وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
دانشکده فنی مهندسی
گروه برق

پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد
رشته برق (قدرت)

طراحی و کنترل مبدل های ماتریس منبع امپدانسی و کاربرد آنها در سیستمهای توزیع

استاد راهنما:
دکتر محمد رضا بنائی

استاد مشاور:
دکتر سید حسین حسینی

پژوهشگر:
روزبه رضااهرابی

بهمن / ۱۳۹۳
تبریز / ایران

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

آنانکه امید رسیدن به افق های روشن را در دلم شکوفا ساختند

و شهامت قدم گذاشتن در این راه و همت ادامه دادنش را به من آموختند

تقدیم به خواهر مهربانم

که در تمام مراحل زندگی حامی و پشتیبان من بوده است

و تقدیم

به تمام آنانکه مرا اندیشیدن آموختند

خداوند دانا را سپاس و ستایش می گویم که به مدد الطافش توانسته ام مسیر زندگی را به سوی تحقق و تعالی خویش جهت دهم.

بر خود وظیفه می دانم تا از استاد راهنمای گرانمایه ام، جناب آقای دکتر محمد رضا بنائی که در تمام مراحل پایان نامه و حتی در مسیر زندگی همیشه راهنما و پشتیبان من بودند تشکر و قدردانی ویژه ای داشته باشم. از جناب آقای دکتر سید حسین حسینی و دکتر بابایی که زحمت مشاوره و داوری پایان نامه را قبول کردند سپاسگزارم.

از همه دوستان و همکلاسی های عزیزم به خاطر کمک ها و همراهی شان تشکر می کنم.

روزبه رضا اهرابی

بهمن، ۱۳۹۳

تبریز، ایران

فهرست مطالب

تصاویر ..... ت

فهرست جداول ..... خ

چکیده: ..... د

مقدمه ۱

مقدمه ۲

فصل اول: ٤

مطالعه و پیشینه‌ی پژوهش ٤

مقدمه ٥

۱-۱: شبکه امپدانسی: ٥

۱-۲: انواع شبکه های امپدانسی DC ۹

۱-۲-۱:شبکه امپدانسی معمولی[۱]: ۹

۱-۲-۲: شبکه امپدانسی گوسی[٤]: ۱۰

۱-۲-۳: شبکه‌های امپدانسی مبتنی بر ترانسفورمر[٥]: ۱۱

۱-۲-٤: شبکه امپدانسی بهبود یافته‌ی مبتنی بر ترانسفورمر[٦]: ۱۳

۱-۲-٥: شبکه امپدانسی ترانسفورمری گاما [۸]: ۱٤

۱-۲-٦: شبکه امپدانسی ترانسفورمری وای [۹]: ۱٥

۱-۳: انواع شبکه امپدانسی AC ۱۷

۱-۳-۱: مبدل AC-AC بر اساس ساختار شبکه امپدانسی معمولی[۱۰، ۱۱]: ۱۷

۱-۳-۲: مبدل AC-AC بر اساس ساختار شبکه امپدانسی گوسی [۱۲]: ۱۹

۱-٤: انواع مبدل ماتریسی ۱۹

۱-٤-۱: مبدل ماتریسی مستقیم[۱۳]: ۲۰

۱-٤-۲: مبدل ماتریسی غیر مستقیم[١٤]: ۲۰
۱-۵: نتیجه‌گیری ۲۱
فصل دوم: مواد و روشها ۲۲
مقدمه ۲۳
۲-۱: شبکه امپدانسی: ۲۳
۲-۱-۱: شبکه امپدانسی گاما بهبود یافته: ۲۳
۲-۱-۲: شبکه امپدانسی وای بهبود یافته: ۲۸
۲-۲: مبدل‌های افزاینده کاهنده‌ی ولتاژ AC ۳٤
۲-۲-۱: مبدل افزاینده کاهنده‌ی ولتاژ AC بر پایه‌ی شبکه امپدانسی ترانسفورمری: ۳٤
۲-۳: مبدل افزاینده کاهنده ولتاژ AC-AC تلفیق شده با مبدل ماتریسی: ٤۵
۲-٤: نتیجه‌گیری ٤۷
فصل سوم: ٤۸
نتایج شبیه سازی ٤۸
مقدمه ٤۹
۳-۱: نتایج مربوط به شبکه امپدانسی بهبود یافته گاما: ٤۹
۳-۲: نتایج مربوط به شبکه امپدانسی بهبود یافته وای: ۵٤
۳-۳: نتایج مربوط به مبدل افزاینده کاهنده‌ی ولتاژ AC بر پایه‌ی شبکه امپدانسی ترانسی: ۵۹
۳-٤: نتایج مربوط به مبدل افزاینده کاهنده ولتاژ AC-AC تلفیق شده با مبدل ماتریسی: ٦۳
۳-۵: نتیجه‌گیری: ٦۵
نتایج و پیشنهادات ٦٦
نتیجه‌گیری: ٦۷
پیشنهادات: ٦۷

مراجع ٦٩

تصاویر

شکل ۱-۱ حالت‌های مختلف کلید زنی در روش پهنای پالس برای مبدل اینورتری ٦
شکل ۱-۲ روش کنترل ساده شبکه امپدانسی ٦
شکل ۱-۳ روش کنترلی حداکثر ضریب افزایشی ۷
شکل ۱-٤ روش ضریب افزایشی پیوسته ۷
شکل ۱-۵ مدار معادل شبکه امپدانسی معمولی [۱] ۹
شکل ۱-٦ مدار معادل شبکه امپدانسی گوسی ۱۰
شکل ۱-۷ مدار معادل شبکه امپدانسی ترانسفورمری ۱۲
شکل ۱-۸ مدار معادل شبکه امپدانسی بهبود یافته مبتنی بر ترانسفورمر ۱۳
شکل ۱-۹ مدار معادل شبکه امپدانسی ترانسفورمری گاما ۱٤
شکل ۱-۱۰ مدار معادل شبکه امپدانسی ترانسفورمری وای ۱٦
شکل ۱-۱۱ مدار معدل مبدل AC-AC ساختار معمولی ۱۸
شکل ۱-۱۲ نمودار بهره ولتاژ در دیوتی های مختلف ۱۸
شکل ۱-۱۳ مدار معادل مبدل AC-AC ساختار گوسی ۱۹
شکل ۱-۱٤ مدار معادل مبدل ماتریسی مستقیم ۲۰
شکل ۱-۱۵ مدار معادل مبدل ماتریسی غیر مستقیم ۲۰
شکل ۲-۱ مدار معادل شبکه امپدانسی گاما ۲۳
شکل ۲-۲ مدار معادل شبکه امپدانسی گاما بهبود یافته ۲٤
شکل ۲-۳ مدار معادل عملکرد سیستم در حالت الف) ST و ب) Non ST ۲٤
شکل ۲-٤ بیشترین زمان اتصال کوتاه به کل زمان دوره‌ی 1-M در حالت کنترلی ساده ۲۸
شکل ۲-۵ مدار معادل شبکه امپدانسی وای ۲۹
شکل ۲-٦ مدار معادل شبکه امپدانسی وای بهبود یافته ۲۹

شکل ۲-۷ مدار معادل شبکه امپدانسی وای بهبود یافته در حالت ST ۳۰
شکل ۲-۸ مدار معادل شبکه امپدانسی وای بهبود یافته در حالت Non ST ۳۰
شکل ۲-۹ ضریب بهره‌ی ولتاژ شبکه امپدانسی در فاکتور ترانسفورمری مختلف ۳۳
شکل ۲-۱۰ مدار معادل مبدل افزاینده کاهنده‌ی AC بر پایه‌ی شبکه امپدانسی معمولی ۳۵
شکل ۲-۱۰ مدار معادل مبدل افزاینده کاهنده‌ی AC بر پایه‌ی شبکه امپدانسی ترانسی ۳۵
شکل ۲-۱۱ مدار معادل مبدل در حالت خاموش بودن هر دو کلید ۳۶
شکل ۲-۱۲ مدار معادل مبدل در حالت روشن بودن هر دو کلید ۳۶
شکل ۲-۱۳ الگوی کلید زنی مبدل افزاینده و کاهنده‌ی ولتاژ برای جلوگیری از ضربه ولتاژ و جریان.. ۳۷
شکل ۲-۱٤ حالت‌های مختلف کلید زنی و کلیدزنی امن برای حالت $V_i > 0$ و ولتاژ خروجی همفاز با ورودی ۳۹
شکل۲-۱۵ مدار معادل مبدل AC-AC در حالت‌های ST و Non ST ٤۳
شکل ۲-۱٦ نمودار ضریب بهره‌ی ولتاژ بر حسب زمان اتصال ٤٤
شکل ۲-۱۷ نمودار مربوط به ضریب بهره در ضرایب مختلف تلفات ٤٤
شکل ۲-۱۸ مدار معادل مبدل افزاینده کاهنده‌ی AC ماتریسی ٤٦
شکل ۲-۱۹ کلید زنی مبدل افزاینده/کاهنده AC ماتریسی ٤٦
شکل ۳-۱ مدار معادل شبکه امپدانسی بهبود یافته‌ی گاما در ساختار آزمایشگاهی ٤۹
شکل ۳-۲ ولتاژ خروجی مربوط به شبکه امپدانسی بهبود یافته‌ی گاما ۵۰
شکل ۳-۳ ولتاژ مربوط به خازن‌های C_1 و C_2 شبکه امپدانسی بهبود یافته گاما ۵۱
شکل ۳-٤ جریان ورودی شبکه امپدانسی بهبود یافته گاما ۵۲
شکل ۳-۵ جریان مربوز به ترانس و سوئیچ شبکه امپدانسی بهبود یافته گاما ۵٤
الف)جریان اولیه (شبیه سازی)، ب)جریان ثانویه (شبیه سازی)، ج)جریان کلید S (شبیه سازی)،
د)جریان اولیه و ثانویه ترانسفورمر وجریان کلید (ساخت) ۵٤

شکل ۳-٦ مدار معادل شبکه امپدانسی وای بهبود یافته ٥٤
شکل ۳-۷ ولتاژ خروجی شبکه امپدانسی بهبود یافته وای ٥٥
شکل ۳-۸ ولتاژ خازنهای C_1 و C_2 شبکه امپدانسی بهبود یافته‌ی وای ٥٦
شکل ۳-۹ جریان مربوط به سرهای اول، دوم و سوم شبکه امپدانسی بهبود یافته وای ٥٧
شکل ۳-۱۰ جریان کلید S ٥٨
شکل ۳-۱۱ نتایج ساخت شبکه امپدانسی بهبود یافته‌ی وای ٥٩
شکل ۳-۱۲ ولتاژ ورودی و خروجی مبدل افزاینده/کاهنده ولتاژ AC ٦٠
شکل ۳-۱۳ جریان ورودی و خروجی مبدل افزاینده/کاهنده ولتاژ AC ٦١
شکل ۳-۱٤ ولتاژ ورودی و خروجی مبدل افزاینده/کاهنده AC در حالت کاهندگی ولتاژ ٦٢
شکل ۳-۱٥ جریان ورودی و خروجی مبدل افزاینده/کاهنده‌ی AC ٦٢
شکل ۳-۱٦ ولتاژ خروجی مبدل ترکیبی ماتریسی در حالت افزاینده ولتاژ با فرکانس ۲٥هرتز ٦٤
شکل ۳-۱۷ ولتاژ خروجی مبدل ترکیبی ماتریسی در حالت افزاینده ولتاژ با فرکانس ۱۰۰هرتز ٦٤
شکل ۳-۱۸ ولتاژ خروجی مبدل ترکیبی ماتریسی در حالت کاهنده ولتاژ با فرکانس ۲٥هرتز ٦٤
شکل ۳-۱۸ ولتاژ خروجی مبدل ترکیبی ماتریسی در حالت کاهنده ولتاژ با فرکانس ۱۰۰هرتز ٦٥

فهرست جداول

جدول ۱-۱ مقایسه عملکرد روشهای کنترلی شبکه امپدانسی ۸
جدول ۱-۲ معادلات مربوط به اجزاء مدار شبکه امپدانسی معمولی ۹
جدول ۱-۳ معادلات مربوط به اجزاء مدار شبکه امپدانسی گوسی ۱۱۱
جدول ۱-٤ معادلات مربوط به اجزاء مدار شبکه امپدانسی ترانسفورمری ۱۲
جدول ۱-۵ معادلات مربوط به اجزاء مدار شبکه امپدانسی بهبود یافته ترانسفورمری ۱٤
جدول ۱-٦ معادلات مربوط به اجزاء مدار شبکه امپدانسی ترانسفورمری گاما ۱۵
جدول ۱-۷ معادلات مربوط به اجزاء مدار شبکه امپدانسی ترانسفورمری وای ۱٦
جدول ۲-۱ معادلات مربوط به طراحی اجزاء مدار ۳۱
جدول ۲-۲ نسبت‌های قابل استفاده در ترانسفورمر ۳٤
جدول ۲-۳ کلید زنی مربوط به مبدل در حالت‌های ممکن ٤۰
جدول ۲-٤ محاسبات مربوط به طراحی ٤۵
جدول ۳-۱ THD جریان ورودی مبدل پیش نهادی و مبدل مرجع [۱۲] ٦۳

چکیده:

مبدل اینورتر از کاربردی ترین ساختارها در صنعت می‌باشد. از این رو حفاظت و نگهداری از این نوع مبدل‌ها بسیار مهم است. شبکه‌های امپدانسی که اخیرا معرفی شده است، وظیفه حفاظت از اینورتر را در مقابل اتصال کوتاه در ساق بر عهده دارد. این نوع خطا در عملکرد که بر اثر اشتباه در کنترل اینورتر یا نویز ناشی از EMI ایجاد می‌شود، می‌تواند باعث آسیب به سوئیچ‌های قدرت اینورتر شده و نهایت از کار افتادگی اینورتر را ناشی شود. از دیگر کاربردهای شبکه امپدانسی قابلیت افزایش ولتاژ خروجی در اینورتر بوده که این عمل با استفاده از اتصال کوتاه‌های مناسب در اینورتر حاصل می‌شود. پس می‌توان قابلیت افزایش ولتاژ را علاوه بر نقش حفاظتی شبکه امپدانسی از دیگر کاربردهای مفید آن دانست.

در برخی از کاربردها نیاز است سطح ولتاژ AC ورودی به مبدل بدون تغییر در فرکانس تغییر کرده، افزایش یا کاهش یابد. برای انجام این عمل مبدل‌های افزاینده/کاهنده ولتاژ AC معرفی شده است. در این نوع مبدل‌ها بدون نیاز به تغییر در ولتاژ ورودی، می‌توان مستقیما سطح ولتاژ را تغییر داد. در ساختارهای قبلی لازم است که نخست ولتاژ AC به DC تبدیل شود و با استفاده از مبدل‌های افزاینده سطح ولتاژ افزایش ولتاژ داشته باشد و در نهایت با استفاده از اینورتر فرکانس AC مورد نظر تولید شود. ولی در مبدل افزاینده/کاهنده مستقیم ولتاژ AC این کار به صورت مستقیم انجام می‌شود، که هم از تلفات ناشی از افزایش اجزای مدار جلوگیری می‌کند و هم از روش کنترلی ساده‌تری بهره برده می‌شود.

در نوع دیگری از کاربردها علاوه به تغییر در سطح ولتاژ نیاز است فرکانس ولتاژ ورودی نیز تغییر کند که در این نوع کابردها می‌توان از مبدل ترکیبی افزاینده/کاهنده ولتاژ AC با مبدل ماتریسی مستقیم استفاده کرد. با استفاده از این نوع مبدل ترکیبی علاوه بر تغییر مستقیم فرکانس ولتاژ ورودی می‌توان سطح ولتاژ را نیز تغییر داد که آزادی عمل مناسبی را در اختیار استفاده کننده از مبدل قرار می‌دهد. با در نظر داشتن آزادی عمل‌های بیان شده برای این نوع مبدل می‌توان این نوع ساختار را مناسب بکارگیری در شبکه‌های هوشمند دانست.

کلید واژه: منبع امپدانسی، مبدل های ماتریسی، مبدل های افزاینده و کاهنده AC-AC

مقدمه

مقدمه

با توجه به کاهش جهانی سوخت های فسیلی در نتیجه استفاده بیش از حد از این نوع سوخت ها و جلوگیری از آلودگی بیش از حد هوا که موجب گرم شدن بیش از حد کره زمین شده و بیماری های ناشی از این آلودگی ها که هزینه های زیادی را بر بشر و محیط زیست تحمیل می کند، بحث انرژی های تجدید پذیر مورد توجه ویژه ای قرار گرفته است که به علت متنوع بودن این نوع منابع و ویژگی های ساختاری هر کدام وجود مبدل های مختلف متناسب با این منابع را پر اهمیت کرده است. به عنوان مثال منابع خورشیدی و پیل سوختی از جمله منابع تولید کننده جریان مستقیم هستند که بسیار مورد توجه قرار دارند، تولید جریان مستقیم ولتاژ پایین از جمله ویژگی این منابع می باشد که نیاز به مبدل های افزاینده را پر اهمیت کرده است. همان طور که اشاره شد خروجی این نوع منابع باید بوسیله مبدل های افزاینده کنترل شود تا بتوان سطح ولتاژ خروجی را در مقدار خاصی ثابت نگه داشت، از این رو از مبدل های DC-DC برای انجام این کار استفاده می شود و اگر شبکه به صورت AC بهره برداری شود نیاز به یک مبدل DC-AC برای تبدیل جریان مستقیم به متناوب ضروری است. مبدل های DC-DC در بهترین شرایط، از نظر تعداد کلید، دارای ۱ کلید می باشند که باید به صورت مستقل از کلید های مبدل DC-AC کنترل شوند و همچنین مشکل ضربه ولتاژ در اینورتر پابرجاست. بوسیله شبکه منبع امپدانسی میتوان با کنترل مناسب، عمل افزایش و کنترل ولتاژ منابع جریان مسقیم را بدون نیاز به کلید مستقل برای کنترل ولتاژ مبدل افزاینده انجام داد و همچنین این شبکه جلوی ایجاد اتصال کوتاه در مبدل را گرفته و از کلید ها و منابع حفاظت می کند.

از جمله دیگر منابع انرژی های تجدید پذیر باد و آب می باشد که بوسیله توربین و ژنراتور، انرژی حرکتی باد و آب به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. ولتاژ حاصل این منابع به صورت متناوب بوده که با تغییرات مستمر سرعت باد، فرکانس ولتاژ تغییر می‌کند. برای کنترل از مبدل های AC-DC-AC استفاده می‌شود که به دلیل درجات آزادی برای کنترل توان اکتیو، راکتیو و ضریب توان بسیار پر اهمیت هستند که به اتصال مبدل غیر مستقیم جریان متناوب موسوم می‌باشند. در صورت نیاز به آزادی عمل کمتر می توان با حذف لینک ولتاژ مستقیم از مبدل AC-AC ماتریسی استفاده کرد. با تلفیق مبدلهای ماتریسی با منابع امپدانسی و کنترل مناسب این مبدل ها می توان ولتاژی نزدیک تر به ولتاژ مرجع بدلیل تغییرات پیوسته در سطح ولتاژ ورودی مبدل تولید کرد و در کاربردهایی نظیر افزایش کیفیت توان و افزایش مدارات واسط سیستمهای انرژی نو استفاده کرد.

در فصل اول این پایان‌نامه، تاریخچه منابع امپدانسی و انواع آنها مورد بررسی قرار گرفته و همچنین انواع ساختارهای DC-AC و AC-AC افزاینده و کاهنده ولتاژ، مرتبط با این مبدل‌ها بحث شده است. در انتهای این فصل مبدل‌های ماتریسی مورد بحث قرار گرفته و به ترکیب مبدل‌های ماتریسی و منابع امپدانسی و منابع امپدانسی AC اشاره شده است.

در فصل دوم، انواع ساختارهای پیشنهادی مبدل‌های امپدانسی افزاینده و کاهنده ی ولتاژ، DC-AC و AC-AC مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. همچنین برای گسترش کاربردهای این مبدل‌ها، ترکیب ساختاری آنها با مبدل ماتریسی بحث شده است. در مبدل‌های امپدانسی AC-AC پیش نهادی ضریب افزایش شبکه‌های امپدانسی در مقایسه با ساختار های قبل‌تر ارائه شده بیشتر بوده در حالی که تعداد اجزاء مدار تغییر نکرده و ثابت مانده است.

در فصل سوم، نتایج شبیه ساختارهای پیشنهادی توسط نرم‌افزار Matlab/Simulink و نتایج عملی ارائه شده است.

فصل اول:

مطالعه و پیشینه‌ی پژوهش

مقدمه

در این فصل به بررسی انواع منابع امپدانسی پرداخته شده است و تعدادی از ساختارهای ارائه شده مورد بررسی قرار گرفته است. معایب و مزایای این نوع ساختارها مورد بحث قرار گرفته است. ادامه این فصل به بررسی ساختارهای مبدل‌های AC-AC افزاینده و کاهنده ولتاژ پرداخته شده است، و در نهایت خلاصه‌ای از مبدل‌های ماتریسی ارائه شده، مورد بررسی قرار گرفته است.

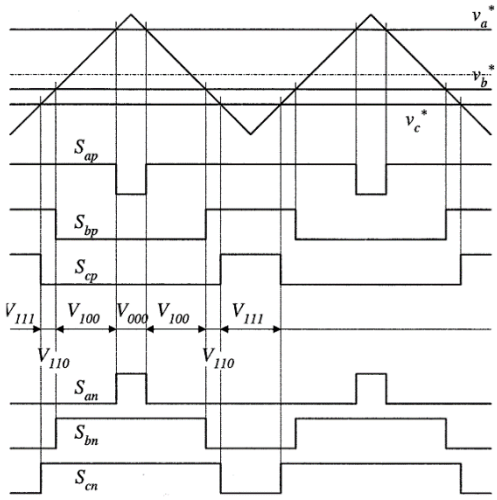
۱-۱: شبکه امپدانسی:

امروزه جریان AC گسترده‌ترین نوع انرژی الکتریکی مورد استفاده توسط مصرف کننده‌ها می‌باشد، این نوع انرژی گاه به صورت مستقیم تولید می‌شود و گاه با تغییر جریان DC به AC توسط مبدل حاصل می‌شود. نیاز به تغییر فرکانس و سطح ولتاژ در تعدادی از مصارف توسط مبدل‌های جریان DC به AC، که به عنوان اینورتر[1] شناخته می‌شوند را از جمله مبدل‌های مهم و پرمصرف در صنعت قرار داده است. احتمال خطا در کلیدزنی و کنترل مبدل جریان DC به AC که گاه بر اثر اشتباه در عملکرد پردازشگری که وظیفه کنترل کلیدهای قدرت را برعهده دارند و گاه بر اثر نویز ناشی از EMI و یا عوامل محیطی، ممکن است در یک یا چند ساق از مبدل، اتصال کوتاه رخ دهد که گاه این اتصال کوتاه می‌تواند باعث سوختن کلیدهای قدرت و خرابی مبدل شود. نیاز به جلوگیری از این اتفاق و همچنین در بعضی از ساختارها نیاز به افزایش سطح ولتاژ، طراحان مبدل‌های الکترونیکی را به سمت شبکه‌های امپدانسی سوق داد که هم مبدل‌های جریان را در مقابل اتصال کوتاه حفاظت کنند و هم در کنار این کار سطح ولتاژ تولیدی را در صورت نیاز افزایش دهند. نخستین شبکه امپدانسی در سال ۲۰۰۳ توسط توسط فانگ زنگ پنگ[2] معرفی شد [۱]. این شبکه توانست مشکلات بالا را تا حدی رفع کند، با این حال بعضی کاستی‌ها در این شبکه امپدانسی باعث معرفی ساختارهای جدید شد. تاکنون روش‌های مختلفی برای کنترل این شبکه‌های امپدانسی ارائه شده است [۱-۳].

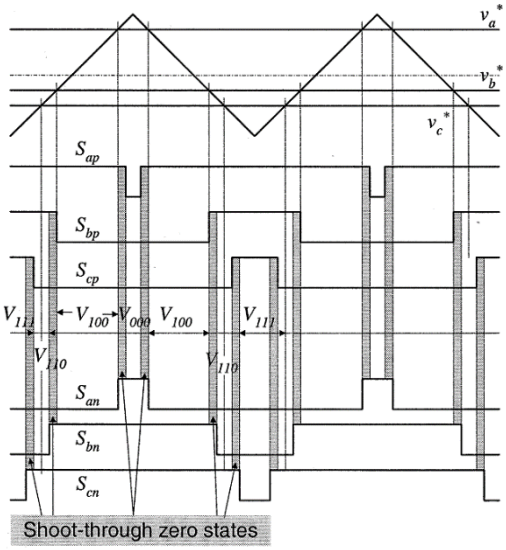
در مرجع [۱] نخستین روش برای کنترل شبکه امپدانسی اینورتری آورده شده است. در کنترل سنتی اینورترها که به روش پهنای پالس[3] موسوم است، شش حالت برای اعمال کلید زنی موجود است که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۱-۱ دیده می‌شود تعداد کلیدهای فعال برای هر ساق فقط یک عدد می‌باشد، در غیر این صورت با ایجاد اتصال کوتاه کلیدهای قدرت آسیب می‌بینند. برای

[1] Inverter
[2] Fang Zheng Peng
[3] PWM

کنترل شبکه امپدانسی از اتصال کوتاه در ساقهای اینورتر بهره می‌بریم. با توجه به روشی که در مرجع [۱] شکل ۱-۲ نشان داده شده است در هر دوره عملکرد، هفت حالت مختلف برای کنترل شبکه امپدانسی بوسیله کلیدهای مبدل اینورتری موجود است. در این روش مانند روش پهنای پالس هر کلید در هر دوره‌ی کلید زنی فقط یک بار روشن و خاموش می‌شود.



شکل ۱-۱ حالت‌های مختلف کلید زنی در روش پهنای پالس برای مبدل اینورتری

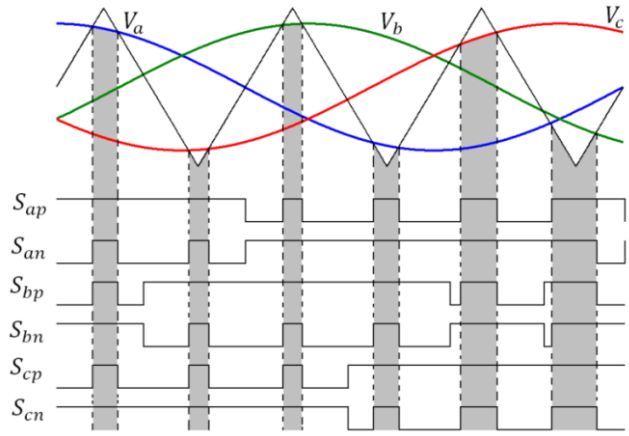


شکل ۱-۲ روش کنترل ساده شبکه امپدانسی

مرجع [۲] روش حداکثر ضریب[1] افزایشی را معرفی می‌کند. این روش در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. این روش کاملا شبیه به روش پهنای پالس مبدل‌های اینورتری عمل می‌کند. در این روش تمام

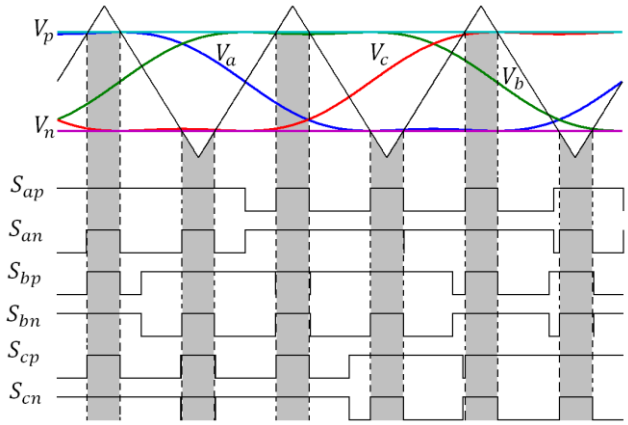
[1] Maximum Boost

شش بازه صفر روش کنترلی پهنای پالس به حالت اتصال کوتاه شبکه امپدانسی تبدیل می‌شود. این روش باعث افزایش اندازه‌ی ضریب بهره‌ی شبکه امپدانسی شده و نوسانات ناشی از افزایش بازه اتصال کوتاه را کاهش می‌دهد.



شکل ۱-۳ روش کنترلی حداکثر ضریب افزایشی

روش کنترلی با ضریب افزایش پیوسته[1] در مرجع [۳] معرفی شده است. این روش برخی از مشکلات روش حداکثر ضریب افزایشی را حل کرده است. نوسان در جریان ورودی که باعث ایجاد نوسان در سلفها و خازنهای شبکه امپدانسی می‌شود از جمله مشکلات این روش کنترلی است، که اگر نیاز به استفاده از این روش می‌باشد بهتر است اجزاء شبکه امپدانسی را طوری انتخاب کنیم که کمترین نوسان را در ورودی داشته باشیم. با توجه به مسائل فوق روش ضریب افزایشی پیوسته بهترین جایگزین برای روش جداکثر ضریب افزایشی می‌باشد. نحوه عملکرد این روش در شکل ۱-٤ آورده شده است.



شکل ۱-٤ روش ضریب افزایشی پیوسته

[1] Constant boost

در رابطه با مقایسه‌ی روشهای ذکر شده در بالا به جدول ۱-۱ مراجعه شود. برای مقایسه، از ضریب افزایشی شبکه امپدانسی سنتی و معمول که در مرجع [۱] معرفی شده بود استفاده شده است. با در نظر گرفتن M به عنوان شاخص مدولاسیون و B به عنوان ضریب افزایش شبکه امپدانسی داریم:

$$\frac{V_{ac}}{V_{in}/2} = MB \qquad (۱)$$

V_{ac} و V_{in} را به عنوان ولتاژ خروجی از اینورتر و ولتاژ DC ورودی به شبکه امپدانسی فرض کرده‌ایم. ضریب افزایشی شبکه امدانسی معمولی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$B = \frac{1}{1-2\frac{T_0}{T}} \qquad (۲)$$

مدت زمان اتصال کوتاه ساقهای اینورتر برای شارژ شبکه امپدانسی را که ST[1] بیان می‌شود را برابر T_0 و کل زمان کلید زنی را برابر T فرض می‌کنیم.

جدول ۱-۱ مقایسه عملکرد روشهای کنترلی شبکه امپدانسی

	Simple Boost	Maximum Boost	Constant Boost
B	$\frac{1}{2M-1}$	$\frac{\pi}{3\sqrt{3}M-\pi}$	$\frac{1}{\sqrt{3}M-1}$
G	$\frac{M}{2M-1}$	$\frac{\pi M}{3\sqrt{3}M-\pi}$	$\frac{M}{\sqrt{3}M-1}$
V_s/GV_{in}	$2-\frac{1}{G}$	$\frac{3\sqrt{3}}{\pi}-\frac{1}{G}$	$\sqrt{3}-\frac{1}{G}$

G به عنوان بهره افزایش ولتاژ شبکه امپدانسی تعریف شده است. نوسانات ولتاژ روی کلیدهای اینورتر به وسیله رابطه V_s/GV_{in} بیان می‌شود.

[1] Shoot-Through