

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شاهد
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت

طراحی و ساخت مبدل افزایشده با نسبت تبدیل بالا برای

کاربرد در سیستم‌های فتوولتائیک

استاد راهنما:

دکتر مهدی اخباری

دانشجو

محمد شیرزاد نیلساز

بهمن ۹۰



اظهار نامه دانشجو

شماره:

تاریخ:

اینجانب محمد شیرزاد نیلساز دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش قدرت دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد، گواهی می‌دهم که پایان‌نامه تدوین شده حاضر با عنوان: "طراحی و ساخت مبدل افزایشنده با نسبت تبدیل بالا برای کاربرد در سیستم‌های فتوولتائیک" به راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر مهدی اخباری، توسط شخص اینجانب انجام و صحت و اصالت مطالب تدوین شده در آن، مورد تأیید است و چنانچه هر زمان، دانشگاه کسب اطلاع کند که گزارش پایان‌نامه حاضر صحت و اصالت لازم را نداشته، دانشگاه حق دارد، مدرک تحصیلی اینجانب را مسترد و ابطال نماید هم چنین اعلام می‌دارد در صورت بهره‌گیری از منابع مختلف شامل؛ گزارش‌های تحقیقاتی، رساله، پایان‌نامه، کتاب، مقالات تخصصی و غیره، به منبع مورد استفاده و پدید آورنده آن به طور دقیق ارجاع داده شده و نیز مطالب مندرج در پایان‌نامه حاضر تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب و یا سایر افراد به هیچ کجا ارائه نشده است. در تدوین متن پایان‌نامه حاضر، چارچوب (فرمت) مصوب تدوین گزارش‌های پژوهشی تحصیلات تکمیلی دانشگاه شاهد به طور کامل مراعات شده و نهایتاً اینکه، کلیه حقوق مادی ناشی از گزارش پایان‌نامه حاضر، متعلق به دانشگاه شاهد می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: محمد شیرزاد نیلساز

امضاء دانشجو:

تاریخ:

تقدیم به:

دو وجود گرانقدر، پدر و مادر عزیزم؛

به پاس تعبیر عظیم و انسانی‌شان از

ایثار و از خود گذشتگی....

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان....

و به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند.

چکیده

در این پایان‌نامه، یک مبدل DC-DC افزایشنده با سلف تزویج و نسبت تبدیل بالا که از ویژگی سوئیچینگ نرم بهره می‌برد ارائه شده است. توپولوژی پیشنهادی شامل یک مبدل بوست با سلف تزویج برای افزایش بهره تبدیل ولتاژ می‌باشد. بعلاوه یک مدار تشدید کمکی مرکب از یک سوئیچ کمکی، یک دیود مهارکننده استرس ولتاژ سوئیچ‌ها و یک تانک تشدید (سلف، خازن) در توپولوژی ارائه شده بکار رفته است. نوع معمول مبدل بوست با سلف تزویج بدلیل سوئیچینگ سخت و وجود تلفات سوئیچینگ ناشی از آن راندمان ضعیفی را ارائه می‌دهد. در مدار پیشنهادی در این پایان‌نامه تمام عناصر سوئیچینگ در جریان صفر در زمان روشن شدن و ولتاژ صفر در زمان خاموش شدن، روشن و خاموش می‌شوند. بدین ترتیب سوئیچینگ نرم ایجاد شده تلفات سوئیچینگ را کاهش می‌دهد و مشکل بازیابی معکوس دیود را بهبود می‌بخشد. این مبدل از شیوه PWM برای سوئیچینگ استفاده کرده و توسط یک کنترل‌کننده PI کنترل می‌شود تا پاسخ دینامیک خروجی را بهبود بخشد. در این پایان‌نامه تحلیل مدار مبدل با جزئیات مدهای عملکرد آن ارائه شده است. طراحی اولیه مبدل با شبیه‌سازی آن مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج شبیه‌سازی‌ها نیز ارائه شده‌اند. در جهت بهینه‌سازی مبدل طراحی شده تحلیل تلفات در مبدل با تعیین تلفات همه اجزاء مبدل انجام شده، رابطه تلفات کل بر حسب متغیرها و پارامترهای طراحی بدست آمده است. بر اساس آنالیز تلفات، مقادیر بهینه پارامترهای مبدل شامل نسبت دورهای اندوکتانس ثانویه به اولیه و دوره کاری تعیین شده‌اند. بر اساس نتایج تحلیلی و شبیه‌سازی یک مبدل DC-DC ۲۰۰ وات برای کاربرد در سیستم‌های فتوولتائیک طراحی شده است. نمونه آزمایشگاهی مبدل پیشنهادی ساخته شده و نتایج عملی برای تأیید نتایج تئوری و شبیه‌سازی مبدل ارائه شده است. نتایج بدست آمده در آزمایشات بر روی نمونه ساخته شده نشان‌دهنده عملکرد صحیح و منطبق با مدهای پیش‌بینی شده است. با این وجود، در نمونه آزمایشگاهی مبدل بدلیل وجود اندوکتانس‌های پارازیت زیاد در مدار که با خازن خروجی سوئیچ‌ها مد تشدید بوجود می‌آورند، منجر به ایجاد تلفات قابل توجهی می‌شود. ساخت سلف تزویج با راکتانس نشت قابل کنترل و همچنین در نظر گرفتن خازن‌های پارازیت سوئیچ‌ها در طراحی‌ها می‌تواند این مشکل را مرتفع نماید.

کلید واژه: مبدل بوست، مبدل نسبت تبدیل زیاد، سلف تزویج، سوئیچینگ نرم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	أ.....
فهرست شکل ها	ج.....
فهرست جدول ها	ه.....
فهرست علایم و نشانه ها	و.....
فصل ۱- مقدمه	۱.....
۱-۱- پیشگفتار	۱.....
۲-۱- تاریخچه	۲.....
۳-۱- شیوه های نوین در مبدل های افزایشنده DC-DC	۲.....
۴-۱- هدف از انجام تحقیق	۳.....
۵-۱- نوآوری تحقیق	۳.....
۶-۱- ساختار گزارش	۴.....
فصل ۲- مفاهیم اولیه	۵.....
۱-۲- مقدمه	۵.....
۲-۲- مبدل های افزایشنده DC-DC با نسبت تبدیل بالا	۵.....
۳-۲- سوئیچینگ نرم	۷.....
۱-۳-۲- سوئیچینگ دیود	۸.....
۲-۳-۲- سوئیچینگ ماسفت	۹.....
۴-۲- سیستم های مهارکننده استرس ولتاژ	۱۰.....
۵-۲- مدولاسیون پهنای پالس (PWM)	۱۲.....
فصل ۳- بررسی تحقیقات انجام شده	۱۳.....
۱-۳- مقدمه	۱۳.....
۲-۳- تحول مبدل های افزایشنده در سال های اخیر	۱۳.....
۳-۳- مبدل افزایشنده با نسبت تبدیل بالا برای کاربرد در سیستم های PV و FC	۱۴.....
۴-۳- خط DC تغذیه شده با یک سیستم فتوولتائیک-باتری	۱۶.....
۵-۳- طراحی یک مبدل افزایشنده با سوئیچینگ نرم برای کاربرد فتوولتائیک	۱۸.....
۶-۳- مبدل DC-DC لایه بندی شده با نسبت تبدیل بالا و راندمان بالا	۱۹.....

فصل ۴- مبدل افزایشنده با نسبت تبدیل و بازده بالا برای کاربرد در سیستم‌های فتوولتائیک (PV) ۲۱

- ۴-۱- مقدمه..... ۲۱
- ۴-۲- مبدل بوست با سلف تزویج..... ۲۱
- ۴-۲-۱- مد هدایت ناپیوسته..... ۲۵
- ۴-۳- مبدل بوست با سلف تزویج و سوئیچینگ نرم..... ۲۶
- ۴-۳-۱- تحلیل روند کاری مبدل..... ۲۷
- ۴-۳-۲- طراحی مدار تشدید..... ۳۱
- ۴-۳-۳- شبیه‌سازی..... ۳۳
- ۴-۳-۴- کنترل مبدل..... ۳۶
- ۴-۳-۵- تحلیل تلفات مبدل..... ۳۹

فصل ۵- ساخت نمونه آزمایشگاهی..... ۴۳

- ۵-۱- مقدمه..... ۴۳
- ۵-۲- فیدبک و کنترل مدار..... ۴۳
- ۵-۳- مدار درایو سوئیچ‌ها..... ۴۴
- ۵-۴- طراحی سلف مبدل..... ۴۶
- ۵-۴-۱- محاسبه شکاف هوایی..... ۴۷
- ۵-۴-۲- روند گام به گام طراحی سلف..... ۴۸
- ۵-۴-۳- اندازه فاصله هوایی..... ۴۸
- ۵-۴-۴- کمیت A_L ۴۹
- ۵-۴-۵- تعیین تعداد دورها (n)..... ۴۹
- ۵-۴-۶- محاسبه سطح مقطع سیم..... ۴۹
- ۵-۵- مشخصات مبدل آزمایشگاهی ساخته شده..... ۵۱
- ۵-۶- نتایج آزمایشگاهی..... ۵۲

فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۵۷

- ۶-۱- نتیجه‌گیری..... ۵۷
- ۶-۲- پیشنهادات..... ۵۸
- فهرست مراجع..... ۵۹
- واژه نامه فارسی به انگلیسی..... ۶۱
- واژه نامه انگلیسی به فارسی..... ۶۲
- چکیده انگلیسی..... ۶۳

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲: بلوک دیاگرام مبدل افزایشنده DC-DC.....	۵
شکل ۲-۲: شکل موج‌های ولتاژ و جریان سوئیچینگ سخت یک دیود.....	۸
شکل ۳-۲: سوئیچینگ ولتاژ-صفر در دوره خاموش شدن دیود.....	۹
شکل ۴-۲: شکل موج‌های نوعی جریان و ولتاژ ماسفت در حالت سوئیچینگ سخت.....	۱۰
شکل ۵-۲: کاربرد مهار کردن پسیو در توپولوژی‌های متفاوت: (الف) مبدل بوست با سلف تزویج؛ (ب) مبدل باک-بوست با سلف تزویج؛ (ج) مبدل سپیک با سلف تزویج.....	۱۱
شکل ۶-۲: مدولاسیون پهنای پالس.....	۱۲
شکل ۱-۳: شمای مداری مبدل فوق افزایشنده.....	۱۴
شکل ۲-۳: راندمان تبدیل در $V_d = 200 V$ تحت توان خروجی متفاوت.....	۱۶
شکل ۳-۳: مبدل DC-DC افزایشنده PV-باتری برای تغذیه خط DC.....	۱۷
شکل ۴-۳: اندازه‌گیری راندمان توپولوژی پیشنهادی و مقایسه آن با مبدل‌های مشابه دو مرحله‌ای.....	۱۷
شکل ۵-۳: مبدل بوست سوئیچینگ نرم با SARC.....	۱۸
شکل ۶-۳: مقایسه راندمان مبدل بوست تحت سوئیچینگ سخت و نرم در بارهای مختلف.....	۱۹
شکل ۷-۳: مبدل بوست با سلف تزویج موازی شده (۳ فاز) با یک مبدل بوست مهارکننده.....	۲۰
شکل ۱-۴: مبدل بوست با سلف تزویج.....	۲۲
شکل ۲-۴: (الف) پالس تحریک و شکل موج جریان اندوکتانس سمت اولیه، (ب) مقایسه تلفات هدایت سوئیچ در مبدل بوست (W_{sb}) و مبدل بوست با سلف تزویج (W_{sc}).....	۲۲
شکل ۳-۴: نمودارهای طراحی- بهره ولتاژ (V_o/V_s) بر حسب دوره کاری (D) با تغییرات نسبت دور (N)؛ ($K = 0.97$).....	۲۴
شکل ۴-۴: شکل موج جریان سلف اولیه در حالت ناپیوسته.....	۲۵
شکل ۵-۴: جریان سلف اولیه (الف) و جریان خروجی (ب) در حالت مرزی بر حسب دوره کاری و نسبت دورهای ثانویه به اولیه.....	۲۵
شکل ۶-۴: ترکیب مبدل بوست با سلف تزویج و مدار کمکی سوئیچینگ نرم.....	۲۶
شکل ۷-۴: مدهای عملکرد مبدل بوست با سلف تزویج و سوئیچینگ نرم.....	۲۷
شکل ۸-۴: شکل موج‌های مبدل با توجه به تحلیل فواصل زمانی عملیاتی.....	۲۹
شکل ۹-۴: شرایط سوئیچینگ ولتاژ-صفر.....	۳۱
شکل ۱۰-۴: شکل موج‌های بدست آمده از شبیه‌سازی برای جریان اندوکتانس مغناطیس‌کنندگی و جریان سلف تشدید.....	۳۴

- شکل ۴-۱۱: نتایج شبیه‌سازی برای جریان ثانویه و جریان دیود خروجی..... ۳۵
- شکل ۴-۱۲: نتایج شبیه‌سازی برای ولتاژ خازن تشدید، دو سر سوئیچ‌ها و ولتاژ خروجی..... ۳۵
- شکل ۴-۱۳: شکل موج‌های بدست آمده از شبیه‌سازی برای جریان ورودی و جریان اندوکتانس نشستی (جریان دیود مهارکننده)..... ۳۶
- شکل ۴-۱۴: استرس ولتاژ بر روی سوئیچ بدون استفاده از سیستم مهارکننده..... ۳۶
- شکل ۴-۱۵: بخشی از مدل ساده‌شده مبدل (الف) و شکل موجهای سوئیچینگ (ب) برای تحلیل تلفات..... ۴۰
- شکل ۴-۱۶: تلفات مبدل با سوئیچینگ نرم بر حسب: (الف) نسبت دورها و نسبت تبدیل؛ (ب) نسبت دورها و ولتاژ ورودی..... ۴۱
- شکل ۴-۱۷: تلفات مبدل بدون مدار سوئیچینگ نرم بر حسب: (الف) نسبت دورها و نسبت تبدیل؛ (ب) نسبت دورها و ولتاژ ورودی..... ۴۱
- شکل ۴-۱۸: نسبت تلفات در سوئیچینگ نرم به سخت برای نسبت دورها و نسبت تبدیل‌های متفاوت..... ۴۲
- شکل ۵-۱: میکروکنترلر ATmega16..... ۴۴
- شکل ۵-۲: بلوک دیاگرام عملیاتی IR2110/IR2113..... ۴۵
- شکل ۵-۳: اتصالات نوعی IR2110/IR2113..... ۴۵
- شکل ۵-۴: مدار لازم برای راه‌اندازی IR2110/IR2113 جهت درایو سوئیچ‌های نمونه مبدل آزمایشگاهی..... ۴۶
- شکل ۵-۵: مدار لازم برای استفاده از رگولاتورهای ولتاژ..... ۴۶
- شکل ۵-۶: نمونه‌ای از سیم لیتز هفت رشته و نحوه قرارگیری آن در قرقره..... ۵۰
- شکل ۵-۷: نمونه آزمایشگاهی ساخته شده از مبدل پیشنهادی..... ۵۲
- شکل ۵-۸: پالس اعمالی به گیت..... ۵۳
- شکل ۵-۹: (الف) شکل موج ولتاژ دیود خروجی در مبدل با سلف تزویج؛ (ب) شکل موج بزرگنمایی شده تشدید در بازیابی معکوس دیود خروجی..... ۵۳
- شکل ۵-۱۰: شکل موج ولتاژ دیود خروجی مبدل بوست با سلف تزویج و سوئیچینگ نرم..... ۵۴
- شکل ۵-۱۱: شکل موج ولتاژ خازن تشدید..... ۵۴
- شکل ۵-۱۲: شکل موج ولتاژ درین-سورس سوئیچ..... ۵۵
- شکل ۵-۱۳: ولتاژ خروجی مبدل بوست با سلف تزویج و سوئیچینگ نرم برای ورودی ۸ ولت..... ۵۵
- شکل ۵-۱۴: شکل موج‌های ولتاژ دیودهای هرزگرد D_1 و D_2 ۵۶

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۶	جدول ۱-۲: مقایسه مبدل‌های DC-DC با نسبت تبدیل بالا.....
۳۳	جدول ۱-۴: مشخصات و جزئیات طراحی مبدل.....
۴۸	جدول ۱-۵: مشخصات لازم برای طراحی گام به گام سلف.....
۵۱	جدول ۲-۵: جزئیات و مشخصات عناصر نمونه آزمایشگاهی مبدل پیشنهادی.....

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
دوره کاری	D
تلفات انرژی دیود	W_D
ولتاژ معکوس	V_g
بار بازیابی شده دیود	Q_r
زمان بازیابی معکوس	t_r
خازن پیوند دیود	C_j
خازن درین-سورس ماسفت	C_{ds}
ولتاژ ورودی	V_{in}
جریان ورودی	I_t
خازن ورودی	C_{IN}
دیود خروجی	D_o
خازن خروجی	C_o
دوره‌های سلف اولیه	N_1
دوره‌های سلف ثانویه	N_2
نسبت دوره‌های ثانویه به اولیه	N
اندوکتانس مغناطیس‌کنندگی	L_m
اندوکتانس نشتی	L_l
ضریب تزویج	K
بهره ولتاژ	G_V
ولتاژ دو سر سوئیچ	v_{DS}
جریان سلف اولیه	i_{L1}
جریان سلف ثانویه	i_{L2}
ولتاژ منبع	V_s
ولتاژ خروجی	V_o
استرس ولتاژ	V_{cl}
مقاومت حالت روشن سوئیچ	$R_{DS,on}$
تلفات هدایت مبدل بوست	W_{sb}
تلفات مبدل بوست با سلف تزویج	W_{sc}

P_o	توان خروجی
η	راندمان
V_{Do}	ولتاژ معکوس دیود خروجی
I_{max}	حداکثر جریان سلف اولیه
I_{min}	حداقل جریان سلف اولیه
L_r	سلف تشدید
C_r	خازن تشدید
v_{Lm}	ولتاژ اندوکتانس مغناطیس‌کنندگی
i_{Lm}	جریان اندوکتانس مغناطیس‌کنندگی
i_{Lr}	جریان سلف تشدید
v_{Cr}	ولتاژ خازن تشدید
ω_r	فرکانس تشدید
Z_r	امپدانس تشدید
$I_{Lr,max}$	حداکثر جریان سلف تشدید
$V_{DS,sat}$	ولتاژ زمان روشن ماسفت
V_F	افت ولتاژ زمان روشن بودن دیودهای هرزگرد
T	پریود سوئیچینگ
f_s	فرکانس سوئیچینگ
$T_p(s)$	تابع تبدیل مبدل در حوزه فرکانس
v_c	ولتاژ کنترل
$T_m(s)$	تابع تبدیل PWM
V_{th}	ولتاژ آستانه
$V_{gs,miller}$	ولتاژ کف میلر
R_g	مقاومت بیس
$I_{g,on}$	جریان روشن کردن گیت
$I_{g,off}$	جریان خاموش کردن گیت
$V_{CE,sat}$	ولتاژ اشباع کلکتور-امیتر ترانزیستور
V_{CC}	ولتاژ راه‌اندازی گیت
$T_{on,S}$	زمان روشن شدن سوئیچ
$T_{off,S}$	زمان خاموش شدن سوئیچ
ρ	مقاومت ویژه سیم

k_u	ضریب پُرش سیم‌پیچی
B_{max}	بیشینه چگالی شار هسته
A_c	سطح مقطع هسته
W_A	سطح پنجره هسته
MLT	طول میانگین هر دور
l_g	اندازه فاصله هوایی
A_L	اندوکتانس به ازای هزار دور سیم‌پیچی
δ	عمق پوستی

فصل ۱ - مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

انتظار می‌رود سیستم‌های تولید انرژی پراکنده (DE)^۱ تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر بازار انرژی جهان در آینده نزدیک داشته باشند. این سیستم‌های DE عموماً شامل فتوولتائیک (PV)^۲، بادی، میکروتوربین‌ها^۳، سلول‌های سوختی (FC)^۴، موتورهای درون احتراقی^۵ و غیره می‌باشند. بعلاوه سیستم‌های ذخیره انرژی متعددی نظیر باتری و چرخ لنگر^۶ برای سیستم‌های تولید انرژی پراکنده در زمان‌های کم‌باری جهت افزایش بهره تولید انرژی در نظر گرفته می‌شوند. انرژی تولیدی در زمان نیاز می‌تواند به شبکه منتقل شود که این امر نیاز به ژنراتورها و نیروگاه‌های پرهزینه را از بین می‌برد. علاوه بر این، در بسیاری از سیستم‌های مستقل مورد کاربرد در صنایع فضایی، هوایی، دریایی، ارتباطات راه دور، حمل نقل برقی و غیره این منابع انرژی کاربرد دارند. اما بیشتر این سیستم‌ها دارای ولتاژ خروجی پایین‌تر از نیاز وسیله مورد استفاده و یا شبکه می‌باشند. بنابراین تمام تکنولوژی‌های DE از سیستم‌های الکترونیک قدرت ویژه برای تبدیل توان تولیدی به توان مفید که امکان اتصال مستقیم به شبکه را داشته و یا برای مصارف نهایی مناسب باشد، استفاده می‌کنند. بخاطر توابع مشابه این سیستم‌های الکترونیک قدرت، توسعه یک واسط الکترونیک قدرت پیشرفته (APEI)^۷ قابل گسترش برای رفع نیازهای متفاوت توان، با طراحی ماژولار، هزینه پایین‌تر، قابلیت اطمینان بهبود یافته و راندمان مناسب باشد، خواهد توانست هزینه کلی و تداوم سرویس سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر^۸ را نیز بهبود بخشد [۱].

¹ Distributed Energy

² Photovoltaic

³ Microturbine

⁴ Fuel Cell

⁵ Internal Combustion engine (IC engine)

⁶ Flywheel

⁷ Advance Power Electronic Interface

⁸ Renewable Energy

۲-۱- تاریخچه

در ابتدای نیمه دوم قرن بیستم با کاربردی شدن فناوری نیمه‌هادی، تجهیزات الکترونیک قدرت وارد صنایع ویژه مانند صنایع نظامی و بخصوص فضایی آمریکا شد. در ابتدا بدلیل هزینه بالای این عناصر استفاده از آنها تنها به مواردی که هزینه ارزش نتیجه را دارا بود، مانند صنایع فضایی محدود بود. با انقلاب فناوری آغاز شده بسرعت هزینه تولید نیمه‌هادی‌ها کاهش یافته و کاربرد تجهیزات الکترونیک قدرت به صنایع دیگر نظیر صنایع راهبری دریایی، ارتباطات راه‌دور و سایت‌های متحرک گسترش پیدا کرد. در دهه ۱۹۹۰ با ورود سیستم‌های تولید پراکنده که از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند PV، بادی و پیل سوختی استفاده می‌کردند، تحقیقات در زمینه تجهیزات و مبدل‌های الکترونیک قدرت افزایش چشمگیری یافت. یکی از مهمترین قسمت‌های بکاررفته در واسط‌های الکترونیک قدرت مبدل‌های افزایشنده^۱ DC-DC می‌باشند که ولتاژ پایین تولیدی توسط سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر را به ولتاژ مورد نظر برای مصرف کننده و یا اینورتر که جریان مستقیم را به متناوب با فرکانس مناسب برای اتصال به شبکه تبدیل می‌کند، افزایش می‌دهند. از اینرو، تحقیقات در زمینه توپولوژی‌های جدید این مبدل‌ها به بخش مهمی از توسعه فناوری واسط‌های الکترونیک قدرت تبدیل شده است.

۳-۱- شیوه‌های نوین در مبدل‌های افزایشنده DC-DC

مبدل‌های بوست^۲ متداول در تئوری می‌توانند نسبت تبدیل‌های بالا را با دوره‌های کاری (D)^۳ بزرگ و نزدیک به یک ایجاد کنند. اما در عمل بخاطر عناصر پارازیت مانند مقاومت اهمی سیم‌پیچ سلف ورودی و مقاومت حالت روشن سوئیچ در دوره‌های کاری بالا، افت ولتاژ و تلفات هدایت آنها بشدت افزایش می‌یابد و در نتیجه نمی‌توانند نسبت تبدیل‌های بالا تولید کرده، راندمان آنها افت پیدا می‌کند. از اینرو تحقیقات گسترده‌ای در زمینه توپولوژی‌های جدید که نسبت تبدیل زیادتر ولتاژ را فراهم کنند در دهه اخیر صورت گرفته است. استفاده از مبدل‌های چند سطحی^۴ و ترکیبی^۵ از تلاش‌های صورت گرفته در این زمینه می‌باشند [۲][۳][۴][۵].

اما استفاده از این شیوه‌ها پیچیدگی مدار و هزینه را افزایش داده و همچنین باعث کاهش راندمان می‌شود. برای کاهش پیچیدگی مدار و رسیدن به نسبت تبدیل‌های بالا سلف‌های تزویج^۶ در توپولوژی مبدل‌ها بکار برده شدند [۶].

¹ Step-up Converters

² Boost

³ Duty Cycle

⁴ Multilevel

⁵ Hybrid

⁶ Coupled-Inductor

افزایش نسبت تبدیل و بکارگیری سلف‌های تزویج باعث افزایش استرس‌های ولتاژ و جریان بر عناصر سوئیچینگ می‌شود که در نتیجه نیاز به رنج بالاتری از این عناصر در مدار می‌باشد. برای کاهش استرس‌ها از مدارهای اسنابر^۱ و سیستم‌های مهارکننده اکتیو^۲ و پسیو^۳ استفاده می‌شود [۲][۳].

نکته دیگر در ساخت مبدل‌های الکترونیک قدرت حجم می‌باشد، که در صنایعی مانند صنایع فضایی، نظامی و هوایی بسیار مهم است. برای کاهش حجم و در نتیجه آن افزایش چگالی توان این مدارها باید فرکانس سوئیچینگ افزایش یابد. افزایش فرکانس به نوبه خود باعث افزایش تلفات سوئیچینگ و نیز بروز مشکلات بازیابی معکوس دیود^۴ خروجی در دوره‌های کاری بالا را سبب می‌شود. برای غلبه بر این مشکلات مدارهای سوئیچینگ نرم^۵ و همچنین مبدل‌های تشدید^۶ بکار می‌روند [۷][۸][۹].

شیوه‌های نوین اشاره شده در زیر آورده شده‌اند:

- مبدل‌های چند مرحله
- مبدل‌های ترکیبی
- مبدل‌های باسلف تزویج
- مبدل‌های با سوئیچینگ نرم
- مبدل‌های تشدید

۱-۴- هدف از انجام تحقیق

هدف از انجام این تحقیق طراحی و ساخت یک مبدل افزایشنده DC-DC با نسبت تبدیل بالا، پیچیدگی کم و راندمان مناسب می‌باشد. برای رسیدن به این هدف لازم است که یک توپولوژی پایه ساده که نسبت تبدیل بالا را تأمین کند بکار رود. برای کاهش استرس‌های ولتاژ بر روی عناصر سوئیچینگ و کاهش تلفات باید مدارهای حفاظتی و کمکی به توپولوژی اضافه شود تا رنج عناصر را پایین آورده و راندمان را افزایش دهد. ولتاژ خروجی مبدل نیز باید با یک سیستم کنترل مناسب تنظیم شده تا قابل استفاده برای کاربردهای اشاره شده در قسمت-های قبل باشد.

۱-۵- نوآوری تحقیق

در این تحقیق برای رسیدن به نسبت تبدیل بالای ولتاژ از یک مبدل بوست با سلف تزویج استفاده شده که در عین سادگی توپولوژی، نسبت تبدیل مورد نیاز را فراهم می‌کند. برای غلبه بر استرس ولتاژ بالا بر روی سوئیچ،

¹ Snubber

² Active Clamping

³ Passive Clamping

⁴ Diode Reverse-Recovery Problems

⁵ Soft-Switching

⁶ Resonant Converters

یک سیستم مهارکننده بکار رفته که ولتاژ دو سر سوئیچ را تا حد ولتاژ خروجی محدود می‌کند. یک مدار کمکی ساده سوئیچینگ نرم شامل یک تانک تشدید سلف و خازن برای کاهش تلفات سوئیچینگ که عمده‌ترین بخش تلفات مبدل است، با توپولوژی مبدل تطبیق داده شده است. یک سیستم کنترل عمومی شامل جبران‌ساز PI^1 و کنترل مدولاسیون پهنای پالس (PWM)² برای تثبیت ولتاژ خروجی در مقدار دلخواه بکار گرفته شده است. توپولوژی این مبدل نسبتاً ساده بوده و دارای راندمان بالا می‌باشد. بنابراین، توپولوژی بوست با سلف تزویج و سوئیچینگ نرم حاصل جدید بوده و برای اولین بار در این پایان‌نامه ارائه شده است.

۱-۶- ساختار گزارش

در فصل بعد، به بررسی مفاهیم اولیه و موارد لازم برای آشنایی با موضوع اصلی پروژه می‌پردازیم. مبدل‌های افزایشنده DC-DC با نسبت تبدیل بالا را با هم مقایسه می‌کنیم. درباره سوئیچینگ نرم، شیوه‌های مختلف دستیابی به آن و ترجیحات در این زمینه بحث می‌کنیم. سیستم‌های مهارکننده استرس ولتاژ و نحوه کار سیستم کنترل مبتنی بر PWM را نیز در ادامه شرح می‌دهیم.

فصل سوم به بررسی تحقیقات اخیر در زمینه مبدل‌های افزایشنده با نسبت تبدیل بالا اختصاص دارد. پس از مروری کوتاه بر سیر تحول مبدل‌های افزایشنده در دهه اخیر، به معرفی چهار مبدل ساخته شده که برای کاربرد در سیستم‌های تغذیه شده با منابع انرژی تجدیدپذیر طراحی شده‌اند می‌پردازیم.

در فصل چهارم به معرفی توپولوژی مبدل بوست با سلف تزویج و سوئیچینگ نرم که در این پروژه پیشنهاد شده می‌پردازیم. ابتدا مبدل پایه که یک مبدل بوست با سلف تزویج است را در مدهای مختلف کاری تحلیل می‌کنیم. سپس به نحوه توسعه توپولوژی آن و بهبود کارکرد مبدل می‌پردازیم. پس از بدست آوردن روابط و شرایط لازم برای تطبیق توپولوژی پیشنهادی، یک مبدل نمونه با توان خروجی ۲۰۰ وات را بر اساس تحلیل‌های انجام شده با نرم‌افزار MATLAB/Simulink شبیه‌سازی می‌کنیم. سپس به بررسی تحلیل تلفاتی مبدل و مقایسه آن با تلفات مبدل پایه می‌پردازیم.

فصل پنجم و نهایی اختصاص به ساخت نمونه آزمایشگاهی مبدل پیشنهادی دارد. نکات مورد نیاز در ساخت و انتخاب عناصر مدار شرح داده می‌شوند. نحوه پیاده‌سازی بررسی شده و سپس نتایج ساخت نمونه آزمایشگاهی ارائه می‌شوند. در نهایت نتایج ساخت با نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی و تحلیل مقایسه شده و در انتها نتیجه‌گیری و پیشنهادات پروژه ارائه می‌گردد.

¹ Proportional-Integral

² Pulse Width Modulation

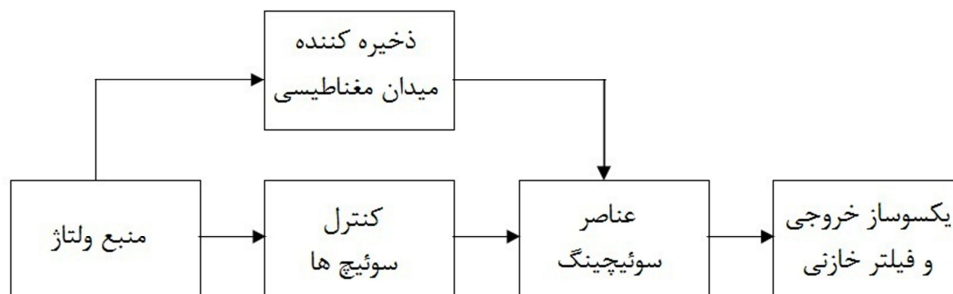
فصل ۲ - مفاهیم اولیه

۲-۱- مقدمه

در این فصل به بررسی چند موضوع که برای ادامه تحقیق لازم است می‌پردازیم. در فصل گذشته به مفاهیمی نظیر مبدل‌های افزایشنده DC-DC با نسبت تبدیل بالا، سوئیچینگ نرم، سیستم‌های مهارکننده استرس ولتاژ و مدولاسیون پهنای باند اشاره شد. در ادامه این فصل این عناوین بطور مختصر توضیح داده شده و در فصل‌های بعد تحلیل و کاربرد آنها در توپولوژی مبدل پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۲- مبدل‌های افزایشنده DC-DC با نسبت تبدیل بالا

مبدل‌های افزایشنده غالباً از ذخیره انرژی در بخش ذخیره کننده میدان مغناطیسی در زمان روشن بودن سوئیچ و سپس تخلیه آن از طریق یکسوساز دیودی در یک خازن خروجی که به بار متصل می‌باشند برای افزایش سطح ولتاژ بهره می‌جویند. بلوک دیاگرام کلی یک مبدل افزایشنده در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱: بلوک دیاگرام مبدل افزایشنده DC-DC

برای رسیدن به نسبت تبدیل بالاتر عموماً در توپولوژی مدار بخش ذخیره کننده میدان مغناطیسی با استفاده از سلف‌های تزویج، ترانس ایزوله و یا چندپله کردن ذخیره انرژی توسعه می‌یابد. برپایه بررسی گسترده در حوزه مبدل‌های افزایشنده DC-DC با نسبت تبدیل بالا، دستیابی به راندمان تبدیل بالا با بهره ولتاژ بالا بزرگترین چالش در توپولوژی‌های DC-DC غیر ایزوله می‌باشد که یا با یک دوره کاری بسیار بالا کار کرده و یا نتیجه به هزینه بالا و یا راندمان پایین می‌دهند. با این وجود همچنان به دلیل سادگی و حجم پایین، در توان‌های کمتر از کیلووات کاربرد فراوان دارند. همچنین در توان‌های بالاتر توپولوژی‌های ایزوله که پیچیدگی بیشتری دارند، استفاده می‌شوند. تا به امروز، تعداد زیادی توپولوژی مبدل DC-DC ایزوله پیشنهاد شده است که می‌توان آنها را در شش خانواده کلی دسته‌بندی کرد: پل کامل^۱، نیم پل^۲، پوش-پول^۳، تشدید^۴، فوروارده^۵ و فلائی‌بک^۶. برای آنکه بتوان درک بهتری در قیاس این مبدل‌ها با هم داشت، مدل نوعی طراحی‌های هر خانواده از توپولوژی‌ها، همراه با مبدل بوست با سلف تزویج در موارد رنج توان، ولتاژ، راندمان و پیچیدگی آنها در جدول ۱-۲ با هم مقایسه شده‌اند [۱۰].

جدول ۱-۲: مقایسه مبدل‌های DC-DC با نسبت تبدیل بالا [۱۰]

توپولوژی DC-DC	رنج توان (W)	ولتاژ ورودی (V)	ولتاژ خروجی (V)	حداکثر راندمان (%)	پیچیدگی
بوست با سلف تزویج	۴۰۰ وات	۳۶	۳۸۰	۹۴٫۵	کم
تمام پل شیفت فاز	۱ کیلووات	۴۸	۳۸۰	۹۵	زیاد
نیم پل تغذیه شده با جریان	۲۰۰ وات	۲۴	۲۰۰	۹۴٫۸	متوسط
پوش-پول	۱٫۵ کیلووات	۳۵	۳۵۰	۹۵٫۵	متوسط
فوروارده	۱ کیلووات	۳۶	۳۸۰	۹۶٫۳	متوسط
فلائی‌بک	۲۶۰ وات	۳۶	۳۵۰	۹۵	کم
تشدید	۱ کیلووات	۳۵	۳۸۰	۹۶٫۵	زیاد

¹ Full Bridge
² Half Bridge
³ Push-Pull
⁴ Resonant
⁵ Forward
⁶ Flyback

۲-۳- سوئیچینگ نرم

در کنار مبدل‌های تشدید، علاقه زیادی به کاهش تلفات در مبدل‌های متداول DC-DC و PWM وجود داشته است. تعداد زیادی از شیوه‌های متداول رسیدن به سوئیچینگ نرم در مبدل‌های باک^۱، بوست و دیگر انواع در منابع الکترونیک قدرت بیان شده است.

سوئیچینگ نرم شامل کاهش یکی یا چند عامل تلفات سوئیچینگ در یک مبدل با کنترل PWM است. علاوه بر این، سوئیچینگ نرم به معنی کاهش تغییرات آنی در جریان‌ها و ولتاژهای سوئیچ‌های مدار است که این امر باعث کاهش نسبی چشمگیر تداخل الکترومغناطیس (EMI)^۲ در مبدل‌ها نسبت به مبدل‌های دیگر می‌شود. انرژی که در غیر اینصورت تلف می‌شد بازیابی شده و به منبع یا بار مبدل انتقال می‌یابد. عملکرد یک وسیله نیمه‌هادی در طول دوره خاموش یا روشن شدن سوئیچ می‌تواند به سه دسته زیر دسته‌بندی شود:

- سوئیچینگ سخت^۳
- سوئیچینگ ولتاژ-صفر (ZVS)^۴
- سوئیچینگ جریان-صفر (ZSC)^۵

بطور خاص، ترجیح بر اینست که دیودها در دوره خاموش شدن در حالت ولتاژ-صفر و مسافت‌ها در زمان روشن شدن در حالت ولتاژ-صفر عمل کنند. بهر حال، سوئیچینگ ولتاژ صفر به دلیل نیاز به عناصر نیمه‌هادی اضافی نظیر دیود و سوئیچ کمکی همراه با افزایش تلفات هدایت بوده و بنابراین، مهندسان باید تأثیر سوئیچینگ نرم را بر راندمان کلی مبدل در نظر گیرند.

مبدل‌های سوئیچ-تشدید^۶ یک گروه گسترده از مبدل‌ها هستند که در آن شبکه سوئیچ PWM یک مبدل باک، بوست و دیگر مبدل‌ها با یک سلول سوئیچینگ شامل عناصر تشدید جایگزین می‌شود. این عناصر سوئیچینگ طوری طراحی شده‌اند که تجهیزات نیمه‌هادی با ZVS یا ZCS عمل کنند، بنحوی که یک یا چند عامل از تلفات سوئیچینگ کاهش یافته و یا از بین بروند. دیگر راهکارهای سوئیچینگ نرم ممکن است که حالت سوئیچینگ تشدید را اعمال کنند، اما همچنان بطور تقریبی شکل موج‌های مربعی مبدل‌های سوئیچینگ سخت را نشان دهند. در هر مورد، مبدل ترکیبی نتیجه شده مشخصات شبکه سوئیچینگ تشدید و مبدل سوئیچینگ سخت پایه را ترکیب می‌کنند.

مبدل‌های سوئیچینگ نرم می‌توانند کاهش تلفات سوئیچینگ را با هزینه افزایش تلفات هدایت ارائه دهند. بدست آوردن سوئیچینگ ولتاژ یا جریان صفر نیازمند اینست که عناصر مدار تشدید ریپل بزرگی داشته باشند؛

¹ Buck

² Electro-Magnetic Interference

³ Hard-Switched

⁴ Zero-Voltage Switched

⁵ Zero-Current Switched

⁶ Resonant Switch