دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

عنوان :

طراحی و شبیه‌سازی یک منبع تغذیه گسترده جهت ترانسفورماتور الکترونیک قدرت

نگارش: مهدی ثقلینی

استاد راهنما: دکتر شاهرخ فرهنگی

پایان‌نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ
مهندسی برق-گرایش قدرت

شهریورماه ۱۳۸۷

فهرست مطالب

عنوان .....صفحه

فصل اول: مقدمه.....۱

۱-۱ پیشینه تحقیق.....۱

۱-۲ تقسیم بندی ساختارهای مختلفDPS.....۳

۱-۳ قابلیتهای سیستم پخش توان گسترده.....٦

۱-۳-۱ موازی کردن.....٦

۱-۳-۲ متوالی کردن.....۸

۱-۳-۳ استفاده از چند منبع توان.....۹

۱-۳-٤ شکستن بار.....۹

۱-۳-۵ پشته کردن.....۱۰

۱-٤ ساختار پایان‌نامه.....۱۱

فصل دوم: بررسی توپولوژیهای تغذیه‌های گسترده.....۱۳

۲-۱ مبدلهای *front-end* تکفاز جهت *DPS* ۱٤

۲-۱-۱ *PFC* تکفاز جهت مبدل *front-end* یک *DPS*.....۱٤

۲-۱-۱-۱ یکسو کننده *PFC* تکفاز بوست.....۱٤

۲-۱-۱-۲ *PFC* دو کلیده با تلفات هدایت کاهش یافته.....۱٦

۲-۱-۱-۳ *PFC* دو برابر کننده ولتاژ با سوییچ گستره.....۱۸

۲-۱-۲ مبدل *front-end DC/DC* ۲۰

۲-۲ مبدلهای *front-end* سه فاز جهت *DPS*.....۲۵

۲-۲-۱ مدار*PFC* سه فاز.....۲۵

۲-۲-۲ مبدلهای *DC/DC* سه سطحی.....۲۹

۲-۳ مبدلهای بار.....۳۰

۲-۳-۱ *VRM*های باک چند فازه.....۳۱

۲-۳-۲ *VRM* با ولتاژ ورودی*12V*.....۳۳

۲-۳-۳ *VRM*های باورودی *48* ولت.....۳۵

۲-٤ ساختارهای باس *DC*..... ۳۷
۲-٤-۱ *DPS* برای کامپیوترهای *main-frame*..... ۳۷
۲-٤-۲ *DPS* برای سیستم‌های *VHSIC* نظامی..... ۳۸
۲-۵ ملاحظات طراحی برای *DPS*ها..... ٤۰
۲-۵-۲ واحدهای پردازش توان *front-end*..... ٤۱
۲-۵-۳ مبدلهای بار..... ٤۲
۲-۵-٤ تجمیع سیستم و اثرات متقابل دینامیک اجزا بر همدیگر..... ٤۳
۲-۵-٤-۱ مبدلهای *dc/dc* موازی..... ٤۳
۲-۵-٤-۲ مبدلهای *dc/dc* کاسکاد شده..... ٤۳
۲-۵-۵ ملاحظات طراحی فیلتر *EMI*..... ٤٤

فصل سوم: آرایش مدار قدرت..... ٤۵

۳-۱ مقدمه..... ٤٦
۳-۲ طراحی مقسم خازنی..... ٤۷
۳-۳ طراحی یکسوساز..... ۵۱
۳-۳-۱ محاسبه خازن صافی..... ۵۱
۳-۳-۲ انتخاب دیودهای پل یکسوساز..... ۵۲
۳-٤ طراحی مبدل *dc/dc*..... ۵٤
۳-٤-۱ انتخاب ساختار مناسب طبقه *front-end*..... ۵۵
۳-٤-۲ انتخاب توپولوژی مناسب طبقه *front-end*..... ۵۵
۳-٤-۳ انتخاب باطری..... ۵۹
۳-٤-٤ طراحی مدار فلای‌بک..... ٦۰
۳-٤-۵ طراحی مدار باطری..... ٦٤
۳-٤-٦ طراحی ترانسفورماتور..... ٦۵
۳-٤-۷ طراحی مدارهای ضربه‌گیر ٦۷
۳-۵ شبیه‌سازی مدار طراحی‌شده..... ٦۸

فصل چهارم: طراحی مدار کنترل و جبرانساز..... ۷۳

٤-١ مقدمه..... ٧٤
٤-٢ مدلسازی مدار قدرت..... ٧٤
٤-٣ طراحی مدار جبرانساز..... ٨٠
٤-٤ شبیه‌سازی مدار کنترل..... ٨٤

فصل پنجم: باطری و مدار شارژ آن..... ٨٩
٥-١ انتخاب باطری و مدل آن..... ٩٠
٥-٢ شبیه‌سازی حالت دشارژ باطری..... ٩١
٥-٣ الگوریتم شارژ باطری..... ٩٤
٥-٤ شبیه‌سازی مراحل شارژ باطری..... ٩٨

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ١٠٨
٦-١ نتیجه‌گیری..... ١٠٩
٦-٢ پیشنهادات و کارهای آینده..... ١٠٩

مراجع..... ١١٢

فهرست شکلها

عنوان.....صفحه

شکل ۱-۱: ساختار اساسی یک سیستم تغذیه گسترده.....۳
شکل ۱-۲: دو ساختار متفاوت front-end: (الف) با یک مبدل بزرگ و (ب) با مبدلهای کوچک موازی.....۴
شکل ۱-۳: مراحل تبدیل توان در یک سیستم با (الف) باس dc یا (ب) باس ac.....۵
شکل ۱-۴ ساختارهای اساسی DPS.....۷
شکل ۱-۵: دو روش پشته کردن: (الف) سری و (ب) موازی.....۱۱
شکل ۲-۱: مدار PFC بوست و مقایسه بازده ها.....۱۶
شکل ۲-۲: مدار PFC بوست دو سوییچه.....۱۷
شکل ۲-۳: مقایسه بازده یکسوکننده بوست سنتی و دو سوییچه.....۱۸
شکل ۲-۴: مدار PFC دوبرابر کننده ولتاژ با بازده بهبود یافته.....۱۹
شکل ۲-۵: بازده PFC دوبرابر کننده ولتاژ.....۲۰
شکل ۲-۶: توپولوژیهای اینورتر اولیه.....۲۱
شکل ۲-۷: توپولوژیهای یکسوکننده ثانویه.....۲۲
شکل ۲-۸: مبدل نیم پل نامتقارن با نسبت دور نامتقارن و بازده آن.....۲۳
شکل ۲-۹: مبدل نیم پل متقارن با دو برابر کننده جریان و یکسوکردن سنکرون و بازده آن.....۲۴
شکل ۲-۱۰: مدار *PFC* سه فاز تک جهته.....۲۶
شکل ۲-۱۱: مبدل *front-end* برای *DPS* با کاربردهای توان بالا.....۲۸
شکل ۲-۱۲: *VRM* باک چند فازه *QSW*.....۳۲
شکل ۲-۱۳: *VRM* برای ورودی *12 V*.....۳۴
شکل ۲-۱۴: *VRM* ولتاژ بالا.....۳۶
شکل ۲-۱۵: منبع تغذیه گسترده جهت کامپیوترهای *main-frame*.....۳۸
شکل ۲-۱۶: سیستم تغذیه توان گسترده *VHSIC*.....۳۹
شکل ۳-۱ : بلوک دیاگرام کلی مدار قدرت.....۴۶
شکل ۳-۲ : آرایش مقسم خازنی جهت پایین آوردن سطح ولتاژ.....۴۷
شکل ۳-۳ : مدار مقسم خازنی شبیه‌سازی‌شده.....۵۰

شکل ۳-٤: ولتاژ خروجی مقسم خازنی در حالتهای (الف) بار کامل و (ب) نصف بار کامل..... ۵۱
شکل ۳-۵ : مدار یکسوساز..... ۵۲
شکل ۳-۶: مدار کلی شامل مقسم خازنی و پل یکسوساز..... ۵۳
شکل ۳-۷: ولتاژ خازن صافی در حالت کار عادی، (الف) در بار نامی و (ب) در نصف بار نامی..... ۵۴
شکل ۳-۸: ولتاژ خازن صافی در حالت قطع شبکه در $t=2\ s$..... ۵۵
شکل ۳-۹ : مدار پیشنهادی جهت ماژولهای طبقه ***front-end***..... ۵۷
شکل ۳-۱۰ : مدار معادل طبقه ***front-end*** در مدهای مختلف کاری: (الف) مد عادی (ب) مد پشتیبانی (ج) مد شارژ..... ۵۹
شکل ۳-۱۱: مدار ضربه‌گیر در توپولوژی فلای‌بک..... ۶۷
شکل ۳-۱۲: مدار مبدل طراحی شده جهت شبیه‌سازیها..... ۶۹
شکل ۳-۱۳: ولتاژ خروجی مدار شکل ۳-۱۲: (الف) ولتاژ خروجی و (ب) ریپل ولتاژ خروجی..... ۷۰
شکل ۳-۱۴: جریانهای (الف) اولیه و (ب) ثانویه ترانسفورماتور..... ۷۱
شکل ۳-۱۵: ولتاژ روی دو سر کلید..... ۷۲
شکل ۳-۱۶: توان ورودی مبدل..... ۷۲
شکل ۴-۱: (الف) مدل فلای‌بک و مدار معادل آن در حالتهای (ب) کلید روشن و (ج) کلید خاموش..... ۷۵
شکل ۴-۲ : نمودار بود سیستم حلقه باز..... ۷۹
شکل ۴-۳ : نقشه مسیر ریشه‌های سیستم حلقه بسته..... ۸۱
شکل ۴-۴: نمودار بود سیستم حلقه بسته با جبرانساز..... ۸۲
شکل ۴-۵: تحقق مدارهای جبرانساز (الف) پیشفاز و (ب) انتگرالگیر با ادوات الکترونیکی..... ۸۳
شکل ۴-۶ : مدار کنترل..... ۸۴

شکل ۴-۷: مدار مورد شبیه‌سازی..... ۸۵
شکل ۴-۸: شکل موج ولتاژ خروجی مبدل..... ۸۵
شکل ۴-۹: پالسهای اعمال شده به کلید قدرت..... ۸۶
شکل ۴-۱۰: جریان ورودی ترانسفورماتور در دو مقیاس..... ۸۷
شکل ۴-۱۱: ولتاژ خروجی با افت ورودی در t=60 ms..... ۸۸
شکل ۵-۱: مدل باطری..... ۹۰
شکل ۵-۲: مدار باطری در حالت کار اول..... ۹۱
شکل ۵-۳: (الف) ولتاژ خروجی مدار باطری و (ب) ریپل آن..... ۹۲
شکل ۵-۴: جریان ترانسفورماتور، (الف) اولیه و (ب) ثانویه..... ۹۳
شکل ۵-۵: ولتاژ دو سر کلید قدرت..... ۹۴
شکل ۵-۶: نمای کلی مراحل شارژ باطری..... ۹۵
شکل ۵-۷: الگوریتمهای چهار مرحله شارژ..... ۹۷
شکل ۵-۸: مدار شارژر باطری..... ۹۹
شکل ۵-۹: (الف) جریان و (ب) ولتاژ باطری..... ۱۰۰
شکل ۵-۱۰: (الف) جریان و (ب) ولتاژ باطری..... ۱۰۱
شکل ۵-۱۱: ولتاژ اعمالی به باطری در (الف) بار کامل و (ب) ۷۰٪ بار نامی..... ۱۰۲
شکل ۵-۱۲: مدار شبیه‌سازی‌شده در Simulink..... ۱۰۴
شکل ۵-۱۳: ولتاژ خروجی مدار در فرآیند شارژ..... ۱۰۵
شکل ۵-۱۴: ولتاژ باطری در طی فرآیند شارژ..... ۱۰۵
شکل ۵-۱۵: جریان متوسط اعمال شده به باطری در طی فرآیند شارژ..... ۱۰۷
شکل ۵-۱۶: ولتاژ متوسط اعمال شده به باطری در طی فرآیند شارژ..... ۱۰۷

چکیده

در یک ترانسفورماتور الکترونیک قدرت (PET) اجزای مختلفی اعم از کلیدهای قدرت، مدارات مجتمع گوناگون استفاده شده در قسمتهای کنترلی و حفاظتی و . . . وجود دارند که هریک نیازمند ولتاژ تغذیه dc خاص خود هستند.

در این پروژه یک منبع تغذیه از نوع گسترده برای کاربرد در یک PET طراحی و شبیه‌سازی شده است. از ویژگیهای این منبع تغذیه می‌توان موارد زیر را برشمرد: استفاده از ولتاژ 20 kV شبکه به عنوان ورودی و پایین آوردن سطح این ولتاژ با بکارگیری مقسم خازنی، در نظر گرفتن وجود منابع انرژی پراکنده و تعبیه باطری پشتیبانی برای عملکرد در حالت قطع شبکه، انتخاب توپولوژی مناسب کاربرد مورد نظر و اصلاح آن جهت شارژ مناسب باطری، بکارگیری ساختار مبدلهای موازی جهت افزایش قابلیت اطمینان سیستم تغذیه و نیز راحتی تعمیر و نگه‌داری و حتی توسعه آن.

در مرحله اول، توپولوژی مناسب انتخاب و اجزای آن به دقت طراحی شدند. سپس مدل سیگنال کوچک آن استخراج شده و از روی آن مدار کنترل و جبرانساز طراحی گردید بطوریکه ولتاژ dc خروجی طبقه اول (front-end) علاوه بر حالت پایدار، در صورت تغییرات ناگهانی بار و یا ولتاژ ورودی نیز در حد قابل قبولی باقی بماند.

در مرحله بعدی با اضافه کردن باطری به مدار قدرت، عملکرد منبع تغذیه در صورت قطع برق شبکه مورد آزمایش قرار گرفت. سپس با ایجاد اصلاحاتی در مدار اولیه، قابلیت شارژ مناسب باطری بر اساس الگوریتم چهار مرحله‌ای به وجود آمد.

در تمامی مراحل فوق شبیه‌سازیها حاکی از عملکرد مناسب و مطابق انتظار این منبع تغذیه بودند.

۱-۱ پیشینه تحقیق

ترانسفورماتورهای توزیع یکی از اجزای اساسی هر سیستم قدرت هستند که دارای قابلیت اطمینان بالا و بازدهی تقریبا مناسب و ارزان می‌باشند. اما در مقابل این مزایا، معایبی نیز می‌توان برای آنها برشمرد؛ از جمله: وزن زیاد، اندازه بزرگ، حساسیت نسبت به هارمونیکها، افت ولتاژ تحت بار، حفاظت مورد نیاز در مقابل اضافه بار و قطعیهای سیستم و در نهایت مسایل زیست‌محیطی ناشی از روغن این ترانسفورماتورها. با در نظر گرفتن این مسایل، ترانسفورماتور الکترونیک قدرت راه حل مناسبی برای جایگزینی ترانسفورماتورهای سنتی توزیع به نظر می‌رسد[۱و۲].

ترانسفورماتور الکترونیک قدرت (PET[1])، برای تغییر سطح ولتاژ از مبدلهای الکترونیک قدرتی استفاده می‌کند که در فرکانسهای بسیار بالاتر از فرکانس شبکه عمل می‌کنند و بنابراین میزان آهن و مس بکار رفته در آنها و در نتیجه وزن و حجم آنها به طور چشمگیری کاهش می‌یابد و به دلیل عدم استفاده از روغن، اثرات مخرب زیست محیطی هم ندارد. ضمن آنکه به دلیل داشتن قابلیت کنترل هوشمند ولتاژ و جریان خروجی و جریان ورودی مبدلها، می‌توان از افتهای ناخواسته در زمانهای پرباری و نیز فلیکر ولتاژ جلوگیری نمود و مسایل حفاظتی را با استفاده از الگوریتمهای پیچیده‌تر، بسیار کاملتر و پیشرفته‌تر انجام داده و با کنترل جریان ورودی مبدلها، از کشیده‌شدن جریان غیر سینوسی از شبکه جلوگیری و اثر بارهای غیرخطی را حذف نمود[۳-۵].

ترانسفورماتور مورد بحث، دارای تعداد زیادی کلید قدرت می‌باشد که هرکدام برای عملکرد مناسب، نیازمند ولتاژ تغذیه مخصوصی هستند. ضمن آنکه به دلیل استفاده از روتینهای کنترلی پیچیده و متعدد، مدارات مجتمع زیادی نیز در کل سیستم به کار گرفته می‌شوند که هریک به ولتاژ تغذیه خاصی نیاز دارند. بنابراین، ترانسفورماتور مورد نظر برای عملکرد مطلوب، به تعداد قابل توجهی ولتاژ تغذیه با دامنه‌های مختلف نیازمند است.

در این پایان‌نامه، هدف طراحی منبع تغذیه‌ای مناسب با کاربرد در PET است که جوابگوی مسایل مختلف مورد بحث در این کاربرد خاص باشد. مهندسین منبع تغذیه عادت داشتند که برای هر

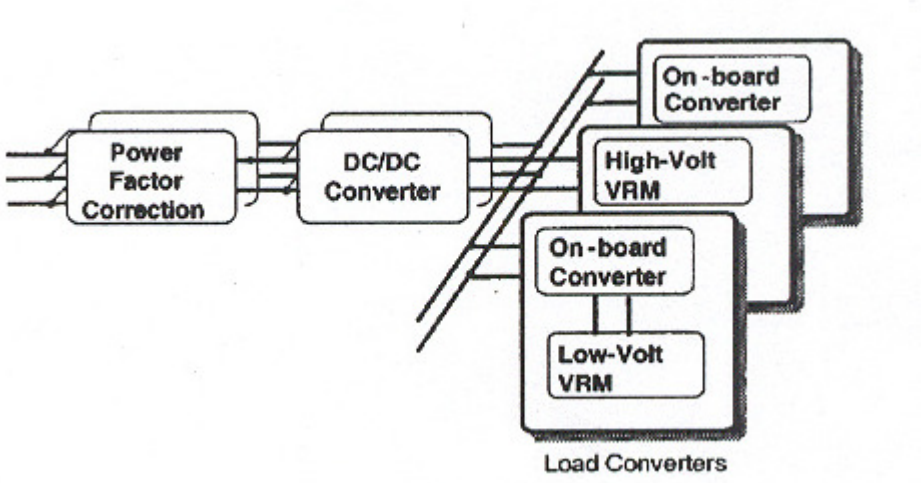
[1] Power Electronic Transformer

سیستمی یک منبع تغذیه بزرگ و متمرکز بکار برند که تنها یک مبدل داشته باشد. در یک سیستم تغذیه متمرکز، یک منبع قدرت حجیم همه توان را پردازش می‌کند و ولتاژ مورد نیاز همه بارها را تأمین می‌کند. این روش به یک سیستم با قابلیت اطمینان پایین و پیچیدگی زیاد (غیرلازم) منجر می‌شود. بنابراین اخیرا منابع تغذیه گسترده (*DPS*[۲]) بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. ساختار *DPS*، توان مورد نیاز سیستم را بین چندین مبدل کوچکتر تقسیم می کند و سپس آنها را به طور موازی به همدیگر متصل می کند تا یک یا چند بار را تغذیه کنند. این روش منجر به تولید مبدلهای کوچکتر می گردد که در نهایت، سادگی سیستم و نیز قابلیت تعمیر راحتتر آن را فراهم می کند. همچنین بدلیل اینکه به سادگی می توان مبدلهای اضافی نیز در سیستم تعبیه نمود، قابلیت اطمینان منبع افزایش می یابد[٦و٧].

برای تغذیه های نسل آینده منابع تغذیه گسترده (*DPS*) بطور معتنابهی بعنوان یک راهکار عملی و مناسب در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. انگیزه این امر از چند نکته کلی ناشی می شود. بسیاری از کاربردها ، بعنوان مثال ادوات کامپیوتری نسل حاضر و یا سیستمهای تغذیه مورد استفاده در هوافضا، یک ساختار با معماری باز و ماژولار را برای عملیات روی داده‌ها اختیار کرده‌اند[۸-۱۰]. همچنین *DPS* می‌تواند قابلیت خطاپذیری را کم کرده و قابلیت اطمینان را بالا ببرد. ضمن اینکه واحدهای اضافی برای منبع تغذیه تعبیه کند بدون اینکه هزینه چندانی به آن بیفزاید. بکاربردن *DPS* باعث این شده است که قابلیت عملیات روی قدرت الکتریکی در واحدهای ماژولار منبع تغذیه افزایش یابد. این رویکرد، باعث بهبودی‌های فراوان در طراحی و معماری و ساخت منابع تغذیه وهمچنین عملکرد آنها شده است. همانطور که در شکل ۱-۱ مشاهده می شود، بسیاری از مبدلهای *front-end* موجود که در *DPS* ها بکار می‌روند، یک ساختار دو طبقه را شامل می‌شوند. طبقه اول از این مبدل *front-end* یک قسمت جهت اصلاح ضریب توان (*Power Factor Correction*) را مهیا می‌کند و طبقه دوم ایزولاسیون وهمچنین رگولاسیون دقیق ولتاژ *dc* خروجی را تامین می‌نماید. قسمت بین مبدل *front-end* و بار نیز بوسیله چندین مبدل بار پر می‌شود[۱۱-۱٦]. در نتیجه عملکرد کلی این سیستم به طراحی و معماری تک‌تک ماژولها و طبقات وابسته است.

[2] Distributed Power Supply

پیشرفتهای پی‌درپی در تکنولوژی نیمه هادیها افزایش سرعت پردازش و چگالی انرژی در سیستمهای الکترونیکی را باعث شده است. برای دستیابی به سرعتهای پردازش بالاتر و تلفات توان کمتر ولتاژ تغذیه در خانواده‌های جدید تراشه‌ها در حال کم شدن است. با افزایش تقاضای توان همزمان با کاهش سطح ولتاژ مورد نیاز جهت تغذیه، چالشهای جدیدی برای سیستم تغذیه توان بوجود می‌آید. سیستم‌های تغذیه توان تمرکز یافته سنتی برای تغذیه نسل جدید ادوات الکترونیکی دیگر مناسب نیستند. در نتیجه رویکرد سیستم تغذیه گسترده در بسیاری از کاربردها پذیرش بیشتری می یابد. در این قسمت توسعه‌های اخیر در زمینه تکنولوژی DPS بررسی می‌شود. ضمن اینکه به مسائلی نظیر مزایا و معایب ساختارهای مختلف DPS پرداخته و تلاش می‌شود تا رویکردهای آینده برای طراحی سیستم‌های تغذیه گسترده مطرح گردد.



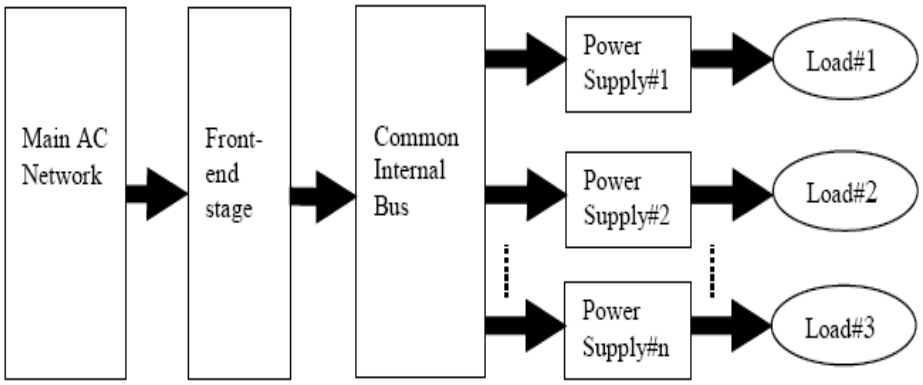
شکل ۱-۱: ساختار اساسی یک سیستم تغذیه گسترده

۱-۲ تقسیم بندی ساختارهای مختلف DPS

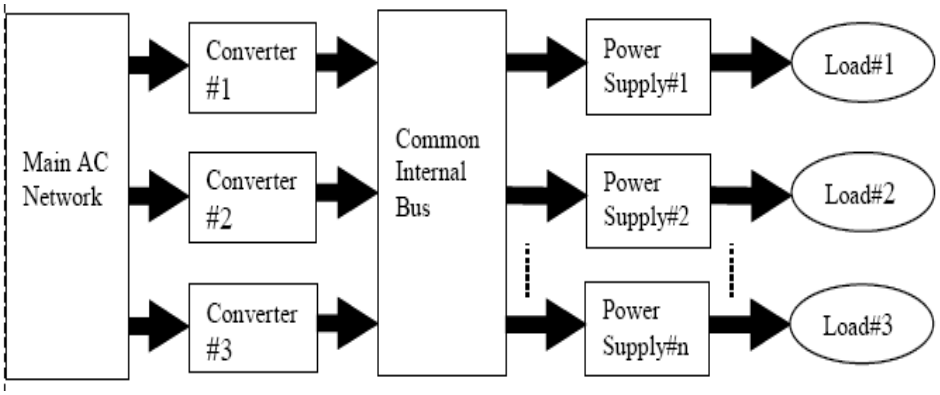
در یک سیستم قدرت تمرکز یافته، کلیه فرآیندهای تبدیل توان در یک منبع توان بزرگ و حجیم صورت می‌گیرد که ولتاژ یا ولتاژهای مورد نیاز بار(ها) را نیز فراهم می‌کند. یک DPS بدین وسیله مشخص می شود که فرآیند تبدیل توان و ولتاژ را بین واحدهای تبدیل توان (PPU[3]) مختلف تقسیم می کند . چندین ساختارDPS اساسی بسته به روشی که طبق آن فرآیندهای تبدیل توان و ولتاژ بین

[3] Power Processing Unit

واحدهای مختلف تقسیم می‌شود، می‌توان مشخص کرد. اولین تقسیم‌بندی بر اساس ماژولار بودن یا نبودن طبقه ***front-end*** می‌باشد. در این نوع تقسیم‌بندی، دو ساختار اساسی به وجود می‌آید که در شکل ۱-۲ مشاهده می‌شوند. در ساختار شکل ۱-۲-الف طبقه ***front-end*** به صورت یک مبدل حجیم و بزرگ است؛ درحالیکه در ساختار شکل ۱-۲-ب این طبقه خود از ماژولهای متعددی تشکیل یافته است. هرکدام از این ساختارها نیز مزایا و معایب خاص خود را دارند. در ساختار اول، به دلیل استفاده از یک مبدل به تنهایی، تنها به یک مبدل ***PFC*** نیز نیاز است. ضمن آنکه در این حالت کنترل مبدل نیز ساده‌تر است و نیز به دلیل به کار بردن تنها یک مبدل، تعداد قطعات و در نتیجه قیمت کل سیستم نسبت به دیگری کمتر می‌شود. اما در ساختار دوم، از همه مزایای موازی کردن مبدلها شامل افزایش قابلیت اطمینان، راحتی نگه‌داری، راحتی طراحی حرارتی و . . . می‌توان برخوردار شد[۱۷و۱۸].



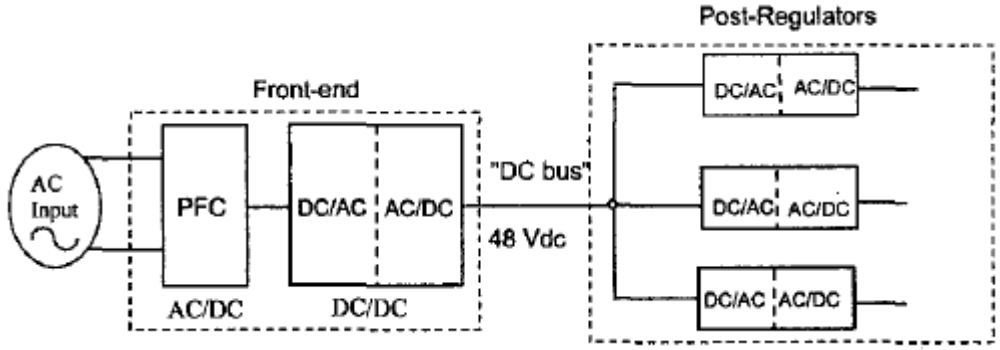
(الف)



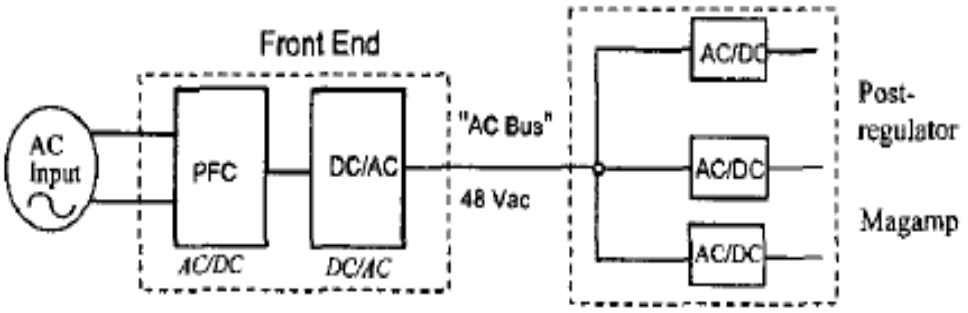
(ب)

شکل ۱-۲: دو ساختار متفاوت *front-end*: (الف) با یک مبدل بزرگ و (ب) با مبدلهای کوچک موازی

یک روش دیگر برای تقسیم‌بندی DPS ها بر اساس نوع ولتاژ (ac یا dc) باس مشترک داخلی آنها می‌باشد. هرکدام از این ساختارها نیز مزایا و معایبی را به دنبال خود دارند که به طور مختصر به آنها اشاره می‌شود. در سیستم dc همانطور که در شکل ۱-۳-الف نشان داده شده است، به طور معمول پنج مرحله پردازش توان از شبکه ac تا سر بار وجود دارد؛ درحالیکه این مراحل برای سیستم ac به سه مرحله کاهش می‌یابد (شکل ۱-۳-ب) و سیستم اخیر دارای ادوات کمتر و نتیجتا بازده بهتری می‌باشد. مزایای دیگر آن عبارتند از: ساختار ساده‌تر، سادگی تبدیل ولتاژها و جریانها، راحتی خاموش کردن arc در ولتاژهای بالا و ایزولاسیون موثر نویز زمین[۱۶].



(الف)



(ب)

شکل ۱-۳: مراحل تبدیل توان در یک سیستم با (الف) باس dc یا (ب) باس ac

گرچه DPSهای با باس ac در اثر چند مشکل بالقوه، بصورت وسیع در کاربردهای منبع تغذیه مورد قبول واقع نشده‌اند. از آنجاییکه نویز الکترومغناطیسی ای که از باس ac نشأت می‌گیرد ممکن است با ادوات حساس تداخل کند، کابلهای مخصوص (شیلددار) باید برای باس بکار روند تا نویز را به حداقل برسانند. بکار بردن کابلهای مخصوص برای باس، هم هزینه و هم پیچیدگی DPS را می افزاید.

علاوه بر آن، اثر پوستی در فرکانسهای بالا باعث افزایش مقاومت باس می شود . برای پایین نگه داشتن تلفات باس، حداکثر فرکانس عملی، بین $20\ kHz$ و $100\ kHz$ محدود می شود. در نتیجه فیلتر کردن ولتاژ باس یکسو شده به فیلتر نسبتاً بزرگی نیاز دارد. یکسو کردن ولتاژ ac در مبدلهای بار ممکن است در اثر هارمونیکهای جریانی که به باس تزریق می‌کند، باعث مشکلات جدی‌ای بشود. برای جلوگیری از این مشکلات هر مبدل باری باید برای ضریب توان بالا و جریان هارمونیکی ورودی پایین طراحی شود. ممکن است رسیدن به این شرایط با بکار بردن یکسو کننده تشدیدی (رزونانس) ساده امکان پذیر باشد اما طبقه اصلاح ضریب توان (PFC) فعال در بعضی از کاربردها مورد نیاز است. در نهایت، موازی کردن ماژولهای مبدل در محیط باس ac ممکن است در اثر نیاز به سنکرون کردن دقیق و نیز تطابق امپدانسی کمی مشکل باشد[۱۶-۱۸].

۱-۳ قابلیتهای سیستم پخش توان گسترده

در این قسمت به بررسی قابلیتها و مزایای استفاده از DPS ها پرداخته می‌شود.

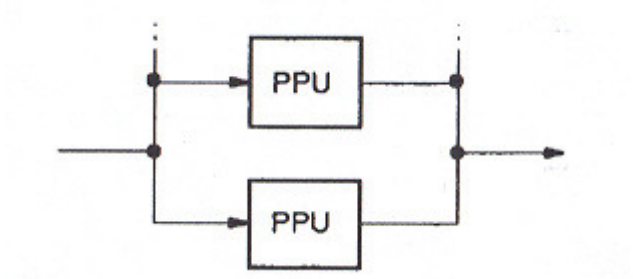
۱-۳-۱ موازی کردن

موازی کردن که بصورت شماتیک در شکل ۱-٤-الف نشان داده شده است بطور موفقی در بسیاری از سیستمهای تغذیه قدرت بکار رفته است. ماژولهای موازی شده می‌توانند به جای یک واحد بزرگ تغذیه توان قرار گیرند. این ساختار معمولاً با عنوان سیستم تغذیه توان ماژولار نام برده می شود. در یک DPS با یک باس داخلی، ماژولهای موازی می توانند برای واحدهای $front\text{-}end$ و یا مبدلهای بار به کار روند. در هر حالت، موازی کردن با هدف رسیدن به ویژگیهای زیر صورت می‌گیرد:

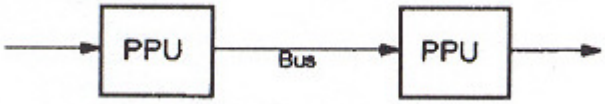
الف) مدیریت حرارتی: در ساختار موازی، هر واحد تبدیل توان (PPU) تنها قسمتی از توان کل را اداره می‌کند. از آنجاییکه توان کمتری در هر واحد تلف می‌شود، طراحی حرارتی ساده‌تر می شود.

ب) قابلیت اطمینان: عمل موازی کردن، استرس‌های حرارتی و الکتریکی را روی ادوات نیمه هادی کاهش می‌دهد. گرچه تعداد کل اجزا در یک ساختار موازی افزایش می‌یابد، اما قابلیت اطمینان کل

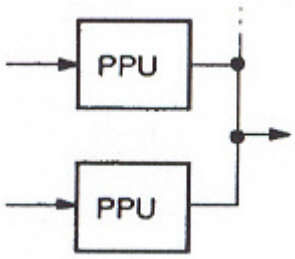
سیستم زیادتر می شود.



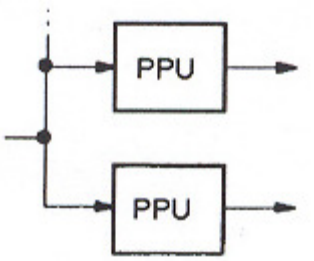
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۱-٤ ساختارهای اساسی *DPS*: (الف) سری کردن (ب) موازی کردن (ج) استفاده از چند منبع (د) شکستن بار

ج) قابلیت داشتن واحد اضافی: یک مشخصه مهم عملکرد موازی اینست که می‌توان تعداد

واحدهای بیشتری نسبت به حداقل ماژولهای مورد نیاز بار(ها) بکار برد. معمولاً($n+1$) ماژول بکار می‌روند که n حداقل تعداد ماژولهای لازم مورد نیاز برای تغذیه بار(ها) می‌باشد. قابلیت داشتن واحد اضافی، در بسیاری از کاربردهای با قابلیت اطمینان بالا مثل کاربردهای نظامی، فضایی، هوانوردی و ابرکامپیوترها مطلوب است. [۸-۱۰].

د) ماژولار بودن: ساختار موازی برای طراحی سیستم ماژولار خیلی مناسب است. مزایای طراحی ماژولار شامل راحتی بازطراحی و تغییر سیستم و انعطاف پذیری آن است. برای مثال، اگر تقاضای توان افزایش یابد، واحدهای اضافی می‌توانند بکار گرفته شوند تا توان مورد نیاز را تأمین کنند. از آنجاییکه تنها واحدها و ماژولهای استاندارد باید طراحی شوند، زمان توسعه سیستم و هزینهٔ ساخت و مهندسی آن کاهش یافته و مسائل امنیتی با راحتی و سرعت بیشتری قابل دسترسی‌اند.

ه) قابلیت نگهداری بهتر سیستم: یک ساختار موازی شدهٔ با طراحی مناسب این قابلیت را دارد که بصورت به‌هنگام و بدون قطع کار بتوان ماژولهای آسیب دیده را تعویض کرد. این قابلیت، اجازه تعمیر و نگهداری بدون ایجاد وقفه در کار سیستم تغذیه را می‌دهد و برای کاربردهای با عملکرد پیوسته بسیار مطلوب و مورد نیاز است.

و) کوچک بودن اندازه: طراحی ماژولار می تواند چگالی توان بیشتری را فراهم کند چرا که ماژولهای با توان کمتر می توانند در فرکانسهای بالاتر با اندازه قطعات فیلتر کوچکتر کار کنند. *interleaving* یعنی جابجایی فاز سیگنالهای کلاک در ماژولهای موازی هم می‌تواند فرکانس ریپل را افزایش داده و در نتیجه باعث کاهش اندازه فیلتر کلی شود.

۱-۳-۲ متوالی[4] کردن

متوالی کردن مبدل‌های توان در بسیاری از *DPS*ها لازم است تا بتوان یک باس داخلی (میانی) در سیستم تغذیه توان همانطور که در شکل ۱-٤-ب نشان داده شده است بوجود آورد. این رویکرد به طراحی سیستم تغذیه توان برای دستیابی به مشخصات زیر است:

[4] Cascade

الف) تنظیم ولتاژ از نظر بار: ساختار متوالی، قرار دادن یک منبع توان را در نزدیکی بار جهت تنظیم ولتاژ و پاسخ دینامیکی بهتر را راحتتر می‌کند. اگر مبدل بار بتواند با چگالی توان به اندازه کافی بالا ساخته شود، می‌تواند مستقیماً روی یک بورد منطقی درست قبل از بار قرار گیرد.

ب) بازده گستردگی[5]: ولتاژهای تغذیه پایین و سطوح توان بالای مورد نیاز برای واحدهای انجام فرآیند روی اطلاعات باعث می شود که گستردگی توان و پخش بودن آن در ولتاژهای پایین، بازده خیلی بدی داشته باشد. در یک ساختار متوالی، ولتاژ باس داخلی می‌تواند به اندازهٔ مناسبی افزایش یابد تا جریان پخش شده را کاهش دهد. در نتیجه، تلفات گستردگی در هادیهای بین باس کاهش یافته و بازده کلی سیستم بهبود می یابد.

ج) آسانی ساخت باس داخلی: گسترش توان در ولتاژهای بالاتر باعث بکار بردن ادوات ارزان‌تر ، سبک‌تر، کوچکتر و کلا راحت‌تر کردن فرآیند ساخت خواهد شد.

د) مقابله با تغییرات وسیع ولتاژ خط ورودی: در اثر وجود دو طبقه یا بیشتر برای تبدیل توان، ساختار متوالی می‌تواند به راحتی تغییرات وسیع ولتاژ ورودی را بپذیرد.

۱-۳-۳ استفاده از چند منبع توان

استفاده از چند منبع توان که در شکل ۱-٤-ج نشان داده شده است، به ما این اجازه را می دهد که از چند منبع توان جداگانه‌ای برای تغذیه یک بار مشترک استفاده کنیم. استفاده از چند منبع توان معمولاً با ساختارهای زیر همراه است:

الف) پشتیبانی باطری: بسیاری از سیستم ها به عملکرد بدون وقفه منبع تغذیه نیاز دارند. پشتیبانی باطری معمول‌ترین روشی است که بعنوان یک منبع تغذیه موقت در هنگامی که منبع تغذیه اولیه و اصلی معیوب شده است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجاییکه یک واحد پردازش توان (PPU) جداگانه برای هر منبع توان مورد نیاز است، ساختار با استفاده همزمان از چند منبع توان در سیستم‌های با پشتیبانی باطری بسیار پرکاربرد شده است. واحد پردازش توانی که به همراه باطری بکار می‌رود می‌تواند به سادگی یک دیود و یا به پیچیدگی یک کنترل شارژ باطری دوطرفه باشد.

[5] Distribution Efficiency

ب) فازهای جداگانه: یک حالت دیگر برای کاربرد چند منبع توان می‌تواند بوسیله تغذیه توان از فازهای جداگانه بوجود آید. در این حالت، باید جهت هر فاز، یک واحد پردازش توان جداگانه بکار رود.

ج) سیستم چند باسه: یک حالت دیگر برای کاربرد همزمان چند منبع توان، بکار بردن چندین باس داخلی و جدا کردن مبدلهای بار برای هر باس است.

۱-۳-٤ شکستن بار[6]

شکستن بار، ساختاری است که در آن مبدلهای بار جداگانه‌ای برای تغذیه بارهای مختلف بکار می روند همچنانکه در شکل ۱-٤-د نشان داده شده است. این ساختار در اثر ملاحظات زیر بکار گرفته می شود.

الف) بارگسترده: در خیلی از سیستم‌های با اندازه بزرگ مثل هواپیما و ابرکامپیوترها، بارها بصورت فیزیکی در فاصله های طولانی گسترده شده‌اند. پخش توان با ولتاژ سطح پایین (در حد ولتاژهای مدارهای منطقی) به دلیل تلفات هدایت بالا و پیچیدگی سخت افزار گستردهٔ لازم برای ولتاژهای تغذیه متعدد، عملی نیست. یک *DPS* با یک باس داخلی یک راه حل طبیعی برای این مشکل است. در چنین سیستمی، هر بار بوسیله یک مبدل جداگانه برای بوجود آوردن ولتاژ تغذیهٔ مورد نیازش، تأمین می‌شود.

ب) تنظیم ولتاژ: در سیستم‌های با بارهای گسترده، منابع تغذیه متمرکز، اغلب در اثر امپدانس باس نمی توانند تنظیم ولتاژ کافی را در نقطه اتصال به بار تأمین کنند. این مشکل بوسیله بکار بردن یک *DPS* با مبدلهای بار جداگانه‌ای که در نزدیکی هر بار قرار می‌گیرند، قابل حل است.

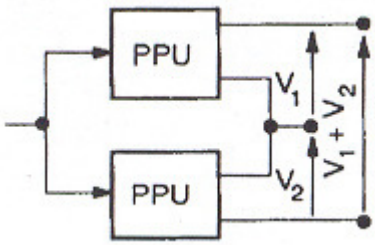
ج) جداسازی از نظر نویز: وقتی که چندین بار به یک باس پخش توان مشترک متصل می شوند، اختلال از نظر نویز ممکن است بین بارها بوجود آید. تکنیک جداسازی بارها این مشکل را با قرار دادن دو مبدل بار بین هر دو بار به حداقل می‌رساند. مبدلهای بار و فیلترهای همراهشان می‌توانند بصورت مجازی انتقال نویز بین ماژولها را حذف کنند.

[6] Load Splitting

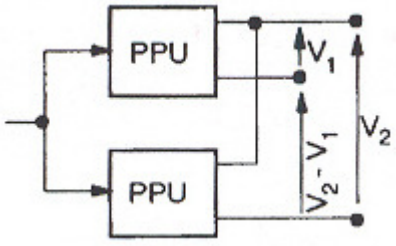
د) پشتیبانی باطری انتخابی: در بعضی کاربردها، مطلوب است که یک پشتیبانی باطری تنها برای قسمت بحرانی سیستم در نظر گرفته شود بدون اینکه اندازه باطری و یا واحدهای پردازش توان همراه آن خیلی بزرگ شود. شکستن بار و فراهم کردن مبدلهای بار جدا از هم برای قسمتهای مختلف سیستم، اجازه پیاده سازی پشتیبانی باطری انتخابی را به ما می‌دهد.

۱-۳-۵ پشته کردن[7]

پشته کردن واحدهای پردازش توان (که معمولا مبدلهای *dc/dc* هستند) اجازهٔ ترکیب کردن خروجی واحدهای پردازش توان جدا از هم را می دهد تا بتوان به ولتاژهای تغذیه‌ای دست یافت که متفاوت از ولتاژ نامی هر واحد پردازش توان است. این تکنیک می تواند بکار گرفته شود تا با استفاده از ماژولهای مبدل استاندارد شده بتوان به ولتاژهای خروجی غیر استاندارد دست یافت. برای کاربردهای ولتاژ بالا، ساختار پشته شده نشان داده شده در شکل ۱-۵-الف ولتاژ خروجی‌ای مساوی با مجموع ولتاژهای نامی واحدهای پردازش توان پشته شده فراهم می کند.



(الف)



(ب)

شکل ۱-۵: دو روش پشته کردن: (الف) سری و (ب) موازی

برای کاربردهای ولتاژ پایین، ساختار پشته شده نشان داده شده در شکل ۱-۵-ب ولتاژ خروجی‌ای

[7] Stacking

برابر اختلاف بین ولتاژهای واحدهای پردازش توان انفرادی بوجود می آورد. بنابراین در بعضی کاربردها، بازده کلی بهتری را به دست می دهد.

۱-٤ ساختار پایان‌نامه

در فصل اول با معرفی *PET* و مشخص کردن هدف مبنی بر طراحی منبع تغذیه مناسب آن، منبع تغذیه گسترده به عنوان گزینه اصلی مطرح و مختصری از ویژگیهای آن ذکر گردید. در فصل دوم مفهوم *DPS* با عمق بیشتر بررسی می‌گردد و پیشرفتهای صورت‌گرفته در انواع توپولوژیها و مشخصات و ملاحظات طراحی هرکدام ذکر می‌گردد. فصل سوم به انتخاب توپولوژی مناسب جهت کاربرد مورد نظر این پایان‌نامه و طراحی و محاسبه قسمتهای مختلف مدار قدرت اختصاص دارد. در این فصل با لحاظ کردن مسایل مختلف، برای ایجاد حداکثر قابلیت اطمینان، توپولوژی‌ای انتخاب می‌شود که بتواند یک باطری پشتیبان را هم در خود جای دهد. در فصل چهارم با استخراج مدل مدار قدرت طراحی‌شده، مدارهای کنترل و جبرانگر مناسب آن طراحی می‌گردند و عملکرد صحیح آنها با شبیه‌سازی نشان داده می‌شود. فصل پنجم نیز به محاسبات مربوط به باطری شامل انتخاب الگوریتم شارژ مناسب و مدار شارژ و شبیه‌سازیهای آن می‌پردازد. در فصل ششم این پایان‌نامه نیز نتایج به دست آمده به طور مختصر ذکر شده و به کارهای پیشنهادی برای آینده اشاره می‌گردد.