٤٠٨١٩

۱۳۸۱ /۴/ ۳۰

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

ارائه روشی مبتنی بر مدولاسیون بردار فضایی (SVM) جهت حصول سوئیچینگ نرم در تمام لحظات سوئیچینگ اینورتر سه فاز NOTCH

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- الکترونیک

علیرضا جیهانی

۴۰۸۱۹

استاد راهنما

دکتر علیرضا بخشایی

۱۳۸۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک آقای علیرضا جیهانی

تحت عنوان

ارائه روشی مبتنی بر مدولاسیون بردار فضایی (SVM) جهت حصول سوئیچینگ نرم در تمام لحظات سوئیچینگ اینورتر سه فاز NOTCH

در تاریخ ۱۳۸۰/٤/۲۳ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه — **دکتر علیرضا بخشایی**

۲- استاد مشاور پایان‌نامه — **دکتر حسین فرزانه فرد**

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — **دکتر علیمحمد دوست حسینی**

تشکر و قدردانی

شکر و سپاس پروردگار مهربانم را که مرا توفیق کسب علم و دانش عطا فرمود.

حال که به پایان تحصیلات دوره کارشناسی ارشد خود نزدیک شده‌ام، لازم می‌دانم مراتب تشکر و قدردانی خود را نسبت به تمامی کسانی که مرا در برداشتن این گام در دوران تحصیل یاری داده‌اند، ابراز دارم.

بر خود لازم می‌دانم که از زحمات بی‌دریغ و برادرانه استاد راهنمای عزیز خود جناب آقای **دکتر علیرضا بخشایی** تشکر و قدردانی نمایم چرا که انجام این تحقیق را مدیون راهنمایی‌های ایشان دانسته و همواره خود را در محضر شاگردی ایشان می‌بینم که اگر راهنمایی‌های ایشان نبود، موفق به تکمیل این دوره تحصیلی خود نمی‌شدم. همچنین از زحمات آقای **دکتر حسین فرزانه فرد** استاد مشاور خود که در امر تصحیح پایان‌نامه دقت فراوان مبذول داشتند، بسیار سپاسگزارم.

از آقایان **دکتر حمیدرضا کارشناس** و **دکتر سید مرتضی سقائیان‌نژاد** که به عنوان اساتید راهنما جلسه ارائه پایان نامه اینجانب را رسمیت بخشیدند، متشکرم.

از آقای **دکتر علی محمد دوست‌حسینی** مسئول دلسوز تحصیلات تکمیلی دانشکده برق و کامپیوتر بسیار متشکرم.

از آقای **دکتر جعفر سلطانی** به خاطر حضور در جلسه دفاع اینجانب متشکرم.

مراتب قدردانی و سپاس خود را نسبت به پدر و مادر عزیز و مهربانم ابراز می‌نمایم که همواره با صبر و شکیبایی و در تمامی مراحل زندگی پشتیبان من بوده‌اند. از خواهر و برادران عزیزم به خاطر مهر و محبت بی‌دریغشان بسیار سپاسگزارم.

از اساتید ارجمندی که موفق به استفاده از محضرشان شدم، آقایان دکترصدری، دکتر زیدآبادی، دکتر مرحوم پروفسور طحانی، دکتر آشوری، دکتر سیدی و دکتر سماوی تشکر می‌نمایم و توفیق روزافزون ایشان را از پروردگار متعال خواهانم.

از تمامی افرادی که در امور اجرایی دانشکده زحمت می‌کشند سپاسگزارم و توفیق روزافزون ایشان را از پروردگار متعال خواهانم.

همچنین بر خود لازم می‌دانم سپاس گویم تمامی افرادی را که در این دورهٔ سه‌ساله از دوستیهای گرمشان بهره‌مند بوده‌ام.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هفت

چکیده فارسی ۱

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- مروری بر سوئیچینگ نرم ۳

۱-۲-۱- سوئیچینگ سخت ۳

۱-۲-۲- سوئیچینگ نرم ۴

۱-۲-۳- اینورترهای سوئیچینگ نرم ۵

۱-۳- اینورترهای سوئیچینگ نرم با قابلیت مدولاسیون عرض پالس ۶

۱-۳-۱- اینورترهای گذرای رزونانسی ۷

۱-۳-۲- اینورترهای لینک DC رزونانسی اصلاح یافته ۸

۱-۴- تکنیک‌های مدولاسیون پهنای پالس ۹

۱-۴-۱- پردازش سیگنالهای PWM بر اساس محاسبات غیر همزمان ۹

۱-۴-۲- پردازش سیگنالهای PWM بر اساس محاسبات همزمان ۱۰

۱-۵- اهداف ونوآوری‌های این پروژه ۱۱

۱-۶- روند ارائه مطالب ۱۱

فصل دوم : بررسی ساختار اینورتر منبع ولتاژ با مدولاسیون پهنای پالس

۲-۱- مقدمه ۱۲

۲-۲- ساختمان اینورتر منبع ولتاژ با مدولاسیون پهنای پالس ۱۳

۲-۳- معایب اینورترهای منبع ولتاژ با مدولاسیون پهنای پالس ۱۶

۲-۴- اینورترهای VSI-PWMبا سوئیچینگ نرم ۱۶

۲-۵- اینورترلینک DC رزونانسی اصلاح یافته NOTCH ۱۹

۲-۶- عملکرد اینورترمنبع ولتاژ با سوئیچینگ نرم ۲۱

۲-۷- مدل سازی وتحلیل عملکرد مدار ۲۵

۲-۸- طراحی وشبیه سازی اینورتر NOTCH ۳۵

فصل سوم :مدولاسیون بردار فضایی

۳-۱-مقدمه ۴۲

۳-۲- پارامترهای عملکرد ۴۳

۳-۳- تکنیک‌های مدولاسیون پهنای پالس برای اینورترهای منبع ولتاژ ۴۴

۳-۴- مدولاسیون بردار فضایی ۴۶

۳-۵- استفاده از SVM در فرکانسهای سوئیچینگ بالا ۵۱

۳-۶- استراتژی‌های ترتیب حالت سوئیچینگ در SVM ۵۳

۳-۶-۱- روشهای تغییر ترتیب سوئیچینگ ۵۳

۳-۶-۲- دسته بندی ترتیب‌های سوئیچینگ ۵۴

۳-۷- شبیه سازی ترتیب‌های سوئیچینگ ۵۷

۳-۸- نتایج شبیه سازی ۵۸

فصل چهارم : کنترل اینورتر با کموتاسیون NOTCH توسط مدولاسیون بردار فضایی

۴-۱- مقدمه ۶۷

۴-۲- اینورتر سوئیچینگ نرم با کموتاسیون NOTCH ۶۸

۴-۲-۱- اینورتر سوئیچینگ نرم ومدولاسیون 3HIPWM ۷۰

۴-۲-۲- اینورتر سوئیچینگ نرم ومدولاسیون REFINED PWM ۷۳

۴-۳- کنترل اینورتر کموتاسیون NOTCH توسط مدولاسیون بردار فضایی ۷۵

۴-۴-شبیه سازی اینورتر سوئیچینگ نرم با مدولاسیون بردار فضایی ۸۰

۴-۵- نتایج شبیه سازی ۸۱

۴-۶- عیوب اینورتر پیشنهاد شده همراه با مدولاسیون بردار فضایی ۸۲

فصل پنجم : خلاصه، نتایج و پیشنهادات

۵-۱- خلاصه و نتایج ۸۶

۵-۲- پیشنهادات ۸۷

مراجع ۸۸

چکیده انگلیسی ۹۲

سازمان اطلاعات و آرشیو ملی ایران

چکیده

اینورترها به وفور در کاربردهای صنعتی از قبیل منابع تغذیه AC بدون وقفه، درایوهای موتورهای الکتریکی و ... استفاده می‌شوند. ساختار اصلی اینورترها را سوئیچهای نیمه‌هادی قدرت تشکیل می‌دهند که در لحظات سوئیچینگ دارای تلفاتی موسوم به تلفات سوئیچینگ می‌باشند. افزایش فرکانس سوئیچینگ به منظور کاهش اعوجاج خروجی و کاهش اندازه فیلتر، باعث افزایش متناسب تلفات بر روی سوئیچها، کاهش راندمان مبدل و عمر مفید سوئیچها می‌گردد. به منظور کاهش تلفات سوئیچینگ و اثرات نامطلوب آن، مبدلهای سوئیچینگ نرم مطرح می‌شوند.

گروهی از مبدلهای سوئیچینگ نرم به دلیل داشتن قابلیت مدولاسیون PWM و مزایای آن از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشند. استفاده از PWM این قابلیت را به اینورتر اضافه می‌کند که بدون استفاده از مبدلهای اضافی، ولتاژ و فرکانس خروجی کنترل و علاوه بر آن هارمونیکهای خروجی در زیر فرکانس سوئیچینگ حذف می‌شوند.

یکی از توپولوژیهای اینورتر با سوئیچینگ نرم و قابلیت PWM، به نام اینورتر NOTCH در سال ۱۹۹۴ معرفی گردید. در روش PWM ارائه شده امکان انجام سوئیچینگ نرم در تمام لحظات سوئیچینگ فراهم نبود. در این رساله به کمک روش مدولاسیون بردار فضائی (SVM) و ترتیب سوئیچینگ پیشنهاد شده، امکان انجام سوئیچینگ نرم در تمام لحظات سوئیچینگ در اینورتر NOTCH فراهم می‌شود. نتایج شبیه سازی اعتبار روش مطرح شده را تضمین می‌کند.

فصل اول
مقدمه

۱-۱- مقدمه

توسعه صنعتی ارتباط مستقیم با تولید و مصرف انرژی خصوصا انرژی الکتریکی دارد. انرژی الکتریکی به دو صورت متناوب، AC ، و مستقیم، DC ، در دسترس مصرف کنندگان قرار می‌گیرد. در بسیاری از مصرف کننده‌های انرژی الکتریکی مانند درایوهای[1] موتورهای AC و DC ، کوره‌های القایی[2] و ... ، انرژی الکتریکی به صورتی که تولیدکنندگان انرژی آن را عرضه می‌کنند، قابل استفاده نیست. مبدلهای انرژی الکتریکی نقش عناصر واسطه بین تولیدکنندگان و این‌گونه مصرف‌کنندگان را برعهده دارند. این مبدلها کمیت‌های الکتریکی را به گونه‌ای تغییر می‌دهند که برای استفاده در نوع خاصی از مصرف‌کنندگان مناسب و مطلوب باشند.

در گذشته‌های نه‌چندان‌دور، از مبدلهای الکترومکانیکی، جهت تبدیل انرژی الکتریکی به‌فرم مطلوب مصرف‌کننده‌ها استفاده می‌شد. با ظهور عناصر قدرت نیمه‌هادی و پیشرفت سریع تکنولوژی ساخت سوئیچ‌های قدرت الکترونیکی، مبدلهای الکترونیکی بسرعت جایگزین سایر مبدلهای انرژی الکتریکی

1-Drive

2-Induction Heatins

گردیدند. نیاز روزافزون به طراحی، ساخت و کنترل این مبدلهای الکترونیکی قدرت، بسرعت زمینه گسترش شاخه‌ای جدید در مهندسی برق بنام الکترونیک قدرت[۱] را فراهم آورد.

مبدلهایی که کمیت‌های الکتریکی DC را به AC تبدیل می‌نمایند اینورتر[۲] نامیده می‌شوند. امروزه از اینورترها در کاربردهای صنعتی از قبیل منابع تغذیه AC بدون وقفه[۳]، درایوهای موتورهای الکتریکی، کوره‌های القایی، مبدلهای فرکانس، مبدلهای AC/AC، فیلترهای اکتیو[۴]، کنترل کننده‌های بهینه ضریب توان[۵]، سیستم‌های انعطاف‌پذیر AC[۶] و ... و در صنایع مختلف نظیر ذوب‌آهن، فولاد و ... استفاده می‌شود.

در مبدلهای الکترونیک قدرت از سوئیچ‌های نیمه هادی قدرت که بسته به نوع مبدل با استراتژی خاصی سوئیچ می‌شوند، استفاده می‌گردد. این سوئیچ‌ها در طول زمان هدایت و در لحظات سوئیچینگ، دارای تلفات هدایتی و سوئیچینگ می‌باشند. بدلیل رابطه مستقیم تلفات سوئیچینگ با فرکانس سوئیچینگ ، افزایش فرکانس سوئیچینگ بمنظور کاهش اعوجاج خروجی، کاهش اندازه فیلتر و حجم مبدل، کاهش نویزهای صوتی[۷]، افزایش سرعت کنترل خروجی و ...، باعث افزایش تلفات سوئیچینگ می‌شود.

کاهش تلفات سوئیچینگ در بعضی از سیستم‌ها که در آنها محدودیت‌ها و فاکتورهایی از قبیل کمبود انرژی، گرانی انرژی، راندمان بالا، طول عمر مفید سوئیچ، حداکثر فرکانس سوئیچینگ و ... مطرح هستند، اهمیت فراوان دارد.

روشهای مختلفی برای کاهش تلفات سوئیچینگ پیشنهاد شده‌اند[۳-۱]. از مهمترین و کارامدترین این روشها استفاده از تکنیک سوئیچینگ نرم[۸] می‌باشد.

۱-۲- مروری بر سوئیچینگ نرم

۱-۲-۱- سوئیچینگ سخت[۹]

سوئیچینگ در ولتاژ و جریان غیر صفر را سوئیچینگ سخت می‌نامند. در اینورترهای با سوئیچینگ سخت بدلیل اینکه سوئیچینگ در ولتاژ و جریان غیر صفر انجام می‌گیرد، تلفات سوئیچینگ بوجود می‌آید. بعلاوه سوئیچینگ در ولتاژ و جریان بالا (در حدود ولتاژ و جریان بار) و در لحظات بسیار کوتاه موجب تولید

1-Power Electronic
2-Inverter
3-Unintraptible Power Supply(UPS)
4-Active Filters
5-Unified Power Factor Controller(UPFC)
6-Facilitis AC Transmition System(FACTS)
7-Acoustic Noise
8-Soft Switching
9-Hard Switching

$\frac{di}{dt}$ و $\frac{dv}{dt}$ بزرگ می‌شود. مقادیر بزرگ $\frac{di}{dt}$ و $\frac{dv}{dt}$ باعث ایجاد تداخل‌های الکترومغناطیسی[1] [۱] با امواج رادیوئی می‌شود و همچنین امکان روشن شدن سوئیچ‌ها بدون سیگنال فرمان گیت را فراهم می‌سازد. این مسأله گاهاً منجر به ازبین رفتن سوئیچ ها می‌گردد. راندمان کم و لزوم استفاده از مدارهای خنک کننده از دیگر عیوب روش سوئیچینگ سخت و اینورترهای مبتنی بر آن هست.

بااین‌وجود، سادگی روش‌های سوئیچینگ سخت و اینورترهای مبتنی بر آن وهمچنین سادگی مدارهای کنترل آنها باعث گردیده است که اینورترهای با سوئیچینگ سخت به صورت گسترده در کاربردهای مختلف در رنج‌های توان متوسط وبالا با فرکانس سوئیچینگ در حد چندین کیلوهرتز استفاده شوند. با اضافه کردن مدار اسنابر[2] تلفاتی ساده (RLCD) [۴] به دوسر سوئیچ‌ها، تلفات سوئیچینگ کاهش می‌یابد. علاوه بر آن، مقادیر $\frac{di}{dt}$ و $\frac{dv}{dt}$ در سوئیچ کنترل و محدود می‌شوند. ولی راندمان اینورتر به علت تلفات انرژی در اسنابر بهبود نمی‌یابد. مدارهای اسنابر دیگری نیز مطرح شده‌اند که با بهبود ساختار و یا از طریق مدارهای بازیابی[3] انرژی [۵] راندمان اینورتر را بهبود می‌بخشند، ولی به علت پیچیدگی ساختار کمتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. علیرغم تمام این کوشش‌ها در شرایطی که راندمان بالا در فرکانس بالاتر مد نظر باشد، روش سوئیچینگ سخت نمی‌تواند به‌عنوان یک روش کارآمد سوئیچینگ مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۲-۲- سوئیچینگ نرم

با افزودن مدارهای کمکی به ساختار اینورترهای با سوئیچینگ سخت می‌توان سوئیچینگ را در شرایط ولتاژ صفر[4] و یا جریان صفر[5] انجام داد. علاوه بر این می‌توان $\frac{di}{dt}$ و $\frac{dv}{dt}$ را نیز محدود کرد تا اثر تداخلات الکترومغناطیسی با امواج رادیوئی کاهش یابد. مجموعه این مدارهای کمکی به همراه استراتژی خاص سوئیچینگ که موجب رفع مشکلات ناشی از سوئیچینگ سخت و افزایش راندمان مبدل می‌گردد را سوئیچینگ نرم می‌نامند. اگر سوئیچینگ نرم بدون افزایش قابل توجه در هزینه سیستم پیاده‌سازی شود و در قابلیت‌های مبدل و کیفیت خروجی نقصانی ایجاد نکند کارائی سیستم بهبود می‌یابد.

در اینورترهای با سوئیچینگ نرم یک شبکه رزونانسی با فرکانس رزونانسی بسیار بالاتر از فرکانس کار اینورتر، شرایط ایجاد ولتاژ و یا جریان صفر را در لحظه سوئیچینگ فراهم می‌سازد. شبکه رزونانسی ممکن است بطور دائم و یا فقط در لحظات سوئیچینگ فعال شود و می‌تواند جزئی از مسیر اصلی انتقال توان[٦] و یا یک مدار کمکی جدا از مسیر عبور توان باشد[۷]. ولتاژ دو سر سوئیچ و یا جریان عبوری از سوئیچ متأثراز

1-Electro Magnetic Interfaces(EMI)
2-Snubber
3-Regenerative
4-Zero Voltage Switching(ZVS)
5-Zero Current Switching(ZCS)

رزونانس شبکه رزونانسی درلحظاتی خاص به صفر می‌رسد. در صورتی که سوئیچینگ در این لحظات صورت گیرد، سوئیچینگ نرم انجام گرفته است.

در بیست سال اخیر محققان صنعت و دانشگاه نزدیک به بیش از یکصد مدار رزونانس برای سوئیچینگ نرم اینورترها در کاربردهایی نظیر درایوهای موتور القایی پیشنهاد کرده‌اند[۲]. این مدارها را می‌توان برحسب موقعیت مدار رزونانسی، شرایط سوئیچینگ نرم ایجاد شده (ZVS یا ZCS)، سری و یا موازی بودن مدار رزونانسی و قابلیت‌های مبدل تقسیم‌بندی نمود .

قابلیت‌ها و ویژگی‌های یک مبدل در انتخاب آن نقش مهمی ایفا می‌کنند. از آن جمله قابلیت انجام مدولاسیون پهنای پالس[۱] می‌باشد که بدلیل سادگی روش اجرا، خطی‌بودن رابطه ورودی ـخروجی و حذف هارمونیک‌های فرکانس پائین خروجی و ...، در مبدلهای در رنج توان کم و متوسط از اهمیت بالائی برخوردار می‌باشد. بنابراین یکی از روشهای تقسیم‌بندی اینورترهای سوئیچینگ نرم می‌تواند بر اساس دارا بودن قابلیت PWM و یا عدم دارا بودن قابلیت PWM باشد.

۱-۲-۳- اینورترهای سوئیچینگ نرم

اساس روشهای سوئیچینگ نرم بر پایه رزونانس در یک شبکه تانک LC، استوار می‌باشد که می‌تواند در طرف بار و یا در طرف منبع DC اینورتر قرار داشته باشد. بسته به اینکه شبکه تانک LC در کدام طرف اینورتر قرار گیرد، می‌توان اینورترها را به دو گروه تقسیم کرد.

الف - اینورترهای رزونانس بار[۲]

در اینورترهای رزونانس بار[۶] ، شبکه تانک LC در طرف بار قرار دارد و بار و فیلتر خروجی نیز جزء شبکه رزونانسی می‌باشند. در طول پریود سوئیچینگ، بدلیل عمل رزونانس این شبکه رزونانسی ولتاژ و یا جریان سوئیچ در لحظاتی صفر می‌شود. و بنابراین می‌توان در این لحظات سوئیچینگ را به صورت نرم انجام داد. بدلیل تأثیرپذیری لحظات مناسب سوئیچینگ از بار، عموماً این نوع اینورترها برای بار ثابت مناسب هستند[۴].

1-Pulse Width Modulation(PWM)

2-Load Resonante Inverters

ب - اینورترهای لینک رزونانسی[1]

در اینورترهای لینک رزونانسی، تانک LC در طرف منبع DC قرار می‌گیرد و ولتاژ ورودی اینورتر یک ولتاژ ثابت DC نیست. در اثر نوسان ولتاژ و یا جریان شبکه LC واقع در ورودی اینورتر، ولتاژ و یا جریان اینورتر در لحظاتی صفر می‌شوند و در این لحظات است که می‌تواند سوئیچینگ نرم انجام شود. اینورترهای لینک رزونانسی براساس شکل موج ورودی پل اینورتر به دو زیر گروه تقسیم می‌شوند.

- اینورترهای لینک رزونانسی AC

در این اینورترها که به لینک رزونانسی AC معروف می‌باشند ولتاژ و یا جریان نوسان بصورت سینوسی می‌باشند و سوئیچ‌ها باید قابلیت تحمل ولتاژ و جریان منفی را داشته باشند. بنابراین در این اینورترها باید از سوئیچ‌های دو طرفه استفاده کرد. اینورترهای لینک رزونانسی AC بدلایل متعدد نظیر استفاده از سوئیچ‌های دو طرفه کمتر مورد استفاده قرار گرفته اند [۸].

- اینورترهای لینک رزونانسی DC

در اینورترهای لینک رزونانسی در صورتیکه ولتاژ نوسان بصورت پالس‌هایی با حداقل سطح ولتاژ صفر باشد، احتیاجی به استفاده از سوئیچ‌های دو طرفه نمی‌باشد. این نوع اینورترها با لینک رزونانسی DC شناخته می‌شوند[۹]. اولین مدار اینورتر لینک DC رزونانسی در سال ۱۹۸۹ توسط Divan ارائه شد[۱۰]. به دلیل سادگی ساختار این اینورترها، در سالهای اخیر تحقیقات وسیعی بر روی آنها انجام شده است.

۱-۳- اینورترهای سوئیچینگ نرم با قابلیت مدولاسیون عرض پالس

روش متداول برای کنترل ولتاژ و یا جریان خروجی در اینورترهای رزونانسی استفاده از مدولاسیون چگالی پالس[2] می‌باشد [۱۲-۱۱]. مدولاسیون چگالی پالس باعث تولید هارمونیک‌های مرتبه پایین[3] در خروجی مبدل می‌گردد [۱۴-۱۳]. همچنین به دلیل اینکه عناصر رزونانسی در مسیر توان خروجی قرار می‌گیرند، ماکزیمم جریان و ولتاژ سوئیچ‌ها زیاد و تلفات هدایتی در المانها بزرگ می‌باشد. بنابراین اینورترهای رزونانسی در مصارفی که مشخصه هارمونیکی خوب در خروجی اینورتر مد نظر باشد کاربرد ندارند.

1-Resonant Link Inverters
2-Pulse Density Modulation
3-Lower Order Harmonics

برای کاهش هارمونیک‌های مرتبه پائین وکاهش حجم فیلتر خروجی از روشهای PWM برای سوئیچینگ اینورترها استفاده می‌شود. مدولاسیون پهنای پالس به اینورترها توانائی تولید شکل موج نزدیک به سینوسی در خروجی با فرکانس و ولتاژ قابل تنظیم را می‌دهد.

در اینورترهای رزونانسی به دلیل غیر کنترل بودن زمان رزونانس و نامشخص بودن لحظه ایجاد شرایط سوئیچینگ نرم، امکان استفاده از مدولاسیون PWM وجود ندارد. با اصلاح اینورترهای رزونانسی به کمک المانهای اضافی نظیر سوئیچ، زمان ایجاد رزونانس را می‌توان کنترل نمود. با مشخص بودن پریود رزونانس، لحظه ایجاد شرایط سوئیچینگ نرم مشخص می‌شود. در بعضی مدارها، شبکه رزونانسی فقط در زمان تغییر حالت سوئیچ‌ها فعال می‌شود. بنابراین می‌توان برای سوئیچینگ این نوع اینورترها از مدولاسیون PWM استفاده نمود. اینورترهای با قابلیت PWM به اینورترهای گذرای رزونانسی و اینورترهای لینک DC رزونانسی اصلاح یافته تقسیم می‌شوند.

۱-۳-۱- اینورترهای گذرای رزونانسی[1]

در این نوع اینورترها ولتاژ و یا جریان ورودی ثابت است. هر کدام از ساق‌ها یک مدار رزونانسی مستقل دارد که با فعال شدن این مدار و رزونانس ولتاژ و یا جریان سوئیچ در هنگام تغییر حالت سوئیچ‌ها شرایط سوئیچینگ نرم برای کلیدهای هر ساق فراهم می‌شود. این اینورترها را می‌توان به سه زیر گروه تقسیم بندی نمود.

- اینورترهای قطب رزونانسی [2]

در اینورترهای قطب رزونانسی با استفاده از سلف‌های خطی و غیر خطی و احتمالاً دیود شرایط سوئیچینگ نرم فراهم می‌شود. محدوده کم برای کنترل PWM و تلفات زیاد سلف دو عیب عمده این اینورترها می‌باشد. اینورترهای قطب رزونانسی به اینورترهای شبه رزونانسی[3] و یا سوئیچ رزونانسی[4] معروف می‌باشند [۱۵].

- اینورترهای اسنابر رزونانسی[5]

شکل کلی اینورترهای اسنابر رزونانسی شبیه به اینورترهای قطب رزونانسی می‌باشد. با این تفاوت که در مدار رزونانسی از سوئیچ‌های کمکی برای کنترل رزونانس استفاده شده است. مدار رزونانسی فقط در

1-Transien Resonance Inverters
2-Pole Resonance
3-Quasi Resonance
4-Switch Resonance
5-Snnaber Resonance

زمان تغییر حالت سوئیچ‌ها فعال می‌شود و بنابراین تلفات سلف کم می‌شود. قابلیت کنترل PWM نیز نسبت به روش قبلی بهبود می‌یابد [۱۶].

- اینورترهای گذرای نرم[1] PWM

ساختار اینورترهای گذرای نرم PWM با دو گروه قبلی متفاوت است. مدار کمکی شامل یک پل دیود با سطح توان کم می‌باشد که فقط در زمان تغییر حالت سوئیچ‌ها فعال می‌شود. قابلیت کنترل PWM از مشخصه‌های این گروه می‌باشد [۱۷].

۱-۳-۲- اینورترهای لینک DC رزونانسی اصلاح یافته

در اینورترهای لینک DC مدار رزونانس در طرف DC اینورتر قرار دارد و از المانهای بار و فیلتر خروجی مستقل می‌باشد ولی می‌تواند جزء فیلتر ورودی قرار گیرد. اینورترهای لینک DC رزونانسی اصلاح شده را می‌توان به سه زیر گروه تقسیم کرد.

- اینورترهای اصلاح یافته لینک DC رزونانسی پایه

با اعمال تغییرات جزئی در مبدلهای لینک رزونانسی وضعیتی بوجود می‌آید که مدار رزونانسی از کار می‌افتد و با کنترل زمان راه‌اندازی مدار رزونانس، امکان مدولاسیون پهنای پالس فراهم می‌شود البته قابلیت PWM در کل محدودهٔ تغییرات خروجی وجود ندارد [۹] و [۱۸].

- اینورترهای لینک DC شبه رزونانسی[2]

مشخصه اصلی این گروه از اینورترها آن است که در آنها مدار رزونانس فقط به هنگام صفرکردن ولتاژ لینک و برگرداندن آن به حالت نرمال وارد عمل می‌شود و در بقیه زمانها مدار رزونانس کاملاً از مدار خارج است در اکثر اینورترهای این گروه ماکزیمم ولتاژ لینک همان ولتاژ DC منبع ورودی است که این مزیت به قیمت اضافه کردن سوئیچ و دیود در مسیر اصلی توان ورودی به اینورتر می‌باشد [۲۱-۱۹].

1-Zero Voltage Transition(ZVT)

2-Qusi Resonance DC Link(QRDCL)