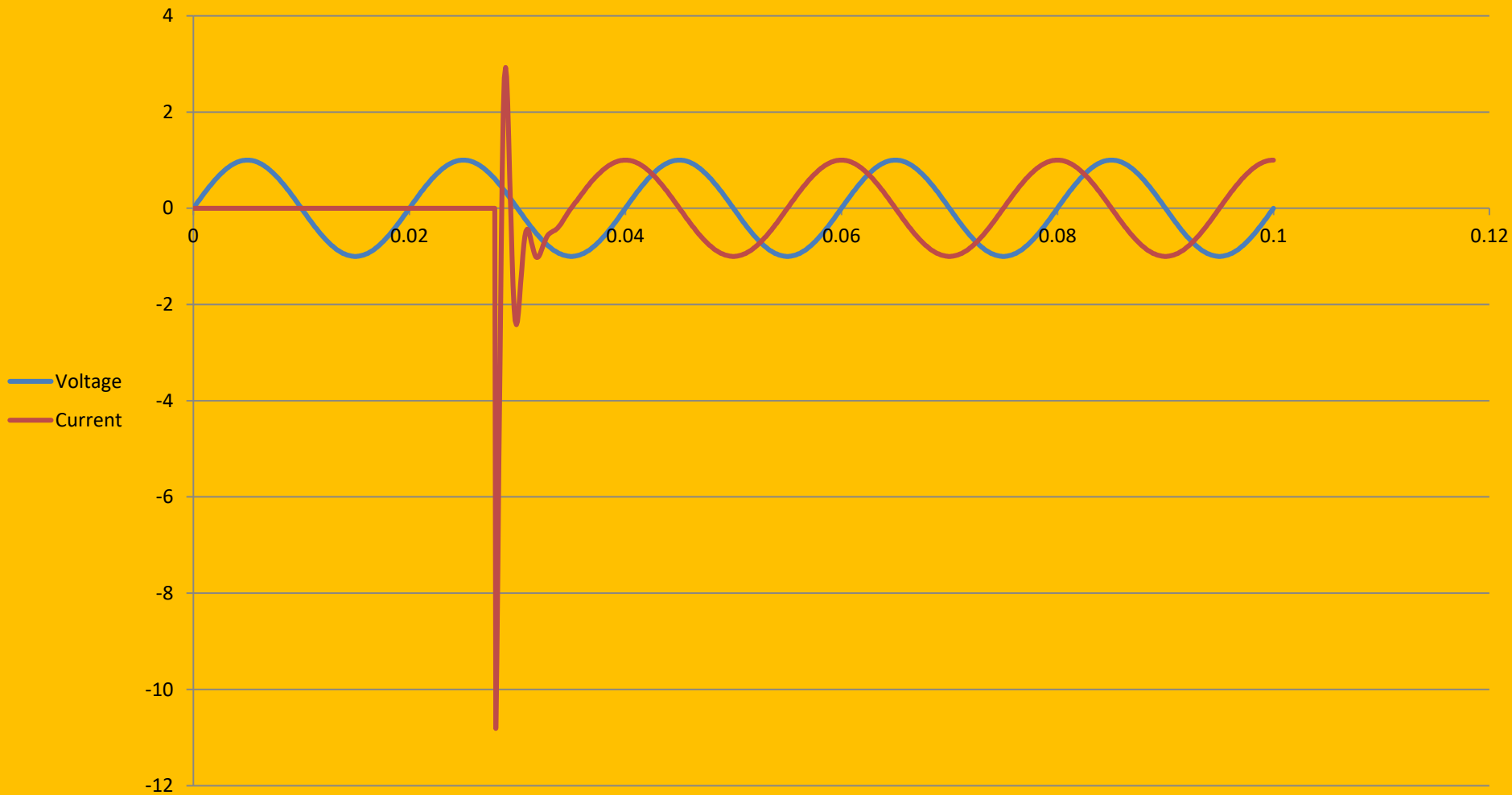
- (1) ولتاژ نامی
- (2) ظرفیت (kVAr) در ولتاژ نامی
- (3) ظرفیت (kVAr) در ولتاژ 400 ولت
- (4) حفاظت در مقابل اضافه فشار
- (5) تحمل اضافه ولتاژ
- (6) تحمل اضافه جریان
- (7) طول عمر
- (8) گارانتی
- (9) حسن شهرت و سابقه خوب

حفاظت

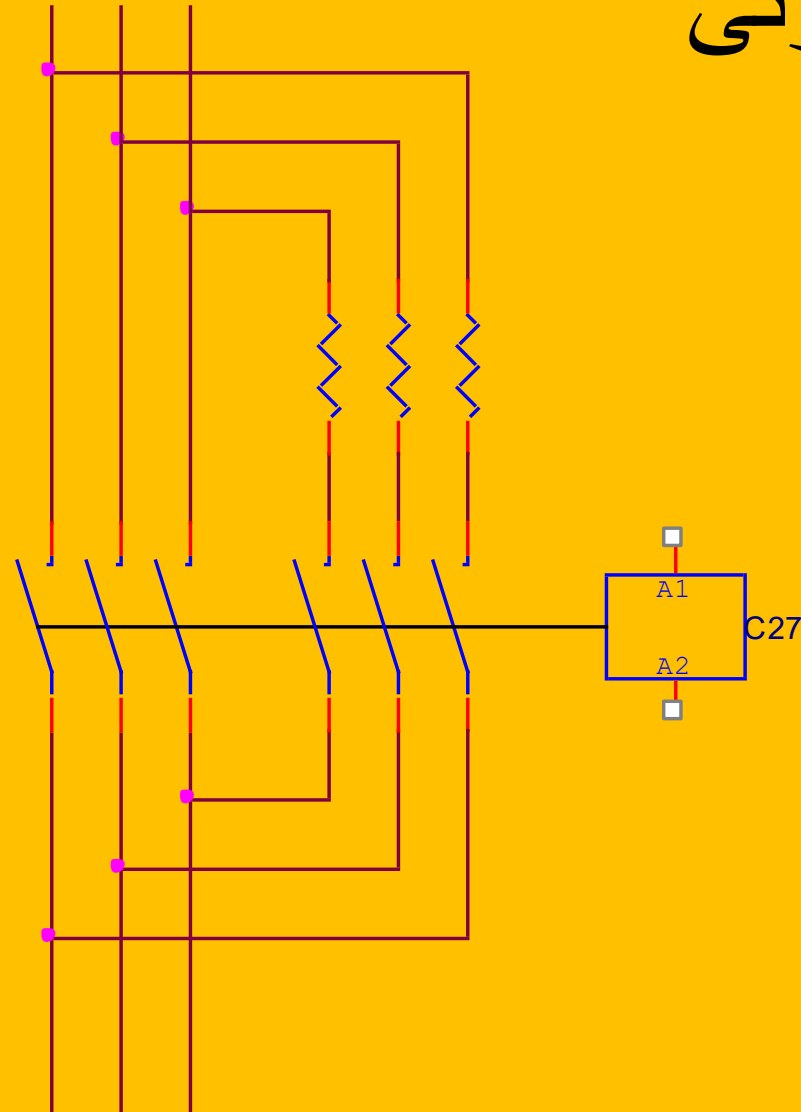
- کلید فیوز
- کلید اتوماتیک



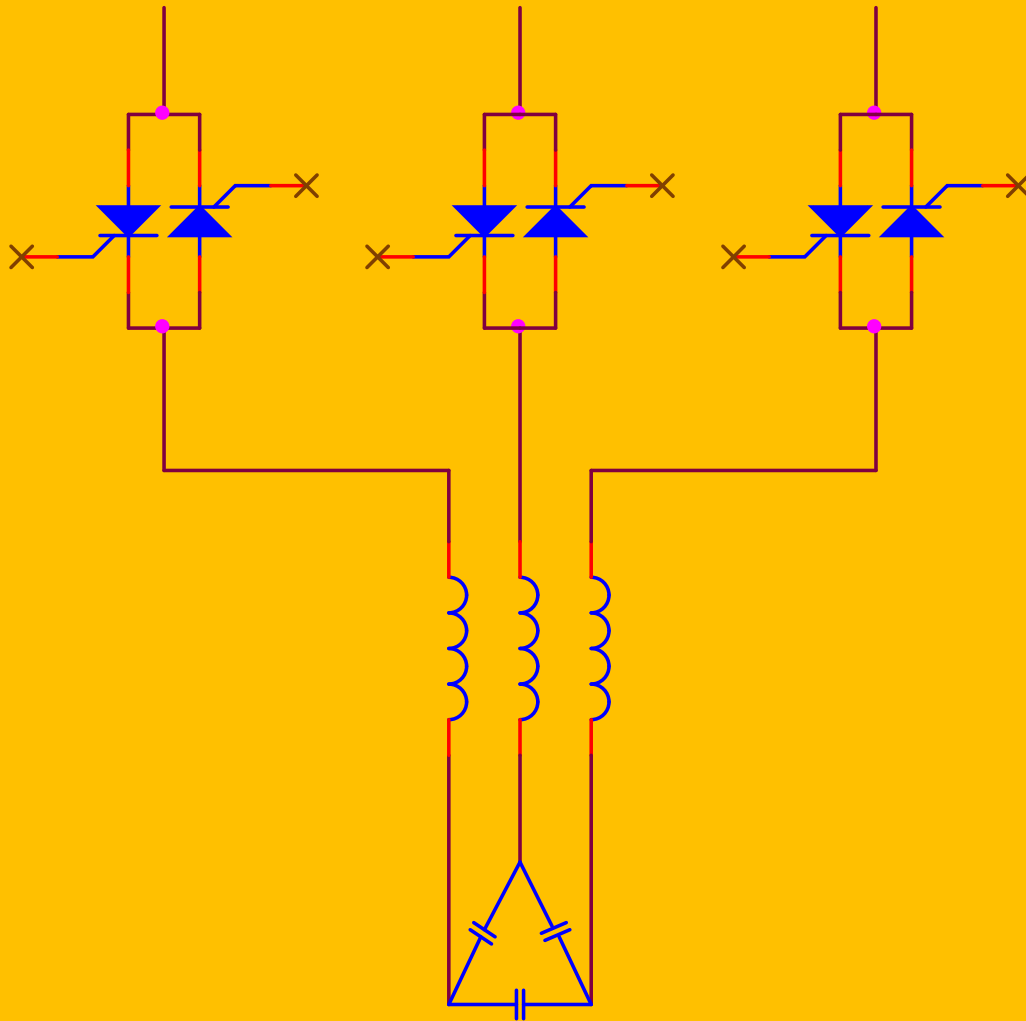
سوئیچینگ خازن:



کنتاکتور خازنی



خازن تریستوری



ہارمونیک