

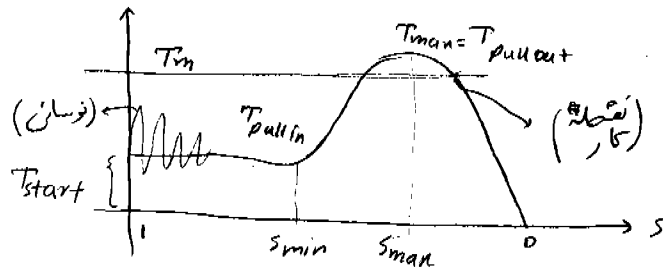
فصل سیزدهم

استارت موتورها

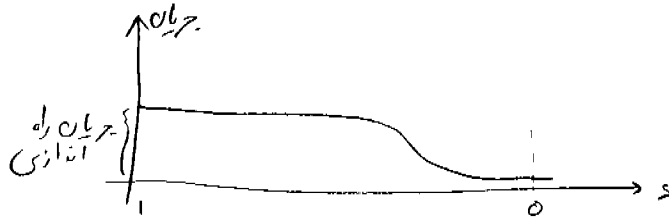
۱۳-۱ مقدمه

استارت موتورهای بزرگ باعث ایجاد افت ولتاژ می‌گردد که بر کیفیت برق تمامی مشترکین تأثیر می‌گذارد. اما بیشترین تأثیر بر روی نزدیکترین مشترک ایجاد می‌گردد. در هر حال اگر مشترکی در نقطه PCC از استارت موتور رنجیده نشود بقیه نیز راضی خواهند بود. همانطوریکه گفته شد تغییرات ولتاژ 2% برای موتورهای که دائماً در حال استارت هستند قابل قبول است و برای موتورهای که گاهگاهی استارت می‌شوند تغییرات ولتاژ 3% قابل قبول می‌باشد و تغییرات ولتاژ 5% برای موتورهای بزرگ با اطلاع قبلی به مسئولین شبکه قابل قبول می‌باشد.

البته برای استارت این نوع موتورها، هنگامیکه سطح اتصال کوتاه در شبکه بالا است و یا موقعیکه تعداد مشترکین در شبکه کم است، بهترین وقت جهت استارت است. معمولاً اوایل صبح جهت استارت موتورهای خیلی بزرگ از طرف مسئولین شبکه انتخاب می‌گردد. در این حالت از استارت محدودیت ولتاژ ماندگار (5% تا 6%) دیگر قابل قبول نمی‌باشد چرا که این محدودیت فقط برای تغییرات بطبع ولتاژ قابل قبول است که چون تغییرات آهسته هستند قابل مشاهده نمی‌باشند. در یک لامپ تنگستنی یک



معمولاً $\begin{cases} s_{max} = 1.5 \\ s_{min} = 1.5 \end{cases}$



آرسل موتور شما EX 2000 را بابت منی
 سیت E وارکنیز داریم
 test report را در DATA.DAT قرار
 (در همین مدل دو قسمتی میگیرید)
 آرسل را از سایتها که در MOTOR.DAT قرار
 (در همین مدل تک قسمتی را در نظر میگیریم)

در اینجا: $\begin{cases} \text{motor.dat} \rightarrow \text{test report} \\ \text{datam.dat} \rightarrow \end{cases}$

لیسن example $\{ \backslash \text{electron} \backslash \text{pashal} \backslash \text{networks} \left\{ \begin{array}{l} \text{tutorials} \\ \text{؟ این رو برین} \\ \text{آوردن جورهه انانازی} \end{array} \right.$

گشتاور مکانیکی

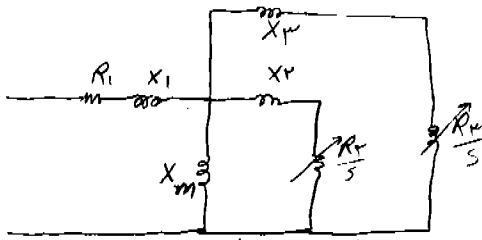
$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{JH} (T_m - T_e) \Rightarrow$ زمان استارت = ?

معادلات در اینجا:

در اینجا: $\begin{cases} T_m = T_{m0} (A + Bs + Cs^2) \\ A + B + C = 1 \end{cases}$

$\Rightarrow \begin{cases} \text{fans: } A=B=C=1 \\ \text{پمپ: } A=C=0, B=1 \end{cases}$

تکته در پمپ باید در خلاف راه انانازی برابر کمترین استارت می شود چون $T_m > T_e$



مدل steady state
 double cage

محاسبات مدل گذران ماشین
 Arctega computer modeling of power system

موتور double cage (اینلو) است که در slotهای روتور وقوع شش خوابانده داریم.
 در فرکانس زیاد دهنش داخلی و در فرکانس کم ششش خارجی امضلم جریان را عبور می دهد، از لحاظ کردن مقاومت ششش داخلی گشتاور را انانازی
 می توان بالا برد. پس اول قفس داخلی و بعد قفس خارجی در مدار است.

در حالت گذران موتور بصورت E است. ولی این مدل زمان استارت را اشتباه می دهد. چون در حالت

سر دگر کم مقدار بار انتزاعی موتور فوق می کند. پس در مورد single cage هم R_m و X_m می گذاریم. پس سعی کنه کردن موتور مخصوصاً زمان استارت، چون مقاومتها و سلفها در طول استارت عوض می شوند (زمان استارت ۴.۵-۲.۵ و چون جریان بالاست و ولتاژ برای تمام است ۵۰ برابر بیشتر حرارت تولید می کند که تا ۱۱.۵ یا ۱۱.۵ یا حتی ۱۱.۵ بالاتر) از double cage استفاده کنیم.
 برای موتورهای بزرگ باید double cage مدل کنیم. پس برای تست اولی خرم و بعدی رود تست شود تا ۵۰ و ۱۰۰ و ۱۰۰ کویل و ۱۰۰ کویل و ما به دست آوریم.

دلایل اهمیت استارت :

- ① خود موتور توانایی استارت شدن را داشته باشد و ولتاژ کافی از خود استارت موتور سبب استارت شدن خود موتور می گردد. البته زیاد بودن زمان استارت سبب سوختن فیوزها و عملکرد له ها می شود پس استارت باید در سریعترین زمان انجام پذیرد.
- ② امانت و لذت ناشی از استارت همبافتن بارها را مؤثر از خود کند.

موتورهای آسکرون و یا موتورهای سنکرون که بصورت آسکرون استارت می شوند، معمولاً به معضلاتی راجع وجودی آورده که مستلزم استفاده از وسایل اضافی جهت رفع این معضلات است.

تغییر ولتاژ 3% کاملاً قابل مشاهده است.

حتی اگر از نقطه نظر PCC آنچه‌آنکه در بالا آمد به مسئله تغییرات ولتاژ نگاه نکنیم باز در نقاط دیگر شبکه داخل کارخانه نیز استارت موتورها ممکن است باعث اشکال گردد. بیشتر موتورها طوری طراحی شده‌اند که توان نامی را تحت ولتاژ 80% برانند ولی اگر استارت یک موتور مجاور باعث گردد که ولتاژ در آنجا موتور چنانچه امن باشد ترمینال یک موتور از 80% ولتاژ نامی پائین‌تر بیاید باعث ایستادن این موتور خواهد شد. در یک نیروگاه اتمی یک راکتور اتمی با چهار موتور خنک می‌شده است. سه موتور می‌توانستند استارت شوند ولی استارت چهارمین موتور باعث ایستادن بقیه موتورها شد.

۱۳-۲ انواع مختلف استارت موتورها

بنا به دلایلی که ذکر شد استارت موتور از نظر طراحی سیستم بسیار قابل اهمیت می‌باشد و یکی از مهمترین مسائل در استارت موتور افت ولتاژ حاصل از عمل استارت بر روی باس بارهای سیستم می‌باشد. بطور کلی در طراحی چگونگی استارت موتورها شرایط زیر می‌باید در نظر گرفته شوند.

★ الف - جریان استارت موتور (که حدوداً ۵ برابر جریان نامی موتور می‌باشد) طوری باید محدود گردد که کمترین افت ولتاژ را حاصل نماید.

ب - کوئل الکتریکی در هنگام استارت می‌باید بیشتر از کوئل مکانیکی بار باشد.

ج - ماکزیمم کوئل الکتریکی در هنگام استارت فراهم گردد.

★ د - زمان استارت موتور سریع باشد، یعنی در کمترین زمان استارت شود.

$$PCC \uparrow \rightarrow (\uparrow \text{افت ولتاژ}) \rightarrow (I_{start} \uparrow) \rightarrow (t_s \downarrow)$$

اما شرایطی که در بالا ذکر شد مستقیماً در تضاد با یکدیگر می‌باشند. بنابراین بسته به نوع بار مکانیکی و

محل باس بار شبکه، روشهای مختلف استارت کردن موتورها مورد استفاده قرار می‌گیرد. روشهای

معمول در استارت موتور عبارتند از:

این با هم در تناقضند.

Direct on Line	۱- استارت مستقیم
Reactor Starting	۲- استارت بتوسط راکتور
Tapped Transformer Starting	۳- استارت بتوسط ترانسفورماتور تپ‌دار
Korndorffer Starting	۴- استارت بتوسط ترانس Korndorffen
Capacitor Starting	۵- استارت بتوسط بانک خازنی
ΔY Starting	۶- ΔY استارتینگ
Resistor Starting	۷- استارت بتوسط مقاومت متغیر
Low Frequency AC Starting	۸- استارت با تغییر فرکانس

۳-۱۳ فرمولهای مربوط به استارت موتور

در هنگام استارت با توجه به اینکه مقدار لغزش برابر یک است مدار معادل موتور بصورت تقریبی برابر $X_M = (X_1 + X_2)$ خواهد بود که مقدار X_M از روی جریان استارت با توجه به فرمول زیر بدست می‌آید. (انتخاب نشود) X_{start}

$$X_M = \frac{1}{I_{start}}$$

P.U.
 بعنوان مثال برای موتوری که جریان استارت آن برابر جریان نامی است مقدار $X_M = 0.2$ می‌باشد.
(تا ۵ برابر جریان نامی می‌کشد ولی بین ۵ تا ۱۰ قابل قبول است)

اگر ولتاژ نامی موتور با ولتاژ نامی سیستم فرق داشته باشد با توجه به فرمول زیر می‌توان مقدار X_M در مبنای سیستم (V_b, S_b) را بدست آورد:

$$X_M = X_M \times \frac{S_b}{S_M} \times \frac{V_M^2}{V_b^2} \quad (P.U.)$$

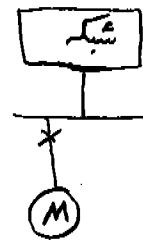
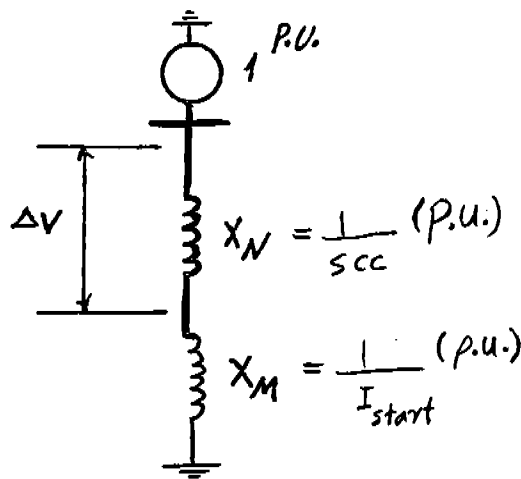
راکتانس معادل شبکه (X_N) نیز از روی فرمول:

$$X_N = \frac{1}{SCC} \quad (P.U.)$$

محاسبه می گردد.

با توجه به مدار معادل تونن و با توجه به تقسیم راکتانسی ولتاژ، افت ولتاژ و همچنین کاهش کوپل استارت در هر حالت از استارت موتور بدست می آید. که در اشکال صفحه بعد برای هر حالت استارت نوشته شده اند.

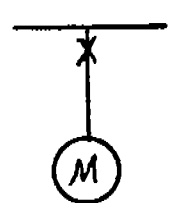
با توجه به این مدار معادل، موتور در موقع راه اندازی هر برابر جریان نامی عمل می کند. چون دوسر X_N افت ولتاژ داریم.



(عمل نکردن رله ها در صورت بروز) → (تنظیم رله ها بر مبنای این جریانی زیاد) → (مطابقت بالا جریان فالت) → (عدم مدل کردن X_N)

$\begin{cases} M_a = \text{کوتاه ماشین} \\ M_{st} = \text{کوتاه ماشین} \end{cases}$

۱۳-۵

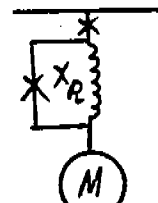


$$\Delta V = \frac{X_N}{X_M + X_N} * 100\%$$

$$\frac{M_a}{M_{st}} \approx \left(\frac{X_M}{X_M + X_N} \right)^2$$

$$I_{st} = \frac{1}{X_M + X_N}$$

1) Direct on Line

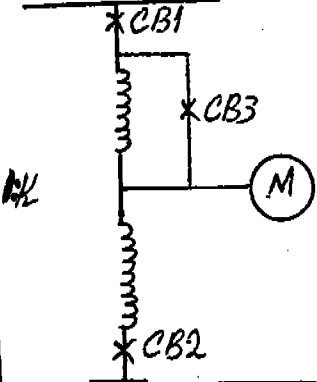


$$\Delta V = \frac{X_N}{X_N + X_R + X_M} * 100\%$$

$$\frac{M_a}{M_{st}} \approx \left(\frac{X_M}{X_N + X_R + X_M} \right)^2$$

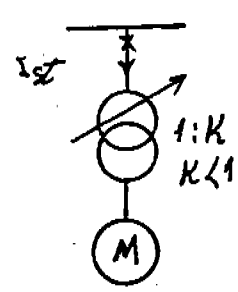
$$I_{st} = \frac{1}{X_M + X_R + X_N}$$

2) Reactor



۱- CB2 بسته و CB3 باز است.
 ۲- CB1 بسته می شود.
 ۳- CB2 باز می شود.
 ۴- CB3 بسته می شود.

4) Korndorffer

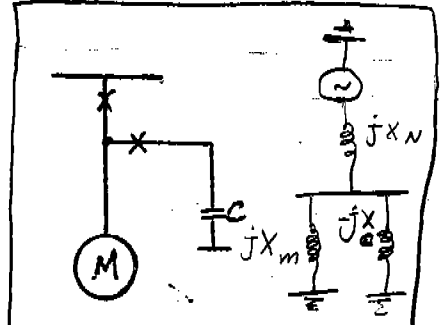


$$\Delta V = \frac{X_N}{X_N + X_{T1} + \frac{X_M}{K^2}}$$

$$\frac{M_a}{M_{st}} \approx \left(\frac{\frac{X_M}{K}}{X_N + X_{T1} + \frac{X_M}{K^2}} \right)^2$$

$$I_{st} = \frac{1}{\frac{X_M}{K^2} + X_{T1} + X_N}$$

3) Tapped Transformer



$$\Delta V = \frac{X_N}{X_N + \frac{X_C \cdot X_M}{X_C - X_M}}$$

$$\frac{M_a}{M_{st}} = \left(\frac{\frac{X_C \cdot X_M}{X_C - X_M}}{X_N + \frac{X_C \cdot X_M}{X_C - X_M}} \right)^2$$

$$I_{st} = \frac{1}{X_M + \frac{X_C \cdot X_M}{X_C - X_M}}$$

5) Capacitor Starting

خازن همواره طوری انتخاب میگردد که جریان بی باری موتور را تأمین نماید در اینصورت احتیاج به

خارج نمودن خازن نیست. اگر شرط بالا نباشد کلید خارج کن می گزاردیم.
 عموماً خازن طوری است که

$$\frac{X_C \cdot X_M}{X_C - X_M} > X_M \Rightarrow \Delta V \text{ کم میشود}$$

زیادی شود M_a

درصورتی چون باید با $X_C > X_M$ پس باید که کلیدی برای قطع باشد.

۱۳-۲ انواع استارت موتور

☆ اولین و ارزانه‌ترین متد استارت موتور «استارت مستقیم» است. بزرگترین موتوری که تاکنون بصورت مستقیم استارت شده است، موتور $21,000 \text{ HP}$ ، 11 KV بوده است که نیروگاه وصل بوده است.

اشکال روش مستقیم

☆ در صورتیکه استارت مستقیم ممکن نباشد (بعلمت افت ولتاژ بیش از حد مجاز) می‌توان از یک راکتور سری استفاده نمود (شکل 2). دو سر راکتور وقتی که موتور استارت شد بتوسط یک دژنکتور اتصال کوتاه میگردد. این عمل باعث می‌شود که در زمان استارت جریان استارت (و در نتیجه افت ولتاژ) کاهش یابد. اگر بخواهیم جریان استارت نصف گردد، در اینصورت ولتاژ ترمینال نیز می‌باید نصف شود و در نتیجه مقدار کوئل استارت به $\frac{1}{4}$ مقدار اولیه کاهش می‌یابد. این روش کم هزینه‌تر است.

☆ سومین متد استفاده از ترانس تپ دار متعلق به خود موتور است. البته این متد فقط جائیکه موتور بتنهایی از ترانس تغذیه می‌شود قابل انجام است. بدینصورت که در هنگام استارت ولتاژ ثانویه را کاهش می‌دهند (مثلاً $k=0.7 \pm 30\%$). در اینصورت اگر جریان اولیه (جریان استارت) بخواهد نصف شود، ولتاژ ثانویه باید 0.7 گردد و در اینحالت کوئل $\frac{1}{2}$ میگردد. یعنی همان افت ولتاژ متد قبلی را خواهیم داشت بدون اینکه

کوئل استارت را خیلی کم کنیم.

$$if \quad k = 0.7 \Rightarrow I_{st} = \frac{1}{\sqrt{X_M + X_N + X_T}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{1}{\sqrt{X_M + X_N}} \Rightarrow X_N = X_T$$

پس $X_N = X_T$ با $k=0.7$ نصف کردیم جریان استارت و ولتاژ نصف و کوئل $\frac{1}{2}$ می‌شود (طالب است)

$$\Rightarrow \Delta V = \frac{X_M}{2X_M + X_N} = \frac{1}{2} \times \left(\frac{X_N}{X_M + X_N} \right) \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{ولتاژ} \\ \text{افت} \\ \text{مستقیم} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{کوئل} \\ \text{کاهش} \\ \text{مستقیم} \end{array} \right.$$

گرچه استفاده از این سیستم گران تمام می‌شود ولی در جائیکه موتوری بتوسط ترانس خودش بتنهایی

تغذیه می‌گردد کاملاً قابل انجام است. پس از استارت تپ ترانس روی \perp قرار می‌گیرد. باید تک موتور داشته باشیم چون موتورهای کم توان را می‌توانیم مگر آنکه چنانچه ضربه باشد که البته خود این هم مشکل است دارد چون سرعت پائین می‌آید یا اینکه محاسبات از کلاچ اضافه کرد و در لحظه استارت کلاچ را باز کرده و سپس از رسیدن به حالت نام کلاچ را وصل کرد.

☆ چهارمین متد استارت استفاده از متد Korandorffer است که در آن ترانس ابتدا بصورت اتوترانسفورماتور می‌باشد و وقتی که موتور به یک سرعت خاص رسید دژنکتور زمین باز شده و ترانس بصورت راکتور سری عمل می‌نماید. وقتی که موتور به دور نامی خود برسد آنگاه دو سر راکتور نیز اتصال کوتاه می‌گردد. این متد استارت دارای مزایای متد دوم و سوم توأم می‌باشد. در اینحالت نه تنها در قیمت ترانسفورماتور

چون ^{۱۳۲}تس به تس کش است از حرارت ندارد. ارز آنتر از ترانس است و گر آنتر از راکتور است (از حرارت اباز، بهر حال آن ترانس را نگاه داشتند)

صرفه جوئی نموده ایم، بلکه باعث شده ایم که چندین موتور بتوانند بر روی یک باس بار بدین طریق

استارت شوند. این حالت بیشتر برای کمپانستورهای سنکرون بکار میرود.
 { ولتاژ تحلی سیم بدین با لایح خیلی کمتر از ولتاژ تحلی سیم بدین پائین است. این روس بیشتر در حالتی است که نیروگاه
 جز از سبیل سر تا سری است بکار برده می شود. }

پنجمین متد استارت استفاده از خازن موازی است که با توجه به فرمولهائی که در شکل نوشته شده است،

باعث کاهش آفت ولتاژ و افزایش کوپل استارت میگردد. این متد در جاهائی که منبع تغذیه ضعیف

است (سطح اتصال کوتاه کم) مورد استفاده قرار می گیرد و برای اینکه خازن را خارج نمائیم معمولاً

مقدار خازن طوری انتخاب میگردد که جریان بی باری موتور را تغذیه نماید.

اتصال جهت راه اندازی موتورها نیز باعث تقلیل جریان استارت به $\frac{1}{3}$ میگردد. اما این روش برای

موتورهای کوچک مناسب است.

استارت بوسیله مقاومت متغیر در موتورهای که روتور سیم پیچی شده هستند مورد استفاده قرار میگیرد.

البته وجود مقاومت در روتور بیشتر جهت کنترل سرعت موتور می باشد نه بخاطر استارت نمودن

موتور. موتورهای روتور سیم پیچی شده دارای قیمت بیشتری از موتورهای روتور قفسه ای یا موتورهای

سنکرون میباشند ولی برای تغییرات سرعت کم به موتورهای DC ترجیح داده می شوند. وارد نمودن

مقاومت در روتور باعث میگردد که کوپل اولیه زیاد شود و وقتیکه موتور به دور نامی رسید (در 4-7 پله)

کم کم مقاومت اتصال کوتاه می گردد. وقتیکه تمامی مقاومت خارج شد ماکزیمم کوپل موتور در لغزش

خیلی پائینی ایجاد میگردد، که مسئله نجات موتور "recovery from fault" موتور (که در فصل ۱۲ صحبت

میشود) در این حالت ممکن است مشکلتر گردد. البته چون در بسیاری از موتورهای روتور قفسه ای نیاز به سکلر داریم
 که در ماشینهای بزرگ بسیار مشکل است و تنها در ماشینهای خیلی کوچک بیشتر استفاده دارد.

جدیداً از تغییر فرکانس بتوسط (لینک DC یا متد PWM) جهت ایجاد فرکانس کم AC در موقع استارت نیز

استفاده گردیده است. شکل موج ولتاژ AC زیاد مهم نیست و هم اکنون در نیروگاه تلمبه ذخیره ای

(NSHEB) مورد استفاده قرار گرفته است. برای مهندسان شیمی در کارخانجات شیمیائی استارت

مستقیم بهترین متد است. چرا که سیستم باید بنحوی خوب طراحی شده باشد که مسئله نجات موتور در

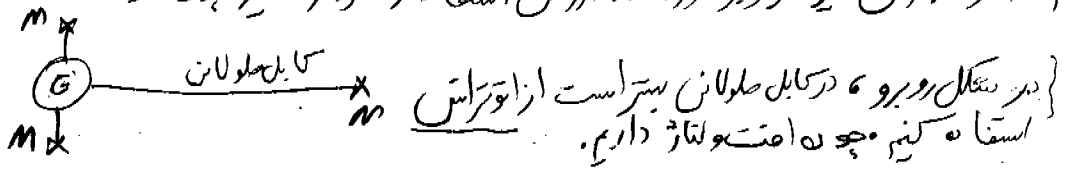
این نوع مجتمع‌ها حل شده باشد. همانطوریکه در فصل ۱۲ خواهیم دید اگر موتوری بخواهد از اتصال نجات یابد می‌باید شبکه قوی طراحی شده باشد. مرتبه‌های بعضی نیروگاه‌ها اسکرون هسته‌ها ولی بصورت اسکرون راه‌اندازی می‌شوند ابتدا فرکانس کم و سپس بدم‌ورزی می‌شود. (کاملاً خودرها). در کارخانه‌ها سیان هم داریم. علتش این است که سیان را خریدی کمتر بالاترین بار کارخانه میان است.

تجهیز راه:

{ X_c را این تیران برابر X_m قرارداد. چون رزونانس درست می‌گردد.

{ استفاده از خازن دو مشکل دارد (۱) افت ولتاژ و (۲) ریسک دارد. (مطمئن‌نوسان سازی)

{ اگر شرعاً بدون دریا نلتور بر آورده شد ارزش استفاده را دارد. و اما غیره چون کلیه خازن‌ها خارج کن‌گران است.

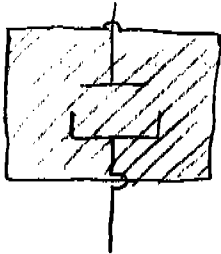


{ در شکل روبرو، در کابل طولانی بهتر است از اوترانس استفاده کنیم چون افت ولتاژ داریم.

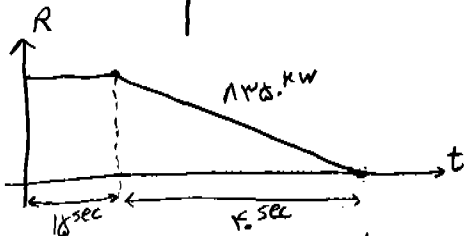
اتصال ۷۵:

{ اولاً لا بعد Δ . در ماشینهای $2KW$ و $3KW$ و $380V$ استفاده می‌شود. در ماشینهای بزرگ‌تر می‌شود. چون استوئیک راکتور حاجت تغییر اتصالات لا Δ بسیار روش مشکلی است.

اشارت توسط مقاومت متغیره:



تغییر مقاومت در اثر تغییر ناصله است که از لحاظ P_{in} و P_{out} می‌کنند.



تنظیم زمان‌ها برای جلوگیری از نوسان مهم است در بارها تا زیر مقاومت سبب مقاومت $10/11$

در زمان صفر شدن مقاومت یک اسبیک جریان داریم و ممکن است در بارها با افت ولتاژ داشته باشیم می‌توانیم در بارها مقاومت گذاشت تا جریان اسبیک را بشیند و رله عمل نکند.