





دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی برق و ریاضیات

گروه قدرت

تخصیص نقاط اتصال منابع فلیکس در یک سیستم قدرت

دانشجو:

جلال خداپرست قادی کلایی

استاد راهنما:

دکتر علی دستفان

استاد مشاور:

دکتر هادی گرایلو

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۰

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای رابی ساکرم که از روی کرم پدر و مادری فدکار نصیم ساخته تاد سایه
درخت پر بار و جودشان بیایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه و جودشان
در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

والدینی که بودشان تاج افتخاری است بر سرم و نشان دلیلی است بر بودنم چرا
که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند وستم را گرفتند و راه رفتن
را داد این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند
حال این برگ سبزی است تنه دوش تقدیم آنان...

و تقدیم به خواهر عزیزم سارینا

تشکر و قدردانی

از زحمات استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر علی دستفان که در تهیه این پایان نامه مرا یاری نمودند و در تمامی مراحل مرا از راهنمایی های خردمندانه خویش بهره مند ساختند کمال تشکر و قدر دانی نمایم. همچنین از جناب آقای دکتر هادی گرایلو نیز به دلیل راهنماییهای بسیار خوبشان کمال تشکر را دارم. امیدوارم همیشه در پناه لطف خدای متعال، موفق و پیروز باشند.

چکیده

در سال های اخیر، با زیاد شدن بار های غیر خطی در شبکه قدرت، بحث کیفیت توان هم برای مصرف کننده و هم برای تولید کننده از اهمیت خاصی برخوردار شد. یکی از مهم ترین پدیده های کیفیت توان، فلیکر است. به جهت رقابتی که در بازار برق وجود دارد، حذف یا کاهش اثرات منفی فلیکر ضروری است. هسته اصلی تحلیل و بررسی فلیکر، دنبال سازی پوش ولتاژ است. در این پایان نامه، چهار روش بر پایه تبدیل $d-q$ برای دنبال سازی همه مولفه های فلیکری موجود در پوش ارائه شده است (روش جدید بر پایه تبدیل $d-q$ ، روش مربعی بهبود یافته، روش یکسو کننده نیم موج بهبود یافته، روش شیفت فاز بهبود یافته). روش های پیشنهادی قادر به دنبال سازی بیش از یک مولفه فلیکری در پوش ولتاژ می باشند.

شناسایی منابع فلیکر یک بخش مهم در مسائل جبران سازی است. روش های زیادی در مقالات مختلف برای شناسایی منبع فلیکر ارائه شده است از جمله توان فلیکر و شبکه عصبی. اما مساله وجود چندین منبع فلیکر به طور هم زمان با استفاده از شبکه عصبی تا کنون بررسی نشده است. در این پایان نامه از روش یکسو کننده نیم موج بهبود یافته برای استخراج دامنه و فاز مولفه های فلیکری استفاده شده و سپس سه روش مختلف برای شناسایی چندین منبع فلیکر در یک سیستم قدرت پیشنهاد داده شده است. در روش پیشنهادی اول، اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان مولفه های فلیکری به عنوان شاخص تشخیص منابع فلیکر در نظر گرفته شده است و با استفاده از جهت شارش توان فرکانس اصلی در خطوط مورد نظر به عنوان مرجع، و جهت توان فلیکر، منابع فلیکر به درستی شناسایی شدند. در روش پیشنهادی دوم، دامنه مولفه های فلیکری به عنوان شاخص تشخیص منابع در نظر گرفته شده و بزرگترین دامنه، محل نصب بار فلیکر را نشان می دهد. در روش سوم به منظور کاهش دستگاه های اندازه گیری، از دامنه مولفه های فلیکری و شبکه عصبی باهم استفاده شده است.

عملکرد تبدیل $d-q$ در دنبال سازی مولفه های فلیکری با استفاده از سیگنال های مصنوعی تولید شده در MATLAB بررسی شد و علاوه بر این، سه روش پیشنهادی برای تشخیص منابع فلیکر را بر روی یک شبکه قدرت شش باسه مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج شبیه سازی ها نشان می دهد که با استفاده از روش های پیشنهادی می توان همه بار های فلیکرها را به درستی شناسایی کرد.

کلید واژه: الگوریتم $d-q$ ، توان فلیکر، شبکه عصبی، کیفیت توان، منابع فلیکر، مولفه های فلیکری.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه.....	۰
۱-۱- کیفیت توان	۱
۲-۱- محل اتصال منبع فلیکر	۳
۳-۱- ساختار کلی پایان نامه	۴
فصل دوم: بارضربه ای و نوسان ولتاژ.....	۵
۱-۲- مقدمه	۶
۲-۲- بار های ضربه ای	۶
۳-۲- نوسان ولتاژ	۹
۱-۳-۲- محاسبه فلیکر	۱۲
۴-۲- روش های جبران	۱۶
۱-۴-۲- استفاده از ادوات custom power در سیستم توزیع	۱۷
۵-۲- خلاصه	۱۸

فصل سوم: دنبال کردن پوش و تشخیص منابع فلیکر..... ۱۹

۱-۳- مقدمه ۲۰

۲-۳- سیستم مانیتورینگ توزیع شده بهبود یافته..... ۲۲

۳-۳- روش شیب ولتاژ- جریان و توان فلیکر..... ۲۴

۱-۳-۳- مدولاسیون دامنه ۳۲

۲-۳-۳- محاسبه توان فلیکر..... ۳۵

۴-۳- خلاصه ۳۸

فصل چهارم: روش های پیشنهادی برای تشخیص چند منبع فلیکر در یک شبکه قدرت..... ۳۹

۱-۴- مقدمه ۴۰

۲-۴- دنبال سازی مولفه های فلیکری موجود در پوش..... ۴۳

۱-۲-۴- الگوریتم پیشنهادی برای شناسایی فرکانس مولفه های فلیکری موجود در پوش..... ۴۳

۲-۲-۴- روش پیشنهادی اول جهت دنبال سازی مولفه های فلیکری..... ۴۷

۳-۲-۴- روش پیشنهادی دوم جهت دنبال سازی مولفه های فلیکری..... ۵۰

۴-۲-۴- روش پیشنهادی سوم جهت دنبال سازی مولفه های فلیکری..... ۵۳

۵-۲-۴- روش پیشنهادی چهارم جهت دنبال سازی مولفه های فلیکری..... ۵۶

۳-۴- تشخیص چند منبع فلیکر در یک شبکه قدرت..... ۶۰

۴-۳-۱- روش تشخیص منابع فلیکر زا بر اساس توان فلیکر و فاز مولفه فلیکری..... ۶۱

۴-۳-۲- روش تشخیص منابع فلیکر زا بر اساس دامنه مولفه فلیکری..... ۶۲

۴-۳-۳- روش تشخیص منابع فلیکر زا بر اساس دامنه مولفه فلیکری و شبکه عصبی.... ۶۳

۴-۴- خلاصه ۶۴

فصل پنجم: نتایج شبیه سازی..... ۶۵

۵-۱- مقدمه ۶۶

۵-۲- نتایج شبیه سازی چهار روش پیشنهادی جهت دنبال کردن مولفه های فلیکری پوش..... ۶۶

۵-۳- تشخیص منابع فلیکر در یک سیستم قدرت..... ۷۷

۵-۳-۱- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش اول..... ۷۹

۵-۳-۱-۱- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش اول (یک بار فلیکر زا).... ۸۰

۵-۳-۱-۲- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش اول (دو بار فلیکر زا) ۸۲

۵-۳-۱-۳- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش اول (سه بار فلیکر زا) ۸۵

۵-۳-۲- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش دوم..... ۸۷

۵-۳-۱- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش دوم (یک بار فلیکر زا) .. ۸۸

۵-۳-۲- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش دوم (دو بار فلیکر زا) ... ۸۸

۵-۳-۳- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش سوم..... ۹۳

۵-۳-۱- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش سوم (یک بار فلیکر زا) .. ۹۹

۵-۳-۲- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش سوم (دو بار فلیکر زا) ... ۹۹

۵-۴- خلاصه ۱۰۴

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۱۰۶

۶-۱- نتیجه گیری ۱۰۷

۶-۲- پیشنهادات ۱۰۸

پیوست ۱۰۹

مراجع ۱۱۲

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲- منحنی ولتاژ جوشکاری با ترانس جوش تغذیه شده از شبکه عمومی.....	۷
شکل ۲-۲- مشخصه تجربی قوس	۹
شکل ۳-۲- شکل موج یک نمونه فلیکر	۱۱
شکل ۴-۲- شاخص SCVD به صورت تابعی از توان نامی کوره.....	۱۳
شکل ۵-۲- منحنی تغییرات ضرایب حساسیت بر حسب فرکانس های فلیکر.....	۱۴
شکل ۱-۳- طرح مانیتورینگ توضیح شده بهبود یافته	۲۳
شکل ۲-۳- دیاگرام تک خطی یک سیستم دو باسه با دو منبع فلیکر.....	۲۴
شکل ۳-۳- مدل مداری سیستم دو باسه	۲۶
شکل ۴-۳- مدار ساده شده	۲۷
شکل ۵-۳- تغییرات پوش ولتاژ و جریان ناشی از عملکرد منبع فلیکر در پایین دست نقطه مشاهده.....	۲۹
شکل ۶-۳- مدل مداری سیستم دو باسه در حالت دوم.....	۳۰
شکل ۷-۳- تغییرات پوش ولتاژ و جریان ناشی از عملکرد منبع فلیکر در بالادست دست نقطه مشاهده....	۳۱
شکل ۸-۳- مدولاسیون دامنه	۳۳

- شکل ۳-۹- طیف فرکانسی مدولاسیون دامنه ۳۴
- شکل ۳-۱۰- دیاگرام تک خطی شامل یک خط ورودی و N خط خروجی ۳۵
- شکل ۳-۱۱- جداسازی پوش به روش مربعی (دمدولاسیون مربعی) ۳۶
- شکل ۳-۱۲- منحنی درک انسان از فلیکر بر حسب استاندارد IEC 61000-4-15 ۳۶
- شکل ۴-۱- مفهوم تبدیل abc-dq ۴۲
- شکل ۴-۲- تشخیص فرکانس های موجود سیگنال ۴۶
- شکل ۴-۳- بلوک دیاگرام واحد تشخیص دهنده ۴۶
- شکل ۴-۴- روش پیشنهادی اول جهت دنبال سازی مولفه های فلیکری ۴۹
- شکل ۴-۵- دمدولاسیون مربعی بهبود یافته با استفاده از تبدیل d-q ۵۲
- شکل ۴-۶- دمدولاسیون یکسو کننده نیم موج بهبود یافته با استفاده از تبدیل d-q ۵۵
- شکل ۴-۷- دمدولاسیون شیف فاز بهبود یافته با استفاده از تبدیل d-q ۵۹
- شکل ۴-۸- روش یکسو کننده نیم موج بهبود یافته جهت شناسایی منابع فلیکر ۶۱
- شکل ۵-۱- سیگنال خام ولتاژ با دو مولفه فلیکری ۱۰ و ۷ هرتز در پوش ۶۷
- شکل ۵-۲- طیف فرکانسی اول (ایجاد شده توسط ضرب کردن در $\cos$) ۶۷
- شکل ۵-۳- طیف فرکانسی دوم (ایجاد شده توسط ضرب کردن در $\sin$) ۶۸

- شکل ۴-۵- طیف فرکانسی اول (ایجاد شده توسط ضرب کردن در $\cos$) برای نمونه ولتاژ دوم..... ۶۹
- شکل ۵-۵- طیف فرکانسی دوم (ایجاد شده توسط ضرب کردن در $\sin$) برای نمونه ولتاژ دوم..... ۷۰
- شکل ۶-۵- دنبال سازی مولفه فلیکری ۱۰ هرتز با استفاده از روش پیشنهادی اول..... ۷۱
- شکل ۷-۵- دنبال سازی مولفه فلیکری ۷ هرتز با استفاده از روش پیشنهادی اول..... ۷۲
- شکل ۸-۵- دنبال سازی مولفه فلیکری ۱۰ هرتز با استفاده از روش دوم ۷۳
- شکل ۹-۵- دنبال سازی مولفه فلیکری ۷ هرتز با استفاده از روش روش دوم ۷۳
- شکل ۱۰-۵- دنبال سازی مولفه فلیکری ۱۰ هرتز با استفاده از روش روش سوم ۷۴
- شکل ۱۱-۵- دنبال سازی مولفه فلیکری ۷ هرتز با استفاده از روش روش سوم ۷۴
- شکل ۱۲-۵- دنبال سازی مولفه فلیکری ۱۰ هرتز با استفاده از روش چهارم ۷۵
- شکل ۱۳-۵- دنبال سازی مولفه فلیکری ۷ هرتز با استفاده از روش چهارم ۷۵
- شکل ۱۴-۵- شبکه قدرت شش باسه ۷۸
- شکل ۱۵-۵- مدل یک دستگاه جوش نقطه ۷۸
- شکل ۱۶-۵- جریان یک دستگاه جوش تک فاز با فرکانس پوش ۱۰ هرتز ۷۹
- شکل ۱۷-۵- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش اول (یک بار فلیکر زا در شبکه قدرت) ۸۲
- شکل ۱۸-۵- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش اول (دو بار فلیکر زا در شبکه قدرت) ۸۴

شکل ۵-۱۹- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش اول (سه بار فلیکر زا در شبکه قدرت) ۸۷

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۵-۱- خطای چهار روش پیشنهادی جهت دنبال کردن مولفه های فلیکری پوش.....	۷۶
جدول ۵-۲- نتایج بدست آمده در حالت وجود یک منبع فلیکری (روش اول).....	۸۰
جدول ۵-۳- نتایج بدست آمده از روش اول برای مولفه فلیکری ۵ هرتز (دو منبع فلیکری).....	۸۳
جدول ۵-۴- نتایج بدست آمده از روش اول برای مولفه فلیکری ۱۰ هرتز (دو منبع فلیکری).....	۸۳
جدول ۵-۵- نتایج بدست آمده از روش اول برای مولفه فلیکری ۵ هرتز (سه منبع فلیکری).....	۸۵
جدول ۵-۶- نتایج بدست آمده از روش اول برای مولفه فلیکری ۱۰ هرتز (سه منبع فلیکری).....	۸۶
جدول ۵-۷- نتایج بدست آمده از روش اول برای مولفه فلیکری ۱۵ هرتز (سه منبع فلیکری).....	۸۶
جدول ۵-۸- تشخیص منابع فلیکری با استفاده از روش دوم (یک بار فلیکری در شبکه قدرت).....	۸۹
جدول ۵-۹- تشخیص منابع فلیکری با استفاده از روش دوم (دو بار فلیکری) (سه حالت اول).....	۹۱
جدول ۵-۱۰- تشخیص منابع فلیکری با استفاده از روش دوم (دو بار فلیکری) (سه حالت دوم).....	۹۲
جدول ۵-۱۱- ورودی شبکه عصبی جهت انجام فرآیند آموزش.....	۹۶
جدول ۵-۱۲- خروجی شبکه عصبی جهت انجام فرآیند آموزش.....	۹۷
جدول ۵-۱۳- ورودی و خروجی تست شبکه عصبی برای حالت یک بار فلیکری (دو حالت اول).....	۱۰۰

جدول ۵-۱۴- ورودی و خروجی تست شبکه عصبی برای حالت یک بار فلیکر زا (دو حالت دوم) ۱۰۱

جدول ۵-۱۵- ورودی و خروجی تست شبکه عصبی برای حالت دوبار فلیکر زا (حالت اول)..... ۱۰۲

جدول ۵-۱۶- ورودی و خروجی تست شبکه عصبی برای حالت دوبار فلیکر زا (حالت دوم) ۱۰۳

جدول الف-۱- اطلاعات خطوط شبکه شش باسه..... ۱۱۰

جدول الف-۲- اطلاعات ژنراتورها و بارهای شبکه شش باسه..... ۱۱۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱- کیفیت توان^۱

امروزه به طور گسترده توجه مشترکین به شکل روز افزونی به مسئله کیفیت برق تحویلی و تداوم آن معطوف شده است. مشترکین مانند گذشته فقط به داشتن برق اکتفا نکرده بلکه برقی با کیفیت بالا مورد نظر آنهاست. از جمله دلایل این توجه، استفاده روز افزون از تجهیزات الکتریکی جدیدتر نسبت به گذشته و حساسیت این تجهیزات نسبت به تغییرات کیفیت برق می باشد. اخیراً تاکید بسیاری روی پیشرفت صنایع با استفاده از دستگاه های مدرن و اتوماتیک صورت پذیرفته و این مسائل نسبت به نوسانات موجود در شبکه برق حساس میباشند. علاوه بر آن در بخش مصارف خانگی و تجاری استفاده از وسایل الکتریکی جدید مخصوصاً کامپیوتر و تلویزیون و سایر وسایل مشابه، روز به روز فزونی یافته و با توجه به حساسیت این وسایل و تجهیزات به کیفیت برق مخصوصاً عدم نوسان ولتاژ شبکه، ارائه برق مطمئن و با کیفیت خوب از وظایف اصلی شرکت برق میباشد. نوسانات ناشی از ترانس های جوشکاری در ولتاژ شبکه توزیع بعضاً به مشترکینی که از همان شبکه تامین برق شده اند خساراتی وارد مینمایند و شکایات زیادی از مشترکین به شرکتهای توزیع در این زمینه وجود دارد که بعضاً منجر به پرداخت خسارات به مشترکین میشود. نوسانات ناشی از آسانسورها نیز در شبکه توزیع مشکل ساز است. از طرفی با توجه به روند ساخت وساز ها و نیاز به استفاده از آسانسورها در مجتمعهای تجاری و مسکونی میبایست راه حل و روشهای تامین برق این بارها از شبکههای عمومی توزیع مورد بررسی قرار گیرد. در شبکه های قدرت نیز، کوره های قوس الکتریکی^۲ و دستگاههای جوش نقطه^۳ مسائل کیفیت توان در شبکه قدرت ایجاد می کنند. شرکت های برق نیز بنا به دلایل زیادی از

^۱ - Power Quality

^۲ - Arc Furnace

^۳ - Spot Welder

قبیل ضرورت رضایت مشترکین، عملکرد صحیح تجهیزات حفاظتی و رله‌ها، کاهش خسارات وارد شده به مشترکین و رقابت در بازار برق، به مشکلات فوق توجه نشان می‌دهند.

در سالهای اولیه اختراع برق و استفاده از این انرژی برای روشنایی، مردم کم و بیش با پدیده سو سو زدن نور لامپها برخورد میکردند ولی به علت نو بودن انرژی الکتریکی توجه چندانی به آن نداشتند. با پیشرفت تکنولوژی و اختراع دستگاهها و تجهیزات مختلف برقی مسئله فوق باعث نارضایتی مشترکین گردید. لذا مسئله بررسی نوسانات ولتاژ و چگونگی جبران آنها و بهبود کیفیت برق مورد توجه شرکت های برق قرار گرفت. از عوامل ایجاد نوسان ولتاژ در شبکه میتوان به تغییرات ناگهانی در جریان وسایلی نظیر کورههای الکتریکی، دستگاههای نورد، حفاری و جوشکاری و هم چنین جریان راه اندازی موتورهای الکتریکی اشاره نمود (در کل بارهای بزرگی که به صورت قطع و وصلی وارد شبکه میشوند). این بارها به بارهای ضربه ای معروف هستند. هنگام کار بارهای مذکور، ولتاژ شبکه به شدت دچار نوسان شده و پدیده ای به نام فلیکر¹ روی شبکه ایجاد میشود که اثرات ناشی از آن به صورت چشمک زدن در لامپهای روشنایی و بروز اختلال در وسائل خانگی مانند تلویزیون و کامپیوتر و دستگاههای الکترونیکی پدیدار می شود. صفت ضربه‌ای برای این بارها از آن جهت انتخاب شده که آن ها به صورت ناگهانی توان مصرفی خود را تغییر میدهند. میتوان ترانسهای جوشکاری و آسانسورها را در شبکه های توزیع و دستگاه جوش نقطه در کارخانجات صنعتی و کوره قوس الکتریک را در شبکه های فوق توزیع به عنوان نمونههایی از بارهای ضربه ای نام برد.

¹ - Flicker

۱-۲- محل اتصال منبع فلیکر

یافتن منبع یا منابع تولیدکننده فلیکر، هم برای شرکتهای برق و هم برای مشترکین از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا شرکتهای برق به دلیل وجود بازار رقابتی در پی بالا بردن کیفیت برق تولیدی خود هستند و کاهش یا در صورت امکان حذف فلیکر، یکی از اقداماتی است که باید در این زمینه انجام دهند. کاهش یا حذف فلیکر موجود در شبکه، جز با یافتن محل منبع یا منابع فلیکر امکان پذیر نیست. هسته اصلی مباحث مربوط به تشخیص محل بار فلیکرزا، شناسایی وجداسازی پوش ولتاژ و جریان از سیگنال اصلی آنها میباشد. زیرا بر طبق روابط ریاضی که در فصلهای آینده مطرح خواهد شد، فلیکر، خود را به صورت پوش قرار گرفته شده روی هارمونیک اصلی نمایش می دهد. روشهای متعددی برای شناسایی این پوش وجود دارد. روشهای دمدولاسیون مربعی^۱، یکسو کننده نیم موج^۲، شیفْت فاز^۳ از جمله این روشها هستند. بعد از جداسازی پوش، باید با استفاده از اطلاعات بدست آمده از این پوشها محل بارهای فلیکرزا را در شبکه تعیین کرد. روش های معدودی در مقاله های مختلف برای شناسایی منابع فلیکر مطرح شده است. از جمله این روش ها، میتوان روش توان فلیکر را نام برد. اما مسئله بررسی چند منبع فلیکر به طور هم زمان به ندرت تا کنون بررسی شده است. برای بررسی چنین حالتی، دنبال کردن همه مولفه های فلیکری^۴ موجود در پوش الزامی است. این کار با استفاده از الگوریتم $d-q$ ^۵ در این پایان نامه انجام شده است. تبدیل $d-q$ تا کنون برای شناسایی و دسته بندی اغتشاشات کیفیت توان استفاده شده است. با استفاده از این روش، سیگنالهای سه فاز به

¹ - Square Demodulation

² - Half Wave Rectifier

³ - Phase Shifting

⁴ - Flicker Tones

⁵ - $d-q$ Transformation

روی یک دستگاه مرجع دو بعدی نگاشت می یابد. این چهارچوب دارای دو محور عمود بر هم بوده که با سرعت زاویه ای مشخصی در حال گردش هستند.

۱-۳- ساختار کلی پایان نامه

در فصل دوم این پایان نامه بارهای ضربه ای و اثرات آن که همان پدیده فلیکر می باشد مطالبی آورده شده است. سپس در فصل سوم مروری بر کار گذشتگان در زمینه جداسازی پوش و جهت یابی منابع فلیکر انجام شده و اصول کلی در مورد تشخیص محل بار فلیکر را بیان شده است. در فصل چهارم الگوریتم های جدیدی مبتنی بر تبدیل $d-q$ برای جداسازی پوش سیگنالها ارائه شده که با استفاده از این الگوریتم ها قادر خواهیم شد که همه مولفه های فلیکری موجود در پوش سیگنال را به راحتی جدا کنیم. با جداسازی پوش، دو کفایت مهم از آن استخراج خواهد شد. (۱) دامنه مولفه های فلیکری موجود در پوش (۲) فاز مولفهها. هر کدام از این دو کمیت به صورت جداگانه استفاده شده تا محل منابع فلیکر در یک سیستم قدرت به دست آورده شود. در فصل پنجم نیز، روش های پیشنهادی بر روی شبکه قدرت شش باسه پیاده شده تا کارایی این روشها به اثبات برسد. سرانجام در فصل ششم، نتایج گرفته شده از اجرای این پروژه و هم چنین پیشنهاداتی برای ادامه یا بهبود آن، ارائه خواهد شد.

فصل دوم

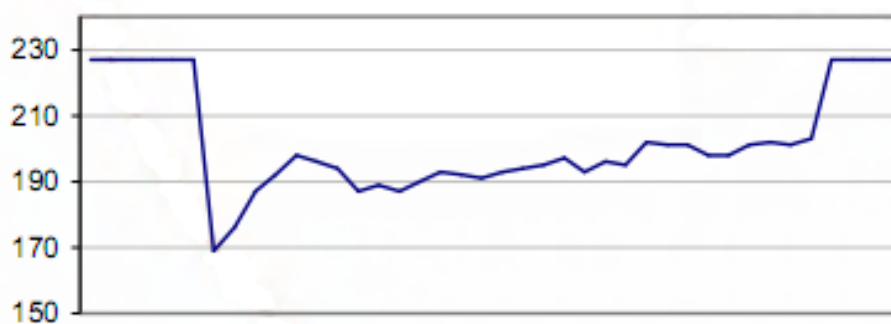
بار ضربه ای و نوسان ولتاژ

۲-۱- مقدمه

پیش از بررسی روشهای تعیین محل منابع فلیکر، نیاز است تا مروری کلی بر روی پدیده فلیکر، عوامل ایجاد کننده آن و روشهای جبرانسازی آن مطرح شود. زیرا با شناخت کامل بر روی خود پدیده فلیکر و آثار و نتایج آن در شبکه قدرت می توان محل بارهای فلیکر را در شبکه قدرت شناسایی کرد.

۲-۲- بار های ضربه‌های

یکی از مهمترین معضلات در شبکه های برق وجود نوسانات شدید ولتاژ ناشی از بارهای ضربه‌های است که مستقیماً از شبکه عمومی تغذیه میشوند. هنگام کار بارهای مذکور، ولتاژ شبکه به شدت دچار نوسان شده و پدیده‌های به نام فلیکر روی شبکه ایجاد میشود که اثرات ناشی از آن به صورت چشمک زدن در لامپهای روشنایی و بروز اختلال در وسائل خانگی مانند تلویزیون و کامپیوتر و دستگاههای الکترونیکی پدیدار میشود. صفت ضربه‌های برای این بار ها از آن جهت انتخاب شده که آن ها به صورت ناگهانی توان مصرفی خود را تغییر میدهند. میتوان ترانسهای جوشکاری و آسانسورها را در شبکههای توزیع و دستگاه جوش نقطه در کارخانجات صنعتی و کوره قوس الکتریک را در شبکههای فوق توزیع به عنوان نمونههایی از بارهای ضربه-ای نام برد. ترانسهای جوشکاری معمولاً شبیه ترانسهای معمولی بوده با این تفاوت که به استثنای بالاترین تپ، یک سلف با سیم پیچ ثانویه ترانس به طور سری بسته شده و وظیفه آن محدود کردن جریان جوشکاری در تپ های مختلف است [۱]. هنگام جوشکاری به محض نزدیک شدن الکترود با قطعه کار طرف ثانویه ترانس اتصال کوتاه شده و در نتیجه جریان زیادی از شبکه اخذ می گردد که مدت زمان آن با توجه به مهارت جوشکار کم یا زیاد است.



شکل ۱-۲- منحنی ولتاژ جوشکاری با ترانس جوش تغذیه شده از شبکه عمومی [۱]

برقراری قوس الکتریکی^۱ بین دو سر یک فلز آنچنان حرارتی در محل ایجاد میکند که دو سر فلز را به دمای ذوب رسانده و باعث جوش خوردن دو سر آن میگردد. اگر اختلاف (فاصله فیزیکی) بین دو نقطه به حد کافی برسد، پتانسیل الکتریکی مولکولهای بین دو نقطه را یونیزه کرده و تخلیه الکتریکی برقرار میگردد. به عبارت دیگر قوس الکتریکی تولید میشود. ادامه قوس به اختلاف پتانسیل و جریان الکتریکی بین دو نقطه بستگی دارد. یعنی در محل تشکیل قوس الکتریکی، باید به حد کافی ولتاژ و جریان باشد تا عمل یونیزاسیون^۲ را تداوم بخشد. در شکل ۱-۲ منحنی ولتاژ جوشکاری با ترانس تغذیه شده از شبکه عمومی آورده شده است [۱].

بعد از معرفی دستگاه جوش، کوره قوس الکتریک را مورد بررسی قرار خواهیم داد. اگر بین دو هادی اختلاف پتانسیل اعمال کنیم ممکن است موجب شکست عایق هوا بین آن دو هادی شده و سبب ایجاد جرقه شود. با شکست الکتریکی، هوای بین دو هادی یونیزه شده و جریان زیادی بین دو هادی عبور می کند و در نتیجه باعث ایجاد قوس الکتریکی میشود. برای ایجاد تخلیه قوس الکتریکی به ولتاژ زیادی احتیاج نیست. اما

^۱ - Arc

^۲ - Ionization

جریان داخل قوس زیاد است در نتیجه مقاومت قوس پایین است. جنس الکتروود برای ایجاد قوس الکتریکی اهمیت ویژه ای دارد که بسته به نوع نیاز از فلز یا کربن استفاده میشود.

کاربردهای قوس الکتریکی سه مورد میباشد.

(۱) لامپهای قوس الکتریک^۱

(۲) جوش قوس الکتریکی^۲

(۳) کوره قوس الکتریکی^۳

کوره‌های قوس الکتریک به طور وسیعی در صنعت فولاد و ریخته‌گری مورد استفاده قرار میگیرند و بزرگترین مصرف کننده غیر خطی انرژی الکتریکی هستند که به سبب تقاضای جریان بسیار بالا و اثر متقابل با امیدانس تغذیه باعث به وجود آمدن مسائل کیفیت توان میشوند و به طور کلی میتوان گفت که کوره قوس الکتریک یک بار نامتعادل، غیر خطی و متغیر با زمان هستند. در یک کوره قوس الکتریک، نوسانات لحظه ای با دامنه زیاد توان اکتیو و راکتیو، منشا اغتشاشات در سیستمهای توزیع می باشد. مشکلات ناشی از وجود کوره‌های قوس الکتریک در سیستم های قدرت عبارتند از:

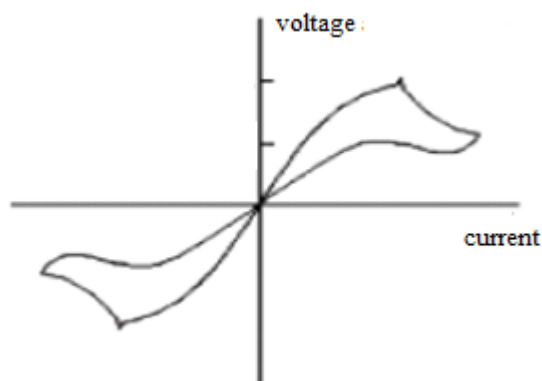
(۱) ایجاد عدم تعادل به علت غیر خطی بودن و متغیر بودن با زمان

(۲) ایجاد هارمونیک

^۱ - Electrical Arc Lamp

^۲ - Electrical Arc Welding

^۳ - Electrical Arc Furnace



شکل ۲-۲- مشخصه تجربی قوس [۳]

۳) ایجاد میان هارمونیک

۴) فلیکر

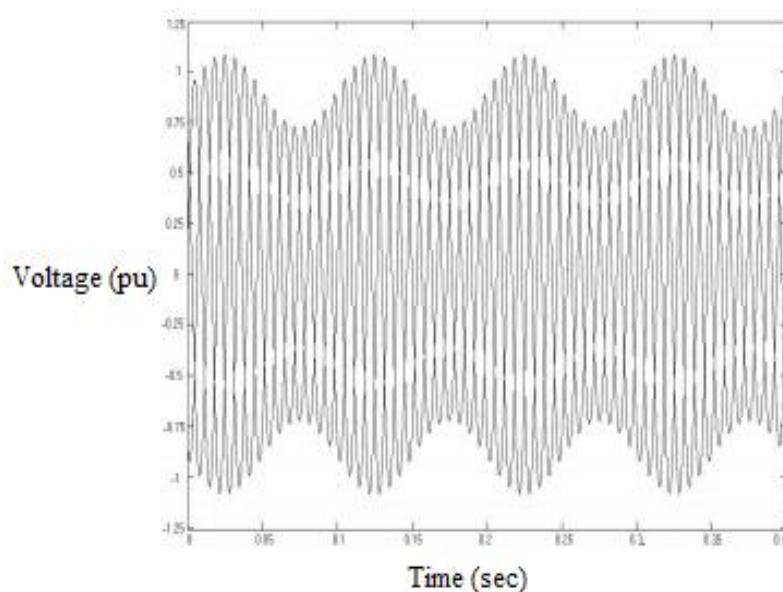
مهمترین مشکل ناشی از کوردهای قوس الکتریک، ایجاد فلیکر است. اما بحث مهم دیگر در زمینه کوره قوس الکتریک، مدل خود قوس می باشد. رفتار دینامیکی قوس در کوره به متغیرهای زیادی بستگی دارد که تمامی آنها تاکنون مشخص نشده‌اند و هیچ مدل کاملاً دقیقی از آن ارائه نشده است [۲]. شکل موج ولتاژ قوس تقریباً مربعی بوده و دامنه آن بستگی به جریان قوس دارد. معمولاً قوس را با مشخصه ولتاژ - جریان آن مدل می کنند که مشخصه تجربی آن در شکل ۲-۲ آورده شده است [۳].

۲-۳- نوسان ولتاژ

مشترکین صنعت برق عموماً انتظار یک منبع ولتاژ با کیفیت بالا را از شرکت های برق دارند. در سالهای اولیه اختراع برق و استفاده از این انرژی برای روشنایی، مردم کم و بیش با پدیده سو سو زدن نور لامپها برخورد میکردند ولی به علت نو بودن انرژی الکتریکی توجه چندانی به آن نداشتند. با پیشرفت تکنولوژی و

اختراع دستگاهها و تجهیزات مختلف برقی مسئله فوق باعث نارضایتی مشترکین گردید. لذا مسئله بررسی نوسانات ولتاژ و چگونگی جبران آنها و بهبود کیفیت برق مورد توجه شرکت‌های برق قرار گرفت. از عوامل ایجاد نوسان ولتاژ در شبکه میتوان به تغییرات ناگهانی در جریان وسایلی نظیر کوره‌های الکتریکی، دستگاههای نور، حفاری و جوشکاری و هم چنین جریان راهاندازی موتورهای الکتریکی اشاره نمود (در کل، جریان های بزرگی که به صورت قطع و وصلی وارد شبکه میشوند).

در شبکه‌های برق هرچه از نظر الکتریکی از بار فلیکر زا دور و به سمت منبع اصلی شبکه حرکت شود اثر فلیکر ولتاژ کاهش خواهد یافت. اثرات بار های فلیکر زا بستگی به فاکتورهای نظیر دامنه، زاویه فاز، میزان تغییرات جریان مصرفی و چگونگی تغییرات آن به صورت دوره های زمانی منظم یا تصادفی دارد. هنگامی که بارهای مختلف توسط مشترکین برق به مدار وارد و یا از آن خارج می شوند تغییر ولتاژی در شبکه خواهیم داشت ولی اولاً این تغییرات معمولاً کوچک و بسیار آرام است ثانیاً توسط رگولاتورهای ولتاژ میتوان این تغییرات را جبران نمود. در مقابل تجهیزات و دستگاههای الکتریکی نظیر موتورهای بزرگ، دستگاههای جوش و کوره‌ها که به صورت تکی یا جمعی وارد شبکه میشوند نوساناتی را در ولتاژ به وجود می آورند که باعث ایجاد نوسان در ولتاژ مشترکین میشود. علت این پدیده آن است که با ورود این دستگاهها به شبکه، جریان مصرفی تغییر ناگهانی خواهد داشت و این تغییرات جریان باعث تغییرات در افت ولتاژ روی امپدانس شبکه خواهد گذاشت و در نتیجه باسهای شبکه دچار نوسانات ولتاژ (فلیکر) خواهند شد. عموماً شکل موج فلیکر که در واقع پوش شکل موج اصلی است دارای فرکانس کمتر از فرکانس شبکه می باشد. به طور مثال شکل موج یک نمونه فلیکر در شکل ۲-۳ آورده شده است [۳].



شکل ۲-۳- شکل موج یک نمونه فلیکر [۴]

اثر نوسانات ولتاژ را می‌توان در کم و زیاد شدن و سو سو زدن نور لامپها و هم چنین پرش در تصاویر تلویزیونی، اثر روی سیستم های ICU و CCU بیمارستانی ملاحظه کرد. این تجهیزات بر حسب دامنه‌های متفاوت ولتاژ تغذیه، گزارشهای متفاوتی از وضع بیماران ارائه میکنند. در مقایسه با انواع وسائل الکتریکی و الکترونیکی، لامپهای روشنایی بیشتر از بقیه ادوات به تغییرات ولتاژ حساس هستند. البته فلیکر ولتاژ به آن مقدار از تغییرات ولتاژ اطلاق می‌گردد که اثر آن در تغییر روشنایی لامپها توسط چشم انسان قابل درک و رویت باشد. بدیهی است که این موضوع پدیده فیزیولوژیکی بوده و یک احساس شخصی است و ممکن است از یک فرد تا فرد دیگر تغییر کند و حتی فلیکر ولتاژی که ممکن است در نظر برخی آزار دهنده باشد توسط افراد دیگر اصلاً قابل تشخیص نباشد. میزان درک افراد از این پدیده به دامنه، فرکانس نوسانات، نوع لامپهای مورد استفاده، میزان روشنایی مورد نیاز و تجربه شخصی افراد از فلیکر بستگی دارد [۵].

۲-۳-۱- محاسبه فلیکر

اساس محاسبه فلیکر بدست آوردن شکل موج تغییرات ولتاژ در ترمینال وسیله فلیکر را است. تغییرات مقدار موثر ولتاژ به صورت (۲-۱) بدست می‌آید.

$$\Delta U = U(t_1) - U(t_2) \quad (2-1)$$

$$(2-2)$$

$$\Delta I = \Delta I_p - j \Delta I_q$$

که در آن $U(t)$ مقدار لحظه‌ای ولتاژ و ΔU و ΔI مقدار تفاضل ولتاژ و جریان می‌باشد و همچنین ΔI_p و ΔI_q به ترتیب مولفه‌های حقیقی و موهومی می‌باشند. با فرض امپدانس شبکه از دید بار فلیکر Z داریم:

$$Z = R + jX \quad (2-3)$$

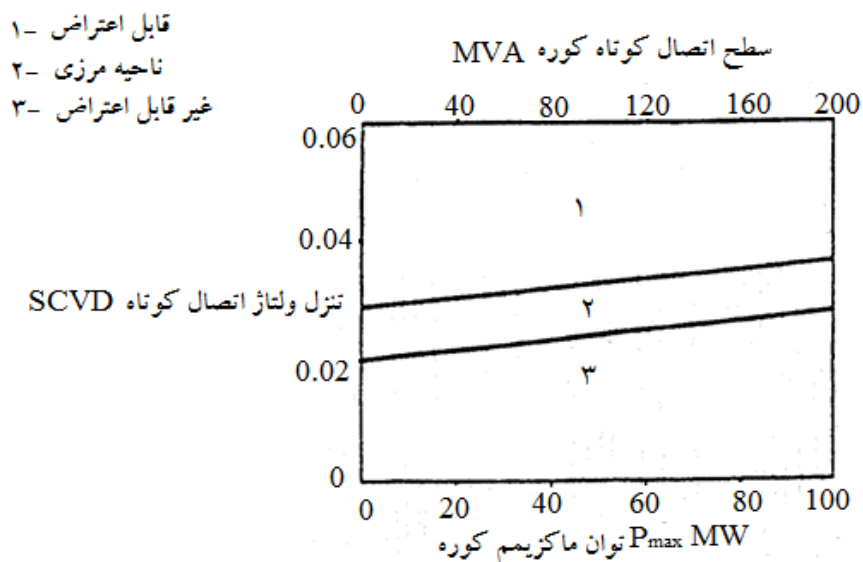
$$\Delta U = |\Delta I_p \cdot R + \Delta I_q \cdot X| \quad (2-4)$$

که در آن R و X به ترتیب مقاومت و راکتانس می‌باشند. تغییرات نسبی مقدار موثر ولتاژ با استفاده از (۲-۵) بدست می‌آید که در آن U_n مقدار نامی ولتاژ می‌باشد.

$$d = \frac{\Delta U}{U_n} \quad (2-5)$$

سه روش جهت تعیین شاخص اثر گزاری فلیکر تا کنون مطرح شده است [۵]. این سه روش عبارتند از:

(۱) SCVD (شاخص کاهش ولتاژ اتصال کوتاه) (۲) فلیکر متر معادل ۱۰ هرتز (۳) فلیکر متر IEC



شکل ۲-۴- شاخص scvd به صورت تابعی از توان نامی کوره [۵]

ابتدا شاخص SCVD را معرفی میکنیم:

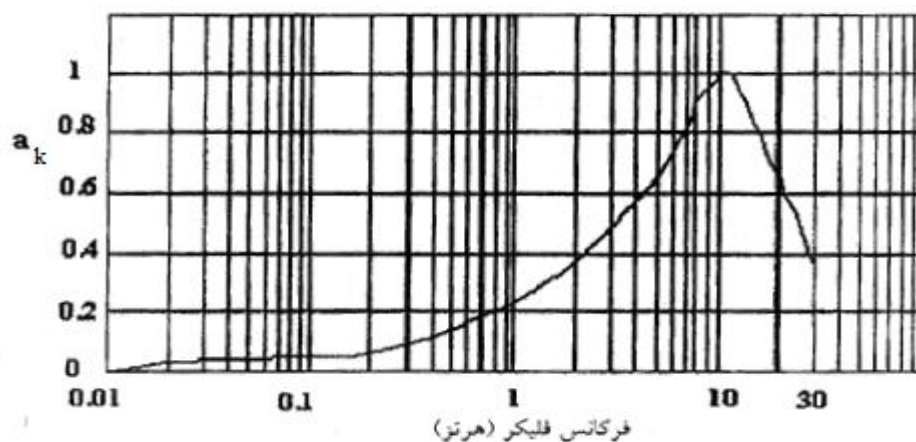
$$SCVD = \frac{S_t}{S_c} \times 100\% \quad (۲-۶)$$

این شاخص عمدتاً برای نصب کوره‌های القایی استفاده میشود. این شاخص در واقع کاهش ولتاژ را از حالت مدار باز به حالت اتصال کوتاه را نشان میدهد. و به صورت نسبت ظرفیت اتصال کوتاه کوره (S_t) (تقریباً دو برابر ظرفیت نامی کوره میباشد) به ظرفیت اتصال کوتاه شبکه (S_c) محاسبه میشود.

روش فلیکر متر معادل ۱۰ هرتز، شاخص دیگری است که در مراجع استفاده شده است.

نمایش سیگنال ولتاژی که دارای فلیکر است را می‌توان به صورت (۷-۲) نمایش داد.

$$V(t) = V_c \sin(2\pi f_c t) \left[1 + \sum_{k=1}^{\infty} V_{mk} \sin(\omega_{mk} t) \right] \quad (7-2)$$



شکل ۵-۲- منحنی تغییرات ضرایب حساسیت بر حسب فرکانس های فلیکر [۵]

که در آن V_c دامنه فرکانس اصلی، f_c فرکانس اصلی، V_{mk} دامنه مولفه های فلیکری موجود در پوش و ω_{mk} فرکانس مولفه های فلیکری میباشند.

$$\Delta V_{10} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} (a_k V_{mk})^2} \quad (8-2)$$

که در آن a_k ضریب حساسیت می باشد. در این روش ابتدا با اعمال تبدیل فوریه گسسته مولفه های فرکانسی موجود در سیگنال ولتاژ بدست می آوریم. سپس با استفاده از ضرایب حساسیت انسانی نشان داده شده در

شکل ۵-۲ و رابطه (۸-۲) مقدار فلیکر بدست آورده می شود [۵].

روش سوم، فلیکر متر IEC است. در این روش دو شاخص برای شدت فلیکر به صورت زیر تعریف میشود:

(۱) شاخص کوتاه مدت شدت فلیکر (P_{st}): به شاخص شدت فلیکر در یک دوره زمانی کوتاه مدت (۱۰

دقیقه) گفته میشود. $P_{st}=1$ آستانه آزاردهندگی چشم انسان است.

(۲) شاخص بلند مدت شدت فلیکر (P_{lt}): شاخص شدت فلیکر بدست آمده در یک دوره زمانی بلند مدت (۲

ساعت) که با استفاده از مقادیر P_{st} محاسبه می شود.

در روشهای قبلی از اطلاعات موجود در ولتاژ اعمالی استفاده میشد ولی در این روش (روش فلیکر متر IEC)

از تاثیراتی که نوسان ولتاژ روی چشم انسان میگذارند برای بدست آوردن شدت فلیکر استفاده میشود. از

عوامل مهم و تعیین کننده در شدت فلیکر حساسیت چشم انسان نسبت به دامنه و فرکانس تغییرات نور می -

باشد. روش اندازه گیری فلیکر را می توان بر مبنای احساس انسان (چشم-مغز) از نوسانات نور لامپ بنا نمود.

در این روش ابتدا بایستی سطح فلیکر لحظه ای^۱ (IFL) را تعریف کنیم. این کمیت در هر لحظه معرف مقدار

لحظه ای فلیکر است. و مقدار این کمیت به گونه ای در نظر گرفته میشود که هر گاه شدت فلیکر برای انسان

قابل درک و تشخیص باشد مقدار IFL برابر با یک خواهد شد. و این کمیت در هر لحظه نشان دهنده شدت

($IFL > 1$) و ضعف ($IFL < 1$) فلیکر میباشد [۵]. برای آنکه بتوان میزان رویتپذیری یا آزردهنگی فلیکر را

تشخیص داد بایستی IFL را در یک بازه زمانی مشخص مورد بررسی قرار داد. از طرفی به واسطه ماهیت

تصادفی بودن فلیکر، حداکثر IFL معیار مناسبی جهت فلیکر نیست بلکه درصدی از کل زمان مشاهده که هر

مقدار IFL به خود اختصاص میدهد معیار مناسبی جهت اظهار نظر است. در نتیجه نیاز به پردازش آماری

¹ - Instantaneous flicker level

روی IFL میباشد. عملکرد فلیکرمتر IEC بر اساس بیان فلیکر بر حسب IFL است که مقدار آن متناسب با مربع مقدار دامنه فلیکر ولتاژ است. فلیکرمتر IEC از پنج بلوک مختلف تشکیل شده است که هر یک پردازش خاصی را روی سیگنال انجام میدهند و در نهایت دو کمیت P_{st} و P_{lt} که حاصل پردازش آماری روی IFL هستند به عنوان دو شاخص از شدت فلیکر به عنوان خروجی ارائه میدهد.

۲-۴- روشهای جبران

به کارگیری ادوات الکترونیک قدرت برای بهبود سیستم های انتقال انرژی، تحت مفهوم سیستم های انتقال انعطاف پذیر^۱ تقریباً امری فراگیر شده است. اما کاربرد این ادوات در سیستمهای توزیع به علت گستردگی سیستمهای توزیع و عدم احساس نیاز به آنها تا این اواخر مد نظر نبوده است. در دو دهه اخیر، به علت گسترش روز افزون تجهیزات الکترونیکی در کلیه مراتب مصرفکنندگان (صنعتی-خانگی-تجاری) و حساسیت زیاد این ادوات به انواع اغتشاشات توان، لزوم داشتن توان با کیفیت بالا احساس شده است. یکی از راه حل های بهبود کیفیت توان، استفاده از این ادوات در سیستم های توزیع با کارکرد و استراتژی متفاوت است که تحت عنوان CUSTOM POWER مطرح میشود [۶].

بکارگیری کلید های الکترونیکی در سطح ولتاژ و توان سیستم های قدرت موجب استفاده از ادواتی در سیستم های قدرت شد که مفهوم سیستم های انتقال انعطاف پذیر AC را فراهم آورد. این ادوات را می توان به دو نسل قدیم و جدید تقسیم کرد. در نسل قدیم از عنصر تریستور استفاده میشد اما به خاطر عدم کنترل در خاموش کردن آن، مشکلات و محدودیتهایی در کاربرد آنها به وجود آورد. اما در نسل جدید ادوات با به

¹ - FACTS

کارگیری قطعات نیمه هادی با قابلیت خاموش شدن از قبیل GTO و IGBT، تفاوت های عمده‌ای در رفتار آنها شناسایی شد. کاربرد ادوات FACTS در حالت مانا عبارتند از:

۱- برای افزایش ظرفیت انتقال توان در حد ظرفیت حرارتی آنها

۲- برای کنترل انتقال توان

۳- برای تثبیت سطح ولتاژ و در حالت دینامیکی برای بهبود پایداری گذرا و نوسانات خفیف می‌باشد.

۲-۴-۱- استفاده از ادوات custom power در سیستم توزیع

باید به این نکته توجه داشت که هرچند از لحاظ آرایش فیزیکی، همان ادوات FACTS در سیستمهای توزیع به کار برده میشوند ولی کاربرد و نحوه کنترل آنها کاملاً متفاوت از به کارگیری و کنترل ادوات FACTS در سیستم های انتقال خواهد بود. لذا به کارگیری ادوات الکترونیک قدرت برای بهبود کیفیت توان در سیستم های توزیع را تحت عنوان CUSTOM POWER معرفی میشود.

۱-DVR: تجهیزاتی که به صورت سری به سیستم متصل میشود. این تجهیز با فلیکری که از طرف منبع می -

آید مقابله کرده و بار را از عدم کیفیت مصون نگه می دارد. تکنیک های کاهش فلیکر وابسته به مقدار

خاصی از توان راکتیو است که توسط اختلاف بین مقدار ولتاژ اندازه گیری شده و مقدار مرجع تعیین میشود.

۲-D-STATCOM: تجهیزاتی که به صورت موازی به سیستم متصل میشود. و میتوان از کاربردهای آن به

جبران سازی توان راکتیو و تنظیم ولتاژ اشاره کرد. در پروسه جبران سازی توسط این تجهیز، ولتاژ نوسانی که

توسط بار از شبکه درخواست میشود توسط این تجهیز به بار تحویل داده شده و شبکه را از این موضوع مصون نگاه میدارد.

۳-UPQC: تجهیزى که به صورت سری-موازی به سیستم متصل می شود و قادر است وظایف DVR و DSTATCOM را با هم انجام دهد.

باید به این نکته توجه شود که در تمامی ادواتی که در سه مورد ذکر شده، از کلید ها با قابلیت خاموش شدن در آرایش مبدل منبع ولتاژ استفاده شده است.

۲-۵- خلاصه

در این فصل مطالب کلی که یک محقق قبل از ورود به بحث شناسایی منابع نیاز دارد مطرح شد. ابتدا بار های ضربه ای معرفی شد و سپس دو نوع ترانس جوشکاری و کوره قوس الکتریک به طور مختصر مورد تحلیل قرار گرفت. محاسبه شدت فلیکر بحث بعدی بود که در این فصل به آن پرداخته شد و سه شاخص جهت اثر گذاری فلیکر معرفی و بررسی شد. از آنجا که هدف تشخیص منابع در نهایت به جبران سازی فلیکر مربوط خواهد شد، از ادوات جبران کننده به کار گرفته شده در سیستم توزیع نیز مطالبی در انتهای این فصل آورده شد.

فصل سوم

دنبال کردن پوشش و تشخیص

منابع فلیکر

۳-۱- مقدمه

جهت بهبود کیفیت ولتاژ، دنبال کردن^۱ دقیق مولفههای فلیکری موجود در پوش از اهمیت خاصی برخوردار است. هسته اصلی آنالیز فلیکر در مباحث مربوط به شدت فلیکر و فلیکرمتر، جبران سازی و مباحث مربوط به تشخیص منابع فلیکر، دنبال کردن پوش سیگنال می باشد. زیرا بر طبق روابط ریاضی مطرح شده، فلیکر خود را به صورت پوش قرار گرفته شده روی هارمونیک اصلی نمایش میدهد. روش های متعددی برای شناسایی پوش سیگنال وجود دارد. روش دمدولاسیون مربعی یکی از این روشها است که در آن با استفاده از مربع کردن سیگنال ولتاژ، اختلاف فرکانسی موجود بین مولفههای هارمونیک افزایش یافته و در پی آن پوش فلیکری توسط یک زنجیره فیلتر جدا می شود [۷]. عیب این روش عدم دقت کافی آن است زیرا به علت غیر خطی بودن این عملگر مربع سازی، مولفههای فرکانس پایین زیادی ایجاد میشود [۸]. تبدیل فوریه سریع روش دیگری است که برای جداسازی مولفههای فلیکری موجود در پوش ولتاژ استفاده می شود. اما دقت این روش تحت تاثیر پدیده اثر نشتی^۲ کاهش مییابد [۹]. روش دیگر شیفته فاز است که در آن سیگنال اصلی از دو شیفته دهنده فاز جدا عبور داده میشود. یکی از این شیفته دهندهها فاز مثبت و دیگری همان مقدار فاز را با علامت منفی به سیگنال اعمال میکند. سپس پوش از سیگنال اصلی استخراج میشود [۱۰]. اما در این روش یک شیفته فاز کوچکی نیز در مولفههای فلیکری ایجاد میشود که دقت این روش را کاهش میدهد. روش دیگر تبدیل هیلبرت میباشد [۱۱]. این تبدیل ریاضی قادر به تحلیل سیگنالها با باند باریک است، بنابراین از این تبدیل اخیراً در حوزه جداسازی پوش نیز استفاده شده است. اما این روش حجم عملیاتی

^۱ - Tracking^۲ - Leakage effect

بالایی دارد زیرا پاسخ ضربه فیلتر مربوط به تبدیل هیلبرت نامحدود بوده و بنابراین نیاز است که همه نمونه های یک سیگنال را بدانیم [۱۰]. روش دیگر، تبدیل ویولت میباشد. تبدیل ویولت قادر است سیگنال را به پهنای باند های مختلف جدا کرده و سپس عرض باند خاصی را بازسازی کند. بنابراین این تبدیل، ابزاری کارآمد برای جداسازی پوش محسوب میشود. اما نقص این روش سختی تحلیل و تفسیر خروجیهای بدست آمده از این تبدیل است [۱۲]. روش دیگر فیلتر کالمن می باشد. فیلتر کالمن یک تخمینگر بازگشتی بهینه بوده که قادر است دامنه و فرکانس تغییرات ولتاژ را تخمین بزند و در نتیجه می توان برای دنبال سازی پوش فلیکری استفاده کرد [۱۳]. اما حجم محاسباتی این روش نیز به نسبت بالا است [۹]. همان طور که مشاهده شد، روش های زیادی برای جداسازی پوش وجود دارد و بسته به نیاز میتوان یکی از روشهای گفته شده را استفاده کرد. از آنجا که در فصل بعد روش های یکسو کننده نیم موج و شیفِت فاز توضیح داده خواهد شد، در ادامه بحث را با تشخیص منابع فلیکر را ادامه می دهیم.

یکی از کاربردهای پوش سیگنال، به کارگیری آن در مباحث تشخیص منابع فلیکر است. یافتن منبع یا منابع تولید فلیکر، هم برای شرکتهای برق و هم برای مشترکین از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا شرکتهای برق به دلیل وجود بازار رقابتی، در پی بالا بردن کیفیت برق تولیدی خود هستند و کاهش یا در صورت امکان حذف فلیکر، یکی از اقداماتی است که باید در این زمینه انجام دهند. کاهش یا حذف فلیکر موجود در شبکه، جز با یافتن محل منبع یا منابع فلیکر امکان پذیر نیست. در گذشته عمده کارهایی که در زمینه فلیکر انجام میشد فقط محدود به محاسبه شدت فلیکر بود اما در سال های اخیر بحث در مورد تشخیص محل بار های تولید کننده فلیکر نیز مورد توجه قرار گرفت. اما با این وجود، مقالات کمی در این زمینه منتشر شده

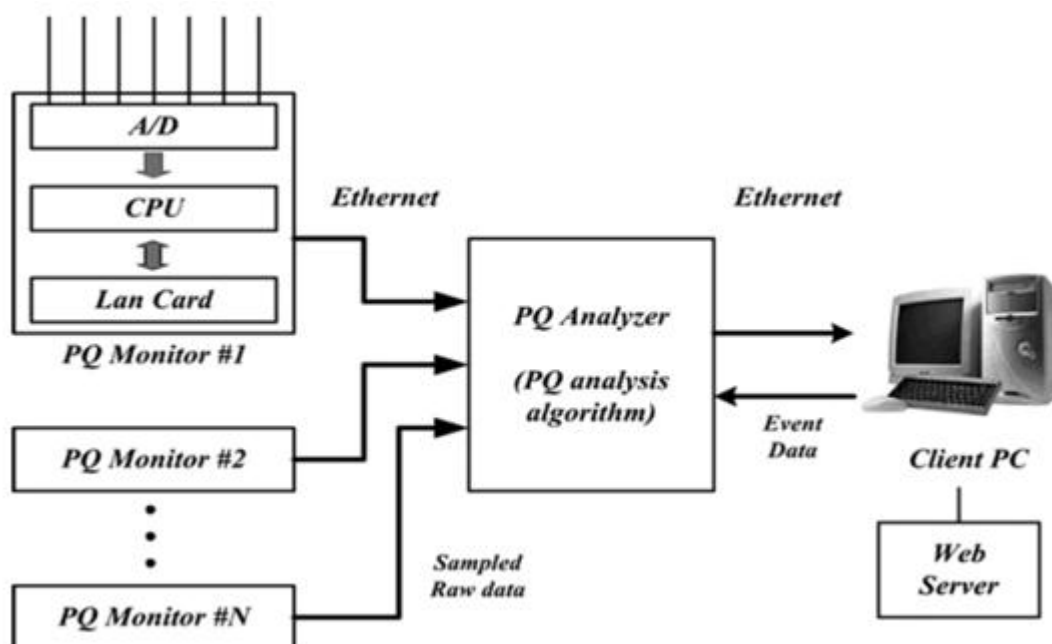
است به طور مثال [۸]، [۱۴]، [۱۵]. در این میان دو روش کلی وجود دارد. (۱) روش شیب ولتاژ-جریان و (۲) روش توان فلیکر که در ادامه این روشها را توضیح خواهیم داد [۱۶]، [۱۷]. اما در مقالات ذکر شده فقط یک باس مورد بررسی قرار گرفته است و کاربرد روش پیشنهادی بر روی کل شبکه مورد بررسی قرار نگرفت. در این روشها معمولاً اطلاعات یک نقطه بدست آورده شده و در نتیجه این روش ها قادر به تشخیص دقیق محل منبع فلیکر نمی باشند. برای بدست آوردن جواب های دقیق، این روشها باید به سیستم مانیتورینگ توزیع شده مجهز شوند. یعنی این روشها باید به آنالیز اطلاعات بدست آمده از چندین نقطه توسعه یابند. در نتیجه نیاز به طرح خاصی از مانیتورینگ بوده که ابتدا این فصل به این موضوع اختصاص داده شده است.

۳-۲- سیستم مانیتورینگ توزیع شده بهبود یافته

از آنجایی که پدیده های کیفیت توان ویژگی های خاصی دارند، نیاز به طرح خاصی از مانیتورینگ برای شناسایی پدیده های کیفیت توان میباشد. سیستم های مانیتورینگ کیفیت توان امروزی مجهز به امکاناتی با تکنولوژی بالا هستند مثل: ارتباط اینترنتی^۱، تحلیل آماری و.... علاوه بر این، بیشتر سیستم های مانیتورینگ کیفیت توان، واحد تشخیص دهنده پدیده های کیفیت توان به عنوان یک واحد تکمیلی را دارا میباشند. این واحد، علت و تاثیر تک تک پدیده های کیفیت توان را مشخص کرده و به واسطه آن، مصرف کننده به راحتی میتواند مشکل خود را بر طرف کند. برای این منظور، مانیتورینگ در نقاط محدودی از شبکه کافی نیست و باید اطلاعات کیفیت توان را از نقاط زیادی از شبکه جمع آوری کرده و سپس با آنالیز هم زمان آنها

^۱ - Ethernet

، منبع پدیده های کیفیت توان را مشخص کرد. بنابراین طرح مانیتورینگ توزیع شده اخیراً مطرح شده است. اما در سیستم مانیتورینگ مطرح شده، تعداد دستگاههای مورد نیاز بسیار زیاد بوده و هم چنین هزینه نصب این تجهیزات نیز زیاد میباشد. بنابراین طرح دیگری برای کاهش تعداد دستگاه ها مطرح شد. نام این طرح، سیستم مانیتورینگ توزیع شده بهبود یافته میباشد [۱۸]. برای دستیابی به اطلاعات مفید جهت تشخیص منابع فلیکرزا، باید اطلاعات از چندین نقطه مشاهده جمعآوری شده و سپس هم زمان تحلیل شوند. این طرح از دو قسمت اصلی تشکیل می شود. (۱) اندازه گیری کمیتهای کیفیت توان (۲) تحلیل کمیتهای بدست آمده. وظیفه اصلی قسمت اول، فقط جمع آوری دادههای ولتاژ و جریان است و هیچ گونه تحلیلی روی دادهها انجام نمیدهد و سپس این اطلاعات توسط ارتباط اینترنتی به واحد پردازش فرستاده میشود. وظیفه واحد دوم، دریافت هم زمان دادهها از نقاط مشاهده و انجام تحلیل های کیفیت توان روی آنها است.

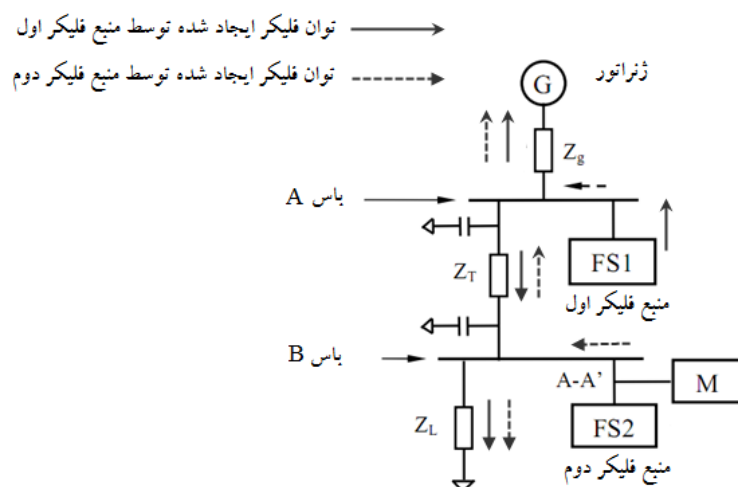


شکل ۳-۱- طرح مانیتورینگ توزیع شده بهبود یافته [۱۸]

ساختار پیشنهادی بسیار اقتصادی تر از ساختارهای بهبود نیافته است به خصوص در شبکه های بزرگ. به طور مثال اگر ده نقطه برای مشاهده در نظر گرفته شود، در روش های قدیمی به ده دستگاه مشاهده نیاز بود که قیمت هر کدام نسبتاً زیاد بود. اما در این ساختار فقط ده چیپ ساده جمع آوری اطلاعات کمیت های کیفیت توان و فقط یک واحد آنالیز وجود دارد در نتیجه از نظر اقتصادی روش جدید اقتصادی تر است [۱۸].

۳-۳- روش شیب ولتاژ- جریان و توان فلیکر

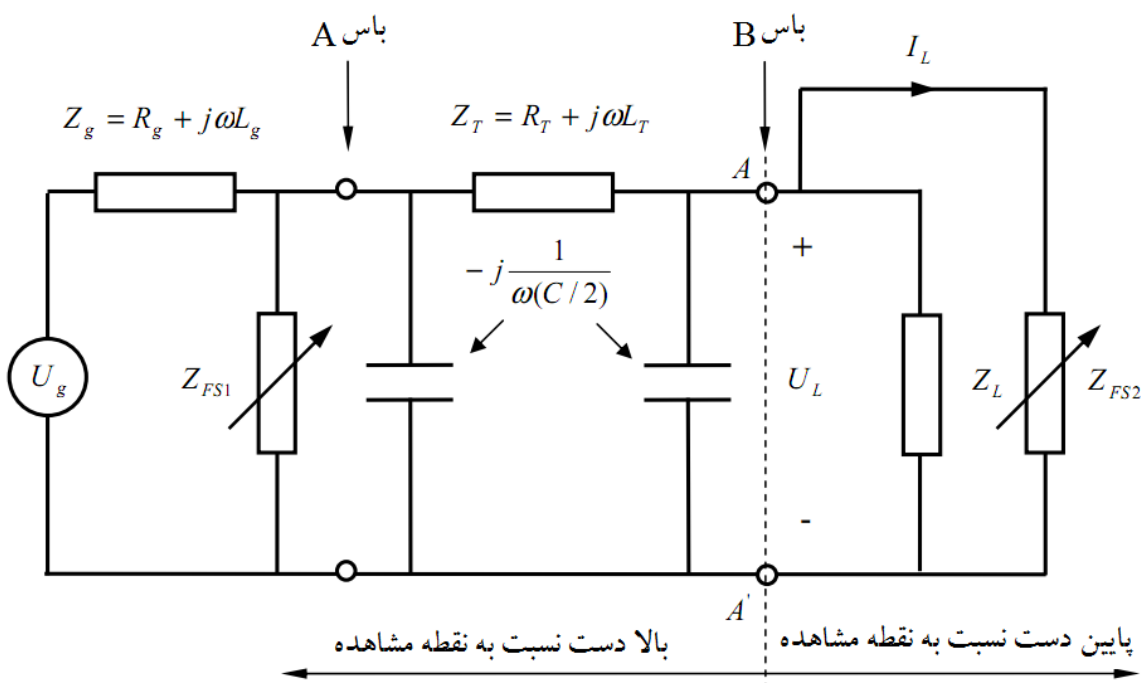
در ابتدا باید به این نکته اشاره کرد که این قسمت در واقع ترکیب دو روش شیب ولتاژ- جریان و توان فلیکر بوده و از آنجایی که این دو روش مکمل همدیگرند و می توان تحت یک روش ارائه شوند، در نتیجه در این قسمت به صورت یکجا آورده شده اند. در ادامه بحثهایی مطرح میشود که با استفاده از آن، نوسانات با فرکانس پایین ولتاژ و جریان بدست می آید.



شکل ۳-۲- دیاگرام تک خطی یک سیستم دو باسه با دو منبع فلیکر [۱۹]

با این اطلاعات بدست آمده می توان نحوه انتشار توان فلیکر را در یک شبکه قدرت توضیح داد. این بحثها و قوانین بر روی شبکه ساده نشان داده شده در شکل ۳-۲ به صورت گرافیکی آورده شده است [۱۹]. در این دیاگرام تک خطی نشان داده شده در شکل ۳-۲، دو منبع فلیکر F_{S1} و F_{S2} وجود دارند. از نظر نقطه مشاهده، M ، منبع فلیکر F_{S1} در بالا دست و منبع فلیکر F_{S2} در پایین دست نقطه مشاهده قرار دارند. در نقطه مشاهده، نوسانات فرکانس پایین ولتاژ و جریان اندازگیری شده تا به وسیله آن نحوه انتشار فلیکر در نقطه مشاهده تعیین شود. به منظور تعیین شدت انتشار و جهت انتشار، کمیت جدیدی به نام توان فلیکر معرفی میشود. این کمیت تقریباً شبیه به توان اکتیو بوده و خواصی مانند آن دارد. یکی از ویژه گیهای این کمیت که در این قسمت استفاده می شود، جهت شارش آن است. توان فلیکر از منبع فلیکر تولید شده و به طرف شبکه جاری میشود. بر اساس اینکه آیا منبع فلیکر در بالا دست نقطه مشاهده قرار دارد یا در پایین دست آن، الگوریتم پیشنهادی نشان خواهد داد که نوسانات فرکانس پایین (پوش) ولتاژ و جریان هم فاز بوده یا 180° درجه با هم اختلاف دارند. این مساله در مدل مداری شبکه شکل ۳-۲ که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است بررسی می شود. اما قبل از آنالیز مداری باید دو فرض زیر را در نظر گرفت [۱۹].

- (۱) ژنراتور G یک ولتاژ سینوسی با فرکانس و دامنه ثابت ایجاد می کند.
- (۲) شبکه قدرت را یک شبکه خطی فرض کنید. این فرض، فرضی معقول بوده چون دقت خوب نتایج این را نشان میدهد. هم چنین فایده این فرض در این است که به راحتی می توان از تئوری مدار مانند اصل جمع آثار در بررسی این شبکه استفاده کرد.



شکل ۳-۳- مدل مداری سیستم دو باسه [۱۹]

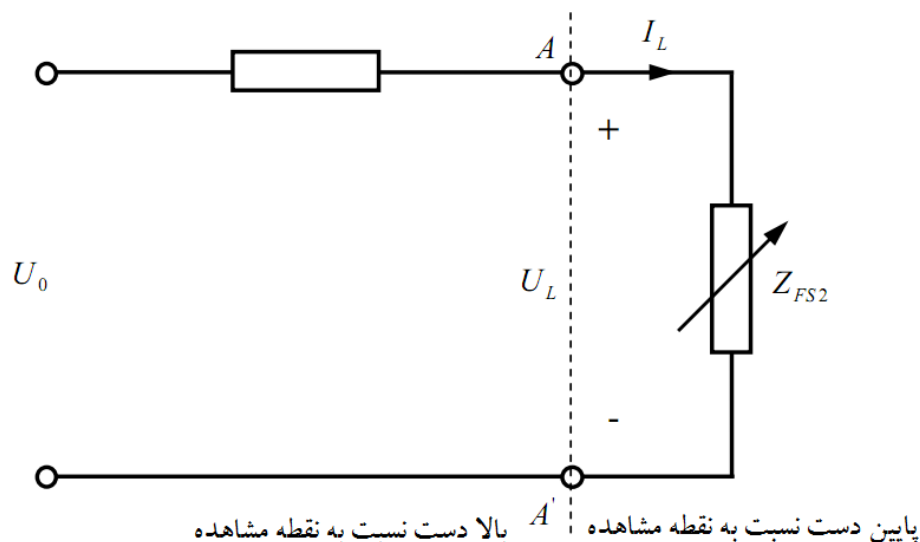
مدل مداری نشان داده شده در شکل ۳-۳، یک شبکه الکتریکی با دو منبع فلیکر F_{S1} و F_{S2} را نشان می‌دهد. منبع فلیکر F_{S1} در بالا دست نقطه مشاهده ی $A-A'$ و منبع فلیکر F_{S2} در پایین دست نقطه مشاهده قرار دارد. در نقطه مشاهده، شکل موج ولتاژ و جریان ثبت شده و توان فلیکر محاسبه می‌شود. دو حالت ممکن برحسب اینکه منبع فلیکر در بالا دست نقطه مشاهده باشد یا در پایین دست آن، وجود دارد:

حالت اول) منبع فلیکر در پایین دست نقطه مشاهده قرار دارد

هدف ما در این قسمت بررسی تغییرات پوش ولتاژ و جریان نسبت به هم در نقطه مشاهده می‌باشد، وقتی که منبع فلیکر F_{S2} فعال است. فرض کنید دامنه منبع فلیکر (توان مصرفی منبع فلیکر) F_{S2} با فرکانس f_{m2} تغییر می‌کند. از آنجایی که هدف ما در این قسمت بررسی U_L و I_L می‌باشد میتوان شبکه نشان داده شده در شکل

۳-۳ را دو مرحله ساده تر کرد تا محاسبات نیز در نتیجه آن ساده تر شود.

$$Z'_T = \frac{(R_T + j\omega L_T)}{(1 - \omega^2 L_T (C/2)) + j\omega R_T (C/2)} = R'_T + jX'_T$$



شکل ۳-۴- مدار ساده شده [۱۹]

اول اینکه منبع فلیکر F_{S1} را در حالت غیر فعال در نظر میگیریم، در نتیجه میتوان این منبع فلیکر را از مدار حذف کرد. دوم اینکه بار Z_L و خازن موازی سمت چپ را میتوان حذف کرد. زیرا آنها تاثیری در تغییرات U_L و I_L ندارند. سوم اینکه با استفاده از مدار معادل تونن، خازن موازی راست و امپدانس Z_T را میتوان در هم ادغام کرده و امپدانس جدید Z'_T را به جای امپدانس قدیمی Z_T جایگزین کرد. هم چنین ولتاژ تغذیه U_0 نیز به جای ولتاژ ژنراتور جایگزین میشود. مدل مداری ساده شده در شکل ۳-۴ نشان داده شده است. فرض کنید منبع فلیکر F_{S2} دارای دو حالت مجزا باشد. حالت اول جریان مصرفی پایین I_L و حالت دوم جریان مصرفی بالا $I_L + \Delta I$ میباشد. هم چنین فرض کنید که فرکانس نوسان بین این دو حالت، f_{m2} باشد. تحلیل مدار با استفاده از فازور مختلط انجام شده است. زیرا مدار را در حالت ماندگار در نظر گرفته شده است. این نیز فرض معقولی است زیرا نوسانات که فلیکر ایجاد میکند در مقایسه با فرکانس اصلی ۵۰ یا ۶۰ هرتز شبکه کوچک است.

با توجه به شکل ۳-۴ و با استفاده از قوانین کیرشف و قانون اهم در بازه حالت جریان پایین داریم:

$$U_0 = Z'_T I_L + U_L \quad (۱-۳)$$

استفاده از همین قوانین، در حالت جریان بالا داریم

$$U_0 = Z'_T (I_L + \Delta I) + U'_L = Z'_T I_L + \Delta U + U'_L \quad (۲-۳)$$

تغییرات در ولتاژ U_L وقتی که جریان از I_L به $I_L + \Delta I$ تغییر میکند به صورت (۳-۳) بدست میآید.

$$(۳-۳) Z'_T I_L + \Delta U + U'_L - Z'_T I_L - U_L = 0 \rightarrow U'_L - U_L = -\Delta U$$

نتیجه واضح است. منبع فلیکر در پایین دست نقطه مشاهده قرار داشته و در نتیجه تغییرات ولتاژ و جریان در

نقطه مشاهده در شکل ۳-۵ نشان داده شدهاند. با توجه به شکل ۳-۵، وقتی جریان به $I_L + \Delta I$ افزایش می یابد،

ولتاژ به $U - \Delta U$ کاهش مییابد. این یعنی اینکه تغییرات فرکانسی پایین ولتاژ و جریان ۱۸۰ درجه با هم اختلاف

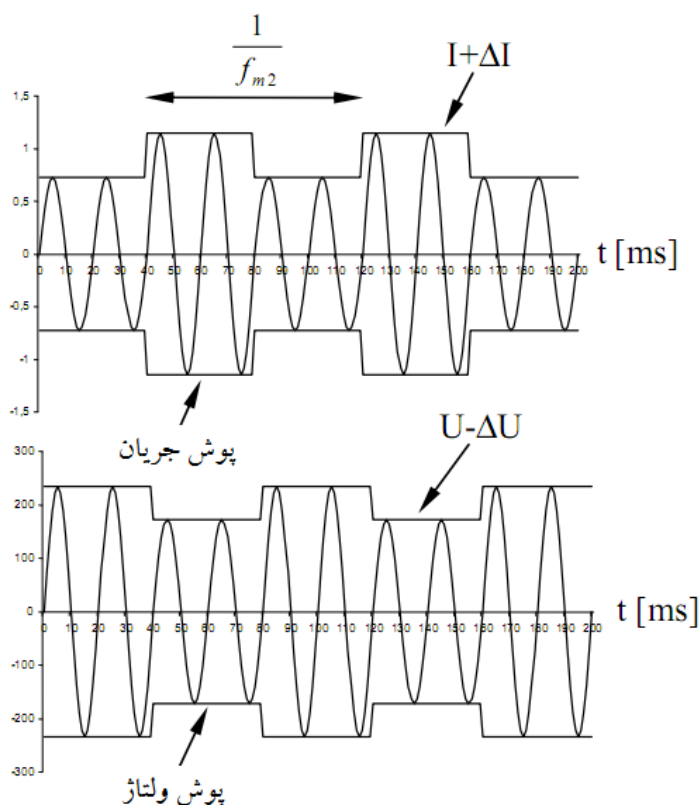
دارند. قابل ذکر است که میتوان برای ساده سازی بیشتر نیز خازن را حذف کرد. البته حذف خازن با فرض

در نظر گرفتن مدل خط کوتاه (کمتر از ۸۰ کیلومتر) درست است

حالت دوم) منبع فلیکر در بالا دست نقطه مشاهده قرار دارد

در این قسمت هدف بررسی تغییرات ولتاژ U_L و جریان I_L وقتی منبع فلیکر در بالا دست نقطه مشاهده است

میباشد.



شکل ۳-۵- تغییرات پوش ولتاژ و جریان ناشی از عملکرد منبع فلیکر در پایین دست نقطه مشاهده [۱۹]

فرض کنید که امپدانس منبع فلیکر با فرکانس f_{m1} تغییر میکند. شکل ۳-۶ مدل مداری ساده شده این حالت

را نشان میدهد. ولتاژ U نتیجه تقسیم ولتاژ بین Z_g و بقیه امپدانسها در مدل مداری میباشد. از آنجا که

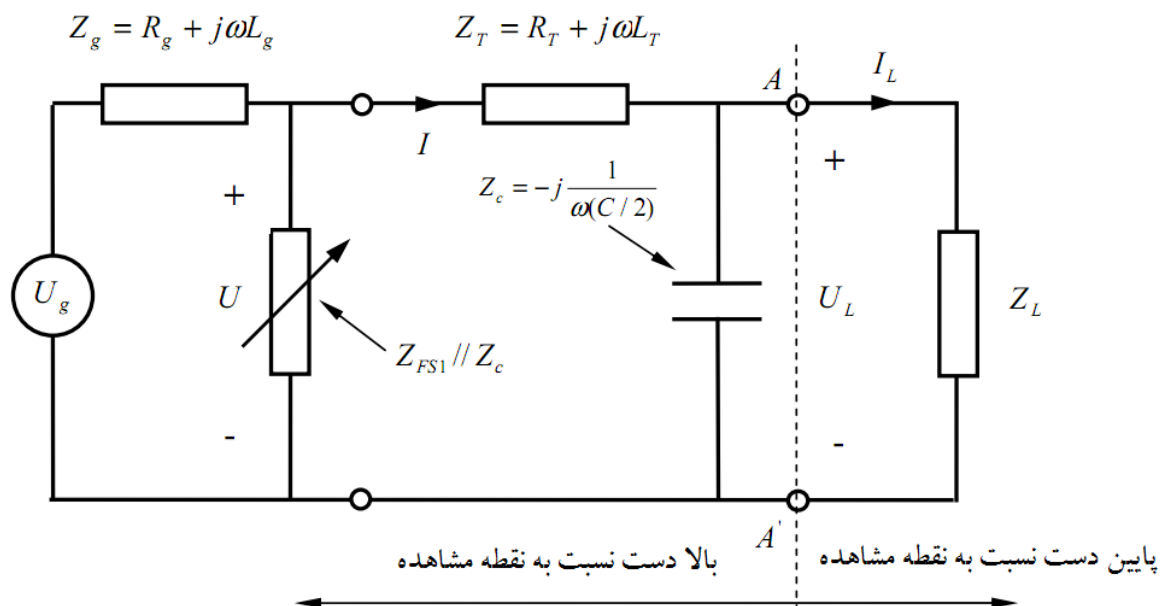
شبکه خطی فرض شده است، تغییرات در ولتاژ U به خاطر تغییرات امپدانس منبع فلیکر Z_{FS1} ، جریان عبوری

از Z_T را تغییر خواهد داد. این نشان میدهد که افزایش در ولتاژ U منجر به افزایش در جریان عبوری از Z_T

خواهد شد و بالعکس. این موضوع را به راحتی می توان با استفاده از قوانین مداری بدست آورد. با استفاده از

تئوری مدار، U_L و I_L برابر خواهند بود با:

$$I_L = \frac{Z_c}{Z_c + Z_L} I \quad (3-4)$$



شکل ۳-۶- مدل مداری سیستم دو باسه در حالت دوم [۱۹]

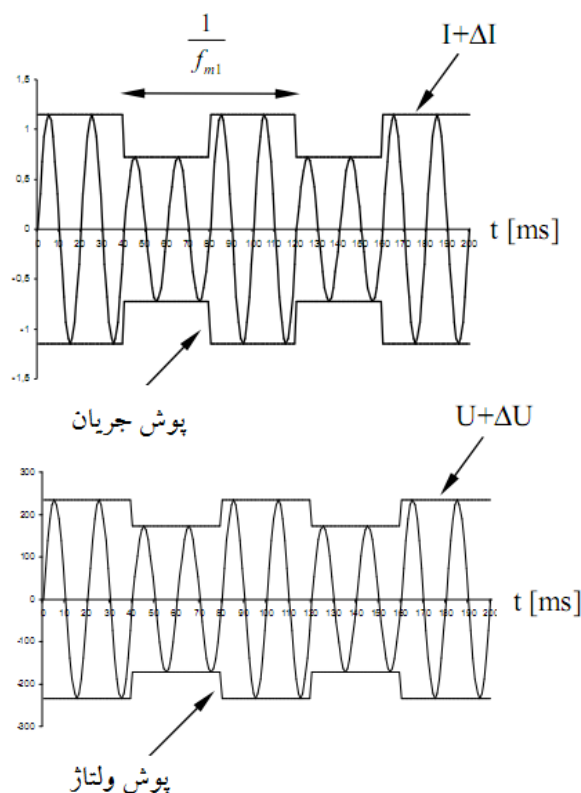
$$U_L = Z_L \cdot I_L = Z_L \frac{Z_c}{Z_c + Z_L} I \quad (۳-۵)$$

$$I = \frac{U}{Z_T + \frac{Z_c \cdot Z_L}{Z_c + Z_L}} \quad (۳-۶)$$

با جایگزینی (۳-۶) در (۳-۴) داریم:

$$I_L = \frac{Z_c}{Z_c + Z_L} \cdot \frac{U}{Z_T + \frac{Z_c \cdot Z_L}{Z_c + Z_L}} \quad (۳-۷)$$

هم چنین با جایگذاری (۳-۶) در (۳-۵) داریم:



شکل ۳-۷- تغییرات پوش ولتاژ و جریان ناشی از عملکرد منبع فلیکر در بالادست دست نقطه مشاهده [۱۹]

$$U_L = Z_L \cdot \frac{Z_c}{Z_c + Z_L} \cdot \frac{U}{Z_T + \frac{Z_c \cdot Z_L}{Z_c + Z_L}} \quad (۳-۸)$$

با تغییر امپدانس منبع فلیکر (تغییر توان مصرفی منبع فلیکر)، ولتاژ U تغییر خواهد کرد. از آنجاییکه بر اساس

روابط (۳-۷) و (۳-۸)، U_L و I_L رابطه مستقیم با U دارند، پوش ولتاژ و جریان با هم همفاز خواهند شد. با

مقایسه نتایج بدست آمده از دو حالت اول و دوم میتوان به قانون زیر برای جهت یابی منبع فلیکر رسید:

(۱) اگر منبع فلیکر در پایین دست نقطه اندازه گیری (دور تر از منبع تغذیه) قرار داشته باشد، آنگاه شیب ولتاژ

نسبت به جریان منفی خواهد بود. چون فرضاً با افزایش جریان منبع فلیکر، ولتاژ نقطه اندازه گیری کم شده

ولی چون جریان منبع فلیکر از نقطه اندازه گیری عبور میکند در نتیجه جریان نقطه اندازه گیری زیاد می شود.

(۲) اگر منبع فلیکر در بالا دست نقطه اندازه‌گیری (یعنی نزدیکتر به منبع تغذیه) قرار داشته باشد، آنگاه شیب تغییرات ولتاژ نسبت به جریان مثبت خواهد بود. چون با افزایش جریان منبع فلیکر، ولتاژ نقطه اندازه‌گیری کم می‌شود و مقدار جریان نیز در نقطه اندازه‌گیری کاهش می‌یابد.

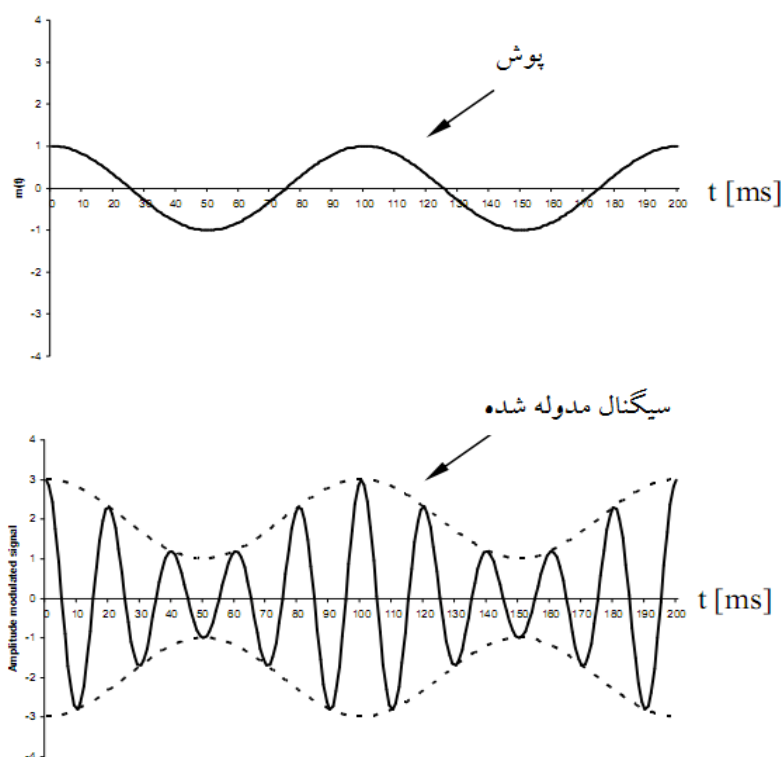
۳-۳-۱- مدولاسیون دامنه

مدولاسیون دامنه^۱ نوعی از مدولاسیون است که در حوزه پخش رادیویی استفاده می‌شود. در پخش رادیویی، این مدولاسیون را طوری طراحی شده می‌کنند که بتوانند اطلاعات را بر روی سیگنال حامل انتقال دهند. اما در بحث کیفیت توان، مدولاسیون دامنه یک پدیده ناخواسته است که منجر به فلیکر می‌شود. اگرچه علتها و پیامدهای مدولاسیون دامنه در دو حوزه کیفیت توان و پخش رادیویی کاملاً متفاوت است، ولی هر دو از یک تئوری پیروی میکنند. از شکل های ۳-۵ و ۳-۷ واضح است که پدیده فلیکر را می‌توان به صورت مدولاسیون دامنه ای نمایش داد که سیگنال فلیکر $m(t)$ پوش سیگنال اصلی می‌باشد. بیان کلی چنین سیگنالی به صورت (۳-۹) است.

$$e(t) = E_c \cos(\omega_c t) + m(t) \cdot \cos(\omega_c t) = (E_c + m(t)) \cdot \cos(\omega_c t) \quad (۳-۹)$$

قسمت اول در رابطه بالا، سیگنال حامل (سیگنال ولتاژ یا جریان با فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز) می‌باشد و قسمت دوم رابطه بالا شامل تغییرات فرکانس پایین $m(t)$ بوده که پوش سیگنال حامل را ایجاد می‌کند. (شکل ۳-۸)

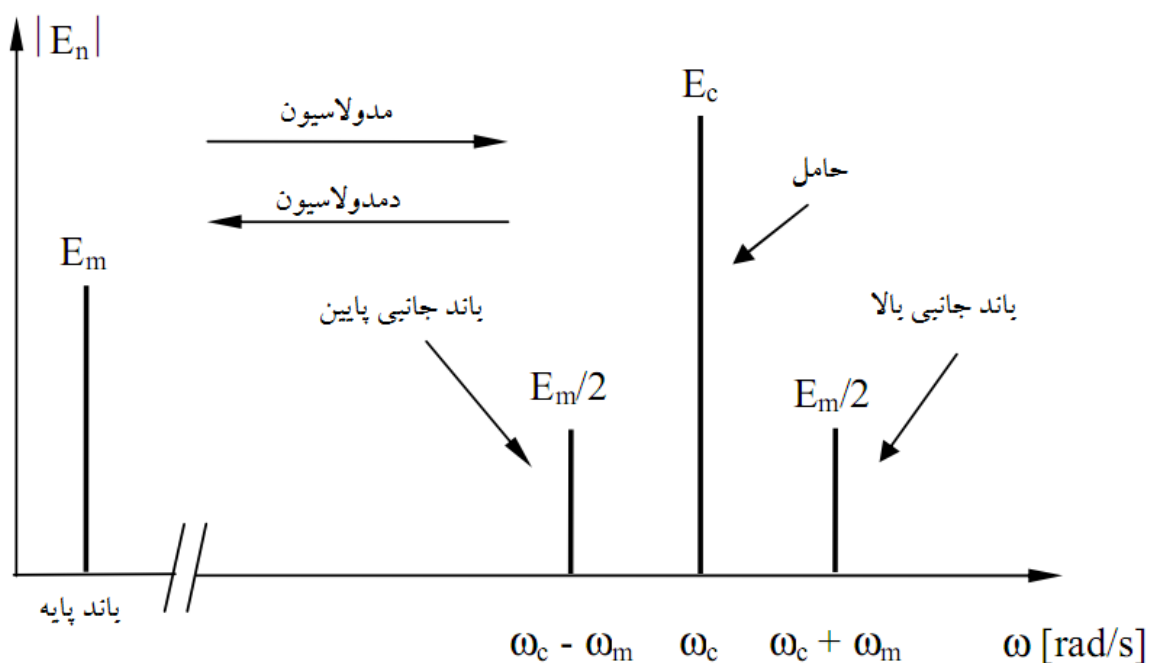
¹ - Amplitude Modulation



شکل ۳-۸- مدولاسیون دامنه [۱۹]

اطلاعات فلیکر در سیگنال مدولاسیون $m(t)$ قرار دارد در نتیجه جداسازی^۱ این سیگنال از سیگنال اصلی امری ضروری است. یک راه بررسی سیگنال مدوله شده، آنالیز در حوزه فرکانس است. از آنجا که در این قسمت هدف ما بیان تعاریف مدولاسیون دامنه است، به جای سیگنال های پیچیده، پوش سینوسی برای سیگنال حامل در نظر گرفته شده است. البته قابل ذکر است که نتایج بدست آمده قوانین کلی هستند که برای همه سیگنال ها صادق است ولی برای راحتی بررسی کردن اطلاعات در حوزه فرکانس از این حالت استفاده میشود. با استفاده از روابط مثلثاتی، رابطه (۳-۹) را بازنویسی میکنیم.

¹ - Demodulation



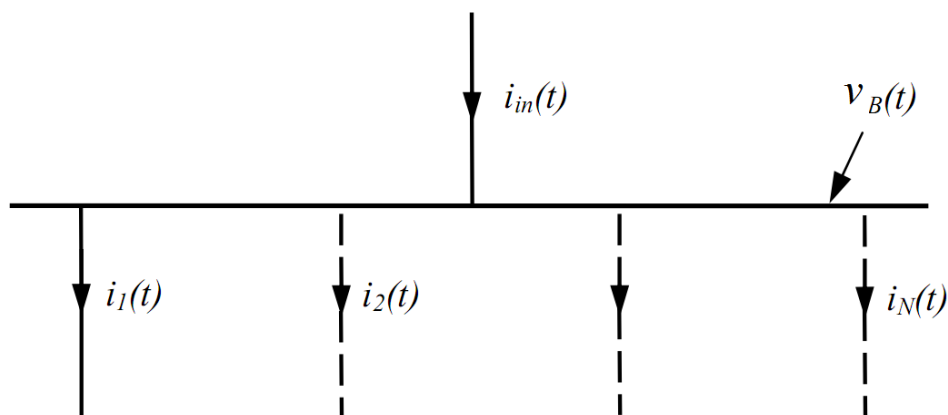
شکل ۳-۹- طیف فرکانسی مدولاسیون دامنه [۱۹]

$$e(t) = E_c \cos(\omega_c t) + m(t) \cdot \cos(\omega_c t) =$$

$$E_c \cos(\omega_c t) + \frac{E_m}{2} \cos((\omega_c + \omega_m)t) + \frac{E_m}{2} \cos((\omega_c - \omega_m)t) \quad (۱۰-۳)$$

سه قسمت آخر نشان داده شده در رابطه بالا، سه قسمت در طیف فرکانسی ایجاد میکنند. قسمت اول فرکانس اصلی بوده که برای بحث کیفیت توان حائز اهمیت نیست و دو قسمت دیگر در حوزه فرکانس در دو طرف فرکانس حامل قرار میگیرند و فاصله فرکانسی آنها تا فرکانس حامل برابر با فرکانس مدولاسیون میباشد. (شکل ۳-۹ را مشاهده کنید).

با استفاده از عملیات دمدولاسیون، می توان نوسانات فرکانس پایین را از سیگنال حامل جدا کرد. روشهای دمدولاسیون زیادی تا کنون مطرح شده است که در ابتدای این فصل به چند روش اشاره شد.



شکل ۳-۱۰- دیاگرام تک خطی شامل یک خط ورودی و N خط خروجی [۱۹]

۳-۲- محاسبه توان فلیکر

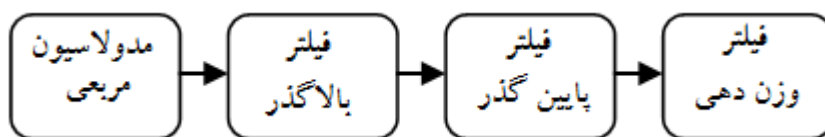
یک باس شامل یک خط ورودی و N خط خروجی همانطور که در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است در نظر بگیرید. فرض کنید که سیستم ما سه فاز متعادل باشد و در نتیجه همه محاسبات در یک فاز انجام میشود. از قسمت های قبل میدانیم که منبع فلیکر، سیگنال های مدوله شده از ولتاژ و جریان ایجاد میکند. در نتیجه ولتاژ در باس به صورت (۳-۱۱) ایجاد میشود.

$$v_B(t) = (V_{CB} + m_v(t)) \cdot \cos(\omega_c t + \theta_c) \quad (۳-۱۱)$$

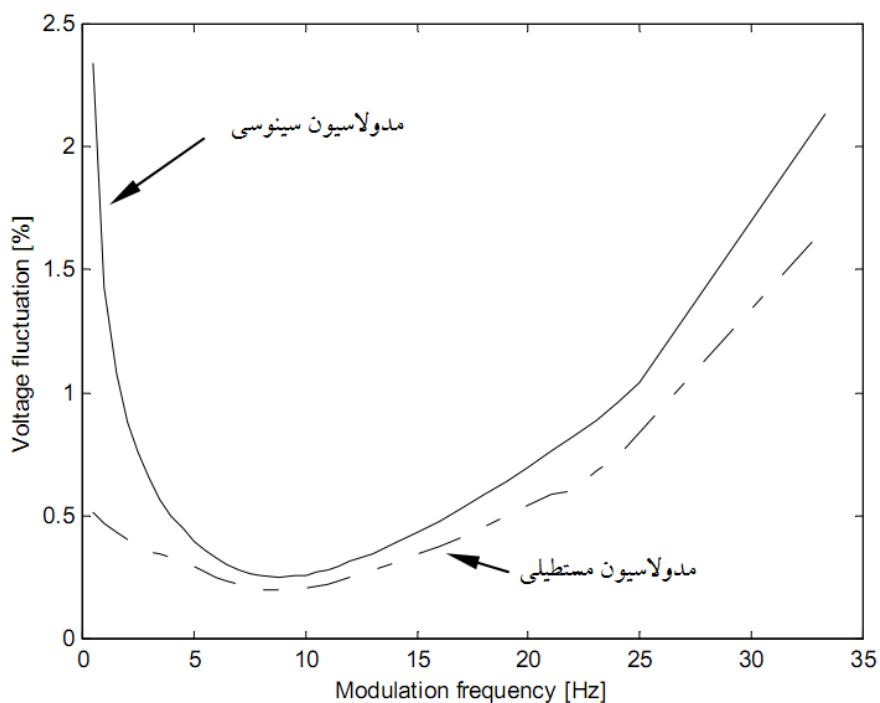
که در آن، V_{CB} دامنه موج حامل، $m_v(t)$ سیگنال مدولاسیون نشات گرفته از منبع فلیکر، ω_c فرکانس زاویه موج حامل و در نهایت θ_c اختلاف فاز نسبت فاز مرجع تعریف شده میباشد. جریان های $(i_1(t), i_2(t), \dots, i_N(t))$ سیگنال های مدوله شده دامنه نشات گرفته از منابع فلیکر موجود در خطوط خروجی می باشند.

بنابراین منابع فلیکر، سیگنال های مدولاسیون $(m_1(t), m_2(t), \dots, m_N(t))$ را در سیگنالهای جریان ایجاد

میکنند. برای بدست آوردن کمیت جدید توان فلیکر جریان خط خروجی یک را بررسی میکنیم.



شکل ۳-۱۱- جداسازی پوش به روش مربعی (دمدولاسیون مربعی)



شکل ۳-۱۲- منحنی درک انسان از فلیکر بر حسب استاندارد [۱۹]

$$i_k(t) = (I_k + m_k(t)) \cdot \cos(\omega_c t + \alpha_c) \quad (3-12)$$

که در آن، I_k دامنه سیگنال حامل، $m_k(t)$ سیگنال دمدولاسیون جریان، ω_c فرکانس زاویه ای حامل و α_c اختلاف فاز نسبت به مرجع تعریف شده می باشد. حال با استفاده از دمدولاسیون مربعی، پوش سیگنالهای ولتاژ و جریان به دست آورده میشود. فرآیند کامل این دمدولاسیون در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است.

$$\begin{aligned}
 v_B^2(t) &= [V_{cB} + m_v(t)]^2 \cos^2(\omega_c t + \theta_c) \\
 &= [V_{cB}^2 + 2V_{cB} \cdot m_v(t) + m_v^2(t)] \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos(2\omega_c t + 2\theta_c)) \quad (13-3) \\
 &= \left\{ \frac{V_{cB}^2}{2} + \frac{1}{2} \cdot 2V_{cB} \cdot m_v(t) + \frac{1}{2} m_v^2(t) \right\} + \left\{ \frac{V_{cB}^2}{2} + \frac{1}{2} \cdot 2V_{cB} \cdot m_v(t) + \frac{1}{2} m_v^2(t) \right\} \cdot \cos(2\omega_c t + 2\theta_c)
 \end{aligned}$$

سپس میتوان با عبور از فیلترهای بالا گذر و پایین گذر پوش ولتاژ و جریان را به راحتی به دست آورد. بعد از به دست آوردن پوش ولتاژ و پوش جریان، توان فلیکر لحظه ای در شاخه یک برابر است با:

$$fp(t) = m_{v(filter)}(t) \cdot m_{k(filter)}(t) \quad (14-3)$$

توان فلیکر در شاخه یک برابر خواهد بود با:

$$\begin{aligned}
 FP &= \frac{1}{T} \int_0^T fp(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T (V_m \cos(\omega_m t + \theta_m)) \cdot (I_{mk} \cos(\omega_m t + \alpha_{mk})) dt \\
 &= \frac{V_m I_{mk}}{2} \cos(\theta_m - \alpha_{mk}) = \frac{V_m I_{mk}}{2} \cos(\phi_{mk}) \quad (15-3)
 \end{aligned}$$

پس تغییرات فرکانس پایین باید بر اساس اینکه عکس العمل انسان نسبت به فلیکر چیست فیلتر شوند. این کار

با استفاده از فیلتر حساسیت انجام میشود. منحنی حساسیت در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است. با توجه به

رابطه به دست آمده برای توان فلیکر، بسته به اینکه پوش های ولتاژ و جریان هم فاز باشند یا غیر هم فاز،

علامت توان فلیکر مثبت یا منفی به دست خواهد آمد. با توجه به قوانین به دست آمده در قسمت قبل و

تعریف کمیتی جدید توان فلیکر، قانون را به صورت زیر کامل می کنیم:

۱) اگر منبع فلیکر در بالا دست نقطه مشاهده است، توان فلیکر FP مثبت است.

۲) اگر منبع فلیکر در پایین دست نقطه مشاهده است، توان فلیکر FP منفی است.

۳) هرچه توان فلیکر در یک نقطه بیشتر باشد، شدت فلیکر در آن نقطه بیشتر است.

۳-۴- خلاصه

این فصل به کار گذشتگان در بحثهای دنبال سازی پوش سیگنال وجهتایی منابع فلیکر پرداخته و روش توان فلیکر و شیب ولتاژ- جریان را به عنوان یک روش جامع مورد بررسی قرار داد. در این فصل، طرح مانیتورینگ توزیع شده بهبود یافته نیز به عنوان یک ضرورت جهتایی منابع فلیکر در شبکه قدرت بررسی شد.

فصل چهارم

روشهای پیشنهادی برای

تشخیص منابع فلیکر

۴-۱- مقدمه

با تولید روز افزون بارهای غیر خطی مانند کوره های قوس الکتریکی ، جوش نقطه و ... فلیکر ایجاد شده توسط این بارها به نگرانی بزرگی هم برای مصرف کننده و هم برای تولید کننده تبدیل شده است. تغییرات در مقدار توان تقاضا شده این بارها باعث نوسانات افت ولتاژ روی امپدانس شبکه توزیع شده و در نتیجه فلیکر ایجاد میشود. به دلیل رقابتهای اقتصادی و کیفیتی موجود در بازار برق، حذف و یا کاهش اثرات منفی این پدیده امری الزامی است. شناسایی منابع فلیکر یکی از مسائل مهم در مقوله جبران سازی فلیکر میباشد.

روشهای زیادی در مقالههای مختلف برای شناسایی منابع فلیکر مطرح شده است. از جمله این روشها، میتوان روش توان فلیکر و روش شبکه عصبی [۲۰] را نام برد. اما مسئله بررسی چند منبع فلیکر به طور هم زمان با استفاده از شبکه عصبی تا کنون بررسی نشده است. برای بررسی چنین حالتی، دنبال سازی همه مولفههای فلیکری موجود در پوش الزامی است. بدین منظور از الگوریتم $d-q$ در این قسمت استفاده میشود. تبدیل $d-q$ تا کنون برای شناسایی و دستهبندی اغتشاشات کیفیت توان استفاده شده است [۱۲] ، [۲۱]. با استفاده از این روش، سیگنالهای سه فاز به روی یک دستگاه مرجع دو بعدی نگاشت میابد. این چهارچوب دارای دو محور عمود بر هم بوده که با سرعت زاویهای مشخصی در حال گردش هستند. با ترکیب تبدیل $d-q$ و الگوریتم شیفرت فاز ۹۰ درجه، یک الگوریتم سریع و دقیق برای شناسایی همه اغتشاشات ولتاژ و مشخصات خطاها در مقالات ارائه شده است [۱۲]. در این مقالات ولتاژ سه فاز ورودی به بار، اندازگیری شده و سپس با استفاده از تبدیل $d-q$ به مولفه های DC در دستگاه مرجع جدید تبدیل می شود. بنابراین هر اغتشاش در ولتاژ

ورودی خود را به صورت یک اغتشاش در مقادیر DC نشان می دهد. با استفاده از این مقادیر، شناسایی

پدیده های کیفیت توان مانند کمبود ولتاژ، بیشبود ولتاژ، فلیکر و ... امکانپذیر است [۱۲]، [۲۱].

- در فصل قبل روشهایی برای دنبال سازی پوش ولتاژ بیان شد اما بیشتر آن روشها قادر به جداسازی مولفه

های فلیکری موجود در پوش به صورت جداگانه نبودند بلکه کل پوش که در واقع جمع مولفههای فلیکری

است را جدا میکردند. در این قسمت روشهایی برای دنبال سازی همهی مولفههای فلیکری موجود در پوش

ولتاژ با استفاده از تبدیل d-q ارائه شده میشود. تبدیل d-q، تبدیلی است که ولتاژهای سه فاز را بر روی

دستگاه مرجع دوار سنکرون نگاشت داده و ولتاژ با فرکانس مورد نیاز را به صورت DC در خروجی نشان

میدهد. تبدیل d-q توسط (۴-۱) تعریف میشود [۲۲].

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = (2/3) \begin{bmatrix} \sin(\omega t) & \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\omega t) & \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (۴-۱)$$

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = (2/3) \begin{bmatrix} \sin(\omega t) & \cos(\omega t) \\ \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} \quad (۴-۲)$$

هم چنین عکس تبدیل d-q توسط (۴-۲) تعریف شده است که در آن ω فرکانس تبدیل، v_d و v_q

پارامترهای دستگاه مرجع سنکرون و v_a ، v_b و v_c پارامترهای دستگاه مختصات abc میباشند. اگر فرکانس

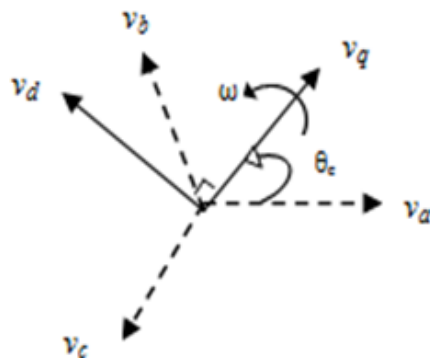
تبدیل (ω) برابر با فرکانس ولتاژ سه فاز (ω_c) باشد، چارچوب دوار سنکرون d-q روی مولفههای چرخان

abc قفل میشود که در این شرایط، رابطه بین ولتاژ سه فاز متعادل abc بیان شده در (۴-۳) و پارامترهای چارچوب دوار سنکرون d-q به صورت (۴-۴) است.

$$\begin{cases} v_a = V_c \cos(\omega_c t + \theta_c) \\ v_b = V_c \cos(\omega_c t + \theta_c - \frac{2\pi}{3}) \\ v_c = V_c \cos(\omega_c t + \theta_c + \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (4-3)$$

$$\begin{cases} v_d = -V_c \sin(\theta_c) \\ v_q = V_c \cos(\theta_c) \\ V_c = \sqrt{v_d^2 + v_q^2} \\ \theta_c = -\arctan(\frac{v_d}{v_q}) \end{cases} \quad (4-4)$$

در روابط بالا V_c ، ω_c و θ_c دامنه، فرکانس و زاویه فاز ولتاژ سه فاز میباشند. مفهوم تبدیل d-q در شکل ۴-۱ آورده شده است.



شکل ۴-۱ مفهوم تبدیل abc-dq

۴-۲- دنبال سازی مولفه های فلیکری موجود در پوش

در روش پیشنهادی از تبدیل $d-q$ برای دنبال سازی مولفههای فلیکری موجود در پوش استفاده شده است. در این قسمت چهار روش مختلف برای این منظور استفاده شده است. در روش اول فقط از تبدیل $d-q$ استفاده شده است. در روش دوم ترکیبی از روش دمدو لاسیون مربعی و الگوریتم $d-q$ ارائه شده است. روش سوم ترکیبی از یکسو کننده نیم موج و الگوریتم $d-q$ بوده و در نهایت روش شیفت فاز با الگوریتم $d-q$ ادغام شده تا همه مولفههای فلیکری استخراج شوند. در این چهار روش باید پیش از هر کاری، فرکانس مولفههای فلیکری را مشخص کرد که این برای این کار نیز الگوریتم جدیدی پیشنهاد شده است.

۴-۲-۱- الگوریتم پیشنهادی برای شناسایی فرکانس مولفه های فلیکری موجود در پوش

در یک سیستم قدرت به خاطر وجود منابع فلیکر، معمولاً بیشتر از یک مولفه فلیکری در پوش ولتاژ وجود دارد. در حالت کلی ولتاژ فاز "a" با N مولفه فلیکری در پوش را به صورت (۴-۵) در نظر بگیرید.

$$v_a = V_c \left(1 + \sum_{k=1}^{k=N} V_{mk} \cos(\omega_{mk} t + \theta_{mk}) \right) \cos(\omega_c t + \theta_c) \quad (4-5)$$

که در آن V_{mk} ، ω_{mk} و θ_{mk} به ترتیب دامنه، فرکانس و زاویه فاز k امین مولفه فلیکری میباشند. همان گونه که از رابطه ریاضی بالا نیز مشخص است، بیش از یک مولفه فلیکری در پوش موجود است و هدف این قسمت نیز تشخیص فرکانس و تعداد این مولفه هاست. بر اساس رابطه (۴-۵)، هر مولفه فلیکری در پوش، یک زیر هارمونیک در فرکانس $(f_c - f_{mk})$ و یک اینتر هارمونیک در فرکانس $(f_c + f_{mk})$ ایجاد میکند. این

مولفه ها به وضوح در (۴-۶) نشان داده شده اند. بر اساس این مفهوم فرکانسها و تعداد این مولفهها مشخص خواهند شد.

$$v_a = \left[\begin{aligned} &V_c \cos[2\pi(f_c)t + \theta_c] + \\ &\frac{1}{2} \sum_{k=1}^{k=N} V_c V_{mk} \cos[2\pi(f_c - f_{mk})t + \theta_c - \theta_{mk}] + \\ &\frac{1}{2} \sum_{k=1}^{k=N} V_c V_{mk} \cos[2\pi(f_c + f_{mk})t + \theta_c + \theta_{mk}] \end{aligned} \right] \quad (۴-۶)$$

با ضرب کردن رابطه (۴-۵) در $\cos(2\pi f_v t)$ ، رابطه (۴-۷) بدست خواهد آمد.

$$v_{mul1} = \cos(2\pi f_v t) v_a(t) = \frac{1}{2} V_c \cdot \quad (۴-۷)$$

$$\left[\begin{aligned} &\cos[2\pi(f_v + f_c)t + \theta_c] + \cos[2\pi(f_v - f_c)t - \theta_c] + \\ &\frac{1}{2} V_{mk} \left(\sum_{k=1}^{k=N} V_{mk} \cos[2\pi(f_v + f_c - f_{mk})t + \theta_c - \theta_{mk}] + \sum_{k=1}^{k=N} \cos[2\pi(f_v - f_c + f_{mk})t - \theta_c + \theta_{mk}] \right) + \\ &\frac{1}{2} V_{mk} \left(\sum_{k=1}^{k=N} \cos[2\pi(f_v + f_c + f_{mk})t + \theta_c + \theta_{mk}] + \sum_{k=1}^{k=N} \cos[2\pi(f_v - f_c - f_{mk})t - \theta_c - \theta_{mk}] \right) \end{aligned} \right]$$

که در آن، f_v فرکانس متغیر در الگوریتم پیشنهادی است. سپس این خروجی از یک فیلتر پایین گذر عبور

داده میشود تا مولفه مستقیم (DC) در هر فرکانس موجود در شکل موج بدست آید. با تغییر f_v از صفر تا $2f_c$

($f_c=50$)، مولفه های مستقیم بدست خواهند آمد. خروجی به صورت (۴-۸) زیر بدست می آید.

$$\begin{cases} v_{out1}(f_v) = \frac{V_c}{2} \cos(-\theta_c) \quad \forall (f_v = f_c) \\ v_{out1}(f_v) = \frac{V_c V_{mk}}{4} \cos(-\theta_c + \theta_{mk}) \quad \forall (f_v = f_c - f_{mk}) \\ v_{out1}(f_v) = \frac{V_c V_{mk}}{4} \cos(-\theta_c - \theta_{mk}) \quad \forall (f_v = f_c + f_{mk}) \end{cases} \quad (9-4)$$

از آنجایی که در شرایط خاص، به ازای بعضی زاویه های خاص، ممکن است مقدار $\cos$ برابر با صفر شود، ولتاژ فاز "a" به صورت جداگانه در $\sin(2\pi f_v t)$ ضرب می شود. سپس از یک فیلتر پایین گذر گذشته و خروجی به صورت (9-4) بدست می آید.

$$v_{mul2} = \sin(2\pi f_v t) v_a(t) \quad (9-4)$$

$$\begin{cases} v_{out1}(f_v) = \frac{V_c}{2} \sin(-\theta_c) \quad \forall (f_v = f_c) \\ v_{out2}(f_v) = \frac{V_c V_{mk}}{4} \sin(-\theta_c + \theta_{mk}) \quad \forall (f_v = f_c - f_{mk}) \\ v_{out2}(f_v) = \frac{V_c V_{mk}}{4} \sin(-\theta_c - \theta_{mk}) \quad \forall (f_v = f_c + f_{mk}) \end{cases} \quad (10-4)$$

بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی برای شناسایی فرکانسهای مولفه های فلیکری در شکل ۴-۲ نشان داده

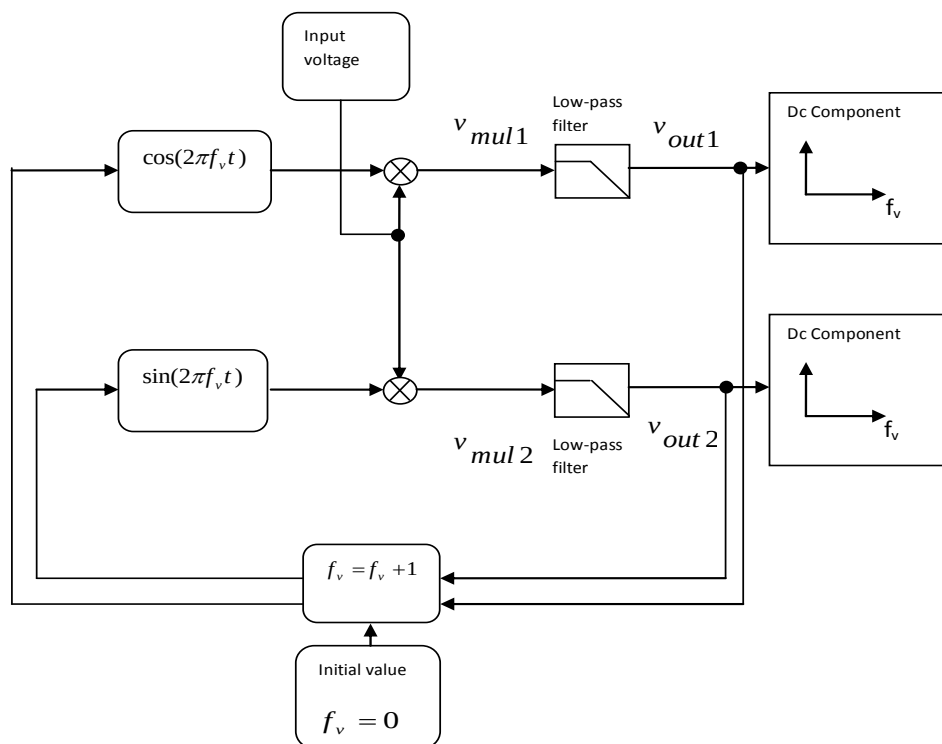
شده است. حالا دو طیف فرکانسی وجود دارد که باید مورد بررسی قرار گیرد. مرحله بعدی طراحی یک

واحد تشخیص دهنده برای شناسایی تعداد و فرکانسهای مولفههای فلیکری میباشد که بلوک دیاگرام

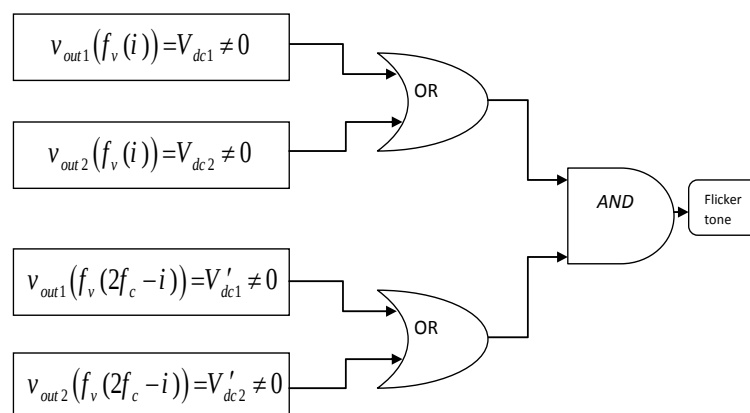
الگوریتم پیشنهادی در شکل ۴-۳ نشان داده شده است. این بلوک دیاگرام شامل چهار عبارت شرطی می -

باشد. دو تا از این عبارات خروجی طیف اول و دوم را در فرکانس $f_v(i)$ بررسی میکنند و دو عبارت دیگر

خروجی طیف اول و دوم را در فرکانس $f_v(2f_c-i)$ بررسی میکنند .



شکل ۴-۲- تشخیص فرکانس های موجود سیگنال



شکل ۴-۳- بلوک دیاگرام واحد تشخیص دهنده

اگر مولفه DC در فرکانس $(f_c - f_m)$ و فرکانس $(f_c + f_m)$ در هر دو طیف وجود داشته باشد، واحد تشخیص

دهنده آن را به عنوان مولفه فلیکری به خروجی تحویل میدهد. بنابراین چهار شرط در یک لحظه بررسی

شده و اگر خروجی گیت منطقی AND برابر با یک باشد، آن فرکانس، مولفه فلیکری در پوش معرفی میشود. خروجی واحد تشخیص دهنده به مرحله بعدی که در ادامه توضیحات آن آورده خواهد شد فرستاده میشود.

۴-۲-۲- روش پیشنهادی اول جهت دنبال سازی مولفه های فلیکری

فلوچارت روش پیشنهادی در شکل ۴-۴ نشان داده شده است. فرض کنید ولتاژ سه فاز با N مولفه فلیکری به صورت (۴-۱۱) موجود باشد.

$$\begin{cases} v_a = V_c \left(1 + \sum_{k=1}^{k=N} V_{mk} \cos(\omega_{mk} t + \theta_{mk}) \right) \cos(\omega_c t + \theta_c) \\ v_b = V_c \left(1 + \sum_{k=1}^{k=N} V_{mk} \cos(\omega_{mk} t + \theta_{mk} - \frac{2\pi}{3}) \right) \cos(\omega_c t + \theta_c - \frac{2\pi}{3}) \\ v_c = V_c \left(1 + \sum_{k=1}^{k=N} V_{mk} \cos(\omega_{mk} t + \theta_{mk} + \frac{2\pi}{3}) \right) \cos(\omega_c t + \theta_c + \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (11-4)$$

با تزریق این ولتاژهای سه فاز به تبدیل $d-q$ در فرکانس $(\omega = \omega_c)$ ، خروجی ها به صورت (۴-۱۲) بدست خواهند آمد. سپس این خروجی ها از فیلتر بالا گذری عبور داده میشوند تا مولفه های مستقیم آنها حذف شوند. بنابراین خروجی فیلتر ها به صورت (۴-۱۳) است.

$$\begin{cases} v_d = -V_c \sin(\theta_c) + \sum_{k=1}^{k=N} \frac{V_c V_{mk}}{2} \sin((2\omega_c + \omega_{mk})t + \theta_c + \theta_{mk}) \\ v_q = V_c \cos(\theta_c) + \sum_{k=1}^{k=N} \frac{V_c V_{mk}}{2} \cos((2\omega_c + \omega_{mk})t + \theta_c + \theta_{mk}) \end{cases} \quad (12-4)$$

$$\begin{cases} v_d' = \sum_{k=1}^{k=N} \frac{V_c V_{mk}}{2} \sin((2\omega_c + \omega_{mk})t + \theta_c + \theta_{mk}) \\ v_q' = \sum_{k=1}^{k=N} \frac{V_c V_{mk}}{2} \cos((2\omega_c + \omega_{mk})t + \theta_c + \theta_{mk}) \end{cases} \quad (13-4)$$

در رابطه بالا، V_d' و V_q' پارامترهای چارچوب دوار سنکرون در خروجی فیلتر بالا گذر میباشند. سپس با

عبور از عکس تبدیل d-q در فرکانس $(\omega=\omega_c)$ داریم:

$$\begin{cases} v_a' = \sum_{k=1}^{k=N} \frac{V_c V_{mk}}{2} \cos((\omega_c + \omega_{mk})t + \theta_c + \theta_{mk}) \\ v_b' = \sum_{k=1}^{k=N} \frac{V_c V_{mk}}{2} \cos\left((\omega_c + \omega_{mk})t + \theta_c + \theta_{mk} + \frac{2\pi}{3}\right) \\ v_c' = \sum_{k=1}^{k=N} \frac{V_c V_{mk}}{2} \cos\left((\omega_c + \omega_{mk})t + \theta_c + \theta_{mk} - \frac{2\pi}{3}\right) \end{cases} \quad (14-4)$$

که در آن، v_a' ، v_b' و v_c' پارامترهای دستگاه مختصات abc در خروجی عکس تبدیل d-q میباشند. با توجه

به جابه جایی زاویه فاز در فاز "b" و فاز "c" با توجه به رابطه (14-4)، این دو فاز همان طور که در شکل

4-4 نشان داده شده اند با هم جابه جا شده اند. خروجی تبدیل d-q در فرکانس $(\omega=\omega_c+\omega_{m1})$ با فاز اولیه

θ_c جهت دنبال سازی اولین مولفه فلیکری به صورت (15-4) به دست آورده شده است.

$$\begin{cases} v_{d1}'' = -\frac{V_c V_{m1}}{2} \sin(\theta_{m1}) + \sum_{k=1}^{k=N} \frac{V_c V_{mk}}{2} \sin((\omega_{m1} - \omega_{mk})t - \theta_{mk}) \\ v_{q1}'' = \frac{V_c V_{m1}}{2} \cos(\theta_{m1}) + \sum_{k=1}^{k=N} \frac{V_c V_{mk}}{2} \cos((\omega_{m1} - \omega_{mk})t - \theta_{mk}) \end{cases} \quad (15-4)$$

سپس با عبور از سیستم پایین گذر، v_{d1}''' و v_{q1}''' برابر هستند با:

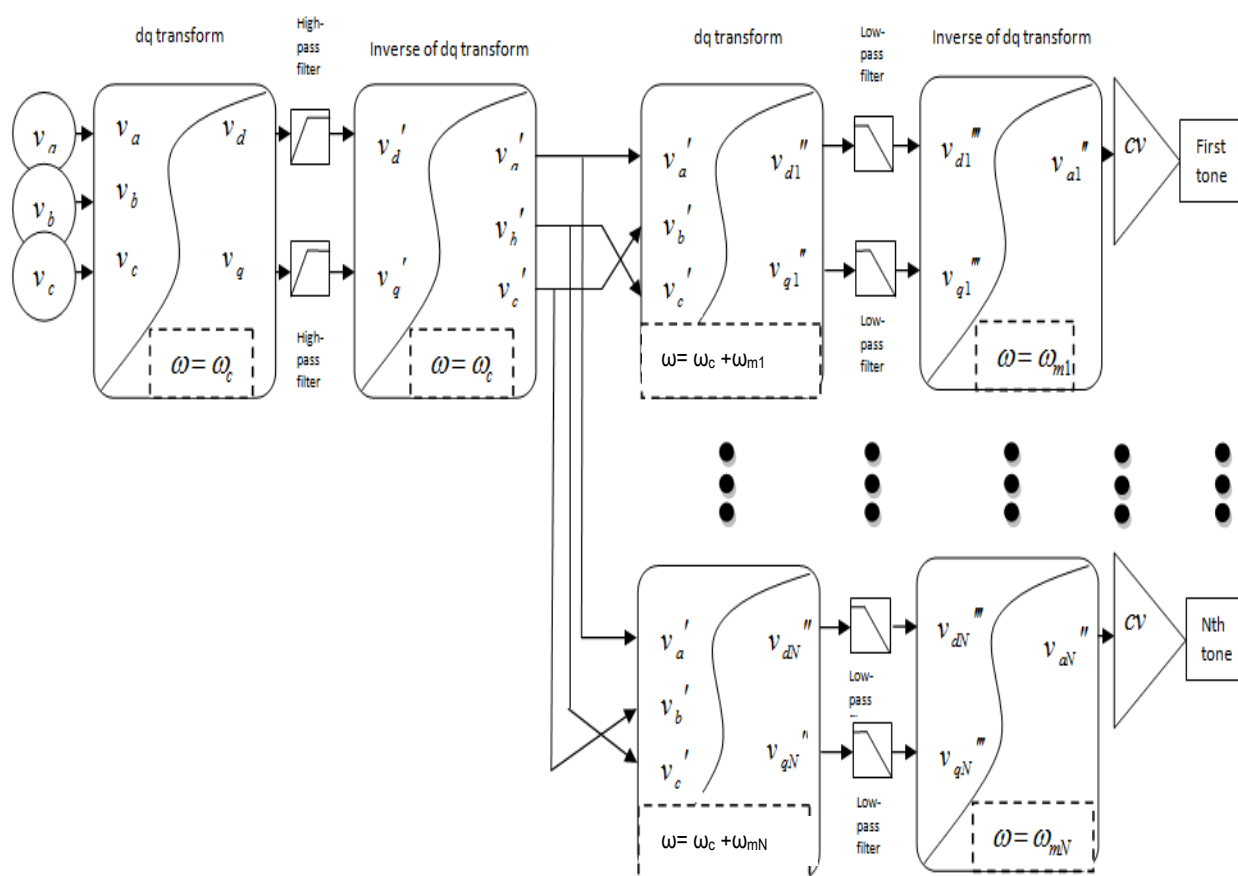
$$\begin{cases} v_{d1}''' = -\frac{V_c V_{m1}}{2} \sin(\theta_{m1}) \\ v_{q1}''' = \frac{V_c V_{m1}}{2} \cos(\theta_{m1}) \end{cases} \quad (16-4)$$

سپس با استفاده از عکس تبدیل d-q در فرکانس $(\omega = \omega_{m1})$ اولین مولفه فلیکری به صورت (۱۷-۴) به دست آورده میشود.

$$v_{a1}'' = \frac{V_c V_{m1}}{2} \cos(\omega_{m1} t + \theta_{m1}) \quad (17-4)$$

ضریب اصلاح $(CV = 2/V_c)$ به v_{a1}'' اعمال میشود و بنابراین اولین مولفه فلیکری برابر است با:

$$V_c = \sqrt{(v_d(t) - v_d'(t))^2 + (v_q(t) - v_q'(t))^2} \quad (18-4)$$



شکل ۴-۴- روش پیشنهادی اول جهت دنبال سازی مولفه های فلیکری

$$v_{tone1} = \frac{2v_{a1}''}{V_c} = V_{m1} \cos(\omega_{m1}t + \theta_{m1}) \quad (9-4)$$

و به صورت مشابه، همین روند برای مولفه های فلیکری دیگر نیز، اعمال می شود.

۴-۲-۳- روش پیشنهادی دوم جهت دنبال سازی مولفه های فلیکری (دمدولاسیون مربعی بهبود یافته)

در روش دمدولاسیون مربعی با استفاده از مربع کردن سیگنال اصلی، اختلاف فرکانسی بین مولفههای فرکانسی افزایش پیدا خواهد کرد و بنابراین میتوان پوش فلیکری را توسط زنجیرهای از فیلترها دنبال کرد. این روش طوری در این قسمت بهبود داده خواهد شد که قادر به دنبال سازی همه مولفههای فلیکری موجود در پوش باشد. در اولین قدم دامنه مولفه اصلی (V_c) مشخص میشود. با فرستادن ولتاژ سه فاز متعادل (۴-۱۱) به یک تبدیل d-q در فرکانس ($\omega = \omega_c$) و سپس با عبور از فیلتر پایین گذر این پارامتر به صورت (۴-۲۰) به دست میآید.

$$V_c = \sqrt{v_{d(filter)}(t)^2 + v_{q(filter)}(t)^2} = \sqrt{(-V_c \sin(\theta_c))^2 + (V_c \cos(\theta_c))^2} \quad (20-4)$$

که در آن $v_{d(filter)}$ و $v_{q(filter)}$ پارامترها دستگاه مرجع سنکرون d-q بعد از عبور از فیلتر میباشند. بعد از محاسبه V_c بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده در شکل ۴-۵ به ولتاژ سه فاز متعادل (۴-۱۱) اعمال می شود. رابطه (۴-۲۱) را به عنوان ولتاژ فاز "a" با N مولفه فلیکری در نظر بگیرید.

$$v_a = V_c \left(1 + \sum_{k=1}^{k=N} V_{mk} \cos(\omega_{mk}t + \theta_{mk}) \right) \cos(\omega_c t + \theta_c) = V_c \left(1 + \sum_{k=1}^{k=N} v_{mk} \right) \cos(\omega_c t + \theta_c) \quad (21-4)$$

پس از مربع کردن، (۴-۲۲) بدست آورده میشود.

$$v_a' = v_a^2 = V_c^2 \left(1 + \sum_{k=1}^{k=N} v_{mk} \right)^2 \cos^2(\omega_c t + \theta_c) =$$

$$V_c^2 \left[1 + \sum_{k=1}^{k=N} \sum_{k'=1}^{k'=N} \frac{V_{mk} V_{mk'}}{2} \cos((\omega_{mk} + \omega_{mk'})t + \theta_{mk} + \theta_{mk'}) \right. \\ \left. + \sum_{k=1}^{k=N} \sum_{k'=1}^{k'=N} \frac{V_{mk} V_{mk'}}{2} \cos((\omega_{mk} - \omega_{mk'})t + \theta_{mk} - \theta_{mk'}) \right] \times (0.5 + 0.5 \cos(2\omega_c t + 2\theta_c)) \quad (22-4)$$

$$+ \sum_{k=1}^{k=N} 2V_{mk} \cos(\omega_{mk} t + \theta_{mk})$$

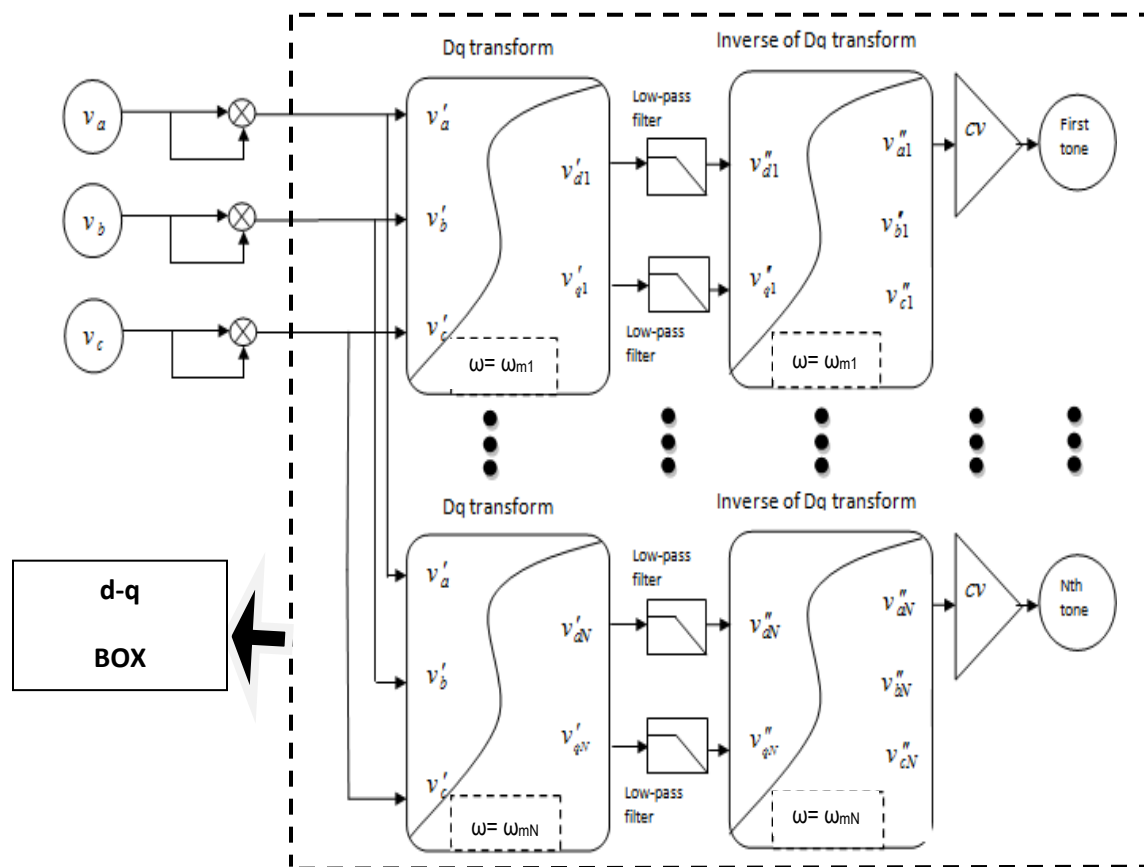
همان طور که در (۲۲-۴) نشان داده شده است، بعد از مربع سازی، فرکانس های مختلفی در خروجی ایجاد می شوند. فرض کنید که $\omega_{squ}(p), p=1,2,...,P$ فرکانس های ایجاد شده بعد از مربع سازی باشد (P تعداد کل فرکانس ها بعد از مربع سازی). اگر هر یک از این فرکانسها برابر با فرکانس تبدیل d-q باشد، یک مولفه مستقیم (d-q) در خروجی تبدیل d-q به وجود خواهد آمد. اما بقیه فرکانسها با فرکانس زاویه ای جدید $(\omega - \omega_{squ}(p))$ به دوران خود ادامه میدهند. همین مولفه های دورانی، قسمت متناوب ولتاژ را در خروجی تبدیل d-q ایجاد میکنند. بر اساس شکل ۴-۵، خروجی تبدیل d-q در فرکانس $(\omega = \omega_{m1})$ برای دنبال کردن اولین مولفه فلیکری به صورت (۲۳-۴) به دست می آید.

$$\begin{cases} v_{d1}' = -V_c^2 V_{m1} \sin(\theta_{m1}) + AC_{d1}(\text{square}) \\ v_{q1}' = V_c^2 V_{m1} \cos(\theta_{m1}) + AC_{q1}(\text{square}) \end{cases} \quad (23-4)$$

که در آن، $AC_{d1}(square)$ و $AC_{q1}(square)$ به مولفه های متناوب بعد از عبور از تبدیل d-q در روش مربع سازی بهبود یافته اشاره می کنند. سپس با عبور از فیلتر پایین گذر، V''_{d1} و V''_{q1} به صورت (۲۴-۴) بدست می آیند.

$$\begin{cases} v''_{d1} = -V_c \sqrt{V_{m1}} \sin(\theta_{m1}) \\ v''_{q1} = V_c \sqrt{V_{m1}} \cos(\theta_{m1}) \end{cases} \quad (24-4)$$

و سپس با عبور از عکس تبدیل d-q در فرکانس $(\omega = \omega_{m1})$ ، اولین مولفه فلیکری به صورت (۲۵-۴) به دست آورده می شود.



شکل ۴-۵- دمدولاسیون مربعی بهبود یافته با استفاده از تبدیل d-q

$$v_{a1}'' = V_c^2 V_{m1} \cos(\omega_{m1} t + \theta_{m1}) \quad (۴-۲۵)$$

ضریب اصلاح ($CV=1/V_c^2$) به v_{a1}'' اعمال شده و بنابراین در نهایت مولفه فلیکری به طور دقیق به صورت (۴-۲۶) به دست می آید.

$$v_{tone1} = \frac{v_{a1}''}{V_c^2} = V_{m1} \cos(\omega_{m1} t + \theta_{m1}) \quad (۴-۲۶)$$

به طور مشابه، فرآیند مشابهی روی بقیه مولفهها نیز انجام میشود. اما بر اساس (۴-۲۲)، این الگوریتم پیشنهادی قادر به تشخیص فرکانس های زیر نیست.

$$\omega_{mk} = (2\omega_{mk}'), \omega_{mk} = (\omega_{mk} + \omega_{mk}'), \omega_{mk} = (\omega_{mk} - \omega_{mk}') \quad (۴-۲۷)$$

زیرا مولفه های ایجاد شده با فرکانس های گوناگون تحت این شرایط بر روی هم همپوشانی داشته و بنابراین تبدیل d-q قادر به دنبال سازی درست مولفه های مطلوب نیست.

۴-۲-۴- روش پیشنهادی سوم جهت دنبال سازی مولفه های فلیکری (یکسو کننده نیم موج بهبود یافته)

یکی دیگر از روش هایی که برای دنبال سازی پوش استفاده می شود روش یکسو کننده نیم موج می باشد. در این روش، با عبور سیگنال اصلی ولتاژ از یک یکسو کننده نیم موج، پوش فلیکری به صورت مستقل در خروجی ظاهر می شود. بنابراین این پوش را میتوان به راحتی توسط زنجیره فیلتری جدا کرد. در این قسمت این روش توسط تبدیل d-q بهبود داده شده است. در اولین قدم دامنه مولفه اصلی (V_c) مشخص می شود. با فرستادن ولتاژ سه فاز متعادل (۴-۱۱) به یک تبدیل d-q در فرکانس ($\omega = \omega_c$) و سپس با عبور از فیلتر پایین گذر این پارامتر به صورت (۴-۲۸) به دست می آید.

$$V_c = \sqrt{v_{d(filter)}(t)^2 + v_{q(filter)}(t)^2} = \sqrt{(-V_c \sin(\theta_c))^2 + (V_c \cos(\theta_c))^2} \quad (28-4)$$

که در آن $v_{d(filter)}$ و $v_{q(filter)}$ پارامترها دستگاه مرجع سنکرون d-q بعد از عبور از فیلتر میباشند. بعد از محاسبه V_c بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده در شکل ۴-۶ به ولتاژ سه فاز متعادل (۴-۱۱) اعمال میشود. رابطه (۴-۲۱) را به عنوان ولتاژ فاز "a" در نظر بگیرید که دارای N مولفه فلیکری در پوش است. بعد از عبور از یکسو کننده نیم موج، خروجی به صورت (۴-۲۹) بدست آورده میشود.

$$v_a'(t) = V_c \left(1 + \sum_{k=1}^{k=N} v_{mk} \right) \cos(\omega_c t) \Big|_{1/2 \text{ waverect}} = V_c \left(1 + \sum_{k=1}^{k=N} v_{mk} \right) \cdot \left(\frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \cos(\omega_c t_c) - \frac{2}{\pi} \left(+ \frac{1}{1.3} \cos(2\omega_c t) + \frac{1}{3.5} \cos(4\omega_c t) + \frac{1}{5.7} \cos(6\omega_c t) + \dots \right) \right) \quad (29-4)$$

در رابطه بالا به وضوح معلوم است که بعد از عملیات یکسو کنندگی، فرکانسهای مختلفی در خروجی ظاهر میشود. خروجی های تبدیل d-q در فرکانس $(\omega = \omega_{m1})$ جهت دنبال کردن اولین مولفه فلیکری به صورت (۴-۳۰) به دست آورده شده است.

$$\begin{cases} v_{d1}' = -\frac{V_c V_{m1}}{\pi} \sin(\theta_{m1}) + AC_{d1}(\text{rectifier}) \\ v_{q1}' = \frac{V_c V_{m1}}{\pi} \cos(\theta_{m1}) + AC_{q1}(\text{rectifier}) \end{cases} \quad (30-4)$$

که در آن، $AC_{d1}(\text{rectifier})$ و $AC_{q1}(\text{rectifier})$ به مولفه های متناوب بعد از عبور از تبدیل d-q در روش یکسو کننده نیم موج بهبود یافته اشاره میکنند. سپس با عبور از یک فیلتر پایین گذر، v_{d1}'' و v_{q1}'' برابر میشوند با:

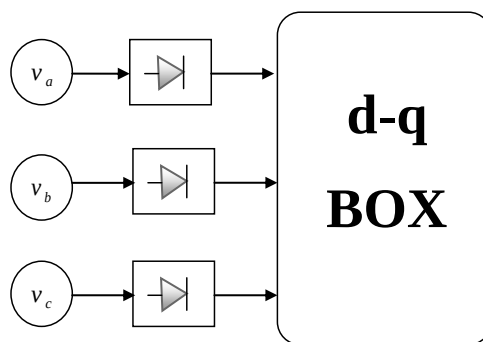
$$\begin{cases} v_{d1}'' = -\frac{V_c V_{m1}}{\pi} \sin(\theta_{m1}) \\ v_{q1}'' = \frac{V_c V_{m1}}{\pi} \cos(\theta_{m1}) \end{cases} \quad (4-41)$$

سپس با عبور از عکس تبدیل d-q در فرکانس $(\omega = \omega_{m1})$ ، اولین مولفه فرکانسی به صورت (4-42) بدست میآید.

$$v_{a1}'' = \frac{V_c V_{m1}}{\pi} \cos(\omega_{m1} t + \theta_{m1}) \quad (4-42)$$

ضریب اصلاح $(CV = \pi/V_c)$ به (v_{a1}'') اعمال شده و در نتیجه اولین مولفه فلیکری به صورت (4-43) بدست میآید.

$$v_{tone1} = \frac{\pi v_{a1}''}{V_c} = V_{m1} \cos(\omega_{m1} t + \theta_{m1}) \quad (4-43)$$



شکل 4-6- دمدولاسیون یکسو کننده نیم موج بهبود یافته با استفاده از تبدیل d-q

به صورت مشابه، همین فرآیند برای مولفه های فلیکری دیگر نیز اعمال میشود.

4-2-5- روش پیشنهادی چهارم جهت دنبال سازی مولفه های فلیکری (شیفت فاز بهبود یافته)

روش شیفیت فاز سومین روشی است که در این قسمت بهبود داده میشود. در روش شیفیت فاز ابتدا سیگنال اصلی به طور موازی به دو شیفیت دهنده فاز فرستاده میشود. این دو بلوک شیفیت فاز هایی با اندازه یکسان ولی با علامت متفاوت به سیگنال اعمال میکنند. سپس پوش فلیکر توسط روابط ریاضی جدا خواهد شد. در اولین قدم دامنه مولفه اصلی (V_c) مشخص میشود. با فرستادن ولتاژ سه فاز متعادل (۴-۱۱) به یک تبدیل d-q در فرکانس ($\omega = \omega_c$) و سپس با عبور از فیلتر پایین گذر این پارامتر به صورت (۴-۳۴) به دست میآید.

$$V_c = \sqrt{v_{d(filter)}(t)^2 + v_{q(filter)}(t)^2} = \sqrt{(-V_c \sin(\theta_c))^2 + (V_c \cos(\theta_c))^2} \quad (۴-۳۴)$$

که در آن $v_{d(filter)}$ و $v_{q(filter)}$ پارامترها دستگاه مرجع سنکرون d-q بعد از عبور از فیلتر میباشند. بعد از محاسبه V_c بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده در شکل ۴-۷ به ولتاژ سه فاز متعادل (۴-۱۱) اعمال می شود. ابتدا توابع انتقالی به صورت (۴-۳۵) در نظر بگیریم.

$$H^+(j\omega) = \frac{v_a^+}{v_a} = \frac{j\omega a^+ \tau + 1}{j\omega \tau + 1} \quad (۴-۳۵)$$

$$H^-(j\omega) = \frac{v_a^-}{v_a} = \frac{j\omega a^- \tau + 1}{j\omega \tau + 1}$$

در رابطه بالا، τ معرف زمان نمونهبرداری میباشد. با این توابع تبدیل، اختلاف فاز های (۴-۳۶) در فرکانس اصلی ایجاد میشود:

$$\beta^+ = \arctan(\omega a^+ \tau) - \arctan(\omega \tau)$$

$$\beta^- = \arctan(\omega a^- \tau) - \arctan(\omega \tau) \quad (۴-۳۶)$$

¹ -sample time

از آنجا که هدف این توابع تبدیل، حذف کردن فرکانس اصلی می باشد، (۳۷-۴) را باید در نظر داشت و a^+ و a^- را بر اساس (۳۷-۴) به دست آورده میشود.

$$\beta = \beta^+(\omega = \omega_c) = -\beta^-(\omega = \omega_c) \quad (37-4)$$

بعد از عبور از توابع تبدیل داریم:

$$\begin{cases} v_a^+ = V_c (1 + v_1^+ + v_2^+) \cos(\omega_c t + \theta_c + \beta) \\ v_a^- = V_c (1 + v_1^- + v_2^-) \cos(\omega_c t + \theta_c - \beta) \end{cases} \quad (38-4)$$

$$\begin{cases} v_1^+ = V_{m1} \cos(\omega_{m1} t + \theta_{m1} + \beta_1^+) \\ v_1^- = V_{m1} \cos(\omega_{m1} t + \theta_{m1} + \beta_1^-) \\ v_2^+ = V_{m2} \cos(\omega_{m2} t + \theta_{m2} + \beta_2^+) \\ v_2^- = V_{m2} \cos(\omega_{m2} t + \theta_{m2} + \beta_2^-) \end{cases}$$

هم چنین a^+ و a^- باید طوری تعیین شوند که در این روش حداقل مقدار شیف فاز را در مولفه های فرکانسی موجود در پوش را داشته باشیم. ورودی تبدیل $d-q$ در این روش پیشنهادی به صورت (۴۰-۴) به دست آورده میشود.

$$v_a' = v_a^2 - (v_a^+ \times v_a^-) = (V_c (1 + v_1 + v_2))^2 \times \frac{1}{2} \sin^2(\beta) \quad (39-4)$$

$$v_a' = V_c^2 \times \frac{1}{2} \sin^2(\beta) \left[1 + \sum_{k=1}^{k=N} \sum_{k'=1}^{k'=N} \frac{V_{mk} V_{mk'}}{2} \cos((\omega_{mk} + \omega_{mk'})t + \theta_{mk} + \theta_{mk'}) \right. \\ \left. + \sum_{k=1}^{k=N} \sum_{k'=1}^{k'=N} \frac{V_{mk} V_{mk'}}{2} \cos((\omega_{mk} - \omega_{mk'})t + \theta_{mk} - \theta_{mk'}) \right. \\ \left. + \sum_{k=1}^{k=N} 2V_{mk} \cos(\omega_{mk}t + \theta_{mk}) \right] \quad (40-4)$$

خروجی تبدیل d-q در فرکانس $(\omega = \omega_{m1})$ جهت دنبال سازی اولین مولفه فلیکری در پوش به صورت

(41-4) بدست آورده شده است.

$$\begin{cases} v_{d1}' = -V_c^2 \sin^2(\beta) V_{m1} \sin(\theta_{m1}) + AC_{d1}(shifting) \\ v_{q1}' = V_c^2 \sin^2(\beta) V_{m1} \cos(\theta_{m1}) + AC_{q1}(shifting) \end{cases} \quad (41-4)$$

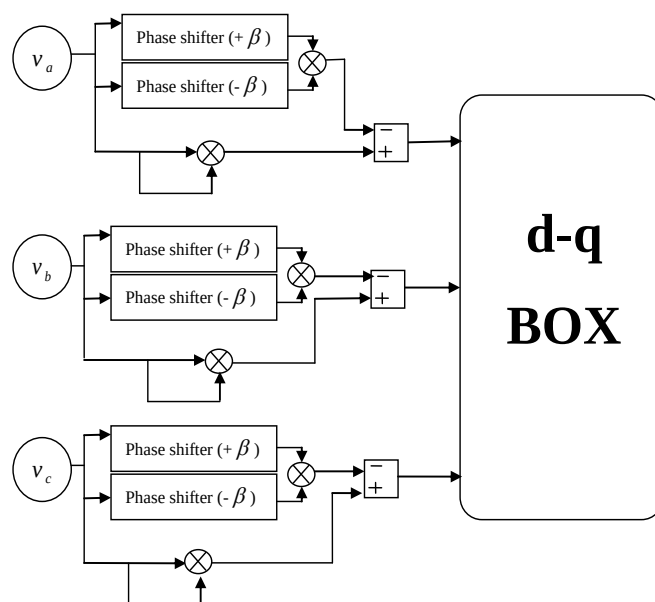
که در آن، $AC_{d1}(shifting)$ و $AC_{q1}(shifting)$ به مولفه های متناوب ایجاد شده بعد از عبور از تبدیل d-

q در روش شیفت فاز اشاره میکنند. سپس با استفاده از فیلتر پایین گذر، v_{d1}'' و v_{q1}'' برابر می شوند با:

$$\begin{cases} v_{d1}' = -V_c^2 \sin^2(\beta) V_{m1} \sin(\theta_{m1}) + AC_{d1}(shifting) \\ v_{q1}' = V_c^2 \sin^2(\beta) V_{m1} \cos(\theta_{m1}) + AC_{q1}(shifting) \end{cases} \quad (42-4)$$

سپس با عبور از عکس تبدیل d-q در فرکانس $(\omega = \omega_{m1})$ ، اولین مولفه فلیکری در پوش برابر است با:

$$v_{a1}'' = (V_c^2 \sin^2(\beta)) \times V_{m1} \cos(\omega_{m1}t + \theta_{m1}) \quad (43-4)$$



شکل ۴-۷- دمدولاسیون شیفیت فاز بهبود یافته با استفاده از تبدیل d-q

ضریب اصلاح $(CV=1/V_c^2 \sin(\beta))$ به V''_{a1} اعمال شده و در نتیجه خواهیم داشت:

$$v_{a1}'' = (V_c^2 \sin^2(\beta)) \times V_{m1} \cos(\omega_{m1}t + \theta_{m1}) \quad (4-44)$$

اما این الگوریتم پیشنهادی هم قادر به تشخیص فرکانس های زیر نیست.

$$\omega_{mk} = (2\omega_{mk'}), \omega_{mk} = (\omega_{mk} + \omega_{mk'}), \omega_{mk} = (\omega_{mk} - \omega_{mk'}) \quad (4-45)$$

زیرا مولفه های ایجاد شده با فرکانس های گوناگون تحت این شرایط بر روی هم همپوشانی داشته و بنابراین

تبدیل d-q قادر به ردگیری درست مولفه های مطلوب نیست.

۳-۴- تشخیص منابع فلیکر در یک شبکه قدرت

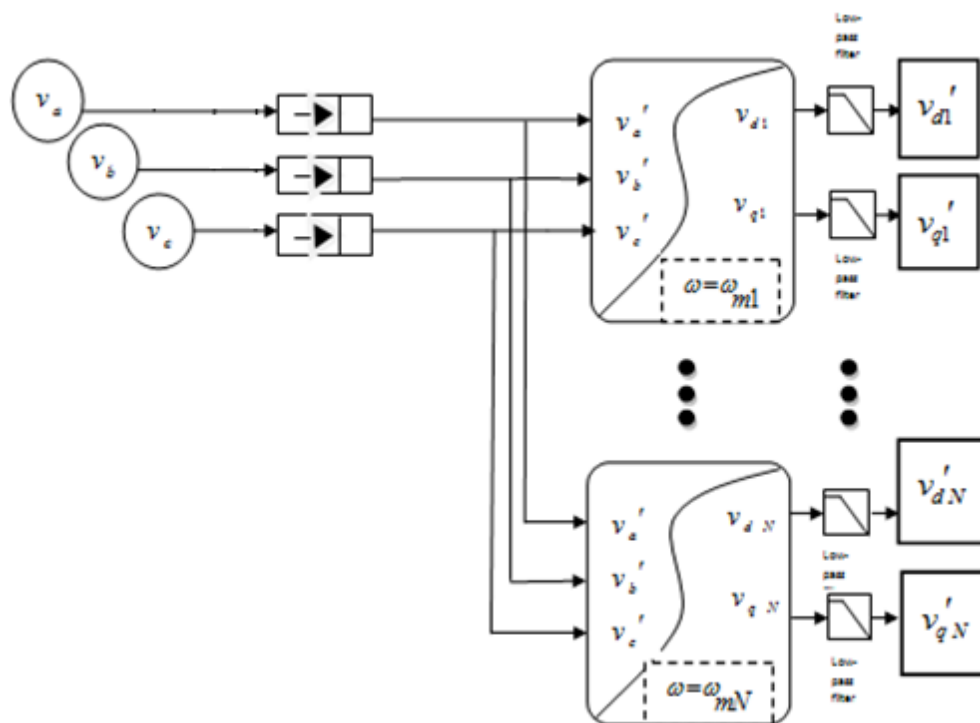
بر اساس شبیه سازیهایی که در فصل بعد نشان داده خواهد شد، از بین چهار روش مطرح شده در قسمت قبل، روش یکسو کننده نیم موج بهبود یافته بهترین روش انتخاب شده و در نتیجه از همین روش برای تشخیص منابع فلیکر را در شبکه قدرت در این قسمت استفاده میکنیم. برای این هدف باید دامنه و زاویه هر مولفه فلیکری موجود در پوش را محاسبه کنیم. برای این منظور از روش یکسو کننده نیم موج بهبود یافته نشان داده شده در شکل ۸-۴ استفاده میشود.

الگوریتم نشان داده شده در شکل ۸-۴ همان الگوریتم یکسو کننده نیم موج نشان داده شده در شکل ۶-۴ میباشد. با این تفاوت که عکس تبدیل $d-q$ در هر سطح حذف شده است چرا در این قسمت نیاز به دنبال سازی مولفههای فلیکری نداریم بلکه اندازه و زاویه برای تشخیص محل منبع فلیکر کافی است. با توجه به روابط توضیح داده شده در قسمت یکسو کننده نیم موج بهبود یافته، V_{d1}' ، V_{q1}' ... V_{dN}' و V_{qN}' محاسبه می-شوند. با استفاده از این پارامترها می توان دامنه هر مولفه فلیکری را با استفاده از (۴۶-۴) بدست آورد. همچنین فاز هر مولفه فلیکری را میتوان با استفاده از (۴۷-۴) به دست آورد.

به طور نمونه برای اولین مولفه فلیکری موجود در پوش داریم:

$$V_{m1} = \frac{\pi}{V_c} \cdot \sqrt{v_{d1}'(t)^2 + v_{q1}'(t)^2} = \sqrt{\left(-\frac{V_c V_{m1}}{\pi} \sin(\theta_{m1})\right)^2 + \left(\frac{V_c V_{m1}}{\pi} \cos(\theta_{m1})\right)^2} \quad (46-4)$$

$$\theta_{m1} = -\arctan\left(\frac{v_{d1}'}{v_{q1}'}\right) \quad (47-4)$$



شکل ۴-۸- روش یکسو کننده نیم موج بهبود یافته جهت شناسایی منابع فلیکر

حال با استفاده از این اطلاعات، میتوان سه روش را برای تشخیص محل بارهای فلیکر را پیشنهاد نمود.

۴-۳-۱- روش تشخیص منابع فلیکر را بر اساس توان فلیکر و فاز مولفه فلیکری

اگر چند بار فلیکر را در شبکه قدرت وجود داشته باشد، تعداد مولفههای فلیکری موجود در پوش ولتاژ و

جریان بیش تر از یکی خواهد بود و در نتیجه توان فلیکر به صورت (۴-۴۸) محاسبه خواهد شد.

$$\begin{aligned}
 FP &= \frac{1}{T} \int_0^T fp(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \left(\sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \cos(\omega_{mk} t + \beta_k) \right) \cdot \left(\sum_{k=1}^{\infty} I_{mk} \cos(\omega_{mk} t + \alpha_k) \right) dt \\
 &= \sum_{k=1}^{\infty} \frac{U_{mk} I_{mk}}{2} \cos(\beta_k - \alpha_k) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{U_{mk} I_{mk}}{2} \cos(\varphi_k)
 \end{aligned} \tag{۴-۴۸}$$

همان طور که به وضوح در (۴-۴۸) معلوم است، جهت توان فلیکر وابسته به علامت COS در رابطه توان فلیکر است. و از آنجا که در روش تشخیص منابع توسط روش توان فلیکر، جهت توان فلیکر (علامت توان فلیکر) برای ما اهمیت دارد نه اندازه آن، با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در شکل ۴-۸، زاویه های پوش ولتاژ و پوش جریان را در هر خط مورد نظر به دست آورده و سپس با استفاده از (۴-۴۸) علامت COS و در نتیجه علامت توان فلیکر در هر مولفه فلیکری مشخص می شود و سپس با مقایسه جهت توان فلیکر با جهت شارش توان فرکانس اصلی، بالا دست بودن یا پایین دست بودن بار فلیکر را در هر نقطه مشاهده به دست می آید.

آنگاه با بررسی همه نقاط مشاهده می توان به راحتی محل همه بار های فلیکر را در یک شبکه قدرت معین کرد. این فرآیند در شبیه سازی فصل آینده نشان خواهد داده شد. در این روش برای تعیین محل بار فلیکر را نیاز به قرار دادن دستگاه اندازه گیری، حداقل در ۲ خط منتهی به هر باس می باشد. یعنی اگر شبکه ما دارای سه باس بوده تعداد دستگاهها اندازه گیری ما، حداقل دو برابر تعداد باسها یعنی شش باس خواهد بود. در شبکه های بزرگ تعداد دستگاه ها بسیار زیاد خواهد شد و در نتیجه از نظر اقتصادی به صرفه نیست. برای حل این مشکل روش دوم پیشنهاد میشود. در روش دوم تعداد اندازه گیری ها به نصف کاهش خواهد یافت.

۴-۳-۲- روش تشخیص منابع فلیکر را بر اساس دامنه مولفه فلیکری

فرق این روش با روش اول در این است که در روش اول بررسی روی ولتاژ و جریان صورت می گرفت ولی در این روش بررسی فقط بر روی ولتاژ باسها انجام میشود. به خاطر همین است که تعداد دستگاههای اندازه گیری به نصف کاهش میابد. تفاوت دوم این روش با روش اول بررسی اندازه مولفههای فلیکری به جای زاویه آنهاست. از آنجا که هر چه یک باس به منبع فلیکر نزدیک باشد، اندازه دامنه مولفه فلیکری

مربوط به آن منبع فلیکرزا در آن باس بیشتر می شود می توان نتیجه گرفت که بزرگترین دامنه مولفه فلیکری در شبکه مربوط به باس متصل به منبع فلیکر می باشد. به این ترتیب میتوان با بررسی دامنه همه مولفه های فلیکری در همه باسها محل بار فلیکرزا را مشخص کرد. اما باز هم ممکن است که تعداد اندازه گیری ها زیاد به نظر برسد. در نتیجه روش سوم پیشنهاد می شود.

۴-۳-۳- روش تشخیص منابع فلیکر را بر اساس دامنه مولفه فلیکری و شبکه عصبی

در روش سوم با استفاده از اندازه دامنه های به دست آمده در روش دوم و شبکه عصبی مصنوعی، تعداد اندازه گیری ها را کاهش میدهیم. بر اساس دلایل گفته شده، شبکه عصبی اخیراً برای شناسایی محل بار فلیکرزا در مقالات استفاده شده است. فایده این روش در این است که میتوان به شکل محسوسی تعداد اندازه گیری ها را کاهش داد. در روش شبکه عصبی، به جای استفاده از همه باسها، چند باس محدود که حساسیت بالایی نسبت به تغییرات ولتاژ دارند انتخاب میشوند. اما در مقالات قبلی وجود بیش از یک بار با شبکه عصبی بررسی نشده است. حال اگر بخواهیم از شبکه عصبی برای برای شناسایی چندین منبع فلیکر استفاده کنیم نیاز است که از روش هایی استفاده شود که قادر به جداسازی مولفه های فلیکری به صورت جداگانه باشد. (این کار توسط چهار الگوریتم پیشنهادی در قسمت اول این فصل جهت دنبال سازی مولفه های فلیکری قابل اجرا است). فرآیند کامل این سه روش به صورت کامل در فصل بعد با استفاده از شبیه سازی ها نشان داده خواهد شد.

۴-۴- خلاصه

این فصل شامل روشهای پیشنهادی این پایان نامه جهت تشخیص منابع فلیکر و از دو زیر فصل اصلی تشکیل شده است. در زیر فصل اول، چهار روش برای دنبال سازی مولفه های فلیکری موجود در پوش پیشنهاد شد و از بین این چهار روش، روش دمدولاسیون یکسو کننده نیم موج بهبود یافته به عنوان بهترین گزینه انتخاب گردید. سپس در زیر فصل دوم، با استفاده از دمدولاسیون یکسو کننده نیم موج بهبود یافته، سه روش جهت تشخیص منابع فلیکرزا مطرح گردید. روش اول از قاعده توان فلیکر به همراه زاویه مولفههای فلیکری استفاده می کند. روش دوم از بزرگترین دامنه مولفه فلیکری به عنوان شاخص تشخیص منبع فلیکر را استفاده می کند. و روش سوم نیز همان شاخص روش دوم را دنبال می کند با این تفاوت که تعداد اندازهگیری ها با استفاده از شبکه عصبی کاهش یافته است.

فصل پنجم

نتایج شبیه سازی

۵-۱- مقدمه

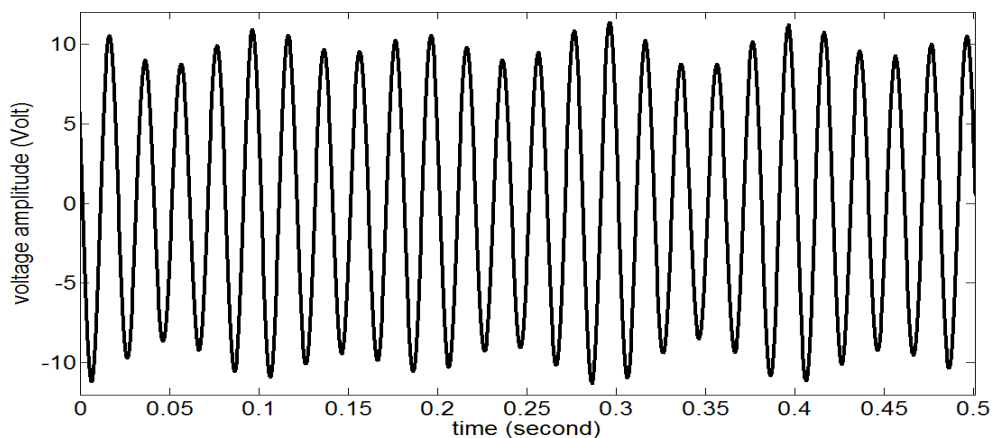
در این فصل برای ارزیابی روشهای پیشنهاد شده در فصل چهارم، جهت دنبال کردن مولفههای فلیکری و تشخیص منابع فلیکر در شبکه قدرت، شبیه سازی ها در نرم افزار MATLAB انجام شده است. در ابتدا، سیگنال های توسط SIMULINK برای ارزیابی صحت چهار روش های پیشنهادی جهت دنبال سازی مولفههای فلیکری پوش سیگنال استفاده شده است. همچنین با مقایسه های که روی این چهار روش صورت میگیرد مشخص خواهد شد که کدام روش مناسب ترین روش خواهد بود. سپس با شبیه سازی شبکه قدرت شش باسه، سه روش پیشنهادی جهت تشخیص منابع فلیکر را مورد بررسی قرار می گیرد.

۵-۲- نتایج شبیه سازی چهار روش پیشنهادی جهت دنبال کردن مولفه های فلیکری پوش

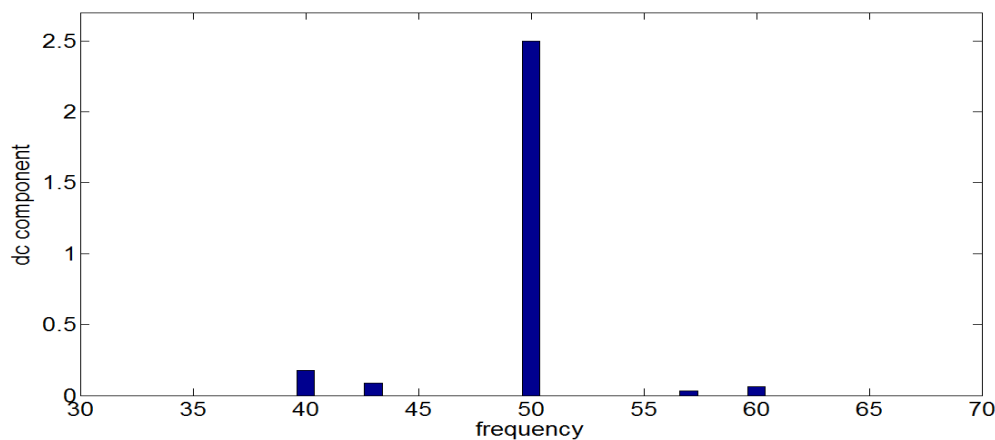
در ابتدا برای روشن شدن کامل الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده در شکل ۴-۲ و واحد تصمیم گیرنده نشان داده شده در شکل ۴-۳ دو مثال آورده شده است. این دو مثال به طور کامل این دو موضوع را مشخص می کنند. در مثال اول فرض کنید سیگنال های خام ولتاژ ما به صورت (۵-۱) باشند. ($\omega_c = 50 \text{ Hz}$)

$$\begin{cases} v_a = 10 \left(1 + 0.1 \cos(2\pi 10t + \frac{\pi}{12}) + 0.05 \cos(2\pi 7t + \frac{\pi}{12}) \right) \cos(\omega_c t + \frac{\pi}{3}) \\ v_b = 10 \left(1 + 0.1 \cos(2\pi 10t + \frac{\pi}{12} - \frac{2\pi}{3}) + 0.05 \cos(2\pi 7t + \frac{\pi}{12} - \frac{2\pi}{3}) \right) \cos(\omega_c t + \frac{\pi}{3} - \frac{2\pi}{3}) \\ v_c = 10 \left(1 + 0.1 \cos(2\pi 10t + \frac{\pi}{12} + \frac{2\pi}{3}) + 0.05 \cos(2\pi 7t + \frac{\pi}{12} + \frac{2\pi}{3}) \right) \cos(\omega_c t + \frac{\pi}{3} + \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (۵-۱)$$

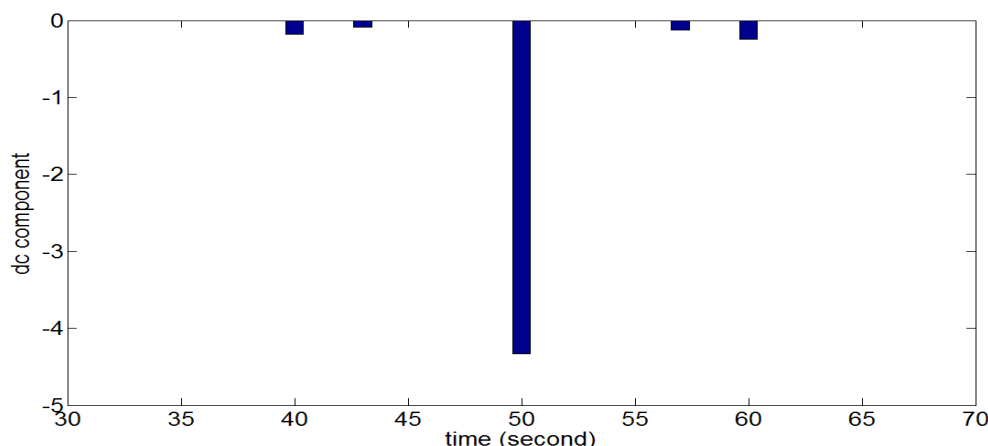
شکل ۱-۵ ولتاژ فاز "a" رابطه (۱-۵) را نشان می‌دهد. در این قسمت فرض شده که دو منبع فلیکر در شبکه وجود داشته و در نتیجه دو مولفه فلیکری در پوش ولتاژهای سه فاز خواهیم داشت. همان طوری که در الگوریتم پیشنهادی در شکل ۲-۴ نشان داده شده، خروجی این الگوریتم دو طیف فرکانسی خواهد بود که نتایج آن در شکل های ۲-۵ و ۳-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱-۵- سیگنال خام ولتاژ با دو مولفه فلیکری ۱۰ و ۷ هرتز در پوش



شکل ۲-۵- طیف فرکانسی اول (ایجاد شده توسط ضرب کردن در COS)



شکل ۵-۳- طیف فرکانسی دوم (ایجاد شده توسط ضرب کردن در $\sin$)

با توجه به شکل های ۲-۵ و ۳-۵، دو زیر هارمونیک در فرکانس های ۴۰ و ۴۳ و دو میان هارمونیک در فرکانس های ۵۷ و ۶۰ داریم. در نتیجه واحد تشخیص دهنده، دو مولفه فلیکری با فرکانس های ۷ و ۱۰ هرتز را تشخیص داده و به خروجی میفرستد. اما ممکن است این ابهام پیش بیاید که با استفاده از اولین طیف فرکانسی به تنهایی هم می توانستیم این نتایج را به دست آوریم پس دلیل استفاده از طیف دوم چیست؟! برای پاسخ به این ابهام باید گفت که حالت هایی وجود دارند که ممکن است یک مولفه فلیکری خود را به صورت مقدار DC در طیف اول نشان ندهد و این شرایط وقتی ایجاد می شود که عبارت $\cos(-\theta_c - \theta_{mk})$ یا $\cos(-\theta_c + \theta_{mk})$ در شرایطی برابر با صفر شوند. در این حالت نیاز به طیف دوم می باشد. زیرا امکان ندارد که در آن واحد مقدار یک مولفه فلیکری پوش در هر دو طیف برابر با صفر شود. برای روشن شدن این مساله نمونه ولتاژ دوم را در نظر بگیرید. ($\omega_c = 50 \text{ Hz}$)

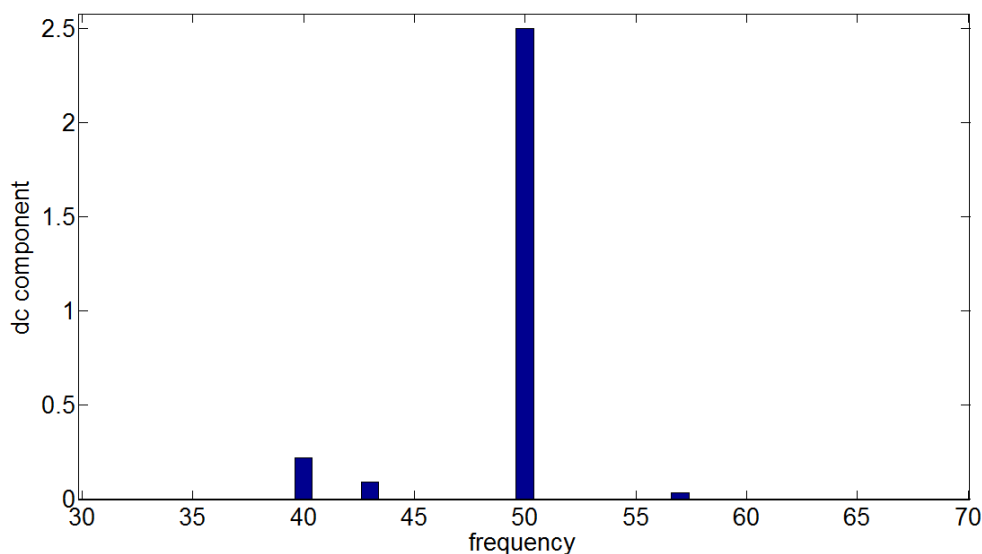
$$\begin{cases} v_a = 10 \left(1 + 0.1 \cos(2\pi 10t + \frac{\pi}{6}) + 0.05 \cos(2\pi 7t + \frac{\pi}{12}) \right) \cos(\omega_c t + \frac{\pi}{3}) \\ v_b = 10 \left(1 + 0.1 \cos(2\pi 10t + \frac{\pi}{6} - \frac{2\pi}{3}) + 0.05 \cos(2\pi 7t + \frac{\pi}{12} - \frac{2\pi}{3}) \right) \cos(\omega_c t + \frac{\pi}{3} - \frac{2\pi}{3}) \quad (2-5) \\ v_c = 10 \left(1 + 0.1 \cos(2\pi 10t + \frac{\pi}{6} + \frac{2\pi}{3}) + 0.05 \cos(2\pi 7t + \frac{\pi}{12} + \frac{2\pi}{3}) \right) \cos(\omega_c t + \frac{\pi}{3} + \frac{2\pi}{3}) \end{cases}$$

در این نمونه ولتاژ نیز دو مولفه فلیکری در فرکانس های ۷ و ۱۰ هرتز داریم ولی به دلیل زاویای این مولفهها

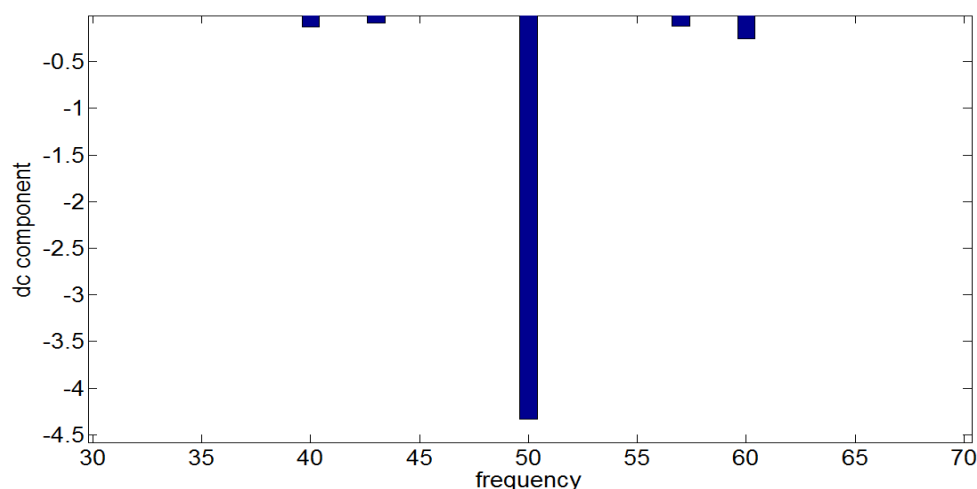
و زاویه فرکانس اصلی مقدار مولفه ۱۰ هرتز در طیف اول صفر است. زیرا مقدار آرگمان $\cos$ برابر با ۹۰

درجه در این حالت می باشد. پس همان گونه که مشخص است با طیف اول به تنهایی نمی توان همه مولفه

های فلیکری را پیدا کرد و نیاز به طیف دوم در این حالت ضروری است.



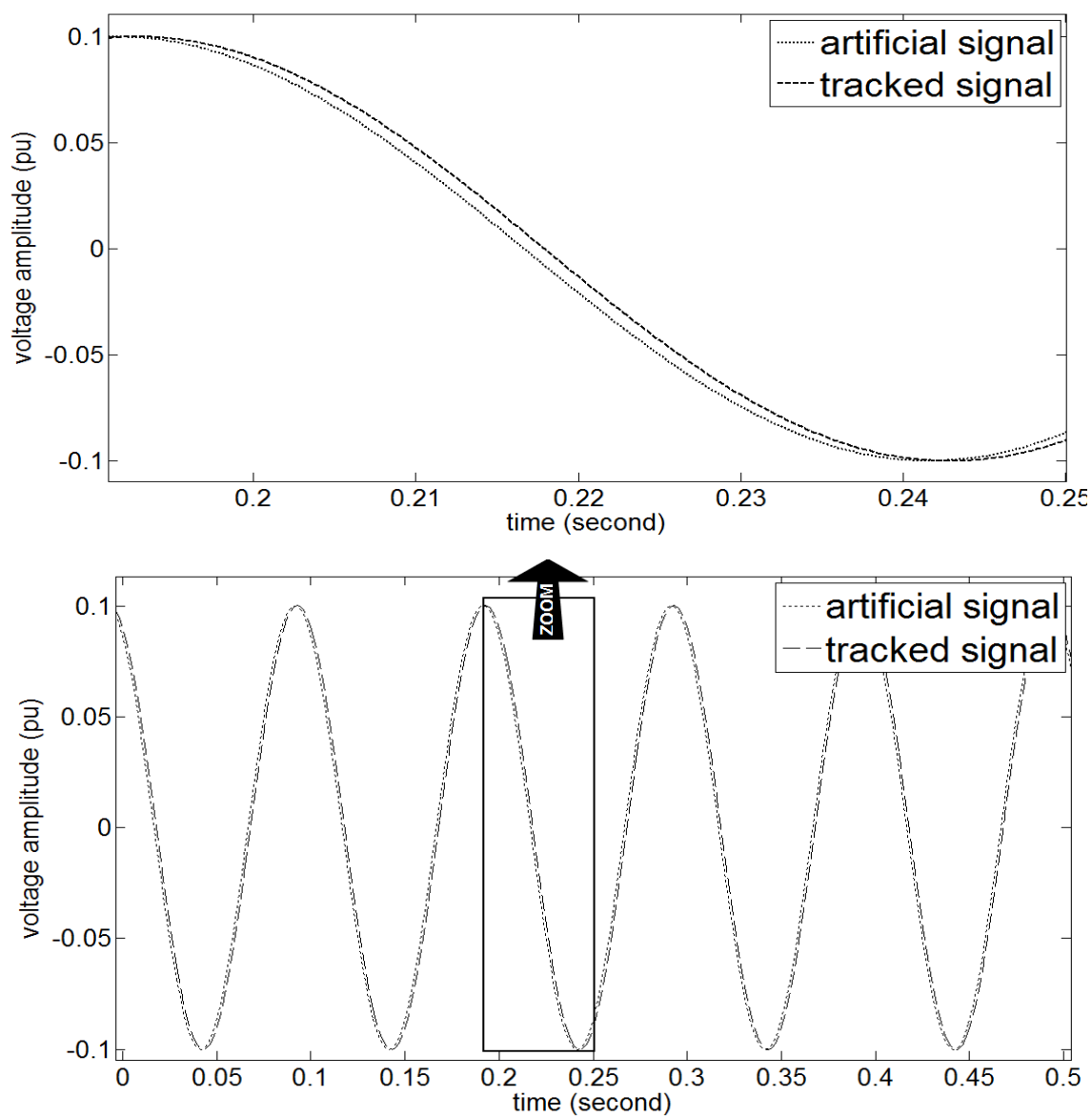
شکل ۴-۵- طیف فرکانسی اول (ایجاد شده توسط ضرب کردن در $\cos$) برای نمونه ولتاژ دوم



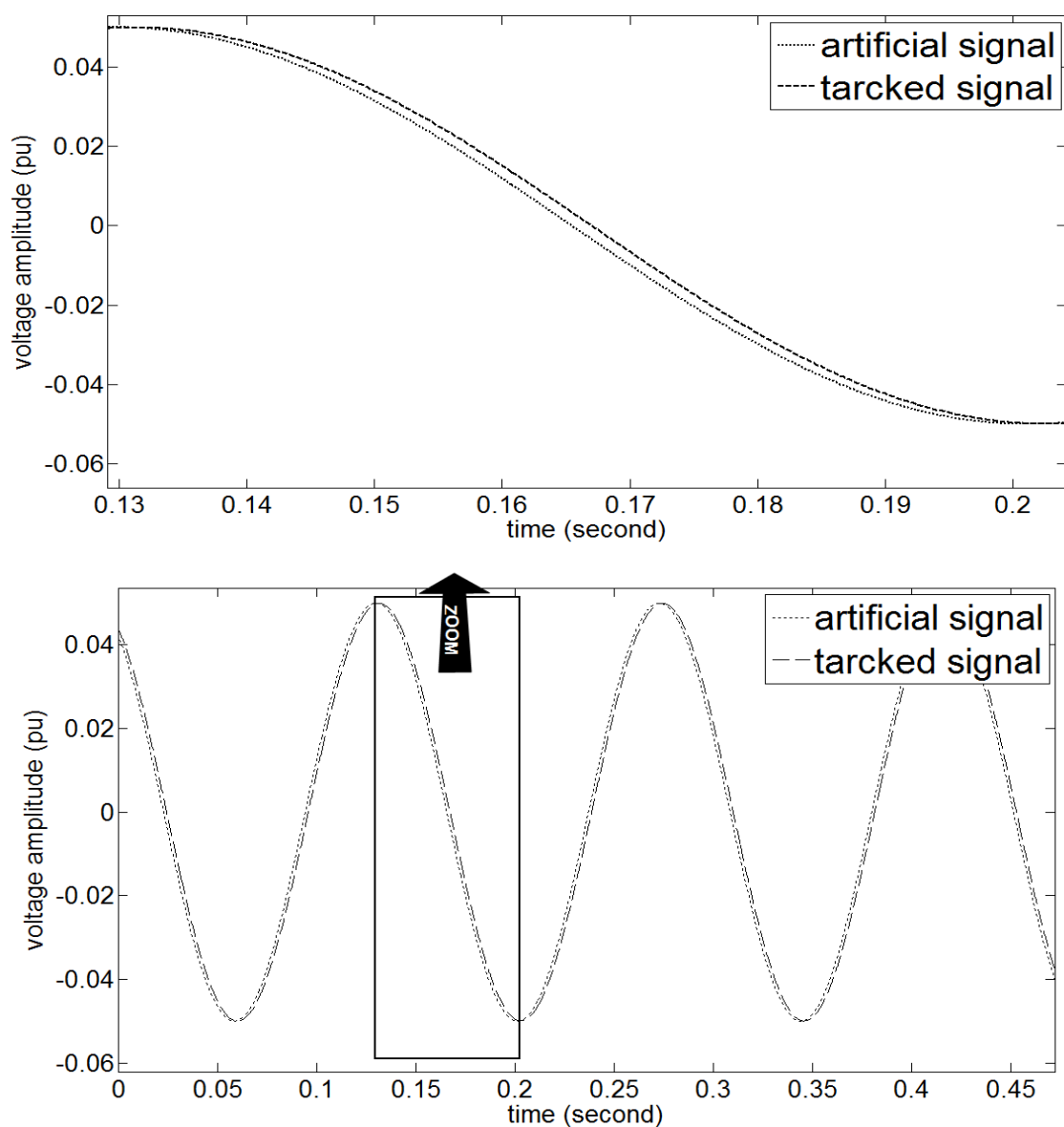
شکل ۵-۵- طیف فرکانسی دوم (ایجاد شده توسط ضرب کردن در $\sin$) برای نمونه ولتاژ دوم

بنابراین بر اساس شکل های ۴-۵ و ۵-۵، واحد تشخیص دهنده، دو زیر هارمونیک در فرکانس ۴۰ و ۴۳ و دو میان هارمونیک در فرکانس های ۵۷ و ۶۰ تشخیص میدهد. بنابراین این فرکانس های مولفه های فلیکری برابر با ۷ و ۱۰ هرتز می باشند (فرکانس اصلی برابر با ۵۰ هرتز است).

ادامه شبیه سازی ها را با نمونه ولتاژ دوم (همان رابطه (۲-۵)) ادامه می دهیم. بعد از شناسایی فرکانسهای مولفههای فلیکری، چهار روش پیشنهادی به سیگنال ولتاژ اصلی (همان رابطه (۲-۵)) اعمال شده تا همه مولفههای فلیکری به طور جداگانه دنبال شوند. شکل های ۶-۵ و ۷-۵، مولفه های فلیکری مصنوعی و دنبال شده با روش پیشنهادی اول به ترتیب برای فرکانس های ۱۰ و ۷ هرتز را نشان می دهند.

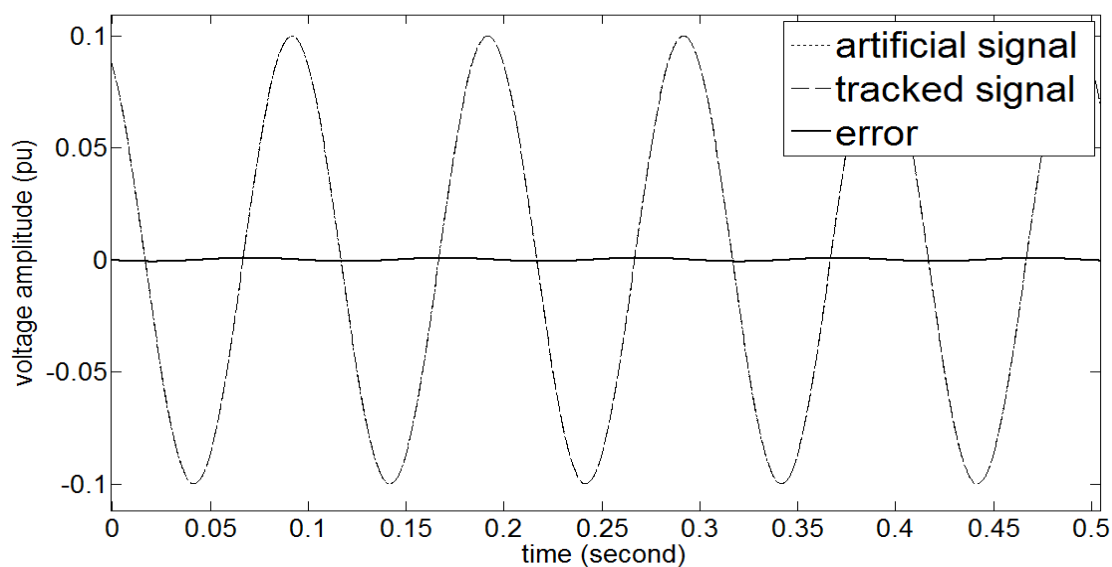


شکل ۵-۶- دنبال سازی مولفه فلیکری ۱۰ هرتز با استفاده از روش پیشنهادی اول

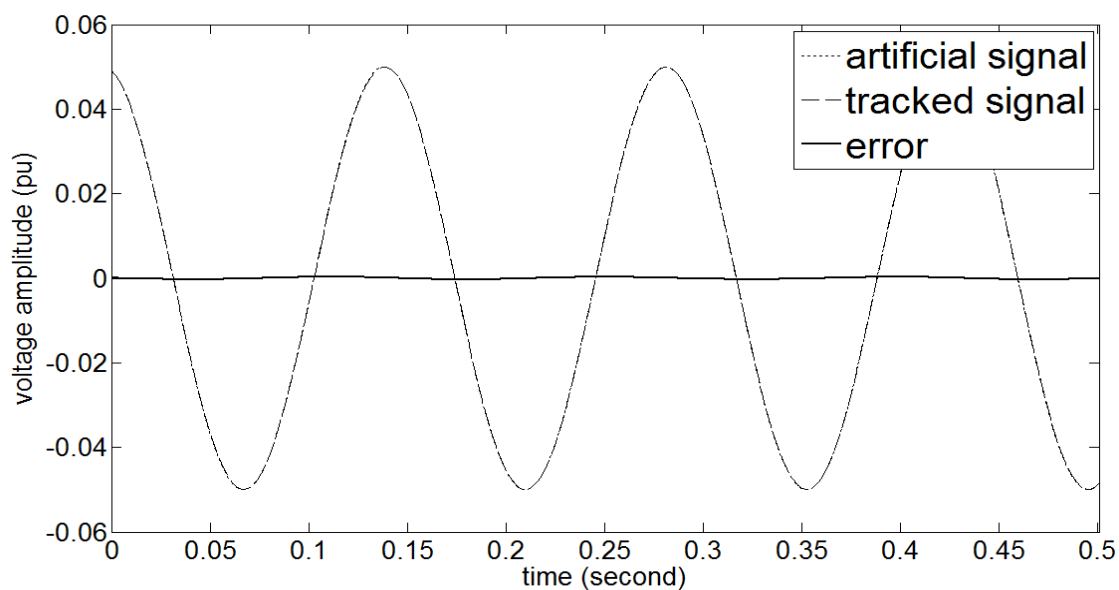


شکل ۵-۷- دنبال سازی مولفه فلیکری ۷ هرتز با استفاده از روش پیشنهادی اول

شکل های ۵-۸ و ۵-۹، مولفههای فلیکری مصنوعی و دنبال شده و خطا را با روش دمدولاسیون مربعی بهبود یافته به ترتیب برای فرکانس های ۱۰ و ۷ هرتز را نشان میدهند. خطا به صورت تفاوت بین مولفه فلیکری مصنوعی و دنبال شده تعریف شده است.



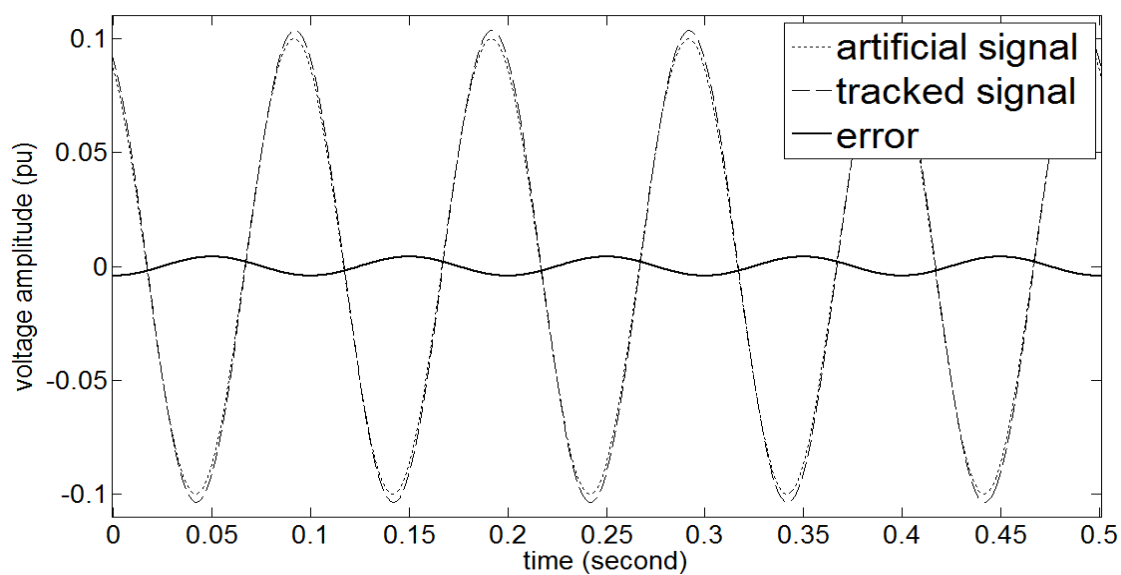
شکل ۵-۸- دنبال سازی مولفه فلیکری ۱۰ هرتز با استفاده از روش دوم



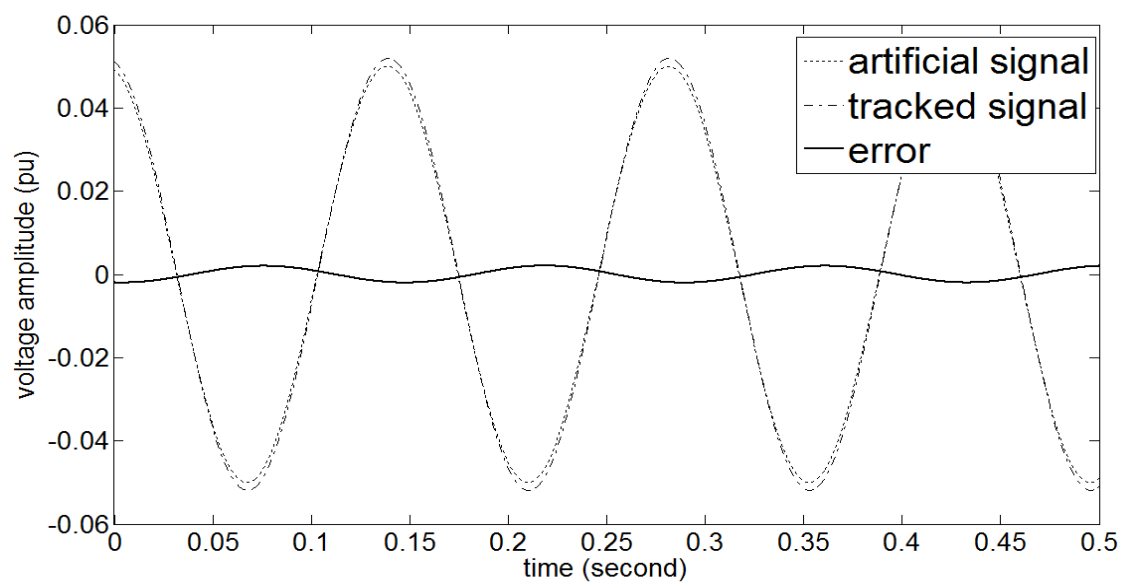
شکل ۵-۹- دنبال سازی مولفه فلیکری ۷ هرتز با استفاده از روش دوم

شکل های ۵-۱۰ و ۵-۱۱، مولفههای فلیکری مصنوعی و دنبال شده و خطا را با روش دمدولاسیون

یکسوکننده نیم موج بهبود یافته به ترتیب برای فرکانس های ۱۰ و ۷ هرتز را نشان میدهند.

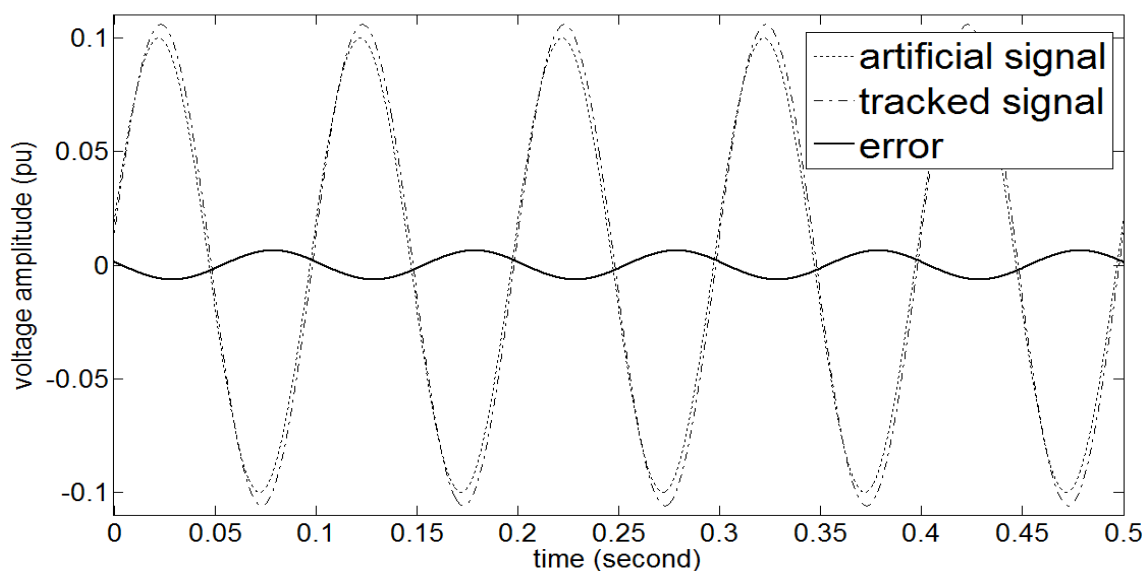


شکل ۵-۱۰- دنبال سازی مولفه فلیکری ۱۰ هرتز با استفاده از روش روش سوم

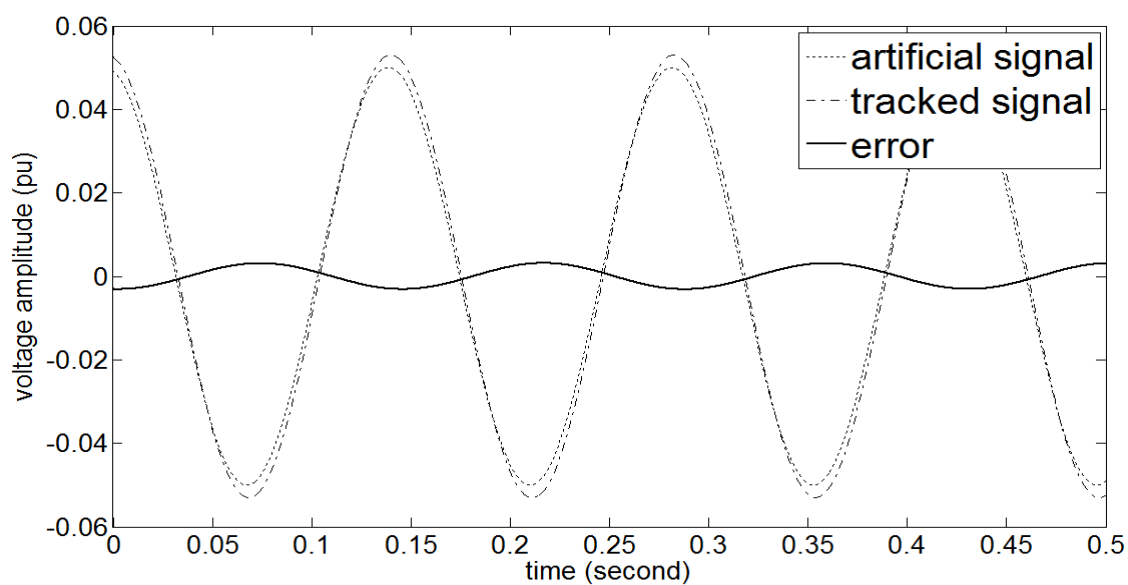


شکل ۵-۱۱- دنبال سازی مولفه فلیکری ۷ هرتز با استفاده از روش روش سوم

شکل های ۵-۱۲ و ۵-۱۳، مولفههای فلیکری مصنوعی و دنبال شده و خطا با روش شیفیت فاز بهبود یافته به ترتیب برای فرکانس های ۱۰ و ۷ هرتز را نشان میدهند.



شکل ۵-۱۲- دنبال سازی مولفه فلیکری ۱۰ هرتز با استفاده از روش روش چهارم



شکل ۵-۱۳- دنبال سازی مولفه فلیکری ۷ هرتز با استفاده از روش روش چهارم

جدول ۵-۱- خطای چهار روش پیشنهادی جهت دنبال کردن مولفه های فلیکری پوش

فرکانس ۷ هرتز (درصد)	فرکانس ۱۰ هرتز (درصد)	فرکانس // روش ها
۴/۵۷	۴/۷۵	روش اول
۰/۶۵	۰/۸۰	روش دوم
۴/۰۷	۴/۲۵	روش سوم
۶/۴۷	۶/۵۰	روش چهارم

برای مقایسه بین چهار روش، حداکثر خطای چهار روش پیشنهادی در جدول ۵-۱ آورده شده است. بر اساس این جدول، هر چهار روش دقت خوبی را از خود نشان میدهند. اما بین این چهار روش، روش دمدولاسیون مربعی بهبود یافته کمترین مقدار خطا و روش شیف فاز بهبود یافته بیشترین خطا را نشان میدهد. روش اول و روش یکسو کننده نیم موج تقریباً دقت شبیه به هم دارند. اما همان طور در فصل قبل به آن اشاره شده روش های مربعی و شیف فاز دارای محدودیتهایی میباشند در نتیجه از بین این چهار روش، روش یکسو کننده نیم موج بهبود یافته به عنوان بهترین روش دمدولاسیون انتخاب شده و تشخیص محل بار های فلیکر را نیز توسط این روش صورت خواهد پذیرفت.

۵-۳- تشخیص منابع فلیکر در یک سیستم قدرت

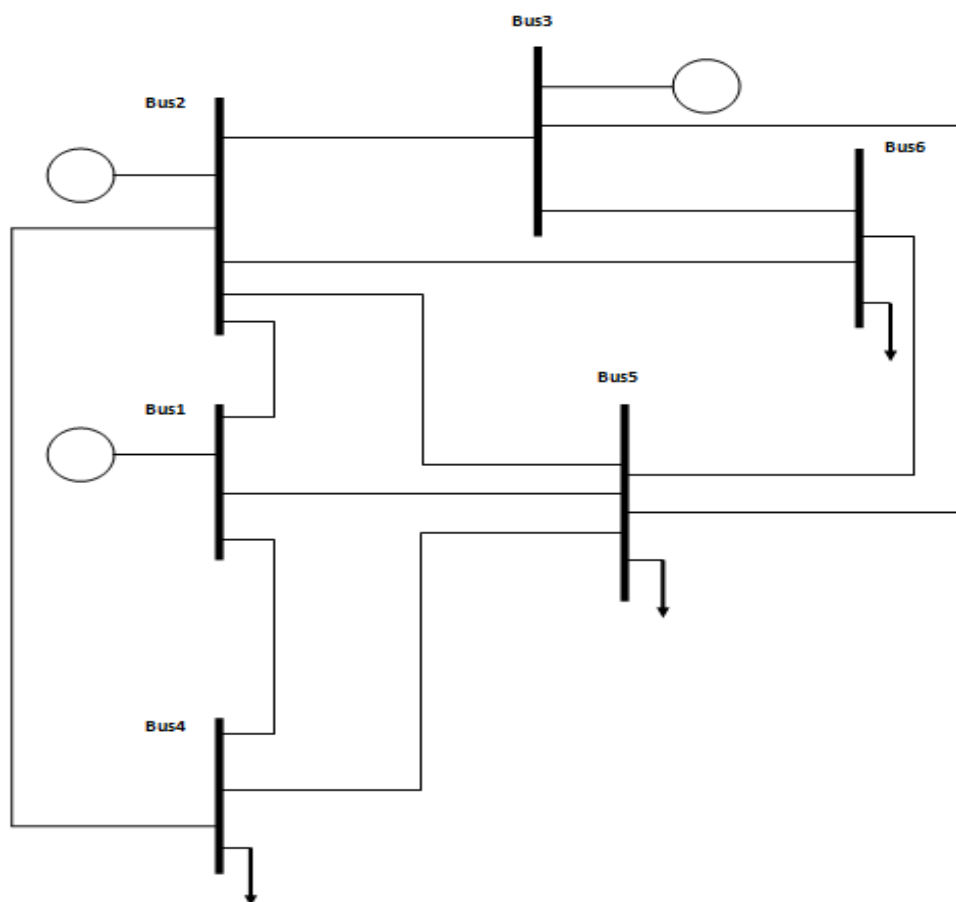
حال با استفاده الگوریتم نشان داده شده در شکل ۴-۸، محل منابع فلیکر در یک سیستم قدرت به دست آورده خواهد شد. در این قسمت سه روش جهت تشخیص منابع استفاده می شود.

۱) روشی که بر پایه زاویه مولفه‌های فلیکری و توان فلیکر می باشد (روش اول).

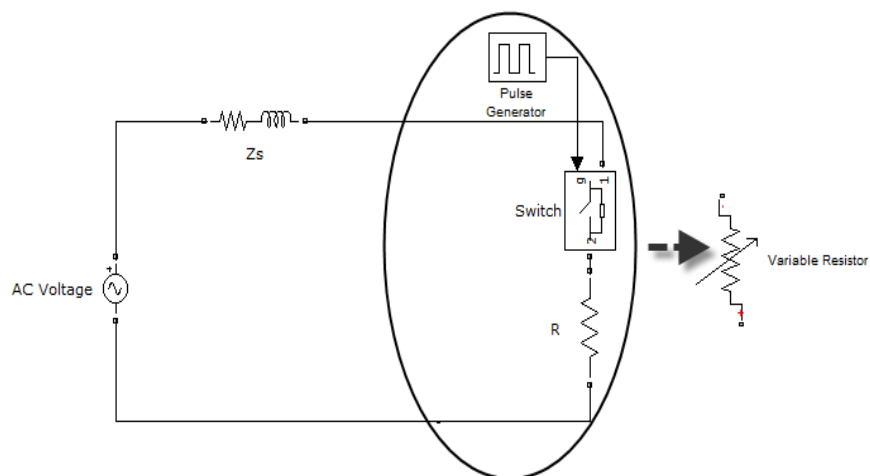
۲) روشی که بر پایه دامنه‌های مولفه‌های فلیکری می باشد (روش دوم).

۳) روشی که بر پایه دامنه مولفه‌های فلیکری و شبکه عصبی می باشد (روش سوم).

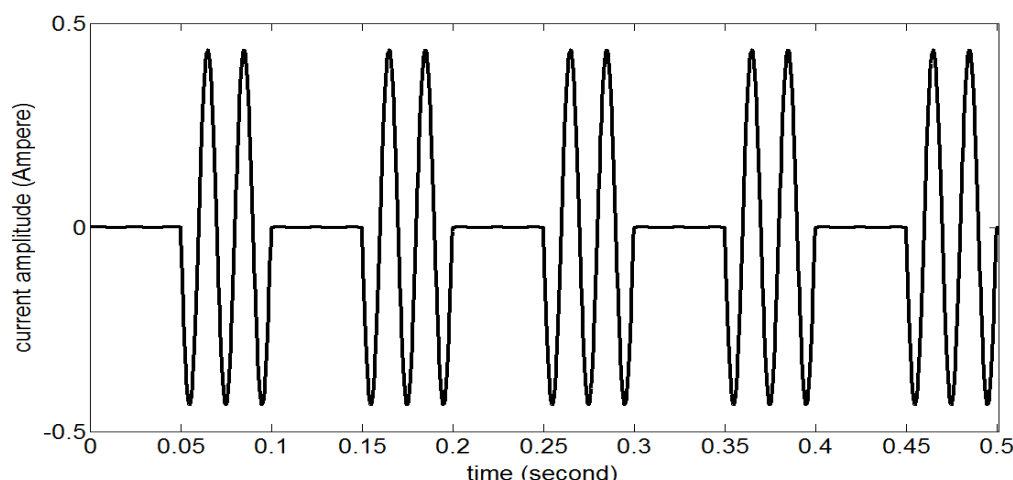
هر سه روش ذکر شده بر روی شبکه شش باسه نشان داده شده در شکل ۴-۱۴ در نرم افزار MATLAB شبیه‌سازی شده و نتایج آنها در دامه ارائه خواهد شد. اطلاعات شبکه در در پیوست آورده شده است [۲۳]. در این قسمت از دستگاه جوش نقطه به عنوان یکی از رایج ترین منابع تولید کننده فلیکر در شبیه سازیها استفاده می شود. عملکرد یک دستگاه جوش نقطه را میتوان به صورت یک مقاومت متغیر مدل کرد. همان طوری که در شکل ۵-۱۵ نشان داده شده است، مقاومت R متصل به یک سوئیچ ایده ال که توسط یک تولید کننده پالس کنترل می شود، رفتار یک مقاومت متغیر را نشان میدهد. به طور نمونه جریان یک دستگاه جوش تک فاز با فرکانس پوش ۱۰ هرتز در شکل ۵-۱۶ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۴- شبکه قدرت شش باسه



شکل ۵-۱۵- مدل یک دستگاه جوش نقطه



شکل ۵-۱۶- جریان یک دستگاه جوش تک فاز با فرکانس پوش ۱۰ هرتز

۵-۳-۱- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش اول (توان فلیکر به همراه زاویه مولفه فلیکری)

همان طور که در فصل چهار برای روش اول توضیح داده شده، ابتدا برای هر باس دو خط را به عنوان نقاط

مشاهده در نظر می گیریم. در شبکه شش باسه مورد نظر این خطوط عبارتند از :

(۱) خط ۱ به ۲	(۲) خط ۲ به ۳	(۳) خط ۳ به ۶
(۴) خط ۵ به ۶	(۵) خط ۴ به ۵	(۶) خط ۱ به ۴

حال در هر خط، دو اندازه گیری انجام میشود. یکی برای ولتاژ و دیگری برای جریان. در نتیجه در این روش

برای این شبکه شش باسه نیاز به دوازده دستگاه اندازه گیری می باشد. برای اندازه گیری ولتاژ و جریان در

خطوط، این اطلاعات به الگوریتم شبیه سازی شده در SIMULINK فرستاده میشود تا زاویههای مولفه -

های فلیکری ولتاژ و جریان به دست آید. سپس با استفاده از اختلاف فاز ولتاژ و جریان، علامت توان فلیکر

مشخص میشود و با مقایسه با جهت شارش توان فرکانس اصلی، محل بارهای فلیکر را مشخص خواهد شد.

در این قسمت سه حالت بررسی شده است.

الف) وجود یک بار فلیکر زا در شبکه قدرت

ب) وجود دو بار فلیکر زا در شبکه قدرت

ج) وجود سه بار فلیکر زا در شبکه قدرت

۵-۳-۱-۱- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش اول (یک بار فلیکر زا در شبکه قدرت)

در این قسمت یک دستگاه جوش نقطه با فرکانس ۵ هرتز و با مقاومت ۷۰ اهم به باس ۳ متصل شده است.

نتایج به دست آمده در جدول ۵-۲ نشان داده شده است. با استفاده از این جدول، نتایج به صورت گرافیکی

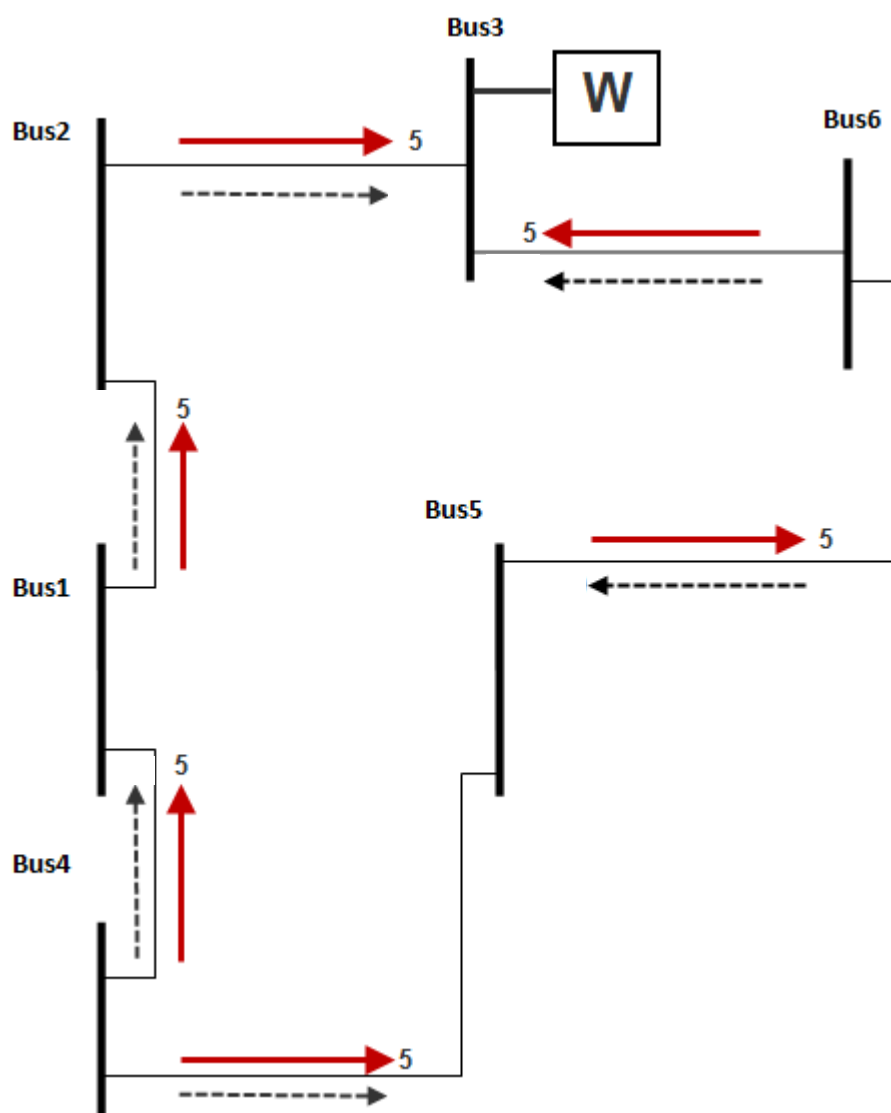
در شکل ۵-۱۷ نشان داده شده است.

جدول ۵-۲- نتایج بدست آمده در حالت وجود یک منبع فلیکر زا (روش اول)

از باس	به باس	توان فرکانس اصلی (MW)	اختلاف زاویه ولتاژ و جریان	علامت COS
۱	۲	+۱۲۱	-۱۵۱/۱۸	منفی
۲	۳	+۹/۳	+۱۸۶/۷۰	منفی
۳	۶	-۳/۵۵	+۱۹۴/۶۶	منفی
۵	۶	-۴/۷۷	+۱۰/۷۴	مثبت
۴	۵	+۰/۹۸	+۱۸۹/۷۸	منفی
۱	۴	-۹/۵۵	-۱۱۹/۵۷	منفی

در این شکل برای نمایش بهتر نتایج، فقط همان شش خطوطی که انتخاب شده بودند نمایش داده شدند. در شکل ۵-۱۷، جهت مثبت شارش توان در فرکانس اصلی با خطوط بریده شده نشان داده شده است. با استفاده از علامت $\cos$ ، علامت توان فلیکر در فرکانس ۵ هرتز به دست می‌آید.

اگر توان فلیکر مثبت باشد، یعنی بار فلیکر را در بالا دست آن نقطه مشاهده قرار دارد پس جهت توان فلیکر در خلاف جهت مثبت شارش توان فرکانس اصلی است. و اگر توان فلیکر منفی باشد یعنی بار فلیکر را در پایین دست آن نقطه مشاهده قرار دارد پس جهت توان فلیکر هم جهت با شارش توان فرکانس اصلی است. جهت توان فلیکر در فرکانس ۵ هرتز با پیکان‌های توپر (با عدد ۵ در جلوی پیکان) نشان داده شده است. با دنبال کردن این پیکان‌ها می‌توان محل بار فلیکر را با فرکانس ۵ هرتز را به راحتی مشخص کرد. باسی که هر دو سر پیکان آن را نشان می‌دهند به عنوان بار فلیکرزا معرفی می‌شود. در شکل ۵-۱۷ این باس، باس ۳ می-باشد.



شکل ۵-۱۷- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش اول (یک بار فلیکر زا در شبکه قدرت)

۵-۳-۱-۲- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش اول (دو بار فلیکر زا در شبکه قدرت)

در این قسمت، یک دستگاه جوش نقطه با فرکانس ۵ هرتز و با مقاومت ۷۰ اهم به باس ۳ و دستگاه جوش نقطه دیگری با فرکانس ۱۰ هرتز و با مقاومت ۱۰۰ اهم به باس ۴ متصل شده است. نتایج به دست آمده در جدول های ۳-۵ و ۴-۵ نشان داده شده است.

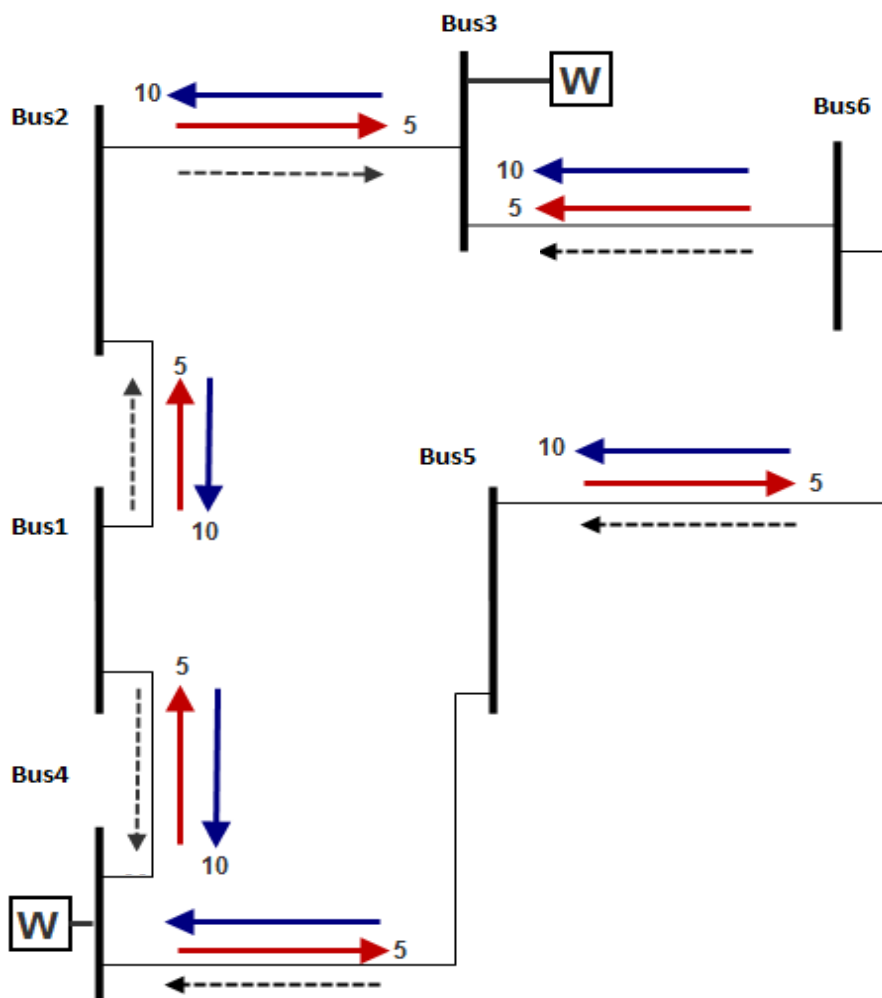
جدول ۵-۳- نتایج بدست آمده از روش اول برای مولفه فلیکری ۵ هرتز (دو منبع فلیکرها)

علامت COS	اختلاف زاویه ولتاژ و جریان	توان فرکانس اصلی (MW)	به باس	از باس
منفی	-۱۲۷/۱۵	+۱۱۶	۲	۱
منفی	+۱۹۴/۷۷	+۶	۳	۲
منفی	+۲۲۹/۱۸	-۰/۱۵	۶	۳
مثبت	+۱۱/۵۳	-۵/۷۷	۶	۵
مثبت	-۹/۲۳	-۳/۹۲	۵	۴
مثبت	+۱۸/۹۵	+۳/۷۵	۴	۱

جدول ۵-۴- نتایج بدست آمده از روش اول برای مولفه فلیکری ۱۰ هرتز (دو منبع فلیکرها)

علامت COS	اختلاف زاویه ولتاژ و جریان	توان فرکانس اصلی (MW)	به باس	از باس
مثبت	-۰/۲۰۰۰	+۱۱۶	۲	۱
مثبت	-۲۳/۵۹	+۶	۳	۲
منفی	+۲۳۰/۷۲	-۰/۱۵	۶	۳
منفی	+۱۸۷/۷۷	-۵/۷۷	۶	۵
منفی	+۱۹۱/۸۶	-۳/۹۲	۵	۴
منفی	+۱۸۱/۳۸	+۳/۷۵	۴	۱

با استفاده از این جداول، نتایج به صورت گرافیکی در شکل ۵-۱۸ نشان داده شده است. جهت مثبت شارش توان در فرکانس اصلی با خطوط بریده شده نشان داده شده است و جهت توان فلیکر در فرکانس ۵ هرتز با پیکان های توپر (با عدد ۵ در جلوی پیکان) و جهت توان فلیکر در فرکانس ۱۰ هرتز با پیکان های توپر (با عدد ۱۰ در جلوی پیکان) نشان داده شده است. با دنبال کردن این پیکان ها می توان محل هر دو بار فلیکر را به راحتی مشخص کرد. در نتیجه باس سوم محل بار فلیکری با فرکانس ۵ هرتز و باس چهارم محل بار فلیکری با فرکانس ۱۰ هرتز می باشد.



شکل ۵-۱۸- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش اول (دو بار فلیکر را در سببه قدرت)

۵-۳-۱-۳- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش اول (سه بار فلیکر زا در شبکه قدرت)

در این قسمت یک دستگاه جوش نقطه با فرکانس ۵ هرتز و با مقاومت ۷۰ اهم به باس ۳ و دستگاه جوش نقطه دیگری با فرکانس ۱۰ هرتز و با مقاومت ۱۰۰ اهم به باس ۴ و دستگاه جوش نقطه سوم با فرکانس ۱۵ هرتز و با مقاومت ۸۰ اهم به باس ۵ متصل شده است. نتایج به دست آمده در جدول های ۵-۵ و ۶-۵ و ۷-۵ نشان داده شده است. با استفاده از این جداول، نتایج به صورت گرافیکی در شکل ۵-۱۹ نشان داده شده است. جهت مثبت شارش توان در فرکانس اصلی با خطوط بریده شده نشان داده شده است و جهت توان فلیکر در فرکانس ۵ هرتز با پیکان های توپر (با عدد ۵ در جلوی پیکان) و جهت توان فلیکر در فرکانس ۱۰ هرتز با پیکان های توپر (با عدد ۱۰ در جلوی پیکان) و جهت توان فلیکر در فرکانس ۱۵ هرتز با پیکان های توپر (با عدد ۱۵ در جلوی پیکان) نشان داده شده است.

جدول ۵-۵- نتایج بدست آمده از روش اول برای مولفه فلیکری ۵ هرتز (سه منبع فلیکرزا)

علامت COS	اختلاف زاویه ولتاژ و جریان	توان فرکانس اصلی (MW)	به باس	از باس
منفی	+۲۲۶/۹۰	+۱۱۲	۲	۱
منفی	+۱۹۲/۴۷	+۵/۹۹	۳	۲
مثبت	+۴/۸۵	+۵/۱۵	۶	۳
مثبت	+۷/۷۵	+۱۱/۷۰	۶	۵
مثبت	+۲۴۳/۱۴	+۲/۰۰	۵	۴
مثبت	+۴۴/۶۷	+۴/۷۰	۴	۱

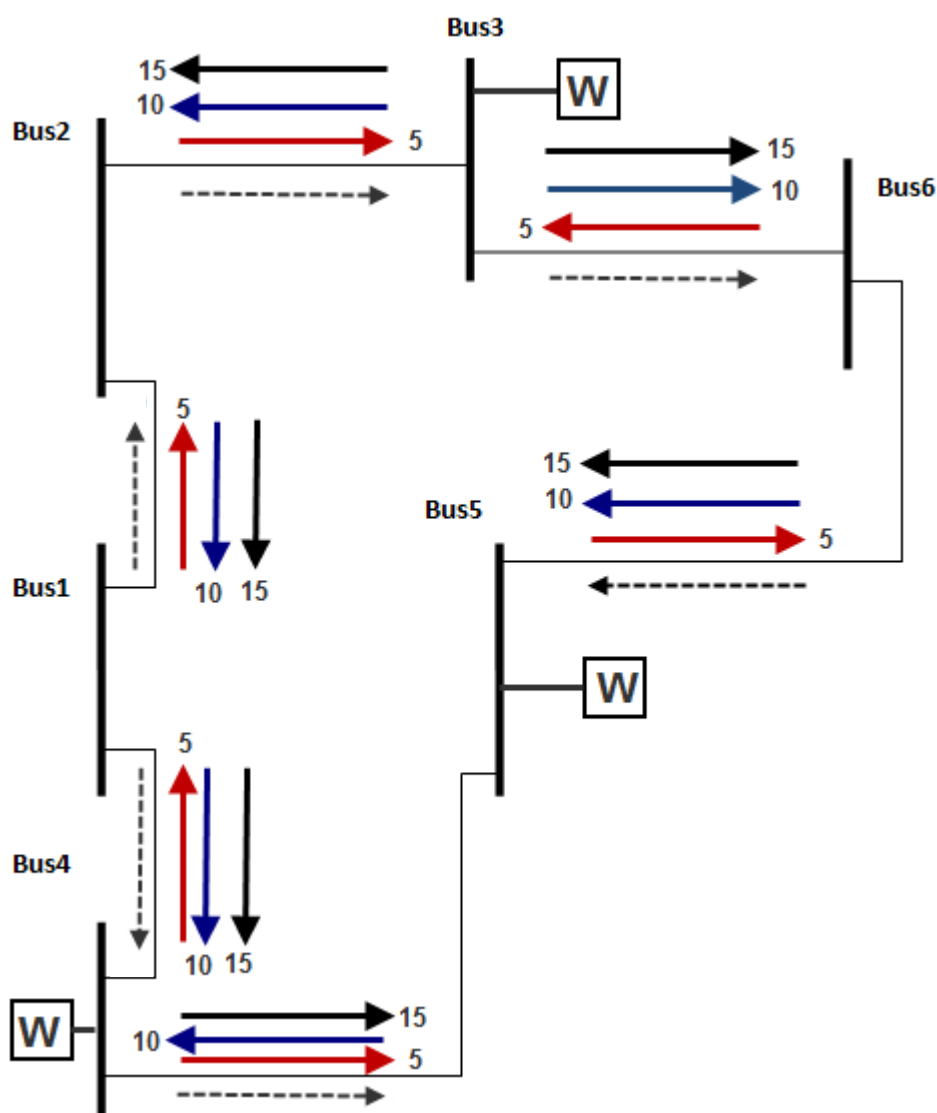
همانند مثال های قبل با دنبال کردن این پیکان ها می توان محل هر سه بار فلیکر را مشخص کرد.

جدول ۵-۶- نتایج بدست آمده از روش اول برای مولفه فلیکری ۱۰ هرتز (سه منبع فلیکرزا)

علامت COS	اختلاف زاویه ولتاژ و جریان	توان فرکانس اصلی (MW)	به باس	از باس
مثبت	+۳/۵۲	+۱۱۲	۲	۱
مثبت	-۲۷/۴۹	+۵/۹۹	۳	۲
منفی	+۲۳۳/۷۱	+۵/۱۵	۶	۳
منفی	+۱۸۴/۴۶	+۱۱/۷۰	۶	۵
مثبت	+۳۱/۹۵	+۲/۰۰	۵	۴
منفی	+۱۸۳/۹۹	+۴/۷۰	۴	۱

جدول ۵-۷- نتایج بدست آمده از روش اول برای مولفه فلیکری ۱۵ هرتز (سه منبع فلیکرزا)

علامت COS	اختلاف زاویه ولتاژ و جریان	توان فرکانس اصلی (MW)	به باس	از باس
مثبت	-۲۲/۸۰	+۱۱۲	۲	۱
مثبت	-۵۰/۰۵	+۵/۹۹	۳	۲
منفی	+۱۹۱/۸۸	+۵/۱۵	۶	۳
منفی	+۱۸۹/۷۸	+۱۱/۷۰	۶	۵
منفی	+۱۸۸/۴۴	+۲/۰۰	۵	۴
منفی	+۱۷۶/۴۰	+۴/۷۰	۴	۱



شکل ۵-۱۹- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش اول (سه بار فلیکر را در شبکه قدرت)

۵-۳-۲- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش دوم (بزرگترین دامنه مولفه فلیکری)

همان طور که در فصل چهار توضیح داده شد، روش مورد نظر به این شکل است که دامنه مولفه های فلیکری

در هر باس توسط روش یکسو کننده نیم موج بهبود یافته بدست می آید و سپس هر باسی که دامنه بزرگتری

داشته باشد آن باس محل نصب بار فلیکر را خواهد بود. بنابر این با این روش، تعداد دستگاه های اندازه گیری

به نصف کاهش مییابد و فقط نیاز به ولتاژ همه باسها می باشد. نتایج برای شبکه شش باسه به صورت زیر به دست آمده است.

۵-۳-۲-۱- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش دوم (یک بار فلیکر زا در شبکه قدرت)

در مرحله اول صحت روش را برای شبکه قدرت که دارای یک بار فلیکر زا می باشد بررسی میکنیم. نتایج در جدول ۵-۸ نشان داده شده است. در این جدول دوازده حالت مختلف قرار گرفتن بار فلیکر زا بررسی شده است. خروجی الگوریتم پیشنهادی در هر حالت شش دامنه برای شش باس مییابد. بزرگترین دامنه محل اتصال بار فلیکر زا را نشان میدهد. بزرگترین دامنه در هر حالت با عدد پرننگ مشخص شده است. همان طور که دیده می شود با این روش به درستی می توان محل بار فلیکر زا را تعیین کرد.

۵-۳-۲-۲- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش دوم (دو بار فلیکر زا در شبکه قدرت)

در این مرحله، صحت روش را برای شبکه قدرت که دارای دو بار فلیکر زا می باشد بررسی میکنیم. نتایج در جدول های ۵-۹ و ۵-۱۰ نشان داده شده است. در این جدول شش حالت مختلف قرار گرفتن دو بار فلیکر زا در شبکه قدرت بررسی شده است. خروجی الگوریتم پیشنهادی در هر حالت شش دامنه برای شش باس می - باشد. بزرگترین دامنه محل اتصال بار فلیکر زا را نشان می دهد. بزرگترین دامنه در هر حالت با عدد پرننگ مشخص شده است. همان طور که دیده می شود با این روش به درستی می توان محل هر دو بار فلیکر زا را تعیین کرد.

جدول ۵-۸- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش دوم (یک بار فلیکر زا در شبکه قدرت)

بار فلیکر زا // محل بار فلیکر زا	بار فلیکری: مقاومت ۶۰ و فرکانس ۱۰		بار فلیکری: مقاومت ۱۰۰ و فرکانس ۱۰	
باس ۱	V1	۰/۰۷۷۹	V1	۰/۰۴۰۵
	V2	۰/۰۱۹۰	V2	۰/۰۰۸۴
	V3	۰/۰۰۸۸	V3	۰/۰۰۴۰
	V4	۰/۰۴۸۱	V4	۰/۰۲۳۶
	V5	۰/۰۳۸۰	V5	۰/۰۱۸۲
	V6	۰/۰۱۵۶	V6	۰/۰۰۶۸
باس ۲	V1	۰/۰۱۶۸	V1	۰/۰۰۷۹
	V2	۰/۰۶۳۵	V2	۰/۰۳۳۵
	V3	۰/۰۲۰۵	V3	۰/۰۰۹۵
	V4	۰/۰۴۳۲	V4	۰/۰۲۱۶
	V5	۰/۰۳۶۲	V5	۰/۰۱۷۶
	V6	۰/۰۳۳۸	V6	۰/۰۱۶۴
باس ۳	V1	۰/۰۰۹۰	V1	۰/۰۰۴۰
	V2	۰/۰۲۳۴	V2	۰/۰۱۰۴
	V3	۰/۰۷۵۵	V3	۰/۰۳۸۶
	V4	۰/۰۲۰۲	V4	۰/۰۰۸۸
	V5	۰/۰۴۰۹	V5	۰/۰۱۹۲
	V6	۰/۰۶۱۸	V6	۰/۰۳۰۷

ادامه - جدول ۵-۸- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش دوم (یک بار فلیکر زا در شبکه قدرت)

بار فلیکر زا // محل بار فلیکر زا	بار فلیکری: مقاومت ۶۰ و فرکانس ۱۰		بار فلیکری: مقاومت ۱۰۰ و فرکانس ۱۰	
باس ۴	V1	۰/۰۴۹۵	V1	۰/۰۲۷۶
	V2	۰/۰۵۴۰	V2	۰/۰۲۹۵
	V3	۰/۰۲۱۸	V3	۰/۰۱۱۲
	V4	۰/۱۸۹۸	V4	۰/۱۱۶۰
	V5	۰/۰۶۳۸	V5	۰/۰۳۵۹
	V6	۰/۰۳۶۵	V6	۰/۰۱۹۴
باس ۵	V1	۰/۰۴۰۱	V1	۰/۰۲۲۱
	V2	۰/۰۴۴۱	V2	۰/۰۲۴۰
	V3	۰/۰۴۴۸	V3	۰/۰۲۴۲
	V4	۰/۰۶۵۲	V4	۰/۰۳۶۷
	V5	۰/۱۹۰۰	V5	۰/۱۱۵۶
	V6	۰/۰۷۲۸	V6	۰/۰۴۱۲
باس ۶	V1	۰/۰۲۱۲	V1	۰/۰۱۰۱
	V2	۰/۰۴۸۴	V2	۰/۰۲۰۵
	V3	۰/۰۷۷۶	V3	۰/۰۴۱۸
	V4	۰/۰۴۳۵	V4	۰/۰۲۲۱
	V5	۰/۰۸۳۹	V5	۰/۰۴۵۵
	V6	۰/۱۸۰۱	V6	۰/۱۰۴۰

جدول ۵-۹- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش دوم (دو بار فلیکر زا در شبکه قدرت) (سه حالت اول)

بارهای فلیکر زا // محل بار های فلیکر زا	بار اول: مقاومت ۵۰ و فرکانس ۷		بار دوم: مقاومت ۸۰ و فرکانس ۱۵	
بار اول متصل به باس ۱ بار دوم متصل به باس ۲	V1	۰/۰۹۴۶	V1	۰/۰۱۴۵
	V2	۰/۰۲۵۱	V2	۰/۰۵۸۹
	V3	۰/۰۱۳۷	V3	۰/۰۱۹۴
	V4	۰/۰۵۸۹	V4	۰/۰۳۷۲
	V5	۰/۰۴۸۸	V5	۰/۰۳۲۱
	V6	۰/۰۲۲۴	V6	۰/۰۳۱۵
بار اول متصل به باس ۴ بار دوم متصل به باس ۳	V1	۰/۰۶۰۶	V1	۰/۰۰۶۵
	V2	۰/۰۶۵۵	V2	۰/۰۱۹۳
	V3	۰/۰۲۶۹	V3	۰/۰۶۶۴
	V4	۰/۲۱۹۴	V4	۰/۰۱۵۰
	V5	۰/۰۷۴۵	V5	۰/۰۳۲۷
	V6	۰/۰۴۲۹	V6	۰/۰۵۲۲
بار اول متصل به باس ۶ بار دوم متصل به باس ۶	V1	۰/۰۲۷۲	V1	۰/۰۱۶۷
	V2	۰/۰۵۷۸	V2	۰/۰۳۸۰
	V3	۰/۰۸۹۱	V3	۰/۰۶۰۳
	V4	۰/۰۵۲۸	V4	۰/۰۳۳۹
	V5	۰/۰۹۵۶	V5	۰/۰۶۴۰
	V6	۰/۱۹۲۰	V6	۰/۱۳۷۰

جدول ۵-۱۰- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش دوم (دو بار فلیکر زا در شبکه قدرت) (سه حالت دوم)

بارهای فلیکر زا // محل بار های فلیکر زا	بار اول: مقاومت ۱۲۰ و فرکانس ۳		بار دوم: مقاومت ۹۰ و فرکانس ۲۰	
بار اول متصل به باس ۲ بار دوم متصل به باس ۶	V1	۰/۰۰۴۰	V1	۰/۰۱۵۱
	V2	۰/۰۲۳۸	V2	۰/۰۳۲۵
	V3	۰/۰۰۷۱	V3	۰/۰۵۲۸
	V4	۰/۰۱۴۶	V4	۰/۰۲۹۶
	V5	۰/۰۱۲۰	V5	۰/۰۵۷۱
	V6	۰/۰۱۰۱	V6	۰/۱۲۸۷
بار اول متصل به باس ۵ بار دوم متصل به باس ۳	V1	۰/۰۱۸۹	V1	۰/۰۰۷۵
	V2	۰/۰۲۰۳	V2	۰/۰۱۶۸
	V3	۰/۰۱۹۸	V3	۰/۰۵۶۱
	V4	۰/۰۳۰۹	V4	۰/۰۱۵۰
	V5	۰/۰۹۲۸	V5	۰/۰۲۷۰
	V6	۰/۰۳۲۷	V6	۰/۰۴۳۲
بار اول متصل به باس ۱ بار دوم متصل به باس ۱	V1	۰/۰۳۵۰	V1	۰/۰۶۰۶
	V2	۰/۰۰۸۵	V2	۰/۰۱۶۶
	V3	۰/۰۰۳۸	V3	۰/۰۰۸۱
	V4	۰/۰۲۳۰	V4	۰/۰۳۶۹
	V5	۰/۰۱۸۲	V5	۰/۰۲۹۵
	V6	۰/۰۰۷۲	V6	۰/۰۱۳۶

۵-۳-۳- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش سوم (بزرگترین دامنه مولفه فلیکری به همراه شبکه عصبی)

به منظور شبیه سازی یک مساله با استفاده از شبکه های عصبی به روش با سرپرست (با فرض در اختیار داشتن داده های برچسب دار) اولین کار انتخاب ابعاد شبکه است. تعداد لایه ها معمولاً ۳ تا ۴ لایه در نظر گرفته می- شود. در لایه ورودی باید به تعداد ابعاد هر الگوی ورودی، نرون قرار دهیم. بنابراین سائز لایه ورودی را بعد داده های ورودی تعیین میکند. در لایه خروجی نیز به وضوح باید به تعداد کلاسها، نرون داشته باشیم. در حالت ایده آل، با آمدن ورودی مربوط به یک کلاس انتظار داریم نرون مربوط به آن کلاس مقدار یک و مابقی نرون ها مقدار صفر را به خود گیرند. اما در عمل با توجه به تابع سیگموئید مورد استفاده، مقدار خروجی شبکه عددی بین صفر و یک است. لذا در حالت عملی نرونی از لایه خروجی که اصطلاحاً بیش از بقیه روشن شده باشد (مقدار آن بزرگتر از بقیه باشد) کلاس مربوط به آن داده را مشخص میکند. در مورد تعداد نرون های لایه میانی، مبنای خاصی وجود ندارد و معمولاً با سعی و خطا به نحوی انتخاب می گردد که شبکه جواب معقولی در اختیار بگذارد. باید دقت داشت که اگر شبکه خیلی پیچیده باشد، دقیقاً رفتار الگوهای ورودی را یاد خواهد گرفت و لذا اگر داده ها کمی نسبت به داده های آموزشی تغییر کند، شبکه به راحتی قادر به دنبال کردن آن نخواهد بود. در این حالت اصطلاحاً گفته میشود که شبکه عصبی قابلیت تعمیم ندارد. این شبکه ها را *over loaded network* گویند.

قدم بعدی در شبیه سازی، انتخاب نوع تابع خروجی نرون است که در شبکه های پرسپترون چند لایه که با الگوریتم پس انتشار خطا کار می کنند، عمدتاً تابع سیگموئید استفاده میشود. دلیل این امر هم مشتق گیری

ساده و ارتباط مستقیم مشتق تابع با خود تابع است. پیش از شروع شبیه سازی، باید داده های ورودی را به دو گروه تقسیم نمود:

(۱) داده های آموزشی

این داده ها از میان داده های برجسب دار و به منظور آموزش شبکه به کار میروند. پس از آنکه شبکه توسط این دادهها آموزش دید، وزن ها مقدار نهایی خود را یافتهاند به نحوی که شبکه برای دادههای آموزش، کمترین خطا را به دست می دهد.

(۲) داده های تست

پس از آنکه شبکه توسط دادههای آموزش تا رسیدن به حداقل خطا آموزش یافت، مابقی دادهها که در آموزش نقشی نداشته اند به عنوان ورودی به شبکه داده شده و پاسخ شبکه با پاسخ مطلوب مقایسه می گردد و بدین ترتیب راندمان شبکه آموزش دیده محک زده می شود.

تا الآن توضیحات داده شده برای شبیه سازی هر شبکه عصبی صادق بود. حال توضیحاتمان را معطوف به مساله تشخیص منابع میکنیم. همان طور که در فصل چهارم توضیح داده شد، در این قسمت یک شبکه عصبی را فقط برای حالت وجود یک بار فلیکر زا در شبکه آموزش می دهیم. سپس از همین شبکه آموزش داده شده برای تشخیص محل یک بار فلیکر زا و دو بار فلیکر زا استفاده میکنیم. در این قسمت سه باس (باس ۲، باس ۴ و باس ۵) که دارای بیشترین تعداد خطوط منشعب شده بودند را به عنوان باس های حساس در نظر می گیریم. در نتیجه شبکه عصبی ما دارای سه ورودی خواهد بود. و از آنجا که شبکه قدرت ما دارای

شش باس می باشد در نتیجه شبکه عصبی ما دارای شش خروجی است. بنابراین شبکه عصبی ما یک شبکه دو لایه با هشت نرون در هر لایه پنهان بوده و دارای سه ورودی و شش خروجی است. جدول ۵-۱۱ ورودی شبکه عصبی را جهت انجام فرآیند آموزش نشان می دهد. جدول ۵-۱۲ نیز خروجی شبکه عصبی را جهت انجام فرآیند آموزش نشان می دهد.

حال شبکه عصبی را با استفاده از داده های بالا آموزش می دهیم. سپس نتایج تست شبکه عصبی به صورت زیر به دست آمده است.

جدول ۵-۱۱- ورودی شبکه عصبی جهت انجام فرآیند آموزش

بار فلیکر زا // محل بار فلیکر زا	بار فلیکری: مقاومت ۶۰ و فرکانس ۱۰		بار فلیکری: مقاومت ۱۰۰ و فرکانس ۱۰	
باس ۱	Vin1=V2	۰/۰۱۹۰	Vin1=V2	۰/۰۰۸۴
	Vin2=V4	۰/۰۴۸۱	Vin2=V4	۰/۰۲۳۶
	Vin3=V5	۰/۰۳۸۰	Vin3=V5	۰/۰۱۸۲
باس ۲	Vin1=V2	۰/۰۶۳۵	Vin1=V2	۰/۰۳۳۵
	Vin2=V4	۰/۰۴۳۲	Vin2=V4	۰/۰۲۱۶
	Vin3=V5	۰/۰۳۶۲	Vin3=V5	۰/۰۱۷۶
باس ۳	Vin1=V2	۰/۰۲۳۴	Vin1=V2	۰/۰۱۰۴
	Vin2=V4	۰/۰۲۰۲	Vin2=V4	۰/۰۰۸۸
	Vin3=V5	۰/۰۴۰۹	Vin3=V5	۰/۰۱۹۲
باس ۴	Vin1=V2	۰/۰۵۴۰	Vin1=V2	۰/۰۲۹۵
	Vin2=V4	۰/۱۸۹۸	Vin2=V4	۰/۱۱۶۰
	Vin3=V5	۰/۰۶۳۸	Vin3=V5	۰/۰۳۵۹
باس ۵	Vin1=V2	۰/۰۴۴۱	Vin1=V2	۰/۰۲۴۰
	Vin2=V4	۰/۰۶۵۲	Vin2=V4	۰/۰۳۶۷
	Vin3=V5	۰/۱۹۰۰	Vin3=V5	۰/۱۱۵۶
باس ۶	Vin1=V2	۰/۰۴۸۴	Vin1=V2	۰/۰۲۰۵
	Vin2=V4	۰/۰۴۳۵	Vin2=V4	۰/۰۲۲۱
	Vin3=V5	۰/۰۸۳۹	Vin3=V5	۰/۰۴۵۵

جدول ۵-۱۲- خروجی شبکه عصبی جهت انجام فرآیند آموزش

بار فلیکر زا // محل بار فلیکر زا	بار فلیکری: مقاومت ۶۰ و فرکانس ۱۰		بار فلیکری: مقاومت ۱۰۰ و فرکانس ۱۰	
باس ۱	Vout 1	۱	Vout 1	۱
	Vout 2	۰	Vout 2	۰
	Vout 3	۰	Vout 3	۰
	Vout 4	۰	Vout 4	۰
	Vout 5	۰	Vout 5	۰
	Vout 6	۰	Vout 6	۰
باس ۲	Vout 1	۰	Vout 1	۰
	Vout 2	۱	Vout 2	۱
	Vout 3	۰	Vout 3	۰
	Vout 4	۰	Vout 4	۰
	Vout 5	۰	Vout 5	۰
	Vout 6	۰	Vout 6	۰
باس ۳	Vout 1	۰	Vout 1	۰
	Vout 2	۰	Vout 2	۰
	Vout 3	۱	Vout 3	۱
	Vout 4	۰	Vout 4	۰
	Vout 5	۰	Vout 5	۰
	Vout 6	۰	Vout 6	۰

ادامه- جدول ۵-۱۲- خروجی شبکه عصبی جهت انجام فرآیند آموزش

بار فلیکر زا // محل بار فلیکر زا	بار فلیکری: مقاومت ۶۰ و فرکانس ۱۰		بار فلیکری: مقاومت ۱۰۰ و فرکانس ۱۰	
باس ۴	Vout 1	.	Vout 1	.
	Vout 2	.	Vout 2	.
	Vout 3	.	Vout 3	.
	Vout 4	۱	Vout 4	۱
	Vout 5	.	Vout 5	.
	Vout 6	.	Vout 6	.
باس ۵	Vout 1	.	Vout 1	.
	Vout 2	.	Vout 2	.
	Vout 3	.	Vout 3	.
	Vout 4	.	Vout 4	.
	Vout 5	۱	Vout 5	۱
	Vout 6	.	Vout 6	.
باس ۶	Vout 1	.	Vout 1	.
	Vout 2	.	Vout 2	.
	Vout 3	.	Vout 3	.
	Vout 4	.	Vout 4	.
	Vout 5	.	Vout 5	.
	Vout 6	۱	Vout 6	۱

۵-۳-۱- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش سوم (یک بار فلیکر زا در شبکه قدرت)

تست شبکه عصبی را برای یک شبکه قدرت که دارای یک منبع فلیکرزا است انجام می دهیم. ورودی و خروجی تست شبکه عصبی در جدول های ۵-۱۳ و ۵-۱۴ آورده شده است. در این قسمت چهار نمونه تست مختلف بررسی شد. همان طور که از نتایج معلوم است، شبکه عصبی قادر به تشخیص محل بار فلیکر زا است. باس آلوده (باسی که بار فلیکر زا به آن نصب شده است)، باسی است که در خروجی شبکه عصبی بزرگترین عدد را به خود اختصاص می دهد.

۵-۳-۲- تشخیص منابع فلیکر با استفاده از روش سوم (دو بار فلیکر زا در شبکه قدرت)

همان طور که ذکر شد از همین شبکه عصبی آموزش داده شده برای حالتی که دو بار فلیکر زا در شبکه قدرت داریم استفاده می شود. نتایج تست شبکه عصبی در این شرایط در جدولهای ۵-۱۵ و ۵-۱۶ آورده شده است. در این قسمت نیز دو نمونه تست مختلف بررسی شد. همان طور که از نتایج معلوم است، شبکه عصبی قادر به تشخیص محل دو بار فلیکر زا است. باس های آلوده (باسی هایی که بار فلیکر زا به آنها نصب شده است)، باس هایی هستند که در خروجی شبکه عصبی به ازای هر مولفه فلیکری بزرگترین عدد را به خود اختصاص می دهد.

جدول ۵-۱۳ ورودی و خروجی تست شبکه عصبی برای حالت که یک بار فلیکر زا (دو حالت اول)

بار فلیکری: مقاومت ۱۱۰ و فرکانس ۵	ورودی شبکه عصبی		خروجی شبکه عصبی	
			Vout 1	۰/۹۹۷۱
بار فلیکرزا متصل به باس ۱	Vin1=V2	۰/۰۰۴۴	Vout 2	۰/۰۰۰۰
	Vin2=V4	۰/۰۱۸۳	Vout 3	۰/۰۰۰۲
	Vin3=V5	۰/۰۱۳۷	Vout 4	۰/۰۰۰۰
			Vout 5	۰/۰۰۰۰
			Vout 6	۰/۰۱۸۷
بار فلیکرزا متصل به باس ۳	Vin1=V2	۰/۰۰۶۷	Vout 1	۰/۰۵۱۳
	Vin2=V4	۰/۰۰۵۲	Vout 2	۰/۰۰۰۲
	Vin3=V5	۰/۰۱۳۶	Vout 3	۰/۱۰۳۸
			Vout 4	۰/۰۰۰۰
			Vout 5	۰/۰۰۰۰
			Vout 6	۰/۰۸۸۶

جدول ۵-۱۴- ورودی و خروجی تست شبکه عصبی برای حالت که یک بار فلیکرها (دو حالت دوم)

خروجی شبکه عصبی	ورودی شبکه عصبی	بارفلیکری: مقاومت ۷۰ و فرکانس ۵
Vout 1	۰/۰۴۶۸	بار فلیکرها متصل به باس ۲
Vout 2	۰/۰۳۰۴	
Vout 3	۰/۰۲۵۶	
Vout 4		
Vout 5		
Vout 6		
Vout 1	۰/۰۴۴۴	بار فلیکرها متصل به باس ۴
Vout 2	۰/۱۶۱۸	
Vout 3	۰/۰۵۳۳	
Vout 4		
Vout 5		
Vout 6		

جدول ۵-۱۵- ورودی و خروجی تست شبکه عصبی برای حالت دوبار فلیکر زا (حالت اول)

ورودی (بار اول : مقاومت ۵۰ و فرکانس ۷) خروجی (بار اول : مقاومت ۵۰ و فرکانس ۷)	ورودی (بار دوم : مقاومت ۸۰ و فرکانس ۱۵) خروجی (بار دوم : مقاومت ۸۰ و فرکانس ۱۵)
بارهای فلیکر زا // محل بارهای فلیکر زا بار اول متصل به باس ۱ بار دوم متصل به باس ۲	$V_{in1}=V2$ ۰/۰۲۵۱ $V_{in}=V4$ ۰/۰۵۸۹ $V_{in3}=V5$ ۰/۰۴۸۸ ↓ V_{out1} ۰/۹۹۹۱ V_{out2} ۰/۰۰۰۰ V_{out3} ۰/۰۰۰۰ V_{out4} ۰/۰۰۰۰ V_{out5} ۰/۰۰۰۰ V_{out6} ۰/۰۳۱۵

جدول ۵-۱۶- ورودی و خروجی تست شبکه عصبی برای حالت دوبار فلیکر زا (حالت دوم)

ورودی (بار اول : مقاومت ۱۲۰ و فرکانس ۳) خروجی (بار اول : مقاومت ۱۲۰ و فرکانس ۳)	ورودی (بار دوم : مقاومت ۹۰ و فرکانس ۲۰) خروجی (بار دوم : مقاومت ۹۰ و فرکانس ۲۰)																																				
<table><tr><td>$V_{in1}=V_2$</td><td>۰/۰۰۸۵</td></tr><tr><td>$V_{in2}=V_4$</td><td>۰/۰۲۳۰</td></tr><tr><td>$V_{in3}=V_5$</td><td>۰/۰۱۸۲</td></tr></table> بار اول متصل به باس ۱ بار اول متصل به باس ۱ <table><tr><td>V_{out1}</td><td>۰/۹۸۳۶</td></tr><tr><td>V_{out2}</td><td>۰/۰۰۰۰</td></tr><tr><td>V_{out3}</td><td>۰/۰۰۰۸</td></tr><tr><td>V_{out4}</td><td>۰/۰۰۰۰</td></tr><tr><td>V_{out5}</td><td>۰/۰۰۰۰</td></tr><tr><td>V_{out6}</td><td>۰/۰۲۵۳</td></tr></table>	$V_{in1}=V_2$	۰/۰۰۸۵	$V_{in2}=V_4$	۰/۰۲۳۰	$V_{in3}=V_5$	۰/۰۱۸۲	V_{out1}	۰/۹۸۳۶	V_{out2}	۰/۰۰۰۰	V_{out3}	۰/۰۰۰۸	V_{out4}	۰/۰۰۰۰	V_{out5}	۰/۰۰۰۰	V_{out6}	۰/۰۲۵۳	<table><tr><td>$V_{in1}=V_2$</td><td>۰/۰۱۶۶</td></tr><tr><td>$V_{in2}=V_4$</td><td>۰/۰۳۶۹</td></tr><tr><td>$V_{in3}=V_5$</td><td>۰/۰۲۹۵</td></tr></table> <table><tr><td>V_{out1}</td><td>۰/۹۸۴۷</td></tr><tr><td>V_{out2}</td><td>۰/۰۰۰۰</td></tr><tr><td>V_{out3}</td><td>۰/۰۰۰۱</td></tr><tr><td>V_{out4}</td><td>۰/۰۰۰۰</td></tr><tr><td>V_{out5}</td><td>۰/۰۰۰۰</td></tr><tr><td>V_{out6}</td><td>۰/۰۲۸۳</td></tr></table>	$V_{in1}=V_2$	۰/۰۱۶۶	$V_{in2}=V_4$	۰/۰۳۶۹	$V_{in3}=V_5$	۰/۰۲۹۵	V_{out1}	۰/۹۸۴۷	V_{out2}	۰/۰۰۰۰	V_{out3}	۰/۰۰۰۱	V_{out4}	۰/۰۰۰۰	V_{out5}	۰/۰۰۰۰	V_{out6}	۰/۰۲۸۳
$V_{in1}=V_2$	۰/۰۰۸۵																																				
$V_{in2}=V_4$	۰/۰۲۳۰																																				
$V_{in3}=V_5$	۰/۰۱۸۲																																				
V_{out1}	۰/۹۸۳۶																																				
V_{out2}	۰/۰۰۰۰																																				
V_{out3}	۰/۰۰۰۸																																				
V_{out4}	۰/۰۰۰۰																																				
V_{out5}	۰/۰۰۰۰																																				
V_{out6}	۰/۰۲۵۳																																				
$V_{in1}=V_2$	۰/۰۱۶۶																																				
$V_{in2}=V_4$	۰/۰۳۶۹																																				
$V_{in3}=V_5$	۰/۰۲۹۵																																				
V_{out1}	۰/۹۸۴۷																																				
V_{out2}	۰/۰۰۰۰																																				
V_{out3}	۰/۰۰۰۱																																				
V_{out4}	۰/۰۰۰۰																																				
V_{out5}	۰/۰۰۰۰																																				
V_{out6}	۰/۰۲۸۳																																				

۵-۴- خلاصه

در این فصل، چهار روش پیشنهادی جهت دنبال کردن مولفه های فلیکری با استفاده از سیگنال های مصنوعی (این سیگنال ها توسط SIMULINK ایجاد شدند) مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به مقادیر خطای هر چهار روش و محدودیت های دو روش دمدولاسیون مربعی و شیفِت فاز، روش دمدولاسیون یکسو کننده نیم موج بهبود یافته به عنوان بهترین روش از میان این چهار روش انتخاب شد و در نتیجه از همین دمدولاسیون برای تشخیص منابع فلیکرها در قسمت بعد استفاده گردید. با شبیه سازی شبکه قدرت شش باسه، سه روش پیشنهادی جهت تشخیص منابع فلیکرها مورد بررسی قرار می گیرد. در روش اول، جهت توان فلیکرها در هر مولفه فلیکری در خطوط مورد نظر با استفاده از اختلاف فاز ولتاژ و جریان به دست آورده شد و سپس با مقایسه این جهت با جهت شارش توان در فرکانس اصلی، بالا دست بودن یا پایین دست بودن منابع فلیکرها نسبت به نقاط مشاهده در کل شبکه به دست آورده شد. با بررسی نتایج کلی همه نقاط مشاهده، محل دقیق بار های فلیکرها مشخص گردید. در این قسمت سه حالت بررسی شد، وجود یک بار فلیکرها، وجود دو بار فلیکرها و وجود سه بار فلیکرها در شبکه قدرت. در هر سه حالت محل دقیق همه بار ها به درستی به دست آمد. در روش دوم از شاخص بزرگترین دامنه مولفه فلیکری به عنوان شاخص تشخیص استفاده شد و در این قسمت نیز چندین حالت قرار گرفتن یک و دو بار فلیکرها در شبکه قدرت شبیه سازی شده و نتایج حاکی از آن است که روش پیشنهادی قادر به تشخیص همه منابع است. در روش سوم همان شاخص استفاده شده در روش دوم به عنوان شاخص تشخیص استفاده شد ولی برای کاهش تعداد اندازه گیری ها، از شبکه عصبی استفاده شد.

نتایج این قسمت از شبیه سازی ها نیز در این فصل آورده شده و نتایج حاکی از آن است که روش پیشنهادی قادر به تشخیص همه منابع فلیکرزا است.

فصل ششم

نتیجه‌گیری و

پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری

در این پایان نامه مساله وجود هم زمان چندین بار فلیکرزا در شبکه قدرت بررسی شد. برای تشخیص محل بیش از یک بار فلیکرزا در شبکه قدرت نیاز به دنبالسازی جداگانه همه مولفههای فلیکری موجود در پوش ولتاژ و جریان بود که در این پایان نامه با ارائه چهار روش، این مولفه های فلیکری به درستی دنبال شده (حداکثر خطای بدست آمده ۶/۵ درصد می باشد) و نتایج شبیهسازیها نیز آورده شد. بر اساس مقایسه های که بر روی خطای به دست آمده از چهار روش به دست آمد، روش یکسو کننده نیم موج بهبود یافته به عنوان بهترین روش بین این چهار روش پیشنهادی مطرح شد. سپس با استفاده از همین روش، دامنه و فاز مولفه های فلیکری پوش به دست آورده شد.

جهت تشخیص محل بار های فلیکرزا با دامنه و فازهای مولفههای فلیکری پوش به دست آمده، در این پایان - نامه سه روش پیشنهاد شد. روش اول بر پایه استفاده از اختلاف فاز بین مولفههای فلیکری پوش ولتاژ و پوش جریان در خطوط مورد نظر استوار است. در این روش ابتدا علامت توان فلیکر در هر خط مورد نظر به دست آمده و سپس با جهت شارش توان در فرکانس اصلی مقایسه میشود و در نهایت محل بار های فلیکرزا مشخص میشود. در این روش نیاز به تحلیل هم بر روی ولتاژ و هم بر روی جریان داریم در نتیجه تعداد دستگاههای اندازه گیری زیاد است. در روش دوم برای کاهش تعداد اندازه گیریها چارهای اتخاذ شد. در این روش تحلیلها فقط به ولتاژها محدود شده و در نتیجه تعداد اندازه گیریها به نصف کاهش یافت. در این روش با به دست آوردن دامنه مولفههای فلیکری در هر باس، بزرگترین دامنه را به عنوان باس متصل به منبع فلیکر در نظر میگیریم چراکه هر چه از بار فلیکرزا در شبکه قدرت از نظر الکتریکی دور شویم، شدت مولفه

ها نیز کاهش می یابد. در روش سوم نیز ایده استفاده شده در روش دوم به کار گرفته شده با این تفاوت که برای کاهش بیشتر تعداد اندازه گیری ها، از شبکه عصبی استفاده شده است. در این پایان نامه با ارائه مثالهای متعدد نشان داده شده است که الگوریتم های پیشنهادی در تمام موارد به درستی منابع فلیکر را در شبکه تشخیص می دهند.

۶-۲- پیشنهادات

در راستای ادامه تحقیق در این زمینه می توان پیشنهاد های زیر را ارائه نمود:

۱- در این پایان نامه، فلیکر تولید شده به صورت سینوسی و مستطیلی مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از ایده های مطرح شده در این پایان نامه می توان این الگوریتم ها را برای سایر شکل های فلیکر و حتی شکل های غیر پرودیگ نیز بسط داد.

۲- در این پایان نامه از شبکه عصبی برای کاهش اندازه گیری ها استفاده شد. می توان با بررسی بیشتر بر روی اصول و توانمندی شبکه های عصبی مصنوعی و طراحی شبکه های بهتر (شبکه هایی با ورودی کمتر)، تعداد اندازه گیری ها را بیشتر کاهش داد.

پیوست

اطلاعات شبکه قدرت شش

باسه

شبکه شش باسه مورد نظر از کتاب "تولید، بهره برداری و کنترل، در سیستم های قدرت" انتخاب شده است و اطلاعات خطوط و ژنراتور های آن در جداول پایین آورده شده است.

جدول الف-1- اطلاعات خطوط شبکه شش باسه

از باس	به باس	مقاومت	راکتانس	سوسپتانس
۱	۲	۰/۱۰۰۰	۰/۲۰۰۰	۰/۰۲۰۰
۱	۴	۰/۰۵۰۰	۰/۲۰۰۰	۰/۰۲۰۰
۱	۵	۰/۰۸۰۰	۰/۳۰۰۰	۰/۰۳۰۰
۲	۳	۰/۰۵۰۰	۰/۲۵۰۰	۰/۰۳۰۰
۲	۴	۰/۰۵۰۰	۰/۱۰۰۰	۰/۰۱۰۰
۲	۵	۰/۱۰۰۰	۰/۳۰۰۰	۰/۰۲۰۰
۲	۶	۰/۰۷۰۰	۰/۲۰۰۰	۰/۰۲۵۰
۳	۵	۰/۱۲۰۰	۰/۲۶۰۰	۰/۰۲۵۰
۳	۶	۰/۰۲۰۰	۰/۱۰۰۰	۰/۰۱۰۰
۴	۵	۰/۲۰۰۰	۰/۴۰۰۰	۰/۰۴۰۰
۵	۶	۰/۱۰۰۰	۰/۳۰۰۰	۰/۰۳۰۰

جدول الف-2- اطلاعات ژنراتور ها و بار های شبکه شش باسه

توان راکتیو بار(پریونیت)	توان اکتیو بار (پریونیت)	ولتاژ (پریونیت)	توان ژنراتور (پریونیت)	شماره باس
۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۵۰	۰/۰۰	۱
۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۵۰	۰/۵۰	۲
۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۷۰	۰/۶۰	۳
۰/۷۰	۰/۷۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۴
۰/۷۰	۰/۷۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۵
۰/۷۰	۰/۷۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۶

مراجع

- [۱] محمود خطیب زاده نسری، "تامین برق بار های ضربه ای از شبکه عمومی توزیع برق، اثرات و راهکار ها" ، چهاردهمین کنفرانس سراسری شبکه های توزیع نیروی برق (PDC)، ایران، ۱۳۸۸.
- [۲] جواد روحی، رضا نوایی، عبدالرضا شیخ السلامی، "مدل سازی فلیکر ولتاژ ناشی از کوره قوس الکتریکی" ، بیستمین کنفرانس بین المللی برق (PSC)، ایران، ۱۳۸۴.
- [3] M. A. Golkar, S. Meschi, "MATLAB Modeling of Arc Furnace for Flicker Study", IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Chengdu, PP. 1-6, 2008.
- [4] M. Joorabian, D. Mirabbasi, A. Sina, "Voltage Flicker Compensation using STATCOM", 4th IEEE conference on [Industrial Electronics and Applications](#) (ICIEA), PP. 2273 – 2278, 2009.
- [۵] سید حسین حسینیان ، عارف درودی، "کیفیت توان" ، انتشارات شرکت برق منطقه ای تهران، ۱۳۸۳.
- [6] نعمت مشتاقیان، "بررسی بهبود کیفیت توان با استفاده از ادوات CUSTOM POWER" ، نهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، ایران، ۱۳۸۵.
- [7] P. G. V. Axelberg, "Measurement methods for calculation of the direction to a flicker source", Thesis for the Degree of Licentiate of Engineering, Chalmers University of Technology, 2003.
- [8] P. G. V. Axelberg, M. H. J. Bollen, "Trace of Flicker Source by Using the Quantity of Flicker Power", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 23, No. 1, PP. 465 - 471, 2008.

- [9] M. I. Marei, E. F. El-Saadany, and M. A. Salama, "Envelope Tracking Techniques for Flicker Mitigation and Voltage Regulation", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 19, No. 4, PP. 1854 – 1861, 2004.
- [10] X. Jia, Q. Chen, "A Method of Tracking Voltage Flicker Envelope Real-Time", IEEE Power & Energy Society General Meeting (PES), PP. 1-6, 2009.
- [11] T. K. Abdel-Galil, E. F. EI-Saadany, and M. M. A. Salama, "Online Tracking of Voltage Flicker Utilizing Energy Operator and Hilbert Transform", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 19, No. 2, PP. 861 – 867, 2004.
- [12] E. Pouresmaeli, M. F. Akorede, M. Hojabri, "A Hybrid Algorithm for Fast Detection and Classification of Voltage Disturbance in Electric Power System", European Transaction on Electrical power, Vol. 21, No. 1, PP. 555–564, 2011.
- [13] A. Girgis, J. Stephens, E. Makram, "Measurment and Prediction of Voltage Flicker Magnitude and Frequency", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, PP. 1600 – 1605, 1995.
- [14] A. Dan, "Identification of flicker sources", 8th International Conference on [Harmonics and Quality of Power](#), PP. 1179 - 1181, 1998.
- [15] A. Dastfan, M. R. Mirzayi, "Identification of Dominate Flicker Source in Multi side Supplied Power Systems", International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.), Vol. 3, N. 5, PP. 788-794 ,2008.
- [16] A. B. Nassif, E. E. Nino, W. Xu, "A V-I Slope-Based Method for Flicker Source Detection", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 21, PP. 755-760, 2006.
- [17] P. Axelberg, M. Bollen, "An Algorithm for Determining the Direction to a Flicker Source", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 21, No. 2, April 2006.

- [18] D. Won, I. chung, j. kim, S. moon, j. seo, J. Choe, "A New Algorithm to Locate Power-Quality Event Source With Improved Realization of Distributed Monitoring Scheme", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 21, No. 3 , PP. 1641 – 1647, 2006.
- [19] P. Axelbrg, " On Tracing Flicker Sources and Classification of Voltage Disturbances", Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, Chalmers University of Technology, 2007.
- [20] N. Eghtedarpour, E. Farjah, A. Khayatian, "Intelligent Identification of Flicker Source in Distribution Systems", IET Generation, Transmission, Distribution, Vol. 4, NO. 9, 2010.
- [21] O. C. Montero-Hernande, P. N. Enjeti, "A Fast Detection Algorithm Suitable for Mitigation of Numerous Power Quality Disturbances", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 41, No. 6, November-December 2005.
- [22] P. C. Krause, O. Wasynczuk, S. D. Sudhoff, "Analysis of Electric Machinery and Drive System", WILEY, 2002.
- [23] وود، ولنبرگ، "تولید، بهره برداری و کنترل، در سیستم های قدرت " ، مترجم. دکتر حسین سیفی، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، 1371.

Abstract

In recent years, by proliferation of non linear load in power network, power quality became of great importance for both consumers and utilities. One of the most important power quality events is flicker. Due to competition in power market, it is necessary to eliminate or reduce negative effects of flicker. Detection of flicker source's place is the first step to mitigate flicker in power system. The core of flicker analysis is tracking of the voltage envelope. In this thesis, four methods based on d-q transformation for tracking all flicker tones are proposed (novel method, improved square method, improved half wave rectifier method, and improved phase shifting method). The proposed methods are capable of tracking more than one tone in voltage envelope.

Detection of flicker sources is an important problem in compensation issue. Many methods have been presented in the literature for detection flicker source such as power flicker method and Neural Network. But the problem of existence of several flicker sources using neural network has not been studied. In this thesis, improved half wave rectifier method is used to extract amplitude and angle of flicker tones and proposed three methods to detect several flicker sources in a power system. In the first proposed method, phase difference of voltage and current are considered as index of flicker sources detection and by using the fundamental power flow direction at any considered line as reference, and the flicker power sign, flicker sources have been detected correctly. In the second proposed method, flicker tones amplitudes are considered as index of flicker sources detection and biggest amplitude shows the place of flicker source. And in the third proposed method, in order to reduce the number of measurement devices a neural network is train by using acquired indexes (flicker tones amplitude) to identify the place of flicker sources.

The performance of the d-q Transformation on tracking the flicker tones is examined with the signals generated by MATLAB, as well as the 6-bus network is simulated and algorithms for flicker sources detection are tested. The simulations results show that by using the proposed methods, all flicker sources in a power system can be detected correctly.

Keywords: d-q algorithm, Flicker Power, Flicker sources, Flicker Tones, Neural Network, Power Quality.



Faculty of Electrical and Robotic Engineering

Shahrood University of Technology

Detection of flicker sources in a power system

A thesis

**Presented in partial fulfillment of the requirement for the Master of
Science degree in power engineering**

By:

Jalal Khodaparast Qadi kolaee

Supervisor:

Dr. Ali Dastfan

Advisor:

Dr. Hadi Grailu

Septamber 2011