

مدل سازی هایبرید مبدل الکترونیک قدرت باک بوست

هدی پورحسین^۱، آصف زارع^۲، محمد منفرد^۳

^۱دانشجو کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی گناباد، hpurhosein@gmail.com

^۲گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی گناباد، asefzare@yahoo.com

^۳گروه برق، دانشگاه فردوسی مشهد، m.monfared@um.ac.ir

چکیده: در این مقاله مدل هایبرید برای مبدل باک بوست با استفاده از قواعد مدل سازی تکه ای خطی (PWA) بررسی شده است. سیستم هایبرید خودکار بدست آمده و محدوده تغییر متغیرهای حالت تعیین می شود و همچنین دقت مدل بررسی می گردد. مدل میانگین فضای حالت مبدل باک بوست، پیوسته لیکن غیر خطی است. تحلیل و طراحی بر اساس مدل غیر خطی بسیار دشوار است، از این رو تقریب تکه ای خطی دینامیک های غیر خطی به عنوان یک راه حل مناسب مطرح می شود. نتایج شبیه سازی قدرت تقریب خطی را در پیش بینی رفتار سیستم نشان می دهد.

کلید واژه: سیستم هایبرید، مبدل باک بوست، تقریب تکه ای خطی، مدل سازی هایبرید

۱. مقدمه

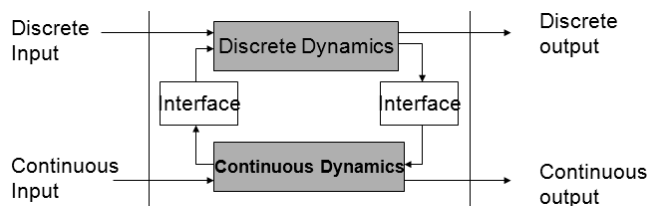
شان به دو دسته تقسیم می شوند [۲]. در دسته اول، فرکانس سویچینگ ثابت است و سیستم با تنظیم سیکل وظیفه کنترل می شود. در سیستم ها فرکانس ثابت، کنترل با تنظیم مدت زمان روشن بودن سویچ ها در یک دوره تناوب سویچینگ که سیکل وظیفه نامیده می شود صورت می

گیرد $(d = \frac{t_{on}}{T})$. در دسته دیگر یعنی مبدل های فرکانس

متغیر که شامل مبدل های رزونانسی است، ولتاژ خروجی با تنظیم فرکانس سویچینگ کنترل می شود [۳]. در این مقاله یک مبدل فرکانس ثابت که باک بوست نامیده می شود مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این مبدل به لحاظ کاربردهای الکترونیک قدرت مساله به روز و مورد توجه محققین می باشد. معادلات توصیف کننده این مبدل غیر خطی می باشد. تحلیل و طراحی کنترل کننده با استفاده از معادلات غیر خطی کاری بسیار دشوار است. به منظور استفاده از ابزارهای خطی تحلیل و طراحی تقریب های متفاوتی مورد استفاده قرار می گیرند. تقریب های تکه ای خطی (Piecewise Affine یا PWA)

برای حل این مشکل پیشنهاد شده است [۴] و [۵]. در این مقاله پس از معرفی مبدل الکترونیک قدرت باک بوست به معرفی روش تقریب تکه ای خطی (PWA) پرداخته شده است. به دلیل رفتار غیر خطی سیستم از این روش برای مدل سازی و تحلیل مبدل استفاده شده است. کاربرد اصلی این تقریب در طراحی کنترلر می باشد. همچنین یک مقایسه بین مدل PWA و مدل غیر خطی صورت گرفته است. به کمک این شبیه سازی ها قدرت تقریب PWA برای مدل سازی این مبدل ها مشخص شده است.

تئوری کنترل که شامل کنترل مدل های پیوسته و معادلات دیفرانسیل می باشد با دانش کامپیوتر که شامل مدل های محاسباتی، مدل های ارتباطی و سیستم های گسسته می باشد، ترکیب شده و موجب پیدایش سیستم های هایبرید شده است. سیستم های هایبرید دسته ای از سیستم های دینامیکی هستند که در آنها رفتار دینامیکی سیستم، ترکیبی از دینامیکهای پیوسته (که معمولاً با معادلات تفاضلی مدل می شوند) و دینامیکهای گسسته پیشامد (که معمولاً با ماشینهای خودکار مدل می شوند) می باشد، لذا مشاهده می شود که در سالهای اخیر توجه بسیار زیادی به سیستم های هایبرید شده است [۱].



شکل (۱): ساختار سیستم هایبرید

مبدل های الکترونیک قدرت گزینه مناسبی برای مدل سازی و کنترل هایبرید هستند زیرا آنها ترکیب مولفه های پیوسته که منجر به دینامیک های پیوسته و سویچ ها که منجر به دینامیک های گسسته می شود، می باشند. مبدل های DC-DC دسته ای از مبدل های الکترونیک قدرت می باشند که به علت مزایایی از جمله: وزن سبک، ابعاد کوچک و قابلیت اطمینان بالا، بطور وسیع در کاربردهای مختلفی مورد استفاده قرار گرفته اند. مبدل های DC-DC برحسب متغیر کنترل

۲. معرفی مبدل باک بوست:

مبدل باک بوست یک عضو جدید از خانواده مبدل های DC-DC یا اصطلاحاً چارهای DC است که قابلیت افزایش و کاهش همزمان دامنه ولتاژ DC خروجی را دارد. از مزایای این مبدل توانایی عملکرد در دو مد باک و بوست است که بسته به نوع طراحی و مسائل راندمان و غیره از ترکیبی از این مدها استفاده می شود. همچنین این مبدل از یک سویچ نیمه هادی قدرت استفاده می کند. یکی دیگر از مزایای مبدل باک بوست راندمان بالا، تلفات کم، قابلیت اطمینان بالا، نویز الکترومغناطیسی ناچیزی می باشد. بهره ولتاژ مبدل باک بوست کمتر، مساوی، یا بزرگتر از یک می باشد. بر خلاف مبدل های یک و بوست، این مبدل هنگامی که بدون جدا سازی (ایزولاسیون) مورد استفاده قرار می گیرد یک ولتاژ خروجی منفی به دست می دهد [۶]. در شکل (۲) شماتیک مدار قدرت مبدل باک بوست آورده شده است.

۳. متوسط گیری فضای حالت:

برای بدست آوردن معادلات حالت پیوسته برای این مبدل از روش متوسط گیری استفاده می کنیم. این مبدل بسته به وضعیت سویچ S دو حالت عملکرد متفاوت دارد [۶]. معادلات مبدل در این دو حالت عملکرد به قرار زیر می باشند:

$$(۱) \text{ حالتی که } S \text{ بسته باشد. } 0 < t < dT$$

$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{1}{C} [0 - \frac{V_C}{R}] \quad (۱)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} [V_{in}] \Rightarrow \quad (۲)$$

$$\begin{pmatrix} \frac{dV_C}{dt} \\ \frac{di_L}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{RC} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_C \\ i_L \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{pmatrix} V_{in} \quad (۳)$$

(۲) حالتی که S باز باشد.

$$dT < t < T$$

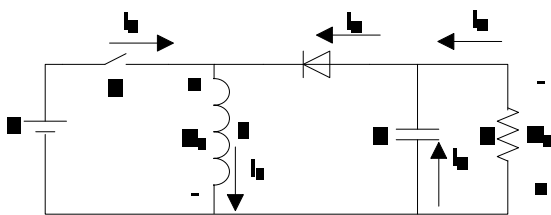
$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{1}{C} [i_L - \frac{V_C}{R}] \quad (۴)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} [-V_{in}] \Rightarrow \quad (۵)$$

$$\begin{pmatrix} \frac{dV_C}{dt} \\ \frac{di_L}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-1}{RC} & \frac{1}{C} \\ \frac{-1}{L} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_C \\ i_L \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} V_{in} \quad (۶)$$

اگر فرکانس سویچینگ بطور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از فرکانس های طبیعی مبدل باشد، این مدل‌های گسسته می توانند توسط یک مدل پیوسته متوسط گیری شده تقریب زده شوند. متوسط گیری فضای حالت بدین صورت است:

$$\begin{pmatrix} \frac{dV_C}{dt} \\ \frac{di_L}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-1}{RC} & \frac{1}{C} \\ \frac{-1}{L} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_C \\ i_L \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{-i_L}{C} \\ \frac{V_C + V_{in}}{L} \end{pmatrix} d \quad (۷)$$



شکل (۲): شماتیک مدار قدرت مبدل باک بوست

۴. تقریب تکه‌ای خطی (PWA):

کلاسی از سیستم های غیر خطی به این صورت تشریح شده:

$$\begin{aligned} \dot{Z}(t) &= f(z) + h(z)u \\ y(t) &= Cz \end{aligned} \quad (۸)$$

که $z \in R^n$ شامل متغیرهای حالت همراه با دینامیک های غیر خطی است. $u \in R^p$ بردار ورودی کنترل است. تمام ماتریس ها در معادلات با ابعاد مناسب فرض شده است [۷] و [۸]. دوما فرض شده نگاهت Z به \dot{Z} شامل یک ناحیه همسایه گوی کوچک دلخواه از نقطه مرجع می باشد. بنابراین شرایط ثنوری Brockett را لحاظ نمی نماییم و خطی سازی در یک ناحیه همسایگی که بخوبی تعریف شده است را بکار می بریم [۷]. ما فرض می کنیم یک افراز برای سلول های X_i مانند شکل (۳) وجود دارد. سلول ها می توانند توسط نامعادله زیر استخراج شوند:

$$X_i = \{x | h_{ij}^T x < g_{ij}, j = 1, \dots, p_i\} \quad (۹)$$

میتواند نوشته شود، که $f(\alpha)$ یک بردار، θ یک ماتریس با ابعاد $(n+1) \times n$ است که توسط معادله ی زیر تعیین می شود:

$$\theta = [A_i^T | b_i^T] \quad (17)$$

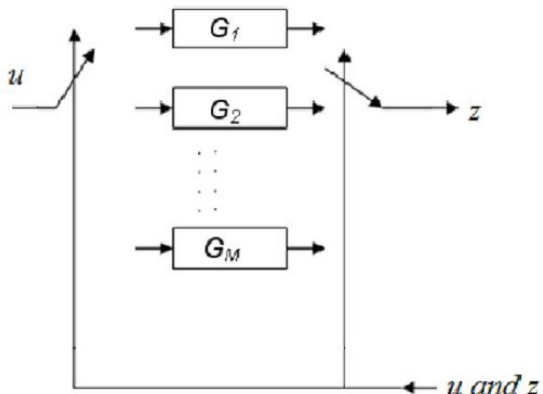
α نشان دهنده بردار $n \times 1$ با مختصات راس می باشد. اگر تمام مقادیر $f(\alpha)$ در یک ماتریس مانند F و تمام سطرها ی $[1 | \alpha^T]$ در یک ماتریس X قرار گیرند، جواب به این صورت خواهد بود:

$$\theta = X^{-1}F \quad (18)$$

در نهایت ما باید ماتریس B_i را برای هر سلول بیابیم. ما توسط تعریف مرکز چبیشف (ω_{cheb}^i) برای هر سلول این ماتریس را بدست می آوریم. مرکز چبیشف یک سلول چند وجهی باز محدب به صورت مرکز ابر کره ای که در داخل سلول نام قرار دارد و بیشترین حجم را دارد تعریف می شود.

$$B_i = B(\omega_{cheb}^i) \quad (19)$$

کلید زنی بین دینامیک های PWA بر اساس متغیرهای حالت و ورودی ها صورت می پذیرد [7] و [8]. شکل (۴) این مسئله را بخوبی

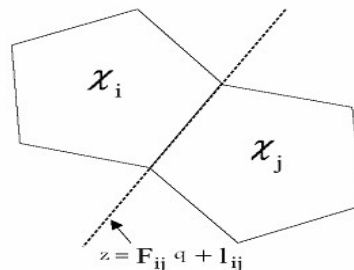


نمایش می دهد

شکل (۴): توصیف عملکرد یک سیستم PWA

جدول (۱): پارامترهای مدل باک بوست

Load	$R=20 \Omega$
Filter capacitance	$C=330 \mu F$
Inductor	$L=100 \mu H$
Input voltage	$V_{in}=20V$
Switching frequency	$F_s=100KHz$



شکل (3): ناحیه های X_i و X_j و مرزشان

$$H_i^T x - g_i < 0 \quad (10)$$

که
$$H_i = [h_{i1} h_{i2} \dots h_{ip_i}] \quad (11)$$

$$g_i = [g_{i1} g_{i2} \dots g_{ip_i}] \quad (12)$$

دینامیک های هر سلول PWA شده به این فرم است:

$$\dot{x}(t) = A_i x(t) + b_i + B_i u(t) \quad (13)$$

$$y(t) = Cx$$

هر سلول مشخص شامل تعداد محدودی بردارها و سطوح می باشد. هر دو سلولی که یک سطح مشترک داشته باشند سلول های همسایه نامیده می شوند. یک توصیف پارامتری محدوده ها به این ترتیب است:

$$\bar{X}_i \cap \bar{X}_j \subseteq \{l_{ij} + F_{ij} q | q \in \mathbb{R}^{p+1}\} \quad (14)$$

$$i=1, \dots, M$$

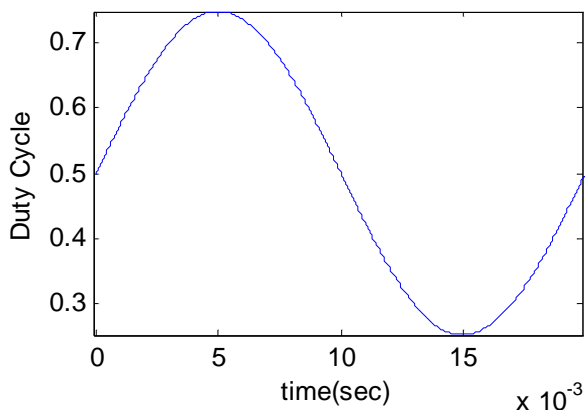
$$j=1, \dots, N_j$$

که M شماره سلول اصلی این مجموعه و N_j تعداد سلول های همسایه ی سلول M است. بر روی هر ناحیه معادله (8) با یک معادله خطی به شکل،

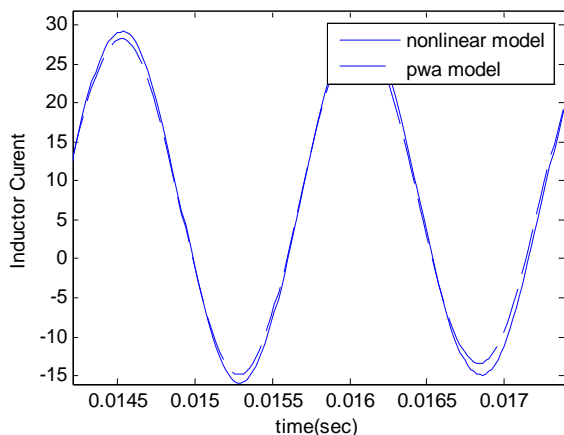
$$\dot{z}(t) = A_j z(t) + B_j u(t) + b_j \quad (15)$$

تقریب زده می شود. که در آن $z \in \mathbb{R}^n$ متغیرهای حالت سیستم و $u \in \mathbb{R}^p$ بردار ورودی سیستم می باشد و A_j و B_j ماتریس های توصیف کننده سیستم در هر ناحیه می باشد. تعیین تقریب PWA برای یک تابع غیر خطی اساساً یک مسئله تخمین می باشد. در هر سلول یک معادله خطی به

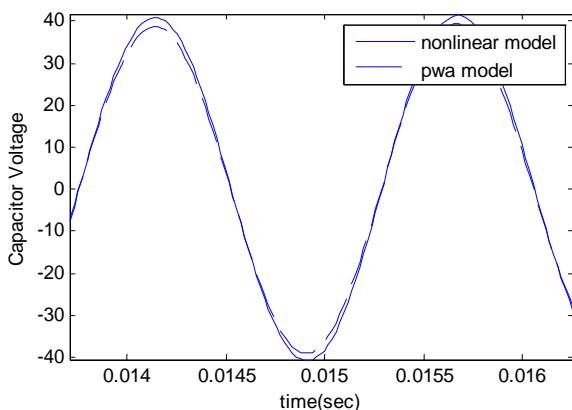
فرم:
$$f(\alpha)^T = [\alpha^T | 1] \theta \quad (16)$$



شکل (۵): تغییرات سیکل وظیفه



شکل (۶): جریان سلف بر حسب زمان



شکل (۷): ولتاژ خازن بر حسب زمان

۵. اعمال تقریب PWA بر مبدل باک بوست:

ابتدا طبق [۷] و [۸] و [۹] تعداد و شکل مناسب نواحی را تعیین می کنیم. ناحیه بندی در یک فضای دو بعدی شامل محورهای متغیرهای حالت می باشد. معادله (۷) را می توان به این صورت نوشت:

$$\begin{pmatrix} \frac{dV_C}{dt} \\ \frac{di_L}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{RC} & \frac{1}{C} \\ -\frac{1}{L} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_C \\ i_L \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{-i_{Lcheb}}{C} \\ \frac{V_{Ccheb} + V_{in}}{L} \end{pmatrix} d \quad (20)$$

تغییرات سیکل وظیفه طبق روابط زیر می باشند:

$$d = 0.5 + 0.25 \sin(200\pi t) \quad (21)$$

۶. نتایج شبیه سازی

به منظور انجام شبیه سازی از پارامترهای جدول (۱) استفاده شده است. نتایج شبیه سازی ها دقت و اعتبار هر کدام از تقریب ها را به خوبی بیان می کند. شکل (۵) تغییرات سیکل وظیفه را نشان می دهد. شکل (۶) تا (۹) نتایج شبیه سازی را نشان می دهند. این نمودار ها برای تغییرات غیر خطی واقعی و تقریب PWA رسم شده است.

۷. نتیجه گیری

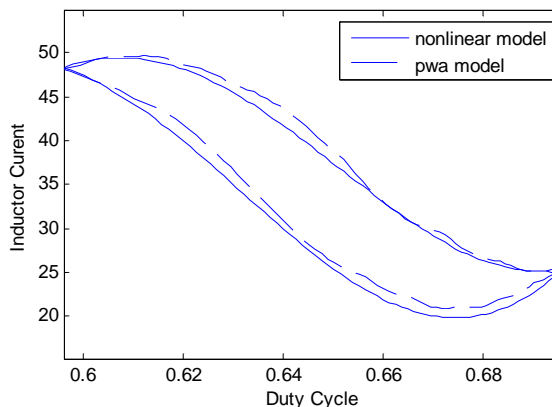
نتایج شبیه سازی ها اعتبار و دقت مدل PWA را تایید می کنند. اهمیت و کاربرد اصلی مدل PWA ارائه شده استفاده از آن، جهت طراحی کنترل کننده می باشد. مدل PWA علی رغم پیچیدگی محاسباتی یک مدل کامل و با دقت بالا از مبدل را در اختیار ما قرار می دهد. این مدل جدید در آنالیز و کنترل سیگنال بزرگ مبدل باک بوست بسیار مفید است. این روش مدل سازی یک ابزار مهم برای طراحی فیدبک خطی می باشد. هر چه تعداد ناحیه های در نظر گرفته شده بیشتر باشد تقریب دارای دقت بالاتری خواهد بود. مدل سازی انجام شده دارای 10×50 ناحیه می باشد.

جدول (۲): ابعاد و محدوده تغییرات سلول ها در PWA

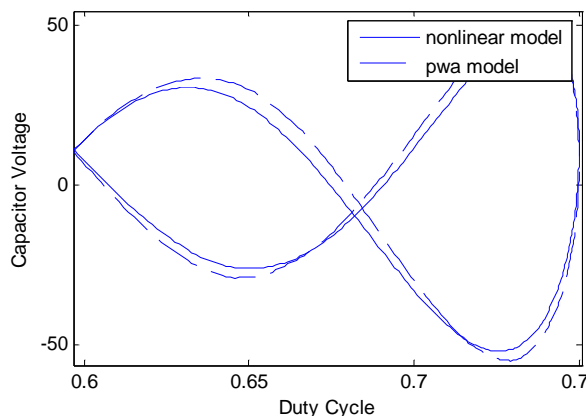
Parameter	Min	Max	Step
Inductor current(A)	0	100	2
Out put voltage(V)	-100	0	10

Conference on Control, Automation and Systems 2008.

- [4] Alberto Bemporad, "Efficient Conversion of Mixed Logical Dynamical Into an Equivalent Piecewise Affine Form", IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATIC CONTROL, MAY 2004.
- [5] Cuneyt Guzelis and Izzet Cem Goknar, "A Canonical Representation for Piecewise – Affine Maps and Its Applications to Circuit Analysis", IEEE, NOV 1991.
- [6] Julie J. Lee; "ANALYSIS OF SMALL-SIGNAL MODEL OF A PWMDC-DC BUCK-BOOST CONVERTER IN CCM, MS thesis, Wright State University, 2007.
- [7] L. Rodrigues, A. Hassibi, J. P. How, "Output Feedback Controller Synthesis for Piecewise-Affine Systems with Multiple Equilibria," in Proc. American Control Conference, June 2000.
- [8] L. Rodrigues and J. How, "Automated control design for a piecewiseaffine approximation of a class of nonlinear systems" in Proc. American Control Conf., June 2001.
- [9] F. Tahami, H. Molla Ahmadian Kaseb, "Piecewise Affine Large Signal Modeling of PFC Rectifiers", IEEE, Spain, June 4-7, 2007.



شکل (۸): جریان سلف بر حسب تغییرات سیکل وظیفه



شکل (۹): ولتاژ خروجی بر حسب تغییرات سیکل وظیفه

۸. مراجع

- [1] Karl Henrik Johansson, "Hybrid Control Systems" Dept. of Signals, Sensors & Systems, Royal Institute of Technology, 100 44 Stockholm, 2005.
- [2] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, Power Electronics: Converters, Applications and Design: Wiley, 1989
- [3] Mahmood Mirzaei and Ali A. Afzalian, "Hybrid Modeling of the Non-inverting Buck-Boost DC-DC Converter", International