



دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان:

شبیه سازی خطا در شبکه توزیع و سیستم های قدرت

استاد راهنما: دکتر جلیل زاده

نگارش: مظاهری کلهرودی اشکان

شهریور ۹۱

فهرست

مقدمه ۳

فصل اول: مقدمه‌ای بر سیستم‌های قدرت ۵

فصل دوم: مطالعات اتصال کوتاه متقارن و نامتقارن ۲۰

فصل سوم: پایداری سیستم‌های قدرت ۶۸

فصل چهارم: شرح برنامه کامپیوتری ۱۰۴

منابع: ۱۱۴

مقدمه

توسعه منابع انرژی به منظور انجام کار مفید، کلید پیشرفت صنعتی و در نتیجه بهبود سطح زندگی مردم است. رشد سریع جمعیت دنیا، همراه با تقاضای روز افزون برای انرژی از طرف کشورهای در حال توسعه، برای تولیدکنندگان انرژی بود تا آنان را بر این حقیقت واقف سازد که از مقدار منابع محدود و غیر قابل تجدید انرژی در روی زمین می‌بایست بطور موثر استفاده کرد و برای فائق آمدن بر کمبود انرژی در آینده منابع دیگر انرژی را توسعه داد. چون، صرفنظر از روش تولید انرژی الکتریکی تمام تولیدکنندگان برق توس سیستم‌های قدرت به مصرف کنندگان خود مرتبط می‌شوند بنابراین مطالعه و بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های قدرت بخش مهمی از صرفه‌جویی در مصرف منابع انرژی بشمار می‌آید.

قسمت اعظم انرژی الکتریکی بصورت جریان متناوب سه فاز (AC) تولید، منتقل و توزیع می‌شود یعنی سیستم قدرت الکتریکی، سه قسمت اساسی دارد؛ نیروگاه‌ها، خط‌های انتقال و سیستم‌های توزیع، به هم پیوستن سیستم‌های قدرت ناشی از تقاضای مصارف زیاد انرژی الکتریکی و نیاز به قابلیت اطمینان بالا می‌باشد این از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است، زیرا ماشین‌های کمتری به عنوان رزرو برای شرایط بهره‌برداری ساعات پیک مورد نیاز می‌باشند. البته به هم پیوستن سیستم‌ها در شرایط وقوع اتصال کوتاه و خط‌های دیگر موجب ایجاد اختلال در کل سیستم به هم پیوسته خواهد بود. و لذا باید رله‌ها و کلیدهای مناسبی در محل اتصال سیستم‌ها نصب نمود.

بطور کلی طراحی برای بهره‌برداری از یک سیستم قدرت، بهبود بخشیدن به شرایط کار سیستم و توسعه سیستم برای آینده نیاز به مطالعه بار، محاسبات اتصال کوتاه، طرح وسایل حفاظتی و مطالعه پایداری سیستم دارد. با توجه به آنچه فوقاً بدان اشاره شد، شناخت جریان اتصال کوتاه و تغییرات زمانی آن در

قسمت‌های مختلف شبکه و تأسیسات الکتریکی فشار ضعیف و فشار قوی لازم

و ضروری است و بدین جهت «محاسبات اتصال کوتاه در شبکه» نقش مهمی در

طرح و ساختمان دستگاه‌ها و تأسیسات الکتریکی دارد. بطوریکه با شناخت شدت

جریان اتصال کوتاه و تغییرات زمانی و اثر حرارتی و دینامیکی آن و نتایج و

تجربی که از آزمایشگاه‌های پی‌گیر و متعدد بدست می‌آید علاوه بر اینکه سبب

می‌شود در ساختمان دستگاهها تجدید نظر گردد، می‌توان با استفاده از رله و

وسایل حفاظتی مختلف و زمان‌بندی مناسب از خساراتی که در نتیجه پدیده‌های

مذکور در اتصال کوتاه به شبکه وارد می‌شود جلوگیری کرد.

هدف ما در این پایان‌نامه پس از بحث مختصری درباره سیستم‌های قدرت ارائه

روش‌های تحلیل محاسبات عیب و اتصال و پایداری سیستم‌های قدرت می‌باشد. و

نهایتاً نمونه‌ای جهت اشاره به کمک نرم افزار در انجام محاسبات لازم شبکه و

بهره برداری سیستم‌های قدرت خواهیم داشت.

فصل اول

های قدرتی بر سیستم مقدمه

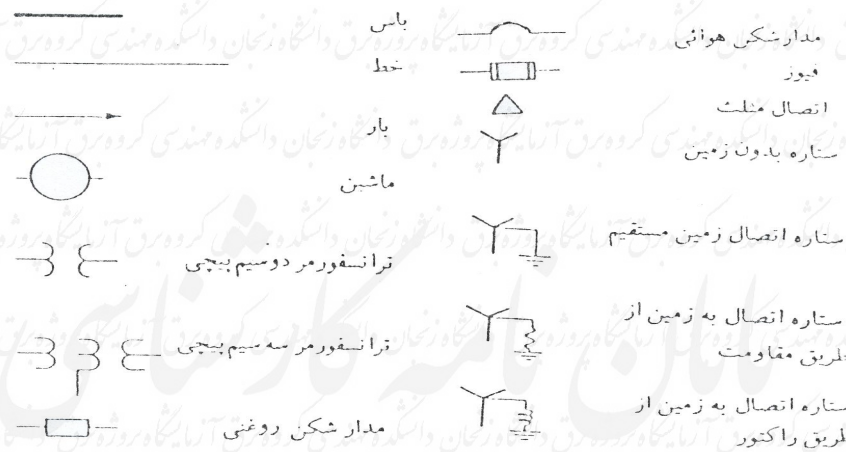
۱-۱- نمودار تک خطی برای نمایش سیستم های قدرت سه فاز

همانطور که میدانیم تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی تقریباً بصورت سه فاز AC صورت می‌گیرد در اکثر نقاط دنیا از فرکانس ۵۰ هرتز بعنوان فرکانس استاندارد استفاده می‌کنند در ایالات متحده و بعضی نقاط دیگر از فرکانس ۶۰ هرتز استفاده می‌شود.

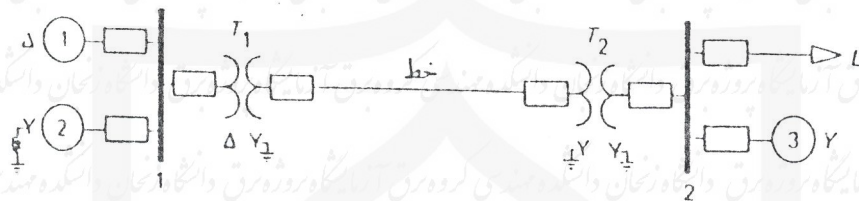
اجزاء سیستم‌های قدرت عبارتند از ماشین‌های سنکرون، ترانسفورمرها، خطوط انتقال و بارهای استاتیکی و دینامیکی که در این قسمت فقط از نمادهای ویژه برای نمایش این افزارها و از مدلهای ساده شده آنها برای ساختن مدل سیستم‌های قدرت استفاده می‌شود. یک سیستم قدرت سه فاز در عمل چندین نیروگاه (بنام باسهای تولید) را شامل می‌شود. که به تعداد بی‌شمار مراکز بار (بنام باسهای بار) متصل می‌شوند، بطوریکه توان بوسیله شبکه‌ای از خطوط توزیع و ترانسفورمرها جهت مصرف کنندگان توزیع می‌گردد. برای نمایش دادن تمامی سه فاز برای هر یک از اجزاء سیستم و مدل‌های مربوط به آنها، همراه با جزئیات کامل در یم نمودار، اگر ممکن نباشد، حداقل در عمل رایج نیست. در نتیجه یک سری ساده بکار گرفته می‌شود. برای مثال اجزاء سیستم قدرت بوسیله یک سری علائم ساده نمایش داده می‌شود و بهم پیوستگی آنها به یکدیگر چیزی را نشان می‌دهد که نمودار تک خطی نامیده می‌شود. که در هر خط منفرد نماینگر سه فاز است بسته به نوع مطالعه‌ای که روی سیستم صورت می‌گردد، اطلاعات اضافی مربوط نمودار و یا بطور مجزا بکار گرفته می‌شود.

دو نوع سیستم قدرت وجود دارد: نوع اول سیستم شعاعی است که از یک باس (یا باسهای) تولید شروع می‌شود و به یک باس (یا باسهای) بار منتهی می‌گردد بدون اینکه حلقه بسته‌ای ایجاد شود. نوع دوم، سیستم حلقوی است. در یک نمودار تک خطی سیستم‌های قدرت سه فاز هر یک از اجزاء سیستم و بهم پیوستگی مربوطه بوسیله علائم استاندارد نشان داده می‌شود. بطوریکه در شکل (۱-۱) نشان داده شده است بعضی از علائم بوسیله موسسه ملی استانداردهای آمریکا (ANSI) و انجمن مهندسين برق و الكترونيك (IEEE) تعیین گردیده و پذیرفته شده است.

شکل (۱-۲) يك سيستم شعاعي با دوباس ساده را نشان ميدهد.



شکل ۱-۱ علائم بعضی از اجزاء سیستم قدرت



شکل ۱-۲ نمودار تک خطی يك سیستم ۲ باسه

۱-۲- روش نسبت به واحد

در بسیار از شرایط فنی بهتر است که کمیت‌های بعددار را نرمالیزه یا مقیاس بندی کنیم. این امر در بررسی سیستم‌های قدرت مرسوم بوده این روش را روش نسبت به واحد «پریونیت» می‌نامند از نقطه‌نظر تاریخی این روش سهلتر کردن محاسبات عددي دستي ابداع شده است با وجود اینکه این امتیاز بخاطر استفاده از کامپیوتر دیجیتال دیگر مطرح نیست ولي سایر محسنات این روش هنوز جلب توجه میکند.

با استفاده از روش پریونیت دیگر ترانسفورماتورهای قدرت بعنوان عناصر سیستم مطرح نمی‌باشند و بعلت وجود صدها ترانسفورماتور در سیستم، این روش خود باعث صرفه‌جویی فراوان خواهد شد. در رابطه با محسنات ذکر شده ولتاژ در کل سیستم تقریباً يك پریونیت می‌باشد. این روش نقاط منفي مخصوص بخود را دارد:

۱) این روش باعث می‌شود که مدارهای معادل عناصر سیستم تا حدودی انتزاعی گردند. گاهی جابجایی فاز که در سیستم‌های واقعی و اصلی وجود دارد در سیستم‌های پریونت شده نمایان نمی‌گردد.

۲) برخی از معادلات برای سیستم‌های پریونت نشده صادق‌اند ولی هنگام پریونت کردن آنها باید تغییراتی را منظور داریم. فی‌المثل ضرایبی مانند $\sqrt{3}$ و ۳ هنگام پریونت کردن اضافه یا حذف می‌شود برای مهندسین قدرت فراگیری این روش ضروری است زیرا این روش در صنعت جا افتاده و محاسبات را سهلتر می‌سازد. لازم به یادآوری است که روش پریونت فقط مقیاس بندی را ساده می‌سازد.

و قوانین مربوط به تئوری مدارها را تغییر نمی‌دهد.

رابطه اصلی جهت پریونت کردن عبارتست از:

$$\text{کمیت} = \frac{\text{مقدار واقعی کمیت}}{\text{مقدار مبنای مربوط به آن کمیت}}$$

صورت و مخرج کسر فوق همجنس‌اند و لذا مقدار پریونت مربوطه به یک کمیت بی‌بعد یا بدون واحد خواهد بود. لازم به یادآوری است که مقدار مبنا عدد حقیقی است و منبهد با اندیس «base» نشان داده می‌شود اما مقادیر واقعی می‌تواند مختلط (موهومی) باشند اگر مقادیر مختلط را بفرم قطبی در نظر بگیریم خواهیم دید که زاویه مقادیر پریونت شده با زاویه مقادیر واقعی یکسان خواهد بود.

۱-۲-۱- مقادیر نسبت به واحد در سیستم‌های یک فاز

طبق تعریف مقدار نسبت به واحد یک کمیت برابر است با نسبت مقدار واقعی آن کمیت به مقدار مبنای انتخاب شده برای آن کمیت. اگر برای ولتاژ در یک سیستم یک فاز مبنایی معادل $230V$ انتخاب کنیم، این مقدار مبنا برابر ۱ نسبت (PU) و یا ۱۰۰ درصد مقدار مبنا می‌باشد. مقادیر دیگر بصورت نسبت به واحد یا درصدی از این مبنا مشخص می‌گردند. اگر $I_b V_b$ بترتیب ولتاژ مبنا و جریان

مبنای انتخاب شده، و V و I بترتیب ولتاژ و جریان در نقطه‌ای از سیستم قدرت باشند (مقادیر مختلط) در اینصورت داریم:

$$I_{pu} = \frac{I}{I_b} \quad (1-2)$$

$$V_{pu} = \frac{v}{V_b}$$

از آنجایی که اعداد مختلط هستند لذا V_b و I_b که مقادیر ولتاژ و جریان بر حسب نسبت به واحد (PU) هستند اعداد مختلطی بدون دیمانسیون می‌باشند.

ولتاژ مبنا معمولاً بر حسب KV و جریان مبنا بر حسب آمپر انتخاب می‌شوند اگر V_b و I_b بترتیب ولتاژ مبنا (KV) و جریان مبنا (A) باشند قدرت مبنا (S_b) بر حسب KVA و MVA برابر است با:

$$S_b = V_b I_b \quad kVA$$

$$= 10^{-3} V_b I_b \quad MVA$$

قدرت مبنا معمولاً بر حسب MVA در نظر گرفته می‌شود. اگر قدرت مختلط در نقطه‌ای از سیستم برابر S داریم:

$$s_{pu} = \frac{s}{S_b} = \frac{p + jQ}{S_b} = \frac{p}{S_b} + j \frac{Q}{S_b} = p_{pu} + jQ_{pu}$$

و لذا مبنای قدرت‌های اکتیو و راکتیو نیز همان S_b می‌باشد. مثلاً اگر قدرت مبنا ۱۰۰ MVA باشد.

قدرت اکتیو ۸۰ MW معادل ۰٫۸ pu خواهد بود.

امپیرانس مبنا Z_b بر حسب V_b و I_b و S_b از رابطه زیر تعیین می‌شود:

(۱-۴)

$$z_b = \frac{v_b}{I_b} = \frac{VB}{S_b/v_b} = \frac{vb^2}{sb} \Omega$$

در رابطه (۱-۴) V_b بر حسب ولت، I_b بر حسب آمپر و S_b بر حسب ولت آمپر می‌باشند. اگر بر حسب KV و بر حسب MVA جایگزین شوند از رابطه زیر باز

(۱-۵)

$$Z_b = \frac{V_b^2}{s_b}$$

بسیاری از روابط مورد عمل سیستم‌ها بر حسب مقادیر نسبت به واحد نیز صادق است. مثلاً برای ولتاژ و قدرت مختلط در يك نقطه از سیستم داریم:

$$v_{pu} = \frac{v}{v_b} = \frac{zi}{z_b i_b} = \frac{z}{z_b} \cdot \frac{i}{i_b} = z_{pu} \cdot I_{pu}$$

$$S_{pu} = \frac{s}{s_b} = \frac{vi^*}{v_b i_b^*} = \frac{v}{v_b} \cdot \frac{i^*}{i_b} = V_{pu} \cdot I_{pu}$$

انتخاب دو مقدار مبنا از چهار کمیت V_b و I_b و S_b و Z_b کفایت می‌کند و دو مقدار مبنای دیگر قابل محاسبه هستند معمولاً ولتاژ مبنا بر حسب KV و قدرت بر حسب MVA انتخاب می‌شوند سپس جریان مبنا بر حسب آمپر و امپدانس مبنا بر حسب اهم از روابط زیر تعیین می‌گردند.

(۱-۶)

$$I_b = \frac{s_b}{V} \times 10^3 \quad Z_b = \frac{V_b^2}{S_b}$$

۱-۲-۲-۱- مقادیر نسبت به واحد در سیستم‌های سه فاز

در سیستم‌های سه فاز کمیت‌های اصلی مورد بحث از دیدگاه مقادیر نسبت به واحد

عبارتنداز:

(۱) قدرت سه فاز بر حسب مگاوات آمپر MVA

(۲) ولتاژ خطی بر حسب کیلوولت KV

(۳) جریان خطی بر حسب آمپر A

(۴) امپدانس معادل يك فاز بر حسب اهم Ω

قدرت مبنای سه فاز S_b بر حسب مگاوات آمپر و ولتاژ مبنای خطی V_b بر

حسب کیلو ولت بعنوان مقادیر اولیه مبنا انتخاب می‌شوند. اگر S_{11} و S_{bp}

بترتیب قدرت مبنای يك فاز و ولتاژ مبنای فازی باشند جریان مبنا بر حسب آمپر

و امپدانس معادل يك فاز مبنا بر حسب اهم از روابط زیر بدست می‌آیند.

$$(۱-۷)$$

$$Z_b = \frac{V_{pb}^2}{S_{bi} \Phi} = \frac{(V_b / \sqrt{3})^2}{1/3 S_b} = \frac{V_b^2}{S_b}$$

$$(۱-۸)$$

$$Z_b = \frac{V_b^2}{S_b}$$

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} V_b} \times 10^3$$

قدرت مختلط در هر نقطه از سیستم قدرت بر حسب مقادیر نسبت به واحد مطابق

زیر تعیین می‌شود.

$$(۱-۹)$$

$$S_{pu} = \frac{S}{S_b} = \frac{\sqrt{3} V I^*}{\sqrt{3} V_b I_b} = \frac{V}{V_b} \cdot \frac{I}{I_b} = V_{pu} \cdot I_{pu}^*$$

رابطه (۹-۱) نشان می‌دهد که ضریب $\sqrt{3}$ در رابطه قدرت بر حسب ولتاژ و

جریان در سیستم نسبت به واحد حذف می‌شود. بهمین ترتیب در مورد قدرت

اکتیویک سیستم سه فاز داریم:

$$(۱-۱۰)$$

$$P = |V||I|\cos\Phi$$

در این رابطه $|V|$ ، $|I|$ دامنه ولتاژ خطی و جریان بر حسب Pu و قدرت اکتیو

سه فاز بر حسب Pu می‌باشد.

۳-۲-۱ تغییر مبنای مقادیر نسبت به واحد

بعضی اوقات امیدانس نسبت به واحد یک عنصری از سیستم قدرت در مبنای غیر

از مبنای انتخاب شده برای آن قسمت از سیستم داده می‌شود. چون همه امیدانس

های یک قسمت از سیستم باید بر حسب امیدانس مبنای آن قسمت بیان شوند،

بنابراین باید بتوان امیدانس‌ها را از مبنایی به مبنای دیگر تبدیل نمود اگر امیدانس

عنصری را بر حسب pu با Z_{pu} و بر حسب اهم با Z نشان دهیم داریم:

$$Z_{pu} = \frac{Z}{Z_b} = \frac{Z}{V_b^2 / S_b} = Z \frac{S_b}{V_b^2}$$

رابطه فوق نشان می‌دهد که امیدانس نسبت به واحد با قدرت مبنا نسبت مستقیم و

با توان دوم ولتاژ مبنا نسبت معکوس دارد. حال اگر امیدانس این عنصر در مبنای

قبلی (S_{bold} , V_{bold}) برابر Z_{puold} و در مبنای جدید (S_{bnew} , V_{bnew}) برابر

Z_{punew} باشد مقدار امیدانس نسبت به واحد در مبنای جدید از رابطه زیر بدست

می‌آید.

(۱-۱۱)

$$Z_{pu(new)} = Z_{pu(old)} \left(\frac{S_{b(new)}}{S_{b(old)}} \right) \left(\frac{V_{b(old)}}{V_{b(new)}} \right)^2$$

۱-۳-۱- نمایش سیستم‌های قدرت بصورت چند قطبی

۱-۳-۱-۱- مقدمه:

با وجود اینکه پارامترهای انتقال یک خط منفرد، با یک جفت خط با اتصال سری و یا موازی بصورت دو قطبی به سهولت انجام می‌شود ولی تجزیه و تحلیل سیستم‌های قدرت بزرگ، استفاده از پارامترهای Z یا پارامترهای Y ، به مراتب راحتتر است.

امروزه با توجه به اینکه یک سیستم قدرت شامل تعداد زیادی از ژنراتورها، ترانسفورماتورها، خطوط انتقال و شین‌ها می‌باشد. لذا استفاده از نرم افزار در محاسبات مختلف سیستم‌ها امری اجتناب ناپذیر است. برای تهیه شبیه‌سازی‌های نرم افزاری باید معادلات شبکه با توجه به عملکرد عناصر سیستم و مدار معادل آنها بررسی و آماده گردد. در این قسمت ماتریس‌های اصلی ادمیتانس شبکه که نشان دهنده نقش امپدانس‌های عناصر سیستم است معرفی شده و بعضی از کاربردهای آنها مورد بحث قرار می‌گیرد.

۱-۳-۲- تحلیل گرهی سیستم‌های چند قطبی:

شبکه‌ای مانند شکل (۱-۳) را که از عناصر ادمیتانس تشکیل شده است، در نظر می‌گیریم و فرض می‌کنیم که بین عناصر نشان داده شده بوسیله ادمیتانس هیچگونه تزویج مغناطیسی موجود نیست. گره صفر به عنوان گره مرجع انتخاب شده است و بقیه گره‌ها توسط ولتاژها و جریان‌های گره نشان داده شده‌اند.

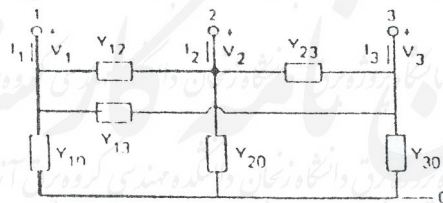
معادلات گره یا قانون جریان کیرشف (kcl) عبارتند از:

(۱-۱۲)

$$I_1 = y_{10} V_1 + y_{12} (V_1 - V_2) + y_{13} (V_1 - V_3)$$

$$I_2 = y_{20} V_2 + y_{12} (V_2 - V_1) + y_{23} (V_2 - V_3)$$

$$I_3 = y_{30} V_3 + y_{13} (V_3 - V_1) + y_{23} (V_3 - V_2)$$



شکل (۱-۳) نمایش يك شبکه چهار گرهی بوسیله ادمیتانس

با جمع کردن جملات مشابه خواهیم داشت:

$$(۱-۱۳)$$

$$I_1 = (y_{10} + y_{12} + y_{13})V_1 + (-y_{12})V_2 + (-y_{13})V_3$$

$$I_2 = (-y_{12})V_1 + (y_{20} + y_{12} + y_{23})V_2 + (-y_{23})V_3$$

$$I_3 = (-y_{13})V_1 + (-y_{23})V_2 + (y_{30} + y_{13} + y_{23})V_3$$

با فرض اینکه ادمیتانس نقطه تحریک قطب‌های ۱ و ۲ و ۳ از روابط زیر بدست می‌آیند.

$$Y_{11} = y_{10} + y_{12} + y_{13}$$

$$Y_{22} = y_{20} + y_{12} + y_{23}$$

$$Y_{33} = y_{30} + y_{13} + y_{23}$$

منابع:

۱-Modern power system Analysis

Kothari.

ترجمه: دکتر مهرداد عابدي

Nagrath

۲- modern power system Analysis

G.Rcross

ترجمه: دکتر مهرداد عابدي

۳-Elements of power system Analysis

Wiliam D.Stevenson

ترجمه: مهندس پیروز پروين، مهندس علي شاعري

۴-power system Behic R.Gungor