

صلى الله عليه وسلم



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه قدرت

طراحی و شبیه سازی مبدل های مورد نیاز در ترانسفورماتور های هوشمند

دانشجو : سید حامد سیف الله پور لداری

استاد راهنما :

دکتر علی دستفان

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۲

تقدیر و تشکر:

حمد و سپاس خداوند بزرگ را که توفیق کسب علم و دانش را به ما اعطا نموده است. اکنون که به یاری خداوند در این موقعیت قرار گرفته‌ام برخود لازم می‌دانم از تمامی عزیزانی که در این پایان نامه از راهنماییها و مساعدتهای ایشان بهره برده‌ام، قدردانی نمایم.

سپاس فروان از زحمات بی دریغ کلیه اساتید گرانقدرم که در تمام مراحل همواره پشتیبان بنده بوده‌اند. به ویژه استاد عزیز و ارجمندم جناب آقای دکتر علی دستفان کمال تقدیر و تشکر را دارم.

سپاس ویژه از دو ستاره همیشه جاودان و درخشان زندگی‌ام پدر و مادرم که همیشه من را در شرایط دشوار زندگی‌ام یاری نموده‌اند. هر چند این سپاس نمی‌تواند حتی ذره‌ای از محبتهای آنها را جبران کند.

چکیده:

امروزه با گسترش شبکه های هوشمند و بحث تنظیم دقیق و هوشمند ولتاژ در این شبکه ها، استفاده از ترانسفورماتورهای هوشمند با تپ چنجرهای مناسب را ضروری می سازد. مسلماً در این ترانسفورماتورها قادر به استفاده از تپ چنجرهای مکانیکی مرسوم نیستیم. به دلیل مشکلات تپ چنجرهای مکانیکی از جمله کندی ذاتی، دقت پایین و داشتن هزینه نگه داری و تعمیرات بالای آنها، از اینرو تپ چنجرهای مبتنی بر کلیدهای قدرت پیشنهاد می شود، که البته کنترل این کلیدها نیاز به طراحی یک کنترلر سریع، دقیق و هوشمند دارد.

بنابراین در این پایان نامه طراحی یک تپ چنجر پایه IGBT و چگونگی کنترل آن مورد بررسی قرار می گیرد. ابتدا یک ترانسفورماتور توزیع که به صورت سه سیم پیچه سیم بندی شده انتخاب می شود، سپس برای تغییر تپ آن از یک برشگر AC استفاده می شود، عناصر کلیدی یک تپ چنجر پایه IGBT همراه با فیلتر به تفصیل معرفی، طراحی و محاسبه می شوند، سپس براساس مقادیر این عناصر از طریق روش مدل میانگین یک کنترلر مناسب، دقیق و سریع طراحی و در سیستم به کار برده می شود. شبیه سازی های انجام شده تنظیم دقیق و سریع ولتاژ خروجی و عملکرد خوب تپ چنجر با توجه به تغییرات بار و ولتاژ ورودی شبکه را نشان می دهد.

کلمات کلیدی:

تپ چنجر، IGBT، تریستور، کنترلر، روش مدل میانگین، ترانسفورماتور، فیلتر، کلید زنی، کلید قدرت

فهرست مطالب

۱- مقدمه.....	۱
۲- سیستمهای تغیردهنده تپ.....	۵
۱-۲ مقدمه.....	۶
۲-۲ تپ چنجر زیر بار.....	۸
۱-۲-۲ تپ چنجرهای زیر بار راکتوری.....	۹
۲-۲-۲ تپ چنجر زیر بار مقاومتی.....	۱۲
۳-۲ محدودیت ها تپ چنجرهای زیر بار مکانیکی.....	۱۵
۴-۲ تپ چنجرهای زیر بار هیبریدی.....	۱۸
۵-۲ تپ چنجرهای تمام الکترونیکی.....	۳۳
۳- تپ چنجر پایه IGBT.....	۴۵
۱-۳ معرفی تپ چنجر پایه IGBT.....	۴۶
۲-۳ مقایسه تپ چنجرهای پایه IGBT و پایه ترستوری.....	۴۶
۳-۳ پیاده سازی برشگر AC.....	۴۷
۴-۳ عناصر کلیدی تپ چنجر IGBT.....	۵۰
۱-۴-۳ کلیدهای دو جهته.....	۵۱
۲-۴-۳ عناصر فیلتر.....	۵۲

۵۳	..... ۳-۴-۳ خازن اسنابر
۵۴	..... ۳-۴-۴ ترانسفورماتور
۵۵	..... ۳-۵ رویه کلید زنی
۵۸	..... ۳-۶ روش کنترلی
۵۹	..... ۳-۷ تحلیل جزئیات مبدل
۶۰	..... ۳-۷-۱ تجزیه و تحلیل برای جریان سلفی مثبت
۶۵	..... ۳-۷-۲ تجزیه و تحلیل برای جریان سلفی منفی
۶۹	..... ۳-۸ محاسبه اندوکتانس نشستی سیم پیچ تپ ترانسفورماتور
۷۱	..... ۳-۹ طراحی و محاسبه عناصر فیلتر
۷۵	..... ۳-۱۰ طراحی و محاسبه خازن اسنابر
۸۱	..... ۴- طراحی کنترلر مورد نیاز مبدل
۸۲	..... ۴-۱ طراحی کنترلر ولتاژ
۸۳	..... ۴-۱-۱ بدست آوردن تابع تبدیل
۸۸	..... ۴-۱-۲ طراحی جبران ساز
۹۳	..... ۵- شبیه سازی و نتایج
۹۵	..... ۵-۱-۱ شبیه سازی رویه کلید زنی
۹۶	..... ۵-۱-۲ نتایج شبیه سازی برای مقدار $V_{ref} = 220v$
۹۸	..... ۵-۱-۳ نتایج شبیه سازی برای مقدار $V_{ref} = 226v$

- ۴-۱-۵ نتایج شبیه سازی برای مقدار $V_{ref}=214v$ ۱۰۱
- ۵-۱-۵ نتایج شبیه سازی برای مقدار $V_{ref}=220v$ به همراه تغییر ناگهانی بار..... ۱۰۳
- ۱-۵-۱-۵ تغییر ناگهانی بار از ۳۰ کیلو ولت آمپر به ۶۰ کیلو ولت آمپر..... ۱۰۳
- ۲-۵-۱-۵ تغییر ناگهانی بار از ۶۰ کیلو ولت آمپر به ۳۰ کیلو ولت آمپر..... ۱۰۵
- ۶-۱-۵ نتایج شبیه سازی برای مقدار $V_{ref}=220v$ برای تغییر ناگهانی ولتاژ سمت اولیه ترانسفورماتور..... ۱۰۷
- ۱-۶-۱-۵ تغییر ناگهانی ولتاژ سمت اولیه ترانسفورماتور از 20KV به 21KV..... ۱۰۷
- ۲-۶-۱-۵ تغییر ناگهانی ولتاژ سمت اولیه ترانسفورماتور از 20KV به 19KV..... ۱۰۹
- ۷-۱-۵ تحلیل هارمونیک سیستم..... ۱۱۱
- ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۱۱۵
- مراجع..... ۱۱۸

فهرست شکلها

- شکل ۱-۲ ساختار یک تپ چنجر بدون بار [۶]..... ۷
- شکل ۲-۲ ساده ترین شکل یک تپ چنجر زیر بار راکتوری [2] ۱۰
- شکل ۳-۲ تپ چنجر زیر بار راکتوری با دو کلید زیر بار [۲] ۱۲
- شکل ۴-۲ چیدمانهای مختلف کلیدهای تپ چنجر مقاومتی [۱۱]..... ۱۴
- شکل ۵-۲ مراحل تغییر تپ از تپ شماره ۱ به تپ شماره ۲ در چیدمان (شکل ۴-۲ الف) [۱۱]..... ۱۴
- شکل ۶-۲ مراحل تغییر تپ در (شکل ۴-۲ د) [۲] ۱۶
- شکل ۷-۲ ساختارهای مختلف برای کلیدهای سلکتوری در تپ چنجر زیر بار مقاومتی [۱۰]..... ۱۶
- شکل ۸-۲ اولین مدار پیشنهادی برای تپ چنجر هیبریدی [۱۷]..... ۱۹
- شکل ۹-۲ ساختار تپ چنجر هیبریدی [۱۸]..... ۲۱
- شکل ۱۰-۲ موقعیت کنتاکتها در تپ چنجر پیشنهادی شکل ۹-۲..... ۲۱
- شکل ۱۱-۲ تپ چنجر هیبریدی جایگزین [۱۹]..... ۲۴
- شکل ۱۲-۲ اتصال جفت تریستورها به کلیدهای مکانیکی برای ترمینال AB [۱۹]..... ۲۴
- شکل ۱۳-۲ ساختار کامل تپ چنجر با دو جفت تریستور کمکی [۱۹]..... ۲۸
- شکل ۱۴-۲ پیکره بندی یک تپ چنجر هیبریدی [۲۰]..... ۲۸
- شکل ۱۵-۲ یک تپ چنجر هیبریدی دیگر ۳۱
- شکل ۱۶-۲ مراحل تغییر تپ در تپ چنجر هیبریدی شکل ۱۵-۲ [۱۳]..... ۳۲
- شکل ۱۷-۲ ساختار یک تپ چنجر پایه تریستوری با امپدانس گذر دهنده [۲۴] ۳۶
- شکل ۱۸-۲ یک تپ چنجر پایه تریستوری بدون مقاومت گذر دهنده [۲۴]..... ۳۷

شکل ۱۹-۲ مدل مداری برای ثانویه ترانسفورماتور (شکل ۲-۱۸) [۲۴]..... ۳۷

شکل ۲۰-۲ کموتاسیون جریان کلیدها در طی تغییر تپ A به B با در نظر گرفتن اندوکتانس نشتی [۲۴]..... ۳۸

شکل ۲۱-۲ فواصل زمانی کلید زنی مجاز برای عدم وجود جریان گردش الف) ضریب قدرت سلفی ب) ضریب قدرت خازنی [۲۴]..... ۳۹

شکل ۲۲-۲ یک ساختار تپ چنجر پایه تریستوری برای کاهش ولتاژ کلیدها [۲۴]..... ۴۱

شکل ۲۳-۲ یک ساختار تپ چنجر پایه تریستوری جهت کاهش تعداد کلیدها و تپها [۲۴]..... ۴۲

شکل ۱-۳ شکل مداری برشگر AC [۲۷]..... ۴۸

شکل ۲-۳ شکل مداری که نشان می دهد که چگونه یگ برشگر AC بر روی یک ترانسفورماتور نصب میشود الف) برشگر AC به صورت مستقیم به ترمینالهای منبع وصل شده ب) برشگر AC بین ورودی و تپ خروجی ترانسفورماتور وصل شده است [۲۶]..... ۴۹

شکل ۳-۳ شکل مداری تمام عناصر استفاده شده در یک تپ چنجر پایه IGBT..... ۵۰

شکل ۴-۳ پخش جریان در کلیدهای دوجته الف) IGBTهای T_1 و T_2 جریان خروجی مثبت را هدایت میکنند ب) IGBTهای T_1 و T_2 جریان خروجی منفی را هدایت میکنند ج) IGBTهای T_3 و T_4 جریان خروجی مثبت را هدایت میکنند د) IGBTهای T_3 و T_4 جریان خروجی منفی را هدایت میکنند [۲۶]..... ۵۲

شکل ۵-۳ مسیر ریپل جریان عبوری از سلف L_0 الف) ریپل جریان عبوری از کلیدهای دوجته بالای ب) ریپل جریان عبوری از کلیدهای دوجته پایینی [۲۶]..... ۵۳

شکل ۶-۳ مسیر ریپل جریان برای هر دو شرایط الف) جریان سلفی مثبت ب) جریان سلفی منفی [۲۶]..... ۵۴

استفاده از کلیدهای معکوس کننده به سیم پیچی سری اجازه میدهد هم به صورت کاهنده و هم به صورت افزایشنده ، بسته به اتصالات وصل شود. اتصال ولتاژ ثانویه v_2 به ترمینال پایینی سیم پیچ ثالثیه ترانسفورماتور را به صورت افزایشنده پیکره بنده میکند. این پیکره بندی در شکل ۳-۷ الف آمده است. اتصال ولتاژ ثانویه v_2 به ترمینال بالایی سیم پیچ ثالثیه ترانسفورماتور را به صورت کاهنده پیکره بنده میکند. این پیکره بندی در شکل

۷-۳ ب آمده است. شکل ۷-۳ پیکره بندیهای ترانسفورماتور الف) پیکره بندی افزاینده ب) پیکره بندی کاهنده
۵۴.....

شکل ۸-۳ سیگنالهای گیت برای کلیدهای دوجهته بالایی و پایینی با T_s بعنوان پریود فرکانس کلید زنی الف) چرخه کاری ۱۰ درصد ب) چرخه کاری ۵۰ درصد ج) چرخه کاری ۹۰ درصد [۲۶].....
۵۶.....

شکل ۹-۳ رویه کلید زنی برشگر AC مورد استفاده تپ چنجر پایه IGBT [28].....
۵۷.....

شکل ۱۰-۳ شکل موجهای بدون فیلتر مورد انتظار که توسط رویه کلید زنی تولید میشوند الف) ولتاژ خروجی بدون فیلتر اندازه گرفته شده بین IGBT های T_2 و T_3 الف) جریان سلفی i_{Lo} [28].....
۵۸.....

شکل ۱۱-۳ طرح نمادین کنترلر فیدبک مورد استفاده در تپ چنجر.....
۵۸.....

شکل ۱۲-۳ نقطه زمانی که تحلیل برای ولتاژ تپ در آن انجام میشود [۲۶].....
۶۰.....

شکل ۱۳-۳ نقطه زمانی که تحلیل برای جریان خروجی در آن انجام میشود [۲۶].....
۶۱.....

شکل ۱۴-۳ ولتاژ و جریان تمام IGBT ها و دیودها به همراه سیگنالهای گیت برای IGBT ها در یک پریود کلید زنی [۲۶].....
۶۳.....

شکل ۱۵-۳ نمودارهای که جاری شدن جریان سلف مثبت را در تپ چنجر پایه IGBT نشان میدهند الف) T_2 روشن میشود و T_2 و D_1 جریان سلف را هدایت میکنند ب) هر دو کلیدهای T_2 و T_3 خاموش میشوند و جریان سلفی دو بخشی بین T_2, T_4, D_1 و D_3 ج) T_3 روش میشود و T_4 و D_3 جریان سلفی را هدایت میکنند [۲۶].....
۶۴.....

شکل ۱۶-۳ نقطه زمانی که تحلیل برای ولتاژ تپ و جریان خروجی در آن انجام میشود [۲۶].....
۶۶.....

شکل ۱۷-۳ ولتاژ و جریان تمام IGBT ها و دیودها به همراه سیگنالهای گیت برای IGBT ها در یک پریود کلید زنی [۲۶].....
۶۷.....

شکل ۱۸-۳ نمودارهای که جاری شدن جریان سلف منفی را در تپ چنجر پایه IGBT نشان میدهند الف) T_2 روشن میشود و T_1 و D_2 جریان سلف را هدایت میکنند ب) هر دو کلیدهای T_2 و T_3 خاموش میشوند و جریان سلفی دو بخشی بین T_1, T_3, D_2 و D_4 ج) T_3 روش میشود و T_3 و D_4 جریان سلفی را هدایت میکنند [۲۶].....
۶۸.....

- ۶۸.....میکنند [۲۶]
- شکل ۱۹-۳ عناصر فیلتر که شامل خازن های C_1 و C_2 و سلف خروجی L_0 [۲۸]..... ۷۲
- شکل ۲۰-۳ مدل های فیلتر ساده شده الف) مدل فیلتر ساده شده با I_1 که هدایت میکند و I_2 مدار باز است ب) مدل فیلتر ساده شده با I_2 که هدایت میکند و I_1 مدار باز است [۲۶]..... ۷۳
- شکل ۲۱-۳ شکل موجهای جریان مورد استفاده جهت نشان دادن مبع جریان I_1 و I_2 با توجه به جریان خروجی I_0 [26]..... ۷۳
- شکل ۲۲-۳ مسیر جریان سلفی الف) جریان سلفی مثبت ب) جریان سلفی منفی [۲۶]..... ۷۶
- شکل ۲۳-۳ الف) شکل موج ولتاژ و جریان برای خازن اسنایپر ب) سیگنالهای گیت IGBT [26]..... ۷۷
- شکل ۱-۴ طرح نمادین کنترلر فیدبک..... ۸۲
- شکل ۲-۴ مدار معادل برای زمان روشن شدن T_2 و خاموش بودن T_3 ۸۳
- شکل ۳-۴ مدار معادل برای زمان روشن شدن T_3 و خاموش بودن T_2 ۸۴
- شکل ۴-۴ مکان ریشه تابع تبدیل بدون کنترلر ۳۲۷۰..... ۹۰
- شکل ۵-۴ شکل پاسخ پله حلقه بسته تابع تبدیل بدون کنترلر..... ۹۰
- شکل ۶-۴ دیاگرام بد حلقه بسته تابع تبدیل بدون کنترلر..... ۹۱
- شکل ۷-۴ مکان ریشه تابع تبدیل با کنترلر..... ۹۱
- شکل ۸-۴ پاسخ پله حلقه بسته تابع تبدیل با کنترلر شکل ۹-۴ دیاگرام بد حلقه بسته تابع تبدیل با کنترلر... ۹۲
- شکل ۱-۵ شبیه سازی مدار تپ چنجر در محیط سیمولینک..... ۹۴
- شکل ۲-۵ شبیه سازی رویه کلید زنی..... ۹۵
- شکل ۳-۵ رویه کلید زنی و زمان مرده به میزان ۱ میکرو ثانیه بین IGBT های T_1 و T_4 ۹۶
- شکل ۴-۵ مقدار RMS ولتاژ بار برای ولتاژ مرجع ۲۲۰ ولت..... ۹۶
- شکل ۵-۵ شکل موج جریان ورودی برای ولتاژ مرجع ۲۲۰ ولت..... ۹۷

- شکل ۵-۶ شکل موج جریان سلف فیلتر خروجی برای ولتاژ مرجع ۲۲۰ ولت..... ۹۷
- شکل ۵-۷ شکل موج جریان بار برای ولتاژ مرجع ۲۲۰ ولت..... ۹۸
- شکل ۵-۸ شکل موج ولتاژ بار برای ولتاژ مرجع ۲۲۰ ولت..... ۹۸
- شکل ۵-۹ مقدار RMS ولتاژ بار برای ولتاژ مرجع ۲۲۶ ولت..... ۹۹
- شکل ۵-۱۰ شکل موج جریان ورودی برای ولتاژ مرجع ۲۲۶ ولت..... ۹۹
- شکل ۵-۱۱ شکل موج جریان سلف فیلتر خروجی برای ولتاژ مرجع ۲۲۶ ولت..... ۱۰۰
- شکل ۵-۱۲ شکل موج جریان بار برای ولتاژ مرجع ۲۲۶ ولت..... ۱۰۰
- شکل ۵-۱۳ شکل موج ولتاژ بار برای ولتاژ مرجع ۲۲۶ ولت..... ۱۰۰
- شکل ۵-۱۴ مقدار RMS ولتاژ بار برای ولتاژ مرجع ۲۱۴ ولت..... ۱۰۱
- شکل ۵-۱۵ شکل موج جریان ورودی برای ولتاژ مرجع ۲۱۴ ولت..... ۱۰۲
- شکل ۵-۱۶ شکل موج جریان سلف فیلتر خروجی برای ولتاژ مرجع ۲۱۴ ولت..... ۱۰۲
- شکل ۵-۱۷ شکل موج جریان بار برای ولتاژ مرجع ۲۱۴ ولت..... ۱۰۲
- شکل ۵-۱۸ شکل موج ولتاژ بار برای ولتاژ مرجع ۲۱۴ ولت..... ۱۰۳
- شکل ۵-۱۹ تغییرات ولتاژ RMS بار برای تغییر ناگهانی بار از 30KVA به 60KVA در ثانیه 15..... ۱۰۳
- شکل ۵-۲۰ تغییرات جریان ورودی برای تغییر ناگهانی بار از 30KVA به 60KVA در ثانیه 15..... ۱۰۴
- شکل ۵-۲۱ تغییرات جریان بار برای تغییر ناگهانی بار از 30KVA به 60KVA در ثانیه 15..... ۱۰۴
- شکل ۵-۲۲ تغییرات ولتاژ با تغییر ناگهانی بار از 30KVA به 60KVA در ثانیه 15..... ۱۰۵
- شکل ۵-۲۳ تغییرات ولتاژ RMS بار برای تغییر ناگهانی بار از 60KVA به 30KVA در ثانیه 15..... ۱۰۵
- شکل ۵-۲۴ تغییرات جریان ورودی برای تغییر ناگهانی بار از 60KVA به 30KVA در ثانیه 15..... ۱۰۶
- شکل ۵-۲۵ تغییرات جریان بار برای تغییر ناگهانی بار از 60KVA به 30KVA در ثانیه 15..... ۱۰۶
- شکل ۵-۲۶ ولتاژ بار برای تغییر ناگهانی بار از 60KVA به 30KVA در ثانیه 15..... ۱۰۶

- شکل ۲۷-۵ تغییرات ولتاژ RMS بار برای تغییر ناگهانی ولتاژ اولیه از 20KV به 21KV در ثانیه 15 ۱۰۷
- شکل ۲۸-۵ تغییرات جریان ورودی برای تغییر ناگهانی ولتاژ اولیه از 20KV به 21KV در ثانیه 15 ۱۰۸
- شکل ۲۹-۵ تغییرات جریان بار برای تغییر ناگهانی ولتاژ اولیه از 20KV به 21KV در ثانیه 15 ۱۰۸
- شکل ۳۰-۵ تغییرات ولتاژ بار برای تغییر ناگهانی ولتاژ اولیه از 20KV به 21KV در ثانیه 15 ۱۰۹
- شکل ۳۱-۵ تغییرات ولتاژ RMS بار برای تغییر ناگهانی ولتاژ اولیه از 20KV به 19KV در ثانیه 15 ۱۰۹
- شکل ۳۲-۵ تغییرات جریان ورودی برای تغییر ناگهانی ولتاژ اولیه از 20KV به 19KV در ثانیه 15 ۱۱۰
- شکل ۳۳-۵ تغییرات جریان بار برای تغییر ناگهانی ولتاژ اولیه از 20KV به 19KV در ثانیه 15 ۱۱۰
- شکل ۳۴-۵ تغییرات ولتاژ بار برای تغییر ناگهانی ولتاژ اولیه از 20KV به 19KV در ثانیه 15 ۱۱۱
- شکل ۳۵-۵ تحلیل هارمونیکي جریان ورودی برای ولتاژ مرجع ۲۲۰ ولت ۱۱۱
- شکل ۳۶-۵ تحلیل هارمونیکي جریان بار برای ولتاژ مرجع ۲۲۰ ولت ۱۱۲
- شکل ۳۷-۵ تحلیل هارمونیکي ولتاژ ورودی برای ولتاژ مرجع ۲۲۰ ولت ۱۱۳
- شکل ۳۸-۵ تحلیل هارمونیکي ولتاژ بار برای ولتاژ مرجع ۲۲۰ ولت ۱۱۳

فهرست جداول

جدول ۱-۲	مراحل تغییر تپ در تپ چنجر (شکل ۱-۲)	۱۱
جدول ۲-۲	مراحل تغییر تپ در شکل ۱۱-۲	۲۷
جدول ۱-۳	مشخصات بهره برداری جهت تپ چنجر پایه IGBT	۵۹

١ - مقدمه

تنظیم ولتاژ^۱ در شبکه های توزیع از دیرباز توسط تپ چنجرهای مکانیکی^۲ صورت می گرفت. هرچند این تپ چنجرها به علت جرقه^۳ زدن های بسیار در هنگام کلید زنی^۴ که هم کنتاکتها^۵ و هم روغن ترانسفورماتور را فرسوده می کند، هزینه های نگه داری بالا را تحمیل می کنند. پیشرفت های عظیمی که در طول دهه های اخیر در زمینه فن آوری نیم هادی^۶ حاصل شده است، منجر به توسعه IGBT های توان بالا^۷ شده است. این IGBT های توان بالا قادر به هدایت جریان تا ۱۰۰۰ آمپر و تحمل ولتاژ تا ۳۰۰۰ ولت هستند. استفاده از این IGBT های توان بالا جهت طراحی و ساخت تپ چنجر^۸ به تپ چنجر اجازه تنظیم ولتاژ خروجی با دقت و سرعت بالا می دهد، همچنین امروزه با پیشرفت شبکه های هوشمند^۹ و استفاده از ترانسفورماتور هوشمند به عنوان جزئی از این شبکه و پستهای هوشمند MV/LV^{۱۰} که در آنها تنظیم ولتاژ و کیفیت توان^{۱۱} جهت رضایتمندی مشتریها بسیار مهم است، استفاده از مبدلها الکترونیک قدرتی^{۱۲} جهت تنظیم ولتاژ بیش از پیش اهمیت پیدا خواهد کرد، در این نوشتار در فصل اول راجع به سیستمهای تغییر دهنده تپ اعم از تپ چنجرهای مکانیکی، هیبریدی و تپ چنجرهای مبتنی بر کلید های الکترونیک قدرت و مزایا و معایب این تپ چنجرها بحث می شود و سپس در فصل سوم در مورد تپ چنجر پایه IGBT مورد نظر برای ترانسفورماتور توزیع^{۱۳} 11.3/0.22 KV به صورت مفصل و تکمیلی بحث خواهد شد و مقادیر عناصر کلیدی مورد نیاز این تپ چنجر

1 - Voltage Regulation

2 - Mechanical tap changer

3 - Arc

4 - Switching

5 - Contact

6 - Semiconductor

7 - High power IGBT

8 - Solid-state tap changer

9 - Smart grid

10 - Smart MV/LV substation

11 - Power quality

12 - Power electronic

13 - Distribution transformer

محاسبه می‌شود. در فصل چهارم یک روش کنترلی مبتنی بر روش مدل میانگین¹ پیشنهاد خواهد شد، که تابع تبدیل و طراحی جبران‌ساز مورد نیاز جهت کنترل آن بحث خواهد شد و در فصل پنجم نتایج شبیه سازی تپ چنجر پایه IGBT ارائه می‌شود و نسبت به تغییرات ولتاژ شبکه و تغییرات بار تست می‌شود، در فصل ششم و پایانی به نتیجه‌گیری و پیشنهادات پرداخته می‌شود.

¹ - Average model

۲ – سیستمهای تغییر دهنده تپ

(Tap changing systems)

۱-۲ مقدمه

تپ^۱ نوعی اتصال در ترانسفورماتورهای توزیع می باشد که در آن خروجی از یک گره که ما بین دو ابتدا و انتهای یک سیم پیچ قرار دارد، بیرون کشیده شده است [۱]. این موضوع اجازه تغییرات در ولتاژ، جریان یا نسبت دور ترانسفورماتور بعد از ساخت ترانسفورماتور را می دهد. دلایل داشتن تپ ها در ترانسفورماتورها به شرح زیر است [۲].

الف. جهت ثابت نگه داشتن ولتاژ ثانویه در مقابل تغییرات ولتاژ اولیه

ب. جهت تغییر ولتاژ ثانویه

ج. به منظور ارائه یک ولتاژ ثانویه کمکی برای یک کاربرد خاص مانند روشنایی.

د. جهت کاهش ولتاژ برای استارت موتورهای الکتریکی

ه. به منظور ارائه یک نقطه خنثی جهت زمین کردن یا هدایت جریان نامتعادل در مدارهای تک فاز سه سیمه یا مدارات سه فاز چهار سیمه

در ترانسفورماتورهایی که در سیستم قدرت استفاده می شوند، دلیل اصلی برای کاربرد تپ ها ، تنظیم و کنترل ولتاژ است [۳].

نوسانات بار، ولتاژ سیستم قدرت را تغییر می دهد. این نکته هم ذکر شود که گاهی اوقات تپ ها در ترانسفورماتورهای قدرت جهت تغییر زاویه فاز استفاده می شوند [۴, ۵].

^۱ - Tap

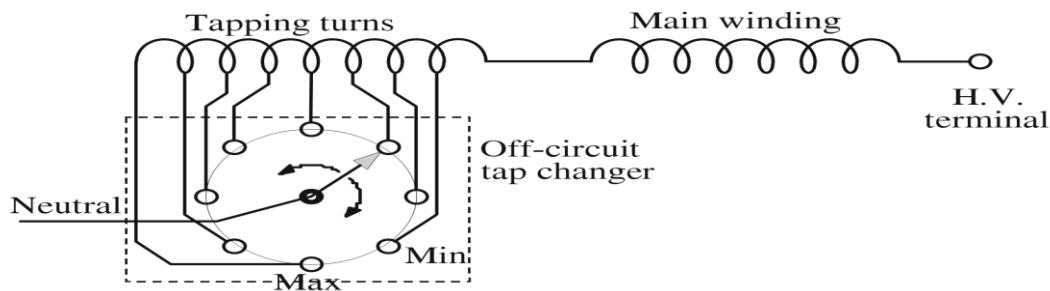
تپ چنجرها^۱ در دو گروه اصلی دسته بندی می‌شوند.

الف. خارج از مدار^۲ یا تپ چنجرهای بدون بار^۳

ب. تپ چنجرهای زیر بار^۴

تپ چنجرها با قابلیت تغییر تپ ها ، زمانی که توان الکتریکی وصل است، تپ چنجر زیر بار نامیده می‌شوند. اگر یک تپ چنجر طوری ساخته بشود، که برای عمل کردن نیاز به این دارد که از خطوط قدرت جدا شود، این تپ چنجر تپ چنجر بدون بار نامیده می‌شود.

اگر نیاز باشد که نسبت دورهای ترانسفورماتور در فاصله های زمانی طولانی تغییر کند (به طور مثل به صورت فصلی)، تپ چنجر بدون بار استفاده می‌شود. معمولا در تپ چنجرهای بدون بار تپ ها بصورت دستی به وسیله سلکتور^۵ بیرون مخزن ترانسفورماتور تغییر می‌کنند. این سلکتورها ممکن است به صورت خطی یا دایره ای حرکت کنند [۲]. شکل ۱-۲ ساختار یک تپ چنجر بدون بار با یک سلکتور دایره ای را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲: ساختار یک تپ چنجر بدون بار [۶]

-
- 1 - Tap-changers
 - 2 - Off-circuit
 - 3 - no-load tap-changers
 - 4 - Under-load tap-changers
 - 5 - Selector