

# رویکردی نو در طراحی کنترلر لغزشی در توزیع جریان منابع تغذیه موازی DC

سمیه طلا بکی طرقي، نرجس طهوريان، دکتر محمد مهدی یعقوبی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد - گروه کامپیوتر

mmyaghobi@yahoo.com, n\_tahourian@yahoo.com

**کلمات کلیدی:** منابع تغذیه موازی، سیستم ساختار متغیر، کنترلر لغزشی، الگوریتم توزیع جریان.

## ۱. مقدمه:

عمل موازی کردن منابع تغذیه خواص منحصر بفرد زیادی دارد [۱،۲،۳،۴] از جمله: ۱. انعطاف پذیری سیستم به طوریکه

می تواند کل توان را بوسیله افزایش تعداد منابع بالا ببرد. ۲. منابع موازی نقص سیستم را در مواقعی که یکی از منابع

بسوزد جبران می کند و باعث افزایش قابلیت اعتماد بسته به میزان redundancy تعریف شده می شود. ۳. فشارهای

روی دستگاهها کاهش داده می شود چون هر واحد یک سطح توان پائینی را کنترل می کند. در این روش توزیع توان

سیستم مطمئن تر میشود. اما، در اصل، منابع تغذیه یکسان نیستند، بنابراین جریان کشیده شده از خروجی های آنها نیز

نامتعادل است. بسیاری از عاملها باعث می شود که این منابع برابر نباشند از قبیل: تلرانس قطعات، رساناهای الکتریکی

نامساوی که از مبدل ها به مصرف کننده ها وصل شده اند. بنابراین لازم است یک مدل کنترلی طراحی گردد که ولتاژ

خروجی را تنظیم شده نگه دارد و همچنین توزیع جریان در مبدل ها را انجام دهد.

در سال های اخیر، الگوریتم های کنترلی متفاوتی برای سیستم مبدل های موازی نوشته شده است. در بین آنها دو مدل کنترل توزیع جریان در نظر است: پایه-پیرو و کنترل محدود مرکزی (CLC) [۱]. در این تکنیک ها، حلقه های کنترل داخلی برای متعادل سازی جریان خروجی معرفی شده اند. با توجه به CLC دو تکنیک مطرح شده است: کنترل توزیع جریان قابل برنامه ریزی (PCDC) و کنترل محدود ماکزیمم جریان (MCLC) [۲]. تعداد مبدل های فعال در سیستم براساس جریان بار لازم، انتخاب می شوند. بنابراین هر مبدلی در نزدیکی نقطه کار مؤثر با بیشترین بهره کار می کند. تکنیک های دیگر تقسیم بار برای عمل موازی کردن مبدل ها در [۳] و [۴] و [۵] مطرح شده است که در همه اینها طراح از کنترلرهای کلاسیک استفاده کرده است.

در کنترل کلاسیک، ضرائب قانون کنترل خطی، برای یک نقطه تعادل مشخصی همگی نامتغیر با زمان و از پیش تنظیم شده هستند. این ویژگی ها، برای ماشینهای قدرت الکترونیکی همیشه کارایی رضایت بخشی ندارند. کنترل تطبیقی می تواند خودش را به طور خودکار با تغییرات ماشین هماهنگ کند، به این ترتیب که بعضی از ضرائبشان یا همه آنها در هنگام اندازه گیری on-line متغیرهای سیستم تنظیم می شوند. کنترلر تطبیقی نمایش دهنده تقابل بین مسائل تئوری و عملی است که در مورد طرح و کارایی الگوریتم ها و پیچیدگی پیاده سازی آنهاست.

سیستم های ساختار متغیر (VSS) توسط یک عمل کنترلی ناپیوسته مشخص می شوند که ساختار آنها بسته به یک مجموعه سطوح سوئیچینگ تغییر می کند [۶]. ارتباطات سوئیچ یک مبدل استاتیک توسط یک ساختار ناپیوسته مثل

VSS توضیح داده می شود. مسئله اصلی در کنترل VSS مبدلها، مشخص کردن لحظات سوئیچینگ آنهاست که در

تنوری، کنترلر مد لغزشی (SMC) برای حل این مشکل بسیار جذاب است. لحظات سوئیچینگ توسط سطح لغزشی یا

سطوح سوئیچینگ مناسب مشخص می شوند. اگر سطح سوئیچینگ به درستی طراحی شود می تواند رفتار کنترلر را

گارانتی کند که به صورت پایداری مجانبی بماند.

پس مقاوم سازی از مهمترین ویژگیهای سیستم های SMC است. تحت شرایط خاص علاوه بر این که نسبت به تغییرات

پارامتری سیستم مقاوم هستند در برابر اغتشاشات خارجی نیز نامتغیر هستند [7]. جنبه مهم دیگری که در ارتباط با

SMC است سادگی پیاده سازی عملی آن است.

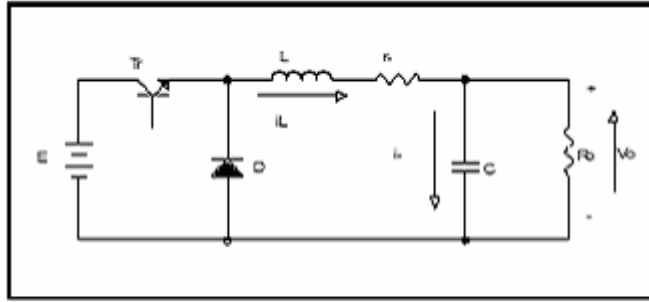
در این مقاله از یک الگوریتم توزیع جریان استفاده شده که بر اساس کنترل محدود ماکزیمم جریان است و همچنین

یک الگوی کنترل لغزشی برای یکنواخت کردن جریان مبدل های موازی و تنظیم ولتاژ خروجی مطرح شده است.

## ۲. اصول منابع تغذیه موازی و طراحی کنترل کننده لغزشی:

### ۲.۱. کنترل مد لغزشی یک مبدل:

شکل ۱ یک دیاگرام از مبدل را نشان می دهد. مبدل در مد هدایت پیوسته سوئیچ شده است.



شکل ۱- مبدل

مدل فضای حالت مدار معادل طبقه خروجی مبدل تعریف شده:

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_o \\ \dot{i}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/R_o C & 1/C \\ -1/L & -r_L/L \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_o \\ i_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1/L \end{bmatrix} \cdot v \quad (1)$$

که  $v_o$  و  $i_L$  متغیرهای فضای حالت مدار هستند.

$$v = \begin{cases} E; & \text{if } T_r \text{ is on} \\ 0; & \text{if } T_r \text{ is off} \end{cases} \quad (2) \quad v \text{ کنترل ورودی است که تعریف شده:}$$

$T_r$  یک سوئیچ مبدل است.

کنترلر مد لغزشی، سطح مد لغزشی یک دنباله از طول زمانی حالتهای قطع و وصل بودن سوئیچینگ را برای مشخصات

دینامیک داده شده می دهد. برای کار حاضر، از مبدل به عنوان یک منبع تغذیه ولتاژ ثابت استفاده شده است. در این

نمودار سطح لغزشی برای یک مبدل به طور طبیعی انتخاب شده است.

$$\sigma(e_v, \dot{e}_v) = 0; \quad \text{سطح لغزشی خطی داده شده:}$$

$$e_v = V_o - V_{Ref};$$

$$\sigma = \dot{e}_v + \alpha.e_v = \frac{1}{C}.i_C + \alpha.e_v \quad (3)$$

که  $\alpha > 0$  یک بهره ثابت که پایداری رفتار مبدل و کنترل ناپیوسته را ضمانت می کند.

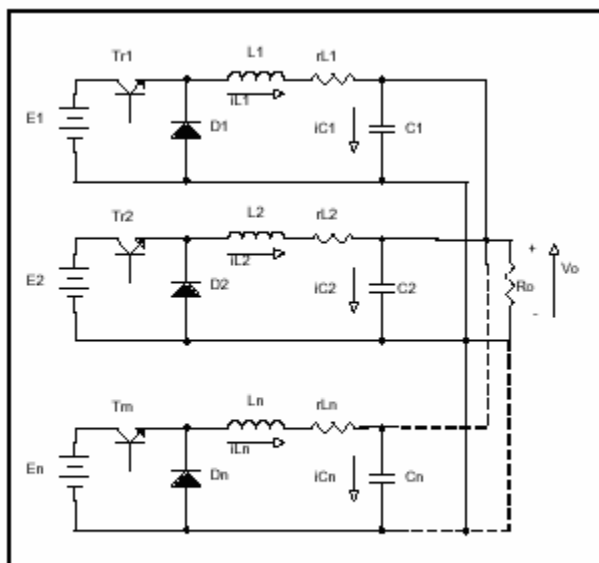
$$v = \begin{cases} E; & \text{if } \sigma < 0 \\ 0; & \text{if } \sigma > 0 \end{cases} \quad (4) \quad \text{v تعریف شده است:}$$

این سطح لغزشی تنها تضمین می کند که ولتاژ خروجی کنترل شده، در حالیکه وقتی مبدل ها به صورت موازی متصل

می شوند باید برابری جریان قدرت توزیع شده، نیز در نظر گرفته شده باشد [8].

## ۲,۲. کنترل مد لغزشی N مبدل موازی:

شکل ۲ یک دیاگرام از N مبدل که به حالت موازی بسته شده اند.



شکل ۲ - اجتماع N مبدل موازی

مدل فضای حالت، مبدل های موازی  $n$  تایی تعریف شده:

$$\begin{cases} \dot{i}_{L_j} = -\frac{r_{L_j}}{L_j} i_{L_j} - \frac{1}{L_j} v_o + \frac{1}{L_j} v_j ; & j = 1, 2, \dots, n \\ \dot{v}_o = -\frac{1}{c_{eq}} \sum_{k=1}^n i_{L_k} - \frac{1}{R_o \cdot c_{eq}} v_o ; & c_{eq} = \sum_{k=1}^n C_k \end{cases} \quad (5)$$

به منظور ضمانت برابری قدرت دینامیک، جریان سلف  $j$  ام می تواند توسط عبارت زیر بیان شود:

$$i_{L_j} = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{K=1 \\ K \neq j}}^n (i_{L_K}); \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

کنترل سیستم مبدل های موازی نیازمند برابری توان پویا به کمک تنظیم ولتاژ خروجی و متعادل سازی جریان بار

پویا در بین مبدل های موازی نابرابر است. به منظور برآورده کردن شرایط بالا، قانون کنترل نا پیوسته  $v_j$  مبدل  $j$  ام باید

بوسیله یک سطح لغزشی سوئیچ شود که در بردارنده اطلاعاتی در باره جریان مبدل موازی  $j$  ام است. در این روش

سطح مد لغزشی جدید در تابع  $\langle v_o, \dot{i}_c, \dot{i}_{L_j} \rangle$  تعریف شده و اینطور بیان می شود:

$$\sigma_j(e_v, \dot{e}_v, e_{i_j}) = \frac{1}{C_j} \cdot \dot{i}_{C_j} + \alpha \cdot e_v + \beta_j \cdot e_{i_j} \quad (7)$$

$$v_j = \begin{cases} E_j; & \text{if } \sigma_j < 0 \\ 0; & \text{if } \sigma_j > 0 \end{cases} \quad (8) \quad \text{قانون کنترل نا پیوسته } v_j \text{ تعریف می شود که:}$$

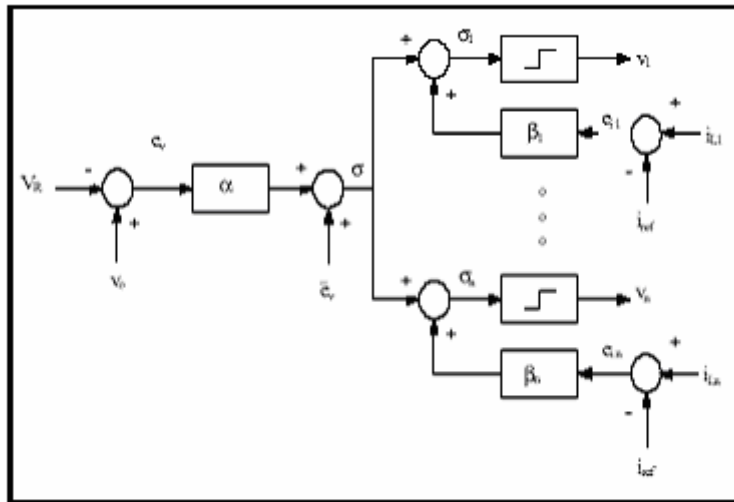
که  $v_j$  جزء  $j$  ام کنترل و  $\sigma_j$  جزء  $j$  ام از  $n$  سطح لغزشی و  $e_{i_j}$  که خطای جریان  $j$  ام که تعریف می شود:

$$e_{i_j} = \frac{1}{n} \left\{ (n-1) \cdot i_{L_j} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n (i_{L_k}) \right\} \quad (9)$$

$$j = 1, 2, \dots, n;$$

که  $n$  تعداد مبدل های موازی و  $\beta_j$  یک بهره ثابت است.

شکل ۳ دیاگرام بلاکی از استراتژی کنترلر مد لغزشی را نشان می دهد که:

$$i_{ref} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n i_{L_k}$$


شکل ۳ - بلاک دیاگرام SMC

هدف کنترل VSS از الگوی مد لغزشی رساندن سیستم به یک سطح لغزشی ایده آل از پیش تعریف شده است. شرایط

موجود که برای یک مد لغزشی به کار گرفته می شود، باید به گونه ای باشد که مسیرهای حالت روی هر طرف سطح

حداقل در یک همسایگی خیلی کوچک به سمت سطح لغزشی  $\sigma_j = 0$  هدایت شود.

به شکل ریاضی، شرایط موجود برای مدهای لغزشی که در سطح  $z$  ام اتفاق می افتد به شکل زیر تعریف می شود.

$$\lim_{\sigma_j \rightarrow 0^+} \dot{\sigma}_j < 0 < \lim_{\sigma_j \rightarrow 0^-} \dot{\sigma}_j$$

$$\lim_{\sigma_j \rightarrow 0} \sigma_j \cdot \dot{\sigma}_j < 0 \quad (10)$$

شرط ۱۰ به شرایط موجود برای دستور لغزشی در سطح  $\sigma_j = 0$  اشاره می کند.

### ۲,۳. طراحی کنترلرمد لغزشی :

این SMC ایده آل در یک سوئیچینگ نامحدود عمل می کند که نمی تواند در سیستم های واقعی به طور تجربی پیاده

سازی شود. برای کاهش فرکانس سوئیچینگ، می توان متدهای کاهشی چندگانه را به کار برد که در الکترونیک

قدرت کاملاً شناخته شده اند. در بین آنها روش کنترل هیستریک [۹] به کار برده شده است.

$$v_j = \begin{cases} E_j; & \text{if } \sigma_j < -\Delta\sigma_j \\ 0; & \text{if } \sigma_j > \Delta\sigma_j \end{cases}$$

عمل کنترلر به شکل زیر است:

که  $\sigma_j$  همسایگی متقارنی در سطح سوئیچینگ ایجاد می کند و به ماکزیمم فرکانس سوئیچینگ محدود می شود.

### ۳. نتایج شبیه سازی:

برای معتبر کردن الگوریتم کنترل مورد نظر در شکل ۳، یک شبیه سازی دیجیتالی از سیستم در شکل ۲ نشان داده شده

است که پارامترهای سیستم عبارتند از:



$$E_1 = E_2 = E_3 = 60V; \quad L_1 = 300\mu H; \quad L_2 = L_3 = 250\mu H; \quad f_{S_{MAX}} = 50kHz;$$

$$V_o = 25V; \quad C_1 = 940\mu F; \quad C_2 = C_3 = 840\mu F; \quad P_o = 210W, \quad P_{o_{TOL}} = 630W;$$

$$\alpha = 800; \quad \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 500; \quad \Delta\sigma_1 = \Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3 = 300.$$

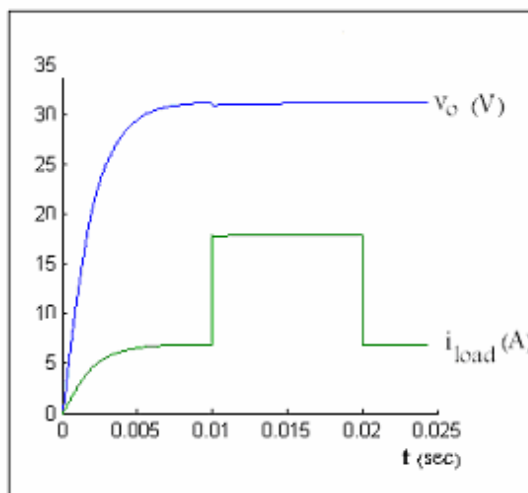
در این شبیه سازی رفتار پویای سیستم تحت تغییرات بار ارزیابی می شود. شرایط شبیه سازی عبارتند از:

- در ابتدا مقاومت بار ۴,۵ باشد.
- در  $t = 100ms$  مقاومت بار ناگهان به ۱,۷۴ تغییر یابد.
- در  $t = 200ms$  مقاومت بار ناگهان دوباره به ۴,۵ تغییر یابد.

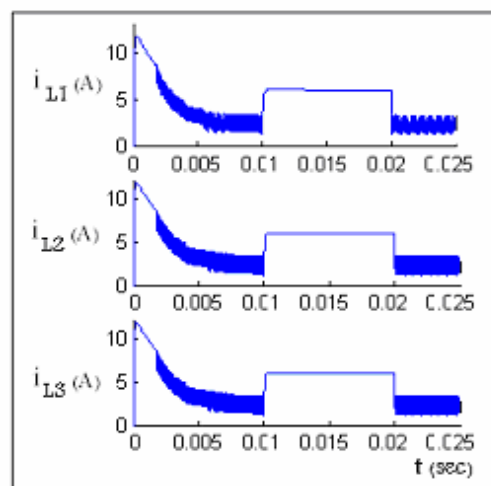
وقتی که سطح سوئیچینگ توسط معادله ۷ تعریف شده باشد سه مبدل، جریان برابری را برای بار تولید می کنند. شکل

۴ جریان القایی هر مبدل را نشان می دهد و شکل ۵ موج ولتاژ خروجی و جریان بار را وقتی که یک تغییر پله ای

در بار داشته باشیم نشان می دهد.



شکل ۵ - ولتاژ خروجی و جریان بار



شکل ۴ - جریان یکنواخت هر مبدل

از شکل های ۴ و ۵ می توان دریافت که اگر چه که یک اغتشاشی در سطح بار وجود دارد ولی بدون هیچ فوق جهش و

زیر جهشی ولتاژ ثابت می ماند، که به نظر می رسد سیستم کنترل نسبت به تغییرات بار تقریباً بدون عکس العمل است،

حتی اگر فرکانس سوئیچینگ محدود باشد. ویژگی منحصر بفرد دیگر مبدل موازی، انعطاف پذیری اش در برابر

افزایش یا کاهش تعداد منابع فعال، برای کل توان لازم است.

به طور کلی همیشه کل سیستم منبع تغذیه لازم نیست. در کنترلرهای مبدل موازی، تعداد مبدل های فعال در سیستم می

تواند به اندازه تقاضای جریان بار انتخاب شوند.

برای مثال در شرایطی که جریان بار کمی مورد نیاز است، تنها بعضی از مبدلها فعال هستند. اما وقتی بار افزایش می یابد

کنترلر باید بتواند مبدل های اضافی کافی را برای تامین یک تقاضای جدید جریان فعال کند. پس کنترلر نقطه بهینه کار

مبدل های موازی را تنظیم می کند و کارائی سیستم را افزایش می دهد.

#### ۴. نتیجه :

استفاده از منابع تغذیه موازی یک گزینه جذاب در هر سیستم منبع تغذیه با ظرفیت بالا است. به منظور پیاده سازی یک

سیستم مبدل dc-to-dc موازی با کارائی خوب تقسیم جریان بار، مقاوم بودن و قابلیت اطمینان بالا، یک روش جدید

بر اساس استراتژی کنترل مد لغزشی مطرح شده است. استراتژی SMC تحلیل شده و یک روش برای طرح کنترلر

بررسی شده است. در الگوی کنترلی مذکور، با هدف برابرسازی جریان خروجی حلقه کنترل جریان نیز وارد حلقه

کنترل ولتاژ شده است. برای معتبر سازی استراتژی SMC روی یک نمونه مرکب از سه مبدل موازی شبیه سازی

دیجیتالی انجام شده است. شبیه سازی نشان می دهد که استراتژی مطرح شده در شرایط اغتشاش و تحت تأثیر بارهای

مختلف نیز کارایی پویای خوبی ارائه می دهد.

## مراجع:

- [1] SIRI, K. and LEE, C. Q.: "Current Distribution Control of Converters Connected in Parallel". Proceedings of the IEEE IAS, Oct, 1990, Seattle, Washington.
- [2] LEE, C. Q.; SIRI, K. and WU, T, F.: "Dynamic Current Distribution Control of a Parallel Connection Converter System". IEEE-PESC'91, Cambridge, MA.
- [3] WU, R; KOHAMA, T.; Y.; NIMOMIYA, T. and IHARA, F.: "Load-Current-Sharing Control for Design Paralleled Operation of DC/DC Converters". IEEE PESC'93, June 1993, Seattle, USA.
- [4] BATARSEH, I.; SIRI, K. and LEE, H.: "Investigation of the output Droop Characteristic of Parallel-Connected DC/DC Converter". IEEE PESC'93, June 1994, Taiwan.
- [5] Mariano Lopez, Luis Garcia de Vicuna "Current Distribution Control Design for Paralleled DC/DC Converter Using Sliding-Mode Control". IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 51, no. 2, April, 2004.
- [6] UTKIN, V. I.: "Sliding-Modes and their Application in Variable Structure Systems". Moscow; Mir Publishers (English translation), 1978.
- [7] GAO, W. and HUNG, J.C.: "Variable Structure Control of Nonlinear Systems: A new Approach". IEEE Trans. On Industrial Electronics, vol. 40, no.1, February 1993.
- [8] DONOSO-GARCIA, P. F.; CORTIZO, P.C.; MENEZES, B.R and M.A.S: "Sliding Mode Control for Current Distribution in DC-DC Converters Connected in Parallel ". IEEE PESC'96, 1996, ITALY.
- [9] CARDOSO FO. B.J.; MENEZES, B.R.; MOREIRA, A. F. and CORTIZO, P.C.: "Analysis of Switching Frequency Reduction Methods Applied to Sliding –Mode Controller DC-DC Converters". PESC'92, June 1992.