

طراحی بهینه ژنراتور سنکرون با توجه به دینامیک شبکه با بکارگیری روش تابع جریمه بیرونی

حمید لسانی
استاد تمام

محسن رضاقلی
کارشناس ارشد

محمد صادقی راد
دانشجوی دکترا

دانشکده فنی دانشگاه تهران
msadeghierad@yahoo.com

کلمات کلیدی: دینامیک شبکه، بهینه سازی، طراحی ژنراتور، آنالیز حساسیت

چکیده

در این مقاله ما میخواهیم ژنراتور را (در مرحله ساخت نیروگاه) بگونه ای طراحی کنیم که بهترین پارامترها را از دیدگاه دینامیک شبکه داشته باشد. (در طراحی ماشین سنکرون پارامترهای زیادی دخالت دارند. و این پارامترها در پاسخ دینامیکی سیستم دخیل هستند) پس از یافتن این پارامتر مرحله بعدی پیدا کردن ارتباط این پارامتر است با ابعاد ماشین البته منظور از ابعاد تنها D , L ماشین نیست بلکه تعداد قطب، تعداد شیارها و عمق و پهنای شیارها نیز می توانند بصورت مستقیم با این پارامتر در ارتباط باشد.

جهت طراحی بهینه با استفاده از روش تابع جریمه بیرونی Zangwill بهینه سازی مورد نظر را به یکسری مسائل بهینه سازی غیر مقید تبدیل نموده و به راحتی بهینه خواهیم نمود.

مقدمه

همانطور که میدانیم، مباحث دینامیک شبکه امروزه از مباحث مطرح در صنعت برق می باشد ، بگونه ای در هر

کنفرانس و مجله معتبر ، مقاله ای در مورد روشهای بهبود پایداری به چشم می خورد، اما در این مقاله ما می خواهیم به دیدگاه دیگر به این موضوع بپردازیم.

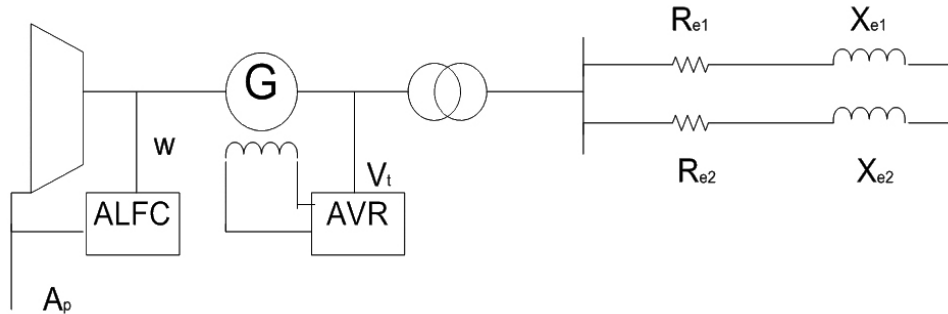
در این مقاله ما میخواهیم ژنراتور را (در مرحله ساخت نیروگاه) بگونه ای طراحی کنیم که بهترین پارامترها را از دیدگاه دینامیک شبکه داشته باشد از آنجائیکه در طراحی ماشین سنکرون پارامترهای زیادی دخالت دارند. و این پارامترها در پاسخ دینامیکی سیستم دخیل هستند. لذا برای آنالیز پاسخ یک ژنراتور طراحی شده با پاسخ دینامیکی خاص ابتدا پس از مدل سازی سیستم یک آنالیز حساسیت روی پارامترهای ماشین و اثرات آنها روی ثابت های زمانی استاندارد ماشین انجام می دهیم

پس از یافتن این پارامتر مرحله بعدی پیدا کردن ارتباط این پارامتر است با ابعاد ماشین البته منظور از ابعاد تنها D , L ماشین نیست بلکه تعداد قطب، تعداد شیارها و عمق و پهنای شیارها نیز می توانند بصورت مستقیم با این پارامتر در ارتباط باشد.

محورهای d , q بصورت یک سیستم درجه ۱۱ مدل سازی شده است. (شکل ۱)

۱- مدل سازی سیستم قدرت

در اینجا یک سیستم قدرت شامل ژنراتور، حلقه های AVR, ALFC و خط انتقال و باس بی نهایت به کمک تئوری جامع ماشین های الکتریکی و همچنین تئوری



شکل (۱) سیستم قدرت

R_{kq} = Quadrature axis damper Resistance
 $X_{md} = \omega_o L_{md}$ = direct axis magnetizing reactance
 $X_{mq} = \omega_o L_{mq}$ = Quadrature axis magnetizing reactance
 $X_a = \omega_o L_a$ = Armature Leakage Resistance
 $X_{kd} = \omega_o L_{kd}$ = direct axis damper Leakage reactance
 $X_f = \omega_o L_f$ = field Leakage reactance
 $X_{kq} = \omega_o L_{kq}$ = Quadrature axis damper
 $X_{ex} = X_e + X_t = L_{ine}$ and transformer reactance
 $R_{ex} = R_e + R_t = L_{ine}$ and transformer resistance

در این مدل ۵ متغیر حالت مربوط به معادلات الکتریکی و ۲ متغیر مربوط به معادلات مکانیکی و ۲ متغیر حالت برای مدل مدار الکتریک تحریک و دو متغیر حالت برای مدل توربین و گاورنر خواهد بود که جمعاً سیستم از درجه ۱۱ می باشد. [۲] [۳]

این ۱۱ حالت متغیر عبارتند از:

$$X = [X_1 \ X_2 \ X_3 \ X_4 \ X_5 \ X_6 \ X_7 \ X_8 \ X_9 \ X_{10} \ X_{11}]^T$$

$$X = [0 \ \sigma \ \omega_o \psi_d \ \omega_o \psi_f \ \omega_o \psi_{kd} \ \omega_o \psi_q \ \omega_o \psi_{kq} \ v_e \ v_f \ A_p \ T_m]^T$$

مدل کامل سیستم قدرت بصورت معادلات حالت $X^0 = [A] X + [B] U + G(x)$ است که عبارتند از:

این سیستم دارای ۱۱ متغیر حالت و دو ورودی (تحریک و گاورنر) می باشد. زاویه δ (rotor Angle) هم به عنوان خروجی سیستم در نظر گرفته شده است. این سیستم را می توان بصورت:

$$X^0 = AX + BU + G(x)$$

$$Y(t) = \delta(t) = CX$$

نشان داد. که در آن A یک ماتریس $11 * 11$, B یک ماتریس $2 * 11$, C یک بردار $11 * 1$ می باشد. $G(x)$ هم یک بردار $11 * 1$ است که به حالت های سیستم بستگی دارد. وجود بردار $G(x)$ باعث غیرخطی شدن سیستم می باشد. این سیستم غیرخطی درجه ۱۱ توسط نرم افزار روی کامپیوتر مدل سازی شده است. برای تحلیل سیستم ۱۱ متغیره نیاز به حل معادلات حالت که خود صورتی از معادلات دیفرانسیلی هستند می باشد. لذا به شرایط اولیه سیستم احتیاج می باشد.

برای بررسی و تحلیل سیستم فوق در $t = 0.1$ s یک اتصال کوتاه سه فاز متقارن در ترمینالهای ژنراتور اعمال کردیم این حالت در $t = 0.2$ ثانیه برداشته شد. و سپس پاسخ سیستم به این فالت را بررسی نموده ایم.

پارامترهای اساسی به صورت زیر است:

R_a = Armature Resistance

R_f = field "

R_{kd} = direct axis damper Resistance

قبل از هرگونه شرایط بحرانی مشخص گردد. برای یک سیستم قدرت که در حالت نرمال کار می کند سه پارامتر اساسی آن قابل شناسائی است.

$$1- \text{ولتاژ ترمینال } V_t - 2- \text{توان اکتیو } P - 3- \text{توان راکتیو } Q$$

محاسبه تمامی پارامترهای دیگر سیستم براساس اسن سه کمیت قابل انجام است و اصول اساسی این محاسبه بر پایه تئوری ماشین سنکرون است.

۳. بررسی تغییر پارامترهای ماشین و اثر آن بر ثابت زمانی گذرا و زیر گذرا

از آنجائیکه در طراحی ماشین سنکرون پارامترهای زیادی دخالت دارند. و این پارامترها در پاسخ دینامیکی سیستم دخیل هستند. لذا برای آنالیز پاسخ یک ژنراتور طراحی شده با پاسخ دینامیکی خاص ابتدا پس از مدل سازی سیستم یک آنالیز حساسیت روی پارامترهای ماشین و اثرات آنها روی ثابت های زمانی استاندارد ماشین انجام می دهیم. بدیهی است بعلت کثرت پارامترهای ماشین نمی توان اثرات همگی را در طراحی گنجانند. لذا ما در بین این پارامترها یک پارامتر را که غالباً اثر بیشتری روی ثابت های زمانی دارد انتخاب می کنیم این پارامتر طبعاً باید دارای ویژگی خاص باشد از آن جهت که تغییرات آن روی ثابت های زمانی های ماشین اثرات بیشتری بگذارد.

برای بررسی تأثیر پارامترهای ماشین روی ثابت های زمانی، در حالت مدار باز با تغییر یک پارامتر و ثابت قراردادن سایر پارامترها تغییر ثابت زمانی مدار باز را بررسی می کنیم. برای این منظور با تغییر مقایر r_f و X_{lf} و X_{md} تأثیر تغییرات آنها را روی ثابت زمانی حالت گذاری مدار باز انجام می دهیم.

با انجام بیش از ۲۰ آزمایش از جمله ۶ آزمایش زیر :

با کاهش مقدار R_f ثابت زمانی گذرا مدار باز بطور خطی افزایش می یابد.

با کاهش مقدار X_{lf} ثابت زمانی گذرا مدار باز بطور خطی کاهش می یابد.

۱. معادلات دینامیک الکترومغناطیسی ماشین :

$$\omega \psi_d = [Z1] \omega \psi_d + \omega V_d$$

$$[Z1] = \omega [R_{gd}] [Y_{gd}]$$

$$\omega \psi_q = [Z2] \omega \psi_q + \omega V_q$$

$$[Z2] = -\omega [R_{gq}] [Y_{gq}]$$

$$\omega \psi_q = [\omega \psi_d \quad \omega \psi_f \quad \omega \psi_{kd}]^T ,$$

$$V_d = [(V_{bd} - \omega \psi_q + \psi_q \sigma) \quad V_f \quad 0]^T$$

$$\omega \psi_d = [\omega \psi_d \quad \omega \psi_f \quad \omega \psi_{kd}]^T ,$$

$$V_q = [(V_{bq} - \omega \psi_d + \psi_d \sigma) \quad 0]^T$$

که ماتریس های $[R_{gd}]$ و $[R_{gq}]$ برابر زیر است.

$$[R_{gd}] = \begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 \\ 0 & R_f & 0 \\ 0 & 0 & R_{kd} \end{bmatrix}, [R_{gq}] = \begin{bmatrix} R_a & 0 \\ 0 & R_{kq} \end{bmatrix}$$

اگر دو متغیر حالت را برای معادلات مکانیکی σ ، σ^0 در نظر بگیریم می توان معادله فوق را بصورت زیر نوشت :

$$\begin{bmatrix} \sigma^0 \\ \sigma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{D}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma \\ \sigma^0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{T_e - T_m}{J} \end{bmatrix}$$

با استفاده از این مدل تحریک داریم :

$$\begin{bmatrix} V_e' \\ V_f^o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ T_a & -1 \\ -G_e & T_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_e \\ V_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{G_a}{T_a} (V_R - V_t + U_1) \\ 0 \end{bmatrix}$$

به کمک این مدل توربین و گاورنر داریم :

$$\begin{bmatrix} A_p^o \\ T_m^o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ T_v & -1 \\ -1 & T_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_p \\ T_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{G_g}{T_v} \sigma + \frac{P_{ref} + U_2}{T_v} \\ 0 \end{bmatrix}$$

از آنجائیکه روش حل معادله دیفرانسیل ایجاب میکند که شرایط اولیه سیستم مشخص باشد لازم است حالت دائمی

یک طراحی بهینه [۴]، از فرموله کردن مسئله و یک روش NLP و حل آن با استفاده از یک تکنیک مناسب عددی بدست می آید. یک مسئله NLP مستلزم داشتن تابع هدف و توابع قید و متغیرهای مستقل است. برای طراحی یک ژنراتور سنکرون، تابع هدف می تواند ارزش مواد اساسی با وزن ژنراتور یا جمع مبلغ سرمایه ثابت بعلاوه ارزش جاری مقرر شده ژنراتور باشد.

در مثال ما ارزش مواد اساسی شامل ارزش آهن و مس، تابع هدف را تشکیل می دهند این مقدار می نیمم شده، به همراه نگه داشتن ارزش جاری درحد محدودی بوسیله اعمال محدودیت روی دما و راندمان شبیه سازی می شود.

برای طراحی یک ژنراتور، پارامترهای اساسی و مشخص اولیه، عبارتند از:

- ۱- خروجی ژنراتور
- ۲- ضریب قدرت
- ۳- فرکانس
- ۴- ولتاژ ترمینال

البته سرعت رتور بسته به نوع استفاده از انرژی مکانیکی جهت گرداندن محور ژنراتور در محدوده وسیعی تغییر می کند. بدین صورت که برای ژنراتورهای با توربین های آبی مقداری کم و تعداد قطب های زیاد را ایجاب می کند لذا طبعاً از قطب های برجسته استفاده می شود. در توربوژنراتورها سرعت بالا و معمولاً دارای دو قطب می باشند و از قطب صاف یا استوانه ای استفاده می شود.

معمولاً ابعاد اصلی ژنراتور، قطر فاصله هوایی، طول استاتور براساس محدودیت های زیر انتخاب می شوند.

- ۱- سرعت محیطی
- برای ژنراتور با قطب برجسته حدود ۴۰ متر بر ثانیه
- برای ژنراتور با قطب صاف حدود ۱۵۰ متر بر ثانیه
- ۲- هدایت الکتریکی یا آمپراهیها بر متر حدود ۵۰۰ تا ۳۰۰
- ۳- هدایت مغناطیسی یا متوسط چگالی شار مغناطیسی در فاصله هوایی در حدود ۰.۶ و بر بر متر مربع
- ۴- نسبت طول ژنراتور به گام قطب در حدود ۳ تا ۱

با کاهش مقدار X_{md} ثابت زمانی گذرا مدار باز بطور خطی کاهش می یابد.

با کاهش مقدار R_f ثابت زمانی مدار اتصال کوتاه بطور غیرخطی افزایش می یابد.

با کاهش مقدار X_{lf} ثابت زمانی مدار اتصال کوتاه بطور خطی کاهش می یابد.

با کاهش مقدار X_{md} ثابت زمانی گذرا مدار باز غیرخطی کاهش می یابد.

* برای مقادیر X_{md} بزرگتر از ۰.۴ P.U افزایش ثابت زمانی به صورت غیرخطی است.

مشاهده می شود که X_{md} در مدار اتصال کوتاه گذرا و مدار باز زیرگذرا شدید غیرخطی می باشد بخصوص برای مقادیر $X_{md} > 0.4$ P.U بعنوان پارامتر غالب روی ثابت های زمانی انتخاب می شود.

ارتباط پارامتر غالب با طراحی اجزاء ماشین:

برای افزایش مقاومت القائی پراکندگی باید شیارهای عمیق بکاربرد و برای این منظور فضائی بنام مقاومت القائی در بالای شیار در نظر گرفته شده را افزایش می دهیم و یا از پهنای شیار کاسته و به ارتفاع آن می افزائیم (تا حد ممکن). لذا برای داشتن یک طراحی با پاسخ خاص گذرا دارای قید زیر خواهیم بود که X_s باید از مقدار خاصی بزرگتر شود که این قید در بندهای طراحی بهینه گنجانده می شود.

۴. طراحی بهینه ژنراتور

پس از یافتن این پارامتر (پارامترهایی که غالباً اثر بیشتری روی ثابت های زمانی دارند) مرحله بعدی پیدا کردن ارتباط این پارامتر است با ابعاد ماشین البته منظور از ابعاد تنها D, L ماشین نیست بلکه تعداد قطب، تعداد شیارها و عمق و پهنای شیارها نیز می توانند بصورت مستقیم با این پارامتر در ارتباط باشد.

مرحله بعد مقدمات طراحی بهینه است باتوجه به قید جدیدی که از مرحله قبل بدست آمده در این بخش متغیرهای ماشین که در طراحی بکار می رود و قیدها و محدودیت های ماشین عنوان می گردد.

به منظور بهینه سازی ۱۲ متغیر بالا با مقادیر پیوسته در کنار مقادیر، تعداد شیارها و سطح هادیهای استاتور و تعداد دور بر فاز که بصورت غیرپیوسته هستند، سرو کار داریم.

همچنین منگنه کردن لایه های اجزاء استاتور بعنوان متغیر پیوسته فرض شده است. از نظر در دسترس بودن تعداد زیادی از هادیها و منگنه کردن اجرائی که خیلی نزدیک به یکدیگر هستند. این فرض را آنجا آمده است که متغیرها یک تغییرات پیوسته غیر مقیدی را که طراحی بهینه مناسبی را بدست می آورد، نتیجه می دهد.

تابع هدف برحسب ۱۲ متغیر مستقل فوق بسط داده می شود. توابع پیوسته بیشتر برحسب پارامترهای مدار معادلی که برحسب متغیرهای مستقل بسط داده شده اند، بسط داده می شوند. شکل مجراهای تهویه و فاصله آنها با یکدیگر در طراحی ثابت در نظر گرفته شده و تعداد آنه فقط محاسبه می گردد.

تابع هدف :

تابع هدف بصورت مجموع ارزش آهن و ارزش مس تعریف می گردد.

$$F = \text{cost of iron} + \text{cost of copper}$$

$$\text{حجم آهن} = C_1 * \text{ارزش آهن}$$

$$\text{حجم مس} = C_2 * \text{ارزش مس}$$

که در آنها :

$$C_1 = \text{ارزش واحد حجم آهن}$$

$$C_2 = \text{ارزش واحد حجم مس}$$

$$\text{حجم مس} = \pi (D + 2h_s + 2D_c) L + 2D_c \pi (D + 2h_s + D_c) + \pi DL + 2N_v D_c \pi (D + 2h_s + D_c) \quad (4-2)$$

که در آن :

$$\text{حجم آهن} = SL_i d_s W_t + \pi L_i d_s D_o \quad (4-3)$$

$$D_1 * \text{حجم آهن} = \text{وزن آهن}$$

$$D_2 * \text{حجم مس} = \text{وزن مس}$$

که در آن :

$$D_1 = \text{وزن واحد حجم آهن}$$

$$D_2 = \text{وزن واحد حجم مس}$$

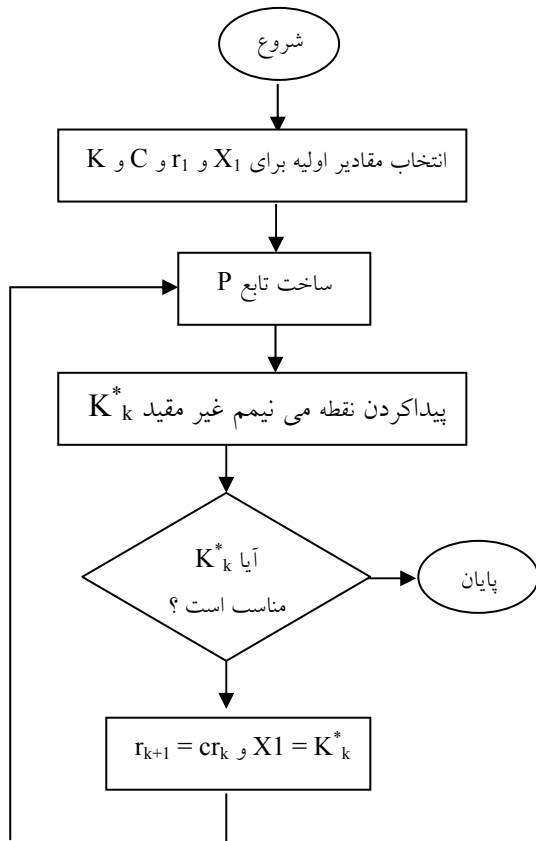
تلفات آهن - مس ژنراتور توابعی از چگالی شار و آهن و چگالی جریان در هادیهای استاتور هستند. بنابراین چگالی ها اغلب یک قید را بطور غیزمستقیم روی راندمان ژنراتور دارند. همچنین اشباع در مدارمغناطیسی استاتور که بوسیله گذاشتن یک محدودیت بالاتر روی چگالی شار مغناطیسی در دندانها های استاتور و یوغ کنترل می شوند. این کنترل نیز می تواند توسط حداکثر و حداقل پهنای شیار استاتور اعمال گردد. بعلاوه مدار مغناطیسی استاتور را خطی فرض می کنیم. گذشته از محدودیت فوق قیدهایی زیر را در طی طراحی باید مدنظر داشت.

۱. چگالی جریان در هادیهای استاتور و تحریک
 ۲. ماکزیمم چگالی شار مغناطیسی در دندانها های استاتور، هسته و یوغ
 ۳. درصد رگولاسیون
 ۴. متوسط دمای هادیها
 ۵. راندمان
 ۶. پاسخ دینامیکی ماشین یا پایداری سیستم
- بعد از مشخص شدن توابع قید و قیدها و محدودیت های طراحی می باید متغیرهای مستقلی را انتخاب کنیم مجموع متغیرهای یک ژنراتور بسیار زیاد است. انتخاب تمامی متغیرهای موجود برای مسئله بهینه سازی عملی نیست. دوازده متغیر مستقل زیر را برای مسئله طراحی انتخاب می کنیم.

نام	علامت متغیر	نام سمبل
۱- قطر روتور	D	X(1)
۲- طول هسته	L	X(2)
۳- تعداد شیارهای استاتور	N _s	X(3)
۴- عمق شیار استاتور	h _s	X(4)
۵- پهنای شیار استاتور	w _s	X(5)
۶- ماکزیمم چگالی شار در فاصله هوایی	B _y	X(6)
۷- تعداد دور برفاز	T _{ph}	X(7)
۸- عمق یوغ	Y _d	X(8)
۹- عمق هسته	D _c	X(9)
۱۰- طول فاصله هوایی	I _g	X(10)
۱۱- ارتفاع قطب	H _p	X(11)
۱۲- پهنای قطب	W _p	X(12)

آنالیز طراحی: [1] [5][6] [7]

آنالیز طراحی برای یک ژنراتور سنکرون در حالت پایدار و بار کامل محاسبه می شود. این اطلاعات در هر مرحله برنامه بهینه سازی برای تعیین مقادیر تابع هدف و قیدها بدست می آیند. برنامه آنالیز طراحی همچنین زاویه رتور، گشتاور مکانیکی، گشتاور الکتریکی و ولتاژ ترمینال را در بار کامل و ضریب قدرت مشخص محاسبه می کند.



شکل ۲: فلو چارت الگوریتم بهینه سازی

اگر بخواهیم کمی درباره روند منطقی برنامه صحبت کنیم ابتدا باید از خواندن اطلاعات اولیه ماشین سنکرون که ورودیهای برنامه هستند و شامل خروجی ژنراتور، ولتاژ ترمینال ژنراتور، فرکانس ژنراتور که مقدار 50 فرض می شود و سرعت آن R.P.M و همینطور اطلاعاتی در مورد محل نصب ژنراتور نظیر مشخصات ترانسفورماتور و خط انتقالی متصل به ماشین بی نهایت، شروع می شود. سپس به خواندن مقادیر اولیه متغیرهای طراحی که مقادیر فرضی و معقول می باشند و همینطور خواندن منحنی های تلفات که شرح آنها

می باشند.

اگر $C_1 = C_2 = 1$ باشد تابع هدف با وزن رتور رابطه خواهد داشت.

هرگاه $C_1 = C_2 = D_1 = D_2 = 1$ باشد، تابع هدف حجم ماده استفاده شده در ژنراتور را بدست می دهد. بنابراین، این بیان برای F عمومیت دارد و می توان با انتخاب مناسب ثابت های C_1 و C_2 و D_1 و D_2 تابع شایسته ای را برای F داشته باشیم.

حل مسئله NLP [5]

حالا که مسئله طراحی بصورت یک مسئله NLP فرموله شده است باید بوسیله یکی از روشهای بهینه سازی ، نقطه ایتیم را بدست آورد. [۸و۹و۱۰و۱۱] با استفاده از روش تابع جریمه بیرونی Zangwill به یکسری مسائل بهینه سازی غیر مقید تبدیل خواهد شد. الگوریتم این روش بشرح زیر است :
 مرحله ۱) انتخاب مقادیر اولیه برای X_1 و r_1 و C و K را بعنوان تعداد تکرار می گیریم.

مرحله ۲) ساختار تابع P که بعنوان تابع هدف هم فرض شده است بصورت

$$P(X,r_k) = F(x) + r_k \sum_{i=1}^l [g_i(x)]^2$$

مرحله ۳) پیدا کردن نقطه می نیمم غیر مقید K^*_k از $P(X,k)$
 مرحله ۴) توقف برنامه اگر K^*_k مناسب باشد. در غیر اینصورت به مرحله ۵ برویم.

مرحله ۵) قرارداد $X1 = K^*_k$ و $r_{k+1} = cr_k$ افزایش K و رفتن به مرحله ۲

فلوچارت این الگوریتم در شکل (۲) آمده است.

مرحله ۳ را می توان بوسیله بکارگیری پنج روش بهینه سازی که قابل اعمال برای طراحی بهینه یک ماشین الکتریکی می باشد پیش برد:

○ روش جستجوی تصادفی

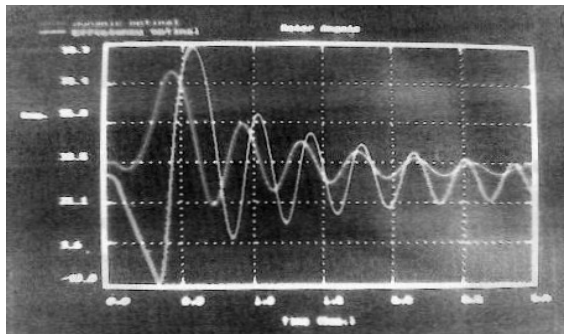
○ روش Simplex

○ روش Hooke and Jeeves

○ روش Powell

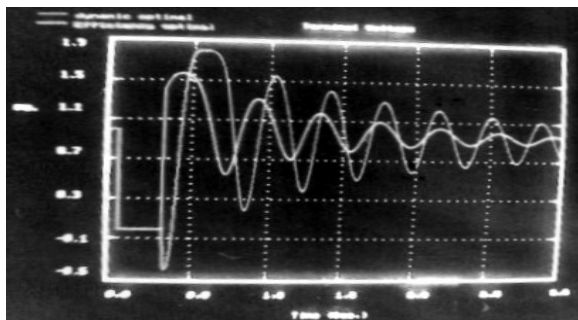
○ روش DFP

- ۵- رآکتانس خازن (بطور نسبی شده) 1
- ۶- رآکتانس خط متصل به شبکه بی نهایت (بطور مشخص شده) 1.
- ۷- ضریب قدرت 0.85
- فرکانس شبکه نیز ۵۰ هرتز می باشد.
- در شکل 3 پاسخ دینامیکی زاویه رتور برحسب زمان در دو حالت طراحی بهینه دینامیکی و طراحی بهینه راندمان با رنگ قرمز و سبز نشان می دهد.



شکل ۳: پاسخ دینامیکی زاویه رتور برحسب زمان

- همانطور که مشاهده می شود. در طراحی بهینه دینامیکی دو مزیت اساسی بچشم می خورد.
- ۱- کاهش میزان دامنه اولیه نوسان در حالت طراحی بهینه دینامیکی که بیانگر کاهش مقدار X_d است.
 - ۲- میرایی سریع در حالت طراحی بهینه دینامیکی که بیانگر پاسخ بهتر نسبت به طراحی بهینه راندمان است.
- شکل ۴ پاسخ دینامیکی گشتاور الکتریکی را در حالت طراحی بهینه دینامیکی و طراحی بهینه راندمان با رنگ قرمز و سبز نشان می دهد. پاسخ به رنگ قرمز نسبت به پاسخ به رنگ سبز کاملاً مشهود است.



شکل ۴: پاسخ دینامیکی گشتاور مکانیکی

در این بخش آمده است، ادامه یابد و نهایتاً با خواندن منحنی های B-H که می توان در شکل های 4-8 تا 4-12 ملاحظه کرد ادامه یابد.

مشخصات سیستم تهویه و مشخصات مسیرهای تهویه نیز باتوجه به خروجی ژنراتور قابل تعیین می باشد. لذا در این قسمت کلیه اطلاعات اولیه طراحی بدست آمده است.

گام بعدی مشخص کردن تابع هدف و توابع قید بود که شرح آن رفت.

۵- بررسی نتایج طراحی

در یک بررسی اجمالی دیده می شود که افزایش چگالی شار متوسط کاهش راندمان را به همراه دارد و از نظر اقتصادی داشتن ژنراتور با راندمان کم بصرفه نیست. کاهش مقاومت القائی سنکرون یا کاهش X_d هم از نظر پایداری مفید است و هم بطور غیرمستقیم نسبت اتصال کوتاه را افزایش می دهد. و اثر آنرا روی رگولاسیون که بصورت منفی ظاهر می شود می توان توسط قید در قسمت قیدهای برنامه طراحی گنجانند. و یا اعمال یک محدودیت دیگر روی توابع قید می توان فاصله هوایی را در حد معمولی نگه داشت. که از نظر رگولاسیون مشکل آفرین نباشد. و نهایتاً با انتخاب مناسب بارگیری الکتریکی و توان به هدف پایداری رسید. بنابراین در حل عوامل مؤثر بر پاسخ دینامیکی ماشین سنکرون می توان X_d را که شامل $X_1 + X_{md}$ است بعنوان یکی از پارامترهای مؤثر در تمامی آنها معرفی کرد و دیده می شود که مقدار مقاومت القائی سنکرون می تواند بعنوان یک متغیر مشتقل عنوان گردد و لذا صحت انتخاب این پارامتر را در فصل دوم که از روی منحنی های حساسیت بدست آمده بود را گواهی می کند. در اینجا به بحث پیرامون پاسخ دینامیکی مسئله طراحی می پردازیم.

مسئله طراحی عبارتند از طراحی یک ژنراتور سنکرون با مشخصات زیر :

۱- قدرت 200 MVA

۲- ولتاژ ترمینال خط به خط 20 KV

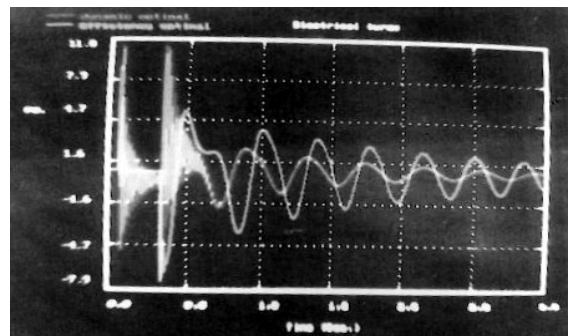
۳- فاکتور میرائی 0.50

۴- سرعت 3000 دور بر دقیقه

مراجع

- [۱] A.K.Sawhney, "طراحی جامع ماشین های الکتریکی"، ترجمه دکتر حمید لسانی، چاپ اول، دانش و فن، ۱۳۶۱
- [2] Paul C.Krause, "Analysis of Electric Machinery", First Edition, Mc Graw-Hill, 1986
- [۳] P.Sh.Kundur, "پایداری و کنترل سیستمهای قدرت"، ترجمه دکتر حسین سیفی و دکتر علی خاکی صدیق، چاپ اول، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۶
- [۴] S.S.Rao "بهینه سازی (تئوری و کاربرد)" ترجمه سید محمد مهدی شهیدی پور، دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول، ۱۳۷۳
- [5] H.M.Rai, "Principles of Electrical Machines Design", second Edition, smt.sumitra Handa, New Dehli, 1988
- [6] M. Ramamoorty, "Computer-Aided Design of Electrical Equipment", Second Edition, Affiliated East-West Press PVT, New Dehli, 1988
- [7] Taylor Lyman And Other, "Metals Handbook", 8th Edition, American Society for for Metals, 1961
- [8] Back,T., Hammel,U., Schwefel,H.P. ,"Evolutionary computation: common on the history and current state", IEEE Trans. On Evolut. Comp. , 1997, Vol. 1, No. 1, pp.3-17
- [9] Alloto,P.G. ,et.al "Stochastic algorithms in electromagnetic optimization", IEEE Trans. On Magnetics, 1998, Vol. 34, No. 5, pp. 3674-3684
- [10] Burerat,S., Cooper,J.E. "Evolutionary methods for the optimization of Engineering system" IEE Colloquium on optimization in control methods and applications, 1998, 1/1-110

شکل ۵ ولتاژ ترمینال ژنراتور را در طول زمان در دو حالت بهینه دینامیکی و بهینه راندمان یا در رنگ قرمز و سبز نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود گذشته از میراثی سریعتر پاسخ قرمز رنگ، در حالت سبز دارای اضافه ولتاژ تا حدود ۱۰۵ ولتاژ نامی خواهیم بود که در مقایسه با پاسخ دینامیکی طراحی قابل توجه است. از آن گذشته شکل ولتاژ در حالت طراحی دینامیکی کاملاً مشهود است.



شکل ۵: پاسخ دینامیکی ولتاژ ترمینال ژنراتور

در نهایت مشاهده می شود که پاسخ دینامیکی مسئله طراحی کاملاً رضایت بخش بوده و از نظر برآورده شدن توابع قید نیز مشکلی مشاهده نشده است.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله به بحث بهبود دینامیک شبکه از دیدگاهی نوین پرداختیم. در اینجا طراحی بهینه یک ژنراتور (در مرحله ساخت نیروگاه) ارایه شد با این دیدگاه که بهترین پارامترها را از دیدگاه دینامیک شبکه داشته باشیم. در حقیقت یک قید جدید به قیود متداول طراحی اضافه نمودیم و سپس با روشهای بهینه سازی توانستیم ژنراتور مورد نظر را طراحی کنیم.

این موضوع سبب می شود تا بتوان در مرحله طراحی و ساخت نیروگاه با درایت و آینده نگری بگونه ای ژنراتور را طراحی نمود که بهترین پارامترها را از دیدگاه دینامیک شبکه داشته باشیم.