

ارائه یک مبدل بوست جدید با کلید زنی نرم و تکنیک بالا برنده بهره ولتاژ

ابوالقاسم کریمی^۱ و مجید دلشاد^۲

^۱ دانشجوی ارشد برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، karimi_abolghasem@yahoo.com

^۲ عضو هیئت علمی گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، delshad.majid@gmail.com

چکیده - در این مقاله یکی از مبدل های رزنانسی بوست DC به DC با شرایط سویچینگ نرم و تکنیک بالا برنده بهره ولتاژ ارائه می گردد. این مبدل تنها دارای یک سویچ می باشد که بصورت ZCS روشن و تحت شرایط ZVS خاموش می گردد. علاوه بر آن بهره مبدل به میزان زیادی افزایش یافته است. کنترل این مبدل بصورت مدولاسیون پهنای پالس می باشد. این مبدل در کاربرد هایی نظیر منابع تغذیه سویچینگ با ولتاژ بالا کاربرد فراوان دارد. تلفات پایین در رنج وسیع بار، راندمان بالا، کلید زنی نرم، بهره ولتاژ بالا و استرس ولتاژ و جریان پایین از مزایای مبدل پیشنهادی است. نتایج شبیه سازی و آزمایشگاهی درستی تجزیه و تحلیل تئوری را تایید می کند.

کلید واژه - سویچینگ نرم، مبدل بوست DC به DC، مدولاسیون پهنای پالس، ZCS، ZVS

مقدمه

ولتاژ و جریان سویچ در لحظه های کلید زنی می باشد. [2]
و [3]

جهت فائق آمدن بر مشکلات فوق، از تکنیک سویچینگ نرم در مبدل های DC به DC استفاده می شود که به دو دسته کلی مبدل های رزنانسی و شبه رزنانسی [4] و مبدل های مدولاسیون پهنای پالس (PWM) [5] تقسیم بندی میشوند. در این روش ها در لحظه کلید زنی همپوشانی بین ولتاژ و جریان سویچ وجود نداشته و عمل سویچینگ تحت شرایط جریان صفر (ZCS) و یا تحت شرایط ولتاژ صفر (ZVS) انجام می شود و باعث کاهش تلفات سویچینگ و افزایش راندمان مبدل می گردد.

افزایش بهره ولتاژ در مبدل بوست می تواند از طریق اضافه کردن ترانسفورماتور ایزوله با نسبت تبدیل مناسب [6] یا استفاده از سلول های سلفی، سلفی- خازنی و سلفی- خازنی

مبدل های DC به DC سویچینگ برای تبدیل ولتاژ dc تنظیم نشده ورودی به ولتاژ کنترل شده خروجی با مقدار مطلوب به کار می روند. [1] مبدل بوست یک نمونه از این مبدل ها است که به دلیل داشتن ولتاژ خروجی بالاتر از ولتاژ ورودی، در بسیاری از کاربردها از جمله منابع تغذیه سویچینگ، منابع تغذیه بدون وقفه سیستم های فتوولتائیک و سیستم های انرژی نو مورد استفاده قرار می گیرد.

بطور کلی در همه مبدل های DC به DC به منظور کاهش حجم، وزن و هزینه ساخت مبدل باید فرکانس سویچینگ افزایش یابد. اما این افزایش فرکانس باعث ایجاد شرایط سویچینگ سخت و در نتیجه تحمیل تلفات کلید زنی عمده به

اما این افزایش فرکانس باعث ایجاد شرایط علاوه بر آن علت اصلی تداخلات امواج الکترومغناطیس (EMI)، تغییرات سریع

خازن های خروجی C_{o1} و C_{o2} به اندازه کافی بزرگ هستند و بنابراین جریان ورودی سلف L_1 و ولتاژ خروجی مبدل بدون ریپل و ثابت فرض می شوند.

مبدل پیشنهادی در حالت پایدار دارای هفت وضعیت عملکرد در طول یک سیکل سویچینگ می باشد. نمای شماتیکی مد های عملکرد مبدل در شکل (۲) ارائه شده است. مسیر هدایت در هر وضعیت با خطوط ضخیم نشان داده شده است.

$$\text{مد ۱ } [t_0 \leq t < t_1]$$

در این وضعیت سویچ مبدل خاموش است و انرژی منبع ورودی از طریق دیود D_{o2} بصورت مستقیم و از طریق دیود D_{o1} و تزویج بین سلف های L_1 و L_2 به خروجی منتقل می شود. در این حالت خازن های C_{o1} و C_{o2} شارژ می شوند و بار نیز تغذیه می گردد. روابط حاکم در این وضعیت به قرار زیر هستند.

$$v_{ca}(t) = 0 \text{ و } v_{cr}(t) = v_{co2} \text{ و } i_{Lr}(t) = 0 \quad (1)$$

$$v_o = v_{co1} + v_{co2} \quad (2)$$

$$\text{مد ۲ } [t_1 \leq t < t_2]$$

این مد با روشن شدن سویچ S تحت شرایط ZCS آغاز می شود. جریان سویچ بصورت خطی و با شیب ثابت افزایش می یابد و دیود D_3 نیز در این حالت بصورت ZCS روشن می شود با افزایش جریان i_{Lr} همزمان جریان دیود D_{o2} کاهش یافته تا به صفر برسد و به محض صفر شدن جریان این دیود، این مد به پایان میرسد. جریان سلف رزنانس در این حالت برابر است با:

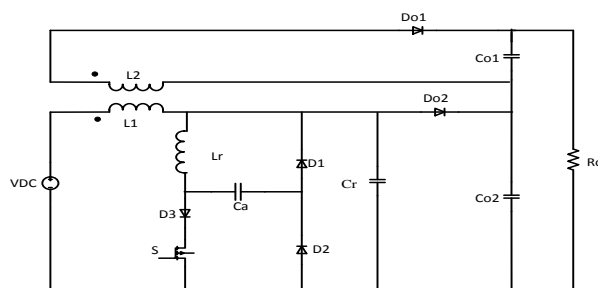
$$i_{Lr}(t) = \frac{v_o}{L_r} t \quad (3)$$

دوبل [7] و یا از طریق کوپل مغناطیسی سلف های تزویج شده [9],[8] انجام شود.

در این مقاله یک مبدل بوست با مدار کمکی رزناسی جهت سویچینگ نرم ارائه می گردد و بهره مبدل از طریق سلف های تزویج شده افزایش می یابد. این مبدل با ارائه وضعیت های عملکرد در یک سیکل سویچینگ، مدار معادل هر وضعیت و شکل موج های کلیدی تحلیل می گردد سپس نتایج شبیه سازی و عملی آن ارائه می شود و در انتها مبدل پیشنهادی مورد ارزیابی قرار می گیرد.

نمای مبدل پیشنهادی

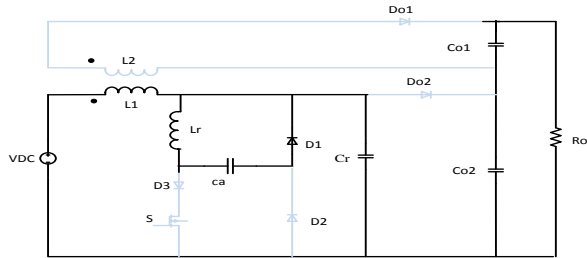
شماتیک مبدل بوست پیشنهادی در شکل (۱) ارائه شده است. این مبدل دارای یک سویچ و یک مدار کمکی رزناسی شامل $L_r - C_a - C_r - D_1 - D_2$ جهت ایجاد شرایط سویچینگ نرم و دارای سلف های تزویج شده L_1 و L_2 جهت افزایش بهره ولتاژ می باشد. دیود D_3 جهت جلوگیری از معکوس شدن جریان سویچ در حالتی که سویچ خاموش است از طریق دیود بدنه آن استفاده شده است.



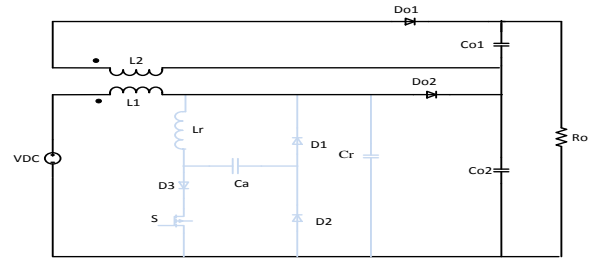
شکل (۱) نمای شماتیکی مبدل بوست پیشنهادی

عملکرد مبدل پیشنهادی

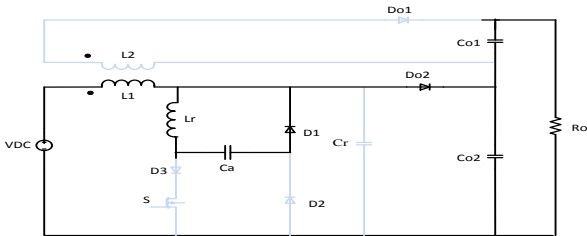
به منظور ساده کردن تحلیل مبدل پیشنهادی فرض می شود تمام المان های سویچینگ شامل سویچ و دیودها و قطعات پسیو مدار ایده آل هستند و مقادیر اولیه در هر وضعیت عملکرد برابر صفر در نظر گرفته می شود. سلف ورودی مبدل و



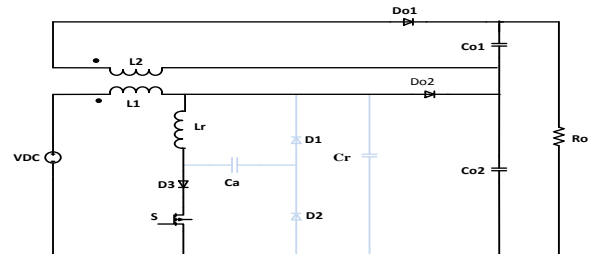
مد ۵



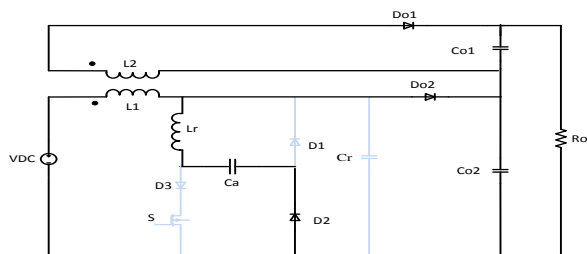
مد ۱



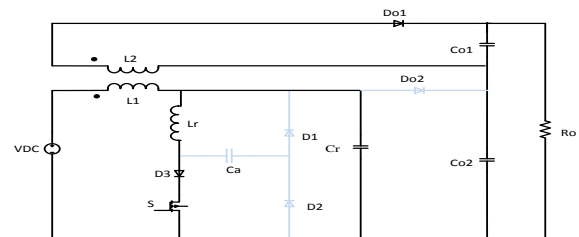
مد ۶



مد ۲



مد ۷

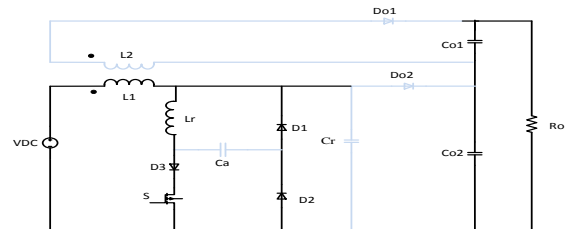


مد ۳

شکل (۲) مدار معادل وضعیت های عملکرد مبدل

مد ۳ $[t_2 \leq t < t_3]$

این مد با صفر شدن جریان i_{D02} آغاز شده و دیود D_{01} روشن باقی می ماند در این حالت یک رزنانس بین سلف L_r و خازن C_r آغاز می گردد و انرژی خازن C_r به سلف L_r منتقل می شود و باعث افزایش بیشتر جریان i_{Lr} می گردد. در انتهای این



مد ۴

که در رابطه (۶) مقدار اولیه جریان سلف i_{Lr} در مد سوم

$$\text{است و در رابطه (۷) } \omega_a = \frac{1}{\sqrt{L_r C_a}} \text{ و } Z_a = \sqrt{\frac{L_r}{C_a}} \text{ می‌باشد.}$$

$$\text{مد ۶ } [t_5 \leq t < t_6]$$

وقتی ولتاژ خازن رزنانس V_{Cr} به مقدار V_{C02} رسید این وضعیت آغاز می‌شود. در این حالت انرژی سلف رزنانس L_r بطور کامل به خازن C_a منتقل شده و جریان سلف رزنانس

(i_{Lr}) صفر می‌شود. دیود های D_{01} و D_{02} تحت شرایط ZCS روشن می‌شوند و این وضعیت به پایان می‌رسد. در این وضعیت روابط $i_{Lr}(t)$ و $V_{Ca}(t)$ به ترتیب زیر محاسبه می‌گردند.

$$i_{Lr}(t) = I_2 + \cos\omega_a(t) \quad (8)$$

$$v_{Ca}(t) = I_2 Z_r \sin\omega_a(t) \quad (9)$$

$$\text{مد ۷ } [t_6 \leq t < t_7]$$

این مد با روشن شدن D_{02} شروع شده و پس از آن D_{01} خاموش و D_{02} روشن می‌شود. در این حالت یک رزنانس مجدد بین L_r و C_a شروع می‌گردد که باعث برگشت انرژی از C_a به L_r می‌شود. جهت جریان در سلف L_r عکس مد ششم می‌شود. این وضعیت با صفر شدن جریان i_{Lr} به اتمام می‌رسد. جریان i_{Lr} و ولتاژ V_{Ca} به ترتیب زیر محاسبه می‌گردند.

$$i_{Lr}(t) = \left(\frac{V_0}{Z_a} - I_2\right) \sin\omega_a(t) \quad (10)$$

$$v_{Ca}(t) = v_0 - (v_0 - Z_a I_2) \cos\omega_a(t) \quad (11)$$

پس از صفر شدن جریان i_{Lr} دیود D_{02} خاموش شده و مبدل به وضعیت اول بر می‌گردد و سیکل بعدی سوییچینگ شروع می‌شود.

وضعیت ولتاژ v_{Cr} از مقدار اولیه v_{C02} کاهش یافته تا به صفر برسد. در این حالت داریم:

$$i_{Lr}(t) = I_{min} + \frac{V_0}{Z_r} \sin\omega_n(t) \quad (4)$$

$$v_{Cr}(t) = v_0 \cos\omega_n(t) \quad (5)$$

$$\text{که در روابط فوق } \omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} \text{ و } Z_r = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}}$$

می‌باشد.

$$\text{مد ۴ } [t_3 \leq t < t_4]$$

با صفر شدن v_{Cr} دیود های مدار کمکی D_{01} و D_{02} روشن می‌شوند. در این حالت جریان سلف L_r از مجموع جریان دو شاخه سلف ورودی L_1 و شاخه مشتمل از دیود های D_{01} و D_{02} تشکیل می‌شود و بنابراین i_{Lr} بصورت خطی افزایش یافته و i_{D01} کاهش می‌یابد. با صفر شدن جریان i_{D01} این دیود خاموش شده و این وضعیت به پایان می‌رسد.

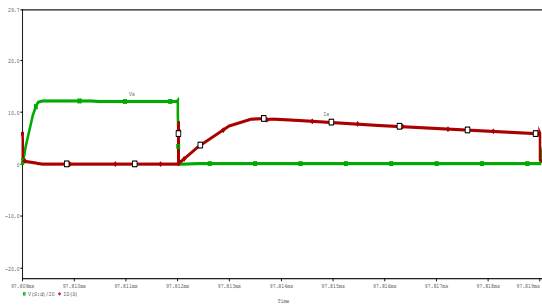
$$\text{مد ۵ } [t_4 \leq t < t_5]$$

در این حالت سوییچ مبدل تحت شرایط ZVS خاموش شده دیود D_{02} خاموش ولی دیود D_{01} روشن باقی می‌ماند و دو حلقه جریانی تشکیل می‌گردد حلقه اول شامل منبع ورودی، L_r و C_r که باعث شارژ C_r به میزان V_{C02} می‌گردد و حلقه دوم شامل L_r ، C_a و D_{01} که باعث یک حلقه رزنانسی جدید بین L_r و C_a می‌شود بنا براین جریان i_{Lr} کاهش یافته و ولتاژ V_{Ca} ماکزیمم می‌گردد. در این حالت داریم:

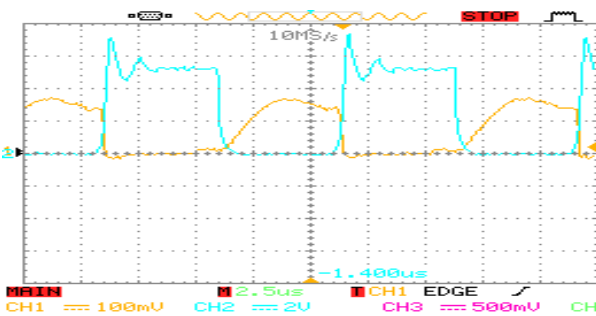
$$i_{Lr}(t) = I_2 \cos\omega_a t \quad (6)$$

$$V_{Ca}(t) = Z_r I_2 \sin\omega_a t \quad (7)$$

در شکل (۵) نتایج شبیه سازی و عملی مبدل پیشنهادی جهت سویچینگ نرم مبدل ارایه گردیده است



الف- شکل موج شبیه سازی شده ولتاژ (خط ممتد) و جریان (خط مقطع) سویچ



ب- شکل موج عملی ولتاژ (سبز) و جریان (نارنجی) سویچ

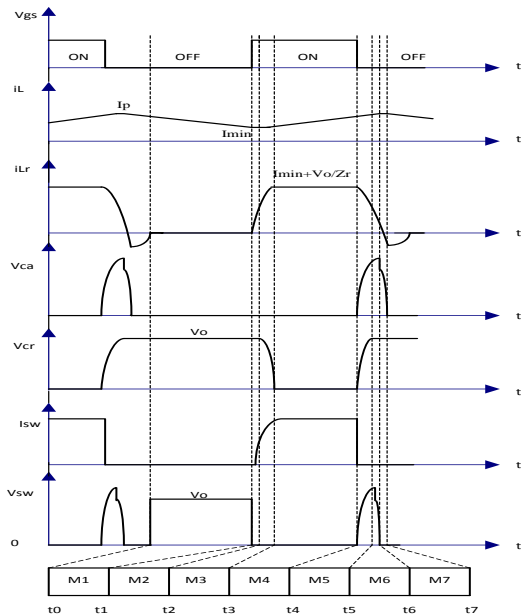
شکل (۵) موج های ولتاژ و جریان سویچ مبدل پیشنهادی الف- نتایج شبیه سازی ب- نتایج عملی

محاسبه بهره ولتاژ

بهره مبدل ارائه شده از جمع بهره مبدل بوست پایه که دارای شرایط سویچینگ نرم است و بهره قسمت بالا برنده بهره ولتاژ از طریق سلف های تزویج شده و طبق روابط زیر بدست می آید.

$$V_o = V_{Co1} + V_{Co2} \quad (12)$$

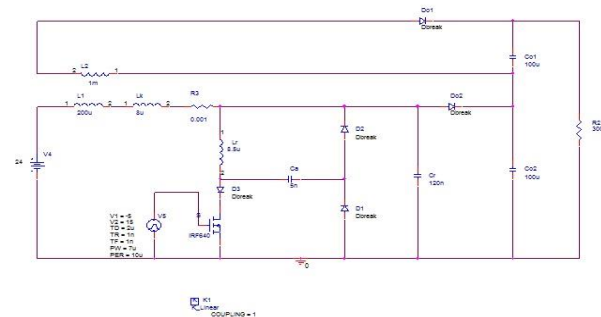
شود. شکل موج های کلیدی مبدل در شکل (۳) ارائه گردیده است.



شکل (۳) شکل موج های کلیدی مبدل بوست پیشنهادی

شبیه سازی مبدل پیشنهادی

مبدل پیشنهادی در نرم افزار PSPICE شبیه سازی گردید. شماتیک شبیه سازی در شکل (۴) ترسیم شده است.



شکل (۴) شماتیک شبیه سازی شده مبدل پیشنهادی

مقادیر و مشخصات المان های مبدل در جدول شماره (۱) ثبت شده است.

با توجه به شکل (۵) نتایج شبیه سازی و آزمایشگاهی نشان می دهد که سوئیچ مبدل تحت شرایط ZCS روشن و تحت شرایط ZVS خاموش می گردد. همچنین بهره ولتاژ مبدل به میزان قابل توجهی افزایش یافته است بطوری که به ازاء ولتاژ ورودی ۲۴ ولت در خروجی ولتاژ ۳۶۰ ولت در ضریب وظیفه ۰.۷ و نسبت تبدیل ۵ برای سلف های تزویج شده بدست آمد. راندمان مبدل در بار کامل برابر با ۹۷.۱٪ بدست آمد.

مراجع

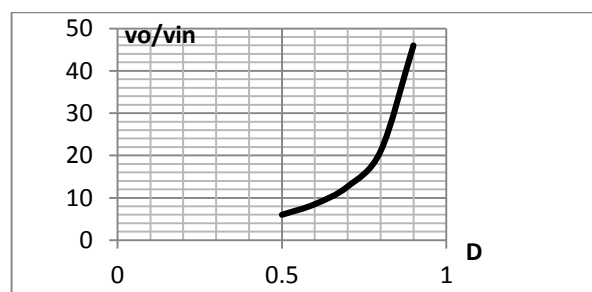
- [1] Mohan, N., Undeland, T.M. and Robbins, w.p.: "power Electronics" 3rded. New York: Wiley, 2003, pp.682-690.
- [2] Zhe Zhang, olec. Thomsen and Michal A. E. Andresen, "Soft-Switched Dual-Input DC-DC Converter Combining a Boost Half-Bridge Cell and a Voltage-Fed Full Bridge Cell", IEEE Trans. Power Electronics. Vol.28, NO.11, November 2013.
- [3] Martins.M.L, stein.C.M, Pinheiro.J.R, and Hey.H.L, "zero- current zero- voltage transition inverters with magnetically coupled auxiliary circuits: analysis and experimental results", IET power Electron, vol.4, Iss.9, pp. 968-978 march 2011.
- [4] Jabbariand.M, Farzanehfard.F, "family of soft – switching resonant DC-DC converters" IET power Electron, vol.2, Iss.2, pp.113-124, March, 2008.
- [5] Adib.E and FarzanehFard.H, "family of soft-switching pwm converters with current sharing in switches", IEEE Trans. Power Electronics, vol.24, No.4, April 2009.
- [6] Baei.M, Narimani.M and Moschopoulos.G, "A New Zvs-Pwm Full-Bridge Boost Converter" Journal Of Power Electronics, vol.14, No.2, pp 237-248, March 2014.
- [7] Jiao.Y, Luo.F.L and Zhu.M, "voltage – lift- type switched inductor cells for enhancing Dc- Dc boost ability principles and integration in Luoconverter", IET power Electron, vol, 4, Iss. 1, pp 131-142, April 2010.
- [8] Chen.Y.T, Tsai.M.H, and Liang.R.H, "DC-DC converter with high voltage gain and reduced switch stress", IET power Electron, vol.7.Iss. 10 pp2564-2571. January 2014.
- [9] Do.H.L, "Active- Clamp soft – switching step- up Converter with high – voltage gain", IET power Electron, vol.4, Iss.9, pp. 1043-1050 August 2010

$$V_o = \frac{1}{1-D} + \frac{ND}{1-D} \quad (13)$$

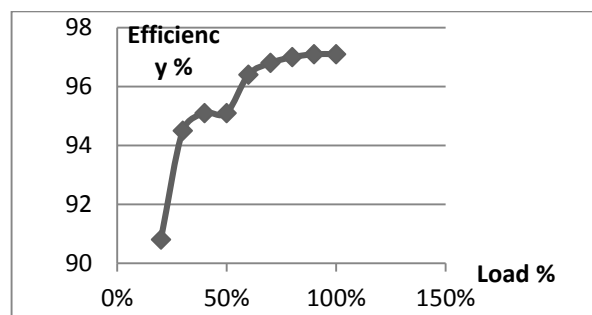
جدول (۱) مشخصات و مقادیر المان های مبدل پیشنهادی

المان ها / مشخصات	نام قطعه / مقدار
S(switch)	IRF640
D_1-D_3	MUR 860
$D_{O1}-D_{O2}$	MUR 860
C_a	5 nf
C_r	120nf
$C_{O1}-C_{O2}$	100 μ f
L_r	8.5 μ H
L_1	200 μ H
L_2	1MH
V_{in}	24V
V_o	360V
P_o	600W
f_s	100kHz

شکل (۵) بهره ولتاژ و شکل (۶) راندمان مبدل را نشان میدهد.



شکل (۵) منحنی بهره ولتاژ مبدل پیشنهادی



شکل (۶) منحنی راندمان مبدل پیشنهادی

نتیجه گیری