



$$I_{sc} = nI_n = 10 \times 16 = 160A$$

پاسخ) جریان عملکرد کلید مینیاتوری برابر است با:

طبق رابطه امپدانس و جریان اتصال کوتاه داریم:

$$I_{sc} = \frac{CU_p}{Z_{tot}} \Rightarrow 160A = \frac{0.95 \times 230V}{Z_{tot}} \Rightarrow 160A = \frac{218.5V}{Z_{tot}} \Rightarrow Z_{tot} = 1.365\Omega$$

$$Z = 8.71 + j0.11 \rightarrow Z = \sqrt{(8.71^2 + 0.11^2)} = 8.71\Omega$$

اندازه امپدانس کابل برابر است با:

$$Z_L = \frac{Z_C + Z_{PEN}}{a} L = \frac{8.71 + 8.71}{1} L = 17.42L$$

امپدانس خط برابر است با:

مقدار امپدانس منبع ۷۰۰ میلی اهم (۰/۷ اهم) در صورت پرسش داده شده و مقدار امپدانس کل ۱/۳۶۵ اهم محاسبه شده است.

امپدانس کل برابر است با مجموع امپدانس خط و امپدانس بالادست:

$$Z_{tot} = Z_S + Z_L \rightarrow 1.365 = 0.7 + 14.72L \rightarrow L = \frac{1.365 - 0.7}{17.42} = 0.038km = 38m$$

گزینه د پاسخ صحیح می باشد.

نکته ۷-۱) در آشپزخانه منازل مسکونی، الزامی به همبندی اضافی نیست. چنانچه کمترین شکی نسبت به کارایی قطع وسایل خودکار مدار وجود داشته باشد، در این صورت از همبندی اضافی برای همولتاژ کردن استفاده می گردد (آیین نامه ۱۳-۱۰-۲-۱-۳).

پرسش ۷-۳۶) مدار پریزهای برق آشپزخانه یک واحد مسکونی، از طریق کلیدهای خودکار مینیاتوری I6A تیپ C تغذیه می شوند. چنانچه امپدانس حلقه اتصال کوتاه این مدار پریزها، به ترتیب ۱/۵، ۱/۶، ۱/۷ اهم باشد، کدام یک از گزینه های زیر صحیح می باشد؟ حداقل جریان اتصال کوتاه برای قطع مطمئن یک کلید خودکار مینیاتوری تیپ C، 10 برابر جریان نامی کلید می باشد. (مهر ۹۹، طراحی «۲۲»)

الف) اجرای همبندی اضافی در آشپزخانه، الزامی نمی باشد.

ب) اجرای همبندی اضافی در آشپزخانه الزامی است.

ج) اجرای همبندی بدون هیچ شرطی، الزامی است.

د) داده ها برای حل مسئله کافی نمی باشد.

پاسخ) طبق آیین نامه ۱۳-۱۰-۲-۱-۳، شرط اجرای همبندی اضافی در آشپزخانه، عدم کارائی وسیله قطع خودکار مدار است که در این صورت، با اجرای همبندی اضافی، مقدار امپدانس، برای عملکرد سریع وسایل حفاظتی، باید کاهش داده شود. با توجه به اینکه وسیله حفاظتی، کلید مینیاتوری تیپ C با قدرت قطع ۱۰ برابر جریان نامی (۱۶ آمپر) می باشد، پس:

$$I_{sc} = n.I_n = 10 \times 16 = 160A$$

حال برای بررسی این کارایی، از رابطه زیر استفاده می شود. در این رابطه، با در نظر گرفتن حداقل ولتاژ (۰/۹۵) ولتاژ فاز (۲۳۰ ولت)، محاسبه انجام می شود:

$$I_{sc} = \frac{CU_p}{Z_{tot}} \rightarrow Z_{tot} = \frac{0.95 \times 230}{160} \rightarrow Z_a = 1.366\Omega$$

پس باید حداکثر مقاومت ۱/۳۶۶ اهم باشد تا کلید در زمان مجاز عمل کند. از ۳ امپدانس داده شده، هیچ کدام کمتر از این نبوده است؛ پس باید با اجرای همبندی اضافی، این امپدانس به کمتر از ۱/۳۶۶ اهم برسد. گزینه ب صحیح است.

## ۷-۷ کلید خودکار (اتوماتیک)

### ۷-۷-۱ قدرت قطع کلید

برای انتخاب قدرت قطع، حداکثر جریان اتصال کوتاه مؤثر کلید محاسبه شده و حداقل قدرت قطع برابر آن در نظر گرفته می شود.

$$I_{sc} = \frac{I_n}{UK} \quad (7-7)$$

این جریان برای دو مجموعه کلید به این صورت محاسبه می شود:

- کلیدهای خروجی منابع: حداقل برابر جریان اتصال کوتاه هر منبع
- سایر کلیدها: براساس مجموع جریان های اتصال کوتاه بالادست. هرچه ترانس یا دیزل در مدار باشند، کل جریان اتصال کوتاه آنها باید لحاظ شود.



**پرسش ۳۷-۷)** در مسئله ۲۰ پیوست الف، حداقل قدرت قطع کلید  $Q_{A1}$  برابر است با: (%UK) ترانسفورماتورها را ۶٪ فرض کنید) (بهمین ۸۳ «۲۲»)

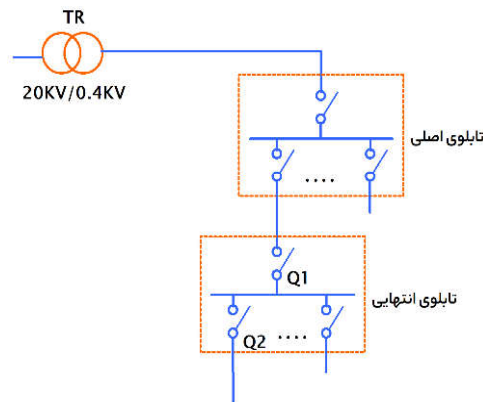
الف) ۴۱ کیلوآمپر      ب) ۳۲ کیلوآمپر      ج) ۲۵ کیلوآمپر      د) ۲۰ کیلوآمپر  
**پاسخ)** حداقل قدرت قطع کلید ترانسفورماتور بر اساس جریان اتصال کوتاه ترانسفورماتور محاسبه می‌شود:

$$I_{SC} = \frac{I_n}{UK} = \frac{1600000 / (\sqrt{3} \times 380)}{0.06} = \frac{2430}{0.06} = 40.5 \text{ kA}$$

حداقل قدرت قطع باید بیش از ۴۰/۵ کیلوآمپر باشد؛ بنابراین، گزینه الف صحیح است.

**نکته ۷-۱۱)** به منظور ایجاد هماهنگی و جلوگیری از تداخل عملکرد هنگام بروز خطا، جریان اتصال کوتاه کلید بالادست حتما باید بزرگتر یا مساوی از پایین دست باشد.

**پرسش ۳۸-۷)** اگر حداکثر جریان اتصال کوتاه موتور عبوری از کلید  $I_{k1}=Q_1$  و  $I_{k2}=Q_2$  و حداکثر جریان اتصال کوتاه موثر عبوری از کلید  $I_{k2}=Q_2$  باشد، آنگاه خواهیم داشت (مهر ۹۸ نظارت «۴۴»):  $Q_1$ : کلید



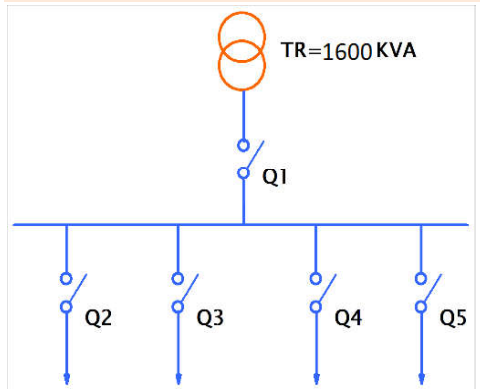
خودکار اتوماتیک سه پل و  $Q_2$ : کلید خودکار مینیاتوری تک پل

الف)  $I_{k2} = I_{k1}$       ب)  $I_{k1} < I_{k2}$

ج)  $I_{k1} > I_{k2}$       د) داده‌ها برای حل مسئله کافی نمی باشد.

**پاسخ)** طبق نکته فوق، گزینه ج صحیح است.

**پرسش ۳۹-۷)** طراحی یک تابلوی برق اصلی MDP بلافاصله پس از ترانسفورماتور (% $U_K=6\%$ ) ۱۶۰۰ kVA، ۲۰/۰.۴kV مطابق



شکل است. کلیدهای  $Q_1$  تا  $Q_5$  از نوع کلید خودکار اتوماتیک معمولی هستند. حداقل قدرت قطع کلیدهای  $Q_1$  تا  $Q_5$  چقدر است؟ (اسفند ۹۵ طراحی «۲۸»)

الف)  $Q_1=50 \text{ kA}$ ,  $(Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = 36 \text{ kA})$

ب)  $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = 50 \text{ kA}$

ج)  $Q_1=50 \text{ kA}$ ,  $(Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = 25 \text{ kA})$

د)  $Q_1=50 \text{ kA}$ ,  $(Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = 16 \text{ kA})$

**پاسخ)** جریان نامی ترانسفورماتور برابر است با:

$$I_n^T = \frac{S_T}{\sqrt{3} U_L} = \frac{1600000}{\sqrt{3} \times 400} = 2309 \text{ A}$$

$$I_{SC}^T = \frac{I_n^T}{\%UK} = \frac{2309}{0.06} = 38.49 \text{ kA}$$

جریان اتصال کوتاه ترانسفورماتور برابر است با:

برای رعایت سلکتیویته بهتر است،  $Q_1$  بزرگتر باشد. جریان عبوری از کلید ۱، امکان عبور مستقیم از هر یک از چهار کلید بعدی را به‌طور کامل دارد، پس حداقل قدرت قطع کلیدهای ۱ تا ۴ برابر کلید ۱ است. گزینه ب صحیح است.

**پرسش ۴۰-۷)** در مسئله ۱۱۳ پیوست الف، کدام یک از گزینه‌های زیر در خصوص  $I_{CU}$  و  $I_{CS}$  کلیدهای  $Q_3$  تا  $Q_{10}$  صحیح است (اسفند ۱۴۰۲ طراحی «۴۰»): (از امپدانس باس داکت صرف نظر می‌شود)

الف)  $I_{CU} = I_{CS} = 50 \text{ kA}$       ب)  $I_{CU} = I_{CS} = 75 \text{ kA}$       ج)  $I_{CU} = I_{CS} = 36 \text{ kA}$       د)  $I_{CU} = I_{CS} = 25 \text{ kA}$

**پاسخ)** در مورد هر دو ترانسفورماتور،  $I_{CU}=I_{CS}=36$  کیلوآمپر می‌باشد، پس قدرت قطع کلیدها را باید طوری تنظیم نمود که هر کلید به تنهایی توانایی ایستادگی در برابر اتصال کوتاه هر دو ترانسفورماتور با هم را داشته باشد. به عبارتی، قدرت قطع کلیدها باید حداقل برابر با ۷۲ کیلوآمپر باشد. برای انتخاب نرم استاندارد کلیدها، کوچکترین جریان بزرگتر از جریان به‌دست آمده را انتخاب می‌نماییم، یعنی ۷۵ کیلوآمپر. گزینه ب صحیح است.



نکته ۷-۱۲) حداکثر جریان اتصال کوتاه قابل تحمل کلید برابر با مجموع جریان‌های اتصال کوتاه تک تک کنتاکت‌ها یا پل‌ها می‌باشد.

نکته ۷-۱۳) در این محاسبات جریان اتصال کوتاه، از توان ظاهری منبع استفاده شده چراکه بیش از قدرت مصرف کننده‌هایی است که از آن تغذیه می‌شود (در فصل سوم برای محاسبه ظرفیت ترانسفورماتور و دیزل ژنراتور همیشه به سمت بالا گرد می‌شد؛ از این رو حداکثر جریان ارائه می‌شود.

پرسش ۷-۴۱) در مسئله ۲۳ پیوست الف، حداقل قدرت قطع کلید  $Q_3$  برابر است با: (مهر ۹۶ طراحی «۸»)

الف) 50kA      ب) 25kA      ج) 36kA      د) 16kA

پاسخ) جریان اتصال کوتاه بر طبق مقادیر نامی تعیین می‌شود. کلید  $Q_3$  کلید ورودی بار بوده و جریان آن براساس جریان اتصال کوتاه ترانسفورماتورها انتخاب می‌شود. پس:

$$I_{SC}^L = I_{SC}^{T1} + I_{SC}^{T2} = \frac{I_n^{T1}}{UK_1} + \frac{I_n^{T2}}{UK_2} = \frac{\frac{S_{n1}}{\sqrt{3}U_L}}{UK_1} + \frac{\frac{S_{n2}}{\sqrt{3}U_L}}{UK_2} = \frac{630}{0.06} + \frac{400}{0.04} = 15.155 + 14.433 = 29.588kA$$

گزینه ج صحیح است. پس ترانسفورماتور دیزل ژنراتور با هم در مدار نیستند. براساس حداکثر جریان هر کدام که در مدار باشند، قدرت قطع کلید پایین دست تعیین می‌شود.

پرسش ۷-۴۲) در مسئله ۱۷ پیوست الف، حداقل قدرت قطع کلیدهای  $Q_1, Q_2, Q_3$  و چقدر است؟ (بیم ۹۴ «۴۵»)

الف)  $Q_1 = 36kA, Q_2 = 16kA, Q_3 = 36kA$       ب)  $Q_1 = 36kA, Q_2 = 36kA, Q_3 = 36kA$

ج)  $Q_1 = 25kA, Q_2 = 25kA, Q_3 = 25kA$       د)  $Q_1 = 36kA, Q_2 = 25kA, Q_3 = 36kA$

پاسخ) باید جریان اتصال کوتاه در دو وضعیت وجود و عدم وجود ترانسفورماتور محاسبه شود.

$$I_{SC}^T = \frac{I_n}{\%UK} = \frac{(1250000 / (\sqrt{3} \times 380))}{0.06} = 31.6kA$$

وجود ترانسفورماتور ( $Q_1$ ):

با توجه به اطلاعات صورت مسئله، کلید جریان کلید  $Q_1$  ( $I_{Q1}$ ) ۳۶ کیلوآمپر انتخاب می‌شود.

$$I_{SC}^T = \frac{I_n}{\%UK} = \frac{(1200000 / (\sqrt{3} \times 380))}{0.06} = \frac{1823}{0.12} = 15.19kA$$

وجود ژنراتور ( $Q_2$ ):

پس قدرت قطع کلید دیزل ژنراتور ( $I_{Q2}$ ) برابر ۱۶ کیلوآمپر است. چراکه دو دیزل ژنراتور همزمان بار را تغذیه می‌کنند، زمانی که  $Q_1$  وصل است،  $Q_3$  نیز می‌تواند باشند، پس قدرت کلید  $Q_1$  برابر با قدرت کلید  $Q_3$  (۳۶ کیلوآمپر) است. گزینه الف صحیح است.

این پرسش مشابه پرسش مهر ۹۹ طراحی «۴۲» است.

نکته ۷-۱۴) در محاسبات قدرت قطع و آمپراژ کلید، حضور UPS به صورت بار بوده و سطح مصرف بالا و اتصال کوتاه پایین می‌برد.

پرسش ۷-۴۳) در مسئله ۳۴ پیوست الف، کدامیک از گزینه‌های زیر در خصوص انتخاب قدرت قطع کلیدهای  $Q_1$  تا  $Q_5$  صحیح است؟ (شهریور ۹۵ «۸»)

الف)  $(Q_1 = Q_3 = Q_4 = Q_5) > Q_2$       ب)  $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5$

ج)  $(Q_1 = Q_3 = Q_5) > Q_2 > Q_4$       د)  $(Q_1 = Q_3) > Q_2 > (Q_4 = Q_5)$

پاسخ) با توجه به پرسش‌های قبل، جریان اتصال کوتاه ترانسفورماتور با کلید  $Q_1$  بیش از جریان اتصال کوتاه دیزل ژنراتور با کلید  $Q_2$  ( $Q_1 > Q_2$ ) است. جریان اتصال کوتاه  $Q_3$  نیز معادل جریان بدترین حالت قبل A.T.S.P. یعنی مقدار جریان  $(Q_1 = Q_3) > Q_2$  است چراکه در هر لحظه از زمان تنها یکی از دیزل ژنراتورها یا ترانسفورماتور در مدار است. از آنجایی که کلید  $Q_5$  در مسیر بای پس (اتصال کوتاه در خروجی دو کلید  $Q_1$  و  $Q_2$ ) است، جریان آن مشابه جریان  $Q_3$  خواهد بود. با در نظر گرفتن امپدانس UPS به عنوان بار، جریان  $Q_4$  کمتر از  $Q_3$ ، که در بالا دست UPS است، خواهد بود. همچنین ولتاژ امپدانس UPS از دیزل ژنراتور کمتر و جریان اتصال کوتاه آن از دیزل ژنراتور بیشتر است.  $((Q_1 = Q_3) > Q_2 > Q_4)$ . گزینه ج صحیح است.

یادآوری: مقادیر جریان‌های نامی پرسش زیر (۱/۴۴۳ کیلوآمپر)، در پرسش‌های بعدی محاسبه خواهد شد.



**پرسش ۴۴-۷)** در مسئله ۱۹ پیوست الف، با توجه به نرم قدرت قطع کلیدهای خودکار اتوماتیک ۱۶، ۲۵، ۷۰ و ۱۰۰ کیلوآمپر کدام یک از گزینه‌های زیر درباره انتخاب قدرت قطع کلیدهای  $Q_1$  تا  $Q_6$  صحیح است؟ (اسفند ۹۵ طراحی «۵۹»)

الف)  $Q_1=Q_2=Q_3=Q_4=Q_5=Q_6$       ب)  $(Q_3=Q_4) < (Q_1=Q_2=Q_5) < Q_6$

ج)  $(Q_3=Q_4) < (Q_1=Q_2) < (Q_5=Q_6)$       د)  $(Q_3=Q_4) < (Q_1=Q_2) < Q_5 < Q_6$

**پاسخ)** قدرت قطع کلیدهای ۱ و ۲ از جریان اتصال کوتاه ترانسفورماتور به دست می‌آید:

$$I_{SC}^T = \frac{I_n^T}{\%UK} = \frac{1.443}{0.06} = 24kA$$

قدرت قطع کلیدهای ۳ و ۴ از جریان اتصال کوتاه ژنراتور به دست می‌آید:

$$I_{SC}^G = \frac{I_n^G}{\%UK} = \frac{1.443}{0.12} = 12kA$$

حال باید توجه کرد که هر کدام از دیزل ژنراتورها و ترانسفورماتورها، به تنهایی قادر به تغذیه بار تکی موجود هستند اما امکان حضور دو دیزل ژنراتور و دو ترانسفورماتور هم وجود دارد؛ پس برای کلید  $Q_5$ ، در صورت وجود دو دیزل ژنراتور ۲۴kA و در صورت حضور یک دیزل ژنراتور ۱۲kA جریان اعمال می‌شود که مقدار ۲۴kA انتخاب می‌شود. برای کلید  $Q_6$ ، سه وضعیت وجود دارد، حضور یک ترانسفورماتور، دو ترانسفورماتور یا دیزل ژنراتورها ( $Q_5$ ) که به ترتیب ۲۴، ۴۸ و ۲۴ کیلوآمپر جریان وجود دارد که مقدار ۴۸ کیلوآمپر انتخاب می‌شود. گزینه ب صحیح است. باید در صورت پرسش از جریان اتصال کوتاه استفاده می‌کرد و نه قدرت قطع.

این پرسش مشابه پرسش دی ۱۴۰۱ طراحی «۵۳» است.

**پرسش ۱۷-۷)** طبق مسئله ۱۲۶ پیوست الف، کدام یک از گزینه‌های زیر در خصوص توان و یا قدرت ترانسفورماتور می‌تواند صحیح باشد؟ (خرداد ۱۴۰۴ طراحی «۲۲»)

الف) ۴۰۰ kVA      ب) ۵۰۰ kVA

ج) ۶۳۰ kVA      د) گزینه‌های الف و ج هر دو می‌تواند صحیح باشد.

**پاسخ)** جریان اتصال کوتاه کلید  $Q_1$  باید حداقل برابر جریان اتصال کوتاه ترانسفورماتور باشد. برای هر گزینه جریان اتصال کوتاه ترانسفورماتور را محاسبه می‌کنیم:

$$I_n = \frac{400 \times 10^3}{400\sqrt{3}} = 577.35A \rightarrow I_{sc} = \frac{I_n}{0.04} = 14433.75A \approx 14.5kA$$

ترانسفورماتور با ظرفیت ۴۰۰ kVA:

$$I_n = \frac{500 \times 10^3}{400\sqrt{3}} = 721.69A \rightarrow I_{sc} = \frac{I_n}{0.04} = 18042.19A \approx 18kA$$

ترانسفورماتور با ظرفیت ۵۰۰ kVA:

$$I_n = \frac{630 \times 10^3}{400\sqrt{3}} = 909.32A \rightarrow I_{sc} = \frac{I_n}{0.06} = 15155.3A \approx 15.2kA$$

ترانسفورماتور با ظرفیت ۶۳۰ kVA:

همان‌طور که مشاهده می‌شود، جریان اتصال کوتاه ترانسفورماتورها با ظرفیت ۴۰۰ و ۶۳۰ (گزینه‌های الف و ج) کمتر از ۱۶kA به دست آمد که با کلید ۱۶ کیلوآمپری سازگار است. اما ترانسفورماتور ۵۰۰ کیلوولت آمپری جریان اتصال کوتاه بالاتری ایجاد می‌کند که کلید  $Q_1$  پاسخگوی آن نیست. بنابراین، گزینه د صحیح است.

**پرسش ۴۵-۷)** در مسئله ۱۰۱ پیوست الف، کدام یک از گزینه‌های زیر در خصوص قدرت قطع کلید  $Q_3$  صحیح است (اردیبهشت ۱۴۰۲ طراحی «۵۹»؟)

الف)  $I_{cu} = I_{cs} = 25KA$       ب)  $I_{cu} = I_{cs} = 50KA$

ج)  $I_{cu} = 50KA$  ,  $I_{cs} = 25KA$       د) هر سه گزینه صحیح است.

**پاسخ)** کلید  $Q_3$  کلید کوپلاژ است و باید قدرت قطع برابر قدرت قطع کلید بالاسری خود داشته باشد تا در صورت ایجاد اتصال کوتاه دچار مشکل نشود. از آنجا که کلید بالاسری این کلید دارای قدرت قطع ۵۰ کیلوآمپر می‌باشد، لذا برای این کلید نیز  $I_{cu} = I_{cs} = 50KA$  گزینه ب صحیح است.



آمپراژ کلید براساس حداکثر جریان نامی کشیده شده از کلید تعیین می شود، برای محاسبه این جریان از توان ظاهری منبع بالادست (ترانسفورماتور یا ژنراتور)، طبق رابطه زیر، استفاده می شود:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3}U_L} \quad (7-8)$$

الف-۱) منابع به تنهایی بتوانند بار را تغذیه کنند: این جریان برای دو مجموعه کلید به این صورت محاسبه می شود:

- کلیدهای خروجی منابع: برابر جریان نامی هر منبع
- سایر کلیدها: براساس حداکثر جریان نامی کلیدهای بالادست. باید به تکی یا مجموعه ای بودن بارها توجه شود.

پرسش ۷-۴۶) در مسئله ۲۰ پیوست الف، حداقل آمپراژ کلید  $Q_{A1}$  برابر است با: (بهمن ۸۳ «۲۳»)

الف) ۲۵۰۰ آمپر (ب) ۲۰۰۰ آمپر (ج) ۱۶۰۰ آمپر (د) ۱۲۵۰ آمپر

پاسخ) قدرت ترانسفورماتور در فصل سوم بدست آمده، حداقل آمپراژ بر اساس جریان نامی به دست می آید که برابر است با:

$$I_n = \frac{1600000}{\sqrt{3} \times 380} = 2430A$$

گزینه الف صحیح است.

نکته ۷-۱۵) کلید کویلاژ معمولاً در مسیری قرار می گیرد که در صورت قطع یکی از منابع بار را تغذیه کند از این رو، جریان نامی این کلید به اندازه نصف جریان نامی مسیر خواهد بود.

پرسش ۷-۴۷) در مسئله ۲۰ پیوست الف، حداقل آمپراژ کلید  $Q_{12}$  برابر است با: (بهمن ۸۳ «۲۴»)

الف) ۶۳۰ آمپر (ب) ۸۰۰ آمپر (ج) ۱۰۰۰ آمپر (د) ۱۲۵۰ آمپر

پاسخ) هنگامی که هر دو ترانسفورماتور در مدار هستند، از کلیدهای  $Q_{A1}$  و  $Q_{B1}$  جریان به ازای نصف بار عبور می کند. پس، جریانی از کلید  $Q_{12}$  عبور نمی کند اما اگر یکی از ترانسفورماتورها بی برق شوند، ترانسفورماتور دیگر کل جریان شبکه را به گونه ای تأمین می کند که نصف جریان از کلید مخصوص به خود و نصف دیگر بار از طریق کلید  $Q_{12}$  تغذیه می شوند. پس به هر حال، از کلید کویلاژ  $Q_{12}$  نصف جریان نامی ۲۵۰۰ آمپری، یعنی ۱۲۵۰ آمپر عبور می کند. گزینه د صحیح است.

این پرسش مشابه پرسش مرداد ۱۴۰۰ طراحی «۴۶» است.

پرسش ۷-۴۸) در مسئله ۱۹ پیوست الف، کدام گزینه درباره آمپراژ نامی کلید  $Q_1$  تا  $Q_6$  صحیح است؟ (اسفند ۹۵ طراحی «۵۸»)

الف) آمپراژ تمام کلیدها یکسان است.

ب) آمپراژ کلیدهای  $Q_5$  و  $Q_6$  از کلیدهای  $Q_1$ ،  $Q_2$ ،  $Q_3$  و  $Q_4$  بیشتر است.

ج) آمپراژ کلید  $Q_6$  از تمام کلیدها بیشتر است.

د) آمپراژ کلیدهای  $Q_1$ ،  $Q_2$ ،  $Q_5$  و  $Q_6$  از کلیدهای  $Q_3$  و  $Q_4$  بیشتر است.

پاسخ) مقدار قدرت ترانسفورماتور و دیزل ژنراتور، طبق محاسبات انجام شده در فصل سوم، برابر ۱۰۰ kVA است. مقدار جریان

$$I_n^T = \frac{S_T}{\sqrt{3}U_L} = \frac{1000000}{\sqrt{3} \times 400} = 1.443kA$$

کلیدهای ۱ و ۲ برابر جریان نامی ترانسفورماتور است:

$$I_n^G = \frac{S_G}{\sqrt{3}U_L} = \frac{1000000}{\sqrt{3} \times 400} = 1.443kA$$

مقدار جریان کلیدهای ۳ و ۴، برابر جریان نامی ژنراتور است:

چون هر کدام از دیزل ژنراتورها توانایی تأمین بار را دارند، بار به صورت تکی است پس جریان کلید ۵ برابر بیشترین جریان دو کلید مافوق خود (کلیدهای ۳ و ۴) بوده بنابراین پس ۱/۴۴۳ کیلوآمپر را تحمل کند. جریان کلید ۶ نیز بر اساس بیشترین جریان ممکن عبوری از بار تعیین می شود که با توجه به تساوی جریان های کلیدهای ۱، ۲ و ۵ همان جریان ۱/۴۴۳ انتخاب می شود. گزینه الف صحیح است.



**پرسش ۴۹-۷)** در مسئله ۱۱۳ پیوست الف، مناسب‌ترین آمپراژ باس داکت چقدر می‌باشد (اسفند ۱۴۰۲ طراحی «۳۹»؟)

(الف) کل مسیر، ۲۰۰۰ A (ب) کل مسیر، ۱۰۰۰ A (ج) کل مسیر، ۵۰۰ A (د) هیچکدام

پاسخ) همانطور که در شکل دیده می‌شود، جریان نامی هر ترانسفورماتور ۲۰۰۰ آمپر و مجموع جریان بارها نیز، ۲۰۰۰ آمپر (۸×۲۵) می‌باشد. اما از آنجایی که بارها به صورت متقارن در دو طرف باسداکت پخش شده‌اند، هر ترانسفورماتور می‌تواند نصف بار را تغذیه نماید در این صورت هر ترانسفورماتور ۱۰۰۰ آمپر بار را تغذیه می‌کند. پس آمپراژ باسداکت ۱۰۰۰ آمپر می‌باشد. در تعیین جریان شینه‌ها همیشه مبنا مقدار بار و جریان کشیده شده بصورت نامی توسط آن است و ارتباط چندانی با تعداد منابع (ترانسفورماتورها) ندارد. مقدار بار ثابت بوده و حتی در صورت قطع یکی از ترانسفورماتورها باز هم نیاز به ۲۰۰۰ A وجود دارد که تحت هر شرایطی در مسیرهای چپ و راست از شینه یا باس بار ۱۰۰۰ A عبور می‌کند. گزینه ب صحیح است.

**نکته ۷-۱۶)** هر چه از منبع به سمت بار حرکت می‌کنیم، آمپراژ نامی کلید کمتر می‌شود یا حداقل ثابت می‌ماند.

**پرسش ۵۰-۷)** در مسئله ۳۴ پیوست الف، کدام گزینه در خصوص آمپراژ نامی کلیدهای Q<sub>1</sub> تا Q<sub>5</sub> صحیح است؟ (شهریور ۹۵ «۶»)

(الف) در صورت حذف External Bypass آمپراژ کلیدهای Q<sub>4</sub> و Q<sub>5</sub> باید معادل کلیدهای Q<sub>2</sub>، Q<sub>1</sub> و Q<sub>3</sub> باشد.

(ب) آمپراژ تمام کلیدها باید یکسان باشد.

(ج) آمپراژ هر سه کلید Q<sub>4</sub>، Q<sub>5</sub> و Q<sub>3</sub> می‌تواند از آمپراژ کلیدهای Q<sub>1</sub> و Q<sub>2</sub> کمتر باشد.

(د) آمپراژ Q<sub>4</sub> و Q<sub>5</sub> می‌تواند از آمپراژ کلیدهای Q<sub>2</sub>، Q<sub>1</sub> و Q<sub>3</sub> کمتر می‌باشد.

پاسخ) از کلیدهای Q<sub>2</sub>، Q<sub>1</sub> و Q<sub>3</sub> جریان بار و جریان شارژ UPS (۵/۱۲ درصد) عبور می‌کند در حالیکه که از کلیدهای Q<sub>4</sub> و Q<sub>5</sub> صرفاً جریان عبور می‌کند، پس نسبت به بالا دست کمتر هستند. همچنین طبق دو نکته فوق، کلیدهای سمت منبع (Q<sub>1</sub>، Q<sub>2</sub> و Q<sub>3</sub>) دارای جریان بالاتر نسبت به کلیدهای سمت بار (Q<sub>4</sub> و Q<sub>5</sub>) هستند، چراکه UPS مانند بار رفتار می‌کند. بنابراین گزینه د صحیح است. در گزینه د از کلمه «می‌تواند» استفاده کرده یعنی کمتر یا مساوی می‌تواند باشد.

(ب) منابع به تنهایی نتوانند بار را تغذیه کنند: این جریان برای دو مجموعه کلید به این صورت محاسبه می‌شود:

• کلیدهای خروجی منابع: براساس جریان کشیده شده از منبع (روابط بخش موازی سازی ترانسفورماتور در فصل سوم)

• سایر کلیدها: براساس جریان بار

**پرسش ۵۱-۷)** در مسئله ۲۳ پیوست الف، حداقل آمپراژ Q<sub>1</sub>، Q<sub>2</sub> و Q<sub>3</sub> تحت شرایط این مسئله برابر است با: (مهر ۹۶ طراحی «۷»)

(ب) Q<sub>1</sub> = 630A و Q<sub>2</sub> = 1000A ، Q<sub>3</sub> = 1600A

(الف) Q<sub>1</sub> = Q<sub>2</sub> = 630A و Q<sub>3</sub> = 1250A

(د) Q<sub>1</sub> = 630kA و Q<sub>2</sub> = 8000A ، Q<sub>3</sub> = 1000A

(ج) Q<sub>1</sub> = Q<sub>2</sub> = 630A و Q<sub>3</sub> = 1000A

پاسخ) حداقل آمپراژ براساس جریان نامی بار انتخاب می‌شود. کلید Q<sub>1</sub> در خروجی ترانسفورماتور ۱ است، بار کشیده شده از این ترانسفورماتور برابر است با:

$$S_{T1} = \frac{S_{n1}}{\sum S_{mi}} \frac{UK_T}{UK_1} S_L = \frac{630}{1030} \frac{5.02}{6} 667.78 = 341.73 kVA$$

جریان کلید ۱ برابر است با:

$$I_n^{T1} = \frac{S_{T1}}{\sqrt{3}U_L} = \frac{341730}{\sqrt{3} \times 400} = 493.25 A \rightarrow I_{Q1} = 630 A$$

بار کشیده شده ترانسفورماتور ۲ برابر است با:

$$S_{T2} = \frac{S_{n2}}{\sum S_{mi}} \frac{UK_T}{UK_2} S_L = \frac{400}{1030} \frac{5.02}{4} 667.78 = 325.46 kVA$$

$$I_n^{T2} = \frac{S_{T2}}{\sqrt{3}U_L} = \frac{325460}{\sqrt{3} \times 400} = 469.78 A \rightarrow I_{Q2} = 630 A$$

جریان کلید ۲ برابر است با:

$$I_L = \frac{S_L}{\sqrt{3}U_L} = \frac{667.78}{\sqrt{3} \times 400} = 963.86 A \rightarrow I_{Q3} = 1000 A$$

جریان کلید Q<sub>3</sub>، براساس بار کل تعیین می‌شود:

گزینه ج صحیح است.





در این تنظیم، سه پارامتر مهم وجود دارد:

**جریان نامی ( $I_n$ ):** معمولاً در صورت پرسش قید می شود یا به راحتی از روی اطلاعات بار قابل محاسبه است.

**جریان اتصال کوتاه ( $I_{sc}$ ):** یا صریحاً داده می شود یا از رابطه حداقل جریان اتصال کوتاه قابل محاسبه است.

**تنظیم رله مغناطیسی ( $I_n$ ):** معمولاً مجهول بوده که از رابطه زیر تعیین می شود.

$$I_{SC} \geq I_{relay} \rightarrow I_{SC} \geq nI_n \quad (7-9)$$

که در آن،  $I_{relay}$  **جریان رله مغناطیسی کلید اتوماتیک** است.

**نکته ۷-۱۷)** ترتیب قدرت قطع تجهیزات: فیوز، ACB، MCCB (MPCB) و MCB.

**پرسش ۷-۵۲)** حداکثر مقاومت اتصال زمین مستقیم بدنه هادی یک دستگاه الکتریکی در سیستم TT که با کلید اتوماتیک ۵۰ آمپر

با تنظیم رله مغناطیسی معادل با ۲ برابر جریان نامی کلید حفاظت می شود، چقدر باید باشد؟ (مرداد ۹۴ «۲۰»)

الف) ۰/۴ اهم (ب) ۰/۸ اهم (ج) ۰/۲۸۶ اهم (د) ۰/۱۴۳ اهم

**پاسخ)** جریان اتصال برابر است با:

$$I_{SC} \geq nI_n \rightarrow I_{SC} \geq 2 \times 50 \rightarrow I_{SC} \geq 100A$$

مقدار مقاومت نیز برابر است با:

$$R_a I_{\Delta} \leq 50 \rightarrow R_a \leq \frac{50}{100} \rightarrow R_a \leq 0.5 \Omega$$

در بین گزینه ها نیست اما گزینه الف می تواند صحیح باشد.

**پرسش ۷-۵۳)** در پرسش قبل، چنانچه از یک کلید جریان باقیمانده 50 (RCD) آمپر با شدت جریان تفاضلی عامل  $I_{\Delta}=100$

میلی آمپر، پس از کلید اتوماتیک استفاده کنیم، مقاومت بین بدنه هادی دستگاه با زمین، حدوداً چقدر می تواند باشد؟ (مرداد ۹۴ «۲۱»)

الف) ۴۰۰ اهم (ب) ۰/۴ اهم (ج) ۵۰۰ اهم (د) ۰/۸ اهم

$$R_a I_{\Delta} \leq U_0 \rightarrow R_a \leq \frac{50}{0.1} \rightarrow R_a \leq 500 \Omega$$

**پاسخ)**

گزینه ج صحیح است.

**پرسش ۷-۵۴)** چنانچه ابعاد حلقه اتصال کوتاه بین یک هادی فاز و هادی حفاظتی، ۰/۲۲۵ اهم باشد و حفاظت مسیر اتصال کوتاه،

توسط کلید خودکار (اتوماتیک) ۲۰۰ آمپری انجام شود. ماکزیم تنظیم رله اتصال کوتاه (مغناطیسی) جهت قطع مطمئن کلید خودکار

(اتوماتیک) در زمانی مجاز یا در زمانی کمتر از ۵ ثانیه، چقدر می باشد؟ ولتاژ بین هادی فاز و خنثی را ۲۲۰ ولت در نظر بگیرید. تنظیم رله

اتصال کوتاه مغناطیسی کلید خودکار، بین  $I_n$  10 تا  $I_n$  ۱ (جریان نامی کلید خودکار (اتوماتیک)) می باشد. (اسفند ۸۷ «۵۱»)

$$Z_{tot} = 0.225 \rightarrow I_{sc} = \frac{C U_p}{Z_{tot}} = \frac{0.95 \times 230}{0.225} = 971A$$

**پاسخ)** طبق رابطه جریان اتصال کوتاه داریم:

$$nI_n \leq I_{sc} \rightarrow n \leq \frac{971}{200} \rightarrow n \leq 4$$

در کلیدهای اتوماتیک، مقدار ضریب n برابر است با:

گزینه ج صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش های «۶۴» اردیبهشت ۷۹ «۱۴» تیر ۸۰ «۴۳» فروردین ۸۱ «۵۳» اسفند ۸۹ «۴۹» آذر ۹۰ و «۲۷» فرورد ۹۳

است.

**پرسش ۷-۵۵)** در مسئله ۱۹ پیوست الف، چنانچه جریان نامی کلید Q۳، 1000 آمپر باشد و در شینه متصل به بار اتصال کوتاه،

یک هادی فاز و هادی حفاظتی PE اتفاق افتد، ماکزیم تنظیم رله اتصال کوتاه (مغناطیسی) جهت قطع مطمئن کلید خودکار (اتوماتیک)

در زمانی مجاز و یا در زمانی کمتر از ۵ ثانیه، چقدر می باشد؟ ولتاژ بین هادی فاز و هادی خنثی را ۲۲۰ ولت در نظر بگیرید. تنظیم

رله اتصال کوتاه مغناطیسی کلید خودکار (اتوماتیک)، بین ۱۰ تا ۱ برابر  $I_n$  (جریان نامی کلید خودکار (اتوماتیک)) می باشد.

(خرداد ۸۹ «۴۹»)

الف)  $I_n$  ۵ (ب)  $I_n$  ۶ (ج)  $I_n$  ۹ (د)  $I_n$  ۱۰



پاسخ) با توجه به اینکه شکل، فاقد کابل است، امپدانس حلقه اتصال کوتاه، همان امپدانس ترانسفورماتور می‌باشد. این پرسش، قبل از ویرایش جدید مبحث ۱۳ طرح شده است و در آن، میزان ولتاژ ۲۲۰ قید شده است؛ اما در حال حاضر برای پاسخ به این پرسش، از تعریف جدید استفاده می‌شود. در حالت تغذیه از ترانسفورماتور، امپدانس اتصال کوتاه برابر است با:

$$Z_T = \frac{UK \times U_L^2}{100S} = \frac{6 \times 380^2}{100 \times 800000} = 0.0108 \Omega \rightarrow I_{SC}^T = \frac{C U_P}{Z_{tot}} = \frac{0.95 \times 230}{0.0108} = 2023 A$$

در حالت تغذیه از دیزل ژنراتور:

$$Z_G = \frac{UK \times U_L^2}{100S} = \frac{12 \times 380^2}{100 \times 600000} = 0.029 \Omega \rightarrow I_{SC}^G = \frac{C U_P}{Z_{tot}} = \frac{0.95 \times 230}{0.029} = 7534 A$$

باید اطمینان حاصل شود که کلید Q۳ با هر تغذیه‌ای، همیشه قادر به قطع خواهد بود، پس طراحی باید بر اساس جریان کمتر باشد؛ زیرا اگر جریان کمتر (۷۵۳۴ آمپر) را قطع کند، در قطع جریان بالاتر (۲۰۲۳۱ آمپر)، مشکلی نخواهد داشت. با توجه به رابطه کلید اتوماتیک، داریم:

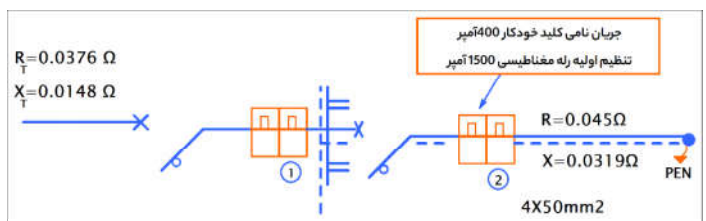
$$nI_n \leq I_{sc} \rightarrow n \times 1000 \leq 7534 A \rightarrow n \leq 7.534 \rightarrow n = 7$$

در بین گزینه‌ها نیست اما هر دو گزینه الف و ب صحیح است که گزینه ب نزدیک‌ترین پاسخ می‌باشد.

یادآوری: زمانیکه مقاومت‌های اهمی و سلفی برحسب اهم داده شود، نیازی به ضرب کردن آنها در طول نیست.

پرسش ۵۶-۷) در شکل زیر، برای اتصال کوتاه فاز به PEN، مقدار مناسب تنظیم رله مغناطیسی کلید خودکار شماره ۲، چند آمپر

می‌باشد؟ (شهریور ۹۱ «۲۷»)



- الف) ۱۳۰۰  
ب) ۱۴۰۰  
ج) ۱۵۰۰  
د) ۱۶۰۰

پاسخ) در کلید اتوماتیک، مقدار جریان اتصال کوتاه، بر مبنای جریان رله، سنجیده می‌شود:  $I_{SC} \geq I_{relay}$ . فاقد هادی موازی بوده ( $a=1$ )، مقدار مقاومت مسیر، برحسب اهم داده شده و  $L$  تأثیری در محاسبات ندارد، چون سطح مقطع هادی‌های فاز و PEN، با هم مساوی می‌باشند.

$$R_{tot} = \frac{R_L + R_{PEN}}{a} L = \frac{0.045 + 0.045}{1} = 0.09 \Omega$$

امپدانس حلقه اتصال کوتاه، برابر است با مجموع امپدانس ترانسفورماتور ( $T$ ) و خط ( $L$ ):

$$X_{tot} = \frac{X_L + X_{PEN}}{a} L = \frac{0.0319 + 0.0319}{1} = 0.0638 \Omega$$

$$Z_{tot} = \sqrt{(R_T + R_{tot})^2 + (X_T + X_{tot})^2} = \sqrt{(0.0037 + 0.09)^2 + (0.0148 + 0.0638)^2} = 0.122 \Omega$$

$$I_{SC} = \frac{C U_P}{Z_{tot}} = \frac{0.95 \times 230}{0.122} = 1786 A$$

جریان اتصال کوتاه برابر است با:

$$I_{SC} \geq I_{relay} \rightarrow 1786 \geq I_{relay} \rightarrow I_{relay} \leq 1786 A$$

جریان رله برابر است با:

بزرگترین عدد کوچکتر از عدد به دست آمده، انتخاب می‌شود. گزینه د صحیح است.

نکته ۱۴-۷) در صورتی که مقدار جریان راه‌اندازی موتور از جریان اتصال کوتاه بیشتر باشد، با در نظر گرفتن این مسئله که قدرت قطع کلید بر اساس جریان اتصال کوتاه انتخاب می‌شود، پس عملاً جریان راه‌اندازی بیش از قدرت قطع کلید بوده و با راه‌اندازی موتور کلید قطع خواهد کرد؛ پس در انتخاب قدرت قطع کلید بارهای موتوری باید جریان راه‌اندازی موتور لحاظ شود تا حین استارت کلید عمل نکند.

پرسش زیر بر اساس ویرایش قبلی مبحث ۱۳ بوده و بر همین اساس، گزینه د (بر اساس اطلاعات قبلی) انتخاب شده است. اگر در آزمون‌های بعدی چنین پرسش‌هایی مطرح شود، باید منمنی ارائه گردد.





**پرسش ۵۷-۷)** در مسئله ۹ پیوست الف، چنانچه تنظیم رله اتصال کوتاه (مغناطیسی) برای قطع مطمئن کلید خودکار (اتوماتیک) ۱۰۰ آمپر (تغذیه موتور) در زمانی مجاز یا در زمانی کمتر از ۵ ثانیه، با در نظر گرفتن راه‌اندازی موتور مدنظر باشد، کدام یک از گزینه‌های زیر صحیح است؟ (آذر ۹۰ «۵۰»)

الف) برای تغذیه موتور باید از کابل  $120 \times 4 \text{ mm}^2$  NYY استفاده کرد.

ب) برای تغذیه موتور باید از کلید خودکار (اتوماتیک) ۱۶۰ آمپر استفاده کرد.

ج) برای تغذیه موتور باید از فیوز دیرذوب ۲۰۰ آمپر استفاده کرد.

د) هیچ کدام

**پاسخ)** جریان نامی موتور برابر است با:

$$I_n = \frac{P_{out}}{\eta \sqrt{3} U_L \cos \phi} = \frac{55 \times 1000}{0.95 \times \sqrt{3} \times 380 \times 0.88} = 99.95 A$$

با در نظر گرفتن جریان راه‌اندازی، به اندازه ۶ برابر جریان نامی (طبق پرسش ۴۶ آذر ۹۰) داریم:

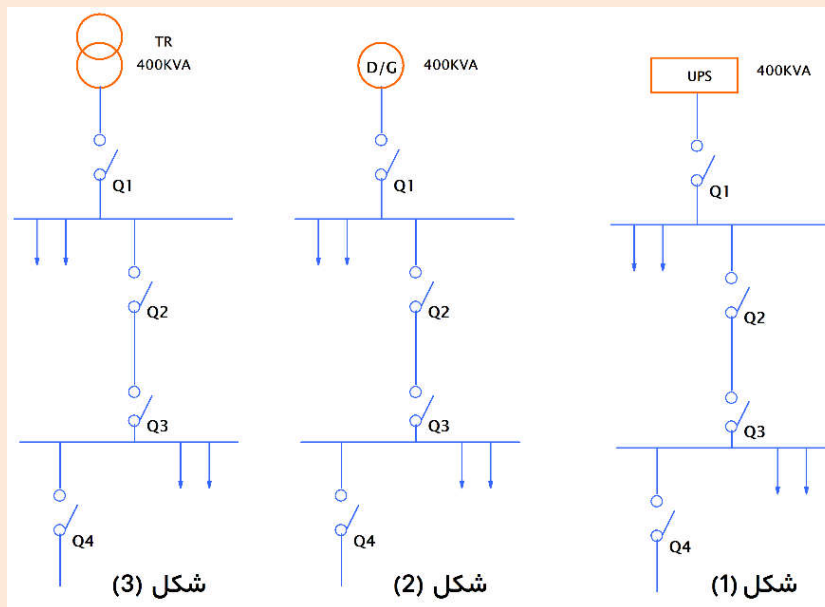
$$I_{st} = 6I_n = 6 \times 99.5 = 597 A$$

مقدار جریان راه‌اندازی موتور (۵۹۷ آمپر)، بیش از جریان اتصال کوتاه (۵۱۰ آمپر) بوده است و اساساً به محض استارت شدن موتور، کلید عمل کرده و قطع جریان را می‌کند، پس باید از فیوز یا کلید اتوماتیک دیگری استفاده کرد، با توجه به اینکه مقدار تنظیم و منحنی فیوز مشخص نیست، نمی‌توان دقیقاً از بین گزینه‌ها پاسخ را انتخاب نمود.

**نکته ۷-۱۸)** در قدرتهای یکسان، رابطه زیر بین ولتاژ امپدانسی ترانسفورماتور (T)، دیزل ژنراتور (DG) و منبع بدون وقفه (UPS) صادق است. جریان اتصال کوتاه، نسبت عکس با ولتاژ داشته و چون سایر شرایط یکسان است، پس جریان نامی هر سه شکل برابر است:

$$\begin{cases} UK_{UPS} > UK_{DG} > UK_T \\ I_{SC} = \frac{I_n}{UK} \end{cases} \rightarrow I_{SC}^T > I_{SC}^{DG} > I_{SC}^{UPS} \quad (۷-۱۲)$$

**پرسش ۵۸-۷)** در شکل‌های زیر اولویت طرح‌ها از بابت قطع مطمئن کلید  $Q_4$  در زمان مطمئن به ترتیب اولویت عبارت است از (مشخصات مدار توزیع و کلیدها در هر سه شکل یکسان است) (مهر ۹۹ طراحی «۴۷»):



الف) شکل ۱، شکل ۲ و شکل ۳

ب) شکل ۳، شکل ۲ و شکل ۱

الف) شکل ۲، شکل ۳ و شکل ۱

ب) شرایط هر سه طرح یکسان می‌باشد.

**پاسخ)** طبق نکته فوق، گزینه ب صحیح است.



## ۷-۷-۴ تنظیم حرارتی

دومین تنظیم مهم کلید اتوماتیک، تنظیم حرارتی یا قطع اضافه بار (Ir)، برابر است با:

$$I_r = \frac{I_n}{I_{st}} = \frac{(S / (\sqrt{3} U_L))}{I_{st}} \quad (7-10)$$

که در آن،  $I_{st}$  جریان استاندارد (نرم) کلید است.

**پرسش ۷-۵۹** در مسئله ۶۳ پیوست الف، جریان نامی  $I_n$  و تنظیم بهینه جریان قطع ( $I_r$  Overload Protection) کلیدهای اتوماتیک  $Q_A$ ، چه میزان است؟ (آبان ۹۳ «۲۲»)

الف)  $I_n = 1000A, I_r = 0/91I_n$  (ب)  $I_n = 1250A, I_r = 0/91I_n$

ج)  $I_n = 1000A, I_r = 0/8I_n$  (د)  $I_n = 1250A, I_r = 0/8I_n$

**پاسخ** مقدار جریان نامی، برابر است با:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} U_L} = \frac{630000}{\sqrt{3} \times 400} = 909A$$

تنظیم جریان بهینه قطع نیز، بر اساس انتخاب مقدار جریان نامی مناسب، انجام می‌شود. نزدیک‌ترین نرم کلید بزرگتر از ۹۰۹ آمپر،

کلید ۱۰۰۰ آمپری می‌باشد. پس داریم:

$$I_r = \frac{909}{1000} = 0.91$$

بنابراین، گزینه الف صحیح است.

در این تنظیم، سه پارامتر مهم وجود دارد:

جریان نامی کلید ( $I_n$ ): معمولاً در صورت پرسش قید می‌شود.

جریان بار ( $I_L$ ): یا صریحاً داده می‌شود یا از یا به‌راستی از روی اطلاعات بار قابل محاسبه است.

تنظیم رله حرارتی ( $n$ ): معمولاً مجهول بوده که از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$I_L \leq I_r \rightarrow I_L \leq n I_n \quad (7-11)$$

به معکوس بودن علامت بزرگتر مساوی نسبت به محاسبه رله مغناطیسی دقت شود.

**پرسش ۷-۶۰** کلید خودکار (اتوماتیک) ۴۰۰ ولت با جریان نامی ۴۰۰ آمپر با تنظیم رله حرارتی از ۰/۷ تا ۱ و تنظیم رله مغناطیسی از ۱ تا ۱۰، به منظور حفاظت در مقابل جریان اضافه بار و جریان اتصال کوتاه مصرف‌کننده‌ای با بار ۱۸۵ کیلووات و ضریب توان ۰/۸، نصب شده است. اگر ابعاد حلقه اتصال کوتاه بین فاز و هادی حفاظتی مدار، ۰/۱۲۵ اهم باشد، رله حرارتی و رله مغناطیسی، باید بر روی چه درجه‌ای تنظیم شوند؟ (مهر ۹۹، طراحی «۵۰»)

الف) تنظیم رله حرارتی بر روی ۰/۸ - تنظیم رله مغناطیسی بر روی ۷

ب) تنظیم رله حرارتی بر روی ۰/۹ - تنظیم رله مغناطیسی بر روی ۵

ج) تنظیم رله حرارتی بر روی ۰/۸ - تنظیم رله مغناطیسی بر روی ۶

د) تنظیم رله حرارتی بر روی ۰/۹ - تنظیم رله مغناطیسی بر روی ۴

**پاسخ** برای تعیین تنظیم رله حرارتی، جریان بار به دست می‌آید:

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} U_L \cos \varphi} = \frac{185000}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.8} = 334A$$

نسبت بین جریان نامی و بار، تعیین‌کننده مقدار تنظیم حرارتی (اضافه بار) می‌باشد:

$$I_L \leq n_1 I_n \rightarrow n_1 \geq \frac{I_L}{I_n} = \frac{334}{400} = 0.835 \rightarrow n_1 = 0.9$$

مقدار جریان عملکرد کلید اتوماتیک یا اتصال کوتاه، برابر است با:

با جایگذاری در رابطه حداقل جریان اتصال کوتاه داریم، تنظیم مغناطیسی (اتصال کوتاه) به دست می‌آید:

$$I_{SC} = \frac{C U_P}{Z_{tot}} \rightarrow 400 n_2 \leq \frac{0.95 \times 230}{0.125} = 4.37 \rightarrow n_2 = 4$$

گزینه د صحیح است.



نکته ۱۵-۷) یا توجه به شرط اضافه بار کلید اتوماتیک، می توان نوشت:

$$I_B \leq I_r \leq I_Z \rightarrow I_B \leq n_r \cdot I_n \leq K \cdot I_L \rightarrow \frac{I_B}{I_n} \leq n_r \leq \frac{K \cdot I_L}{I_n}$$

که در این رابطه،  $I_B$ : جریان بار،  $I_n$ : جریان نامی کلید اتوماتیک،  $I_r$ : جریان تنظیم رله حرارتی،  $I_Z$ : جریان باردهی کابل،  $K$ : ضریب کاهش باردهی کابل،  $I_L$ : جریان مجاز کابل و  $n_r$ : تنظیم رله حرارتی کلید اتوماتیک است.

پرسش ۶۱-۷) در مسئله ۸۸ پیوست الف، تنظیم رله حرارتی در دمای جریان نامی کلید خودکار اتوماتیک چقدر است (دی ۱۴۰۱ طراحی «۱»؟)

الف) ۰/۶ (ب) ۰/۷ (ج) ۰/۸ (د) ۰/۹

پاسخ) طبق نکته فوق می توان نوشت:

$$I_B \leq I_r \leq I_Z \rightarrow I_B \leq n_r \cdot I_n \leq K \cdot I_L \rightarrow \frac{I_B}{I_n} \leq n_r \leq \frac{K \cdot I_L}{I_n} \rightarrow \frac{180}{250} \leq n_r \leq \frac{0.885 \times 230}{250} \rightarrow 0.72 \leq n_r \leq 0.81$$

پس تنظیم حرارتی در این بازه باید باشد. گزینه ج صحیح می باشد.

پرسش ۶۲-۷) در مسئله ۸۸ پیوست الف، چنانچه دمای محیط نصب کلید خودکار اتوماتیک در طول سال  $\pm 10$  درجه سانتی گراد بسته به دمای جریان نامی کلید خودکار اتوماتیک تغییر کند، وضعیت تنظیم رله حرارتی سوال قبل به چه صورت خواهد بود (دی ۱۴۰۱ طراحی «۲»؟)

الف) در  $+10$  درجه سانتی گراد تنظیم رله حرارتی مناسب و در  $-10$  درجه سانتی گراد تنظیم رله حرارتی نامناسب می باشد.

ب) در  $+10$  درجه سانتی گراد تنظیم رله حرارتی نامناسب و در  $-10$  درجه سانتی گراد تنظیم رله حرارتی مناسب می باشد.

ج) در  $+10$  و نیز  $-10$  درجه سانتی گراد تنظیم رله حرارتی در هر دو حالت نامناسب می باشد.

د) در  $+10$  و نیز  $-10$  درجه سانتی گراد تنظیم رله حرارتی در هر دو حالت مناسب می باشد.

پاسخ) همانطور که از جدول برداشت می شود، با تغییر دما جریان نامی کلید خودکار نیز تغییر می کند. لازم است طبق رابطه سوال قبل،  $n$  را برای دماهای ۵۰ و ۳۰ نیز محاسبه نماییم:

$$180 \leq (n \times 258) \Rightarrow n \geq 0.697 \Rightarrow n = 0.7$$

برای دمای ۳۰ درجه سانتی گراد (۱۰- ۴۰):

$$180 \leq (n \times 235) \Rightarrow n \geq 0.765 \Rightarrow n = 0.8$$

برای دمای ۵۰ درجه سانتی گراد (۱۰+ ۴۰):

مشاهده می شود که برای  $+10$  درجه سانتی گراد تنظیم رله حرارتی مناسب و برای  $-10$  درجه سانتی گراد نامناسب می باشد. گزینه الف صحیح می باشد.

#### ۷-۷-۵ تأثیر ATSP

انتخاب قدرت قطع و تنظیم رله مغناطیسی کلید خودکار (اتوماتیک)، در خروجی کلید دوطرفه یا A.T.S.P در خروجی منابع انرژی ترانسفورماتور و دیزل ژنراتور) بر اساس دو اصل زیر انجام می شود، با فرض اینکه قدرت و ضریب توان نامی ترانسفورماتور و دیزل ژنراتور با هم برابر باشد:

- **قدرت قطع کلید:** درصد ولتاژ اتصال کوتاه برای ترانسفورماتور، از قدرت بین ۲۵ تا ۲۵۰ کیلوولت آمپر، ۴ درصد و از قدرت بین ۲۵۰ تا ۱۶۰۰ کیلوولت آمپر، ۶ درصد می باشد. در حالی که در بدترین حالت، برای ژنراتور، ۱۲ درصد است. پس، در قدرت های پایین، امیدانی درصد اتصال کوتاه ترانسفورماتور، تقریباً معادل با ۳۳ درصد امیدانی اتصال کوتاه ژنراتور است و در قدرت های بالا، امیدانی درصد ترانسفورماتور، تقریباً معادل با ۵۰ درصد امیدانی اتصال کوتاه ژنراتور است. از آنجایی که جریان اتصال کوتاه با امیدانی درصد اتصال کوتاه، نسبت عکس دارد؛ در نتیجه، جریان اتصال ترانسفورماتور بیش از دیزل ژنراتور است؛ بنابراین، انتخاب قدرت قطع کلیدها، باید بر اساس حداکثر جریان ممکن (جریان خطا بر مبنای ترانسفورماتور) باشد.
- **رله مغناطیسی کلید خودکار:** با توجه به ماهیت عملکرد حفاظتی رله، این تنظیم باید بر اساس حداقل جریان خطای ممکن عمل کند تا در صورت وقوع تجاوز از این حد جریان، آن را قطع کند؛ چون جریان اتصال کوتاه دیزل ژنراتور، از ترانسفورماتور کمتر است. پس، تنظیم رله مغناطیسی کلید خودکار (اتوماتیک) بر اساس اطلاعات دیزل ژنراتور خواهد بود.

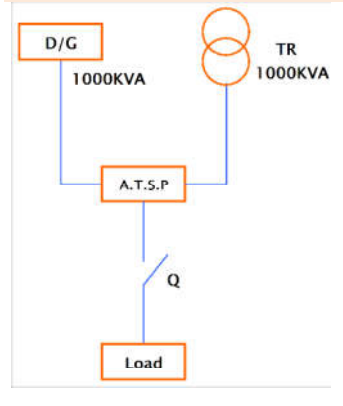


به طور خلاصه، قدرت قطع برای حفاظت خود کلید در برابر حداکثر جریان اتصال کوتاه و تنظیم رله مغناطیسی با هدف حفاظت افراد در برابر برق گرفتگی تعیین می شود.

با توجه به رابطه  $I_{sc} = I_n / UK\%$ ، جریان اتصال کوتاهی که کلید بر مبنای آن انتخاب می شود، با ولتاژ امپدانس ( $UK\%$ )، نسبت عکس دارد. پس با فرض تساوی قدرت و ضریب توان نامی ترانسفورماتور و دیزل ژنراتور و تغذیه بار واحد، از متن فوق، ۵ نتیجه مهم را می توان گرفت:

- ✓ جریان اتصال کوتاه ترانسفورماتور، از دیزل ژنراتور بیشتر است.
- ✓ قدرت قطع در زمان مجاز، بر اساس حداکثر جریان اتصال کوتاه و حداقل ولتاژ امپدانس منابع موجود، انجام شود.
- ✓ تنظیم و ارتقاء قابلیت اطمینان قطع رله مغناطیسی کلید خودکار، بر اساس حداقل جریان اتصال کوتاه و حداکثر ولتاژ امپدانس موجود، انجام شود.
- ✓ در صورت تغذیه بار واحد توسط دیزل ژنراتور و ترانسفورماتور به صورت همزمان، برای قدرت قطع کلید، بین دیزل ژنراتور و ترانسفورماتور، مبنای ترانسفورماتور است.
- ✓ در صورت تغذیه بار واحد توسط دیزل ژنراتور و ترانسفورماتور به صورت همزمان، برای تنظیم رله مغناطیسی کلید خودکار (اتوماتیک)، بین دیزل ژنراتور و ترانسفورماتور، مبنای دیزل ژنراتور است، مگر اینکه دیزل ژنراتورها حتماً سنکرون کار کنند.

**پرسش ۶۳-۷)** تابلوی برقی از طریق یک کلید دو طرفه که از یک طرف به یک دستگاه ترانسفورماتور و از طرف دیگر به یک دستگاه ژنراتور متصل است، تغذیه شده است. اگر قدرت و ضریب توان نامی ترانسفورماتور و دیزل ژنراتور برابر باشد، آنگاه کدام گزینه درباره انتخاب قدرت قطع اجرای موجود در تابلو صحیح است؟ (آبان ۹۳ «۵۹»)



الف) باید بر اساس مجموع جریان های خطا در ثانویه ترانسفورماتور و خروجی ژنراتور انتخاب شوند.

ب) باید بر اساس جریان خطا در ترمینال های خروجی ژنراتور انتخاب شوند.

ج) باید بر اساس جریان خطا در ثانویه ترانسفورماتور انتخاب شوند.

د) باید بر اساس مجموع نصف جریان های خطا در ثانویه ترانسفورماتور و خروجی ژنراتور انتخاب شوند.

**پاسخ)** جریان اتصال ترانسفورماتور بیش از دیزل ژنراتور است و انتخاب قدرت قطع بر اساس حداکثر جریان خطای ممکن می باشد. گزینه ج صحیح است.

**پرسش ۶۴-۷)** کدام یک از گزینه های زیر، درباره کلید خودکار (اتوماتیک) Q صحیح است؟ (مرداد ۹۴ «۲۸»)

الف) قدرت قطع کلید با توجه به مشخصات ژنراتور و تنظیم رله مغناطیسی کلید با توجه به مشخصات ترانسفورماتور انتخاب می شود.

ب) قدرت قطع کلید با توجه به مشخصات ترانسفورماتور و تنظیم رله مغناطیسی کلید، با توجه به مشخصات دیزل ژنراتور انتخاب می شود.

ج) قدرت قطع و تنظیم رله مغناطیسی کلید، با توجه به مشخصات ترانسفورماتور انجام می گیرد.

د) قدرت قطع و تنظیم رله مغناطیسی کلید، با توجه به مشخصات دیزل ژنراتور انجام می گیرد.

**پاسخ)** قدرت قطع بر مبنای ترانسفورماتور و تنظیم کلید مغناطیسی بر مبنای دیزل ژنراتور است. گزینه ب صحیح است.

این پرسش، مشابهی مهر ۱۴۰۲ نظارت «۱۳» است.

**نکته ۱۶-۷)** وقتی بار به صورت مجموعه ای از چند بار باشد، یعنی این امکان وجود دارد که در مقطع زمانی تعدادی از منابع (دیزل ژنراتور و یا ترانسفورماتور) برای تغذیه بخشی از بارهای وصل شده در مدار باشند؛ اما زمانی که بار به صورت تکی باشد، باید حتماً کلیه منابع برای تغذیه آن در مدار باشند. در صورت وجود بیش از یک دیزل ژنراتور و یک ترانسفورماتور، قدرت قطع کلید بر اساس حضور حداکثر تعداد ترانسفورماتور و تنظیم رله مغناطیسی بر اساس حداقل تعداد دیزل ژنراتور که بتواند بار را تغذیه کند، انتخاب می شود.



**پرسش ۶۵-۷)** در مسئله ۱۷ پیوست الف، کدام یک از گزینه‌های زیر، درباره تنظیم رله مغناطیسی (برای قطع مطمئن مدار) کلید Q<sub>3</sub> صحیح است؟ (بهمن ۹۴ «۴۷»)

الف) تنظیم رله مغناطیسی کلید Q<sub>3</sub> بر اساس مشخصات یک دستگاه دیزل ژنراتور انجام می‌گیرد.

ب) تنظیم رله مغناطیسی کلید Q<sub>3</sub> بر اساس مشخصات دو دستگاه دیزل ژنراتور انجام می‌گیرد.

ج) تنظیم رله مغناطیسی کلید Q<sub>3</sub> بر اساس مشخصات ترانسفورماتور انجام می‌گیرد.

د) گزینه‌های ب و ج، هر دو صحیح است.

**پاسخ)** تنظیم رله مغناطیسی، بر مبنای حداقل جریان اتصال کوتاه، خواهد بود؛ جریان اتصال کوتاه دیزل ژنراتور، کمتر از ترانسفورماتور است. پس انتخاب، بر مبنای دیزل ژنراتور می‌باشد (گزینه‌های ج و د اشتباه است). با توجه به اینکه بار، به صورت «مجموعه‌ای» است و نه «تکی»، احتمال وجود درصدی از بار و تغذیه آن، تنها توسط یک دیزل ژنراتور وجود دارد؛ به عبارت دیگر، حداقل جریان اتصال کوتاه در حضور یک دیزل ژنراتور، کمتر از دو دیزل ژنراتور می‌باشد. پس گزینه **الف** صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۶۰» اسفند ۹۵ طراحی است.

**نکته ۷-۱۹)** در صورتیکه **کاهش قدرت قطع** مدنظر باشد، باید UK را بالا و اگر **قطع سریع و مطمئن** کلید هدف باشد، با UK را پایین انتخاب کرد.

**پرسش ۶۶-۷)** برای پست برق یک ساختمان، قرار است از یک دستگاه ترانسفورماتور استفاده شود. امکان نصب ترانسفورماتور فوق، هم با UK% = 4 و هم با UK% = 6 مقدور می‌باشد. کدام یک از گزینه‌های زیر، درباره انتخاب ترانسفورماتور مناسب می‌باشد؟ (شهریور ۹۵ «۳۲»)

الف) در صورتی که کاهش قدرت قطع کلیدها و تجهیزات مدنظر باشد، باید از ترانسفورماتور با UK% = 6 استفاده شود.

ب) در صورتی که قطع مطمئن‌تر وسیله حفاظتی مدار در زمان مجاز مد نظر باشد، باید از ترانسفورماتور با UK% = 4 استفاده شود.

ج) در صورتی که کاهش قدرت قطع کلیدها و تجهیزات و نیز قطع مطمئن‌تر وسیله حفاظتی مدار در زمان مجاز مد نظر باشد، باید از ترانسفورماتور با UK% = 4 استفاده شود.

د) گزینه‌های الف و ب، هر دو ممکن است صحیح باشد.

**پاسخ)** با توجه به رابطه  $I_{SC} = I_n / UK$ ، جریان اتصال کوتاهی که کلید بر مبنای آن انتخاب می‌شود، با ولتاژ امپدانس (UK)، نسبت عکس دارد، پس کاهش قدرت قطع، همان کاهش I<sub>SC</sub> و افزایش UK است (گزینه الف). برای افزایش قابلیت اطمینان قطع وسیله حفاظتی (قطع سریع‌تر و مطمئن‌تر) نیز، I<sub>SC</sub> افزایش و به دنبال آن UK، کاهش می‌یابد (گزینه ب). گزینه د، کامل‌ترین پاسخ است.

**پرسش ۶۷-۷)** در مسئله ۳۴ پیوست الف، تنظیم رله مغناطیسی کلید خودکار (اتوماتیک) Q<sub>5</sub> برابر است با: (شهریور ۹۵ «۷»)

الف) ۸۰۰ آمپر (ب) ۹۵۰ آمپر (ج) ۱۰۰۰ آمپر (د) ۳۵۰۰ آمپر

**پاسخ)** تنظیم جریان رله مغناطیسی بر مبنای جریان دیزل ژنراتور، به دلیل کمتر بودن I<sub>SC</sub> ناشی از بیشتر بودن UK، نسبت به ترانسفورماتور خواهد بود. پس، مقدار امپدانس معادل، برابر است با:

$$|Z_{tot}| = Z_{gen} + Z_{UPS} = \sqrt{(0.0171^2 + 0.0522^2)} + \sqrt{(0.0513^2 + 0.1566^2)} = 0.05493 + 0.16479 = 0.21972\Omega$$

مقدار جریان اتصال کوتاه، برابر است با:

$$|I_{SC}| = \frac{C U_p}{|Z_{tot}|} = \frac{0.95 \times 230}{0.21972} = 994.4$$

جریان کلی برابر است با:

$$I_{SC} \geq I_{relay} \rightarrow 994 \geq I_{relay}$$

بزرگ‌ترین عدد کوچکتر از ۹۹۴ آمپر، همان گزینه **الف** است. دقت کنید که نرم استاندارد کلیدها در فصل ششم ارایه شده، اساساً کلید ۹۵۰ آمپری وجود ندارد.



## ۷-۸ کلید خودکار در مدار قدرت

در این بخش، محاسبات برای یک شبکه کامل، با حضور شین بی‌نهایت، ترانسفورماتور و بارهای موتوری و پسیو، انجام می‌شود.

## ۷-۸-۱ اصول پایه

برای تعیین قدرت قطع کلیدهای سیستمی متشکل از شبکه (شین) بی‌نهایت، ترانسفورماتور و بار (موتوری و غیر موتوری)، ابتدا باید چند اصل را در نظر گرفت:

الف) هر کلید، یک بالادست و یک پایین دست دارد که انتخاب جریان کلید بر اساس بالاترین جریان ممکن در بالادست یا پایین دست کلید انجام می‌شود.

ب) روابط اصلی محاسباتی جریان کلید، جریان و توان اتصال کوتاه است که قبلاً معرفی شده‌اند:

$$I_{sc} = \frac{I_n}{\%UK} \quad (۷-۱۴)$$

$$S_{sc} = \frac{S_n}{\%UK} \quad (۷-۱۵)$$

مقادیر جریان و قدرت اتصال کوتاه معادل، در دو حالت سری و موازی، برابر است با:

ب-۱) اتصال سری منابع:

$$I_{sc,eq}^{tot} = \sum_{i=1}^n I_{sc,i} \quad (۷-۱۶)$$

$$S_{sc,eq}^{tot} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_{sc,i}}} \quad (۷-۱۷)$$

ب-۲) اتصال موازی منابع:

$$I_{sc,eq}^{tot} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{I_{sc,i}}} \quad (۷-۱۸)$$

$$S_{sc,eq}^{tot} = \sum_{i=1}^n S_{sc,i} \quad (۷-۱۹)$$

که در این روابط،  $I_{sc,i}$  و  $S_{sc,i}$  جریان و توان اتصال کوتاه تک‌تک عناصر هستند.

ج) مبنای انتخاب قدرت قطع کلید، بر اساس مجموع جریان‌های اتصال کوتاه‌های مؤثر، است. بعد از محاسبه جریان‌های اتصال کوتاه مؤثر کلید، بر اساس مقادیر نامی و استاندارد (نرم کلید) حداقل برابر این جریان محاسبه می‌شود.

## ۷-۸-۲ بررسی المان‌ها

اساساً چهار نوع المان را می‌توان معرفی کرد:

الف) شبکه بی‌نهایت: به طور ساده، شبکه برقی ماقبل ترانسفورماتور که مقدار قدرت قطع اتصال کوتاه و ولتاژ آن در دسترس است را «شبکه بی‌نهایت» می‌نامیم. امپدانس این شبکه در محاسبات قدرت قطع کلید، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Z_{sc}^{net} = \frac{V_2^2}{S_{sc}^{net}} \quad (۷-۲۰)$$

که در آن، ولتاژ  $V_2$ ، ولتاژ سمت ثانویه ترانسفورماتور است.

**توجه:** زمانی که اطلاعات شبکه بی‌نهایت در صورت پرسش قید نشده باشد، طبیعتاً در محاسبات لحاظ نمی‌شود.

ب) ترانسفورماتور: منبع اصلی و تغذیه عادی شبکه، بر عهده ترانسفورماتور است که با شبکه بی‌نهایت به صورت سری قرار می‌گیرند. اگر دو یا چند ترانسفورماتور به صورت موازی از یک شبکه بی‌نهایت تغذیه شوند، مقدار جریان به یکی از دو طریق زیر محاسبه می‌شود:

- محاسبه جریانی: در این حالت برای محاسبه مقدار جریان، بر اساس امپدانس شبکه بی‌نهایت (رابطه فوق) و امپدانس ترانسفورماتور (معرفی شده در فصل سوم این کتاب) محاسبه کرده و بر اساس نحوه اتصال اجزاء (ترانسفورماتورها به صورت موازی با هم و