

# افزایش پایداری ژنراتور سنکرون توسط انباره انرژی مغناطیسی ابرسانایی هنگام اتصال کوتاه

<sup>۱</sup> هومن اکبرزاده خشکه رود، <sup>۱</sup> محمد هادی ورهرام، <sup>۲</sup> سپهر سلطانی

hooakb@mehr.sharif.edu، varahram@sharif.ed، sep\_soltani@iaus.ac.ir

<sup>۱</sup> دانشگاه صنعتی شریف، <sup>۲</sup> دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار

کلمات کلیدی: SMES، کنترلر PI، شبیه سازی کامپیوتری

## چکیده

در این مقاله یک روش سیستماتیک برای طراحی کنترلر واحد انباره انرژی مغناطیسی ابرسانایی (SMES) برای بهبود پایداری دینامیکی سیستم قدرت ارائه می شود. طرح ایجاد شده یک کنترلر انتگرالی تناسبی (PI) را برای افزایش میرایی نوسانات مُد الکترومکانیکی ژنراتور سنکرون استفاده می کند. پارامترهای کنترلر PI با روش انتقال قطبها بر اساس تئوری مُدال تعیین می شود. تحلیل مقادیر ویژه و شبیه سازی غیر خطی کامپیوتری نشان می دهد که SMES با کنترلر PI می تواند به مقدار زیادی میرایی سیستم را تحت تغییرات شرایط عملیاتی بهبود بخشد.

## مقدمه

نوسانات فرکانس پائین اغلب در مورد ژنراتورهایی که با خط انتقال طولانی به بار متصل هستند در هنگام بروز اغتشاش که میتواند تغییر ناگهانی بار یا اتصال کوتاه در سیستم باشد، بروز می کنند. این نوسانات در اثر مدهای الکترومکانیکی بروز کرده و دارای میرایی کم یا منفی هستند اگر نتوانیم این نوسانات را به مقدار کافی میرا کنیم، ژنراتور سنکرون نخواهد توانست به حالت دائمی کار خود برگردد [۱]؛ ضمن آنکه اگر این نوسانات برای مدت چند دقیقه ادامه پیدا کند سبب تجزیه <sup>۱</sup> سیستم می گردد [۲]. برای بهبود پایداری در چنین

شبکه هایی روشهای گوناگونی پیشنهاد می شود که میتوان از پایدار ساز سیستم قدرت <sup>۲</sup> PSS که از طریق سیستم تحریک برای بهبود پایداری سیستم عمل میکند [3-7]، سیستم توربین و گاورنر <sup>۳</sup> [8]، جبران ساز استاتیکی توان راکتیو <sup>۴</sup> SVC [9-10] و یا جابجا کننده فاز <sup>۵</sup> [11] نام برد. ذخیره کننده های انرژی نیز یکی از راهای میرا کردن نوسانات فرکانس پایین است. انواع مختلفی از ذخیره سازهای انرژی وجود دارند از قبیل ذخیره کننده انرژی هیدروپمپ <sup>۶</sup>، ذخیره کننده انرژی هوای فشرده <sup>۷</sup>، باتری و ذخیره کننده انرژی جنبشی <sup>۸</sup> می باشند، که همه آنها به طور ذاتی کند می باشند [12]. در تمام این موارد انرژی باید از فرم الکتریکی به مکانیکی یا به شیمیایی تبدیل شود و سپس به فرم الکتریکی برگردد. چنین پروسه های تبدیلی بطور ذاتی دارای بازده کم و سرعت پایینی می باشند. دیگر ذخیره ساز انرژی که از اوایل دهه هفتاد با ظهور ابرساناها و وسعت استفاده آنها در صنعت برق مورد توجه قرار گرفت ذخیره ساز انرژی مغناطیسی ابرسانایی <sup>۹</sup> SMES، می باشد [13]. به دلایل زیر SMES

<sup>2</sup> Power System Stabilizer

<sup>3</sup> Governor and Turbine System

<sup>4</sup> Static VAR Compensator

<sup>5</sup> Phase Shifter

<sup>6</sup> Pumped Hydro Energy Storage

<sup>7</sup> Compressed Air Energy Storage

<sup>8</sup> Kinetic Energy Storage

<sup>9</sup> Superconducting Magnetic Energy Storage

<sup>1</sup> separation

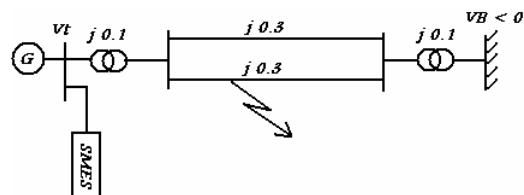
برای فرونشاندن ناپایداریهای سیستم قدرت نسبت به سایر موارد برتری دارد

- ۱- عملکرد سریع آن سبب می شود انتقال قدرت حتی بدون کسری از ثانیه صورت گیرد.
- ۲- می توان آن را در محلهای استراتژیک برای بدست آوردن بالاترین بهره قرار داد.
- ۳- می توان از آن برای کنترل همزمان توان اکتیو و راکتیو استفاده کرد.
- ۴- تلفات توان در کویل ابرسانا بسیار ناچیز است. [14]

در این مقاله نشان می دهیم که واحد SMES قادر است با تبادل توان اکتیو و کنترلر تناسبی انتگرالی (PI) با انتقال قطبهای مد الکترومکانیکی میرایی نوسانات زیرسنکرون توربین-ژنراتور و حدود پایداری گذرا را افزایش دهد. ضرایب کنترلر PI را با شیفت مدهای پیچشی به چندین محل از پیش تعیین شده در یک بار خاص به روش تئوری کنترل مدال بدست می آوریم. نشان میدهم در بارهای بزرگتر که بر اثر یک اغتشاش بزرگ نوسانات زیرسنکرون میرایی منفی دارد و سیستم به شرایط پایدار خود بر نمی گردد، واحد SMES باعث حفظ پایداری سیستم می شود [15-16].

### توصیف مدل سیستم

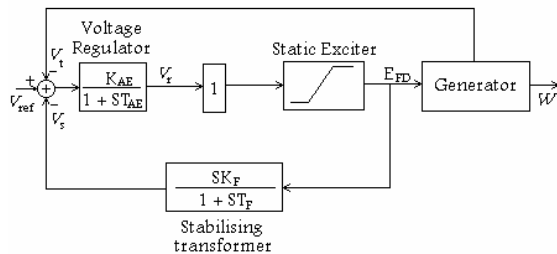
شکل ۱ سیستم مورد مطالعه را جهت شبیه سازی نشان می دهد. که در آن ژنراتور سنکرون، از طریق یک ترانسفورماتور در ترمینال خود و دو خط انتقال موازی و یک ترانسفورماتور در باس بینهایت به شبکه متصل است.



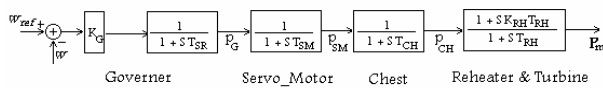
شکل ۱: سیستم مورد مطالعه

واحد SMES در باس ترمینال ژنراتور استفاده شده تا میرایی مد پیچشی را افزایش دهد.

سیستم تحریک شکل ۲ جریان تحریک ژنراتور را تغذیه می کند. سیستم گاورنر و توربین نیز در شکل ۳ نشان داده شده است. رفتار دینامیکی ژنراتور توسط معادلات کامل غیر خطی توصیف می شود. این معادلات شامل سیستم جرم-فنر، سیمپیچهای آرمیچر و میدان، سیستم تحریک، سیستم توربین و گاورنر و خط انتقال است. با ساده سازی مدل ژنراتور تا حد مدل درجه ۳ - دو درجه برای بخش مکانیکی و یک درجه برای بخش الکتریکی - می توانیم یک مجموعه معادلات دیفرانسیلی مرتبه ۹ بدست آورد. این معادلات را می توان در نقطه کار اولیه خطی کرد تا معادلات دیفرانسیلی خطی حاصل شود. دیتای سیستم در ضمیمه الف داده شده است.



شکل ۲: بلوک دیاگرام سیستم تحریک ژنراتور سنکرون



شکل ۳: بلوک دیاگرام سیستم یک توربین بخار و گاورنر

مقادیر ویژه سیستم حلقه باز، بدون واحد SMES در ستون اول جدول ۱ داده شده است. واحد SMES برای بهبود میرایی مدهای پیچشی استفاده می شود.

شکل ۴ ترکیب بندی واحد SMES که شامل یک ترانسفورمر اتصال Y-Δ/Y-Y، یک کانورتر AC/DC ۱۲ پالسه، و یک کویل ابرسانایی را نشان می دهد. کانورتر با

شده در کویل ابرسانای بدین شکل است:

$$W_{SM} = \frac{1}{2} L_{SM} \cdot I_{SM0}^2 \quad (3)$$

وقتی  $L_{SM}$  اندوکتانس کویل ابرسانایی است. برای استفاده واحد SMES به عنوان پایدار ساز مد پیچشی، ولتاژ دو سر کویل ابرسانا  $V_{SM}$  به طور پیوسته و وابسته به انحراف سرعت روتور توربوژنراتور اندازه گیری شده کنترل می شود. به طوریکه

$$\Delta V_{SM} = \frac{K_c}{1 + s \cdot T_{dc}} \Delta \omega \quad (4)$$

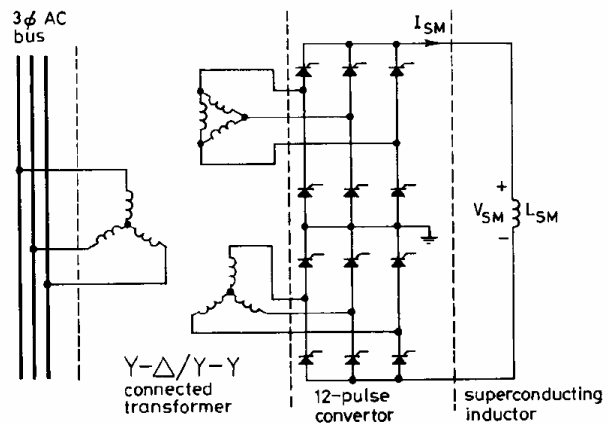
وقتی که  $K_c$  گین حلقه کنترل و  $T_{dc}$  ثابت زمانی تأخیر ابزار کنترل است. به علت محدودیتهای سخت افزاری، جریان کویل ابرسانا دارای حدود بالا و پایینی می باشد. کانورتر به طور پیوسته حد بالای جریان کویل را با  $1.38 I_{SM0}$  و حد پایین آنرا با  $0.31 I_{SM0}$  تنظیم می کند. حدود ولتاژ ترمینال نیز  $\pm 0.2352$  (p.u) است.

وقتی واحد SMES را در سیستم قرار دهیم، مقادیر ویژه در ستون دوم جدول ۱ لیست شده است. این جدول نشان میدهد که با قرار گرفتن واحد SMES به تنهای و بدون کنترلر PI، به طور خیلی محدود میرایی مد پیچشی افزایش یافته است. برای افزایش بیشتر میرایی مد پیچشی کنترلر مناسب PI طراحی می کنیم.

جدول ۱: جدول مقادیر ویژه سیستم مورد مطالعه ب در بار

۰.۸۵ پریونیت

کموتاسیون اجباری کار می کند و  $\alpha$  زاویه آتش SCR ها است. اگر  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ ، کانورتر در شرایط پس فاز و مد کانورتر کار می کند. در غیر این صورت اگر  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ ، کانورتر در شرایط پیش فاز و مد اینورتر کار می کند. با زاویه آتش SCR ها می توان توان تحویلی به یا جذبی از سیستم قدرت را کنترل نمود. برای کنترل مؤثر موازنه توان توربوژنراتور در طول پریود دینامیکی، واحد SMES را در باس ترمینال ژنراتور قرار می دهیم.



شکل ۴: بلوک دیاگرام یک SMES با مبدل ۱۲ پالسه

جریان و ولتاژ کویل ابرسانایی بدین صورت است که:

$$I_{SM} = \frac{1}{L_{SM}} \int_{t_0}^t V_{SM} d\tau + I_{SM0} \quad (1)$$

که  $I_{SM0}$  جریان اولیه کویل ابرسانایی است. توان جذب شده و یا تحویل داده شده توسط واحد SMES بدین صورت است:

$$P_{SM} = V_{SM} \cdot I_{SM0} \quad (2)$$

اگر  $V_{SM}$  مثبت باشد، توان از سیستم قدرت به واحد SMES انتقال می یابد و در غیر این صورت اگر  $V_{SM}$  منفی باشد، توان از واحد SMES بر خواهد گشت. انرژی ذخیره

$$U(s) = H(s)Y(s)$$

$$= \frac{s}{1+sT_w} \left( K_P + \frac{K_I}{s} \right) Y(s) \quad (9)$$

معادله مشخصه سیستم حلقه بسته بسادگی بدست می آید :

$$1 - C(sI - A)^{-1} B H(s) = 0 \quad (10)$$

لذا برای مقادیر ویژه حلقه بسته  $\lambda_i$ ،  $i=1,2$  خواهیم داشت :

$$1 - C(\lambda_i I - A)^{-1} B H(\lambda_i) = 0 \quad (11)$$

یا

$$H(\lambda_i) = \frac{\lambda_i}{1 + \lambda_i T_w} \left( K_P + \frac{K_I}{\lambda_i} \right) \quad (12)$$

$$= \frac{1}{C(\lambda_i I - A)^{-1} B} \quad i = 1,2$$

حال برای مقادیر از پیش تعیین شده  $\lambda_i$ ها، می توان از معادله فوق ضرایب کنترلر را استخراج کرد.

در این مقاله برای بررسی نحوه انتقال قطبها (افزایش و کاهش اندازه بخش حقیقی و موهومی) و تاثیر آن در میزان میرایی حاصله به ازاء مقادیر مختلف  $\lambda_i$ ها ضرایب کنترلر در بار ۰.۸۵ پریونیت و ضریب قدرت ۰.۹ پس فاز و میزان میرایی حاصله محاسبه و مقایسه شده است. جدول های ۲ و ۳ به ترتیب ضرایب بخش تناسبی و انتگرالی کنترلر را به ازاء مقادیر مختلف  $\lambda_i$ ها نشان می دهد.

جدول ۲: جدول ضرایب تناسبی کنترلر PI در

بار Pe=0.85 p.u

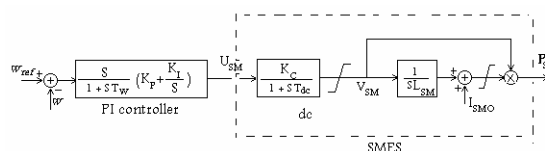
imag real	±10	±20	±30	±38.2	±50	±60	±70
-1	7.3626	5.6589	2.9154	0.0661	-0.6196	-4.7191	-9.0704
-1.5	6.7338	5.4871	2.8526	0.1036	-0.5574	-4.4999	-8.6603
-2	6.1356	5.3233	2.7967	0.1473	-0.4892	-4.2761	-8.2472
-2.5	5.578	5.1675	2.7477	0.1969	-0.4153	-4.0478	-7.8312
-3	5.0691	5.0195	2.7053	0.2523	-0.3358	-3.8154	-7.4127
-3.5	4.6142	4.8794	2.6692	0.313	-0.2511	-3.5791	-6.992
-4	4.2159	4.7469	2.6392	0.379	-0.1614	-3.3391	-6.5692
-4.5	3.8745	4.6221	2.615	0.45	-0.067	-3.0957	-6.1447
-5	3.588	4.5048	2.5965	0.5257	0.032	-2.8492	-5.7186

جدول ۳: جدول ضرایب انتگرالی کنترلر PI در

بار Pe=0.85 p.u

	Without SMES in 0.85 p.u. Load	With SMES & Without PI controller in 0.85 p.u. Load
mod 1	-218.8371	-218.8345
mod 2	-0.1563 ± j 38.2444	-0.7094 ± j 38.2328
mod 3	-19.9919	-19.9918
mod 4	-10.0218	-10.0221
mod 5	-6.8258	-6.8417
mod 6	-5.0036	-5.0036
mod 7	-0.125	-0.125

شکل ۵: واحد SMES و کنترلر PI



طراحی کنترلر PI

کنترلر PI نشان داده شده در شکل ۵، برای کنترل ولتاژ ترمینالهای کوئل ابرسانی  $V_{SM}$  استفاده شده است.

کنترلر PI به منظور افزایش میرایی مد پیچشی بر اساس تئوری کنترل مدال طراحی می شود. برای تعیین ضرایب کنترلر PI با استفاده از روش انتقال قطبهای سیستم خطی شده در نقطه کار اولیه می توان نوشت:

$$\dot{X}(t) = AX(t) + BU(t) \quad (5)$$

$$Y(t) = CX(t) \quad (6)$$

وقتی که

$$X(t) = [\delta \ \Delta\omega \ e_q' \ E_{FD} \ V_s \ P_m \ P_{CH} \ P_{SM} \ P_G]^t$$

بردار حالت و  $U(t) = \Delta U_{SMES}$ ، سیگنال کنترل،

$Y(t) = \Delta\omega$ ، سیگنال خروجی و  $A$ ،  $B$  و  $C$  ماتریسهای

ثابت هستند.

با اعمال تبدیل لاپلاس روی معادلات ۵ و ۶ داریم:

$$sX(s) = AX(s) + BU(s) \quad (7)$$

$$Y(s) = CX(s) = C(sI - A)^{-1}BU(s) \quad (8)$$

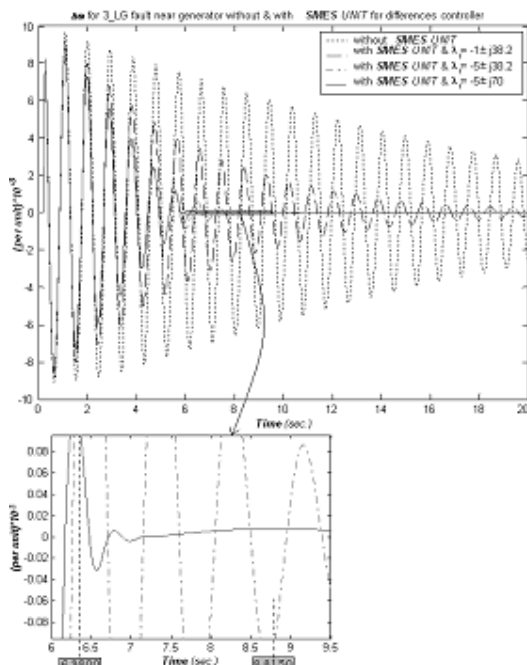
سیگنال کنترل از شکل ۵ بدست می آید:

imag \ real	±10	±20	±30	±38.2	±50	±60	±70
-1	6.685	7.67	14.065	>20	>20	7.605	6.605
-1.5	6.675	7.645	13.13	17.825	16.415	6.585	6.435
-2	6.67	7.625	12.255	15.215	13.71	7.24	6.43
-2.5	6.27	7.44	11.335	13.26	11.925	7.21	6.425
-3	6.655	7.59	10.7	11.965	10.98	7.17	6.415
-3.5	6.65	7.575	10.36	11.03	10.08	6.865	6.41
-4	6.34	7.56	9.89	10.14	8.81	6.86	6.4
-4.5	6.645	7.545	9.425	9.655	8.355	6.845	6.39
-5	6.645	7.53	9.345	8.815	8.315	6.835	6.38

imag \ real	±10	±20	±30	±38.2	±50	±60	±70
-1	172.367	85.2051	24.0419	12.4254	18.3146	138.458	478.029
-1.5	171.415	87.2252	28.6336	19.5169	25.9775	149.225	491.291
-2	169.368	89.0493	33.0399	26.3821	33.4025	159.676	504.142
-2.5	166.363	90.6871	37.2688	33.0286	40.5974	169.82	516.59
-3	162.569	92.1486	41.3277	39.4641	47.5696	179.665	528.641
-3.5	158.176	93.4444	45.224	45.6956	54.3262	189.217	540.303
-4	153.376	94.5852	48.9647	51.7297	60.8738	198.482	551.583
-4.5	148.352	95.582	52.5565	57.573	67.2189	207.468	562.487
-5	143.271	96.4458	56.0058	63.2313	73.3675	216.181	573.02

جدول ۴ نشان می دهد که میزان میرایی حاصله علاوه بر اینکه با افزایش اندازه بخش حقیقی زیاد میشود، با کم و زیاد کردن بخش موهومی نسبت به حالت بدون واحد SMES (ستون چهارم جداول ۲،۳ و ۴) نیز افزایش می یابد.

در شکل ۶ انحراف سرعت روتور بعد از اتصال کوتاه در بار ۰.۸۵ پریونیت و ضریب قدرت ۰.۹، پس فاز، برای چهار حالت بدون واحد SMES، با واحد SMES و کنترلر طراحی شده بر اساس انتقال قطبهای مد الکترومکانیکی به - $j38.2 \pm 1$ ، (سطر اول و ستون چهارم جداول ۲،۳ و ۴)، به - $j40 \pm 5$ ، (سطر نهم و ستون چهارم جداول ۲،۳ و ۴) و به - $j70 \pm 5$ ، (سطر نهم و ستون هفتم جداول ۲،۳ و ۴) رسم شده است.



الف

اگر به هر دلیلی اندازه ضرایب کنترلر خارج از رنج قابل قبول باشند باید گزینه های دیگر آنها را که ضرایب کنترلر مربوطه شان در رنج قابل قبول است را انتخاب نمود.

### شبیه سازی

شبیه سازی کامپیوتری بر اساس معادلات دیفرانسیل غیر خطی با نرم افزار MATLAB انجام می گیرد. این شبیه سازی اثر میرایی کنترل کننده PI را نشان می دهد. همه موارد غیر خطی از قبیل حد ولتاژ تحریک کننده و سقف ولتاژ سیم پیچ باید منظور شوند.

در این شبیه سازی ابتدا در بار ۰.۸۵ پریونیت که در واقع ضرایب کنترلر نیز در این نقطه محاسبه شده است، با اتصال کوتاه سه فاز در یکی از خطوط انتقال نزدیک باس ترمینال ژنراتور به مدت ۵ سیکل و با ضرایب کنترلر محاسبه شده برای گزینه های مختلف انتقال قطبها که در جداول ۲ و ۳ مشخص شده اند، انجام می گیرد. به عنوان معیاری برای مقایسه میزان میرایی حاصله در حوزه زمان، زمانی را که انحراف سرعت روتور به ۱٪ ماکزیمم انحراف خود می رسد را زمان فرونشست می نامیم. با مقایسه زمانهای فرو نشست که برای بار ۰.۸۵ پریونیت و ضریب قدرت ۰.۹ پس فاز در جدول ۴ لیست شده است می توان مقایسه کرد که با انتقال قطبها در جهت افزایش و کاهش بخش حقیقی و موهومی میرایی حاصله چگونه تغییر می کند.

جدول ۴: جدول زمانهای فرونشست نوسانات سرعت زاویه

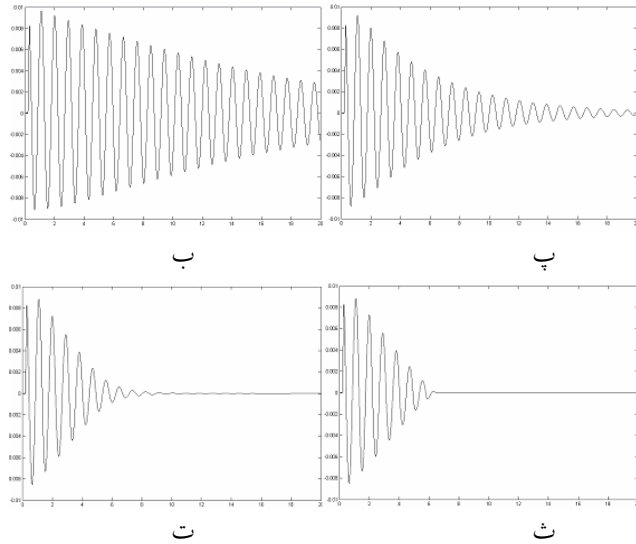
ای روتور در بار  $P_e=0.85$  p.u.

جدول ۵: جدول زمانهای فرونشست نوسانات سرعت زاویه

ای روتور در بار  $P_e=1$  p.u.

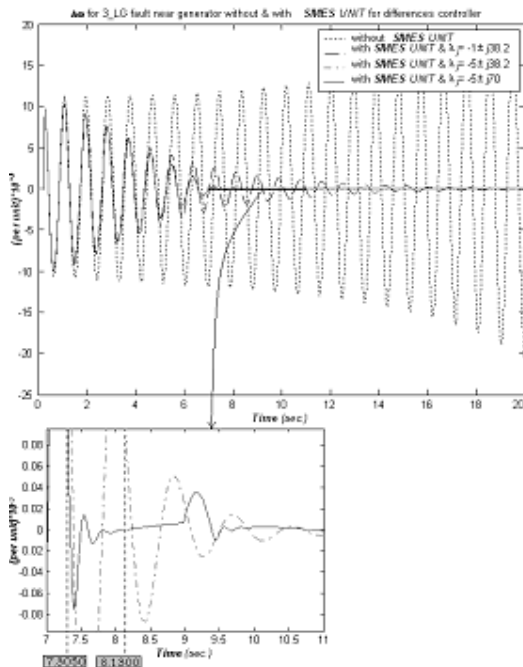
imag \ real	±10	±20	±30	±38.2	±50	±60	±70
-1	7.455	7.95	11.645	19.975	14.38	7.67	7.295
-1.5	7.435	7.935	10.68	14.29	11.69	7.655	7.29
-2	7.425	7.91	9.765	12.03	10.315	7.39	7.295
-2.5	7.415	7.89	9.27	10.315	9.41	7.625	7.295
-3	7.405	7.88	8.815	9.425	8.93	7.365	7.295
-3.5	7.4	7.865	8.75	8.965	8.515	7.355	7.295
-4	7.65	7.855	8.345	8.54	8.445	7.345	7.3
-4.5	7.62	7.85	8.305	8.475	8.105	7.34	7.31
-5	7.665	7.845	8.28	8.13	8.085	7.52	7.305

جدول ۵ نشان می دهد که میرایی حاصله با آنکه ضرایب کنترلر برای بار ۰.۸۵ پریونیت طراحی شده مطلوب می باشد. در شکل ۷ انحراف سرعت روتور بعد از اتصال کوتاه در بار ۱ پریونیت و ضریب قدرت ۰.۹ پس فاز، برای سه حالت بدون واحد SMES، با واحد SMES و کنترلر طراحی شده بر اساس انتقال قطبهای مد الکترومکانیکی به  $1 \pm 38.2j$ ، (سطر اول و ستون چهارم جداول ۲، ۳ و ۴) و به  $5 \pm 70j$ ، (سطر نهم و ستون هفتم جداول ۲، ۳ و ۴) رسم شده است.



شکل ۶: انحراف سرعت روتور بعد از اتصال کوتاه در بار ۰.۸۵ پریونیت و ضریب قدرت ۰.۹ پس فاز، (الف) چهار حالت ب) بدون واحد SMES، پ) قطبهای مد الکترومکانیکی  $1 \pm 38.2j$ ، ت) قطبهای مد الکترومکانیکی  $5 \pm 70j$ ، ث)  $5 \pm 70j$

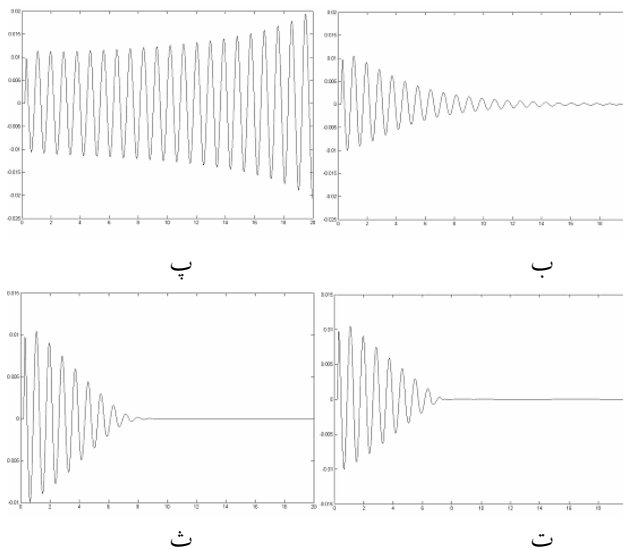
حال شبیه سازی را در بار ۱ پریونیت (در حالیکه ضرایب کنترلر برای بار ۰.۸۵ پریونیت محاسبه شده است)، با رخداد اتصال کوتاه سه فاز در یکی از خطوط انتقال نزدیک باس ترمینال ژنراتور به مدت ۵ سیکل و با ضرایب کنترلر محاسبه شده برای گزینه های مختلف انتقال قطبها که در جداول ۲ و ۳ مشخص شده اند را انجام می دهیم. برای مقایسه میزان میرایی حاصله در حوزه زمان، زمانهای فرو نشست که برای بار ۱ پریونیت و ضریب قدرت ۰.۹ پس فاز در جدول ۵ لیست شده است را می توان مقایسه کرد.



الف

میتواند اثر میرائی مطلوبی داشته باشد. یعنی کنترل کننده حساسیت کمی نسبت به بار سیستم دارد.

۳. واحد SMES حدود پایداری سیستم را نیز افزایش می دهد.



شکل ۷

همانطور که در شکل ۷ دیده می شود، سیستم بدون واحد SMES قادر به حفظ و برگرداندن شرایط ماندگار و سنکرونیسم خود نیست و سیستم در این بار با چنین اغتشاشی نا پایدار می شود. واحد SMES به همراه کنترلر های طراحی شده نوسانات سرعت روتور بعد از اتصال کوتاه را میرا کرده و پایداری سیستم را حفظ می کند. لذا با قرار گرفتن واحد SMES در باس ترمینال ژنراتور حدود پایداری سیستم نیز افزایش می یابد [17].

#### نتیجه

واحد SMES به همراه یک کنترل کننده PI برای بهبود میرائی ژنراتور سنکرون پیشنهاد می شود. روش منظمی بر اساس تئوری کنترل مُدال، برای تعیین مقادیر بهره های کنترل کننده PI توسط انتقال مُد الکترومکانیکی به مکان مطلوب بکار می رود.

نتایج شبیه سازی کامپیوتری نشان داد که

۱. اثر میرائی SMES با کنترل کننده PI زیاد است و عملکرد دینامیکی ژنراتور کاملاً بهبود می یابد.
۲. هر چند کنترل کننده PI در یک وضعیت بار خاصی طراحی می شود؛ ولی در سایر شرایط بار نیز

#### مراجع

- [1] P.M. Anderson and A.A. Fouad, Power System Control and Stability, Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1977.
- [2] Anderson, P.M. and Fouad, A.A, Power System Control and Stability, IEEE, New York, 1994.
- [3] E.V. Larsen and D.A. Swann, "Applying Power System Stabilizers", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol PAG-100,3017-3046,1981.
- [4] O.P. Malik, G.S. Hope, S.J. Cheng, and G.Hancock, "A MultiMicro-Computer Based Dual-rate Self-tuning Stabilizer", Paper 86JPGC 652-2, Presented at the IEEE/PES 1986 Joint Power Generation Conference, Portland, Oregon.
- [5] F.P. Demello and C.Concordia, "Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control", IEEE Transactions on Power Apparatus and System, vol.pas-88, pp 316-329,1969.
- [6] Y.Y.Hsu and C.Y.Hsu, "Design of A Proportional-Integral Power system Stabilizer", IEEE Transactions on Power System, PWRs, vol.1, No.2,pp.46-53.
- [7] D.C. Lee, R.E. Beaulieu and j.R.R.Service, "A Power System Stabilizer Using Speed and Electrical Power Inputs-Design and Field Experience", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol.PAS-100, No.9, pp.4151-4157, 1981.
- [8] S.C. Tripathy, T.S. bhatti, and C.S. Tha, et.al, "Sampled Data Automatic Generation Control Analysis With Reheat Steam Turbines and Governor Dead-Band Effect," IEEE Transaction on Power Apparatus and System, vol.PAS-103, pp.1045-1051, 1984.
- [9] A.J.Ramos and H.Tyll, "Dynamic Performance of A Radial Weak Power System With Multiple Static VAR Compensator", 89 WM 183-5, PWRs.
- [10] M.O'Briem and G.Ledwich, "Static Reactive Power Compensation Controls for Improved System Stability," IEEE Proceeding, vol.134, pt.C, no.1, pp.38-42, 1987.

- [11]H.Stemmeler and G.Guth, "The Thyristor Controlled Static Phase-Shifter-A New Tool for power Flow Control in AC Transmission System," Brown Boveri Review, vol.69, pp.73-78, 1982.
- [12]M.G Rabbani, j.J.B.X.Pevotta and S.Elangovan, "An Adaptive Fuzzy Controlled Superconducting Magnetic Energy Storage Unit for Power System" Elsevier Science LTD Energy Converse Mgmt, vol.39, no.9,pp.931-942.1998.
- [13]N.A. Ringhemim, "Overview on different types of energy Storage", February 2002, WWW.energy.sintef.no.
- [14]J.B.X Devotta, M.G. Rabbani, "Application of Superconducting Magnetic Energy Storage unit in multi-machine Power Systems", Energy Conversion & Management 41 (2000) 493-504.
- [15]S. Behzadi Rafi, M. Borhani, M. H. Varahram, "Application of Superconductive Equipment in Power Industry"18th International Power System Conference (PSC2003) on 20-22 Oct. 2003 in Tehran, Iran, Vol. 3, pp 59-64
- [16]S. Soltani, M. H. Varahram, "Application of SMES Unit for Voltage Profile Improvements" 7th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS 05),Vienna, Austria: 11.10.2005 – 15.10.2005, TU-P2-23