



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت

طراحی، مدل‌سازی دینامیکی و شبیه‌سازی یک مبدل BUCK-BOOST غیر معکوس کننده

توسط:

حسن دهقانی

استاد راهنما:

دکتر علی عابدینی

استاد مشاور:

دکتر محمد توکلی بینا

پاییز ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

چکیده

در این پایان نامه یک مبدل باک‌بوست¹ غیر معکوس کننده با توپولوژی جدید متشکل از یک مبدل بوست سری با یک مبدل باک معرفی شده است. این مبدل دارای تزویج مغناطیسی بین سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه و همچنین یک مقاومت میراکننده سری با خازن ورودی خود می‌باشد. به کمک این توپولوژی جریان‌های ورودی و خروجی مبدل پیوسته و غیرپالسی، استرس بر روی سوئیچ‌ها مناسب و صفرهای سمت راست صفحه (RHP)² تابع تبدیل مبدل که پهنای باند حلقه کنترلی را محدود می‌سازند و سبب تضعیف عملکرد آن می‌شوند جا به جا می‌گردند. مدل سازی DC و AC مبدل با فرض شرایط CCM³ و با غیر ایده آل در نظر گرفتن المان‌های مداری مبدل انجام شده است تا مدل ریاضی مبدل به مدل واقعی نزدیک تر باشد و طراحی کنترلر با دقت بیشتر انجام شود و بتوان تلفات و بازده مبدل را با دقت محاسبه کرد. همچنین شرایطی که مبدل وارد ناحیه DCM⁴ می‌شود و روش تحلیل حالت ماندگار مبدل در شرایط DCM نیز بررسی شده است. برای تنظیم ولتاژ خروجی در مقدار مرجع، از تکنیک تنظیم کننده مرتبه دوم خطی (LQR)⁵ استفاده شده است. مزیت این کنترلر به کنترلر کلاسیک تناسبی-انتگرال-گیر (PID)⁶، قدرت بالا و عملکرد بهتر آن می‌باشد. برای ارزیابی مدل ریاضی، پاسخ دینامیکی در حوزه زمان و فرکانس مبدل پیشنهادی در نرم افزار MATLAB بررسی شده است. نتایج شبیه سازی در نرم افزار PSCAD/EMTDC کارایی بالا و عملکرد خوب مبدل پیشنهادی را تایید می‌کنند.

کلید واژه: بازده، تلفات سوئیچینگ، مبدل باک‌بوست سری، CCM، DCM، LQR، UPS

¹Buck-Boost

²Right-Half-Plane

³Continuous Conduction Mode

⁴Discontinuous Conduction Mode

⁵Linear Quadratic Regulator

⁶Proportional-Integral-Derivative

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ج	فهرست جدول‌ها
د	فهرست شکل‌ها
۱	مقدمه
۳	فصل ۱- مروری بر مبدل‌های افزایشنده-کاهنده
۳	۱-۱- مقدمه
۳	۱-۲- انواع مبدل‌های افزایشنده-کاهنده
۳	۱-۲-۱- مبدل افزایشنده-کاهنده با یک سوئیچ فعال
۳	۱-۲-۱-۱- مبدل باک بوست ساده
۴	۱-۲-۱-۲- مبدل افزایشنده-کاهنده FLYBACK
۴	۱-۲-۱-۳- مبدل افزایشنده-کاهنده CUK
۶	۱-۲-۱-۴- مبدل افزایشنده کاهنده SEPIC و SEPIC معکوس
۹	۱-۲-۲- مبدل افزایشنده-کاهنده با دو سوئیچ فعال
۹	۱-۲-۲-۱- مبدل افزایشنده-کاهنده باک+ بوست
۱۰	۱-۲-۲-۲- مبدل افزایشنده-کاهنده بوست+ باک
۱۲	۱-۳- صفرهای RHP
۱۳	۱-۳-۱- تابع تبدیل مبدل باک بوست ساده
۱۴	۱-۳-۲- تابع تبدیل مبدل SEPIC
۱۵	۱-۳-۳- تابع تبدیل مبدل CUK
۱۷	۱-۳-۴- جابجایی صفرهای RHP
۲۳	فصل ۲- مبدل باک بوست پیشنهادی
۲۳	۲-۱- ساختار مبدل پیشنهادی
۲۶	۲-۲- مدل سازی ریاضی مبدل پیشنهادی
۳۱	۲-۲-۱- مدل سازی DC
۳۵	۲-۲-۲- مدل سازی ac
۴۲	۲-۳- مد هدایت ناپیوسته (DCM)
۴۶	۲-۳-۱- DCM-DCM در مد بوست

۴۹	.....DCM-DCM در مد باک	۲-۳-۲
۵۳	.....طراحی المان های مداری مبدل باک بوست	۴-۲
۵۳	.....انتخاب سلف خروجی	۱-۴-۲
۵۴	.....انتخاب اندوکتانس مغناطیس کنندگی	۲-۴-۲
۵۴	.....انتخاب خازن خروجی	۳-۴-۲
۵۵	.....انتخاب خازن ورودی و مقاومت میراکننده	۴-۴-۲
۵۹	.....تلفات و بازده مبدل پیشنهادی	۵-۲
۵۹	.....محاسبه تلفات هدایتی	۱-۵-۲
۶۱	.....محاسبه تلفات سوئیچینگ	۲-۵-۲
۶۳	..... فصل ۳ - طراحی کنترلر برای مبدل باک بوست	
۶۳	.....مقدمه	۱-۳
۶۳	.....کنترلر PID	۲-۳
۶۴	.....کنترلر LQR	۳-۳
۶۶	.....طراحی LQR برای مبدل باک بوست پیشنهادی	۴-۳
۶۹	.....مد بوست	۱-۴-۳
۶۹	.....مد باک	۲-۴-۳
۷۳	.....مقایسه عملکرد دو کنترلر PID و LQR بر مبدل باک بوست معرفی شده	۵-۳
۷۸	..... فصل ۴ - نتایج شبیه سازی	
۷۸	.....مقدمه	۱-۴
۷۹	.....پارامترهای طراحی	۲-۴
۸۲	.....نتایج تحلیل مبدل در نرم افزار MATLAB	۳-۴
۹۱	.....تلفات و بازده مبدل پیشنهادی	۴-۴
۹۳	.....نتایج شبیه سازی در نرم افزار PSCAD	۵-۴
۱۰۰	.....نتیجه گیری و پیشنهادات	
۱۰۲	.....فهرست مراجع	
۱۰۴	.....واژه نامه فارسی به انگلیسی	
۱۰۵	.....واژه نامه انگلیسی به فارسی	

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۲۲.....[1]	جدول ۱-۳: مقادیر المان‌های انتخابی برای مبدل معرفی شده در
جدول ۲-۳: مشخصات مبدل بدون کنترلر: ستون اول مقادیر ویژه مبدل، ستون دوم مقدار میرایی هر مقدار ویژه، ستون سوم فرکانس طبیعی هر مقدار ویژه.....	۷۴.....
جدول ۲-۳: مشخصات مبدل با کنترلر PID: ستون اول مقادیر ویژه مبدل، ستون دوم مقدار میرایی هر مقدار ویژه، ستون سوم فرکانس طبیعی هر مقدار ویژه.....	۷۵.....
جدول ۳-۳: مشخصات مبدل با کنترلر LQR: ستون اول مقادیر ویژه مبدل، ستون دوم مقدار میرایی هر مقدار ویژه، ستون سوم فرکانس طبیعی هر مقدار ویژه.....	۷۶.....
جدول ۱-۴: مقادیر المان‌های مداری مبدل در دو مد بوست و باک و انتخاب نهایی.....	۸۱.....
جدول ۲-۴: مقادیر و نوع المان‌های مداری مبدل	۸۱.....
جدول ۳-۴: مقادیر و مشخصات ترانس مورد استفاده برای مبدل	۸۱.....

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: مبدل buck-boost ساده.....	۴
شکل ۲-۱: مبدل افزایشنده-کاهنده flyback.....	۴
شکل ۳-۱: مبدل افزایشنده-کاهنده غیرایزوله CUK.....	۵
شکل ۴-۱: مبدل افزایشنده-کاهنده ایزوله شده CUK.....	۵
شکل ۵-۱: مبدل افزایشنده-کاهنده SEPIC غیر ایزوله.....	۶
شکل ۶-۱: مبدل افزایشنده-کاهنده SEPIC معکوس غیر ایزوله.....	۶
شکل ۷-۱: مبدل افزایشنده-کاهنده SEPIC ایزوله شده.....	۷
شکل ۸-۱: مبدل افزایشنده-کاهنده SEPIC معکوس ایزوله شده.....	۷
شکل ۹-۱: منحنی نسبت تبدیل ولتاژ بر حسب دیوتی سایکل برای مبدل های افزایشنده کاهنده غیر ایزوله معکوس کننده با یک سوئیچ فعال مانند buck-boost ساده و CUK غیر ایزوله.....	۷
شکل ۱۰-۱: منحنی نسبت تبدیل ولتاژ بر حسب دیوتی سایکل برای مبدل های افزایشنده کاهنده غیر ایزوله غیر معکوس کننده با یک سوئیچ فعال مانند SEPIC و SEPIC معکوس.....	۸
شکل ۱۱-۱: منحنی نسبت تبدیل ولتاژ بر حسب دیوتی سایکل برای مبدل های افزایشنده کاهنده ایزوله شده غیر معکوس کننده با یک سوئیچ فعال مانند SEPIC, SEPIC, FLYBACK معکوس و CUK.....	۸
شکل ۱۲-۱: منحنی نسبت تبدیل ولتاژ بر حسب دیوتی سایکل برای مبدل های افزایشنده کاهنده ایزوله شده معکوس کننده با یک سوئیچ فعال مانند SEPIC, SEPIC, FLYBACK معکوس و CUK.....	۸
شکل ۱۳-۱: مبدل افزایشنده-کاهنده باک+بوست، با فرمان های کنترلی یکسان برای دو سوئیچ S_1 و S_2	۱۰
شکل ۱۴-۱: مبدل افزایشنده-کاهنده باک+بوست، استفاده از تکنیک PWM برای درایو کردن مجزای دو سوئیچ S_1 و S_2	۱۰
شکل ۱۵-۱: مبدل افزایشنده-کاهنده بوست+باک، با قابلیت درایو کردن مجزای دو سوئیچ S_1 و S_2	۱۱
شکل ۱۶-۱: مقایسه بازده مبدل های افزایشنده کاهنده مختلف در ولتاژ خروجی ۲۴ ولت و جریان خروجی ۲ آمپر در محدوده تغییرات ۱۸ تا ۴۴ ولت ولتاژ ورودی.....	۱۲
شکل ۱۷-۱: دیاگرام بود یک صفر RHP.....	۱۳
شکل ۱۸-۱: بررسی حالت گذرای مبدل باک بوست ساده و مشکل وجود صفر RHP در تابع تبدیل آن، کاهش جریان متوسط دیود و متعاقبا کاهش ولتاژ خروجی با وجود افزایش دیوتی سایکل D.....	۱۴

شکل ۱-۱۹: مبدل SEPIC در دو مد عملکردی: در (a) سوئیچ روشن و اندوکتانس های L_1 و L_2 به ترتیب توسط ولتاژ ورودی و خازن C_1 شارژ می شوند و بین آنها و بار هیچ ارتباطی نیست، در (b) هر دوی L_1 و L_2 انرژی ذخیره شده را به بار تحویل می دهند..... ۱۵

شکل ۱-۲۰: دیاگرام بود مبدل SEPIC با ۴ قطب LHP و ۳ صفر RHP..... ۱۵

شکل ۱-۲۱: مکان هندسی یک مبدل CUK نمونه با دو صفر RHP و چهار قطب که دو تا از آن ها مزدوج مختلط و دو تا LHP می باشند..... ۱۶

شکل ۱-۲۲: دیاگرام بود یک مبدل CUK نمونه در دو حالت بدون جبران کننده و با جبران کننده PID..... ۱۷

شکل ۱-۲۳: مبدل افزایشدهنده کاهنده با توپولوژی RHP، (a) مد عملکردی اول به طوریکه سوئیچ های S_2 و S_4 روشن و S_1 و S_3 خاموش، (b) مد عملکردی دوم به طوریکه سوئیچ های S_2 و S_4 خاموش و S_1 و S_3 روشن..... ۱۸

شکل ۱-۲۴: مبدل بوست ۳ حالتی برای جابجایی صفرهای RHP..... ۱۸

شکل ۱-۲۵: دیاگرام مداری مبدل buck-boost معرفی شده در [1]..... ۱۹

شکل ۲-۲: ساختار مبدل در مد عملکردی بوست..... ۲۴

شکل ۲-۳: ساختار مبدل در مد عملکردی باک..... ۲۴

شکل ۲-۴: جریان ها و ولتاژهای مبدل در مد بوست: (a) ولتاژ خروجی، (b) ولتاژ Q_1 با رنگ سیاه و Q_2 با رنگ خاکستری، (c) جریان Q_1 با رنگ سیاه و Q_2 با رنگ خاکستری، (d) جریان i_g با رنگ سیاه و i_l با رنگ خاکستری..... ۲۵

شکل ۲-۵: جریان ها و ولتاژهای مبدل در مد باک: (a) ولتاژ خروجی، (b) ولتاژ Q_1 با رنگ سیاه و Q_2 با رنگ خاکستری، (c) جریان Q_1 با رنگ سیاه و Q_2 با رنگ خاکستری، (d) جریان i_g با رنگ سیاه و i_l با رنگ خاکستری..... ۲۵

شکل ۲-۶: حالت اول مد بوست با Q_1 وصل و D_1 قطع ($d_1(t)=1$) و Q_2 وصل و D_2 قطع ($d_2(t)=1$)..... ۲۶

شکل ۲-۷: حالت دوم مد بوست و حالت اول مد باک با Q_1 قطع و D_1 وصل ($d'_1(t)=1$) و Q_2 وصل و D_2 قطع ($d_2(t)=1$)..... ۲۷

شکل ۲-۸: حالت دوم مد باک با Q_2 قطع و D_2 وصل ($d'_2(t)=1$) و Q_1 قطع و D_1 وصل ($d'_1(t)=1$)..... ۲۸

شکل ۲-۹: مدار معادل رابطه (۲-۱۸)..... ۳۲

شکل ۲-۱۰: مدار معادل رابطه (۲-۲۱)..... ۳۳

شکل ۲-۱۱: مدار معادل رابطه (۲-۲۲)..... ۳۳

شکل ۲-۱۲: ۳ مدار معادل روابط (۲-۱۸)، (۲-۲۱) و (۲-۲۲) در کنار هم..... ۳۳

شکل ۲-۱۳: مدار معادل ترانسفورماتوری DC مبدل باک بوست..... ۳۴

- شکل ۲-۱۴ : نسبت تبدیل ولتاژ M در دو مد بوست و باک به طور جداگانه بر حسب دیوتی سایکل ... ۳۵
- شکل ۲-۱۵ : مبدل سوئیچینگ به صورت شبکه سوئیچی متصل به شبکه تغییر ناپذیر با زمان ۳۷
- شکل ۲-۱۶ : شبکه سوئیچی بخش بوست مبدل، شامل Q_1 و D_1 ۳۸
- شکل ۲-۱۷ : مدار معادل رابطه (۲-۳۷) ۳۹
- شکل ۲-۱۸ : مدار معادل رابطه (۲-۳۸) ۳۹
- شکل ۲-۱۹ : مدار معادل میانگین شبکه سوئیچی بخش بوست مبدل ۳۹
- شکل ۲-۲۰ : شبکه سوئیچی بخش باک مبدل، شامل Q_2 و D_2 ۴۰
- شکل ۲-۲۱ : مدار معادل رابطه (۲-۴۱) ۴۱
- شکل ۲-۲۲ : مدار معادل رابطه (۲-۴۲) ۴۱
- شکل ۲-۲۳ : مدار معادل میانگین شبکه سوئیچی بخش باک مبدل ۴۱
- شکل ۲-۲۴ : مدار معادل ترانسفورماتوری ac سیگنال کوچک مبدل: ۴۲
- شکل ۲-۲۵ : منحنی جریان های $i_{Lm}(t)$ و $i_L(t)$ در شرایط مرزی بین CCM و DCM در مد بوست ۴۳
- شکل ۲-۲۶ : منحنی جریان های $i_{Lm}(t)$ و $i_L(t)$ در شرایط مرزی بین CCM و DCM در مد باک ۴۴
- شکل ۲-۲۷ : نواحی CCM و DCM بر اساس مقادیر K_{crit} و K_{Boost} بر حسب تغییرات دیوتی سایکل D_1 .. ۴۵
- شکل ۲-۲۸ :، نواحی CCM و DCM بر اساس مقادیر K_{crit} و K_{Buck} بر حسب تغییرات دیوتی سایکل D_2 .. ۴۶
- شکل ۲-۲۹ : مدار مبدل در شرایط DCM-DCM در مد بوست در بازه $D_1 T_s$ ۴۶
- شکل ۲-۳۰ : مدار مبدل در شرایط DCM-DCM در مد بوست در بازه $D'_1 T_s$ ۴۷
- شکل ۲-۳۱ : مدار مبدل در شرایط DCM-DCM در مد بوست در بازه $D''_1 T_s$ ۴۷
- شکل ۲-۳۲ : مدار مبدل در شرایط DCM-DCM در مد بوست در بازه $D'''_1 T_s$ ۴۸
- شکل ۲-۳۳ : جریان ها و ولتاژهای اندوکتانس های L و L_m به همراه جریان ورودی مبدل در مد بوست:
 $i_{Lm}(a)$ با رنگ سیاه و i_L با رنگ خاکستری، (b) v_{Lm} با رنگ سیاه و v_L با رنگ خاکستری، (c) جریان ورودی i_g ۴۸
- شکل ۲-۳۴ : مدار مبدل در شرایط DCM-DCM در مد باک در بازه $D_2 T_s$ ۵۰
- شکل ۲-۳۵ : مدار مبدل در شرایط DCM-DCM در مد باک در بازه $D'_2 T_s$ ۵۰
- شکل ۲-۳۶ : مدار مبدل در شرایط DCM-DCM در مد باک در بازه $D''_2 T_s$ ۵۱
- شکل ۲-۳۷ : مدار مبدل در شرایط DCM-DCM در مد باک در بازه $D'''_2 T_s$ ۵۱
- شکل ۲-۳۸ : جریان ها و ولتاژهای اندوکتانس های L و L_m به همراه جریان ورودی مبدل در مد باک:
 $i_{Lm}(a)$ با رنگ سیاه و i_L با رنگ خاکستری، (b) v_{Lm} با رنگ سیاه و v_L با رنگ خاکستری، (c) جریان ورودی i_g ۵۲
- شکل ۲-۳۹ : منحنی a_1 بر حسب جریان خروجی i_o ۵۶

- شکل ۲-۴۰ : منحنی های ρ بر حسب R_d به ازای دیوتی سایکل های مختلف ۵۷
- شکل ۲-۴۱ : منحنی های $I_{oCritical}$ بر حسب R_d و نمایش مقادیر R_{dopt} ۵۹
- شکل ۳-۱ : بلوک دیاگرام کلی برای یک سیستم نوع صفر به همراه کنترلر LQR با انتگرال گیر ۶۶
- شکل ۳-۲ : عملکرد مستقل از هم d_1 و d_2 : (a) بلوک دیاگرام کنترلی (b); عملکرد نامناسب کنترلر در تنظیم ولتاژ خروجی در حین تغییر مد ۶۸
- شکل ۳-۳ : عملکرد وابسته به هم d_1 و d_2 : (a) بلوک دیاگرام کنترلی; ۷۱
- شکل ۳-۴ : نسبت تبدیل ولتاژ DC بر حسب D_1+D_2 ۷۲
- شکل ۳-۵ : تولید سیگنال های منطقی u_1 و u_2 با استفاده از تکنیک PWM ۷۲
- شکل ۳-۶: نمودار مکان هندسی مبدل بدون کنترلر ۷۴
- شکل ۳-۷: نمودار مکان هندسی مبدل با کنترلر PID ۷۵
- شکل ۳-۸: نمودار مکان هندسی مبدل با کنترلر LQR ۷۶
- شکل ۳-۹: مقایسه دیاگرام بود مبدل با کنترلر PID و LQR ۷۷
- شکل ۳-۱۰: مقایسه پاسخ پله مبدل با کنترلر PID و LQR ۷۷
- شکل ۴-۱: ساختار سیستم قدرت توزیع برای ارتباطات دوربرد ۷۸
- شکل ۴-۲: مکان هندسی ریشه های مبدل، بدون کنترلر برای $V_g = 35$ در مد بوست ۸۲
- شکل ۴-۳: مکان هندسی ریشه های مبدل، بدون کنترلر برای $V_g = 51$ در مد مرزی ۸۳
- شکل ۴-۴: مکان هندسی ریشه های مبدل، بدون کنترلر برای $V_g = 65$ در مد باک ۸۳
- شکل ۴-۵: مکان هندسی ریشه های مبدل با کنترلر LQR انتگرال گیر، برای $V_g = 35$ در مد بوست .. ۸۴
- شکل ۴-۶: مکان هندسی ریشه های مبدل با کنترلر LQR انتگرال گیر، برای $V_g = 51$ در مد مرزی ... ۸۴
- شکل ۴-۷: مکان هندسی ریشه های مبدل با کنترلر LQR انتگرال گیر، برای $V_g = 65$ در مد باک ۸۵
- شکل ۴-۸: دیاگرام بود مبدل برای $V_g = 35$ در مد بوست ۸۵
- شکل ۴-۹: دیاگرام بود مبدل برای $V_g = 51$ در مد مرزی ۸۶
- شکل ۴-۱۰: دیاگرام بود مبدل برای $V_g = 65$ در مد باک ۸۶
- شکل ۴-۱۱: منحنی های اندازه برای پاسخ یک سیستم دو قطبی، به ازای Q های متفاوت ۸۷
- شکل ۴-۱۲: منحنی های فاز برای پاسخ یک سیستم دو قطبی، به ازای Q های متفاوت ۸۷
- شکل ۴-۱۳: پاسخ پله مبدل برای $V_g = 35$ در مد بوست ۸۸
- شکل ۴-۱۴: پاسخ پله مبدل برای $V_g = 51$ در مد مرزی ۸۸
- شکل ۴-۱۵: پاسخ پله مبدل برای $V_g = 65$ در مد باک ۸۹
- شکل ۴-۱۶: تغییرات حاشیه فاز بر حسب تغییرات مقاومت خروجی (نقاط کار مختلف) در مد بوست ۸۹
- شکل ۴-۱۷: تغییرات حاشیه فاز بر حسب تغییرات مقاومت خروجی (نقاط کار مختلف) در مد باک ۹۰

- شکل ۴-۱۸: تغییرات بار در مد بوست در ولتاژ ورودی ۳۵ ولت، ناپایداری مبدل در بار ۲ اهم: (a) R_o و (b) V_o ۹۰
- شکل ۴-۱۹: تغییرات بار در مد باک در ولتاژ ورودی ۶۵ ولت، پایداری مبدل در محدوده تغییرات بار: (a) R_o و (b) V_o ۹۱
- شکل ۴-۲۰: تلفات هدایتی و سوئیچینگ مبدل بر حسب ولتاژ ورودی ۹۱
- شکل ۴-۲۱: مقایسه بازده بر اساس مقادیر موثر جریان ها و مقادیر متوسط آن ها با توجه به روابط (۲-۲) و (۱۴۵) و (۸-۴) ۹۲
- شکل ۴-۲۲: بازده مبدل بر حسب ولتاژ ورودی به ازای بار نامی و ماکزیمم در تمامی مد های عملکردی مبدل ۹۳
- شکل ۴-۲۳: مبدل باک بوست پیشنهادی به همراه بلوک دیاگرام کنترلی پیاده شده در نرم افزار PSCAD ۹۴
- شکل ۴-۲۴: تغییر ولتاژ ورودی به صورت پله ای با تغییرات ۴ ولتی در مد بوست و تنظیم ولتاژ خروجی: (a) ولتاژ ورودی، (b) ولتاژ خروجی، (c) سیگنال گیت Q_1 ، (d) سیگنال گیت Q_2 ۹۵
- شکل ۴-۲۵: تغییر ولتاژ ورودی به صورت پله ای با تغییرات ۴ ولتی در مد باک و تنظیم ولتاژ خروجی: (a) ولتاژ ورودی، (b) ولتاژ خروجی، (c) سیگنال گیت Q_1 ، (d) سیگنال گیت Q_2 ۹۵
- شکل ۴-۲۶: تغییر ولتاژ ورودی با فرکانس ۵۰ هرتز و تولید سیگنال های گیت u_1 و u_2 در هر دو مد بوست و باک برای تنظیم ولتاژ خروجی: (a) ولتاژ ورودی، (b) ولتاژ خروجی، (c) سیگنال گیت Q_1 ، (d) سیگنال گیت Q_2 ۹۶
- شکل ۴-۲۷: تغییرات سیگنال بزرگ R_o از مقدار ۱۰ اهم به مقدار ۵ اهم و بالعکس و ارزیابی پایداری گذرای مبدل در مد بوست در ولتاژ ۳۵ ولت: (a) جریان بار، (b) ولتاژ خروجی، (c) سیگنال گیت Q_1 ، (d) سیگنال گیت Q_2 ۹۷
- شکل ۴-۲۸: تغییرات سیگنال بزرگ R_o از مقدار ۱۰ اهم به مقدار ۵ اهم و بالعکس و ارزیابی پایداری گذرای مبدل در مد باک در ولتاژ ۶۵ ولت: (a) جریان بار، (b) ولتاژ خروجی، (c) سیگنال گیت Q_1 ، (d) سیگنال گیت Q_2 ۹۷
- شکل ۴-۲۹: گذر از ناحیه CCM به ناحیه DCM مبدل با تغییرات i_o از مقدار نامی ۵ آمپر تا مقدار ۰.۵ آمپر در مد بوست در ولتاژ ۳۵ ولت: (a) ولتاژ خروجی، (b) جریان بار، (c) تغییرات دیوتی سایکل d_1 ، (d) تغییرات دیوتی سایکل d_2 ۹۸
- شکل ۴-۳۰: گذر از ناحیه CCM به ناحیه DCM مبدل با تغییرات i_o از مقدار نامی ۵ آمپر تا مقدار ۰.۵ آمپر در مد باک در ولتاژ ۶۵ ولت: (a) ولتاژ خروجی، (b) جریان بار، (c) تغییرات دیوتی سایکل d_1 ، (d) تغییرات دیوتی سایکل d_2 ۹۹

مقدمه

در اکثر کاربرد هایی نظیر شارژ و دشارژ باطری، تصحیح ضریب توان، تنظیم ولتاژ پیل های سوختی^۱، حصول ماکزیمم توان در صفحه های خورشیدی، تنظیم ولتاژ باس DC در توربین های بادی با ژنراتور سنکرون، تنظیم ولتاژ خروجی منابع تغذیه بدون وقفه^۲، یک مبدل DC-DC برای بدست آوردن یک ولتاژ خروجی تنظیم شده از یک منبع ولتاژ تنظیم نشده مورد نیاز است. وقتی که ولتاژ تنظیم شده مورد نظر در بین محدوده تغییرات ولتاژ تنظیم نشده منبع باشد، به یک مبدل افزایشنده-کاهنده نیاز است [1-25]. مبدل های افزایشنده-کاهنده با یک سوئیچ فعال از قبیل Buck-Boost، Flyback، SEPIC و Cuk نسبت به حالتی که از یک مبدل بوست و باک استفاده شود دارای استرس بالا و بازده پایین تری می باشند. همچنین در حالت CCM دارای صفر های RHP هستند که می تواند طراحی کنترلر را مشکل سازد، پهنای باند حلقه را محدود سازد و توان بزرگ شدن اندازه خازن خروجی را در پی داشته باشد.

در اکثر مبدل های باک بوست برای کنترل مبدل و تنظیم ولتاژ خروجی از کنترلر کلاسیک PI یا PID استفاده شده است که نسبت به کنترلرهای مدرن از قابلیت های کمتری برخوردار می باشند و فقط در نواحی که رابطه بین ورودی و خروجی خطی و تغییرات، سیگنال کوچک می باشد قابل استفاده می باشند. در حالیکه با استفاده از کنترلرهای مدرن مانند LQR می توان کنترلر قدرتمندتر با سرعت مناسب تر و مقاومت در برابر اغتشاشات بیرونی بدست آورد به طوریکه پایداری دینامیکی و پایداری گذرای مناسبی برای مبدل ایجاد شود. به خاطر عملکرد بالای این کنترلر می توان اندازه خازن های مورد استفاده در مبدل را کاهش و همچنین از مقاومت میرا کننده کوچکتر برای کاهش تلفات و بالا بردن بازده سیستم استفاده کرد.

در این پایان نامه ابتدا در فصل اول مروری بر مبدل های افزایشنده-کاهنده خواهد شد. و مقایسه ای بین آن ها از نظر ساختار و مزایا و معایب انجام خواهد گرفت. همچنین در این فصل صفرهای RHP موجود در تابع تبدیل مبدل های افزایشنده-کاهنده که یک عامل مزاحم برای پهنای باند و عملکرد مناسب حلقه کنترلی مبدل می باشد مورد بررسی قرار خواهد گرفت و نمونه هایی از روش های از بین بردن این صفرها بیان خواهد شد. در انتهای این فصل روش انتقال صفرهای RHP به سمت چپ محور با استفاده از کوپل مغناطیسی بین سیم پیچ های ورودی و خروجی که در [1] معرفی شده است بیان خواهد شد. در فصل دوم ساختار مبدل باک بوست پیشنهادی که ساختاری جدید می باشد معرفی خواهد شد. این ساختار با انجام تغییراتی در ساختار مبدل باک بوست معرفی شده در [1] و همچنین اصلاح در فرآیند انتخاب

¹Fuel Cell

²Uninterruptable Power Supply

المان های به کار رفته در مبدل برای بهبود بازده و کاهش تلفات در آن انجام می شود. در این فصل معادلات حاکم بر مبدل استخراج و مبدل مدلسازی ریاضی می شود. این مدل سازی برای شرایط کاری CCM و با غیر ایده آل در نظر گرفتن عناصر مداری مبدل انجام می پذیرد. در ادامه این فصل بررسی شرایط DCM مبدل و تحلیل مد DCM در حالت ماندگار، برای مبدل افزاینده-کاهنده پیشنهادی انجام خواهد گرفت. در انتهای این فصل، تلفات و بازده مبدل محاسبه می شود. فصل سوم به طراحی کنترلر مناسب برای مبدل باک بوست پیشنهادی می پردازد. در ابتدای این فصل به معرفی مختصر کنترلر LQR و PID و مقایسه عملکرد این دو کنترلر بر مبدل معرفی شده اختصاص می یابد که در نهایت کنترلر قدرتمند LQR برای این مبدل انتخاب می شود. این طراحی طی دو مرحله به منظور بالا بردن کیفیت ولتاژ خروجی و کاهش تنش در هنگام تغییر از مد بوست به باک و بالعکس انجام می شود. فصل چهارم مربوط به نتایج شبیه سازی است. در این فصل یک مبدل باک بوست نمونه برای تنظیم ولتاژ منبع تغذیه بدون وقفه طراحی و نتایج عملکردی آن با کنترلر طراحی شده در حوزه زمان و فرکانس بررسی می شود. در ادامه این فصل نتایج شبیه سازی در نرم افزار PSCAD/EMTDC که به بررسی پایداری دینامیکی و گذرای مبدل طراحی شده می پردازد، نشان داده می شود. در انتهای پایان نامه ، نتیجه گیری و پیشنهادات ارائه می شود.

فصل ۱- مروری بر مبدل های افزایشنده-کاهنده

۱-۱- مقدمه

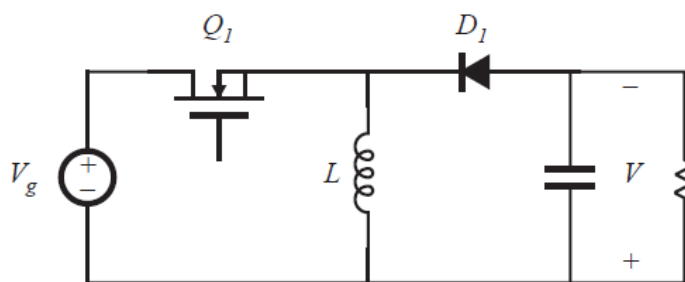
امروزه از مبدل های dc/dc به طور گسترده در صنعت استفاده می شود و کاربرد گسترده آن ها بر هیچ کس پوشیده نیست. مبدل های dc/dc به دو صورت کلی ایزوله شده و ایزوله نشده مورد استفاده قرار می گیرند. منظور از ایزولاسیون، ایزولاسیون بین ورودی و خروجی مبدل می باشد که از طریق یک ترانسفورماتور انجام میگیرد. مبدل های افزایشنده-کاهنده در تنظیم ولتاژ خروجی باتری (UPS)، شارژ و دشارژ باتری، پیل های سوختی، تصحیح ضریب توان، LED ها و کاربردهایی که ولتاژ ورودی دارای تغییرات گسترده است و هدف تنظیم ولتاژ خروجی در یک مقدار ثابت است، مورد استفاده قرار می گیرند [1-20]. این مبدل ها بسته به تعداد سوئیچ ها، نوع پلاریته ولتاژ خروجی، ایزوله بودن یا نبودن و مد عملکردی دارای تنوع گوناگونی هستند. در این فصل مروری کلی بر انواع مبدل های افزایشنده-کاهنده خواهد شد. همچنین صفرهای RHP که یک مشکل اساسی در تضعیف عملکرد و پهنای باند حلقه کنترلی مبدل های افزایشنده کاهنده می باشد، مورد بررسی قرار می گیرد.

۱-۲- انواع مبدل های افزایشنده-کاهنده

۱-۲-۱- مبدل افزایشنده-کاهنده با یک سوئیچ فعال

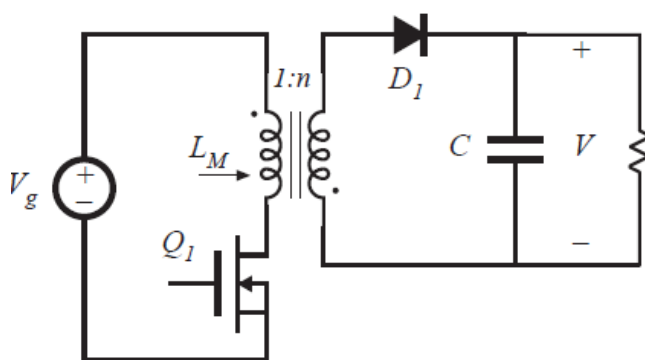
۱-۲-۱-۱- مبدل باک بوست ساده

همان طور که شکل (۱-۱) نشان می دهد این مبدل دارای ساختار غیر ایزوله با یک سوئیچ فعال می باشد که به صورت معکوس کننده ولتاژ ورودی را تحویل پایانه خروجی می دهد [25]. این نوع مبدل دارای ساختار ساده است. امااز معایب آن می توان به استرس ولتاژی و جریانی بالا بر روی سوئیچ خود، داشتن جریان های ورودی و خروجی پالسی و در نتیجه خاصیت نویزی شدید اشاره کرد. همچنین دارای صفرهای RHP می باشد. در کل این توپولوژی یک تنظیم کننده ضعیف و نامناسب می باشد [11,12,22].



شکل ۱-۱: مبدل buck-boost ساده

۲-۱-۲-۱ مبدل افزاینده-کاهنده FLYBACK



شکل ۲-۱: مبدل افزاینده-کاهنده flyback

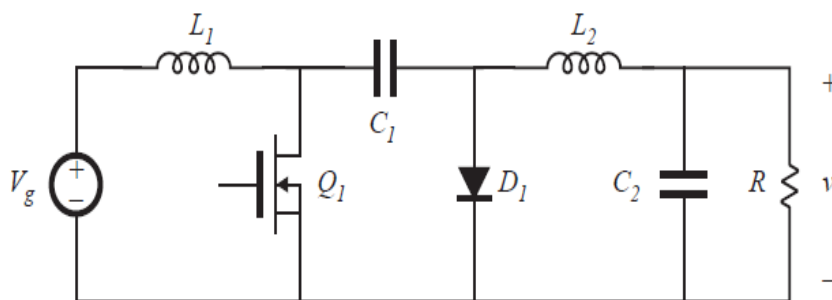
همان طور که شکل (۲-۱) نشان می دهد مبدل flyback دارای یک سوئیچ فعال می باشد و به گروه مبدل های ایزوله شده تعلق دارد [25]. این مبدل از ایزوله کردن مبدل باک بوست ساده معرفی شده در بخش ۱-۲-۱-۱ بدست می آید. این ایزولاسیون توسط یک ترانسفورماتور با نسبت تبدیل یک به n انجام می پذیرد. آسانی در ساخت، سهولت در تنظیم (مخصوصا در کم باری)، قابلیت ایجاد ولتاژ خروجی با دو پلاریته و نیازمند تنها یک قسمت مغناطیسی از مزایای این مبدل است. همچنین این مبدل به خاطر خاصیت ایزولاسیون و داشتن ترانسفورماتور، در تولید ولتاژهای بالا از طریق ایجاد نسبت تبدیل بزرگ دارای کاربردهای فراوانی است. عیب اصلی این ساختار همانند مبدل باک بوست ساده، جریان های ورودی و خروجی ناپیوسته و ایجاد محیط نویزی است که استفاده از این مبدل را برای کاربردهای با عملکرد بالا نامناسب می سازد. عیب دیگر مبدل flyback، داشتن استرس بالا بر روی سوئیچ خود مخصوصا در شرایط DCM می باشد [1,9].

۳-۱-۲-۱ مبدل افزاینده-کاهنده CUK

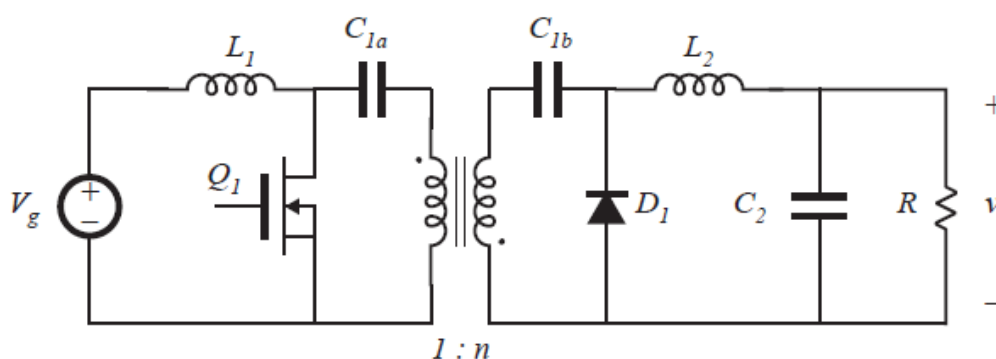
این توپولوژی یک مبدل باک بوست معکوس کننده است که دارای یک تک سوئیچ زمین شده می باشد. شکل (۳-۱) ساختار غیر ایزوله این مبدل را نشان می دهد [25]. همان طور که مشخص است این

مبدل دارای جریان های ورودی و خروجی پیوسته و غیر نویزی است ولی همانند مبدل باک بوست ساده و flyback، دارای استرس ولتاژی و جریانی زیاد بر روی سوئیچ خود می باشد. همچنین دارای صفرهای RHP می باشد که عملکرد حلقه کنترلی را تحت تاثیر قرار می دهد. برای جابجایی این صفرها از دو فیلتر LC به طور موازی با ترمینال های ورودی و خروجی استفاده می کنند. این مبدل همانند مبدل باک بوست می تواند در دو مد کاری جریان پیوسته و ناپیوسته کار کند.

اگر بین سلف های ورودی و خروجی کوپل مغناطیسی برقرار شود به خاطر کاهش ریپل جریان خروجی می توان از آن برای تقویت کننده های سوئیچینگ استفاده کرد. این ساختار دارای یک صفر RHP در تابع تبدیل خروجی به پارامتر کنترلی خود می باشد که میرا نمی شود. همان طور که شکل (۱-۱) نشان می دهد، مبدل CUK را به راحتی می توان به وسیله یک ترانس ایزوله کرد و یک مبدل ایزوله شده با یک یا چند خروجی با پلاریته ولتاژ خروجی دلخواه بدست آورد [25]. (معکوس کننده و غیر معکوس کننده). این مبدل ایزوله به خاطر داشتن دو خازن در دو طرف ترانس خود فاقد از رسیدن مقادیر dc به ترانس می شود [19].



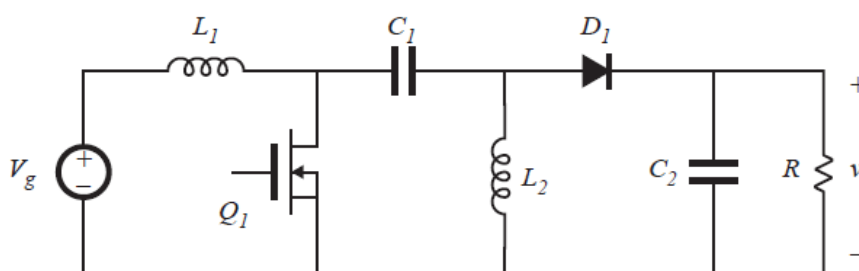
شکل ۱-۳: مبدل افزایشنده-کاهنده غیرایزوله CUK



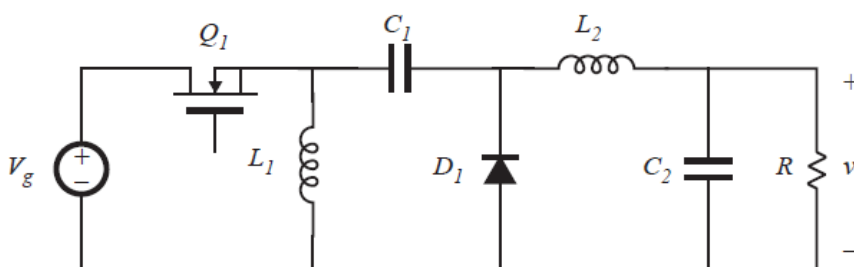
شکل ۱-۴: مبدل افزایشنده-کاهنده ایزوله شده CUK

۱-۲-۴- مبدل افزایشده کاهنده SEPIC و SEPIC معکوس

شکل (۵-۱) ساختار مداری مبدل افزایشده-کاهنده SEPIC و شکل (۶-۱) ساختار مداری مبدل SEPIC معکوس را نشان می‌دهند [25]. این دو مبدل همانند باک بوست ساده و CUK دارای یک سوئیچ فعال می‌باشند که همان مشکل استرس ولتاژی و جریانی را دارا هستند. اما این دو مبدل دارای خروجی مثبت یا غیر معکوس کننده می‌باشند. همچنین دارای ۲ اندوکتانس می‌باشند که می‌توانند به صورت یکپارچه بر روی یک هسته مشترک قرار بگیرند. وقتی که دیوتی سایکل این دو مبدل ۵۰ درصد است ولتاژ ورودی و خروجی با هم مساوی هستند (شکل ۱-۱۰)، و تمام توان انتقال داده می‌شود. در نتیجه تمام توان از طریق خازن C_1 انتقال داده می‌شود. بنابر این لازم است این خازن با ظرفیت به اندازه کافی بزرگ انتخاب شود که همین امر سبب افزایش حجم و هزینه این مبدل می‌شود. مبدل SEPIC دارای جریان ورودی پیوسته و جریان خروجی پالسی و ناپیوسته می‌باشد و برای کاربردهایی که نیاز به جریان ورودی پیوسته دارند مناسب می‌باشد. اما مبدل SEPIC معکوس، دارای جریان ورودی ناپیوسته و جریان خروجی پیوسته می‌باشد. در نتیجه هر دو مبدل به خاطر داشتن جریان ورودی یا خروجی ناپیوسته و پالسی، محیط را نویزی می‌کنند. از دیگر معایب این دو مبدل داشتن صفرهای RHP است و چون از مرتبه ۴ می‌باشند کنترل آن‌ها نسبت به مبدل‌های CUK و باک بوست ساده مشکل‌تر است و برای کاربردهایی با تغییرات خیلی آهسته مناسب هستند. در کل به خاطر پیکربندی نامتعارف، این دو مبدل برای کاربرد صنعتی نامناسب می‌باشند [18].



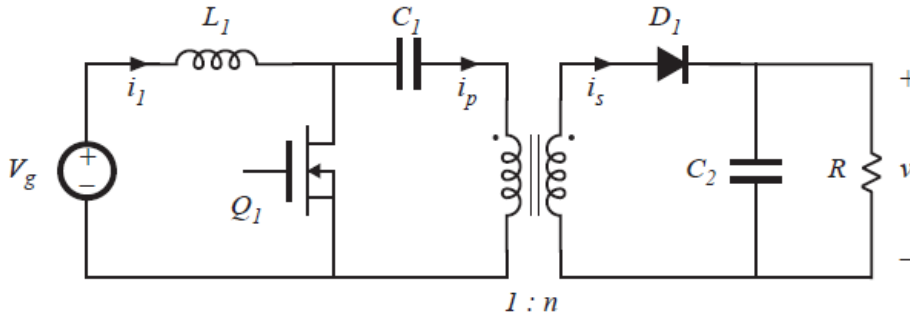
شکل ۵-۱: مبدل افزایشده-کاهنده SEPIC غیر ایزوله



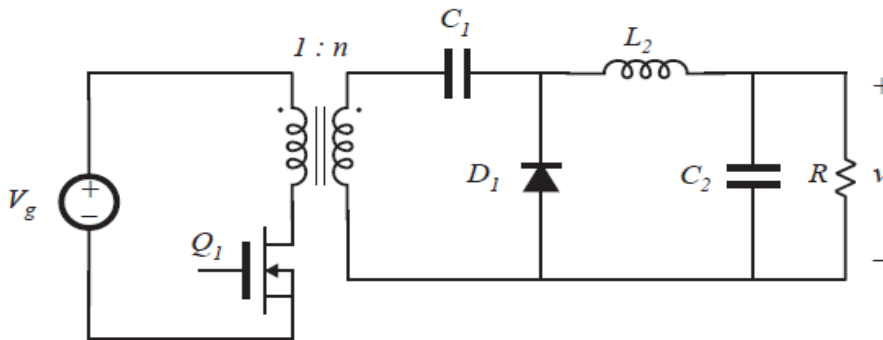
شکل ۶-۱: مبدل افزایشده-کاهنده SEPIC معکوس غیر ایزوله

¹Single-Ended Primary Inductor Converter

هر دو مبدل SEPIC و SEPIC معکوس را می توان با یک ترانسفورماتور با نسبت تبدیل یک به n ، ایزوله نمود. شکل های (۷-۱) و (۸-۱) به ترتیب مبدل های SEPIC و SEPIC معکوس را نشان می دهند [25].

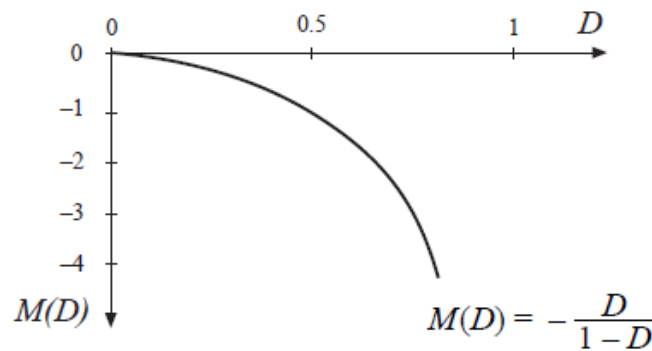


شکل ۷-۱: مبدل افزایشنده-کاهنده SEPIC ایزوله شده

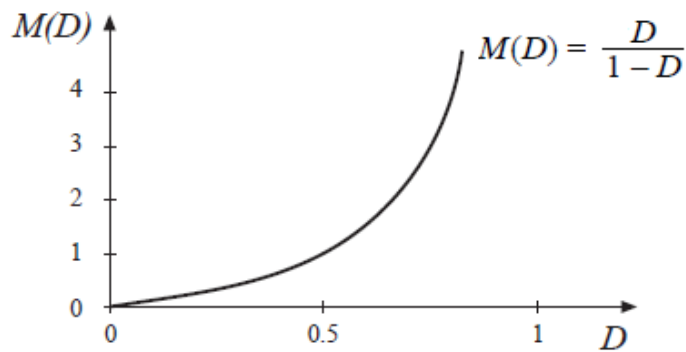


شکل ۸-۱: مبدل افزایشنده-کاهنده SEPIC معکوس ایزوله شده

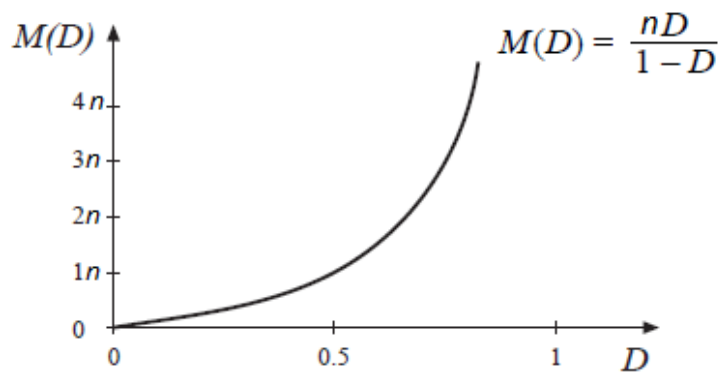
شکل های (۹-۱) تا (۱۲-۱) منحنی نسبت تبدیل ولتاژ DC مبدل های معرفی شده را بر حسب دیوتی سایکل آن ها نشان می دهند [25]. این منحنی ها مربوط به مبدل های افزایشنده کاهنده با یک سوئیچ فعال می باشند. همانطور که از این شکل ها مشخص است بسته به معکوس کننده یا غیر معکوس کننده بودن مبدلها و همچنین ایزوله بودن یا نبودن آنها، چهار منحنی کلی قابل تفکیک و نمایش است.



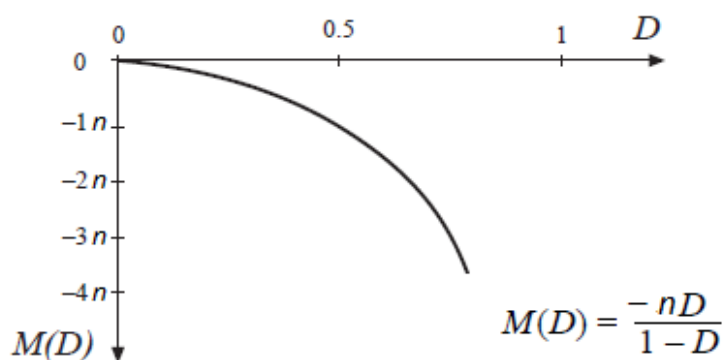
شکل ۹-۱: منحنی نسبت تبدیل ولتاژ بر حسب دیوتی سایکل برای مبدل های افزایشنده کاهنده غیر ایزوله معکوس کننده با یک سوئیچ فعال مانند buck-boost ساده و CUK غیر ایزوله



شکل ۱-۱۰: منحنی نسبت تبدیل ولتاژ بر حسب دیوتی سایکل برای مبدل های افزایشنده کاهنده غیر ایزوله غیرمعکوس کننده با یک سوئیچ فعال مانند SEPIC و SEPIC معکوس



شکل ۱-۱۱: منحنی نسبت تبدیل ولتاژ بر حسب دیوتی سایکل برای مبدل های افزایشنده کاهنده ایزوله شده غیرمعکوس کننده با یک سوئیچ فعال مانند SEPIC, FLYBACK, SEPIC, معکوس و CUK



شکل ۱-۱۲: منحنی نسبت تبدیل ولتاژ بر حسب دیوتی سایکل برای مبدل های افزایشنده کاهنده ایزوله شده معکوس کننده با یک سوئیچ فعال مانند SEPIC, FLYBACK, SEPIC, معکوس و CUK

۱-۲-۲- مبدل افزایشنده-کاهنده با دو سوئیچ فعال

۱-۲-۲-۱ مبدل افزایشنده-کاهنده باک+بوست

با ترکیب یک مبدل باک با یک مبدل بوست یک مبدل افزایشنده-کاهنده با قابلیت کنترل به طور مستقل سوئیچ ها بدست می آید که این مبدل از لحاظ اندازه و عملکرد قابل مقایسه با هر یک از مبدلهای باک و یا بوست می باشد. به عنوان مثال از ترکیب یک مبدل بوست به طور سری به دنبال یک مبدل باک، یک مبدل باک+بوست غیر معکوس کننده با تک سلف بدست می آید که عملکرد خوبی دارد و به طور گسترده در کاربردهای ولتاژ پایین استفاده می شود(شکل ۱-۱۳). همان طور که از این شکل مشخص است این مبدل دارای یک اندوکتانس (L_1) می باشد و ساختاری غیر ایزوله دارد. عیب اصلی این ساختار جریان های پالسی و ناپیوسته ورودی و خروجی است که سبب ایجاد نویز و تداخلات الکترومغناطیسی می شود. ولی مزیت عمده این ساختار به خاطر دارا بودن دو سوئیچ فعال، داشتن استرس کمتر بر روی سوئیچ های خود و بالا بودن بازده مخصوصاً در حوالی ولتاژ ورودی می باشد. می توان از یک فرمان سوئیچی مشترک و همزمان برای درایو کردن S_1 و S_2 استفاده کرد(شکل ۱-۱۳). ولی بهترین عملکرد ممکن و حصول بازده بالا برای این مبدل استفاده از تکنیک PWM برای کنترل و فرمان دادن به سوئیچ هایش طبق شکل(۱-۱۴) می باشد[2,8,10]. به طوریکه اگر ولتاژ ورودی نزدیک ولتاژ خروجی باشد باید S_1 وصل و S_2 قطع باشد. اگر ولتاژ ورودی کوچکتر از ولتاژ خروجی باشد ($V_{in} < V_{out}$)، باید S_1 وصل و سیگنال گیت S_2 براساس PWM تولید شود. همچنین اگر ولتاژ ورودی بیشتر از ولتاژ خروجی باشد ($V_{in} > V_{out}$)، باید S_2 قطع و سیگنال گیت S_1 بر اساس PWM تولید شود. پس این مبدل در مد باک-بوست عمل نمی کند، زیرا بازده بیشتر هنگامی است که یا در مد باک عمل کند و این زمانی است که ولتاژ خروجی کمتر از ولتاژ ورودی باشد و یا در مد بوست که ولتاژ خروجی بیشتر از ولتاژ ورودی است. همچنین مبدلهای باک بوست غیر معکوس کننده با ولتاژ های عملکردی بالاتر و بازده بیشتر در مقابل هزینه کنترل پیچیده تر وجود دارند مثلاً می توان دو تنظیم کننده متفاوت برای ولتاژ خروجی وابسته به هر یک از مد های عملکردی باک یا بوست در نظر گرفت[1].