

## محاسبه اتصال کوتاه در شبکه‌ها از طریق روش پتانسیلی $N_{sw}$

### بکمک مؤلفه‌های متقارن متداول در اروپا و طریقه بکار

### برده شده در آمریکا

نوشته :

امیر منصور میری

دانشیار دانشکده فنی

در سالهای اخیر محاسبه شبکه‌های الکتریکی بکمک ماشین‌های محاسبه الکترونیکی در بعضی موارد جایگزین روش مدل شبکه گردیده است. برای این منظور لازمست برنامه‌های مناسبی طرح گردد که توسط آنها بتوان مسائل مورد نظر از قبیل توزیع بار، محاسبات اتصال کوتاه و تعیین را مشخص نمود. این برنامه‌ها بویژه در مورد شبکه‌های غربالی با تعداد زیادی گره حائز اهمیت است. زیرا زمان محاسبه ماشین باید تا حدود امکان کوتاه بوده و محاسبه تغییرات پیش بینی شده بسادگی انجام پذیر باشد.

این نوشته شامل دو قسمت است، قسمت اول اختصاص به محاسبه شبکه با روش پتانسیلی  $N_{sw}$  با منظور کردن مؤلفه‌های متقارن دارد که در حالات بارگیری غیرمتقارن شبکه مورد بررسی ویژه‌ای قرار میگیرد. قسمت دوم مقاله به محاسبه شبکه با کمک مؤلفه‌های  $\alpha\beta 0$  که در آمریکا مرسوم است اختصاص دارد که در این حالت امتیازاتی که این روش در مورد حل شبکه در حالات اتصال کوتاه غیر متقارن در بردارد معلوم میگردد. روش پتانسیلی  $N_{sw}$  با سیستم بردارهای معادل در طرح ریزی نیروگاههای برق و همچنین بررسی شبکه‌های الکتریکی در حالات مختلف (جریانهای غیرمتقارن - اتصال کوتاه - اتصال زمین و سایر اختلالاتی که در اثر حوادث مختلف بوجود میآید) حائز اهمیت میباشد مخصوصاً در مواردیکه مرکز ستاره مستقیماً (غیرالاستیک) زمین شده باشد.

یکی از روش‌های جالب برای بررسی حالات بارگیری غیر متقارن در شبکه‌های سه فاز توسط

فورتسکیو\* بصورت «مؤلفه های متقارن» ذکر شده. طبق این روش میتوان هر سیستم غیرمتقارن سه فاز را به سه سیستم با مؤلفه های متقارن مستقل تبدیل نمود، این سه سیستم عبارتند از:

۱- سیستم مستقیم (درجهت گردش عقربه ساعت)

۲- سیستم معکوس (در جهت عکس گردش عقربه ساعت)

۳- سیستم نول (بدون گردش، سیستم ساکن)

بکمک سه سیستم ذکر شده میتوان کلیه محاسبات شبکه را انجام داد و سپس نتایج را بر روی سیستم سه فاز غیر متقارن مورد نظر تطبیق داد. برای بکار بستن این روش یک تبدیل خطی با دو عمل معکوس لازم میباشد که در عمل اول سیستم سه فاز غیر متقارن به سه مؤلفه متقارن تبدیل میگردد. از نظر ریاضی این عمل را متقارن کردن نام گذارده اند لیکن از نظر الکتریکی بهتر است آنرا «تبدیل مؤلفه ای» نامید. در عمل دوم میتوان سه مؤلفه متقارن بدست آمده از عمل اول را دوباره به کمیت های فازی سیستم سه فاز غیر متقارن تبدیل نمود که این مرحله را «عمل غیر متقارن کردن» نامند. (در مقالات آمریکائی دو مرحله نامبرده به ترتیب کمیت ترتیبی یا رده ای\*\* و کمیت فازی\*\*\* نامیده میشوند) با توجه باینکه روش مؤلفه های متقارن را برای هر کمیت سه فاز میتوان بکار برد این تمایل پیش میآید که کمیت های سه فاز بکار برده شده در روش پتانسیلی  $N_{sw}$  را بر اساس روش مؤلفه های متقارن محاسبه نمائیم.

### روش پتانسیلی $N_{sw}$ :

مبنای این روش اصول پتانسیلی میباشد، بدین ترتیب که جریان اتصال کوتاه بین دو گروه در یک شبکه بوسیله اختلاف پتانسیل بین آن دو گروه و امپدانس یا هدایت الکتریکی آنها نمایش داده میشود. این روش برای محاسبه شبکه های غربالی با تعداد زیاد گره مناسب بوده و با منظور داشتن یک فشار الکتریکی مقایسه ای میتوان نسبت های پتانسیلی «ضریب پتانسیل» را بدست آورد.

چنانچه جریان اتصال کوتاه ضربه ای یک شاخه از شبکه را با  $I_{sw}$  و مقاومت ظاهری آنرا با  $Z$  و فشار نامی شبکه را  $U_n$  و فشار الکتریکی بین فاز و صفر را در ابتدای شاخه به ترتیب با  $u_1$  و  $u_2$  نمایش دهیم بین آنها و شار توان  $N_{sw}^*$  از جانبی و ضرایب پتانسیلی  $p_1$  و  $p_2$  و مقادیر  $N_{sw}$  از سوی دیگر روابط زیر برقرارند.

\* Fortescue

\*\* Sequence quantities

\*\*\* Phase quantities

$$N_{sw}^* = \sqrt{r} \cdot I_{sw} U_n$$

$$p_1 = \frac{u_1}{\frac{1}{\sqrt{r}} U_n}$$

$$p_r = \frac{u_r}{\frac{1}{\sqrt{r}} U_n}$$

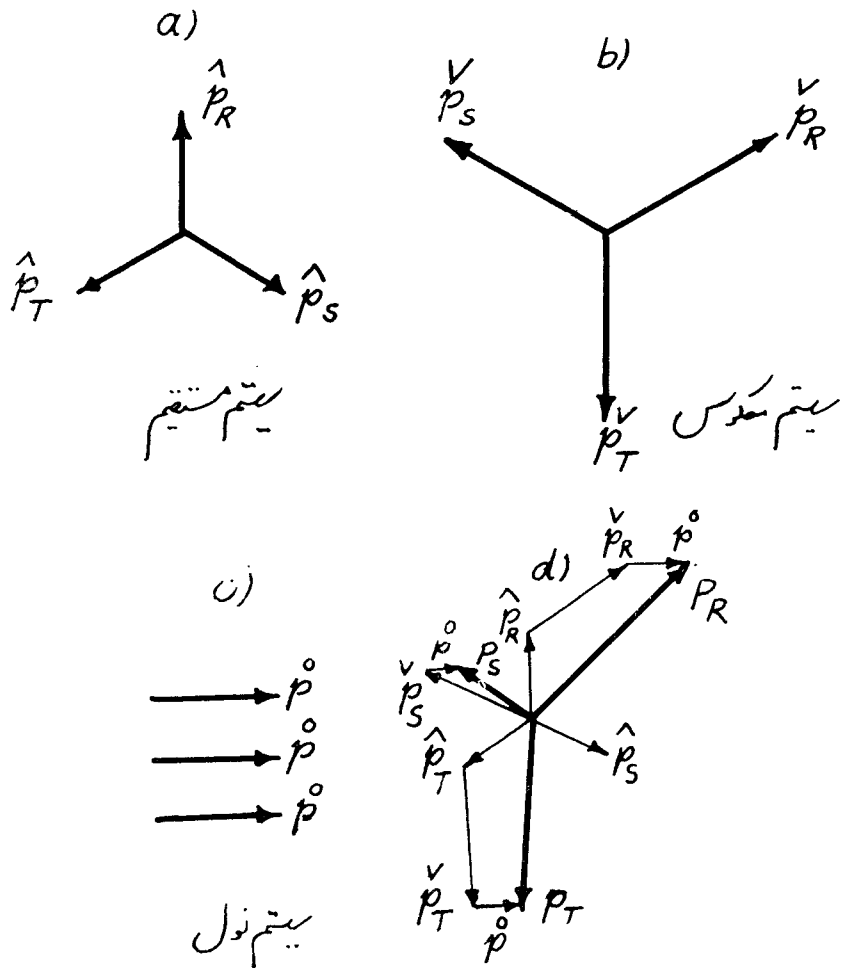
$$N_{sw} = \frac{1}{Z} u_n^r$$

(۱)

با در نظر گرفتن ضرایب پتانسیل می‌توان شار توان در شاخه نامبرده را بصورت زیر نوشت .

(۲)

$$N_{sw}^* = (p_1 - p_r) N_{sw}$$



شکل (۱) - ترکیب شدن یک سیستم غیرمستقر از مؤلفه‌های متقارن آن

## بکار بردن مؤلفه‌های متقارن

در محاسبات زیر مبنا را بر یک سیستم سه فاز غیر ستمیریک ( غیر متقارن ) با فشارهای الکتریکی  $U_T, U_S, U_R$  قرار میدهم که ضرایب پتانسیل مربوطه  $P_T, P_S, P_R$  باشد. با بکار بردن روش مؤلفه‌های متقارن میتوان سه ضریب پتانسیل نامبرده در فوق را به مؤلفه‌های متقارن مربوطه تجزیه نمائیم این تجزیه برای سه سیستم ذکر شده در صفحه ۱ بشکل زیر انجام میگردد.

$$1- \text{ در سیستم مستقیم } \hat{P}_T, \hat{P}_S, \hat{P}_R$$

$$2- \text{ در سیستم معکوس } \check{P}_T, \check{P}_S, \check{P}_R$$

$$3- \text{ در سیستم نول } P^\circ, P^\circ, P^\circ$$

پس از جمع هندسی مؤلفه‌های فوق (شکل ۱) روابط زیر برای ضرایب پتانسیل سیستم غیر متقارن

بدست میآید :

$$\begin{cases} P_R = \hat{P}_R + \check{P}_R + P^\circ \\ P_S = \hat{P}_S + \check{P}_S + P^\circ \\ P_T = \hat{P}_T + \check{P}_T + P^\circ \end{cases}$$

با انتخاب فاز R بعنوان فاز مبنا معادلات فوق بصورت زیر درمیآیند :

$$(2) \begin{cases} 1 \left\{ P_R = \hat{P}_R + \check{P}_R + P^\circ ; \right. \\ 2 \left\{ P_S = a^r \hat{P}_R + a \check{P}_R + P^\circ ; \right. \\ 3 \left\{ P_T = a \hat{P}_R + a^2 \check{P}_R + P^\circ ; \right. \end{cases}$$

در روابط فوق ضرایب  $a, a^2$  به ترتیب زیر است .

$$a = e^{j \frac{2\pi}{3}} = -0.5 + j0.866$$

$$a^2 = e^{j \frac{4\pi}{3}} = -0.5 - j0.866$$

چنانچه در سیستم معادلات ۳ معادله ردیف ۲ را در  $a$  و معادله ردیف ۳ را در  $a^2$  ضرب کنیم از حاصل جمع

سیستم معادلات جدید بدست میآید و بهمین ترتیب با عملیات لازم  $\check{P}_R$  حاصل شده و برای تعیین  $P^\circ$

معادلات سیستم را باهم جمع مینمائیم .

$$\hat{r}P_R = P_R + aP_S + a^rP_T ;$$

$$(4) \quad \check{r}P_R = P_R + a^rP_S + aP_T ;$$

$$rP^o = P_R + P_S + P_T ;$$

توسط روابط فوق ضرایب پتانسیل سیمتریك ( $\hat{p}_R, \check{p}_R, p^o$ ) از ضرایب پتانسیل غیر سیمتریك ( $P_R, P_S, P_T$ ) که در نقطه ای از شبکه معلوم می باشد بدست می آید.

مثلاً در حالت اتصال کوتاه دو قطبی فازهای S و T با اتصال زمین چنین خواهیم داشت.

$$P_S = 0$$

$$P_T = 0$$

در نتیجه :

$$\check{P}_R = P_o, \hat{P}_R = \check{P}_R$$

در مورد یک نیروگاه که معمولاً باز شبکه تغذیه شده توسط آن سیمتریك در نظر گرفته میشود باید :

$$P_T = a, P_S = a^r, P_R = 1$$

باشد. در نتیجه مقادیر

$$P^o = 0, \check{P}_R = 0, \hat{P}_R = 1$$

را خواهیم داشت و این بدین معنی است که فقط سیستم مستقیم موثر می باشد زیرا ضرایب پتانسیل در سیستم معکوس و سیستم نول برابر صفر است، اما در حالتیکه تغذیه غیر متقارن انجام گیرد مثلاً بصورت

$$P_R = 1.2, P_S = 0.9a^r, P_T = a$$

ضرایب زیر حاصل میشود.

$$\hat{P}_R = 1.02$$

$$\check{P}_R = 0.083 - j0.029$$

$$P^o = 0.083 + j0.029$$

بهین ترتیب میتوان برای شار توانی سیستم سه فاز غیر متقارن بصورت فازی چنین نوشت :

$$N^*_{SwR} = \hat{N}^*_{SwR} + \check{N}^*_{SwR} + N^{o*}_{Sw}$$

$$(5) \quad N^*_{SwS} = a^r \hat{N}^*_{SwR} + a \check{N}^*_{SwR} + N^{o*}_{Sw}$$

$$N^*_{SwT} = a \hat{N}^*_{SwR} + a^r \check{N}^*_{SwR} + N^{o*}_{Sw}$$

که بصورت مؤلفه‌ای به ترتیب زیر خواهد بود.

$$\hat{N}_{SwR}^* = N_{SwR}^* + a N_{SwS}^* + a^r N_{SwT}^* ;$$

$$(1) \quad \check{N}_{SwR}^* = N_{SwR}^* + a^r N_{SwS}^* + a N_{SwT}^* ;$$

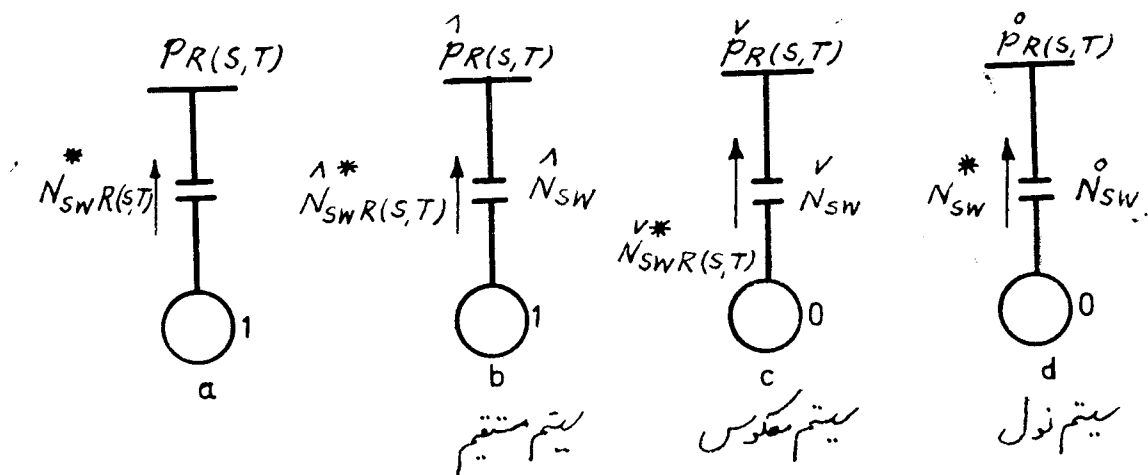
$${}^o N_{Sw}^* = N_{SwR}^* + N_{SwS}^* + N_{SwT}^* ;$$

بکمک روابط (۴) و (۶) میتوان سیستم سه فاز غیر متقارن  $(PR$  و  $N_{SwR}^*$ ) با ضرایب پتانسیل ثابت را که در شکل ۲ نمایش داده شده است بطریق زیر تجزیه نمود.

۱- سیستم مستقیم  $(\hat{P}_R, \hat{N}_{SwR}^*, \hat{N}_{Sw}^*)$  با ضرایب پتانسیل ۱

۲- سیستم معکوس  $(\check{P}_R, \check{N}_{SwR}^*, \check{N}_{Sw}^*)$  با ضرایب پتانسیل ۰

۳- سیستم نول  $(P^o, N^o_{Sw}, N^o_{Sw})$  با ضرایب پتانسیل ۰



شکل ۲ نمایش یک سیستم پتانسیل  $N_{Sw}$  غیر متقارن با مؤلفه‌های متقارن آن سیستم تجزیه نشده (a) تا (d) سیستم تجزیه شده

مقادیر  $N_{Sw}$  لازم برای محاسبه یک سیستم سه فاز متقارن  $(\hat{N}_{Sw}, \check{N}_{Sw}, N^o_{Sw})$  را میتوان طبق

رابطه (۱) از امیدانسه‌های مستقیم، معکوس، نول عناصر عمل کننده در شبکه بدست آورد.

بهریک از سه سیستم مؤلفه‌ای جهت تعیین ضرایب پتانسیلی شبکه یک ماتریکس  $N_{Sw}$  بصورت

زیر وابسته است:

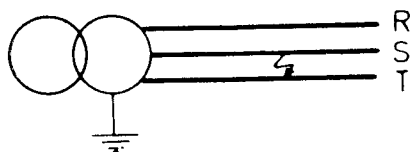
$$(7) \quad -P \hat{N}_{Sw} + \check{N}_{Sw} + P^o N_{Sw} = 0$$

$$(۸) \quad -p \sum N_{Sw} + \sum p N_{Sw} = 0$$

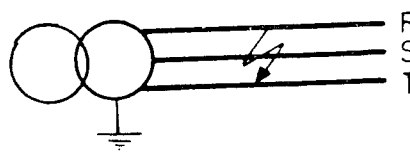
$$(۹) \quad -p^{\circ} \sum N^{\circ}_{Sw} + \sum p^{\circ} N^{\circ}_{Sw} = 0$$

در روابط فوق مجموع مقادیر  $N_{Sw}$  و یا مجموع حاصلضربهای  $p \cdot N_{Sw}$  در گره‌های مورد بحث برای سیستم‌های مستقیم یا معکوس و نول جداگانه تشکیل شده است.

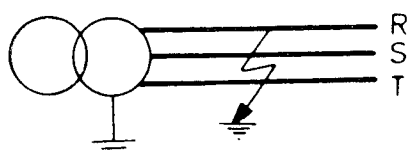
برای تشکیل ماتریکسهای بالا باید معادلات اضافی دیگری نیز تشکیل داد، این معادلات در محاسبات اتصال کوتاه از شرایط اولیه بدست می‌آید و در چهار حالت عمده، اتصال کوتاه سه قطبی، دو قطبی یک قطبی و دو قطبی با اتصال زمین به ترتیب زیر تشکیل داده میشود.



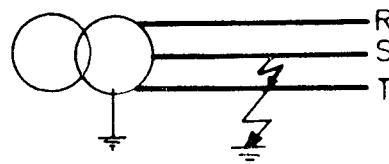
(شکل ۴)



(شکل ۳)



(شکل ۶)



(شکل ۵)

### اتصال کوتاه سه قطبی :

در حالت اتصال کوتاه سه قطبی (شکل ۳) در نقطه اتصال کوتاه شرایط زیر برقرار است .

$$P_R = 0, P_S = 0, P_T = 0 \quad \text{بصورت کمیت فازی}$$

$$(۱۰) \quad \hat{P}_R = 0, \check{P}_R = 0, P^{\circ} = 0 \quad \text{بصورت رده کمیتی طبق معادله ۴}$$

بنابراین تنها شارتهائی در سیستم مستقیم باید محاسبه شود، طبق معادله (۵) میتوان چنین نوشت :

$$(۱۱) \quad N^*_{SwR} = \hat{N}^*_{SwR}$$

که از آن رابطه زیر برای جریان اتصال کوتاه ضربه‌ای سه قطبی نتیجه میشود .

$$(۱۲) \quad I_{SwIII} = \frac{N^*_{SwR}}{\sqrt{3} U_n}$$

### اتصال کوتاه دو قطبی :

با فرض اینکه اتصال کوتاه بین فازهای S و T انجام گرفته باشد (شکل ۴) در نقطه اتصال کوتاه شرایط زیر برقرار است

بصورت کمیت فازی  $P_S = P_T, N^*_{SwR} = 0, N^*_{SwS} = -N^*_{SwT}$   
 بصورت رده کمیتی

$$(13) \quad \hat{P}_R = \check{P} ; \quad \text{طبق معادله (4)}$$

$$\hat{N}^*_{SwR} ; N^{\circ*}_{Sw} = 0 \quad \text{طبق معادله (6)}$$

معادلات فوق مبین این نکته میباشند که شارهای توانی در سیستم مستقیم و سیستم معکوس مختلف‌العلامه هستند، بنابراین جهت شار توانی در سیستم معکوس از نقطه اتصال کوتاه بطرف نیروگاه میباشد. در این حالت سیستم نول متتفی است. برای تعیین شار توانی طبق معادله (۶) عمل می‌نمائیم.

$$(14) \quad N^*_{SwS} = -j \sqrt{3} \hat{N}^*_{SwR}$$

که در نتیجه جریان متناوب اتصال کوتاه ضربه‌ای دو قطبی بدست می‌آید.

$$(15) \quad I_{SwH} = \frac{N^*_{SwS}}{\sqrt{3} U_n}$$

فشارهای هریک از سه فاز سیستم غیر متقارن را میتوان طبق معادله (۳) از روابط زیر تعیین نمود.

$$P_R = \sqrt{3} \hat{P}, P_S = P_T = -\hat{P}_R$$

### اتصال کوتاه یک قطبی :

با فرض اینکه در فاز R اختلال ایجاد شود (شکل ۵) در نقطه اتصال کوتاه میتوان چنین نوشت.

بصورت کمیت فازی  $P_R = 0, N^*_{SwS} = 0, N^*_{SwT} = 0$   
 بصورت مؤلفه‌ای

$$(16) \quad \hat{N}^*_{SwR} = \check{N}^*_{SwR} ; \check{N}_{SwR} = N^{\circ*}_{Sw} \quad \text{طبق معادله ۶}$$

$$\hat{P}_R = -(\check{P}_R + P^{\circ}) \quad \text{طبق معادله ۳}$$

اتصال کوتاه یک قطبی بدینوسیله مشخص میشود که شارهای توانی در سه سیستم مؤلفه‌ای بایکدیگرمساوی میباشد چون ضرایب پتانسیل در سیستم معکوس ونول منفی است لذا جهت شارهای توانی این سیستم از مرکز تولید بطرف نقطه اتصال کوتاه میباشد. طبق معادله (۵) شار توانی بصورت زیر است.

$$(17) \quad N^*_{SwR} = \sqrt{3} \hat{N}^*_{SwR} ;$$

بنابراین برای جریان متناوب اتصال کوتاه ضربه‌ای یک قطبی چنین خواهیم داشت :



$$(18) \quad I_{SwI} = \frac{N^*_{SwR}}{\sqrt{3} U_N}$$

فشارهای فازهای S, T از معادله (۵) نتیجه میشود. جریانی بطرف زمین وجود دارد از رابطه زیر بدست میآید:

$$(19) \quad 3 I^{\circ} = \frac{3 N^{\circ*}}{\sqrt{3} \cdot U_N};$$

بدیهی است که  $I_{SwI} = 3 I^{\circ}$  میباشد.

### اتصال کوتاه دوقطبی با تماس زمینی:

در این حالت اتصال کوتاه بین دو فاز S و T و زمین برقرار است (شکل ۶) در نقطه اتصال کوتاه

روابط زیر را میتوان نوشت.

$$P_S = 0, P_T = 0, N^*_{SwR} = 0$$

بصورت کمیت فازی

بصورت رده کمیتی

$$\hat{P}_R = \hat{P}_R; \quad \check{P}_R = P^{\circ} \quad \text{از معادله ۴}$$

$$(20) \quad \hat{N}^*_{SwR} = - (\check{N}^*_{SwR} + N^{\circ*}_{Sw}) \quad \text{از معادله ۵}$$

از رابطه بالا چنین برمیآید که در حالت اتصال کوتاه دوقطبی با تماس زمینی ضرایب پتانسیل سه سیستم مؤلفه‌ای بایکدیگر در نقطه اتصال کوتاه برابرست و جهت شار توانی سیستم معکوس و سیستم نول از نقطه اتصال کوتاه بطرف مرکز تولید میباشد از رابطه (۵) شارهای توانی  $N^*_{SwS}$  و  $N^*_{SwT}$  مربوط به سیستم غیر متقارن نتیجه میشود. بنابراین روابط زیر را میتوان نوشت:

$$I_{SwS} = \frac{N^*_{SwS}}{\sqrt{3} \cdot U_N}$$

$$(21) \quad I_{SwT} = \frac{N^*_{SwT}}{\sqrt{3} \cdot U_N}$$

$$P_R = 3 \cdot \hat{P}_R \quad \text{درفاز R}$$

جریان زمین طبق معادله (۱۹) محاسبه میشود. برای کنترل، رابطه زیر باید برقرار باشد.

$$(22) \quad I_{SwS} + I_{Sw} = 3 I^{\circ}$$

در جدول ۱ تمام مقادیر لازم جهت محاسبه چهار حالت اتصال کوتاه نامبرده جمع‌آوری شده است.

در این جدول هم‌چنین دیاگرام‌های برداری سیستم‌های ( $P$  و  $N^*_{Sw}$ ) رسم گردیده است.

چنانچه در یک شبکه سه‌فاز غیر متقارن علاوه بر مرکز اصلی یک نقطه تغذیه منفردی نیز موجود

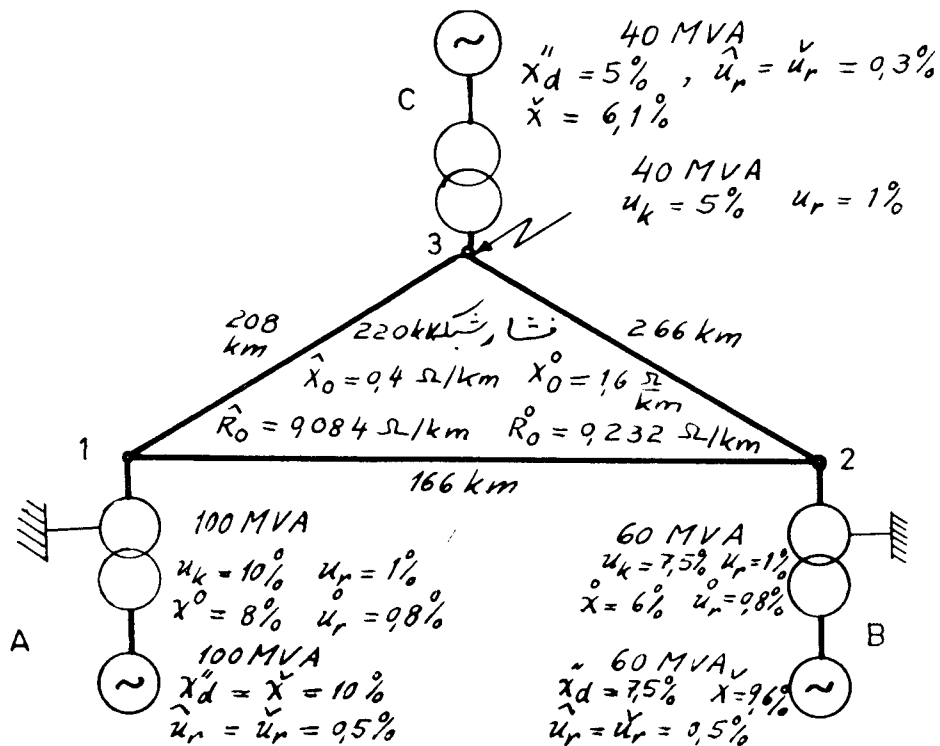
جدول ۱

حالات مختلف اتصال کوتاه	محدودت‌های شعاعی اولیه	شمای اتصال	مقادیری که باید به دست شوند	دیگرام برداری	کنترل
1 اتصال کوتاه سه قطبی R S T	$P_R = 0$ $P_S = 0$ $P_T = 0$		$N_{SWR}^* = \hat{N}_{SWR}^*$ $I_{SWIII} = \frac{N_{SWR}^*}{\sqrt{3} U_N}$		-
2 اتصال کوتاه دو قطبی R S T	$P_S = P_T$ $N_{SWR}^* = 0$ $N_{SWS}^* = -N_{SWT}^*$		$N_{SWS}^* = -\sqrt{3} \hat{N}_{SWR}^*$ $I_{SWII} =$ $U_R \hat{P}_R = 2 \hat{P}_R$ $U_S \hat{P}_S = \hat{P}_T = -\hat{P}_R$		-
3 اتصال کوتاه یک قطبی R S T	$P_R = 0$ $N_{SWS}^* = 0$ $N_{SWT}^* = 0$		$N_{SWR}^* = 3 \hat{N}_{SWR}^*$ $I_{SWI} = \frac{N_{SWR}^*}{\sqrt{3} U_N}$ $U_S \hat{P}_S = a^2 \hat{P}_R + a \hat{P}_R + \hat{P}_R = 0$ $U_T \hat{P}_T = a \hat{P}_R + a^2 \hat{P}_R + \hat{P}_R = 0$ $I_{SWI} = \frac{N_{SWR}^*}{\sqrt{3} U_N}$		$3I = I_{SWI}$
4 اتصال کوتاه تلقی با اتصال زمین R S T	$P_S = 0$ $P_T = 0$ $N_{SWR}^* = 0$		$N_{SWS}^* = a^2 \hat{N}_{SWR}^* + a \hat{N}_{SWR}^* + \hat{N}_{SWR}^*$ $I_{SWS} = \frac{N_{SWS}^*}{\sqrt{3} U_N}$ $N_{SWT}^* = a \hat{N}_{SWR}^* + a^2 \hat{N}_{SWR}^* + \hat{N}_{SWR}^*$ $I_{SWT} = \frac{N_{SWT}^*}{\sqrt{3} U_N}$ $U_R \hat{P}_R = 3 \hat{P}_R$ $I_{SWI} = 3 \hat{N}_{SWR}^* / \sqrt{3} U_N$		$3I = I_{SWS} + I_{SWT}$

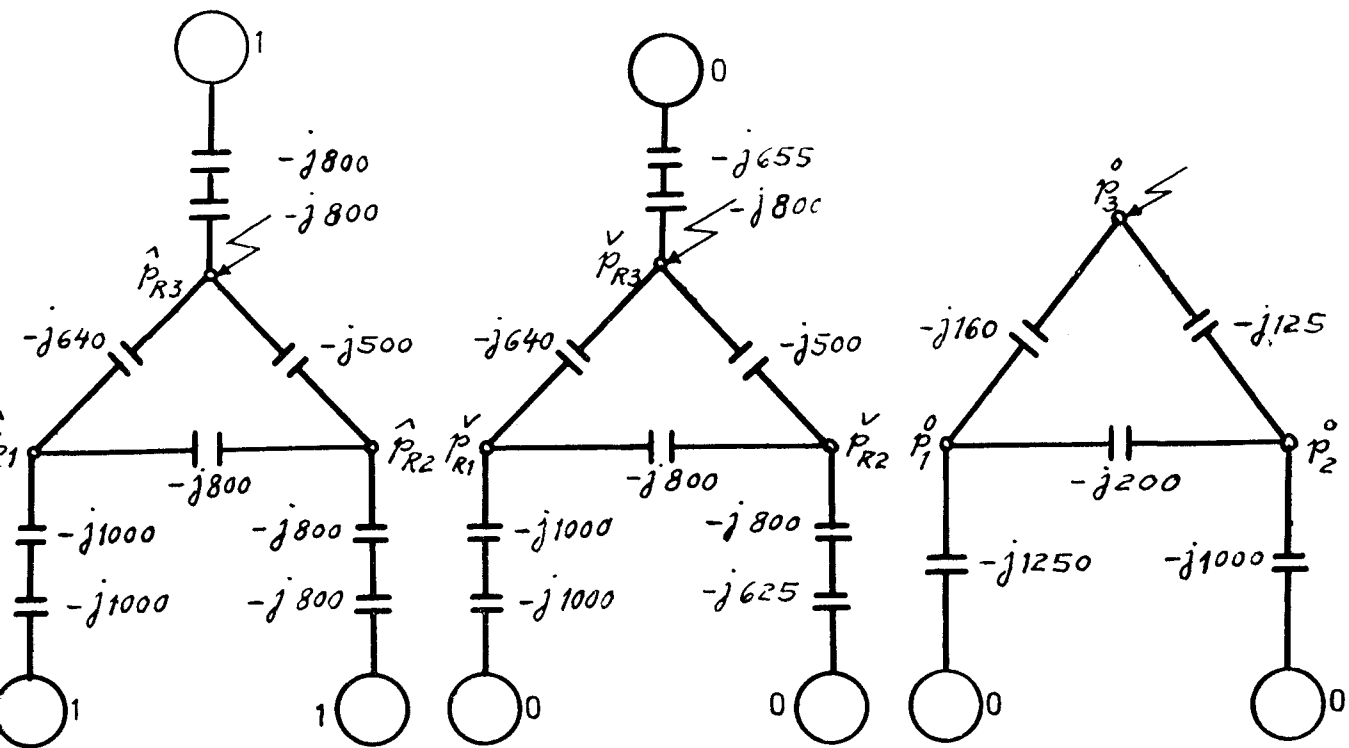
باشد باید مقدار درصد تغذیه سیستم مستقیم در حالات مختلفه اتصال کوتاه در نقطه اتصال کوتاه باشد معلوم باشد.

### مثال :

در این مثال یک شبکه مثلثی منظور شده است که در آن روابط بدست آمده در فوق را بکار می‌بریم. این شبکه طبق شکل  $v$  از یک حلقه  $220$  هزار ولتی سه فاز که تغذیه آن بمیزان  $200$  MVA از سه مرکز نیروئی  $A$  و  $B$  و  $C$  (شکل  $v$ ) صورت می‌گیرد تشکیل شده است. ترانسفورماتورهای نیروگاههای  $A$  و  $B$  مستقیماً زمین گردیده‌اند. مولدهای نیروگاهها با قطبهای برجسته بوده در آکتانسهای متقابل نیروگاههای  $B$  و  $C$  نسبت به آکتانسهای مستقیم متفاوت اختیار شده‌اند، بنابراین برای تمام شبکه  $\hat{X} \neq \check{X}$  است. در این مثال منظور محاسبه  $N_{sw}^*$  و همچنین جریانهای متناوب ضربه‌ای اتصال کوتاه برای چهار حالت اتصال کوتاه ذکر شده در فوق میباشد که برای سهولت محاسبه از مقاومتهای اهمی صرف‌نظر میشود. ابتدا مقادیر  $N_{sw}$  یکایک عوامل شبکه را برای سه سیستم مؤلفه‌ای محاسبه نموده و در مدار معادل  $N_{sw}$  رسم سی‌نمایی (شکل  $8$ ) از این مدارهای معادل  $N_{sw}$  میتوان سه ماتریس  $N_{sw}$  را طبق معادلات  $v$  تا  $9$  بصورت‌های زیر نوشت.



(شکل  $v$ )



(شکل ۸)

برای سیستم مستقیم :

$$\begin{cases}
 ۱ \left\{ \begin{aligned}
 & -P_{R1} (۱۹۴۰) + ۸۰۰ \cdot P_{R2} + ۶۴ \cdot P_{R3} + ۵۰۰ = 0 \\
 & -P_{R2} (۱۷۰۰) + ۸۰۰ \cdot P_{R1} + ۵۰۰ \cdot P_{R3} + ۴۰۰ = 0 \\
 & -P_{R3} (۱۵۴۰) + ۶۴ \cdot P_{R1} + ۵۰۰ \cdot P_{R2} + ۴۰۰ = 0
 \end{aligned} \right.
 \end{cases}$$

برای سیستم معکوس

$$\begin{cases}
 ۴ \left\{ \begin{aligned}
 & -P_{R1} (۱۹۴۰) + ۸۰۰ \cdot P_{R2} + ۶۴ \cdot P_{R3} = 0 \\
 & -P_{R2} (۱۶۵۰) + ۸۰۰ \cdot P_{R1} + ۵۰۰ \cdot P_{R3} = 0 \\
 & -P_{R3} (۱۵۰۰) + ۶۴ \cdot P_{R1} + ۵۰۰ \cdot P_{R2} = 0
 \end{aligned} \right.
 \end{cases}$$

برای سیستم نول

(۲۳)

$$\begin{cases}
 ۷ \left\{ \begin{aligned}
 & -P_1^0 (۱۶۱۰) + ۲۰۰ \cdot P_2^0 + ۱۶ \cdot P_3^0 = 0 \\
 & -P_2^0 (۱۳۲۵) + ۲۰۰ \cdot P_1^0 + ۱۲۵ \cdot P_3^0 = 0 \\
 & -P_3^0 (۲۸۵) + ۱۶ \cdot P_1^0 + ۱۲۵ \cdot P_2^0 = 0
 \end{aligned} \right.
 \end{cases}$$

به  $q$  معادله فوق سه معادله دیگر که مبین نقطه اتصال کوتاه شبکه میباشد اضافه میگردد ، که برای حالات مختلف اتصال کوتاه به ترتیب زیر است .

### اتصال کوتاه سه قطبی :

$$\begin{cases} 10 \left\{ \begin{array}{l} \hat{P}_{R3} = 0 \\ \hat{P}_{R2} = 0 \\ \hat{P}_{R1} = 0 \end{array} \right. & \begin{array}{l} \text{(سیستم معکوس منتفی است)} \\ \text{(سیستم نول منتفی است)} \end{array} \end{cases}$$

از سطرهای ۱ و ۲ مقادیر  $\hat{P}_{R1} = 0.440$  و  $\hat{P}_{R2} = 0.442$  نتیجه میشوند . بنابراین در نقطه اتصال کوتاه مقدار عددی زیر بدست میآید .

$$N^*_{SwR} = 9029 \quad \text{MVA}$$

$$I_{SwIII} = 237 \quad \text{KA}$$

### اتصال کوتاه دو قطبی :

$$\begin{cases} 10 \left\{ \begin{array}{l} \hat{P}_{R3} = \hat{P}_{R2} \\ N^*_{Sw3} = 0 \end{array} \right. & \text{(سیستم نول منتفی است)} \\ 12 \left\{ \begin{array}{l} \hat{N}^*_{SwR3} = -\hat{N}^*_{SwR2} \end{array} \right. & \text{(سطر ۳ دارای مقدار منفی ۶ است)} \end{cases}$$

از شش معادله ( ۱ و ۲ و ۳/۶ و ۴ و ۵ و ۱۰ ) ضرایب پتانسیل زیر حاصل میشود .

$$\hat{P}_{R1} = 0.729 \quad \hat{P}_{R2} = 0.730 \quad \hat{P}_{R3} = 0.516 ;$$

$$\check{P}_{R1} = 0.293 \quad \check{P}_{R2} = 0.297 \quad \check{P}_{R3} = 0.516 ;$$

و از آنها مقادیر عددی زیر نتیجه میگردد .

$$N^*_{SwS} = 702 \quad \text{MVA}$$

$$I_{SwII} = 199 \quad \text{KA}$$

برای فاز سالم R ضریب پتانسیل  $\hat{P}_{R3}$  برابر ۱۰.۳ میباشد .

### اتصال کوتاه یک قطبی :

$$\begin{array}{l}
 10 \left\{ \begin{array}{l} \hat{P}_{R3} = - (\hat{P}_{R3} + P^{\circ}_3) \\ \hat{N}^*_{SwR3} = \hat{N}^*_{SwR3} \quad (\text{سطر } 3 = \text{سطر } 6) \\ \hat{N}^*_{SwR3} = N^{\circ*}_{SwR3} \quad (\text{سطر } 6 = \text{سطر } 9) \end{array} \right.
 \end{array}$$

ازنه معادله (۸ و ۶ر۴ و ۵ و ۴ و ۳ر۶ و ۲ و ۱) ضرایب پتانسیل زیر نتیجه میشود.

$$\begin{array}{l}
 \hat{P}_{R1} = 0.900 \quad \hat{P}_{R2} = 0.901 \quad \hat{P}_{R3} = 0.822 \\
 \hat{P}_{R1} = -0.107 \quad \hat{P}_{R2} = -0.109 \quad \hat{P}_{R3} = -0.189 \\
 P^{\circ}_1 = -0.071 \quad P^{\circ}_2 = -0.070 \quad P^{\circ}_3 = -0.633
 \end{array}$$

بنابراین در نقطه اتصال کوتاه مقادیر عددی زیر بدست میآیند.

$$\begin{array}{l}
 N^*_{SwR} = 48.06 \quad \text{MVA} \\
 I_{SwI} = 1226 \quad \text{KA}
 \end{array}$$

برای فازهای سالم S و T خواهیم داشت.

$$P_S = P_T = 1222$$

و جریان زمین برابر  $I^{\circ} = 1226 \text{ KA}$  میگردد.

اتصال کوتاه دو قطبی با تماس زمینی :

$$\begin{array}{l}
 10 \left\{ \begin{array}{l} \hat{P}_{R3} = \hat{P}_{R3} \\ \hat{P}_{R3} = P^{\circ}_3 \\ \hat{N}^*_{SwR3} = - (N^*_{SwR3} + N^{\circ*}_{SwR3}) \end{array} \right. \\
 (\text{سطر } 3 \text{ دارای مقدار منفی مجموع سطرهای } 6 \text{ و } 9 \text{ میباشد})
 \end{array}$$

ازنه معادله (۱۰ و ۸ و ۵ و ۴ و ۳ر۶ و ۲ و ۱) ضرایب پتانسیل زیر حاصل میشوند.

$$\begin{array}{l}
 \hat{P}_{R1} = 0.693 \quad \hat{P}_{R2} = 0.694 \quad \hat{P}_{R3} = 0.401 \\
 \hat{P}_{R1} = 0.206 \quad \hat{P}_{R2} = 0.261 \quad \hat{P}_{R3} = 0.401 \\
 P^{\circ}_1 = 0.001 \quad P^{\circ}_2 = 0.000 \quad P^{\circ}_3 = 0.401
 \end{array}$$

بنابراین در نقطه اتصال مقادیر عددی مطلق زیر بدست میآیند .

$$N_{SwS} = 779 \text{ MVA}$$

$$I_{SwT} = 230.4 \text{ KA}$$

و برای ضریب پتانسیل فاز سالم R چنین خواهیم داشت .

$$P_R = 1352$$

و جریان زمین مقدار زیر است .

$$rI^\circ = 0.897 \text{ KA}$$

در جدولهای زیر نتایج حالات اتصال کوتاه بررسی شده در فوق داده شده اند .

جدول ۲ - مقادیر حقیقی محاسبه شده

حالات اتصال کوتاه		$I_{Sw}$ KA	$rI^\circ$ KA	$U_R$ KV	$R_S$ KV	$U_T$ KV
۱	سه قطبی	۲۳۷	—	۰	۰	۰
۲	دو قطبی	۱۹۹	—	۱۴۴۲	۷۲۱	۷۲۱
۳	یک قطبی	۱۲۶	۱۲۶	۰	۱۸۰.۵	۱۸۰.۵
۴	دو قطبی با اتصال زمین	۲۰۴	۰.۸۹۸	۱۸۸۹	۰	۰

برای بررسی تأثیر مقاومت اهمی در محاسبات قبلی یکبار دیگر این محاسبات با مقادیر داده شده در شکل ۷ بصورت کمپلکس محاسبه گردیده که نتایج آن نیز در جدول ۳ منعکس شده است .

بامقایسه این دو جدول باین نتیجه میرسیم که اختلاف جزئی در این دو حالت در عمل ناچیز و قابل اغماض میباشد بنابراین روش ساده اولی در محاسبه اتصال کوتاه غیر متقارن در شبکه های فشار قوی دنبال

جدول ۳- مقادیر کمپلکس محاسبه شده

حالات اتصال کوتاه		$I_{Sw}$ KA	$\sqrt{3}I^{\circ}$ KA	$U_R$ KV	$U_S$ KV	$U_T$ KV
۱	سه قطبی	۲۳۵	—	۰	۰	۰
۲	دو قطبی	۱۹۷	—	۱۴۴۱	۷۸۱	۷۲۱
۳	یک قطبی	۱۲۵	۱۲۵	۰	۱۸۰۲	۱۸۱۰
۴	دو قطبی با اتصال زمین	فاز S ۲۰۳ فاز T ۲۰۲	۰۸۹	۱۸۸۸	۰	۰

میگردد. بعلاوه مثال فوق نشان میدهد که عمل محاسبه در حالات اتصال کوتاه غیر متقارن با بکار بردن روش پتانسیلی  $N_{sw}$  روشن بوده و در حالاتیکه میزان غربالی بودن شبکه زیاد باشد جهت محاسبه عددی این شبکه ها روش نامبرده برای ماشینهای محاسبه الکترونیکی خیلی مناسب تر میباشد.

بقیه دارد