بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک گروه قدرت

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

بهبود عملکرد اینورتر منبع امپدانس

نگارش:

محسن شید پیله ور

استاد راهنما:

دکتر محمد مردانه

استاد مشاور:

دکتر مجید نیری پور

آبان ماه ۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک گروه قدرت

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

بهبود عملکرد اینورتر منبع امپدانس

نگارش:

محسن شید پیله ور

استاد راهنما:

دکتر محمد مردانه

استاد مشاور:

دکتر مجید نیری پور

آبان ماه ۱۳۹۲

بسمه تعالی

بهبود عملکرد اینورتر منبع امپدانس

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی

نگارش:

محسن شید پیله ور

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه قدرت دانشکده مهندسی برق و الکترونیک
دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه: عالی

دکتر محمد مردانه استادیار در رشته مهندسی برق- قدرت (استاد راهنما)

دکتر مجید نیری پور دانشیار در رشته مهندسی برق- قدرت (استاد مشاور)

دکتر طاهر نیکنام دانشیار در رشته مهندسی برق- قدرت (داور)

دکتر اکبر رهیده استادیار در رشته مهندسی برق- قدرت (داور)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب محسن شید پیله ور دانشجوی رشته مهندسی برق قدرت مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد به شماره دانشجویی ۹۰۱۱۴۰۳۸ تأیید می نماید کلیه نتایج این پایان نامه/رساله، بدون هیچگونه دخل و تصرف ، حاصل مستقیم پژوهش صورت گرفته توسط اینجانب است. در مورد اقتباس مستقیم و غیر مستقیم از سایر آثار علمی، اعم از کتاب، مقاله، و پایان نامه با رعایت امانت و اخلاق علمی، مشخصات کامل منبع مذکور درج شده است.

در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص مقامات ذی صلاح دانشگاه صنعتی شیراز، مطابق قوانین و مقررات مربوط و آئین نامه های آموزشی، پژوهشی و انضباطی و ... عمل خواهد شد و اینجانب حق هرگونه اعتراض و تجدیدنظر را، نسبت به رأی صادره، از خود ساقط می کند. همچنین، هرگونه مسئولیت ناشی از تخلف نسبت به صحت و اصالت نتایج مندرج در پایان نامه/رساله در برابر اشخاص ذی نفع (اعم از حقیقی و حقوقی) و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) متوجه اینجانب خواهد بود و دانشگاه صنعتی شیراز هیچ گونه مسئولیتی دراین زمینه نخواهند داشت.

تبصره ۱- کلیه حقوق مادی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تبصره ۲- اینجانب تعهد می نماید بدون اخذ مجوز از دانشگاه صنعتی شیراز دستاوردهای این پایان نامه/ رساله را منتشر نکند و یا در اختیار دیگران قرار ندهد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: محسن شید پیله ور

تاریخ و امضاء

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج پایان نامه متعلق به دانشگاه و انتشار نتایج نیز تـابع مقرارت دانشگاهی است و با موافقت استاد راهنما به شرح زیر، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد راهنما: دکتر محمد مردانه

تاریخ:

امضا:

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

و

برادر و خواهر عزیزم

که هیچ کدام از موفقیت‌های زندگی‌ام بدون حمایت، تشویق و عشق بی‌پایان‌شان ممکن نبود

تشکر و قدردانی

"من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق"

اکنون که به فضل الهی این رساله به پایان رسیده است بر خود فرض می دانم که از زحمات بزرگوارانه و راهنمایی های استادانه

جناب آقایان دکتر محمد مردانه و دکتر مجید نیری پور

تشکر نمایم که در همه حال با راهنمایی هایشان حامی من بودند.

همچنین از زحمات تمامی اساتید دانشگاه صنعتی شیراز به خصوص جناب آقای **دکتر اکبر رهیده و دکتر محسن کیتی زاده** که اینجانب را در امر تحصیل راهنمایی کردند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

سپاسگزار همه ی استادان و معلمانی هستم که مرا از باغ دانش خود ثمری دادند.

چکیده

بهبود عملکرد اینورتر منبع امپدانس

نگارش :

محسن شید پیله ور

اینورتر منبع ولتاژ[1] و اینورتر منبع جریان[2] دو نوع متداول از اینورترها می‌باشند که امروزه کاربردهای صنعتی فراوانی دارند. اما با وجود استفاده گسترده، این اینورترها دارای نقاط ضعفی نیز هستند. مثلاً، اینورتر منبع ولتاژ، کاهنده و اینورتر منبع جریان، افزاینده ولتاژ هستند و هیچ یک از این دو نمی‌توانند همزمان کاهنده- افزاینده باشند. برای غلبه بر این مشکل و بسیاری از مشکلات دیگر اینورترهای رایج، در سال ۲۰۰۲، ساختار جدیدی تحت عنوان اینورتر منبع امپدانس[3] توسط پنگ[4] ارائه شد.

این پایان نامه سعی بر آن دارد تا با بررسی و مطالعه دقیق اینورتر منبع امپدانس، راهکارهای جدیدی را برای بهبود عملکرد آن ارائه دهد.

واژه‌های کلیدی: اینورتر منبع امپدانس، الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO)[5]، کنترل جابجایی فاز، اعوجاج هارمونیکی کل (THD)[6]، حذف هارمونیک ها.

---

[1] Voltage Source Inverter

[2] Current Source Inverter

[3] Z-Source Inverter

[4] Peng

[5] Particle Swarm Optimization

[6] Total Harmonic Distortion

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه **۱**
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- هدف تحقیق و اهمیت آن ۲
۱-۳- بیان کلیات مساله ۴
۱-۴- بخش‌های پایان نامه ۵

فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده **۶**
۲-۱- مقدمه ۷
۲-۲- مروری بر ادبیات موضوع ۷
۲-۳- نتیجه‌گیری ۹

فصل سوم: محاسبه روابط اساسی اینورتر منبع امپدانس و بهبود عملکرد آن با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات **۱۰**
۳-۱- مقدمه ۱۱
۳-۲- اصول عملکرد اینورتر منبع امپدانس ۱۲
۳-۳- استرس های ولتاژ ۱۷
۳-۳-۱- استرس ولتاژ خازن ۱۷
۳-۳-۲- استرس ولتاژ روی کلیدها ۱۹
۳-۴- ریپل های جریان و ولتاژ ۲۰
۳-۴-۱- ریپل جریان ورودی ۲۰
۳-۴-۲- ریپل جریان سلف ۲۲
۳-۴-۳- ریپل ولتاژ خازن ۲۳
۳-۵- توان قطعات کلیدزنی ۲۵
۳-۶- تلفات کلیدزنی ۳۰
۳-۷- روند بهینه سازی ۳۳
۳-۷-۱- متغیرهای بهینه سازی و قیود ۳۳
۳-۷-۲- تابع هدف ۳۴
۳-۸- نتایج ۳۵
۳-۸-۱- نتایج بهینه سازی ۳۵
۳-۸-۲- نتایج شبیه سازی ۳۸
۳-۹- نتیجه گیری ۴۱

فصل چهارم: کنترل جابجایی فاز و حذف هارمونیک ها برای اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز **۴۲**
۴-۱- مقدمه ۴۳
۴-۲- اصول عملکرد اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز ۴۴
۴-۳- الگوی کلیدزنی و ولتاژ خروجی اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز ۴۷
۴-۴- کنترل جابجایی فاز در اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز ۵۴
۴-۵- حذف هارمونیک ها ۷۰
۴-۵-۱- حذف هارمونیک ها در حالت اول ۷۰
۴-۵-۲- حذف هارمونیک ها در حالت دوم ۷۱
۴-۵-۳- حذف هارمونیک ها در حالت سوم ۷۱
۴-۶- نتایج شبیه سازی ۷۳
۴-۷- نتیجه گیری ۷۷

فصل پنجم: فرموله کردن ولتاژ فاز و محاسبه اعوجاج هارمونیکی کل آن در اینورتر منبع امپدانس چندسطحی **۷۸**
۵-۱- مقدمه ۷۹
۵-۲- فرموله کردن ولتاژ فاز ۸۰
۵-۲-۲- بکارگیری تحلیل فوریه ۸۳
۵-۲-۳- بکارگیری شکل موج های پلکانی ۸۶
۵-۳- محاسبه اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ فاز ۸۸
۵-۳-۱- روش تقریبی ۸۸
۵-۳-۲- شیوه انتگرالگیری شکل موج ۸۸
۵-۳-۳- مقایسه بین شیوه های ارائه شده ۸۹
۵-۴- نتایج شبیه سازی ۹۸
۵-۵- نتیجه گیری ۱۰۱

فصل ششم: جمع بندی و پیشنهادها **۱۰۲**
۶-۱- مقدمه ۱۰۳
۶-۱-۱- نوآوری های انجام شده ۱۰۴
۶-۱-۲- پیشنهادها ۱۰۴

مراجع **۱۰۶**

فهرست شکل‌ها

شکل ۳-۱ : ساختار اینورتر منبع امپدانس ۱۳

شکل ۳-۲ : مدار معادل اینورتر منبع امپدانس در (الف) حالت اتصال کوتاه و (ب) حالت عدم اتصال کوتاه ۱۳

شکل ۳-۳ : شکل موج ها و استراتژی PWM برای اینورتر منبع امپدانس با در نظر گرفتن حالت های اتصال کوتاه ۱۶

شکل ۳-۴ : سیگنال مثلثی و دو خط مستقیم در یک دوره کلیدزنی ۱۸

شکل ۳-۵ : مدار معادل ساده شده اینورتر منبع امپدانس ۲۰

شکل ۳-۶ : اثر تغییر در (الف) V_p، (ب) M، (ج) T_{sw}، و (د) V_{dc} بر روی مشخصه های مختلف اینورتر منبع امپدانس ۲۴

شکل ۳-۷ : مدل پل اینورتر در حین حالت اتصال کوتاه ۲۷

شکل ۳-۸ : اثر تغییر در (الف) V_p، (ب) M، (ج) T_{sw}، و (د) φ بر مقدار متوسط $SDPR$ دراینورتر منبع امپدانس ۳۱

شکل ۳-۹ : اثر تغییر در (الف) V_p، (ب) M، (ج) T_{sw}، و (د) φ بر مقدار پیک $SDPR$ دراینورتر منبع امپدانس ۳۱

شکل ۳-۱۰ : اثر تغییر در (الف) V_p، (ب) M، (ج) T_{sw}، و (د) φ بر مقدار SLR دراینورتر منبع امپدانس ۳۲

شکل ۳-۱۱ : فلوچارت الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات ۳۴

شکل ۳-۱۲ : اثر تغییر هرکدام از متغیرهای بهینه سازی بر مقدار تابع هدف وقتی سایر متغیرها در مقدار بهینه خود باشند ۳۸

شکل ۳-۱۳ : شکل موج های شبیه سازی شده استرس ولتاژ بر روی (الف) خازن های شبکه امپدانس و (ب) قطعات کلیدزنی ۳۹

شکل ۳-۱۴ : شکل موج های شبیه سازی شده (الف) ریپل جریان سلف شبکه امپدانس، (ب) متوسط جریان سلف شبکه امپدانس و (ج) ریپل جریان سلف شبکه امپدانس با جزئیات..... ۴۰

شکل ۳-۱۵ : شکل موج های شبیه سازی شده (الف) ولتاژ خازن شبکه امپدانس، (ب) متوسط ولتاژ خازن شبکه امپدانس و (ج) ولتاژ خازن شبکه امپدانس با جزئیات ۴۰

شکل ۳-۱۶ : شکل موج های شبیه سازی شده (الف) جریان فاز خروجی و (ب) ولتاژ فاز خروجی برای اینورتر منبع امپدانس همراه با فیلتر ۴۱
شکل ۴-۱ : مدار معادل (الف) اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز، (ب) اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز در حالت اتصال کوتاه و (ج) اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز در حالت عدم اتصال کوتاه ۴۵
شکل ۴-۲ : الگوی کلیدزنی و ولتاژ خروجی برای اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز ۴۸
شکل ۴-۳ : اثر تغییر در β_{sh} (وقتی $\delta_{sh}=\pi/6$ و $V_{dc}=75\ \mathrm{V}$) بر دامنه هارمونیک های ولتاژ در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز ۵۰
شکل ۴-۴ : اثر تغییر در δ_{sh} (وقتی $\beta_{sh}=\pi/2$ و $V_{dc}=75\ \mathrm{V}$) بر دامنه هارمونیک های ولتاژ در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز ۵۰
شکل ۴-۵ : اثر تغییر در (الف) β_{sh} (وقتی $\delta_{sh}=\pi/6$) و (ب) δ_{sh} (وقتی $\beta_{sh}=\pi/2$) بر THD ولتاژ خروجی در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز ۵۳
شکل ۴-۶ : اثر تغییر در (الف) β_{sh} (وقتی $\delta_{sh}=\pi/6$) و (ب) δ_{sh} (وقتی $\beta_{sh}=\pi/2$) بر DF ولتاژ خروجی در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز ۵۴
شکل ۴-۷ : الگوی کلیدزنی و ولتاژ خروجی برای اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز وقتی $\beta_{sh}<\alpha$ (حالت اول) ۵۶
شکل ۴-۸ : اثر تغییر در α (وقتی $\beta_{sh}=\pi/12$، $\delta_{sh}=\pi/6$ و $V_{dc}=75\ \mathrm{V}$) بر دامنه هارمونیک های ولتاژ در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز برای حالت اول ۵۷
شکل ۴-۹ : اثر تغییر در δ_{sh} (وقتی $\alpha=\pi/6$، $\beta_{sh}=\pi/12$ و $V_{dc}=75\ \mathrm{V}$) بر دامنه هارمونیک های ولتاژ در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز برای حالت اول ۵۸
شکل ۴-۱۰ : اثر تغییر در α (وقتی $\beta_{sh}=\pi/12$ و $\delta_{sh}=\pi/6$) بر THD ولتاژ خروجی در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز برای حالت اول ۵۹
شکل ۴-۱۱ : اثر تغییر در α (وقتی $\beta_{sh}=\pi/12$ و $\delta_{sh}=\pi/6$) بر DF ولتاژ خروجی در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز برای حالت اول ۶۰
شکل ۴-۱۲ : الگوی کلیدزنی و ولتاژ خروجی برای اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز وقتی $\beta_{sh}=\alpha$ (حالت دوم) ۶۱
شکل ۴-۱۳ : اثر تغییر در β_{sh} (یا α، وقتی $\delta_{sh}=\pi/6$ و $V_{dc}=75\ \mathrm{V}$) بر دامنه هارمونیک های ولتاژ در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز برای حالت دوم ۶۳

شکل ۴-۱۴ : اثر تغییر در δ_{sh} (وقتی $\alpha = \beta_{sh} = \pi/12$ و $V_{dc} = 75\ \mathrm{V}$) بر دامنه هارمونیک های ولتاژ در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز برای حالت دوم ۶۳
شکل ۴-۱۵ : اثر تغییر در (الف) β_{sh} (یا α، وقتی $\delta_{sh} = \pi/6$) و (ب) δ_{sh} (وقتی $\alpha = \beta_{sh} = \pi/12$) بر THD ولتاژ خروجی در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز برای حالت دوم..... ۶۴
شکل ۴-۱۶ : اثر تغییر در (الف) β_{sh} (یا α، وقتی $\delta_{sh} = \pi/6$) و (ب) δ_{sh} (وقتی $\alpha = \beta_{sh} = \pi/12$) بر DF ولتاژ خروجی در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز برای حالت دوم..... ۶۴
شکل ۴-۱۷ : الگوی کلیدزنی و ولتاژ خروجی برای اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز وقتی $\beta_{sh} > \alpha$ (حالت سوم) ۶۵
شکل ۴-۱۸ : اثر تغییر در α (وقتی $\beta_{sh} = \pi/6.7648\ (\text{or } 26.61^\circ)$، $\delta_{sh} = \pi/30.2076\ (\text{or } 5.96^\circ)$ و $V_{dc} = 75\ \mathrm{V}$) بر دامنه هارمونیک های ولتاژ در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز برای حالت سوم ۶۷
شکل ۴-۱۹ : اثر تغییر در β_{sh} (وقتی $\alpha = \pi/13.2501\ (\text{or } 13.5852^\circ)$، $\delta_{sh} = \pi/30.2076\ (\text{or } 5.96^\circ)$ و $V_{dc} = 75\ \mathrm{V}$) بر دامنه هارمونیک های ولتاژ در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز برای حالت سوم ۶۷
شکل ۴-۲۰ : اثر تغییر در δ_{sh} (وقتی $\alpha = \pi/13.2501\ (\text{or } 13.5852^\circ)$، $\beta_{sh} = \pi/6.7648\ (\text{or } 26.61^\circ)$ و $V_{dc} = 75\ \mathrm{V}$) بر دامنه هارمونیک های ولتاژ در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز برای حالت سوم ۶۸
شکل ۴-۲۱ : اثر تغییر در (الف) α (وقتی $\beta_{sh} = \pi/6.7648\ (\text{or } 26.61^\circ)$ و $\delta_{sh} = \pi/30.2076\ (\text{or } 5.96^\circ)$)، (ب) β_{sh} (وقتی $\alpha = \pi/13.2501\ (\text{or } 13.5852^\circ)$ و $\delta_{sh} = \pi/30.2076\ (\text{or } 5.96^\circ)$)، و (ج) δ_{sh} (وقتی $\beta_{sh} = \pi/6.7648\ (\text{or } 26.61^\circ)$ و $\beta_{sh} = \pi/6.7648\ (\text{or } 26.61^\circ)$) بر THD ولتاژ خروجی در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز برای حالت سوم ۶۹
شکل ۴-۲۲ : اثر تغییر در (الف) α (وقتی $\beta_{sh} = \pi/6.7648\ (\text{or } 26.61^\circ)$ و $\delta_{sh} = \pi/30.2076\ (\text{or } 5.96^\circ)$)، (ب) β_{sh} (وقتی $\alpha = \pi/13.2501\ (\text{or } 13.5852^\circ)$ و $\delta_{sh} = \pi/30.2076\ (\text{or } 5.96^\circ)$)، و (ج) δ_{sh} (وقتی $\alpha = \pi/13.2501\ (\text{or } 13.5852^\circ)$ و $\beta_{sh} = \pi/6.7648\ (\text{or } 26.61^\circ)$) بر DF ولتاژ خروجی در اینورترهای منبع امپدانس و منبع ولتاژ پل تک فاز برای حالت سوم ۷۰
شکل ۴-۲۳ : ولتاژ خروجی اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز برای حالت اول (وقتی $\alpha = \pi/10\ (\text{or } 18^\circ)$، $\beta_{sh} = \pi/22.5\ (\text{or } 8^\circ)$ و $\delta_{sh} = \pi/12.8571\ (\text{or } 14^\circ)$) ۷۳

شکل ۴-۲۴ : طیف هارمونیکی ولتاژ خروجی اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز برای حالت اول (وقتی $\alpha = \pi/10$ (or 18°)، $\beta_{sh} = \pi/22.5$ (or 8°) و $\delta_{sh} = \pi/12.8571$ (or 14°)) ۷۴
شکل ۴-۲۵ : ولتاژ خروجی اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز برای حالت دوم (وقتی $\alpha = \beta_{sh} = \pi/12$ (or 15°) و $\delta_{sh} = \pi/6$ (or 30°)) ۷۵
شکل ۴-۲۶ : طیف هارمونیکی ولتاژ خروجی اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز برای حالت دوم (وقتی $\alpha = \beta_{sh} = \pi/12$ (or 15°) و $\delta_{sh} = \pi/6$ (or 30°)) ۷۵
شکل ۴-۲۷ : ولتاژ خروجی اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز برای حالت سوم (وقتی $\alpha = 0.2371$ (or 13.5852°)، $\beta_{sh} = 0.4644$ (or 26.61°) و $\delta_{sh} = 0.1040$ (or 5.96°)) ۷۶
شکل ۴-۲۸ : طیف هارمونیکی ولتاژ خروجی اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز برای حالت سوم (وقتی $\alpha = 0.2371$ (or 13.5852°)، $\beta_{sh} = 0.4644$ (or 26.61°) و $\delta_{sh} = 0.1040$ (or 5.96°)) ۷۶
شکل ۵-۱ : ساختار اینورتر منبع امپدانس چندسطحی ۸۱
شکل ۵-۲ : شکل موج نیم سیکل ولتاژ فاز در اینورترهای منبع ولتاژ چندسطحی ۸۲
شکل ۵-۳ : شکل موج های نیم سیکل ولتاژ فاز در اینورتر منبع امپدانس چندسطحی با سه منبع DC، وقتی که زوایای کلیدزنی در نواحی مرزی (الف) B_1 و (ب) $B_{6\text{-}6}$ قرار دارند ۸۴
شکل ۵-۴ : اثر تغییر در α_1 و α_2 $(=\beta_{sh2})$ (وقتی $\beta_{sh1}=15^\circ$ و $\delta_{sh1}=\delta_{sh2}=30^\circ$) بر THD_{int}، THD_{49}، خطا، و $(v_{ot1})_{pk}$ برای یک اینورتر منبع امپدانس چندسطحی با دو منبع DC که پل های اول و دوم آن به ترتیب بر اساس حالت های اول و دوم کنترل می‌شوند ۹۱
شکل ۵-۵ : اثر تغییر در β_{sh1} و β_{sh2} $(=\alpha_2)$ (وقتی $\alpha_1=60^\circ$ و $\delta_{sh1}=\delta_{sh2}=30^\circ$) بر THD_{int}، THD_{49} ، خطا، و $(v_{ot1})_{pk}$ برای یک اینورتر منبع امپدانس چندسطحی با دو منبع DC که پل های اول و دوم آن به ترتیب بر اساس حالت های اول و دوم کنترل می‌شوند ۹۱
شکل ۵-۶ : اثر تغییر در δ_{sh1} و δ_{sh2} (وقتی $\alpha_1=60^\circ$، $\beta_{sh1}=15^\circ$ و $\alpha_2=\beta_{sh2}=15^\circ$) بر THD_{int}، THD_{49}، خطا، و $(v_{ot1})_{pk}$ برای یک اینورتر منبع امپدانس چندسطحی با دو منبع DC که پل های اول و دوم آن به ترتیب بر اساس حالت های اول و دوم کنترل می‌شوند ۹۲
شکل ۵-۷ : اثر تغییر در α_1 و α_2 (وقتی $\beta_{sh1}=15^\circ$، $\beta_{sh2}=60^\circ$ و $\delta_{sh1}=\delta_{sh2}=30^\circ$) بر THD_{int}، THD_{49}، خطا، و $(v_{ot1})_{pk}$ برای یک اینورتر منبع امپدانس چندسطحی با دو منبع DC که پل های اول و دوم آن به ترتیب بر اساس حالت های اول و سوم کنترل می‌شوند ۹۳

شکل ۵-۸: اثر تغییر در β_{sh1} و β_{sh2} (وقتی $\alpha_1 = 60^\circ$، α_2=30° و $\delta_{sh1} = \delta_{sh2} = 30^\circ$) بر THD_{int}، THD_{49}، خطا، و $(v_{ot1})_{pk}$ برای یک اینورتر منبع امپدانس چندسطحی با دو منبع DC که پل های اول و دوم آن به ترتیب بر اساس حالت های اول و سوم کنترل می‌شوند ۹۳
شکل ۵-۹: اثر تغییر در δ_{sh1} و δ_{sh2} (وقتی $\alpha_1 = 60^\circ$، α_2=30°، $\beta_{sh1} = 15^\circ$، و β_{sh2}=45°) بر THD_{int}، THD_{49}، خطا، و $(v_{ot1})_{pk}$ برای یک اینورتر منبع امپدانس چندسطحی با دو منبع DC که پل های اول و دوم آن به ترتیب بر اساس حالت های اول و سوم کنترل می‌شوند ۹۴
شکل ۵-۱۰: اثر تغییر در α_1 (= β_{sh1}) و α_2 (وقتی β_{sh2}=60° و $\delta_{sh1} = \delta_{sh2} = 30^\circ$) بر THD_{int}، THD_{49}، خطا، و $(v_{ot1})_{pk}$ برای یک اینورتر منبع امپدانس چندسطحی با دو منبع DC که پل های اول و دوم آن به ترتیب بر اساس حالت های دوم و سوم کنترل می‌شوند ۹۵
شکل ۵-۱۱: اثر تغییر در β_{sh1} (= α_1) و β_{sh2} (وقتی α_2=30° و $\delta_{sh1} = \delta_{sh2} = 30^\circ$) بر THD_{int}، THD_{49}، خطا، و $(v_{ot1})_{pk}$ برای یک اینورتر منبع امپدانس چندسطحی با دو منبع DC که پل های اول و دوم آن به ترتیب بر اساس حالت های دوم و سوم کنترل می‌شوند ۹۵
شکل ۵-۱۲: اثر تغییر در δ_{sh1} و δ_{sh2} (وقتی $\alpha_1 = \beta_{sh1} = 15^\circ$، α_2=30° و $\beta_{sh2} = 45^\circ$) بر THD_{int}، THD_{49}، خطا، و $(v_{ot1})_{pk}$ برای یک اینورتر منبع امپدانس چندسطحی با دو منبع DC که پل های اول و دوم آن به ترتیب بر اساس حالت های دوم و سوم کنترل می‌شوند ۹۶
شکل ۵-۱۳: شکل موج ولتاژ فاز برای زوایای کلیدزنی‌ای که در جدول ۵-۱ برای B_1 ارائه شده-اند ۹۸
شکل ۵-۱۴: طیف هارمونیکی ولتاژ فاز برای زوایای کلیدزنی‌ای که در جدول ۵-۱ برای B_1 ارائه شده‌اند ۹۹
شکل ۵-۱۵: شکل موج ولتاژ فاز برای زوایای کلیدزنی‌ای که در جدول ۵-۱ برای B_{6-2} ارائه شده‌اند ۱۰۰
شکل ۵-۱۶: طیف هارمونیکی ولتاژ فاز برای زوایای کلیدزنی‌ای که در جدول ۵-۱ برای B_{6-2} ارائه شده‌اند ۱۰۰

فهرست جدول‌ها

جدول ۳-۱ : لیست پارامترهای ثابت و مقادیر آن ها ۳۶
جدول ۳-۲ : حدود بالا و پایین و مقادیر بهینه متغیرهای بهینه سازی ۳۶
جدول ۳-۳ : مشخصه های اینورتر منبع امپدانس بهبود یافته و مقادیر آن ها ۳۷
جدول ۵-۱ : مقایسه بین شیوه های ارائه شده برای محاسبه THD ولتاژ فاز ۹۷

فهرست نشانه‌های اختصاری

ضریب افزایش ولتاژ	B
نسبت هدایت اتصال کوتاه	D
ضریب اعوجاج ولتاژ خروجی	$\mathbf{DF}$
تلفات انرژی مربوط به روشن شدن کلید در حالت اتصال کوتاه	E_{swons}
تلفات انرژی مربوط به خاموش شدن کلید در حالت اتصال کوتاه	E_{swoffs}
تلفات انرژی مربوط به روشن شدن کلید در حالت عدم اتصال کوتاه	E_{swonn}
تلفات انرژی مربوط به خاموش شدن کلید در حالت عدم اتصال کوتاه	E_{swoffn}
گین ولتاژ خروجی	G
جریان ورودی به شبکه امپدانسی	i_{in}
مقدار متوسط جریان ورودی به شبکه امپدانسی	I_{in}
جریان سلف	i_L
مقدار متوسط جریان سلف	I_L
جریان بار	i_l
مقدار متوسط جریان بار	I_l
ریپل جریان ورودی	Δi_{in}
ریپل جریان سلف	Δi_L
مقدار متوسط جریان عبوری از کلید kام	$\bar{i}_{sk}$
مقدار پیک جریان عبوری از کلید kام	$\hat{i}_{sk}$
جریان ورودی به پل سه فاز	i_i
مقدار متوسط جریان عبوری از هر کلید در حین اتصال کوتاه	I_{ss}
مقدار متوسط جریان عبوری از هر کلید در حین عدم اتصال کوتاه	I_{sn}
مقدار متوسط جریان عبوری از هر کلید	I_s
مقدار پیک جریان عبوری از کلید S_{ap} در حالت اتصال کوتاه	$\hat{i}_{Saps}$
مقدار پیک جریان عبوری از کلید S_{ap} در حالت عدم اتصال کوتاه	$\hat{i}_{Sapn}$
دامنه nامین هارمونیک جریان خروجی اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز	$(\hat{i}_{on})_{pk}$

شاخص مدولاسیون	M
توان ورودی اینورتر منبع امپدانس	P_{in}
توان خروجی اینورتر منبع امپدانس	P_o
تلفات کلیدزنی در حالت اتصال کوتاه	P_{sws}
تلفات کلیدزنی در حالت عدم اتصال کوتاه	P_{swn}
تعداد منابع DC بکار رفته در ساختار اینورتر منبع امپدانس چندسطحی	s
استرس ولتاژ روی خازن	S_C
استرس ولتاژ روی قطعات کلیدزنی	S_S
توان قطعات کلیدزنی	SDP
مقدار پیک کل توان قطعات کلیدزنی در حین اتصال کوتاه	$(\hat{SDP})_{ts}$
مقدار پیک کل توان قطعات کلیدزنی در حین عدم اتصال کوتاه	$(\hat{SDP})_{tn}$
مقدار پیک کل توان قطعات کلیدزنی	$(\hat{SDP})_t$
مقدار متوسط کل توان قطعات کلیدزنی	$(\overline{SDP})_t$
نسبت مقدار متوسط کل توان قطعات کلیدزنی به توان خروجی	$(SDPR)_{av}$
نسبت مقدار پیک کل توان قطعات کلیدزنی به توان خروجی	$(SDPR)_{pk}$
نسبت تلفات کلیدزنی در حالت اتصال کوتاه	SLR_s
نسبت تلفات کلیدزنی در حالت عدم اتصال کوتاه	SLR_n
نسبت تلفات کلیدزنی	SLR
کل زمان اتصال کوتاه در یک دوره کلیدزنی	$T_0 = T_{sh}$
کل زمان عدم اتصال کوتاه در یک دوره کلیدزنی	$T_1 = T_{nsh}$
کل زمان یک دوره کلیدزنی	T_{sw}
اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ خروجی	THD
اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ فاز بدست آمده از شیوه تقریبی	THD_{49}
اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ فاز بدست آمده از شیوه انتگرال گیری شکل موج	THD_{int}
ولتاژ منبع DC	V_{dc}
ولتاژ خازن شبکه امپدانسی	V_C
ولتاژ سلف شبکه امپدانسی	v_L

مقدار متوسط ولتاژ سلف شبکه امپدانسی	V_L
ولتاژ خروجی شبکه امپدانسی	v_i
مقدار متوسط ولتاژ خروجی شبکه امپدانسی	V_i
خطوط مستقیم استفاده شده در کلیدزنی	V_p
مقدار پیک سیگنال حامل مثلثی	V_{ca}
ریپل ولتاژ خازن شبکه امپدانسی	ΔV_C
مقدار پیک ولتاژ قرار گرفته بر روی کلید kام	$\hat{v}_{sk}$
دامنه nامین هارمونیک ولتاژ خروجی اینورتر منبع امپدانس پل تک فاز	$(v_{on})_{pk}$
دامنه nامین هارمونیک ولتاژ خروجی اینورتر منبع ولتاژ پل تک فاز	$(v_{on})_{pk-trad}$
ولتاژ فاز اینورتر منبع امپدانس چندسطحی	v_{ot}
دامنه nامین هارمونیک ولتاژ فاز اینورتر منبع امپدانس چندسطحی	$(v_{otn})_{pk}$
مقدار عقب ماندگی جریان فاز a از ولتاژش	φ