

کاربرد (SMES-PID) در کنترل توان اکتیو و راکتیو جهت
بهبود منحنی تغییرات ولتاژ بار

^۱ سپهر سلطانی، ^۲ علیرضا آذری، ^۳ محمد هادی ورهرام، ^۴ محمد رضا جاهد مطلق

sep_soltani@iaus.ac.ir, rahgozar_1358@yahoo.com, Varahram@sharif.edu,
mrjahed@iust.ac.ir

۱ دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، ۲ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات،

۳ دانشگاه صنعتی شریف، ۴ دانشگاه علم و صنعت

واژه های کلیدی: SMES_PID، شبیه سازی کامپیوتری، پایداری

چکیده: در این مقاله یک SMES_PID جهت کنترل توان اکتیو - راکتیو در محدوده تغییرات بار توسط نرم افزار Matlab شبیه سازی گردیده است. نتایج شبیه سازی نشان میدهد یک کنترلر (PID) که با روش انتقال قطبها بر اساس تئوری مُدال برای افزایش میرایی نوسانات مُد الکترومکانیکی موتور القایی استفاده شده می تواند به مقدار زیادی میرایی سیستم را هنگام اتصال کوتاه بهبود ببخشد. SMES_PID میتواند توان اکتیو و راکتیو را جهت تثبیت ولتاژ باس در طول تغییرات گذرای بار (که توسط یک موتور القایی مدل سازی شده است) جذب و یا تولید نماید. با کمک SMES گشتاور و سرعت موتور القایی در اثر تغییرات بار در کمتر از چند میلی ثانیه پایدار میگردد.

(۱) مقدمه :

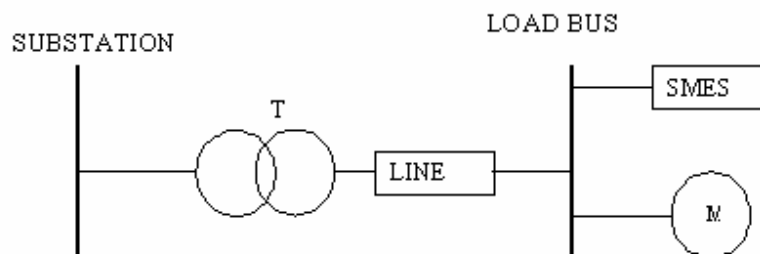
انباره انرژی مغناطیسی ابرسانایی از جمله سیستمهای ذخیره انرژی است که امکان ذخیره انرژی در حجم زیاد را فراهم می آورد. استفاده از منابع ذخیره کننده انرژی ابرسانایی با ظرفیت های بالا به منظور ترازسازی منحنی بار، افزایش ضریب بار، کنترل توان اکتیو- راکتیو و بهبود ولتاژ باس بار یکی از اصلی ترین اهداف بکار گیری منابع ذخیره کننده انرژی به منظور بهره برداری اقتصادی از سیستم های قدرت است [1-3].

موفقیت در شارژ واحد SMES با قدرت 10MW معادل 3MJ در پست فرعی تا کوما توسط مرکز توان بونویل (BPA) آینده روشنی برای ذخیره انرژی در ابعاد بزرگ فراروی صنعت قرار داد [4-7]. انرژی الکتریکی در یک سوپر کنتاکتور با مقاومت صفر و اندوکتانس و ظرفیت بالای جریان ذخیره میشود. SMES نسبت به سایر ذخیره کننده ها ممتازتر است و میتواند رنج بهره round-trip را از 92% به 97% افزایش دهد [7]. استفاده از GTO این توانایی

را به SMES داده است که نه تنها توان اکتیو بلکه توان راکتیو را نیز در چهار ناحیه کنترل نماید [8-9]. در این مقاله کنترل توان اکتیو و راکتیو (P-Q) توسط یک واحد ذخیره کننده انرژی مغناطیسی (SMES_PID) انجام و برای بهبود ولتاژ باس بار در رژیم تغییرات بار بکار رفته است. واحد مورد مطالعه جهت تثبیت ولتاژ باس متصل به یک موتور القایی به عنوان یک بار دینامیکی بکار رفته است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که SMES_PID میتواند جهت بهبود پروفایل ولتاژ در رژیم راه اندازی و تغییر بار موتور بسیار موثر باشد.

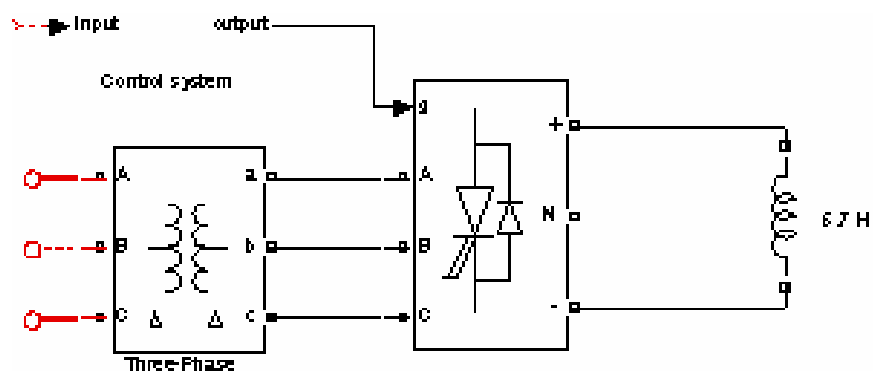
۲) ساختار سیستم :

مدار سیستم مورد مطالعه در شکل (۱) آمده است. SMES و موتور القایی از طریق یک خط توزیع به پست فرعی متصل می باشد. در پریرود راه اندازی و بارگذاری ولتاژ بار شدیداً تغییر میکند. انتظار داریم که واحد SMES بتواند ولتاژ باس را تثبیت کند. ساختار SMES در شکل (۲) آمده است. پل IGBT سه فاز از طریق یک ترانس 230/36 ولت به شبکه متصل شده است. برای جلوگیری اتصال کوتاه خط به خط از طریق دیود، IGBT ها



شکل ۱- سیستم مورد مطالعه

بصورت سری با دیودها قرار گرفته اند. سیم پیچ سوپرکنتاکتور دارای اندوکتانس 6.7 هانری و ظرفیت 160 آمپر است.



شکل ۲- واحد SMES

سیستم کنترل :

بمنظور دستیابی به مشخصه دینامیکی مورد نیاز، الگوریتم کنترل مدار بسته ای جهت کنترل ولتاژ و جریان SMES از طریق کنترل توان اکتیو و راکتیو آن بکار رفته است. با کنترل پارامتر M در تکنیک PWM کنترل P_{SM} و Q_{SM} بسادگی قابل دستیابی است.

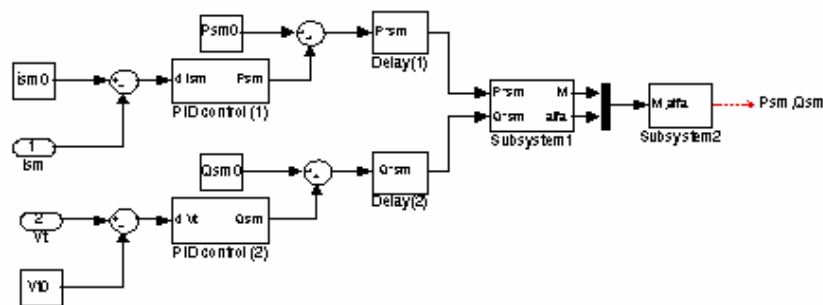
$$P_{SM} = MI_{SM}V_{SM} \cos\alpha \quad (1)$$

مدار معادل
$$Q_{SM} = MI_{SM}V_{SM} \sin\alpha \quad (2)$$

دیاگرام کنترلی در شکل (۳) مشاهده میشود. فرمان کنترلی توان اکتیو و راکتیو بقرار زیر است.

$$P_{SM}^* = K_{P1}\Delta V_{SM} + K_{I1}\int \Delta V_{SM} dt + K_{D1}dV_{SM} / dt \quad (3)$$

$$Q_{SM}^* = K_{P2}\Delta I_{SM} + K_{I2}\int \Delta I_{SM} dt + K_{D2}dI_{SM} / dt \quad (4)$$



شکل ۳- سیستم SMES_PID

مشاهده میشود که تغییرات ناگهانی زاویه موجب تغییرات گذرای بزرگ در ولتاژ میگردد. برای جلوگیری از پرش یا نوسان ولتاژ تغییرات پارامتر مدولاسیون و زاویه آتش در فاصله نمونه گیری K با روش زیر آرام میشود.

$$P_N^* = F_p P_{SM}^* + (1 - F_p) P_{N-1}^* \quad (5)$$

$$Q_N^* = F_q Q_{SM}^* + (1 - F_q) Q_{N-1}^* \quad (6)$$

روابط ماشین القایی:

در این مقاله جهت شبیه سازی ماشین القایی از مدل دینامیکی مرتبه پنجم به منظور استخراج جزئیات بیشتر استفاده شده است. معادلات خلاصه شده عبارتند از [10]:

$$[L] \frac{d}{\omega_b dt} [I] = -[R][I] + [V] \quad (7)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = (T_e - T_m) / 2H \quad (8)$$

$$[I] = [I_{qsm} \ I_{dsm} \ I_{qrm} \ I_{drm}]^T$$

$$[V] = [V_{qA} \ V_{dA} \ 00]^T$$

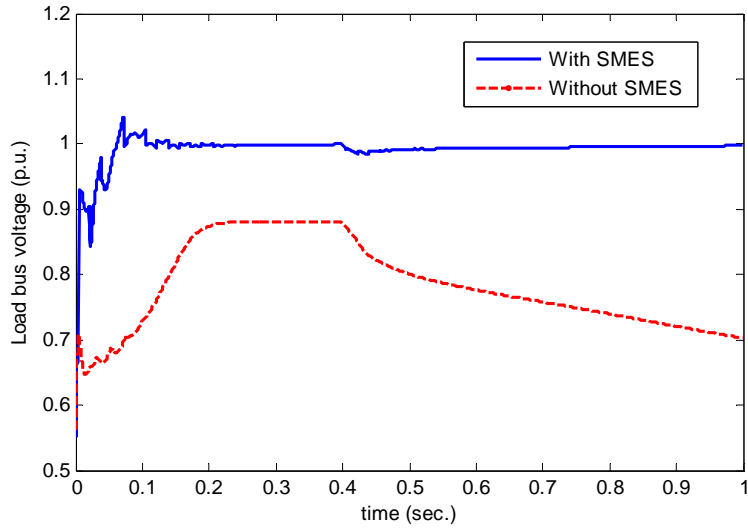
بطوریکه

$$[L] = \begin{bmatrix} L_{SS} & 0 & L_M & 0 \\ 0 & L_{SS} & 0 & L_M \\ L_M & 0 & L_{rr} & 0 \\ 0 & L_M & 0 & L_{rr} \end{bmatrix}$$

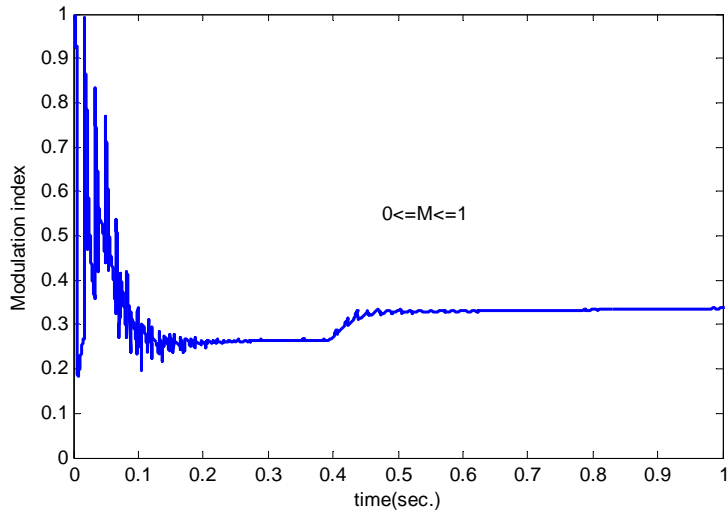
$$[R] = \begin{bmatrix} R_s & -\omega L_{SS} & 0 & -\omega L_M \\ \omega L_{SS} & R_s & \omega L_M & 0 \\ 0 & -(\omega - \omega_r) L_M & R_r & -(\omega - \omega_r) L_{rr} \\ (\omega - \omega_r) L_M & 0 & (\omega - \omega_r) L_{rr} & R_r \end{bmatrix}$$

$$T_{me} = L_M (I_{dsm} I_{qrm} - I_{drm} I_{qsm})$$

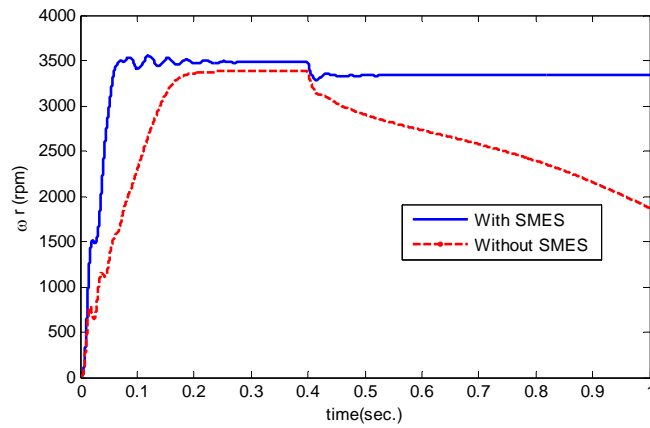
داده های سیستم مذکور در ضمیمه آمده است. نتایج شبیه سازی سیستم بدون در نظر گرفتن SMES_PID و با منظور کردن آن در اشکال زیر آمده است. موتور بدون بار راه اندازی شده و پس از گذشت ۰/۴ ثانیه بار گذاری شده است.



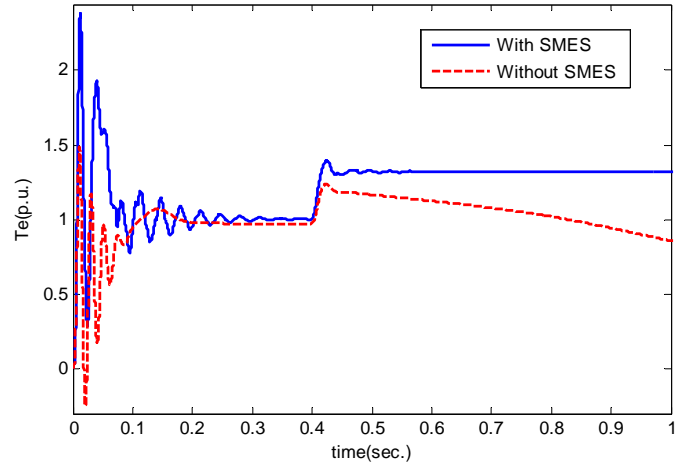
شکل ۴ - ولتاژ باس بار



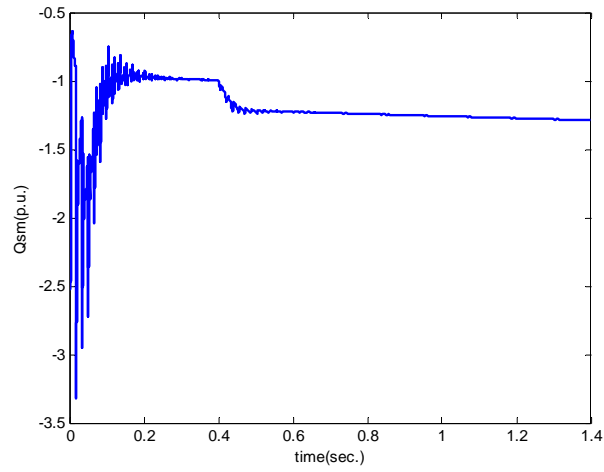
شکل ۵ - تغییرات ضریب مدولاسیون



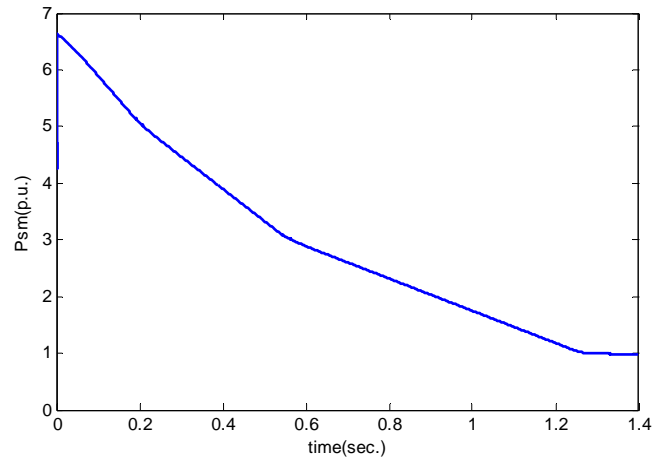
شکل ۶ - تغییرات سرعت موتور



شکل ۷- تغییرات گشتاور موتور القایی



شکل ۸- تغییرات توان راکتیو موتور القایی



شکل ۹- تغییرات توان اکتیو موتور القایی

نتایج :

در این مقاله یک SMES_PID جهت کنترل توان اکتیو - راکتیو در محدوده تغییرات بار توسط نرم افزار Matlab شبیه سازی گردیده است. نتایج شبیه سازی نشان میدهد یک کنترلر (PID) که با روش انتقال قطبها بر اساس تئوری مُدال برای میرایی نوسانات مُد الکترومکانیکی موتور القایی استفاده شده می تواند به مقدار زیادی سبب افزایش پایداری ولتاژ (شکل ۴) و میرایی سیستم هنگام اتصال کوتاه گردد. SMES_PID میتواند توان اکتیو و راکتیو را جهت تثبیت ولتاژ باس در طول تغییرات گذرای بار (که توسط یک موتور القایی مدل سازی شده است) جذب و یا تولید نماید (شکل ۹و۸). با کمک SMES_PID گشتاور (شکل ۷) و سرعت (شکل ۶) موتور القایی در اثر تغییرات بار در کمتر از چند میلی ثانیه پایدار میگردد. استفاده از کنترل کننده های اتوماتیک [11-12] کوچک بودن پاسخ زمانی کلیدها، فاکتور بسیار با اهمیتی در جبران سازی اغتشاشات ولتاژ در یک سیستم قدرت برای واحد SMES به شمار می آید.

ضمیمه :

داده های سیستم مورد مطالعه عبارتند از :

واحد SMES:

$$L_{SM} = 6.7H, I_{SM0} = 40A, I_{SM,MAX} = 100A, M_0 = 0.05, \alpha_0 = 70^0$$

سیستم کنترل:

$$K_{P1} = 372.6, K_{I1} = 0.0373, K_{D1} = 3.73$$

$$K_{P2} = 264, K_{I2} = 79.2, K_{D2} = 0.01$$

$$T_C = 16.7msec, F_P = 0.5, F_q = 0.3$$

خط انتقال:

$$R_L = .4107 \Omega, L_L = 28.7mH$$

موتور القایی:

$$R_s = 6.4107\Omega, R_r = 4.3771$$

$$X_{SS} = 84.447\Omega, X_{rr} = 84.447\Omega$$

$$X_M = 77.9997\Omega, j = 0.0002Kg.m^2$$

$$D = 0.004Kg.m.sec/rad, T_M = 30\%$$

- [1] 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
- [2] M.Borhani, M. H. Varahram, Sh. Behzadi Rafi "Application of Superconductivite Equipment in Power Industry "18th International Power System Conference PSC 2003, Vol. III, pp. 59-64
- [3] Mehdi Firuznia, M. Fotuhi Firuzabad, M. H. Varahram, "Power Systems Reliability Enhancement Using Energy Storage Devices" ECO2004 Urumiehe 2004
- [4]. Rogers, J.D., Schermer, R.I., Miller, B.L., Hauer, J.F. ;"30 MJ superconducting magnetic energy storage system for electric utility transmission stabilization"; Proc. IEEE, 1983, pp. 1099-1107.
- [5]. Boeing, H.J., Hauer, J.F. ;"Commissioning tests of the Bonneville Power Administration 30 MJ superconducting magnetic energy storage unit"; IEEE Trans. Power Apparatus and System, 1985, pp. 302-312.
- [6]. Hauer, J.F., Boeing, H.J. ;"Control aspects of the Tacoma superconducting magnetic energy storage project"; IEEE Trans. Power System, 1987, pp. 443-450.
- [7]. Tam, K.S., Kumar, P. ;"Impact of superconductive magnetic energy storage on electric power transmission"; IEEE Trans. Energy conversion, 1990, pp. 501-511.
- [8]. Mitani, Y., Tsuji, K., Murakami, Y. ;"Application of superconducting magnetic energy storage to improve power system dynamic performance" ; IEEE Trans. Power system, 1988, pp. 1418-1425.
- [9]. Ise, T., Murakami, Y., Tsuji, K. ;"Simultaneous active and reactive power control of superconducting magnetic storage energy using GTO converter"; IEEE Trans. Power Delivery, 1986, No.1, pp. 143-150.
- [10]. Krause, P.C. ;"Analysis of electric machinery"; McGraw Hill,1986
- [11] M. H. Varahram, Sh. Behzadi Rafi "A Novel Approach to Modeling the Superconductive Shielded Core Reactor (SSCR)" IFAC Symposium on Power Plants & Power Systems Control (2003), Vol. III, pp. 1261-1264
- [12] S. Soltani, A. Azari, M. H. Varahram, M.R. Jahed Motlagh : "Application of SMES_PID to Control Active and Reactive Power for Voltage Profile Improvement " IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2006 (to be submitted)