دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

کاهش تلفات سوئیچینگ در مبدلهای منبع جریان

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک

مهدی رضوانی وردوم

استاد راهنما

دکتر حسین فرزانه فرد

۱۳۸۹

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی برق - الکترونیک آقای مهدی رضوانی وردوم

تحت عنوان

کاهش تلفات سوئیچینگ در مبدلهای منبع جریان

در تاریخ ۸۹/۱۲/۱۸ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر حسین فرزانه فرد
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر سید محمد مدنی
۳- استاد داور	دکتر احسان ادیب
۴- استاد داور	دکتر احمد رضا تابش
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر مدرس هاشمی

از خداوند متعال سپاسگزارم که به من توفیق عطا فرمود تا بتوانم این دوره تحصیلی را با موفقیت به پایان رسانم. بر خود لازم می‌دانم که از توجه و راهنمایی‌های استاد بزرگوارم آقای دکتر حسین فرزانه فرد که حضور گرمشان در تمام مراحل انجام پروژه مشوق من بود قدردانی نمایم. از رهنمودهای دلسوزانه و بی دریغ استاد ارجمندم آقای دکتر احسان ادیب تشکر می‌نمایم. از پدر و مادر مهربانم که در تمام مراحل تحصیل یار و مشوقم بودند قدردانی می کنم. از تشویق دوستان خوبم در گروه الکترونیک قدرت سپاسگزاری می کنم مخصوصا آقایان محمد رضا محمدی، مجید دلشاد، محمد رضا امینی، محمد مهدوی مزده، امین اصغری، امین عمرانی و روح الله یزدانی.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات

و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه

متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم،

...

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
چکیده	۱
فصل اول: مقدمه	**۲**
۱-۱ مقدمه	۲
فصل دوم: مبدلهای منبع جریان	**۵**
۲-۱ مقدمه	۵
۲-۲ مبدلهای منبع جریان	۷
۲-۲-۱ مبدل بوست	۷
۲-۲-۲ مبدل چند سطحی	۸
۲-۲-۳ مبدل بوست کسکود	۱۰
۲-۲-٤ مبدل بوست اینترلیود	۱۲
فصل سوم: مبدلهای منبع جریان اینترلیود	**۱۴**
۳-۱ مقدمه	۱۴
۳-۲ بررسی مبدل بوست اینترلیود سوئیچینگ سخت بهبود یافته	۱۶
۳-۲-۱ عملکرد مبدل بوست اینترلیود سوئیچینگ سخت بهبود یافته	۱۶
۳-۲-۲ تحلیل عملکرد مبدل بوست اینترلیود سوئیچینگ سخت بهبود یافته	۲۰
۳-۳ بررسی یک مبدل بوست اینترلیود با استفاده از دو سوئیچ کمکی برای ایجاد شرایط سوئیچینگ نرم	۲۱
۳-۳-۱ عملکرد مبدل اینترلیود با استفاده از دو سوئیچ کمکی	۲۱
۳-۳-۲ تحلیل عملکرد مبدل اینترلیود با استفاده از دو سوئیچ کمکی	۲۴
۳-٤ بررسی یک مبدل بوست اینترلیود با استفاده از یک سوئیچ کمکی برای ایجاد شرایط سوئیچینگ نرم	۲۷
۳-٤-۱ عملکرد مبدل بوست اینترلیود با استفاده از یک سوئیچ کمکی	۲۷
۳-۵ بررسی یک مبدل بوست اینترلیود با استفاده از دو سوئیچ کمکی برای ایجاد شرایط سوئیچینگ نرم	۳۳
۳-۵-۱ عملکرد مبدل بوست اینترلیود با استفاده از دو سوئیچ کمکی	۳۳
۳-٦ بررسی یک مبدل بوست اینترلیود بدون استفاده از سوئیچ کمکی برای ایجاد شرایط سوئیچینگ نرم	۴۰
۳-٦-۱ عملکرد مبدل بوست اینترلیود بدون استفاده از سوئیچ کمکی	۴۰
۳-۷ بررسی یک خانواده از مبدلهای بوست اینترلیود ایزوله	۴۵
۳-۷-۱ استخراج توپولوژی	۴۶
۳-۷-۲ خانواده مبدلهای DC-DC اینترلیود ایزوله با WCCIS	۵۰
۳-۷-۳ مبدل بوست- فلای بک ZVT اینترلیود با WCCIS، مدار اکتیو کلمپ و ساختار PPPS	۵۱
فصل چهارم: تکنیکهای سوئیچینگ نرم	**۶۰**
٤-۱ مقدمه	۶۰
٤-۲ بررسی انواع تکنیکهای سوئیچینگ نرم	۶۲

٤-٣ سلول سوئیچینگ ZVS با کنترل PWM ۶۳
٤-٤ سلول سوئیچینگ ZCS با کنترل PWM ۶۸
فصل پنجم: مبدل پیشنهادی اول **۷۵**
٥-١ مقدمه ۷۵
٥-٢ مبدل بوست اینترلیود پیشنهادی ۷۶
٥-٣ عملکرد مبدل بوست اینترلیود پیشنهادی ۷۸
٥-٤ طراحی مبدل پیشنهادی ۸۴
٥-٤-١ المانهای رزنانسی(C_r و L_r) ۸۴
٥-٤-٢ انتخاب سوئیچهای S_1، S_2 و S_a ۸۴
٥-٤-٣ انتخاب L_1، L_2 و C_o ۸۵
٥-٥ نتایج شبیه سازی ۸۵
٥-٦ نتایج عملی ۸۸
٥-٧ نتیجه گیری ۹۰
فصل ششم: مبدل پیشنهادی دوم **۹۲**
٦-١ مقدمه ۹۲
٦-٢ مبدل بوست اینترلیود پیشنهادی ۹۳
٦-٣ عملکرد مبدل بوست اینترلیود پیشنهادی ۹۴
٦-٤ طراحی مبدل پیشنهادی ۱۰۱
٦-٤-١ المانهای رزنانسی(C_r، L_r، L_{s1} و L_{s2}) ۱۰۲
٦-٤-٢ انتخاب سوئیچهای S_1، S_2 و S_a ۱۰۲
٦-٤-٣ انتخاب D_1، D_2 و D_o ۱۰۳
٦-٤-٤ انتخاب L_1، L_2 و C_o ۱۰۳
٦-٥ نتایج شبیه سازی ۱۰۳
٦-٦ نتایج عملی ۱۰۵
٦-٧ نتیجه گیری ۱۰۷
فصل هفتم: خلاصه مطالب، نتیجه گیری و پیشنهادات **۱۰۹**
٧-١ مروری بر مطالب ۱۰۹
٧-٢ نتیجه گیری ۱۱۰
٧-٣ پیشنهادات ۱۱۲
مراجع **۱۱۳**

چکیده

در سالهای اخیر استفاده از منابع تغذیه سوئیچینگ در صنعت گسترش بسیاری یافته است. بنابراین ارائه توپولوژیهای جدید مبدلهای سوئیچینگ DC-DC به منظور بهبود عملکرد این منابع مورد توجه قرار گرفته است. مبدلهای سوئیچینگ به دو دسته کلی مبدلهای منبع ولتاژ و مبدلهای منبع جریان تقسیم بندی می‌شوند. از آنجاییکه برخی از سیستمهای تجدید پذیر مانند پیلهای سوختی دارای ولتاژ خروجی پایین و متغییر با بار هستند، استفاده از مبدلهایی که موجب افزایش سطح و تثبیت ولتاژخروجی شود از اهمیت زیادی برخوردار است. از مزیتهای اصلی مبدلهای منبع جریان، بهره ولتاژ بالا نسبت به مبدلهای منبع ولتاژ است که استفاده از ترانسفورمرهای با تعداد دور پایین تر را امکان پذیرمی‌سازد. از مزایای دیگر مبدلهای منبع جریان حذف اندوکتانس خروجی است. لذا می‌توان براحتی از ساختارهایی با خروجی های چند سر استفاده کرد. مزیت دیگر مبدلهای منبع جریان این است که اکثر سیستمهای تجدید پذیر قادر به تولید جریانهای ناگهانی نیستند، بنابراین استفاده از مبدلهای منبع ولتاژ امکان پذیر نیست. امروزه کاهش حجم و وزن منابع تغذیه سوئیچینگ در طراحی منابع تغذیه سوئیچینگ از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین سعی می‌شود که از فرکانسهای بالا در پیاده سازی منابع تغذیه استفاده گردد. اما بکار گیری فرکانسهای بالا سبب افزایش تلفات سوئیچینگ و نیز کاهش راندمان مدار می‌شود. لذا استفاده از تکنیکهای سوئیچینگ نرم برای کاهش تلفات و افزایش فرکانس سوئیچینگ مدارغیر قابل اجتناب است. از طرفی استفاده از تکنیکهای سوئیچینگ نرم راه حل مناسبی جهت کاهش نویز RFI و EMI است .هنگامیکه میزان انتقال توان بالا است، استفاده از ساختارهای سری و موازی برای انتقال توان به دلیل کاهش استرس و ریپل های ولتاژ و جریان، کاهش تلفات هدایتی مبدل و افزایش چگالی توان انتقالی اهمیت زیادی می‌یابد. در مبدلهای مدرن امروزی، ساختارهای اینترلیود در کاربردهای جریان -بالا و توان -بالا به دلیل مزیتهایی مانند توزیع توان، پاسخ گذرای سریع، کاهش سایز المانهای پسیو و نیز کاهش ریپل جریان بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. در این پایان نامه دو مبدل بوست اینترلیود PWM پیشنهاد شده است که از تکنیک ZCS برای ایجاد شرایط سوئیچینگ نرم برای همه سوئیچهای اصلی و کمکی استفاده می کند. در دو مبدل پیشنهادی تنها از یک سوئیچ کمکی برای ایجاد شرایط سوئیچینگ نرم استفاده می شود. همچنین به دلیل استفاده از تکنیک ZCS، تلفات بازیافت معکوس دایودها حداقل می‌گردد. وضعیتهای مختلف عملکرد دو مبدل پیشنهادی، نتایج شبیه سازی، نتایج عملی و مزایا و معایب ارائه شده است. در نهایت نتیجه گیری و پیشنهادات برای ادامه کار بیان گردیده است.

کلمات کلیدی: ۱- مبدلهای منبع جریان ۲-مبدلهای بوست اینترلیود ۳-سوئیچینگ نرم

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

استفاده از منابع تغذیه در دستگاههای الکترونیکی کاربرد وسیعی یافته است. با پیشرفت المانهای نیمه هادی قدرت، سیستمهای الکترونیک قدرت در کاربردهای صنعتی توان - بالا بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. به منظور انتقال توان دو نوع توپولوژی متفاوت، مبدلهای منبع ولتاژ[1](VSC) و مبدلهای منبع جریان[2](CSC)، وجود دارد. مبدلهای منبع ولتاژ به دلیل ساختارهای ساده، بازده بالا، سرعت پاسخ دینامیکی سریع و کنترل آسان از عمومیت بیشتری برخوردار هستند. اما این نوع از مبدلها دارای چندین عیب مانند عدم قابلیت در محدود کردن جریان در حالات گذار، وجود سلف در ساختار خروجی، حجم و وزن بالای این نوع از مبدلها در توانهای بالا و استفاده از مدارات اضافی برای محدود کردن اسپایکهای گذرای مبدل است. امپدانس منبعی که توپولوژی را درایو می کند در مبدل منبع ولتاژ کوچک است. بنابراین هیچ راهی برای محدود کردن جریان کشیده شده از این ساختار در حالتهای غیر عادی کار مبدل مانند لحظات روشن و خاموش شدن مبدل و یا شرایط حاصل شده از ایجاد خطاهای مختلف در مبدل وجود ندارد. البته راههایی برای محدود کردن جریان کشیده شده از مبدل توسط مدارات اضافی وجود دارد. وقتی که از مبدل جریان اضافی کشیده شود، این شرایط به مدارات اضافی انتقال داده می‌شود و

[1] Voltage Source Converters
[2] Current Source Converters

این مدارات توسط کاهش دادن پهنای پالس کنترلی سوئیچ و یا قطع کامل آن از مبدل محافظت می‌کنند. اما این مدارات اضافی نیز از کاربرد مناسبی برخوردار نیستند چون باعث ایجاد تاخیر در بعضی از سیکلهای سوئیچینگ می‌شوند که سبب اتلاف اضافی توان در ترانزیستورها و یا یکسوکننده های خروجی می‌شود که باعث ایجاد اسپایکهای ولتاژ و جریان خطرناک می‌شود. بنابراین این مدارات اضافی کمکی به محدود کردن جریانهای گذرای بزرگ در لحظات روشن و خاموش شدن مبدل نمی‌کنند [۱].

دوگان مبدلهای منبع ولتاژ، مبدلهای منبع جریان هستند. در مبدلهای منبع جریان امپدانس بالای یک سلف بین منبع توان و ساختار توپولوژی وجود دارد. این امر باعث ایجاد مزیتهای اساسی برای مبدلهای منبع جریان در کاربردهای توان –بالا، کاربردهای ولتاژ – بالا و ساختارهای چند خروجی می‌شود. مبدلهای منبع جریان به دلیل ساختار ساده و حفاظت در مقابل اتصال کوتاه در کاربرهای توان – بالا دارای کاربردهای زیادی هستند. همچنین اسپایکهای جریان ورودی در حالات گذار توسط سلف ورودی محدود می‌شود. بطور کلی در کاربردهای توان – بالا مزیتهای استفاده از مبدلهای منبع جریان به معایب آن مانند تلفات هدایتی بالاتر و کنترل پیچیده تر، غالب است [۱]و[۲].

امروزه استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند پیلهای سوختی، سلولهای خورشیدی و غیره با سرعت زیادی در حال افزایش است. اما اکثر این منابع انرژی تجدیدپذیر ولتاژهای پایین و غیر تنظیم شده ای را در خروجی خود تولید می‌کنند [۳-۶] . بنابراین استفاده از مبدلهای واسط برای بدست آوردن راندمان بالا ، افزایش و تنظیم ولتاژ خروجی منابع انرژی تجدیدپذیر ضروری است. این مدارات واسط باید توان را از این منابع که دارای ولتاژ پایین و جریان بالا هستند دریافت کنند و ولتاژ DC بالایی را در خروجی خود که معمولاً اینورتر است تولید کنند. بنابراین ولتاژ بایستی با استفاده از مبدلهای منبع جریان به عنوان مدارات واسط افزایش و تنظیم گردند. هنگامیکه میزان انتقال توان بالاست استفاده از ساختارهای سری و موازی برای انتقال توان به دلیل کاهش استرس و ریپل های ولتاژ و جریان، کاهش تلفات هدایتی مبدل و افزایش چگالی توان انتقالی اهمیت زیادی می‌یابد. ساختارهای اینترلیود[۳] در کاربردهای جریان –بالا و توان –بالا به دلیل مزیتهایی مانند توزیع توان، پاسخ گذرای سریع، کاهش سایز المانهای پسیو و نیز کاهش ریپل جریان بسیار مورد توجه قرار می‌گیرند[۷-۹]. مبدل بوست به دلیل ساختار ساده، جریان ورودی پیوسته و بهره ولتاژ ذاتی بزرگتر از یک از ساختارهای مناسب برای استفاده بعنوان مبدل منبع جریان است. بنابراین استفاده از مبدلهای بوست اینترلیود در کاربردهای توان – بالا بسیار مطلوب

[3] Interleaved Structure

است. اما مبدل بوست بصورت سخت کلید زنی می‌شود پس دارای محدودیت در افزایش فرکانس سوئیچینگ است و نیز سایز المان های پسیو در مبدل بوست بزرگ است که موجب کاهش چگالی توان مبدل می‌شود.

به دلیل نیازهای روز افزون برای کاهش سایز و وزن مبدلهای PWM[4] پایه در حال ترکیب شدن با مبدلهای رزنانسی، مبدلهای شبه رزنانسی (QRCs)[5] و مبدلهای چند رزنانسی (MRCs)[6] و خصوصاً در سالهای اخیر، در حال ترکیب شدن با مبدلهای PWM سوئیچینگ نرم هستند تا اینکه بتوان فرکانس سوئیچینگ را افزایش داد. افزایش فرکانس سوئیچینگ سبب کاهش حجم و وزن المانهای پسیو می‌شود. همچنین استفاده از تکنیکهای مختلف سوئیچینگ نرم، تلفات سوئیچینگ را کاهش داده و موجب افزایش راندمان مبدل می‌شود. در مبدلهای سوئیچینگ امروزی، استفاده از تکنیکهای ZVS[7] و ZCS[8] اهمیت زیادی یافته است. این دو روش شرایط سوئیچینگ نرم را فراهم می‌کنند، در حالیکه کنترل مبدل همچنان PWM باقی می‌ماند.

در این پایان نامه در فصل دوم به بررسی مبدلهای منبع جریان پرداخته می‌شود و ساختارهای مختلف مبدلهای منبع جریان و مزایا و معایب آنها معرفی می‌گردند. در فصل سوم به بررسی مبدلهای منبع جریان اینترلیود پرداخته می‌شود. در این فصل توپولوژیهای مختلف مبدلهای منبع جریان اینترلیود معرفی و هر کدام از آنها بطور مفصل تجزیه و تحلیل شده ونقاط ضعف و قوت آنها بیان می‌گردد. در فصل چهارم دو تکنیک سوئیچینگ نرم، ZCS و ZVS، مورد تحلیل قرار می‌گیرند. همچنین عملکرد و نیز شرایط ایجاد این تکنیکها در توپولوژیهای مختلف بیان می‌گردد. در فصلهای پنجم و ششم مبدلهای بوست اینترلیود پیشنهادی معرفی و وضعیتهای مختلف عملکرد، نتایج شبیه سازی، نتایج عملی، مزایا و معایب آنها بیان می‌گردد. همچنین در این فصل به مقایسه مبدلهای پیشنهادی با مبدلهای معرفی شده در فصل سوم پرداخته می‌شود. در نهایت فصل هفتم به جمع بندی مطالب و نتیجه گیری پرداخته شده و چند پیشنهاد برای ادامه کار بیان گردیده است.

[4] Pulse Width Modulation
[5] Qusi Resonance Circuit
[6] Multi Resonance Circuit
[7] Zero Voltage Switching
[8] Zero Current Switching

فصل دوم
مبدلهای منبع جریان

۲-۱- مقدمه

با پیشرفت المانهای نیمه هادی قدرت، سیستمهای الکترونیک قدرت در کاربردهای صنعتی توان -بالا بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. به منظور انتقال توان دو نوع توپولوژی متفاوت، مبدلهای منبع ولتاژ(VSC) و مبدلهای منبع جریان(CSC)، وجود دارد. مبدلهای منبع ولتاژ به دلیل ساختارهای ساده، بازده بالا، سرعت پاسخ دینامیکی سریع و کنترل آسان از عمومیت بیشتری برخوردار هستند. اما این نوع از مبدلها دارای چندین عیب مانند عدم قابلیت در محدود کردن جریان در حالات گذار، وجود سلف در ساختار خروجی، حجم و وزن بالای این نوع از مبدلها در توانهای بالا و استفاده از مدارات اضافی برای محدود کردن اسپایکهای گذرای مبدل است. مبدلهای منبع ولتاژ در ساختار خود دارای سلف خروجی می‌باشند. هرگاه مبدل مورد نظر دارای چند خروجی ایزوله شده باشد، برای جلوگیری از تضعیف رگولاسیون خروجیهای فرعی، مبدل بایستی در حالت جریان پیوسته (CCM)[9] عمل نماید. به دلیل اینکه مبدلهای ایزوله با چندین خروجی به تغییرات بار خروجی بسیار حساس می‌باشند، هرگاه بار خروجی اصلی تغییر نماید، ولتاژ خروجی اصلی تغییر می‌کند و بنابراین مبدل با تغییر D[10] از طریق مدار فیدبک

[9] Continuous Conduction Mode
[10] Duty Cycle

سعی در تثبیت ولتاژ خروجی می‌کند. پس ولتاژ خروجی اصلی تثبیت می‌شود. اما از آنجاییکه بار در خروجیهای فرعی بدون تغییر باقی مانده بود، تغییر D رگولاسیون این خروجیها را تضعیف می‌کند. حال اگر در اثر تغییرات شدید جریان خروجی اصلی، مبدل از ناحیه جریان پیوسته (CCM) وارد ناحیه جریان گسسته (DCM)[11] شود، مقدار D بشدت کاهش یافته و رگولاسیون خروجیهای فرعی بطور کامل از دست می‌رود. بنابراین این مبدلها باید در ناحیه جریان پیوسته (CCM) عمل نمایند. مشکل دیگر استفاده از مبدلهای منبع ولتاژ این است که مقدار سلف خروجی در این مبدلها دارای نسبت مستقیم با ولتاژ خروجی است. بنابراین در کاربردهای توان -بالا که ولتاژ خروجی مبدل نیز افزایش می‌یابد مقدار سلفهای خروجی بشدت زیاد می‌شود. افزایش مقدار سلف خروجی سبب افزایش حجم و وزن مبدل می‌شود. از اشکالات دیگر مبدلهای منبع ولتاژ این است که این نوع از مبدلها به دلیل نداشتن سلف در قسمت ورودی و نیز کوچک بودن امپدانس منبع دارای کنترل خوبی روی حالتهای گذرای مبدل نیستند و بنابراین استفاده از مدارات اضافی برای محدود کردن اسپایکهای گذرای مبدل ضروری است.
این مدارات اضافی نیز بطور کامل موثر نیستند و نمی‌توانند استرسهای ولتاژ و جریان گذرای مبدل را بطور کامل محدود کنند.

همچنین امروزه استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر مانند پیلهای سوختی، سلولهای خورشیدی و غیره به سرعت در حال افزایش هستند. این منابع انرژی دارای سطح ولتاژ پایین و تنظیم نشده در خروجیهای خود می‌باشند. بنابراین استفاده از مبدلهای منبع ولتاژ به عنوان مبدل واسط برای این نوع از منابع امکان پذیر نیست. استفاده از مبدلهای منبع جریان به عنوان یک مبدل واسط برای این نوع از منابع در حال افزایش است. از مزیتهای اصلی مبدل منبع جریان این است که این مبدلها دارای بهره ذاتی بزرگتر از یک هستند و نیز به علت نداشتن سلف در فیلتر خروجی مشکلات بیان شده برای مبدلهای منبع ولتاژ را ندارند. همچنین نداشتن مشکل اشباع ترانسفورمر از ویژگیهای مهم دیگر مبدلهای منبع جریان است. به علت نداشتن سلف در فیلتر خروجی از این نوع از مبدلها می‌توان در توانهای بالاتر از مبدلهای منبع ولتاژ استفاده کرد.

به دلیل ویژگیهای مبدلهای منبع جریان، از این مبدلها بطور وسیعی در منابع انرژی تجدید پذیر استفاده می‌شود[۱-۴]. در منابع انرژی تجدید پذیر به منظور تحمل استرس جریان ورودی و ولتاژ خروجی بالا استفاده از مبدلهای منبع جریان را اجتناب ناپذیر می‌کند. همچنین با استفاده از مبدلهای منبع جریان ولتاژ خروجی این منابع انرژی می‌تواند در سطح مورد نظر تنظیم و افزایش یابد.

[11] Discontinuous Conduction Mode

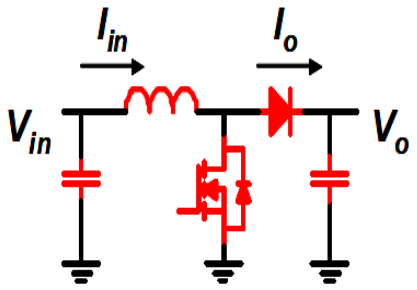
در این فصل به بررسی مبدلهای منبع جریان پرداخته می‌شود و مهمترین ساختارهای این نوع از مبدلها معرفی و بطور مختصر مورد تجزیه و تحلیل قرار داده می‌شوند.

۲-۲- مبدلهای منبع جریان

در این بخش به معرفی انواع مبدلهای منبع جریان پرداخته می‌شود.

۲-۲-۱- مبدل بوست

مبدل بوست به عنوان ساده ترین مبدل منبع جریان معرفی می گردد [۱۰]. شکل (۲-۱) شماتیک مداری مبدل بوست را نشان می‌دهد. از مهمترین ویژگیهای این مبدل می‌توان به داشتن جریان ورودی پیوسته، بهره ذاتی بزرگتر از یک و نداشتن سلف در فیلتر خروجی اشاره کرد. عملکرد این مبدل بطور خلاصه در حالت CCM مورد بررسی قرار می گیرد. این مبدل در حالت CCM دارای دو وضعیت عملکرد است.



شکل (۲-۱) شماتیک مداری مبدل بوست

وضعیت اول $t_0 < t < t_1$

در این وضعیت سوئیچ مبدل روشن است و سلف ورودی توسط منبع ولتاژ ورودی در حالت شارژ قرار دارد. بنابراین در طول این وضعیت جریان سلف ورودی بصورت خطی افزایش می‌یابد. در طول این وضعیت دایود خاموش است و توانی از ورودی به خروجی انتقال نمی‌یابد. پس خازن خروجی وظیفه تامین جریان خروجی را بر عهده خواهد داشت.

مدت زمان این وضعیت از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$t_1 - t_0 = \frac{L\Delta I_L}{V_{in}} \qquad (۲-۱)$$

در این رابطه ΔI_L تغییرات جریان سلف است که از این رابطه محاسبه می‌شود:

$$\Delta I_L = 2I_{o\min} \qquad (۲-۲)$$

در این رابطه $I_{o\min}$ حداقل جریان خروجی است.

وضعیت دوم $t_1 < t < t_2$

این وضعیت با خاموش شدن سوئیچ مبدل شروع می‌شود. با خاموش شدن سوئیچ، دایود بایاس مستقیم می‌شود تا سلف بتواند جریان خود را ادامه دهد. در طول این وضعیت انرژی ذخیره شده در سلف به بار انتقال داده می‌شود. بنابراین در طول این وضعیت سلف در حالت دشارژ شدن بوده و جریان آن به اندازه ΔI_L کاهش می‌یابد. مدت زمان این وضعیت از رابطه زیر بدست می‌آید:

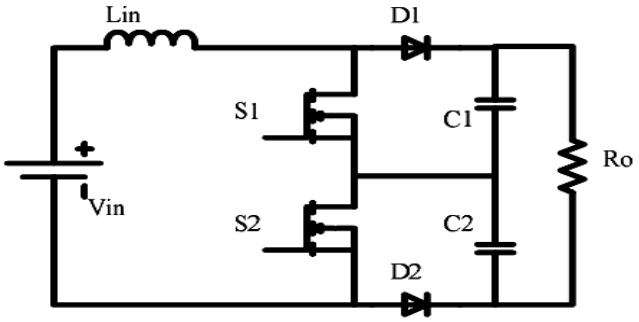
$$t_2 - t_1 = \frac{L\Delta I_L}{V_o - V_{in}} \qquad (۳-۲)$$

در کاربردهای با نسبت تبدیل بالا، مبدل بوست باید در ضریب وظیفه های بالا عمل نماید. هرگاه از این مبدل به عنوان مدار واسط منابع تجدید پذیر استفاده شود، به دلیل سطح جریان بالا در این منابع، مبدل بوست باید در ناحیه CCM عمل کند تا استرس جریان و ولتاژ دایود و سوئیچ کاهش یابد. یکی از مشکلات اساسی مبدل بوست این است که این مبدل در ناحیه CCM دارای عملکرد ناپایدار است. همچنین مبدل بوست دارای مشکل بازیافت معکوس دایود است که باعث افزایش تلفات سوئیچینگ می‌شود. از مشکلات دیگر مبدل بوست این است که استرس ولتاژ روی سوئیچ برابر با ولتاژ خروجی است که مقدار بزرگی بوده و چندین برابر ولتاژ ورودی است. مشکل دیگر این مبدل این است که بطور سخت کلید زنی می‌شود. پس مشکلات سوئیچینگ سخت مانند محدود بودن فرکانس سوئیچینگ و نیز بزرگ بودن المانهای پسیو مانند سلف ورودی و فیلتر خروجی در این مبدل وجود دارد.

با توجه به مشکلات ذکر شده در بالا از ساختارهای دیگر مبدل بوست استفاده می‌شود تا بتوان چگالی توان بالاتری را به خروجی انتقال داد.

۲-۲-۲- مبدل بوست چند سطحی

این مبدل در شکل (۲-۲) نشان داده شده است [۱۱]. این ساختار به منظور برطرف کردن بعضی از معایب مبدل بوست معمول مورد توجه قرار می‌گیرد.



شکل ۲-۲- مبدل بوست چند سطحی

این مبدل دارای چهار وضعیت عملکرد است که دارای تقارن می‌باشند. پس دو وضعیت عملکرد این مبدل بصور مختصر و با فرض $D > 0.5$ مورد بررسی قرر می‌گیرد.

وضعیت اول $t_0 < t < t_1$

قبل از وضعیت اول فرض می‌کنیم که سوئیچ S_1 خاموش و سوئیچ S_2 روشن است. خازنهای خروجی C_1 و C_2 با هم برابر بوده و بنابراین هر کدام از آنها به اندازه نصف ولتاژ خروجی شارژ می‌شوند.

این وضعیت با روشن شدن سوئیچ S_1 شروع می‌شود. بنابراین ولتاژ ورودی V_{in} دو سر سلف ورودی قرار گرفته و سلف بصورت خطی شروع به شارژ شدن می‌کند. در این وضعیت دایودهای خروجی D_1 و D_2 خاموش هستند. خازنهای خروجی C_1 و C_2 جریان خروجی را تامین می‌کنند.

وضعیت دوم $t_1 < t < t_2$

این وضعیت با خاموش شدن سوئیچ S_2 در لحظه t_1 شروع می‌شود. بنابراین جریان ورودی I_{Lin} از طریق S_1 و D_2 خازن C_2 را در حالت شارژ شدن قرار می‌دهد. از آنجاییکه $D > 0.5$ است، پس یک مقدار ولتاژ منفی دو سر سلف L_{in} قرار می‌گیرد و سلف شروع به دشارژ شدن می‌کند. این وضعیت با روشن شدن دوباره سوئیچ S_2 خاتمه می‌یابد.

این مبدل نسبت به مبدل بوست معمول دارای استرس ولتاژ کمتری است. چون ولتاژی برابر با نصف ولتاژ خروجی دو سر هر کدام از سوئیچها قرار می‌گیرد. بنابراین استرس هر کدام از سوئیچها نصف مبدل بوست معمول است. همچنین استرس روی دایودهای خروجی نیز نصف مبدل بوست معمول است، پس تلفات هدایتی

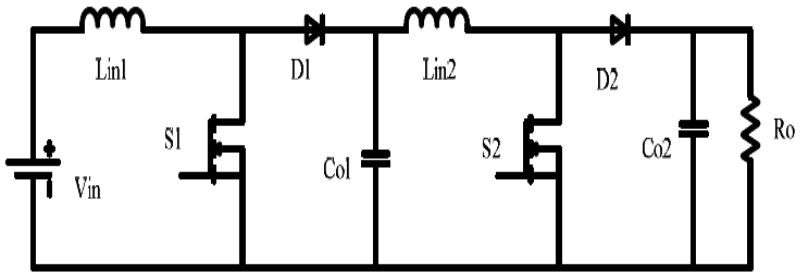
مبدل نیز کاهش می‌یابد. از آنجاییکه در این مبدل نسبت به مبدل بوست معمول می‌توان از دایودهای با تحمل ولتاژ کمتر استفاده کرد و معمولاً دایودهای با تحمل ولتاژ کمتر دایودهای سریعتری می‌باشند، بنابراین مشکل بازیافت معکوس دایود بوست معمول تا حدود زیادی در این مبدل کاهش می‌یابد.

از مزیتهای اصلی این مبدل نسبت به مبدل بوست معمول این است که این مبدل دارای فرکانس جریان ورودی است که دو برابر مبدل بوست معمول است. این موضوع باعث کاهش اندازه سلف ورودی شده و در نتیجه چگالی توان انتقالی و نیز حجم و وزن مبدل می‌تواند کاهش یابد. همچنین راندمان این مبدل نسبت به مبدل بوست معمول، با توجه به دلایل بیان شده، بیشتر است.

اگر چه این مبدل دارای مزیتهای اساسی نسبت به مبدل بوست معمول است، ولی این مبدل از المانهای بیشتری نسبت به مبدل بوست معمول بهره می‌برد. پس المانهای پارازیتی ظاهر شده در مبدل نیز افزایش می‌یابد. اگر جه این مبدل از تعداد المانهای بیشتری استفاده می‌کند، اما هنوز استرس ولتاژ روی سوئچها و دایودها بزرگ است.

۲-۲-۲- مبدل بوست کسکود

این مبدل در شکل (۲-۳) نشان داده شده است [۱۲]. این مبدل از دو مبدل بوست معمولی ساخته شده است که بصورت سری پشت سر هم قرار گرفته اند. این مبدل نیز دارای بعضی از مزیتهای اصلی نسبت به مبدل بوست معمول است



شکل ۲-۳- مبدل بوست کسکود

عملکرد این مبدل بطور مختصر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

وضعیت اول $t_0 < t < t_1$

قبل از شروع وضعیت اول فرض می‌شود که هر دو سوئیچ S_1 و S_2 در حالت وصل قرار دارند و سلفهای L_{in1} و L_{in2} در حالت شارژ شدن قرار دارند.

این وضعیت با خاموش شدن S_1 شروع می‌شود. در این حالت مبدل بوست سمت چپ در حال انتقال توان است و انرژی ذخیره شده در سلف L_{in1} به خازن C_{o1} انتقال داده می‌شود. . در طول این وضعیت سلف L_{in2} همچنان به شارژ شدن خود ادامه می‌دهد. در طول این وضعیت دایود D_1 در حالت بایاس مستقیم و دایود D_2 قطع است. در حقیقت مبدل بوست اول در حالت انتقال توان و مبدل دومی‌در حالت ذخیره توان است. در طول این وضعیت، خازن خروجی C_{o2} جریان خروجی را تامین می کند. این وضعیت با روشن شدن سوئیچ S_1 خاتمه می‌یابد.

وضعیت دوم $t_1 < t < t_2$

این وضعیت با روشن شدن S_1 شروع می‌شود. در طول این وضعیت هر دو سلف در حالت شارژ شدن قرار دارند. هر دو سوئیچ در حال ذخیره توان هستند و خازن C_{o2} همچنان جریان خروجی را تامین می کند. این وضعیت با خاموش شدن S_2 خاتمه می‌یابد.

وضعیت سوم $t_2 < t < t_3$

در لحظه t_2 سوئیچ S_2 خاموش می‌شود. در طول این وضعیت سلف L_{in1} همچنان بطور خطی در حال شارژ شدن است. با خاموش شدن S_2 دایود D_2 بایاس مستقیم می‌شود و انرژی ذخیره شده در سلف L_{in2} به خروجی انتقال داده می‌شود. در واقع مبدل بوست سمت چپ در حالت ذخیره انرژی و مبدل بوست سمت راست در حالت انتقال توان به خروجی است. این وضعیت با روشن شدن S_2 خاتمه می‌یابد.

وضعیت چهارم $t_3 < t < t_4$

این وضعیت با روشن شدن دوباره S_2 شروع می‌شود و هر دو مبدل بوست در حالت ذخیره انرژی قرار می گیرند. در طول این وضعیت خازن خروجی C_{o2} جریان خروجی را تامین می کند.

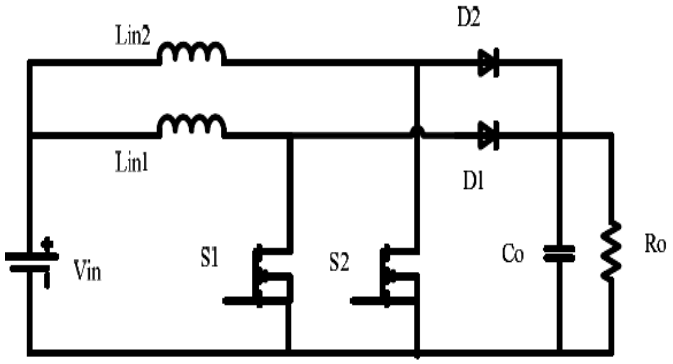
این مبدل نیز دارای مزیتهای اساسی نسبت به مبدل بوست معمول است. این مبدل مشکل بزرگ بودن ضریب وظیفه مبدل بوست معمول در توانهای بالا را حل می کند. همچنین در طبقه اول این مبدل استرس روی سوئیچ و دایود کاهش می‌یابد، به دلیل اینکه ماکزیموم ولتاژ روی سوئیچ و دایود برابر با ولتاژ خازن C_o است که

ولتاژ کمتری نسبت به ولتاژ خروجی مبدل بوست معمول است. بنابراین تلفات هدایتی در طبقه اول کاهش می‌یابد و مشکل بازیافت معکوس برای دایود D_1 در این مبدل نیز تا حدود زیادی برطرف می‌شود. اما مشکل تلفات هدایتی و نیز بازیافت معکوس در مبدل بوست طبقه دوم همچنان وجود دارد. به دلیل اینکه ماکزیموم ولتاژی که دو سر سوئیچ و دایود در طبقه دوم قرار می‌گیرد همان ولتاژ خروجی است.

مشکل اساسی تر این مبدل این است که راندمان این مبدل کمتر از مبدل بوست معمول است. این مبدل همچنین دارای مدار کنترل به مراتب پیچیده تری نسبت به مبدل بوست معمول است. این مبدل از تعداد المانهای بسیار بیشتری نسبت به مبدل بوست معمول استفاده می‌کند.

۲-۲-۳- مبدل بوست اینترلیود

این مبدل در شکل (۲-۴) نشان داده شده است [۱۳]. این مبدل از دو مبدل بوست معمولی ساخته شده است که بصورت موازی قرار گرفته اند. این مبدل نیز دارای بعضی از مزیتهای اصلی نسبت به مبدل بوست معمول است



شکل ۲-۴- مبدل بوست اینترلیود

عملکرد این مبدل بطور مختصر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

وضعیت اول $t_0 < t < t_1$

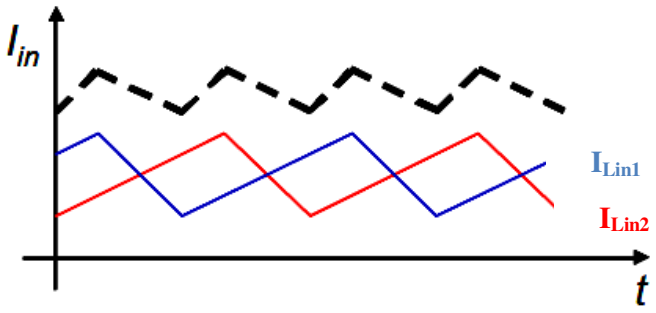
قبل از شروع وضعیت اول فرض می‌کنیم که سوئیچ S_1 خاموش و سوئیچ S_2 روشن هستند. بنابراین سلف L_{in2} بطور خطی در حال شارژ شدن است. انتقال توان از ورودی به خروجی از مسیر L_{in1} و D_1 انجام می‌شود.

این وضعیت با روشن شدن S_1 شروع می‌شود. در طول این وضعیت هر دو سلف ورودی بطور خطی و با شیب V_{in} / L در حالت شارژ شدن قرار دارند. دایودهای خروجی D_1 و D_2 بایاس معکوس می‌شوند . خازن خروجی C_o جریان خروجی را تامین می کند. این وضعیت با خاموش شدن S_1 خاتمه می‌یابد.

وضعیت دوم $t_1 < t < t_2$

این وضعیت با خاموش شدن S_2 در لحظه t_1 شروع می‌شود. سلف L_{in1} در طول این وضعیت همچنان در حالت شارژ شدن قرار دارد. در طول این وضعیت، با خاموش شدن S_2، انتقال توان از ورودی به خروجی از مسیر L_{in2} و D_2 انجام می‌شود و سلف L_{in2} با شیب $(V_o - V_{in}) / L_{in2}$ در حال دشارژ شدن است. این وضعیت با روشن شدن سوئیچ S_2 خاتمه می‌یابد و این سیکل برای سوئیچ S_1 نیز بصورت مشابه تکرار می‌شود.

شکل موجهای جریان سلفهای ورودی و نیز مجموع آنها در شکل (۲-۵) نشان داده شده است.



شکل ۲-۴- شکل موجهای جریان سلفهای ورودی و مجموع آنها

این مبدل دارای فرکانس جریان ورودی دو برابر مبدل بوست معمول است. بنابراین اندازه هر کدام از سلفها کمتر از مبدل بوست معمول است. همچنین به دلیل تقسیم جریان بین دو سلف ورودی، ریپل جریان ورودی کمتر از مبدل بوست معمول است. از این ساختار می‌توان در کاربردهای توان - بالا و ولتاژ - بالا استفاده نمود، چون این مبدل از ویژگی توزیع توان در بین دو ساختار استفاده می کند. به دلیل افزایش فرکانس، اندازه المانهای پسیو در این مبدل از مبدل بوست معمول کمتر است.

در این پایان نامه شرایط سوئیچینگ سخت و نرم برای مبدل بطور کامل مورد بررسی قرار می گیرد. در فصلهای آینده به بررسی مبدلهای مختلف بوست اینترلیود پرداخته می‌شود و مزیتها و معایب این ساختارها به تفصیل بحث خواهد شد.