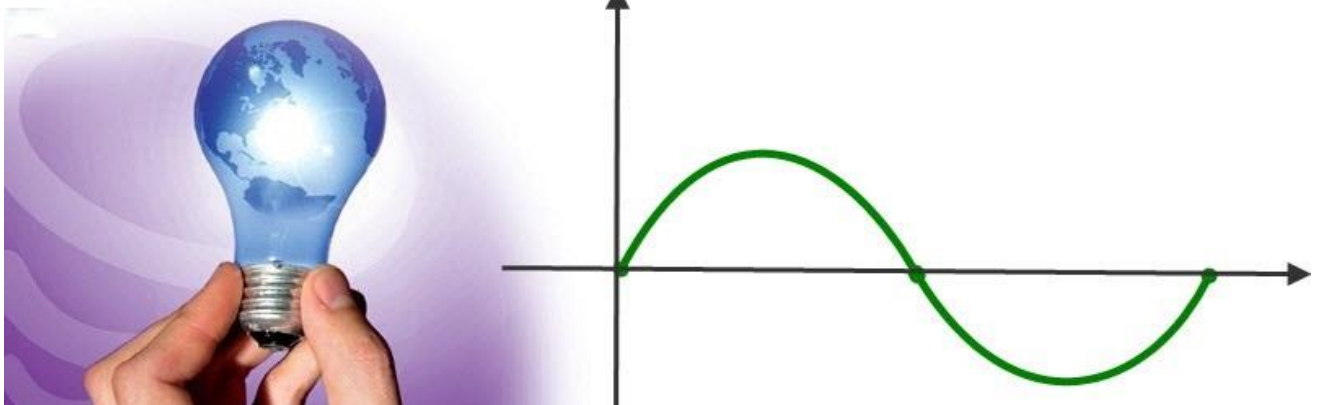


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

موضوع پروژه:

تحلیل فلیکر و لتاز توربین های بادی و کوره های قوس



برای خرید فایل word این پروژه [اینجا کلیک کنید](#).

(شماره پروژه = ۴۲۸)

پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

چکیده:

فلیکر ولتاژ یکی از جنبه‌های مهم کیفیت توان در شبکه‌های قدرت است. این پدیده به نوسانات متناوب یا غیرمتناوب ولتاژ در شبکه‌های قدرت اطلاق می‌شود که دامنه آن‌ها تا حد ۰/۱ پریونیت بوده و فرکانس این نوسانات نیز بین صفر تا ۳۰ هرتز می‌باشد. بدلیل آثار آزاردهنده و مخرب این نوسانات، استانداردهای کیفیت توان در شبکه‌های قدرت برای این پدیده مطرح شده و حدود انتشار فلیکر مجاز در شبکه‌های قدرت برآورد شده است.

در فصل اول این پایان‌نامه، به بررسی نوسانات ولتاژ و فلیکر پرداخته شده است. منابع ایجاد این پدیده معرفی شده و روش‌های حذف آن بصورت تئوری مطرح شده‌اند.

در فصل دوم، فلیکر متر استاندارد IEC که ابزاری برای بیان شدت انتشار فلیکر در شبکه‌های قدرت بصورت کمی می‌باشد، در نرم‌افزار Matlab شبیه‌سازی شده است. همچنین در این فصل، مدل ریاضیاتی که برای بیان نوسانات فلیکر در شبکه‌های قدرت بکار می‌رود، معرفی شده و تخمین پارامترهای فلیکر ولتاژ شامل چندین مؤلفه فلیکر، با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی، برای نخستین بار انجام شده است. در ادامه این فصل، دو روش ردیابی پوش ولتاژ برگرفته از روش‌های پردازش سیگنال، بررسی شده‌اند و توانایی آن‌ها در دنبال کردن پوش سیگنال ولتاژ با استفاده از اندازه‌گیری‌های ولتاژ، تأیید شده است. این روش‌ها در شناسایی باسی که عامل ایجاد فلیکر به آن اتصال یافته است و همچنین تعیین لحظه ورود و خروج این عامل از شبکه، کارایی دارند.

در فصل سوم پایان‌نامه به بررسی کوره قوس الکتریکی که یکی از عوامل و بارهای اصلی ایجاد فلیکر ولتاژ در شبکه‌های قدرت می‌باشد و به انتشار فلیکر بیش از حد مجاز در شبکه‌های قدرت معروف است، پرداخته شده است. از آنجا که کوره قوس الکتریکی تحت تأثیر عوامل متعدد در شبکه، رفتار مشخصی از خود نشان نمی‌دهد، نمی‌توان مدل ریاضیاتی دقیقی برای آن تعیین نمود. لذا در این پایان‌نامه به شبیه‌سازی جدیدترین مدل ارائه شده برای این تجهیز که دقت بالای آن با اندازه‌گیری‌های واقعی تأیید شده است، پرداخته شده و به بررسی و اندازه‌گیری سطح انتشار فلیکر در باس PCC از شبکه قدرتی که باس PCC آن، یک کوره قوس الکتریکی را تغذیه می‌نماید، پرداخته شده است.

در فصل چهارم به بررسی عامل مهم دیگر انتشار سطوح بالای فلیکر در شبکه‌های قدرت یعنی توربین‌ها و مزارع بادی پرداخته می‌شود. از آنجا که اتصال این نوع از تولیدات پراکنده به شبکه‌های قدرت، در

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

سال‌های اخیر رشد چشم‌گیری داشته و در حال گسترش است بررسی کیفیت توان این منابع تولید انرژی نیز اهمیت خاصی پیدا کرده است. یکی از جنبه‌های مهم کیفیت توان مرتبط با توربین‌های بادی، پدیده فلیکر ولتاژ در باسی است که این منابع را به شبکه سراسری متصل می‌کند. در این فصل، به شبیه‌سازی توربین و مزارع بادی اتصال یافته به شبکه قدرت پرداخته شده است. عوامل متعدد تأثیرگذار در انتشار فلیکر در لحظات سوئیچینگ توربین بادی در شبکه قدرت، برای نخستین بار بررسی شده‌اند. در ادامه، شبکه قدرت ضعیف که انتشار فلیکر ناشی از اتصال توربین‌های بادی به آن، به مراتب بیشتر از شبکه‌های قوی است، معرفی شده و انتشار بیش از حد فلیکر ناشی از اتصال توربین بادی در باس PCC چنین شبکه‌ای، با شبیه‌سازی‌ها و اندازه‌گیری‌های سطح فلیکر در باس PCC، نشان داده شده است. انتشار چنین سطحی از فلیکر در باس PCC، برای نخستین بار شبیه‌سازی شده است و در ادامه فصل نیز به دو روش حذف فلیکر باس PCC با استفاده از ادوات FACTS پرداخته شده است.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فهرست مطالب :

۱	مقدمه
فصل اول : تحلیل فلیکر ولتاژ	
۲	۱-۱) توصیف نوسانات ولتاژ
۵	۲-۱) فلیکر نور
۸	۳-۱) منبع نوسانات فلیکر (سرچشمه‌های فلیکر)
۱۲	۴-۱) اثرات نامطلوب فلیکر ولتاژ
۱۲	۵-۱) تکنیک‌های کاهش فلیکر ولتاژ
۱۵	۶-۱) خلاصه فصل اول

فصل دوم: اندازه‌گیری فلیکر ولتاژ و پارامترهای آن و ردیابی پوش فلیکر

۱۷	۱-۲) اندازه‌گیری فلیکر ولتاژ
۱۷	۱-۱-۲) فلیکر متر استاندارد
۱۹	۱-۱-۱-۲) بلوک ۱: بلوک تطبیق ولتاژ
۲۰	۲-۱-۱-۲) بلوک ۲: دم‌دولاتور با ضرب‌کننده مربعی
۲۱	۱-۲-۱-۱-۲) دم‌دولاسیون مربعی
۲۲	۳-۱-۱-۲) بلوک سوم: فیلترهای وزن‌دار
۲۵	۴-۱-۱-۲) بلوک چهارم: مربع‌سازی و هموارسازی
۲۶	۵-۱-۱-۲) بلوک پنجم: تحلیل آماری
۳۰	۲-۱-۲) شبیه‌سازی فلیکر متر
۳۰	۱-۲-۱-۲) شبیه‌سازی فلیکر متر در محیط Simulink برنامه Matlab
۳۲	۲-۲-۱-۲) شبیه‌سازی فلیکر متر در محیط m-file برنامه Matlab
۳۲	۳-۱-۲) کالیبره نمودن فلیکر متر
۳۴	۲-۲) اندازه‌گیری پارامترهای فلیکر ولتاژ
۳۶	۱-۲-۲) تخمین پارامترهای فلیکر ولتاژ با استفاده از روشی مبتنی بر الگوریتم اجتماع پرندگان (PSO)
۳۷	۱-۱-۲-۲) مروری بر الگوریتم بهینه‌سازی PSO

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۳۸	۱-۱-۱-۲-۲) الگوریتم PSO
۴۱	۲-۱-۱-۲-۲) تابع برازش
۴۲	۲-۱-۲-۲) روش پیشنهادی برای تخمین پارامترهای فلیکر ولتاژ
۴۳	۱-۲-۱-۲-۲) مورد مطالعه اول: تحلیل سیگنال ولتاژ با یک مؤلفه فلیکر
۴۴	۲-۲-۱-۲-۲) مورد مطالعه دوم: تحلیل سیگنال ولتاژ با دو مؤلفه فلیکر
۴۶	۳-۲-۱-۲-۲) مورد مطالعه سوم: تحلیل سیگنال ولتاژ با سه مؤلفه فلیکر
۴۷	۲-۲-۲) تخمین پارامترهای فلیکر ولتاژ با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری
۴۷	۱-۲-۲-۲) الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری
۵۱	۲-۲-۲-۲) نتایج تخمین پارامترهای فلیکر ولتاژ
۵۲	۳-۲) روش‌های دنبال کردن پوش سیگنال ولتاژ و آشکارسازی فلیکر ولتاژ
۵۲	۱-۳-۲) آشکارسازی بر اساس اپراتور انرژی تیگر
۵۶	۱-۱-۳-۲) نتایج شبیه‌سازی
۵۷	۲-۳-۲) آشکارسازی بر اساس تبدیل هیلبرت
۵۹	۱-۲-۳-۲) نتایج شبیه‌سازی
۶۰	۴-۲) خلاصه فصل دوم

فصل سوم: تحلیل فلیکر ولتاژ کوره‌های قوس الکتریکی

۶۱	۱-۳) کوره قوس الکتریکی
۶۲	۲-۳) مدل‌سازی کوره قوس الکتریکی
۶۳	۱-۲-۳) روش‌های حوزه فرکانس
۶۵	۲-۲-۳) روش‌های حوزه زمان
۶۵	۳-۳) نیاز به روش دقیق‌تر برای شبیه‌سازی کوره قوسی
۶۶	۴-۳) توسعه مدل جدید EAF
۷۰	۱-۴-۳) تعیین V_{sys} و Z_{sys}
۷۳	۲-۴-۳) تعیین R_{arc} و X_{arc}
۷۴	۱-۲-۴-۳) تعیین R_{min} و R_{max}
۷۷	۲-۲-۴-۳) تعیین m و w
۸۴	۵-۳) خلاصه فصل سوم

فصل چهارم: تحلیل فلیکر ولتاژ توربین‌های بادی متصل شده به شبکه‌های قدرت و حذف آن

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- ۸۶ (۱-۴) توربین‌های بادی
- ۸۷ (۲-۴) سیستم‌های الکتریکی در توربین‌های بادی
- ۸۷ (۱-۲-۴) توربین‌های بادی سرعت ثابت
- ۸۸ (۲-۲-۴) توربین بادی سرعت متغیر
- ۸۹ (۱-۲-۲-۴) رنج سرعت کم
- ۸۹ (۲-۲-۲-۴) رنج سرعت وسیع
- ۹۰ (۳-۴) کیفیت توان توربین‌های بادی
- ۹۱ (۱-۳-۴) توربین‌های بادی تنظیم شده با زاویه نصب
- ۹۲ (۲-۳-۴) توربین‌های بادی تنظیم شده با دکل
- ۹۳ (۴-۴) تغییرات ولتاژ
- ۹۵ (۵-۴) مدل سازی باد
- ۹۵ (۱-۵-۴) مدل باد
- ۹۹ (۱-۱-۵-۴) مدل سرعت باد معادل
- ۱۰۰ (۱-۱-۱-۵-۴) چگالی طیف توان اغتشاش
- ۱۰۲ (۲-۱-۵-۴) مدل مرکب باد
- ۱۰۳ (۱-۲-۱-۵-۴) مقدار متوسط اولیه سرعت باد (v_{wa})
- ۱۰۳ (۲-۲-۱-۵-۴) مؤلفه شیب (v_{wr})
- ۱۰۴ (۳-۲-۱-۵-۴) مؤلفه تندباد (v_{wg})
- ۱۰۴ (۴-۲-۱-۵-۴) مؤلفه اغتشاش (v_{wt})
- ۱۰۶ (۵-۲-۱-۵-۴) مدل سازی سرعت باد مجموع
- ۱۰۷ (۱-۵-۲-۱-۵-۴) مرحله اول: ایجاد خط موازی با سرعت باد از میان مرکز پارک بادی
- ۱۰۸ (۲-۵-۲-۱-۵-۴) مرحله دوم: محاسبه فاصله مرکز پارک بادی از محل تقاطع خط ایجاد شده در مرحله اول و خط عمود بر آن
- ۱۰۹ (۳-۵-۲-۱-۵-۴) مرحله سوم: محاسبه زمان ورود مؤلفه‌های تندباد و شیب
- ۱۱۰ (۶-۴) اثر سایه برج و شیب (گرادیان) باد
- ۱۱۲ (۷-۴) اندازه‌گیری فلیکر ولتاژ در نقطه PCC
- ۱۱۲ (۱-۷-۴) انتشار فلیکر در حالت کارکرد پیوسته توربین‌های بادی
- ۱۱۵ (۱-۱-۷-۴) مجموع‌یابی فلیکر
- ۱۱۶ (۲-۷-۴) انتشار فلیکر در حالت کلیدزنی توربین‌های بادی
- ۱۱۸ (۸-۴) تحلیل فلیکر ولتاژ ناشی از توربین‌های بادی سرعت ثابت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- ۱۱۹ (۱-۸-۴) نتایج شبیه‌سازی
- ۱۲۰ (۱-۱-۸-۴) اثر مشخصات خط در فلیکر ولتاژ مزرعه بادی
- ۱۲۳ (۲-۱-۸-۴) اثر تعداد توربین‌های بادی در مزرعه بادی بر روی فلیکر ولتاژ
- ۱۲۶ (۳-۱-۸-۴) اثر توان نامی مزرعه بادی بر روی فلیکر ولتاژ در نقطه PCC
- ۱۲۸ (۹-۴) بررسی فلیکر انتشار یافته از توربین‌های بادی اتصال یافته به شبکه‌های ضعیف
- ۱۲۸ (۱-۹-۴) توصیف شبکه ضعیف
- ۱۳۳ (۱۰-۴) کاهش فلیکر ولتاژ باس PCC
- ۱۳۳ (۱-۱۰-۴) کاهش فلیکر ولتاژ باس PCC از طریق تقویت شبکه
- ۱۳۳ (۲-۱۰-۴) کاهش فلیکر ولتاژ باس PCC از طریق نصب جبران‌ساز سنکرون استاتیکی در PCC
- ۱۳۴ (۱-۲-۱۰-۴) مروری بر جبران‌ساز سنکرون استاتیکی (STATCOM)
- ۱۳۶ (۲-۲-۱۰-۴) سیستم کنترلی STATCOM
- ۱۴۰ (۳-۱۰-۴) کاهش فلیکر ولتاژ باس PCC از طریق نصب جبران‌ساز استاتیکی وار در PCC
- ۱۴۲ (۱-۳-۱۰-۴) سیستم کنترلی SVC
- ۱۴۴ (۱۱-۴) خلاصه فصل چهارم

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- ۱۴۶ (۱-۵) نتیجه‌گیری
- ۱۴۸ (۲-۵) پیشنهادات
- ۱۴۹ فهرست منابع

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فهرست شکل‌ها :

۴	نوسانات در دامنه ولتاژ و زاویه فاز ولتاژ	شکل (۱-۱)
۶	شکل موج فلیکر ولتاژ	شکل (۲-۱)
۷	منحنی متداول فلیکر	شکل (۳-۱)
۱۱	نوسانات جریان و ولتاژ ناشی از یک کوره قوس بزرگ	شکل (۴-۱)
۱۱	جریان کشیده شده توسط یک دستگاه کپی و نوسان ولتاژ منتهی از آن	شکل (۵-۱)
۱۵	دیاگرام یک TSC نمونه	شکل (۶-۱)
۱۸	سطح فلیکر (P_{st}) اندازه‌گیری شده در یک باس 161kv تغذیه کننده یک کوره قوس الکتریکی	شکل (۱-۲)
۱۸	فلیکر متر استاندارد	شکل (۲-۲)
۲۹	بلوک دیاگرام فلیکر متر استاندارد IEC	شکل (۳-۲)
۳۰	دیاگرام نهایی فلیکر متر گسسته	شکل (۴-۲)
۳۴	بلوک دیاگرام کالیبراتور فلیکر متر استاندارد	شکل (۵-۲)
۳۸	فلوچارت الگوریتم PSO	شکل (۶-۲)
۴۸	فلوچارت الگوریتم رقابت استعماری	شکل (۷-۲)
۵۶	سیگنال ولتاژ حاوی فلیکر و ردیابی پوش آن توسط اپراتور انرژی تیگر	شکل (۸-۲)
۵۷	پوش سیگنال ولتاژ حاوی فلیکر، ردیابی شده توسط اپراتور انرژی تیگر	شکل (۹-۲)
۵۹	سیگنال ولتاژ حاوی فلیکر و ردیابی پوش آن توسط تبدیل هیلبرت	شکل (۱۰-۲)
۶۰	پوش سیگنال ولتاژ حاوی فلیکر، ردیابی شده توسط تبدیل هیلبرت	شکل (۱۱-۲)
۶۷	دیاگرام تک خطی سیستم قدرت بررسی شده	شکل (۱-۳)
۶۹	مدار معادل سیستم شکل (۱-۳)	شکل (۲-۳)
۶۹	مدار معادل نهایی سیستم شکل (۱-۳) در حوزه پرینیت	شکل (۳-۳)
۷۱	امپدانس معادل سیستم، دیده شده از نقطه PCC	شکل (۴-۳)
۷۱	امپدانس معادل دیده شده از نقطه PCC	شکل (۵-۳)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- شکل (۳-۶) محاسبه امپدانس معادل دیده شده از نقطه PCC ۷۲
- شکل (۳-۷) بلوک دیاگرام بر فاز برای تعیین مقاومت متغیر قوس ۷۳
- شکل (۳-۸) منحنی توان محاسبه شده ورودی به کوره نسبت به ضریب توان ورودی کوره ۷۶
- شکل (۳-۹) منحنی ضریب توان ورودی کوره نسبت به مقاومت قوس ۷۶
- شکل (۳-۱۰) منحنی توان اکتیو ورودی به کوره قوس الکتریکی از طریق فازهای a ، b و c ۷۸
- شکل (۳-۱۱) منحنی توان اکتیو کل ورودی به کوره قوس الکتریکی سیستم شکل (۳-۱) ۷۹
- شکل (۳-۱۲) منحنی ضریب توان ورودی کوره قوس الکتریکی ۷۹
- شکل (۳-۱۳) شکل موج ولتاژ فاز a در نقطه PCC از سیستم قدرت شکل (۳-۱) ۸۰
- شکل (۳-۱۴) شکل موج ولتاژ فاز a در نقطه PCC سیستم قدرت شکل (۳-۱) در بازه زمانی [۶۰/۵ ۶۰] ۸۱
- ثانیه
- شکل (۳-۱۵) سطوح فلیکر لحظه‌ای ولتاژهای فازهای a ، b و c در نقطه PCC سیستم قدرت شکل (۳-۱) ۸۲
- (۱)
- شکل (۳-۱۶) سطوح فلیکر لحظه‌ای ولتاژ فازهای a ، b و c در نقطه PCC سیستم قدرت شکل (۳-۱) ۸۲
- در مدت زمان یک دقیقه
- شکل (۴-۱) مدل طرحواره سیستم الکتریکی یک توربین بادی با سرعت ثابت ۸۸
- شکل (۴-۲) مدل طرحواره‌ای سیستم الکتریکی یک توربین بادی سرعت متغیر مجهز شده با یک ژنراتور القایی از دو سو تغذیه با یک مبدل اتصال یافته به مدار روتور ۸۹
- شکل (۴-۳) مدل طرحواره‌ای از یک سیستم الکتریکی یک توربین بادی سرعت متغیر مجهز شده با یک مبدل ۹۰
- شکل (۴-۴) مدل امپدانسی ساده ۹۴
- شکل (۴-۵) تصویری از باد در محدوده روتور یک توربین بادی ۹۶
- شکل (۴-۶) توان تولیدی توسط یک توربین بادی نمونه ۹۷
- شکل (۴-۷) تولید توان الکتریکی از نیروی باد ۹۸
- شکل (۴-۸) مدل سرعت باد معادل (EWS) ۱۰۰
- شکل (۴-۹) یک سری باد تولید شده توسط مدل باد EWS ۱۰۲
- شکل (۴-۱۰) سری باد تولید شده با استفاده از مدل مرکب باد ۱۰۶
- شکل (۴-۱۱) مزرعه بادی با ۱۰ توربین بادی ۱۰۹
- شکل (۴-۱۲) موقعیت‌های مختلف روتور در یک توربین سه تیغه‌ای ۱۱۱
- شکل (۴-۱۳) شبکه مرجع ساختگی برای تحلیل فلیکر انتشار یافته از توربین‌های بادی اتصال یافته به شبکه قدرت ۱۱۳

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- شکل (۴-۱۴) مزرعه بادی اتصال یافته به شبکه قدرت ۱۱۹
- شکل (۴-۱۵) منحنی پوش ولتاژ در نقطه PCC و در ترمینال‌های ژنراتور توربین بادی و پوش جریان ۱۲۱
فاز $a(\frac{X_g}{R_g} = 1)$
- شکل (۴-۱۶) منحنی توان اکتیو کل تولیدی توسط مزرعه بادی و توان راکتیو مصرفی آن $(\frac{X_g}{R_g} = 1)$ ۱۲۱
- شکل (۴-۱۷) منحنی پوش ولتاژ در نقطه PCC و در ترمینال‌های ژنراتور توربین بادی و پوش جریان ۱۲۲
فاز $a(\frac{X_g}{R_g} = 20)$
- شکل (۴-۱۸) منحنی توان اکتیو کل تولیدی توسط مزرعه بادی و توان راکتیو مصرفی آن $(\frac{X_g}{R_g} = 20)$ ۱۲۳
- شکل (۴-۱۹) مزرعه بادی اتصال یافته به شبکه قدرت با اعمال سری‌های باد مختلف به توربین‌های بادی ۱۲۴
- شکل (۴-۲۰) مدل مزرعه بادی با n توربین بادی ۱۲۴
- شکل (۴-۲۱) منحنی پوش ولتاژ در نقطه PCC و در ترمینال‌های ژنراتور توربین بادی و پوش جریان ۱۲۵
فاز a (اتصال مزرعه بادی 20MW به شبکه قدرت)
- شکل (۴-۲۲) منحنی توان اکتیو کل تولیدی توسط مزرعه بادی و توان راکتیو مصرفی آن (اتصال مزرعه بادی 20MW به شبکه قدرت) ۱۲۵
- شکل (۴-۲۳) منحنی پوش ولتاژ در نقطه PCC و در ترمینال‌های ژنراتور توربین بادی و پوش جریان ۱۲۷
فاز a (اتصال مزرعه بادی 80MW به شبکه قدرت)
- شکل (۴-۲۴) منحنی توان اکتیو کل تولیدی توسط مزرعه بادی و توان راکتیو مصرفی آن (اتصال مزرعه بادی 80MW به شبکه قدرت) ۱۲۷
- شکل (۴-۲۵) مدل یک توربین بادی اتصال یافته به یک شبکه قدرت ۱۲۹
- شکل (۴-۲۶) شکل موج ولتاژ فاز a در نقطه PCC از سیستم قدرت شکل (۴-۲۵) ۱۳۰
- شکل (۴-۲۷) شکل موج ولتاژ فاز a در نقطه PCC از سیستم قدرت شکل (۴-۲۵) در بازه زمانی $30/5$ ثانیه ۱۳۱
- شکل (۴-۲۸) سطوح فلیکر لحظه‌ای فاز a در نقطه PCC از سیستم قدرت شکل (۴-۲۵) ۱۳۲
- شکل (۴-۲۹) اتصال STATCOM به باس PCC در سیستم قدرت مورد بررسی ۱۳۴
- شکل (۴-۳۰) اتصال STATCOM به شبکه قدرت ۱۳۵
- شکل (۴-۳۱) بلوک دیاگرام کنترل STATCOM ۱۳۷
- شکل (۴-۳۲) شکل موج ولتاژ PCC سیستم قدرت شکل (۴-۲۹) ۱۳۹
- شکل (۴-۳۳) شکل موج ولتاژ PCC سیستم قدرت شکل (۴-۲۹) در بازه زمانی $30/5$ ثانیه ۱۳۹
- شکل (۴-۳۴) سطوح فلیکر لحظه‌ای باس PCC از سیستم قدرت شکل (۴-۲۹) ۱۴۰

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱۴۳	بلوک دیاگرام کنترلی SVC	شکل (۳۵-۴)
۱۴۴	شکل موج ولتاژ فاز a در نقطه PCC را پس از نصب SVC	شکل (۳۶-۴)

فهرست جدول‌ها :

۲۴	ثابت‌های بکار رفته در تابع تبدیل فیلتر سوم بلوک ۳ فلیکرمتر استاندارد	جدول (۱-۲)
۳۱	تعریف پارامترهای موجود در مدل فلیکرمتر استاندارد	جدول (۲-۲)
۳۳	مقدار دامنه و تغییرات در دقیقه برای تولید سیگنال‌های تست برای کالیبره نمودن فلیکرمتر	جدول (۳-۲)
۴۳	تأثیر فرکانس نمونه‌برداری بر روی تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ با یک مؤلفه فلیکر (تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری شده=۱۰۰)	جدول (۴-۲)
۴۴	تأثیر تعداد نمونه‌ها بر روی تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ با یک مؤلفه فلیکر در فرکانس نمونه‌برداری ثابت (100 Hz)	جدول (۵-۲)
۴۵	تأثیر فرکانس نمونه‌برداری بر روی تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ با دو مؤلفه فلیکر (تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری شده=۱۰۰)	جدول (۶-۲)
۴۵	تأثیر تعداد نمونه‌ها بر روی تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ با دو مؤلفه فلیکر در فرکانس نمونه‌برداری ثابت (150 Hz)	جدول (۷-۲)
۴۷	تأثیر فرکانس نمونه‌برداری بر روی تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ با سه مؤلفه فلیکر (تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری شده=۱۰۰)	جدول (۸-۲)
۴۷	تأثیر تعداد نمونه‌ها بر روی تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ با سه مؤلفه فلیکر در فرکانس نمونه‌برداری ثابت (150 Hz)	جدول (۹-۲)
۵۲	نتایج تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ شامل ۴ مؤلفه فلیکر	جدول (۱۰-۲)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۶۸	پارامترهای سیستم قدرت شکل (۱-۳)	جدول (۱-۳)
۱۰۵	مقدار پارامتر شدت ناهمواری برای انواع مختلف مناطق اطراف توربین بادی	جدول (۱-۴)

فهرست اختصارات :

AC (ac)	Alternating Current
BLW	Band Limited White noise
DC (dc)	direct current
DFT	Discrete Fourier Transform
EAf	Electrical Arc Furnace
EWS	Equivalent Wind Speed
FACTS	Flexcible AC Transmission System
FFT	Fast Fourier Transform
HT	Hilbert Transform
LAV	Least Absolute Value
LES	Least Error Squares
max	maximum
min	minimum
PCC	Point of Common Connection (Coupling)
PLL	Phase-Locked Loop
PSO	Particle Swarm Optimization
rms	root mean square
STATCOM	Static Synchronous Compensator
SVC	Static Var Compensator
TCR	Thyristor Controlled Reactor
TEO	Teager Energy Operator
TSC	Thyristor-Switched Capacitor
TSR	Thyristor Switched Reactor
VSC	Voltage Source Converter

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

عبارت کیفیت توان از اواخر دهه ۱۹۸۰ میلادی بصورت یکی از معروف‌ترین واژه‌های صنعت برق مطرح شده است. این واژه به عنوان یک مفهوم فراگیر برای انواع اغتشاشات در سیستم قدرت بکار می‌رود. دلایلی مانند افزایش حساسیت تجهیزات کنونی در مقایسه با تجهیزات مورد استفاده در گذشته نسبت به کیفیت توان، افزایش راندمان سیستم قدرت، افزایش آگاهی مشترکین نسبت به مسائل کیفیت توان و ... از دلایل افزایش توجه روزافزون به مسائل کیفیت توان در شبکه‌های قدرت است.

یکی از مباحث مهم مرتبط با کیفیت توان، بحث کیفیت ولتاژ در شبکه‌های قدرت است. اهمیت این بحث در شبکه‌های قدرت به قدری است که گاهی کیفیت توان را معادل با کیفیت ولتاژ در نظر می‌گیرند. وجود نوسانات ولتاژ در شبکه به مفهوم کیفیت نامطلوب ولتاژ شبکه می‌باشد. فلیکر نور یکی از نتایج نوسانات ولتاژ در شبکه است که در این پایان‌نامه به آن پرداخته می‌شود. پدیده فلیکر نور (فلیکر ولتاژ) بررسی و تحلیل شده، روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای فلیکر و نیز شدت انتشار فلیکر ناشی از بارهای فلیکرزا در شبکه‌های قدرت و روش‌هایی برای آشکارسازی فلیکر ولتاژ در شبکه‌های قدرت مطرح خواهند شد. همچنین به بررسی و شبیه‌سازی دو عامل اصلی ایجاد فلیکر در شبکه‌های قدرت یعنی کوره‌های قوس الکتریکی و توربین‌های بادی پرداخته شده و در نهایت روش‌هایی برای کاهش انتشار فلیکر ناشی از اتصال توربین‌های بادی به شبکه‌های قدرت مطرح خواهند شد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فصل اول: تحلیل فلیکر ولتاژ

در این بخش، مقدمه‌ای درباره تغییرات سریع در دامنه ولتاژ که نوسانات ولتاژ^۱ نامیده می‌شود و همچنین پدیده فلیکر نور^۲ که نتیجه آن می‌باشد، ارائه می‌گردد. ابتدا به توصیف نوسانات ولتاژ پرداخته می‌شود، سپس بررسی پدیده فلیکر ولتاژ، انواع آن و نیز بارهای ایجادکننده فلیکر ولتاژ در شبکه‌های قدرت و همچنین برخی از روش‌های حذف فلیکر بصورت تئوری مطرح خواهند شد.

(۱-۱) توصیف نوسانات ولتاژ

نوسانات ولتاژ یا بصورت تغییرات سیستماتیک در پوش ولتاژ و یا بصورت یک سری از تغییرات تصادفی ولتاژ می‌باشند. نوسانات ولتاژ سیستماتیک بصورت یک مدولاسیون دامنه از ولتاژ فرکانس اصلی توصیف شده‌اند [۳]:

$$v(t) = \sqrt{2}V[1 + m(t)] \cos(2\pi f_0 t) \quad (1-1)$$

1. Voltage Fluctuations
2. Light Flicker

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

که مقدار V_{rms} موج ولتاژ اصلی (موج حامل^۱، موج اعوجاج نیافته) است. f_0 فرکانس اصلی و $m(t)$ اعوجاج (مدولاسیون)^۲ است. معادله (۱-۱) بصورت تئوری هرگونه اغتشاش ولتاژ را با انتخاب مناسب $m(t)$ توصیف می‌کند.

یک سیگنال فرکانس اصلی مدوله شده با یک نوسان ولتاژ سینوسی را در نظر بگیرید [۳]:

$$m(t) = M \cos(2\pi f_M t + \phi_M) \quad (۲-۱)$$

که منجر به نوسان ولتاژ زیر می‌شود:

$$v(t) = \sqrt{2}V [1 + M \cos(2\pi f_M t + \phi_M)] \cos(2\pi f_0 t) \quad (۳-۱)$$

این موج می‌تواند بصورت مجموع ۳ موج سینوسی نوشته شود:

$$v(t) = \sqrt{2}V \cos(2\pi f_0 t) + \frac{\sqrt{2}}{2} MV \cos[2\pi(f_0 + f_M)t + \phi_M] + \frac{\sqrt{2}}{2} MV \cos[2\pi(f_0 - f_M)t + \phi_M] \quad (۴-۱)$$

قسمت اول در معادله (۴-۱)، موج حامل است و قسمت‌های دوم و سوم لبه‌های کناری^۳ هستند (مؤلفه‌های طیفی در طرفین موج حامل). بنابراین نوسانات ولتاژ در حوزه فرکانس می‌توانند بصورت لبه‌های کناری در طرفین موج با فرکانس اصلی توصیف شوند.

حال یک موج با مدولاسیون فاز خالص را در نظر بگیرید:

$$v(t) = \sqrt{2}V \cos[2\pi f_0 t + \phi(t)] \quad (۵-۱)$$

برای $|\phi(t)| \leq 1$ ، تغییرات در فاز کوچک است رابطه $v(t)$ بصورت رابطه (۶-۱) می‌شود:

$$v(t) = \sqrt{2}V \cos(2\pi f_0 t) \cos[\phi(t)] - \sqrt{2}V \sin(2\pi f_0 t) \sin[\phi(t)]$$

1. Carrier Wave
2. Modulation
3. Side lobes

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$\simeq \sqrt{2}V \cos(2\pi f_0 t) - \sqrt{2}V\phi(t) \sin(2\pi f_0 t) \quad (۶-۱)$$

دوباره سیگنال مدولاسیون سینوسی را طبق رابطه زیر در نظر بگیرید:

$$\phi(t) = \Phi \cos(2\pi f_M t + \phi_M) \quad (۷-۱)$$

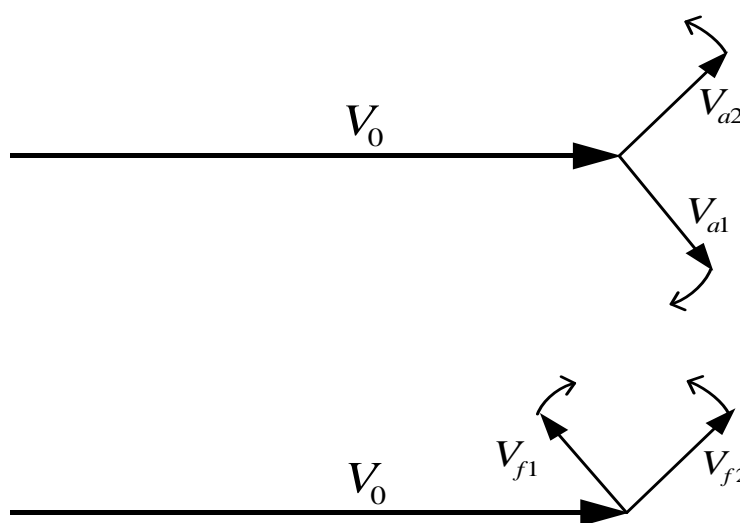
بنابراین:

$$v(t) = \sqrt{2}V \cos(2\pi f_0 t) - \frac{\sqrt{2}}{2} V\Phi \sin[2\pi(f_0 + f_M)t - \phi_M] \\ + \frac{\sqrt{2}}{2} V\Phi \sin[2\pi(f_0 - f_M)t - \phi_M] \quad (۸-۱)$$

نتیجه دوباره یک موج حامل (بخش اول معادله (۸-۱)) و دو لبه کناری (قسمت‌های دوم و سوم معادله (۸-۱)) می‌باشد. تفاوت در مدولاسیون دامنه، در علامت ترم‌های دو لبه کناری است. این تفاوت می‌تواند با در نظر گرفتن دیاگرام فازوری برای فرکانس اصلی، قابل رؤیت باشد.

در فرکانس اصلی موج حامل بصورت یک بردار ثابت حاصل می‌شود. لبه‌های کناری بصورت بردارهایی که با فرکانس مدولاسیون در جهات مختلف می‌چرخند، حاصل می‌شوند.

این دو نوع مدولاسیون (اعوجاج) در شکل موج ولتاژ اصلی، در شکل (۱-۱) نشان داده شده‌اند.



شکل (۱-۱): نوسانات در دامنه ولتاژ (نمودار بالا) و زاویه فاز ولتاژ (نمودار پایین)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

V_0 بخش ثابت (غیرنوسانی) ولتاژ مختلط می‌باشد.

در شکل (۱-۱)، V_{a1} و V_{a2} دو مؤلفه‌ای هستند که در صفحه مختلط می‌چرخند که منجر به مدولاسیون دامنه می‌شوند. همچنین، V_{f1} و V_{f2} دو مؤلفه‌ای هستند که منجر به مدولاسیون فاز می‌شوند.

۲-۱) فلیکر نور

توجه اصلی به نوسانات ولتاژ به علت توانایی آن‌ها در ایجاد نوسانات در شدت نور لامپ می‌باشد. مهندسی قدرت در ابتدا درباره این نوسانات در دهه ۱۸۸۰، وقتی که درگیر استفاده بیشتر از سیستم ac به جای سیستم dc بودند بحث کردند [۴]. ولتاژ ac فرکانس پایین در سوسوزدن لامپ‌ها نمایان شد. برای اجتناب از این مسأله فرکانس بالای ۶۰ هرتز به عنوان استاندارد در آمریکای شمالی انتخاب شد [۴].

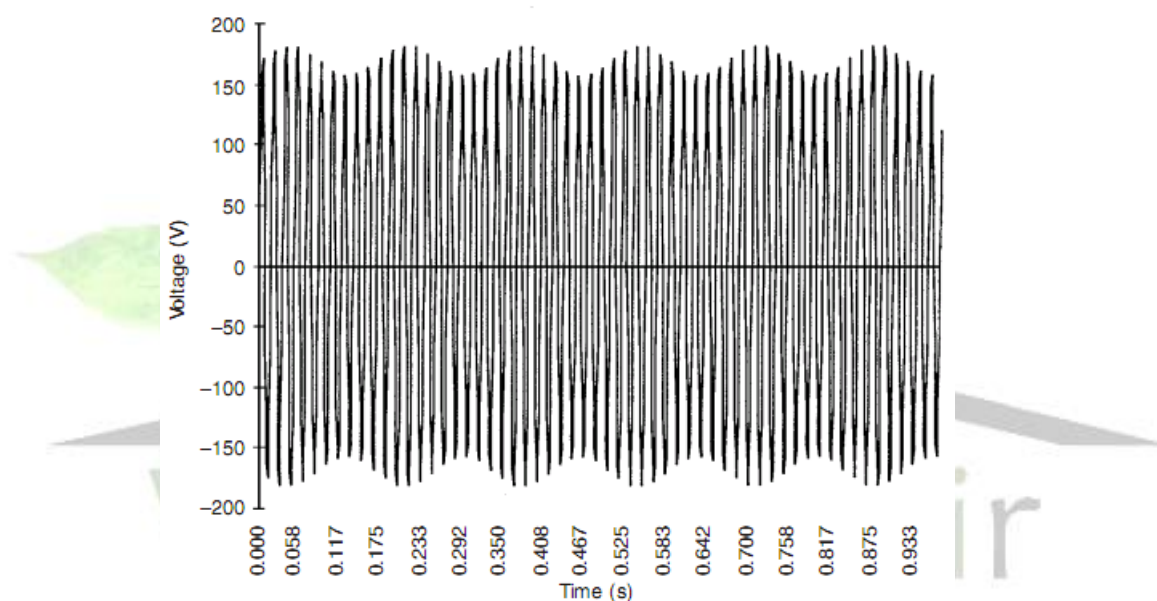
عبارت فلیکر گاهاً مترادف با نوسانات ولتاژ در نظر گرفته می‌شود با عبارتی نظیر فلیکر ولتاژ^۱، فلیکر نور یا فلیکر لامپ^۲. این پدیده می‌تواند به عنوان یک نوسان در ولتاژ سیستم تعریف شود که می‌تواند منجر به تغییرات قابل مشاهده (سوسوزدن) در لامپ شود. عبارت "فلیکر" نیز از همین "سوسوزدن" لامپ‌ها گرفته شده است [۴]. به این علت که فلیکر اغلب مشکلی است که چشم انسان آن را مشاهده می‌کند، فرض می‌شود که آن، یک مسأله قابل درک (شهودی) است.

از لحاظ فنی، نوسان ولتاژ یک پدیده الکترومغناطیسی است که فلیکر یک نتیجه نامطلوب آن در برخی از بارها است. با این وجود دو عبارت "نوسان ولتاژ" و "فلیکر" غالباً در استانداردها با همدیگر و به یک مفهوم بکار می‌روند.

1. Voltage Flicker
2. Lamp Flicker

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فلیکر می‌تواند به دو نوع تقسیم شود: دوره‌ای (متناوب)^۱ و غیردوره‌ای (غیرمتناوب)^۲. فلیکر متناوب نتیجه نوسانات متناوب ولتاژ در سیستم است در حالیکه فلیکر غیرمتناوب در نتیجه نوسانات تصادفی ولتاژ می‌باشد. یک مثال از فلیکر متناوب سینوسی در شکل (۱-۲) نشان داده شده است. این نوع از فلیکر، از نوع ساده مدولاسیون دامنه است جایی که سیگنال اصلی، سیگنال حامل و فلیکر، سیگنال مدوله شده است.

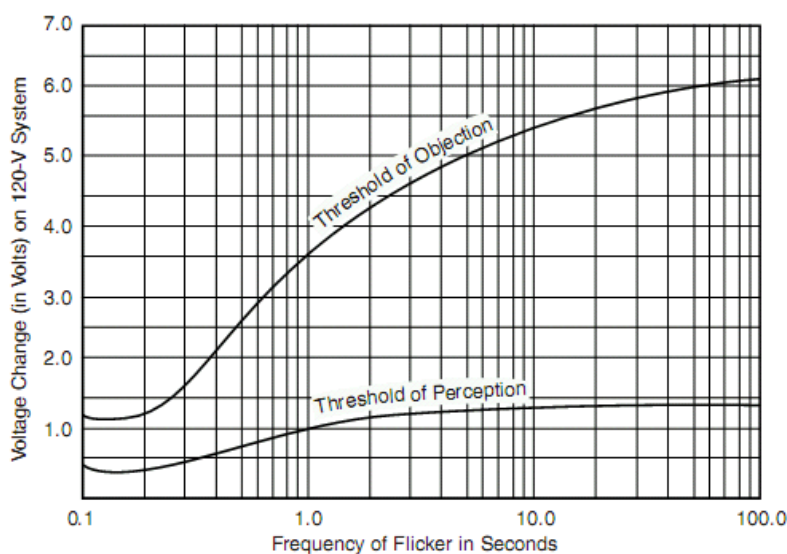


شکل (۱-۲): شکل موج فلیکر ولتاژ

در اوایل سال‌های ۱۹۰۰، مطالعات زیادی بر روی بشر صورت گرفت تا سطوح قابل رؤیت و نیز آزاردهنده فلیکر تعیین شوند. منحنی‌های زیادی نظیر آنچه در شکل (۱-۳) نشان داده شده است توسط کمپانی‌های مختلف ایجاد شد تا شدت فلیکر را تعیین نمایند [۴].

1. Cyclic
2. Noncyclic

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۱-۳): منحنی متداول فلیکر

منحنی شکل (۱-۳)، آستانه درک نوسانات فلیکر و نیز آستانه رنجش انسان را در فرکانس‌های

مختلف، بر حسب تغییرات ولتاژ در یک سیستم ۱۲۰ ولت نشان می‌دهد [۴]. این منحنی در سال ۱۹۳۷

میلادی توسط W.Perine و C.P.Xenis ایجاد شد که بر اساس داده‌ها و اطلاعات بدست آمده از ۲۱

گروه از مشاهده‌کنندگان بود. برای تخمین زدن ماهیت فلیکر، مشاهده‌کنندگان در معرض شکل موج‌های

گوناگون تغییرات ولتاژ، سطح روشنایی و انواع لامپ‌ها قرار گرفتند.

روش معمول برای بیان کردن فلیکر، بصورت درصد مدولاسیون ولتاژ است [۴] که معمولاً بصورت

درصدی از تغییر کل در ولتاژ نسبت به میانگین ولتاژ $(\frac{\Delta V}{V})$ در طول یک پریود مشخص از زمان بیان

می‌شود. با استفاده از درصد، سیگنال فلیکر مستقل از مقدار پیک، rms ، خط-خط و غیره است. درصد

مدولاسیون ولتاژ توسط رابطه زیر بیان می‌شود [۴]:

$$\text{درصد مدولاسیون ولتاژ} = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_0} * 100 \quad \% \quad (9-1)$$

که:

V_{\max} : ماکزیمم مقدار سیگنال مدوله شده

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

V_{min} : مینیمم مقدار سیگنال مدوله شده

V_0 : مقدار متوسط ولتاژ کار عادی می‌باشد.

مقدار فرکانس فلیکر در تعیین اینکه آیا سطوح فلیکر، قابل رؤیت یا آزاردهنده هستند یا نه، خیلی مهم است. چشم انسان به نوسانات روشنایی در رنج ۵-۱۰ هرتز حساس تر است [۴]. اگر فرکانس فلیکر از این محدوده افزایش یا کاهش یابد، چشم انسان عموماً نوسانات را تحمل می‌کند. دامنه نوسانات فلیکر معمولاً تا ۰/۱ پرینویت می‌باشد. بنابراین فلیکر ولتاژ سبب می‌شود که دامنه سیگنال ولتاژ معمولاً بین ۰/۹ تا ۱/۱ پرینویت نوسان کند. فرکانس این نوسانات نیز معمولاً بین صفر تا ۳۰ هرتز می‌باشد [۴].

۳-۱ منبع نوسانات فلیکر (سرچشمه‌های فلیکر)

اساساً فلیکر در سیستم‌هایی رخ می‌دهد که نسبت به تأمین مقدار توان مورد نیاز بار ضعیف هستند. نوسانات ولتاژ در نتیجه تغییرات بار می‌باشند. هرگونه تغییری در جریان بار، بطور واضح منجر به تغییر در ولتاژ خواهد شد. اما این تغییرات معمولاً به عنوان نوسانات ولتاژ در نظر گرفته نمی‌شوند. اینکه آیا نوسانات ولتاژ منتهی به سبب فلیکر قابل رؤیت یا آزاردهنده می‌شوند یا نه، بستگی به پارامترهای زیر دارد [۴]:

- توان (VA) منبع ایجاد فلیکر
- امپدانس سیستم
- فرکانس نوسانات ولتاژ منتهی

عمدتاً دو نوع از بارها منجر به ایجاد فلیکر و سوسوزدن نور لامپ می‌شوند [۳]:

- ۱- منابع ایجاد تغییرات ولتاژ گسسته: بارهایی هستند که در هنگام راه‌اندازی جریان زیادی می‌کشند و به علت تعدد راه‌اندازی، از عوامل ایجاد فلیکر هستند.
- ۲- منابع ایجاد نوسانات ولتاژ پیوسته: بارهایی هستند که جریان آن‌ها متناوباً تغییر می‌کند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

از منابع ایجاد فلیکر گروه اول می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [۳]:

- موتورهای بزرگ که در هنگام راه‌اندازی جریان هجومی زیادی می‌کشند.
- کلیدزنی^۱ خازن‌های اصلاح ضریب توان
- بویلرهای الکتریکی با ظرفیت زیاد
- ماشین‌های اشعه X
- لیزرها
- ماشین‌های فتوکپی بزرگ
- کولرهای تهویه هوا
- یخچال‌ها
- فن‌ها
- شروع به کار درایوها و تغییرات ناشی از اشباع بار درایوها
- اتصال و قطع خطوط در شبکه
- آسانسورها
-

همچنین منابع ممکن نوسانات ولتاژ پیوسته (گروه دوم) شامل موارد زیر هستند [۳]:

- ماشین‌های جوشکاری مقاومتی
- کارخانه‌های نورد (تولید ورق فولادی)
- موتورهای صنعتی بزرگ با بارهای متغیر

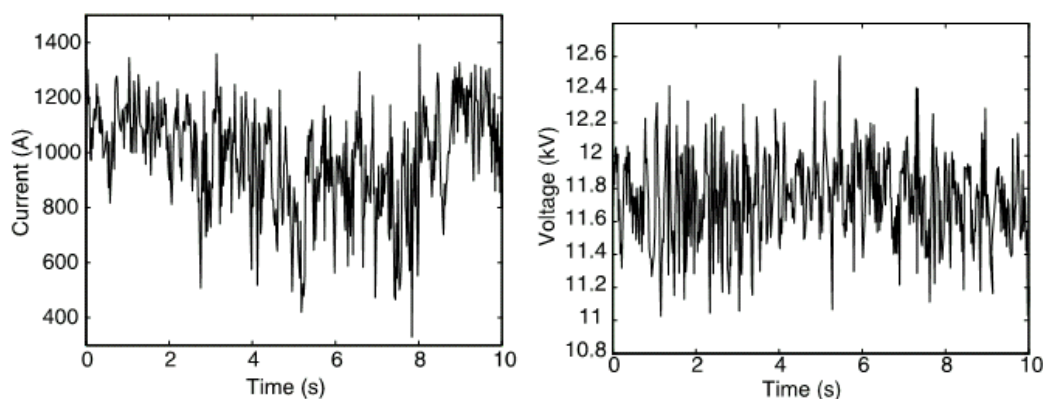
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- کوره‌های قوس الکتریکی^۱
- دستگاه‌های جوش
- کارگاه‌های تولیدات چوبی
- توربین‌های بادی
-

یک بار معمول که اغلب می‌تواند سبب ایجاد فلیکر شود کوره قوس الکتریکی است. کوره‌های قوس الکتریکی بارهای غیرخطی متغیر با زمان می‌باشند که اغلب، علت نوسانات بزرگ ولتاژ و اعوجاج هارمونیک هستند. کوره‌های قوس الکتریکی که برای ذوب کردن فلزات و آهن قراضه از طریق ایجاد اتصال کوتاه بین دو الکترود استفاده می‌شوند، مقدار توان زیادی را مصرف می‌کنند و نوعاً، مستقیماً به سیستم انتقال متصل می‌شوند و سبب ایجاد فلیکر ولتاژ در طول محدوده‌های بزرگ می‌شوند. بیشتر نوسانات جریان بزرگ ناشی از کوره قوس الکتریکی (و در نتیجه نوسانات ولتاژ) در ابتدای سیکل ذوب کردن رخ می‌دهند. در طول این پریود، تکه‌های آهن قراضه (ضایعات) می‌توانند فاصله بین الکترودها را بپوشانند، در نتیجه باعث ایجاد مدار اتصال کوتاه شدید در سمت ثانویه ترانس کوره می‌شوند. این پریود ذوب معمولاً سبب ایجاد فلیکر در رنج فرکانس ۱۰-۱ هرتز می‌شود [۴].

یک مثال از جریان و ولتاژ اندازه‌گیری شده برای یک کوره قوسی، در شکل (۱-۴) نشان داده شده است.

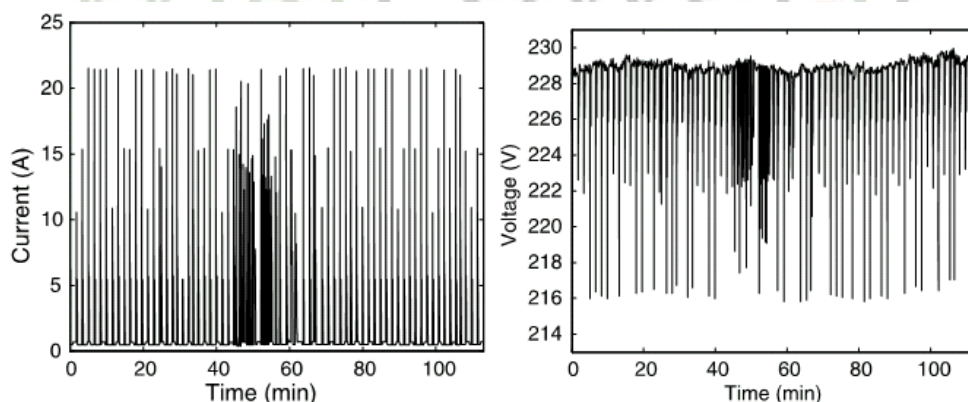
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۴-۱): نوسانات جریان و ولتاژ ناشی از یک کوره قوس بزرگ

هر دوی مقادیر دامنه‌های ولتاژ و جریان، با رسم مقادیر rms در هر سیکل از شکل موج، بدست آمده‌اند [۳].

یک مثال از بارهای ولتاژ پایین که منجر به نوسانات ولتاژ می‌شوند دستگاه کپی می‌باشد. دستگاه‌های کپی‌بزرگتر که در ادارات استفاده می‌شوند درام را در دمای بالا نگه می‌دارند. حتی وقتی که دستگاه در حال استفاده نمی‌باشد بطور مرتب جریان بالایی می‌کشد تا دمای بالای درام را حفظ کند. یک مثال از جریان جاری شده به دستگاه کپی و نوسانات منتهی، در شکل (۵-۱) نشان داده شده است.



شکل (۵-۱): جریان کشیده شده توسط یک دستگاه کپی و نوسان ولتاژ منتهی از آن

این شکل‌ها توسط نمونه‌برداری از مقادیر rms ولتاژ و جریان در هر ۵ ثانیه، بدست آمده‌اند [۳].

(۴-۱) اثرات نامطلوب فلیکر ولتاژ

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شدت فلیکر با فاکتورهای نوسان ولتاژ نظیر شکل موج، دامنه و فرکانس نوسانات مرتبط می‌باشد. در سال‌های اخیر با گسترش بارهای نوسانی، مشکلات ایجاد شده بوسیله فلیکر ولتاژ برای سیستم‌های قدرت، بیشتر و بیشتر شده‌اند. برخی از اثرات نامطلوب فلیکر ولتاژ را می‌توان بصورت زیر بیان نمود [۳،۴]:

- سوسوزدن لامپ و در نتیجه خستگی و رنجش چشم انسان
- اثرات مخرب آن بر روی اغلب مدارهای الکترونیکی و کنترلی
- ایجاد اختلال در کار کنترلرها و ادوات حفاظتی
- کاهش عمر لامپ‌های فلورسنت، ملتهب و
- سرعت چرخش ناپایدار موتور و شتاب گرفتن فرآیند پیری
- ایجاد زیان‌های اقتصادی
-

۵-۱) تکنیک‌های کاهش فلیکر ولتاژ

روش‌های زیادی برای کاهش فلیکر ولتاژ وجود دارد. برخی از این روش‌ها شامل خازن‌های استاتیکی، ابزارهای کلیدزنی بر پایه الکترونیک قدرت و افزایش ظرفیت سیستم می‌باشد. روش خاص بر اساس فاکتورهای زیادی نظیر نوع باری که منجر به ایجاد فلیکر شده، ظرفیت سیستم تغذیه‌کننده بار و هزینه تکنیک حذف فلیکر انتخاب می‌شود.

فلیکر معمولاً در نتیجه یک بار تغییرپذیر که نسبت به ظرفیت اتصال کوتاه سیستم، بزرگ است، ایجاد می‌شود. بنابراین یک روش واضح برای کاهش فلیکر، افزایش ظرفیت سیستم تا حد کافی می‌باشد تا اثر نسبی بار تولیدکننده فلیکر را کاهش داد. بهبود سیستم می‌تواند شامل هر یک از موارد زیر باشد:

- هادی‌گذاری مجدد
- تعویض ترانسفورماتورهای موجود با ترانس‌هایی با KVA بالاتر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

• افزایش ولتاژ کار سیستم

اصلاح موتورها نیز یکی از راه‌های موجود برای کاهش مقدار فلیکر تولید شده در طول راه‌اندازی موتور و تغییرات بار می‌باشد. سیم‌پیچ موتور می‌تواند دوباره پیچانده شود (تغییر کلاس موتور) تا منحنی‌های گشتاور-سرعت اصلاح شوند.

یک روش نسبتاً ارزان برای کاهش اثرات فلیکر راه‌اندازی موتورها، نصب ساده یک راه‌انداز پله‌ای^۱ برای موتور است که مقدار جریان راه‌اندازی را در طول پریود راه‌اندازی موتور، کاهش می‌دهد. با پیشرفت در تکنولوژی حالت یکپارچه^۲، اندازه، وزن و هزینه درایوهای با سرعت قابل تنظیم، کاهش یافته است. بنابراین پذیرش استفاده از چنین ابزارهایی برای کاهش اثرات فلیکر، بیشتر شده است.

بعضاً راکتورهای سری^۳ برای کاهش فلیکر ایجاد شده در یک سیستم به سبب کوره‌های قوس الکتریکی، بکار رفته‌اند [۳]. راکتورهای سری کمک می‌کنند که قوس را پایدار کنند، بنابراین تغییرات جریان در طول آغاز دوره‌های ذوب‌کردن را کاهش می‌دهند. با افزودن یک راکتور سری، افزایش ناگهانی در جریان، به علت افزایش راکتانس مدار، کاهش می‌یابد. طرح راکتور باید با الزامات توان هماهنگ شود. همچنین خازن‌های سری می‌توانند برای کاهش اثر فلیکر در یک سیستم بکار روند. در حالت کلی، خازن‌ها بصورت سری با خط انتقال تغذیه‌کننده بار قرار می‌گیرند. مزیت خازن‌های سری این است که زمان عکس‌العمل‌شان برای تصحیح نوسانات بار بسیار کوتاه (آنی) است. عیب خازن‌های سری این است که جبران فقط در آنطرف خط امکان‌پذیر است و ولتاژهای باس بین تغذیه و خازن، جبران‌نشده هستند. همچنین خازن‌های سری مشکلات اجرایی دارند که نیازمند مهندسی دقیق می‌باشد [۳].

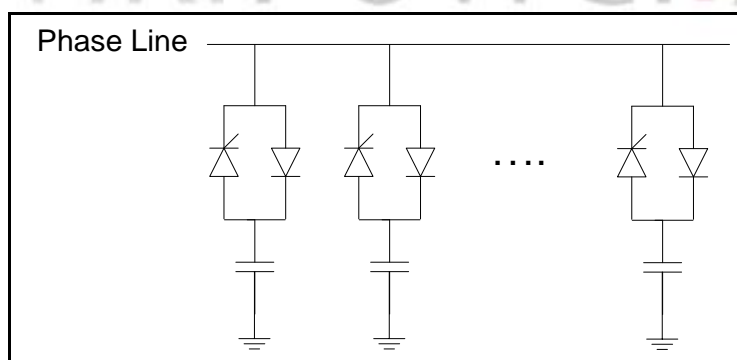
جبران‌سازهای استاتیکی توان راکتیو^۴ (SVC)، می‌توانند در کنترل نوسانات ولتاژ در بارهای متغیر خیلی سریع، مؤثر باشند. ولی قیمت آن‌ها برای انعطاف‌پذیری بالا، زیاد است. با این وجود، آن‌ها اغلب تنها

1. Step-Starter
2. solid-state technology
3. series reactors
1. Static Var Compensator

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

راه حل مؤثر متناسب با قیمت برای خیلی از بارهای قرار داده شده در محیط‌های دور می‌باشند که سیستم قدرت در آنجا ضعیف است.

خازن‌های سوئیچ شده با تریستور^۱ (TSC) نیز می‌توانند برای تأمین توان راکتیو برای یک سیستم قدرت در یک مدت زمان خیلی کوتاه بکار روند. بنابراین برای کاهش اثرات نوسانات سریع بار مفید می‌باشند. TSCها معمولاً دارای ۲ تا ۵ بانک خازنی موازی می‌باشند که بصورت سری با دیودها و تریستورهای متصل شده بصورت پشت به پشت، قرار گرفته‌اند. ظرفیت خازن‌ها معمولاً برابر با یکدیگر است یا بصورت مضرب‌هایی از یکدیگر تنظیم شده‌اند تا تأمین توان راکتیو هموارتری را میسر سازند و انعطاف‌پذیری را در کنترل توان راکتیو افزایش دهند. کلیدزنی خازن‌ها در پله‌های گسسته، مقدار توان راکتیو تحویل داده شده به سیستم توسط TSC را کنترل می‌کند. یک دیاگرام نمونه از یک TSC در شکل (۱-۶) نشان داده شده است.



شکل (۱-۶): دیاگرام یک TSC نمونه

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۶-۱) خلاصه فصل اول

در این فصل، ابتدا به توصیف نوسانات ولتاژ پرداخته شد. سپس پدیده فلیکر ولتاژ بررسی شد. برخی از منابع ایجاد انواع نوسانات فلیکر در شبکه‌های قدرت معرفی شدند. در ادامه، به بررسی اثرات نامطلوب فلیکر ولتاژ پرداخته شده و همچنین، مختصری درباره روش‌های کاهش فلیکر ولتاژ صحبت شد.

فصل دوم: اندازه‌گیری فلیکر ولتاژ و پارامترهای آن

و ردیابی پوش فلیکر

این فصل به ۳ بخش کلی تقسیم می‌شود: اندازه‌گیری فلیکر ولتاژ، تعیین پارامترهای فلیکر و ردیابی^۱ پوش فلیکر ولتاژ. در قسمت اندازه‌گیری فلیکر ولتاژ، به بررسی و شبیه‌سازی فلیکر متر استاندارد پرداخته خواهد شد. در بخش تعیین پارامترهای فلیکر، به تحلیل رابطه ریاضی فلیکر پرداخته شده و روش‌هایی برای تعیین (تخمین) مؤلفه‌هایی چندتایی فلیکر ولتاژ معرفی می‌شوند و نتایج این تخمین‌ها بر روی

1. Tracking

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

سیگنال‌های فلیکر مورد تست، ارائه می‌شوند. در نهایت در بخش سوم این فصل، به بررسی دو روش برای دنبال کردن پوش سیگنال فلیکر ولتاژ پرداخته می‌شود.

۲-۱) اندازه‌گیری فلیکر ولتاژ

منحنی فلیکر که در فصل قبل معرفی شد برای سالیان زیادی برای ارزیابی شدت نوسانات ولتاژ بکار می‌رفته است. با این وجود، منحنی فقط برای یک شکل خاص از نوسانات ولتاژ صادق است. نوعاً منحنی فقط برای یک شکل موج مستطیلی داده شده است و برای شکل‌های دیگر (سینوسی و مثلثی) ضرایب تصحیح برای محاسبه شدت نوسانات ولتاژ ارائه شده‌اند. اما این منحنی برای محاسبه شدت فلیکر در نوسانات ولتاژ بی‌قاعده محدودیت استفاده دارد.

۲-۱-۱) فلیکرمتر استاندارد

برای تعیین فلیکر ناشی از هرگونه نوسان ولتاژ دلخواه، مفهوم فلیکرمتر، توسعه یافته و در استاندارد IEC 61000-4-15 [۵] اجرا شده است. این استاندارد ابزار ساده‌ای برای توصیف فلیکر نور از طریق اندازه‌گیری‌های ولتاژ ابداع می‌کند. یک فلیکرمتر، ذاتاً وسیله‌ای است که سیگنال فلیکر را مدوله می‌کند، آن را مطابق با منحنی‌های فلیکر منتشر شده، وزن می‌کند (می‌سنجد) و تحلیل آماری را بر روی اطلاعات پردازش شده اجرا می‌کند. این ابزار، تابع انتقال "لامپ-چشم-مغز" را شبیه‌سازی می‌کند و یک معیار اندازه‌گیری اساسی با عنوان درک فلیکر کوتاه مدت (P_{ST}) را معرفی می‌کند. این پارامتر در مقدار یک نرمالیزه شده است تا سطح نوسان ولتاژی را که کافی است تا باعث ایجاد فلیکر قابل ملاحظه در ۵۰ درصد

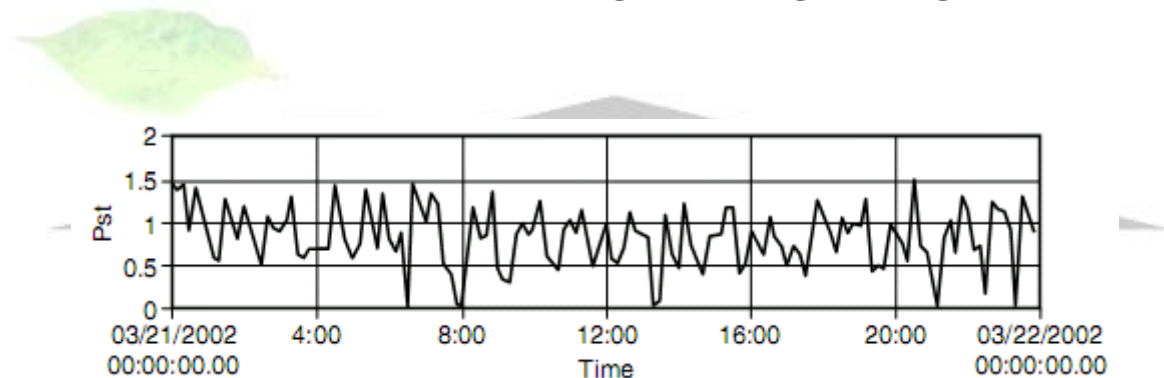
1. Lamp-eye-brain transfer function
2. short-term flicker sensation

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

از افراد مشاهده‌گر نمونه شود را نشان دهد (مقدار P_{st} در سطح نوسان ولتاژی که در آن ۵۰ درصد از مشاهده‌کنندگان نمونه، متوجه سوسوزدن قابل ملاحظه لامپ می‌شوند، یک در نظر گرفته می‌شود). بنابراین پارامتر P_{st} طبق استاندارد، بصورت زیر تعریف می‌شود:

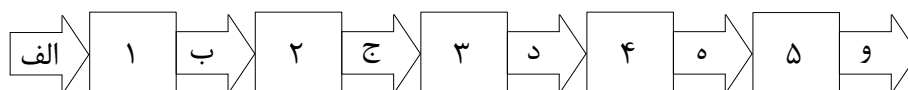
P_{st} : سطح شدت فلیکر^۱ کوتاه مدت طبق تعریف استاندارد IEC 61000-4-15، براساس یک بازه مشاهده‌ای ۱۰ دقیقه‌ای می‌باشد [۴]. یک مقدار P_{st} بزرگتر از یک، مطابق با سطح رنجش برای ۵۰ درصد از افراد قرار گرفته در معرض نور لامپ نوسانی می‌باشد. یک فرایند تحلیل آماری تعریف شده در استاندارد، اندازه‌گیری‌های لحظه‌ای فلیکر توسط فلیکرمتر را پردازش می‌کند تا مقدار P_{st} را تعیین کند.

به عنوان مثال، شکل (۱-۲) مسیری از مقادیر P_{st} اندازه‌گیری شده در یک پست 161kV که با سبار آن یک بار کوره قوسی را تغذیه می‌نموده، نشان می‌دهد.



شکل (۱-۲): سطح فلیکر (P_{st}) اندازه‌گیری شده در یک باس 161kV تغذیه کننده یک کوره قوس الکتریکی (اندازه‌گیری مطابق با استاندارد IEC 61000-4-15)

فلیکرمتر استاندارد شامل ۵ بلوک کلی است که در شکل (۲-۲) نشان داده شده است [۳].



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- | | |
|----------------------------------|--------------------------|
| الف- موج ولتاژ | ۱- تطبیق ولتاژ |
| ب- موج ولتاژ نرمالیزه شده | ۲- دم‌دولاسیون |
| ج- نوسان ولتاژ | ۳- فیلترهای وزن‌دهی |
| د- نوسان ولتاژ وزن‌دار | ۴- مربع‌سازی و هموارسازی |
| ه- درک (احساس) فلیکر لحظه‌ای | ۵- تحلیل آماری |
| و- شدت فلیکر کوتاه‌مدت و بلندمدت | |

شکل (۲-۲): فلیکرمتر استاندارد

استاندارد IEC 61000-4-15 ایجاد شده است تا مشخصات یک ابزار برای اندازه‌گیری سطح فلیکر را توصیف کند. ابزار اصلی تعریف شده توسط استاندارد، یک ابزار آنالوگ فیزیکی است که به سیستم قدرت ac متصل می‌شود تا سطح فلیکر را اندازه‌گیری کند. این ابزار اندازه‌گیری شدت فلیکر شامل تجهیزات اندازه‌گیریمختلفی باشد که می‌توانند به ۳ قسمت کلی زیر تقسیم شوند:

۱- در بخش اول، شکل موج ورودی دم‌دوله می‌شود، سپس سیگنال حامل حذف می‌شود. در خروجی دم‌دولاتور، یک آفست dc و سیگنال‌های فرکانس بالای (سایدبندها) تولید می‌شوند.

۲- بخش دوم فلیکرمتر، بخش‌های ناخواسته (آفست dc و سایدبندها) را با استفاده از فیلترهای مناسب حذف می‌کند. بنابراین فقط سیگنال دم‌دولاسیون (سیگنال فلیکر) باقی می‌ماند. این بخش همچنین شامل فیلترهایی است که سیگنال دم‌دولاسیون را مطابق با مشخصات خاص اندازه‌گیر (نظیر مقیاس اندازه‌گیرها و محدودیت‌هایی مانند مینیمم و ماکزیمم مقدار قابل اندازه‌گیری)، وزن‌دهی می‌کنند.

۳- بخش آخر معمولاً شامل یک تحلیل آماری از فلیکر اندازه‌گیریشده است تا اندیس‌های ارزیابی شدت فلیکر (درک فلیکر کوتاه‌مدت و بلندمدت) را تولید نماید.

نحوه اجرایی کردن بلوک‌های فلیکرمتر با اندکی جزئیات در ادامه شرح داده شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۲-۱-۱-۱) بلوک ۱: بلوک تطبیق ولتاژ

این بلوک، دو تابع مستقل را تأمین می‌کند:

۱- یک تطبیق دهنده ولتاژ ورودی که مقدار rms تیم موج ورودی را به یک سطح مرجع داخلی

مناسب انطباق می‌دهد. این بلوک این امکان را فراهم می‌کند که اندازه‌گیری‌ها بر اساس درصد

نوسانات ولتاژ باشد و به مقدار سطح ولتاژ ورودی وابسته نباشد.

۲- یک مولد سیگنال^۱ که برای تأیید کالیبراسیون دستگاه بکار می‌رود.

هر دو تابع بیان شده، برای یک فلیکرمتر واقعی مهم هستند اما در حالت شبیه‌سازی فقط بلوک

کالیبراتور برای تأیید صحت کار دستگاه شبیه‌سازی شده مورد نیاز است و وجود تطبیق دهنده ولتاژ مهم

نیست زیرا در حالت شبیه‌سازی دغدغه‌ای درباره اضافه ولتاژ، ایجاد حالت اشباع و ... وجود ندارد. تنها

شرطی که باید در ورودی فلیکرمتر تأمین شود تابع مقیاس‌بندی است که توسط تقسیم ولتاژ ورودی بر

ولتاژ پایه، تأمین می‌شود.

کالیبراتور ترکیب‌شده^۲ منبع جداگانه است: یک منبع مبنا (اصلی) که موج سینوسی حامل را تولید

می‌کند و یک منبع قابل برنامه‌ریزی که می‌تواند مدولاسیون را بصورت یک موج سینوسی یا یک موج

مستطیلی تولید کند. هر دوی شکل موج‌های ورودی سینوسی و مستطیلی توسط استاندارد توصیف شده‌اند

و هر دو باید در اعتباردهی به مدل شبیه‌سازی شده فلیکرمتر بکار روند.

کالیبراتور یک موج با دامنه مدوله شده تولید می‌کند که بصورت رابطه (۲-۱) می‌باشد:

$$v(t) = A_c [1 + kV(t)] \cos(\omega_c t + \phi) \quad (2-1)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در رابطه (۱-۲)، موج حامل سینوسی، $v(t) = A_c \cos(\omega_c t + \phi)$ می‌باشد که دارای دامنه A_c ، فرکانس زاویه‌ای ω_c و شیفت فاز ϕ می‌باشد. موج مدولاسیون $kV(t)$ است که می‌تواند در هر فرمت متغیر با زمانی باشد.

۲-۱-۱-۱-۲) بلوک ۲: دم‌دولاتور با ضرب‌کننده مربعی

هدف این بلوک در استاندارد فلیکر متر، استخراج نوسان ولتاژ از شکل موج ولتاژ حامل است. اگر شکل موج ولتاژ بصورت رابطه (۲-۲) باشد:

$$v(t) = A[1 + m(t)]. \cos(2\pi f_0 t) \quad (۲-۲)$$

هدف بلوک دم‌دولاتور، استخراج مدولاسیون دامنه $(m(t))$ است. تعدادی روش برای این هدف در مخابرات وجود دارد. روشی که استاندارد کنونی برای دم‌دولاسیون دامنه بکار می‌گیرد، روش دم‌دولاسیون مربعی است که در ادامه بصورت مختصر شرح داده شده است.

۲-۱-۱-۱-۲) دم‌دولاسیون مربعی

استاندارد فلیکر متر موجود، یک تابع دم‌دولاسیون توسط مربع کردن خروجی تأمین شده از بلوک ۱ را ایجاد می‌کند تا رفتار لامپ را شبیه‌سازی کند. در حوزه فرکانس، عمل مربع‌سازی، سیگنال حامل (سیگنال ولتاژ اصلی) را از سیگنال مدولاسیون (سیگنال نوسان ولتاژ)، جدا می‌کند. در این روش، ابتدا موج سینوسی در خودش ضرب می‌شود (مجذور می‌شود) و سیگنالی با رابطه زیر بدست می‌آید:

$$v^2(t) = A^2 [1 + 2m(t) + m^2(t)] \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(4\pi f_0 t) \right] \quad (۳-۲)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

پس از فیلتر نمودن مؤلفه DC و مؤلفه‌ای که فرکانس آن دو برابر فرکانس قدرت است، سیگنال زیر حاصل می‌شود:

$$v^2(t) = A^2 m(t) + \frac{1}{2} A^2 m^2(t) \quad (۴-۲)$$

برای نوسانات ولتاژ کوچک، $m(t) \ll 1$ می‌باشد و بخش دوم رابطه (۴-۲) می‌تواند چشم‌پوشی شود (از آنجا که نوسانات ولتاژ به ندرت از چند درصد تجاوز می‌کنند، این تقریب به عنوان یک تقریب قابل قبول در نظر گرفته می‌شود).

۲-۱-۱-۳) بلوک سوم: فیلترهای وزن دار

بلوک‌های سوم و چهارم فلیکرمتر، رفتار سلسله "چشم-مغز" انسان را نشان می‌دهند.

این بلوک شامل ۳ گروه از فیلترها می‌باشد: دو تای اول، سیگنال مدوله شده مؤلفه‌های فرکانس بالا و فرکانس پایین که بصورت ناخواسته توسط دمدولاتور تولید شده‌اند را جدا می‌کنند و سومی یک خروجی تأمین می‌کند که مطابق با حساسیت انسان به فلیکر است.

فیلتر اول بصورت یک فیلتر بالاگذر مرتبه ۱ با فرکانس قطع 3-dB تعریف می‌شود. هدف این فیلتر آن است که مؤلفه dc شکل موج در حال ارزیابی را حذف کند. تابع تبدیل این فیلتر بصورت زیر می‌باشد:

$$F_{HP}(s) = \frac{s}{s + w_{hp}} \quad (۵-۲)$$

$$w_{hp} = 2\pi f_{co} \quad , \quad f_{co} = 0.05 \text{ Hz}$$

f_{co} فرکانس قطع 3-dB می‌باشد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برای مدل کردن فیلترها به عنوان ابزارهای گسسته، ضروری است که تابع تبدیل (۵-۲) را در حوزه Z بیان کنیم. چندین روش گسسته‌سازی وجود دارد که می‌تواند به این مسأله اعمال شود. در اینجا از روش تقریب دوزنقه‌ای^۱ که به عنوان تبدیل Tustin نیز شناخته می‌شود استفاده می‌گردد. معادله این تبدیل بصورت زیر است:

$$s \approx \frac{2}{T_s} \left(\frac{z-1}{z+1} \right) \quad (۶-۲)$$

در رابطه (۶-۲)، T_s زمان نمونه‌برداری در نظر گرفته شده، است.

با قرار دادن رابطه (۶-۲) در رابطه (۵-۲) و ساده‌سازی، تابع انتقال گسسته نهایی برای فیلتر بالاگذر 0.05 Hz بصورت رابطه (۷-۲) می‌شود:

$$F_{HP}(z) = \frac{1-z^{-1}}{\left(\frac{T_s w_{hp}}{2} + 1\right) + \left(\frac{T_s w_{hp}}{2} - 1\right)z^{-1}} \quad (۷-۲)$$

فیلتر دوم در بلوک ۳، یک فیلتر پایین‌گذر باترورث^۲ مرتبه ۶ است. فرم استاندارد کلی تابع انتقال برای این فیلتر در حوزه S (پیوسته)، بصورت رابطه (۸-۲) است:

$$F_{GLP}(s) = \frac{1}{\left[\left(\frac{s}{w_{lp}}\right)^2 + a \left(\frac{s}{w_{lp}}\right) + 1 \right]} \cdot \frac{1}{\left[\left(\frac{s}{w_{lp}}\right)^2 + b \left(\frac{s}{w_{lp}}\right) + 1 \right]} \cdot \frac{1}{\left[\left(\frac{s}{w_{lp}}\right)^2 + c \left(\frac{s}{w_{lp}}\right) + 1 \right]}$$

$$= F_{GLPa}(s) \cdot F_{GLPb}(s) \cdot F_{GLPc}(s) \quad (۸-۲)$$

در رابطه فوق، w_{lp} فرکانس قطع فیلتر پایین‌گذر است که عبارت است از:

$$w_{lp} = 2\pi f_{lp} \quad (۹-۲)$$

$$f_{lp} = 42 \text{ Hz}$$

1. Trapezoid Approximation
2. Lowpass Butterworth Filter

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

پارامترهای a, b, c مقادیر ثابت هستند که بصورت زیر می‌باشند:

$$c \approx 1.9319, \quad b \approx 1.4142a \approx 0.517(10-2)$$

دوباره تبدیل دوزنقه‌ای برای گسسته کردن تابع تبدیل پیوسته (۸-۲) استفاده شده است. هر یک از

بخش رابطه (۸-۲) فرم عمومی یکسان دارند که بصورت معادلات (۱۱-۲) الی (۱۳-۲) می‌باشند:

$$F_{GLPa}(z) = \frac{w_{lp}^2 T_s^2 + 2w_{lp}^2 T_s^2 z^{-1} + w_{lp}^2 T_s^2 z^{-2}}{(w_{lp}^2 T_s^2 + 2aw_{lp} T_s + 4) + (2w_{lp}^2 T_s^2 - 8)z^{-1} + (w_{lp}^2 T_s^2 + 2aw_{lp} T_s + 4)z^{-2}} \quad (11-2)$$

$$F_{GLPb}(z) = \frac{w_{lp}^2 T_s^2 + 2w_{lp}^2 T_s^2 z^{-1} + w_{lp}^2 T_s^2 z^{-2}}{(w_{lp}^2 T_s^2 + 2bw_{lp} T_s + 4) + (2w_{lp}^2 T_s^2 - 8)z^{-1} + (w_{lp}^2 T_s^2 + 2bw_{lp} T_s + 4)z^{-2}} \quad (12-2)$$

$$F_{GLPc}(z) = \frac{w_{lp}^2 T_s^2 + 2w_{lp}^2 T_s^2 z^{-1} + w_{lp}^2 T_s^2 z^{-2}}{(w_{lp}^2 T_s^2 + 2cw_{lp} T_s + 4) + (2w_{lp}^2 T_s^2 - 8)z^{-1} + (w_{lp}^2 T_s^2 + 2cw_{lp} T_s + 4)z^{-2}} \quad (13-2)$$

با ضرب ۳ رابطه فوق در یکدیگر، تابع انتقال فیلتر پایین گذر باترورث در حوزه Z حاصل می‌شود:

$$F_{GLP}(z) = F_{GLPa}(z) \cdot F_{GLPb}(z) \cdot F_{GLPc}(z) \quad (14-2)$$

توابع تبدیل بدست آمده از معادلات (۷-۲) و (۱۴-۲)، فرکانس‌های پایین و بالا را از موج ورودی حذف می‌کنند.

فیلتر سوم موجود در بلوک ۳ فلیکر متر استاندارد، یک فیلتر وزنی^۱ است که مربوط به شبیه‌سازی

پاسخ حساسیت انسان نسبت به فلیکر نور می‌باشد. تابع تبدیل این فیلتر در حوزه پیوسته (s) بصورت زیر

می‌باشد:

$$F(s) = \frac{k w_1 s}{s^2 + 2\lambda s + w_1^2} \cdot \frac{1 + \frac{s}{w_2}}{\left(1 + \frac{s}{w_3}\right)\left(1 + \frac{s}{w_4}\right)} = F_1(s) \cdot F_2(s) \quad (15-2)$$

1. Weighting Filter

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

ثابت‌های موجود در تابع تبدیل این فیلتر برای استفاده در سیستم‌های ۵۰ هرتز و ۶۰ هرتز در جدول (۲-۱) ارائه شده‌اند [۵،۶].

جدول (۲-۱): ثابت‌های بکار رفته در تابع تبدیل فیلتر سوم بلوک ۳ فلیکرمتر استاندارد

پارامتر	سیستم 50 Hz	سیستم 60 Hz
k	1.74802	1.6357
λ	$2\pi 4.05981$	$2\pi 4.167375$
w_1	$2\pi 9.15494$	$2\pi 9.077169$
w_2	$2\pi 2.27979$	$2\pi 2.939902$
w_3	$2\pi 1.22535$	$2\pi 1.394468$
w_4	$2\pi 21.9$	$2\pi 17.31512$

دوباره تبدیل دوزنقه‌ای را به ۲ بخش رابطه (۲-۱۵) اعمال می‌کنیم (قرار دادن رابطه (۲-۶) به جای S در رابطه (۲-۱۵))، و تابع تبدیل فیلتر مورد نظر را در حوزه گسسته بدست می‌آوریم که بصورت زیر می‌باشد:

$$F_1(z) = \frac{2kw_1T_s - 2kw_1z^{-2}}{(w_1^2T_s^2 + 4\lambda T_s + 4) + (2w_1^2T_s^2 - 8)z^{-1} + (w_1^2T_s^2 - 4\lambda T_s + 4)z^{-2}} \quad (۲-۱۶)$$

$$F_2(z)$$

$$= \frac{w_3w_4}{w_2} \cdot \frac{(w_2T_s^2 + 2T_s) + 2w_2T_s^2z^{-1} + (w_2T_s^2 - 2T_s)z^{-2}}{[w_3w_4T_s^2 + 2T_s(w_3 + w_4) + 4] + (2w_3w_4T_s^2 - 8)z^{-1} + [w_3w_4T_s^2 + 2T_s(w_3 + w_4) + 4]z^{-2}} \quad (۲-۱۷)$$

$$F(z) = F_1(z) \cdot F_2(z) \quad (۲-۱۸)$$

رابطه (۲-۱۸)، تابع تبدیل فیلتر سوم در بلوک ۳ فلیکرمتر استاندارد را نشان می‌دهد.

۲-۱-۱-۴) بلوک چهارم: مربع‌سازی و هموارسازی^۱

1. squaring and smoothing

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

این بلوک فلیکر متر شامل یک ضرب کننده مربع ساز و یک فیلتر پایین گذر است. سیگنال ولتاژ مربع می شود تا پاسخ غیرخطی چشم-مغز را شبیه سازی نماید. همچنین فیلتر پایین گذر یک فیلتر ساده مرتبه اول با یک ثابت زمانی برابر با 300 ms (فرکانس قطع 0.5 Hz) است. هدف این فیلتر این است که اثر ذخیره سازی کوتاه مدت در مغز را شبیه سازی کند. تابع تبدیل این فیلتر در حوزه پیوسته، بصورت رابطه زیر است.

$$F_{LP}(s) = \frac{1}{s + R_{lp}C_{lp}} \quad (19-2)$$

$$R_{lp}C_{lp} = \tau_{lp} = 0.3 \text{ s}$$

با بکارگیری تبدیل Tustin، تابع تبدیل گسسته فیلتر پایین گذر مذکور بصورت رابطه (20-2)

می شود.

$$F_{LP}(z) = \frac{1+z^{-1}}{\left(\frac{2\tau_{lp}}{T_s}+1\right)+\left(1-\frac{2\tau_{lp}}{T_s}\right)z^{-1}} \quad (20-2)$$

خروجی بلوک ۴ فلیکر متر به عنوان سطح فلیکر لحظه ای شناخته می شود. مقدار یک در خروجی این بلوک به عنوان سطح فلیکر قابل درک می باشد.

۲-۱-۱-۵) بلوک پنجم: تحلیل آماری

در این بلوک، یک تحلیل آماری بر روی سطوح فلیکر لحظه ای که از خروجی بلوک ۴ بدست آمده و ثبت شده اند، صورت می گیرد تا مقدار شدت فلیکر کوتاه مدت (P_{st}) و نیز شدت (درک) فلیکر بلند مدت (P_{lt}) بدست آید.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

سطوح فلیکر لحظه‌ای حاصل از بلوک ۴، به دسته‌های مناسب تقسیم می‌شوند (کلاس‌های مختلف). سپس تابع چگالی احتمال برای هر کلاس از سطوح فلیکر ایجاد می‌شود و از این تابع، تابع توزیع تجمعی می‌تواند شکل گیرد. استاندارد فلیکر متر توصیه می‌کند که حداقل ۵۰ نمونه فلیکر لحظه‌ای باید در هر ثانیه ثبت شوند که در نتیجه برای یک بازه مشاهده‌ای ۱۰ دقیقه‌ای، حداقل باید ۳۰۰۰۰ نمونه فلیکر ثبت شوند. ارزیابی سطوح فلیکر می‌تواند به ۲ مقوله تقسیم شود: کوتاه‌مدت و بلندمدت. ارزیابی کوتاه‌مدت شدت فلیکر (P_{st}) بر اساس یک پریود مشاهده‌ای ۱۰ دقیقه‌ای می‌باشد. این پریود بر اساس ارزیابی اغتشاشات با یک سیکل کاری^۱ کوتاه یا برای بارهایی که نوسانات پیوسته تولید می‌کنند، می‌باشد. با تشکیل تابع توزیع تجمعی برای هر یک از کلاس‌های فلیکر و مقادیر فلیکر لحظه‌ای ثبت شده در ۱۰ دقیقه، شدت فلیکر کوتاه‌مدت می‌تواند طبق رابطه (۲-۲۱) محاسبه شود [۳]:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_{1s} + 0.0657P_{3s} + 0.28P_{10s} + 0.08P_{50s}} \quad (21-2)$$

در رابطه (۲-۲۱) داریم:

$$P_{1s} = \frac{1}{3} (P_{0.7} + P_1 + P_{1.5}) \quad (22-2)$$

$$P_{3s} = \frac{1}{3} \cdot (P_{2.2} + P_3 + P_4) \quad (23-2)$$

$$P_{10s} = \frac{1}{5} \cdot (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}) \quad (24-2)$$

$$P_{50s} = \frac{1}{3} \cdot (P_{30} + P_{50} + P_{80}) \quad (25-2)$$

در روابط (۲-۲۱) الی (۲-۲۵)، $P_{0.1}, P_{0.7}, P_1, P_{1.5}, P_{2.2}, P_3, P_4, P_6, P_8, P_{10}, P_{13}, P_{17}$

P_{30}, P_{50} و P_{80} به ترتیب سطوح فلیکر هستند که مقادیر فلیکر لحظه‌ای اندازه‌گیری شده در طول ۱۰

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

دقیقه، در ۰/۱، ۰/۷، ۱، ۱/۵، ۲/۲، ۳، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۳، ۱۷، ۳۰، ۵۰ و ۸۰ درصد از زمان (۱۰ دقیقه)، از آن مقادیر تجاوز کرده‌اند.

مقدار P_{st} برابر با یک در خروجی بلوک ۵، حد آزردهنده فلیکر را نشان می‌دهد.

(در اینجا بسیار مهم است که تفاوت بین درک فلیکر لحظه‌ای (خروجی بلوک ۴ فلیکرمتر) و شدت فلیکر کوتاه‌مدت (خروجی بلوک ۵ فلیکرمتر) مشخص شود:

- مقدار یک درک فلیکر لحظه‌ای، مطابق با آستانه رؤیت (درک) فلیکر نور برای ۵۰ درصد از مشاهده‌کنندگانی است که لامپ ملتهب ۶۰ وات، ۲۳۰ ولت را مشاهده می‌کنند. بنابراین وقتی که درک فلیکر لحظه‌ای از مقدار یک تجاوز کرد، بدین معنی است که بیش از ۵۰ درصد از مشاهده‌کنندگان، وجود فلیکر در نور لامپ را متوجه خواهند شد.
- اما مقدار یک برای شدت فلیکر کوتاه‌مدت (خروجی بلوک ۵ فلیکرمتر)، مطابق با سطحی است که اغلب مشاهده‌کنندگان، از سوسوزدن نور لامپ رنجیده می‌شوند).

پارامتر شدت فلیکر کوتاه‌مدت (P_{st})، برای ارزیابی اغتشاشات ناشی شده از منابعی با سیکل کاری کوتاه مناسب است.

برای حالت‌هایی که سیکل کاری طولانی یا متغیر است نیاز به ارزیابی طولانی‌مدت شدت فلیکر

وجود دارد. در اینصورت باید مقدار پارامتر P_{lt} که شدت فلیکر طولانی‌مدت طبق تعریف استاندارد IEC

61000-4-15، بر اساس پیروید مشاهده‌ای ۲ ساعتی است تعیین شود.

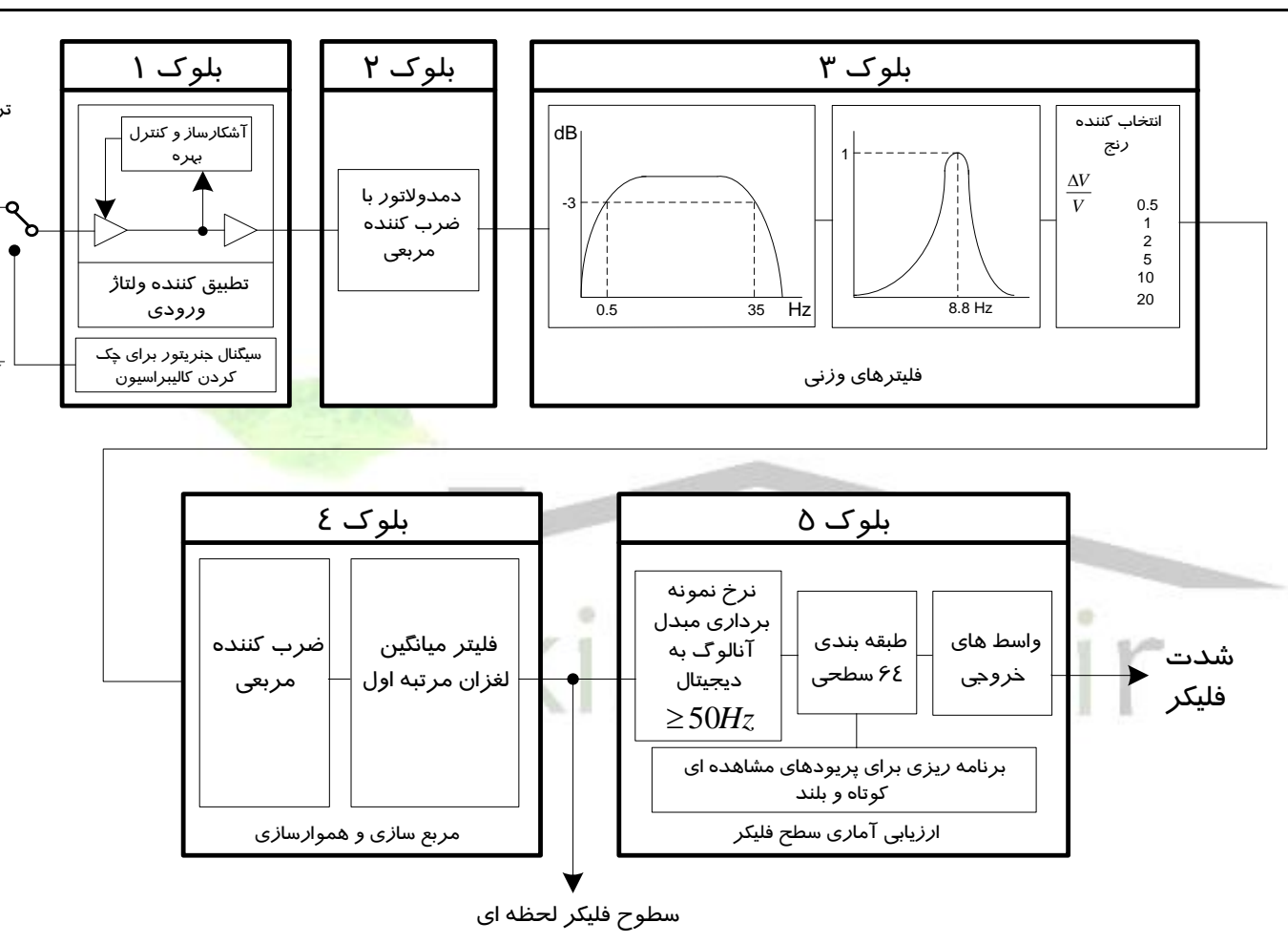
بنابراین شدت فلیکر طولانی‌مدت (P_{lt}) با استفاده از مقادیر P_{st} ، طبق رابطه (۲۶-۲) بدست می‌آید

[۳]:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^n P_{sti}^3}{N}} \quad (26-2)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

که N تعداد P_{St} های متوالی قرائت شده می‌باشد که توسط سیکل کاریار تولید کننده فلیکر، تعیین می‌شود. هدف، در نظر گرفتن یک سیکل کاری از بار نوسانی است. اگر سیکل کاری نامعلوم باشد، تعداد P_{St} های توصیه شده که باید برای محاسبه P_{It} در نظر گیرند ۱۲ عدد می‌باشد یعنی یک پریود ۲ ساعته. دیاگرام کاربردی فلیکرمتر استاندارد IEC در شکل (۳-۲) نشان داده شده است.



شکل (۳-۲): بلوک دیاگرام فلیکرمتر استاندارد IEC

۲-۱-۲) شبیه سازی فلیکرمتر

پس از توصیف جداگانه هر یک از بلوک های فلیکرمتر و فیلترها و توابع موجود در داخل آنها، به

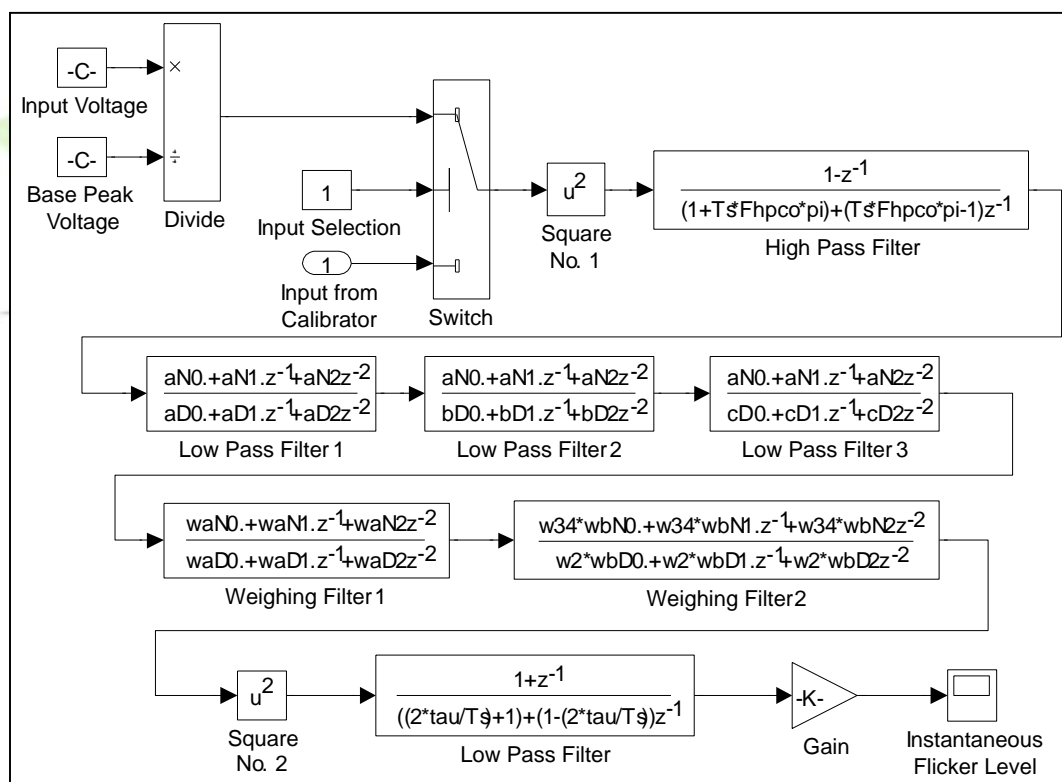
شبیه سازی آن می پردازیم.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

برای شبیه‌سازی فلیکر متر بگونه‌ای که با دادن سیگنال ولتاژ حاوی فلیکر به ورودی آن، مقدار پارامتر شدت فلیکر (P_{st}) از خروجی بلوک ۵ و مقادیر فلیکر لحظه‌ای از خروجی بلوک ۴ بدست آیند، هم می‌توان با کنار هم قرار دادن توابع انتقال بلوک‌های فلیکر متر که در بخش قبل بدست آمدند، آن را شبیه‌سازی نمود و هم می‌توان برای بلوک‌های فلیکر متر برنامه کامپیوتری نوشت.

۱-۲-۱-۲) شبیه‌سازی فلیکر متر در محیط Simulink برنامۀ Matlab

در این حالت، مدل فلیکر متر بصورت نشان داده شده در شکل (۴-۲) می‌شود.



شکل (۴-۲): دیاگرام نهایی فلیکر متر گسسته

مقادیر پارامترهای ذکر شده در مدل فلیکر متر، در جدول (۲-۲) ارائه شده‌اند [۸].

جدول (۲-۲): تعریف پارامترهای موجود در مدل فلیکر متر استاندارد

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

نماد	تعریف
T_s	0.001 (s)
F_{hpco}	0.05 (Hz)
F_{lpco}	42 (Hz)
w_0	$2\pi F_{lpco}$
a	0.5176
b	1.4142
c	1.9319
$aN0$	$w_0 T_s^2$
$aN1$	$2w_0^2 T_s^2$
$aN2$	$w_0^2 T_s^2$
$aD0$	$w_0^2 T_s^2 + 2aw_0 T_s + 4$
$aD1$	$2w_0^2 T_s^2 - 8$
$aD2$	$w_0^2 T_s^2 - 2aw_0 T_s + 4$
$bD0$	$w_0^2 T_s^2 + 2bw_0 T_s + 4$
$bD1$	$2w_0^2 T_s^2 - 8$
$bD2$	$w_0^2 T_s^2 - 2bw_0 T_s + 4$
$cD0$	$w_0^2 T_s^2 + 2cw_0 T_s + 4$
$cD1$	$2w_0^2 T_s^2 - 8$
$cD2$	$w_0^2 T_s^2 - 2cw_0 T_s + 4$
τ	0.3 (s)
w_{34}	$w_3 w_4$
$waN0$	$2kw_1 T_s$
$waN1$	0
$waN2$	$-2kw_1 T_s$
$waD0$	$w_1^2 T_s^2 + 4\lambda T_s + 4$
$waD1$	$2w_1^2 T_s^2 - 8$
$waD2$	$w_1^2 T_s^2 - 4\lambda T_s + 4$
$wbN0$	$w_2 T_s^2 + 2T_s$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$wbN1$	$2w_2T_s^2$
$wbN2$	$2w_2T_s^2 - 2T_s$
$wbD0$	$w_3w_4T_s^2 + 2T_s(w_3 + w_4) + 4$
$wbD1$	$2w_3w_4T_s^2 - 8$
$wbD2$	$w_3w_4T_s^2 - 2T_s(w_3 + w_4) + 4$

مقادیر پارامترهای $k, \lambda, w_1, w_2, w_3, w_4$ در جدول (۱-۲) ارائه شده‌اند.

۲-۲-۱-۲) شبیه‌سازی فلیکر متر در محیط m-file برنامه Matlab

در این حالت، برنامه‌ای در محیط m-file نرم‌افزار Matlab برای شبیه‌سازی رفتار فلیکر متر استاندارد نوشته شده است و فیلترهای موجود در بلوک‌های فلیکر متر، با دستورات برنامه‌نویسی پیاده‌سازی شده‌اند [۱، ۲].

۳-۱-۲) کالیبره نمودن فلیکر متر

پس از شبیه‌سازی فلیکر متر، برای اطمینان از صحت کار و نیز کالیبره بودن آن، باید قبل از اعمال ولتاژ سیستم مورد بررسی، آن را تست نمود.

استاندارد IEC 61000-4-15 [۵]، تست‌هایی را برای تعیین و تأیید صحت پاسخ‌دهی فلیکر متر با حداکثر خطای مجاز ۵ درصد، بیان می‌کند. استاندارد، مجموعه‌ای از مقادیر دامنه و فرکانس را برای تست نوسانات ولتاژ سینوسی و مستطیلی برای سیستم‌های (120V/60Hz) و (230V/50Hz) ارائه می‌دهد. برای مقادیر دامنه و فرکانس نوسانات تعریف شده در استاندارد، مقدار P_{st} باید در بازه (1 ± 0.05) قرار گیرد تا صحت پاسخ‌دهی فلیکر متر تأیید شود. به عبارت دیگر، برای کالیبره نمودن فلیکر متر، موج‌هایی با دامنه و فرکانسی که از استاندارد مشخص است مطابق با رابطه (۱-۲) ایجاد می‌کنیم (دامنه و فرکانس‌های مذکور در جدول (۳-۲) داده شده‌اند). در رابطه (۱-۲)، k به فاکتور مدولاسیون معروف است که مقدار آن

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

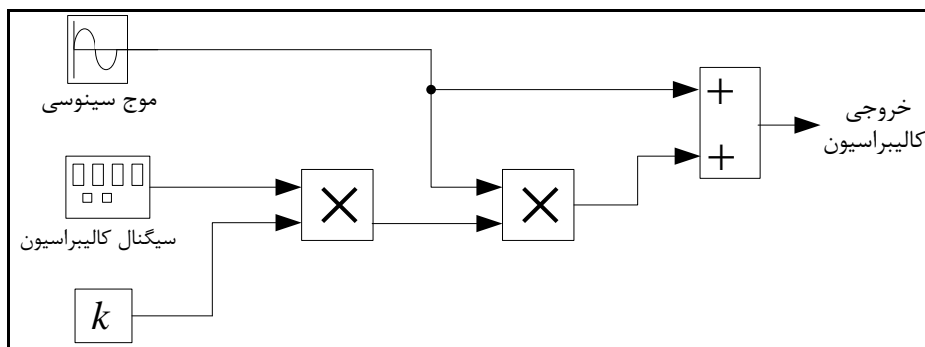
بصورت پارامتری برابر با $\frac{\Delta V}{2V}$ است. در رابطه مذکور، دامنه A_c برابر با ۱ پریونیت و شیفت فاز ϕ ، صفر در نظر گرفته می‌شود. در این رابطه، سیگنال $V(t)$ بصورت یک موج مستطیلی با فرکانس و دامنه $(\frac{\Delta V}{V} \%)$ معلوم (داده شده در جدول (۳-۲)) در نظر گرفته می‌شود (با داشتن تعداد تغییر بر دقیقه برای یک موج متناوب، می‌توان فرکانس آن را بدست آورد) [۵،۷].

جدول (۳-۲): مقدار دامنه و تغییرات در دقیقه برای تولید سیگنال‌های تست برای کالیبره نمودن

فلیکرمتر

تعداد تغییرات در دقیقه	تغییرات ولتاژ $(\frac{\Delta V}{V} \%)$	
	سیستم $(120V/60Hz)$	سیستم $(230V/50Hz)$
1	3.166	2.724
2	2.568	2.211
7	1.695	1.459
39	1.044	0.906
110	0.841	0.725
1620	0.547	0.402
4000	-	2.4
4800	4.834	-

بلوک دیاگرام کالیبراتور فلیکرمتر در شکل (۲-۵) نشان داده شده است.



شکل (۲-۵): بلوک دیاگرام کالیبراتور فلیکرمتر استاندارد

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برای تأیید صحت کار فلیکرمتر، سیگنال‌های تولید شده توسط کالیبراتور، باید به فلیکرمتر طراحی و شبیه‌سازی شده اعمال گردند و مقدار پارامتر شدت فلیکر (P_{st}) در خروجی بلوک ۵ فلیکرمتر برای هر سیگنال توصیف شده، اندازه‌گیری گردد. اگر همه این مقادیر بدست آمده، در محدوده [۰/۱، ۹۵/۰۵] قرار گیرند (حداکثر خطای مجاز ۵ درصد می‌باشد)، فلیکرمتر درست کار می‌کند، در غیر اینصورت باید فاکتور کالیبراسیون دیگری را انتخاب نمود تا اینکه صحت کار فلیکرمتر تأیید شود.

۲-۲) اندازه‌گیری پارامترهای فلیکر ولتاژ

بدلیل اثرات مخرب فلیکر ولتاژ که در فصل یک به برخی از آن‌ها اشاره شد، اندازه‌گیری دامنه و فرکانس مؤلفه‌های فلیکر ولتاژ برای مانیتورینگ و کنترل کارآمد فلیکر ولتاژ بسیار با اهمیت است تا بدین صورت بتوان کیفیت توان شبکه را بهبود بخشید.

ارزیابی و اندازه‌گیری فلیکر ولتاژ شامل اندازه‌گیری تغییرات ولتاژ rms سیستم و فرکانسی است که این تغییرات در آن رخ می‌دهند.

یک بحث که در توسعه منحنی فلیکر سنتی در نظر گرفته نشده است سیگنال‌های فلیکر چندتایی است. معمولاً بیشتر بارهای تولیدکننده فلیکر، سیگنال ولتاژ شامل مؤلفه‌های چندتایی فلیکر (با دامنه‌ها و فرکانس‌های مختلف)، تولید می‌کنند بنابراین با وجود این مسأله تعیین و مقداردهی دقیق فلیکر با استفاده از منحنی‌های فلیکر بسیار مشکل است.

تا کنون تکنیک‌های زیادی برای تحلیل عددی پارامترهای فلیکر ولتاژ پیشنهاد شده‌اند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- تکنیک‌های مبتنی بر تبدیل فوریه سریع (FFT) [۱۰، ۱۱]

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۲- تکنیک فیلتر کالمن^۱ و تکنیک‌های مبتنی بر فیلتر کالمن [۱۲،۱۳]

۳- تکنیک مربعات حداقل خطا^۲ (LES) [۱۴]

۴- تکنیک تخمین حالت قدرمطلق^۳ حداقل (LAV) [۱۵،۱۶]

۵- تکنیک‌های مبتنی بر تبدیل موجک^۴ [۱۷،۱۸]

این تکنیک‌های سنتی، دارای کاستی‌هایی می‌باشند. مهم‌ترین عیب بکارگیری روش FFT یا روش‌های مبتنی بر آن، در فرض سیگنال‌های ثابت است. کاربرد این تکنیک‌ها برای سیگنال‌های غیرثابت منجر به نتایج نادرست می‌شود.

گرچه تکنیک فیلتر کالمن می‌تواند به درستی سیگنال‌های غیرثابت را دنبال کند اما این روش از محاسبات ریاضیاتی زیاد رنج می‌برد و همچنین نیازمند تعیین صحیح پارامترهای آن می‌باشد که می‌تواند کار دشواری باشد.

عیب اصلی تکنیک تخمین حالت LAV، فرض دانستن فرکانس فلیکر از پیش است که یک فرض واقع‌گرایانه نیست. بعلاوه LAV همگرایی آهسته‌ای دارد که باعث می‌شود این الگوریتم برای آنالیز آنلاین مناسب نباشد.

روش تبدیل موجک نه تنها دارای پیچیدگی محاسباتی است بلکه فرآیند تعیین موجک کاندید دشوار است که باعث می‌شود این روش فقط برای شناسایی و تحلیل آفلاین فلیکر ولتاژ مناسب باشد.

در این بخش، روش‌های جدیدی برای اندازه‌گیری پارامترهای سیگنال‌های ولتاژ (دامنه و فرکانس) شامل چند مؤلفه فلیکر معرفی خواهند شد.

2. Kalman Filtering technique
3. Least Error Squares technique
4. Least Absolute Value state estimation technique
5. Wavelet transforms technique

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۲-۲-۱) تخمین پارامترهای فلیکر ولتاژ با استفاده از روشی مبتنی بر الگوریتم اجتماع پرندگان (PSO)

بارهای تولیدکننده فلیکر ولتاژ، اغلب ولتاژهایی تولید می‌کنند که بصورت رابطه زیر می‌باشند:

$$V(t) = [A_0 + \sum_{i=1}^m A_{fi} \cos(w_{fi}t + \phi_{fi})] \cos(w_0t + \phi_0) \quad (27-2)$$

$$w_{fi} = 2\pi f_{fi} \quad (28-2)$$

در معادله فوق، $V(t)$ دامنه ولتاژ در لحظه t ، A_0 دامنه ولتاژ اصلی، ϕ_0 فاز ولتاژ اصلی، w_0 فرکانس قدرت، A_{fi} دامنه آمین مؤلفه از فلیکر ولتاژ، w_{fi} فرکانس آمین مؤلفه از فلیکر ولتاژ، ϕ_{fi} زاویه فاز آمین مؤلفه از فلیکر ولتاژ و m تعداد مؤلفه‌های (مُد‌های) فلیکر ولتاژ است.

در معادله (۲۷-۲) فرکانس قدرت طبق رابطه زیر مشخص است:

$$w_0 = 2\pi f_0 \quad (29-2)$$

هدف، تخمین پارامترهای مجهول رابطه (۲۷-۲) یعنی دامنه ولتاژ اصلی (A_0)، دامنه مؤلفه‌های فلیکر (A_{fi})، فرکانس مؤلفه‌های فلیکر (w_{fi})، زاویه فاز ولتاژ اصلی (ϕ_0) و زاویه فاز مؤلفه‌های فلیکر (ϕ_{fi}) با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری‌های ثبت شده در شبکه و الگوریتم‌های پیشنهادی می‌باشد. در حالت کلی، معادله (۲۷-۲) می‌تواند بصورت رابطه (۳۰-۲) نوشته شود:

$$Z(t) = F(t, x) + e(t) \quad (30-2)$$

که $Z(t)$ ماتریس اندازه‌گیری با ابعاد $N*1$ می‌باشد. این ماتریس با اندازه‌گیری‌های دیجیتال از ولتاژ شبکه با فرکانس اندازه‌گیری مناسب و در محلی که می‌خواهیم مؤلفه‌های سیگنال فلیکر را در آنجا شناسایی کنیم بدست می‌آید. $F(t, x)$ ماتریس اطلاعات با ابعاد $N*1$ می‌باشد. این ماتریس با تخمین پارامترهای

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مجهول در رابطه (۲-۲۷) و محاسبه ولتاژ $V(t)$ طبق این رابطه برای هر لحظه از زمان بدست می‌آید. $e(t)$ ماتریس خطای مرتبط با پارامترهای تخمین زده شده در هر مرحله می‌باشد که این ماتریس نیز دارای ابعاد $N*1$ می‌باشد.

در روابط فوق، پارامتر N تعداد اندازه‌گیری‌های ولتاژ در محل مورد نظر می‌باشد (تعداد نمونه‌ها). خطای تخمین در هر مرحله توسط رابطه (۲-۳۱) محاسبه می‌شود:

$$e_i(t) = V_{i \text{ actual}}(t) - V_{i \text{ calculated}}(t) \quad (۲-۳۱)$$

در رابطه فوق، $V_{i \text{ actual}}(t)$ ولتاژ اندازه‌گیری در لحظه t و $V_{i \text{ calculated}}(t)$ ولتاژ محاسبه شده از رابطه (۲-۲۷) می‌باشد. هدف، مینیمم کردن اختلاف بین مقدار واقعی ولتاژ و ولتاژ محاسبه شده از طریق تخمین پارامترهای مجهول رابطه فلیکر ولتاژ می‌باشد.

در ابتدا با استفاده از الگوریتم اجتماع پرندگان (PSO)، پارامترهای مجهول رابطه (۲-۲۷) تخمین زده می‌شوند.

WikiPower.ir

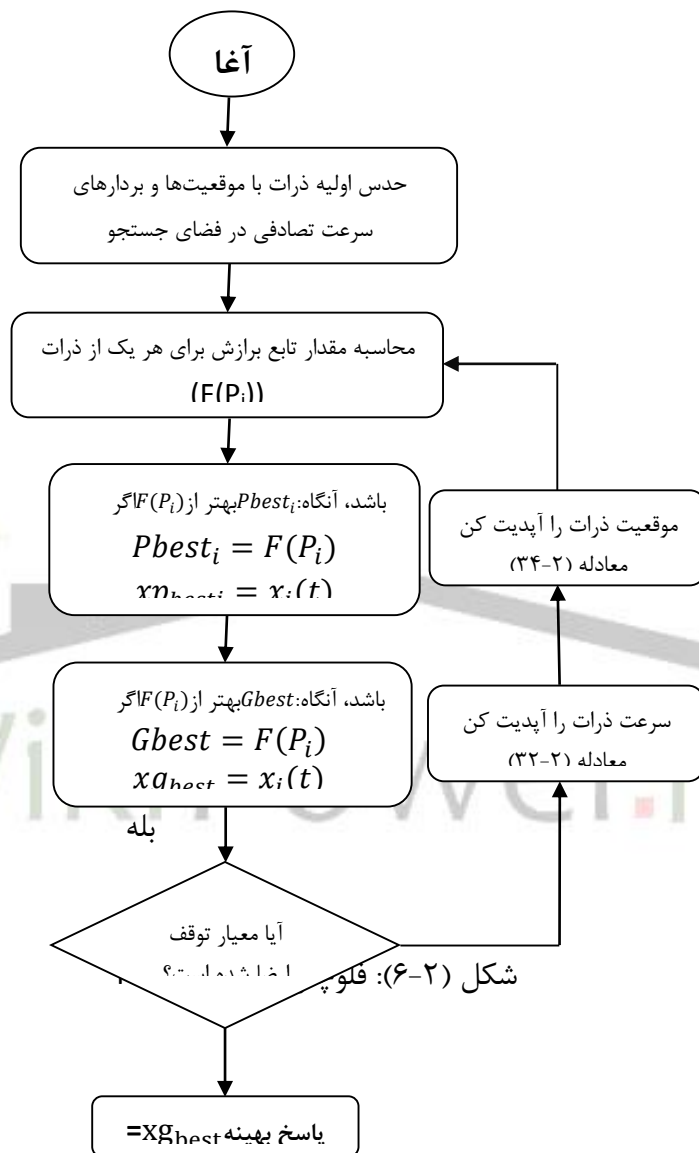
۲-۲-۱-۱) مروری بر الگوریتم بهینه‌سازی PSO

۲-۲-۱-۱) الگوریتم PSO

الگوریتم اجتماع پرندگان، همانند سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی یک الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جمعیت و نیز احتمالات می‌باشد که از رفتار اجتماعی گروه پرندگان یا دسته ماهی‌هایی که با هم در

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

حرکتند الهام پذیرفته است. این الگوریتم در سال ۱۹۹۵ میلادی توسط ابرهارت^۱ و کندی^۲ معرفی شد [۱۹]. نحوه اجرای این الگوریتم بطور خلاصه در شکل (۲-۶) در فلوجارت الگوریتم آورده شده است [۱۹].



1. Eberhart
2. Kennedy

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

مراحل اجرای الگوریتم بصورت زیر است:

۱- همانند سایر الگوریتم‌ها، این الگوریتم نیز با حدس اولیه‌ای از n ذره در فضای چند بعدی جستجو آغاز می‌شود (حدس اولیه برای پارامترهای مجهول). در مسأله تخمین پارامترهای فلیکر ولتاژ، حدس اولیه‌ای از پارامترهای مجهول مسأله که دامنه ولتاژ اصلی (A_0)، دامنه مؤلفه‌های فلیکر (A_{fi}) و فرکانس مؤلفه‌های فلیکر (W_{fi}) هستند، در بازه‌های مناسب زده می‌شود. مجموعه‌ای از این پارامترها که با دانستن آن‌ها، مقدار ولتاژ از رابطه (۲-۲۷) بدست می‌آید یک ذره در نظر گرفته می‌شود.

۲- با حدس‌های بدست آمده از مرحله اول، و با تعیین فرکانس نمونه‌برداری و تعداد نمونه‌های مناسب، ماتریس ولتاژ V_i calculated که دارای N مقدار عددی می‌باشد طبق رابطه (۲-۲۷) برای هر یک از ذرات بدست می‌آید.

۳- مقدار تابع برازش برای هر یک از این ذرات محاسبه می‌شود (بخش ۲-۲-۱-۱-۲).

۴- ذره‌ای که دارای بهترین تابع برازش در هر مرحله (مرحله J ام) باشد به عنوان P_{bestj} در آن مرحله تعیین می‌شود. همچنین دامنه ولتاژ اصلی، دامنه فلیکر و فرکانس فلیکر مربوط به آن ذره به ترتیب به عنوان $A_{0j,pbest}$ ، $A_{fj,pbest}$ و $W_{fj,pbest}$ در نظر گرفته می‌شوند.

۵- ذره‌ای که دارای بهترین تابع برازش از مرحله اول تا کنون باشد به عنوان G_{best} در نظر گرفته می‌شود (اگر در مرحله کنونی، ذره‌ای با تابع برازش بهتر از G_{best} تعیین شده تا کنون پیدا شد، این ذره به عنوان G_{best} در نظر گرفته می‌شود). همچنین دامنه ولتاژ اصلی، دامنه فلیکر و فرکانس فلیکر مربوط به آن ذره به ترتیب به عنوان $A_{0,gbest}$ ، $A_{f,gbest}$ و $W_{f,gbest}$ در نظر گرفته می‌شوند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۶- با بهترین ذره پیدا شده، شرط لازم برای توقف الگوریتم بررسی می‌شود (این شرط می‌تواند رسیدن به مینیمم خطای تعیین شده از قبل باشد یا رسیدن به تعداد تکرار مشخص). اگر این شرط ارضا شد آن ذره را به عنوان پاسخ بهینه در نظر گرفته می‌شود در غیر اینصورت سرعت و موقعیت جدیدی برای هر یک از ذرات طبق روابط ذیل در نظر می‌گیریم تا ذرات را به سمت پاسخ بهتر هدایت کنیم، و دوباره روند الگوریتم از مرحله ۲ تکرار شود.

برای تکرار $(j+1)$ ام، سرعت آپدیت شده برای i امین ذره، طبق معادله زیر بدست می‌آید:

$$v_i(j+1) = kv_i(j) + r_1c_1(xp_{besti} - x_i(j)) + r_2c_2(xg_{best} - x_i(j)) \quad (32-2)$$

در معادله فوق:

$v_i(j+1)$: سرعت ذره i ام در تکرار $(j+1)$ ام

$v_i(j)$: سرعت ذره i ام در تکرار j ام

$x_i(j)$: موقعیت ذره i ام در تکرار j ام

xp_{besti} : موقعیت ذره با بهترین برازش در تکرار j ام (با فرض اینکه ذره i ام در تکرار j ام دارای بهترین

تابع برازش باشد).

xg_{best} : موقعیت ذره با بهترین برازش تا مرحله کنونی

i : شماره ذره

k ثابت اینرسی است که میزان تأثیر سرعت مرحله قبل ذره در سرعت کنونی آن را تعیین می‌کند. این

فاکتور می‌تواند عدد ثابتی باشد اما بهتر است که این فاکتور یک رفتار کاهش از مقدار k_{max} تا مقدار

k_{min} مطابق با رابطه زیر داشته باشد:

$$k(j+1) = k(j) - \left(\frac{k_{max} - k_{min}}{re} \right) \quad (33-2)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

که $k(j+1)$ مقدار ثابت اینرسی در تکرار $(j+1)$ ام و $k(j)$ مقدار ثابت اینرسی در تکرار j ام می‌باشد. همچنین k_{min} و k_{max} به ترتیب ماکزیمم و مینیمم مقدار ثابت اینرسی هستند که بصورت دلخواه در نظر گرفته می‌شوند و re تعداد دفعات تکرار الگوریتم می‌باشد.

معمولاً مقدار سرعت ذره در هر مرحله در محدوده $[-v_{max}, v_{max}]$ نگه داشته می‌شود تا از سرگردانی بیش از حد ذرات در فضای جستجو جلوگیری شود.

C_1 و C_2 پارامترهای مثبت ثابتی هستند که ضرایب یادگیری نامیده می‌شوند. C_1 ضریب یادگیری

مربوط به تجارب شخصی هر ذره است و C_2 ضریب یادگیری مربوط به تجارب کل گروه است. و معمولاً رابطه $C_1 + C_2 \leq 4$ برقرار است.

r_1 و r_2 اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه $[0,1]$ می‌باشند که باعث می‌شوند نوعی گوناگونی

در جوابها بوجود آید و بدین صورت جستجوی کامل تری روی فضای جستجو انجام گیرد.

پس از آپدیت کردن سرعت ذرات، آنها طبق رابطه زیر به موقعیت جدید حرکت می‌کنند:

$$x_i(j+1) = x_i(j) + v_i(j+1) \quad (2-34)$$

۲-۱-۱-۲-۲ تابع برازش

تابع برازش یک تابع هدف است که بهینگی یک پاسخ را در یک الگوریتم بهینه‌سازی توصیف می‌کند.

برای دستیابی به مینیمم خطا در تخمین پارامترها، باید تابع برازش مناسب برای الگوریتم در نظر گرفته شود. تابع برازشی که در این بخش مورد استفاده قرار می‌گیرد بصورت زیر است:

$$SS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N e_i(t)^2}{N}} \quad (2-35)$$

که مقدار $e_i(t)$ در هر مرحله از رابطه (۲-۳۱) بدست می‌آید.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برای رسیدن به تخمین بهینه پارامترهای فلیکر ولتاژ، باید تابع هدف فوق را با روش پیشنهادی مینیمم کنیم.

۲-۱-۲-۲) روش پیشنهادی برای تخمین پارامترهای فلیکر ولتاژ [۲۱]

از آنجا که اغلب بارهای تولید کننده فلیکر ولتاژ، شامل مؤلفه‌های (مُد‌های) چندگانه فلیکر ولتاژ هستند (با دامنه‌ها و فرکانس‌های مختلف) و اغلب روش‌های اندازه‌گیری فلیکر ولتاژ مانند تکنیک تبدیل فوریه سریع (FFT) نمی‌توانند پارامترهای (دامنه و فرکانس مؤلفه‌های چندتایی معادله فلیکر) چنین سیگنالی را محاسبه نمایند ایجاد روش‌های جدیدی که قادر به محاسبه این پارامترها باشند ضروری می‌باشد.

الگوریتم ساده PSO نمی‌تواند پارامترهای مؤلفه‌های چندتایی فلیکر را به طور دقیق محاسبه نماید بنابراین در این بخش، روشی مبتنی بر این الگوریتم پیشنهاد می‌گردد که قادر است تا مؤلفه‌های ۳ تایی معادله فلیکر را با حداقل خطا محاسبه نماید.

مراحل اجرای روش پیشنهادی بصورت زیر است:

- ۱- در مرحله اول m گروه که هر کدام شامل n ذره می‌باشند را ایجاد می‌کنیم.
- ۲- الگوریتم PSO را به تعداد re_1 تکرار به این گروه‌ها اعمال می‌کنیم (با سرعت‌های همگرایی مختلف برای هر گروه).
- ۳- نتایج بدست آمده برای این گروه‌ها را با هم مقایسه می‌کنیم و بهترین نتیجه (پارامترهای فلیکر بدست آمده از گروهی که کمترین تابع هدف را ایجاد نموده) را به عنوان مقادیر اولیه برای مرحله دوم انتخاب می‌کنیم.
- ۴- الگوریتم PSO را به تعداد re_2 تکرار به نتایج بهترین گروه مرحله اول اعمال می‌کنیم (با سرعتی کمتر از سرعت همگرایی در مرحله اول).

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۵- نقاط بهینه حاصل از مراحل فوق، پارامترهای فلیکر ولتاژ می‌باشند.

در تمام موارد تخمین زده شده، اثر تعداد نمونه‌های ولتاژ اندازه‌گیری شده و نیز فرکانس نمونه‌برداری

بر روی نتایج بررسی شده است.

۲-۲-۱-۱-۲ مورد مطالعه اول: تحلیل سیگنال ولتاژ با یک مؤلفه فلیکر

معادله سیگنال ولتاژ شامل یک مؤلفه فلیکر، بصورت زیر می‌باشد:

$$V(t) = [A_0 + A_{f1} \cos(w_{f1}t + \emptyset_{f1})] \cos(w_0t + \emptyset_0) \quad (۳۶-۲)$$

در معادله فوق، فرکانس قدرت (w_0) مشخص است. هدف تخمین A_0 ، A_{f1} و w_{f1} می‌باشد. در این حالت که سیگنال ولتاژ شامل یک مؤلفه فلیکر می‌باشد الگوریتم ساده PSO پاسخ دقیقی می‌دهد. بنابراین این الگوریتم را به یک سیگنال ولتاژ بصورت زیر اعمال می‌کنیم:

$$V(t) = [1 + 0.1 \cos(2\pi 5t)] \cos(2\pi 50t) \quad (۳۷-۲)$$

تعداد جمعیت ۴۰، $k_{max} = 0.9$ و $k_{min} = 0.2$ در نظر گرفته می‌شوند. همچنین در تمام موارد

$c_1 = c_2 = 2$ و k نیز به فرم کاهشی فرض می‌شود.

نتایج حاصل از اجرای الگوریتم بر روی تخمین پارامتر فلیکر ولتاژ در جداول ذیل ارائه شده‌اند:

جدول (۴-۲): تأثیر فرکانس نمونه‌برداری بر روی تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ با یک مؤلفه فلیکر

(تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری شده=۱۰۰)

فرکانس			
نمونه‌برداری	A_0	A_{f1}	f_{f1}
(HZ)			
150	1	0.1	5

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

200	1	0.1	5
300	1	0.1	5
400	1	0.1	5
500	1	0.1	5

الگوریتم پیشنهادی پارامترهای مجهول معادله فلیکر ولتاژ را دقیقاً برابر با مقدار واقعی آنها تخمین

می‌زند.

حال اگر فرکانس نمونه‌برداری را برابر با ۱۰۰ هرتز در نظر گرفته و اثر تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری

شده بر الگوریتم را بررسی کنیم، داریم:

جدول (۲-۵): تأثیر تعداد نمونه‌ها بر روی تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ با یک مؤلفه فلیکر در فرکانس

نمونه‌برداری ثابت (100 Hz)

تعداد نمونه‌ها	A_0	A_{f1}	f_{f1}
20	1	0.1	5
50	1	0.1	5
100	1	0.1	5
150	1	0.1	5

همانطور که مشاهده می‌شود در این حالت نیز تخمین پارامترها بصورت دقیق توسط الگوریتم صورت

می‌گیرد.

۲-۲-۱-۲-۲ مورد مطالعه دوم: تحلیل سیگنال ولتاژ با دو مؤلفه فلیکر

در این حالت معادله سیگنال ولتاژ بصورت زیر می‌باشد:

$$V(t) = [A_0 + A_{f1} \cos(w_{f1}t + \emptyset_{f1}) + A_{f2} \cos(w_{f2}t + \emptyset_{f2})] \cos(w_0t + \emptyset_0) \quad (۳۸-۲)$$

در معادله فوق، هدف تخمین A_0 ، A_{f1} و w_{f1} ، A_{f2} و w_{f2} می‌باشد.

در این حالت و نیز در حالت سیگنال ولتاژ با ۳ مؤلفه فلیکر، از روش پیشنهادی استفاده می‌شود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

در این حالت، $k_{min1} = 0.3$ و $k_{max1} = 1.3$ در نظر گرفته می‌شوند و الگوریتم به تعداد re_1 تکرار اجرا می‌شود. در گام بعدی و پس از تعیین بهترین گروه مرحله اول، $k_{max2} = 0.3$ و $k_{min2} = 0$ در نظر گرفته می‌شوند و الگوریتم به تعداد re_2 تکرار برای نتایج بهترین گروه انتخاب شده، دنبال می‌شود. الگوریتم پیشنهادی با استفاده از معادله سیگنال ولتاژی شامل دو مؤلفه فلیکر بصورت زیر تست شده است:

$$V(t) = [1 + 0.1 \cos(2\pi 5t) + 0.15 \cos(2\pi 8t)] \cos(2\pi 50t) \quad (۳۹-۲)$$

در معادله فوق، $v_0(t) = 1 * \cos(2\pi 50t)$ سیگنال ولتاژ حامل است و معادلات $v_1(t) = 0.1 \cos(2\pi 5t) \cos(2\pi 50t)$ و $v_2(t) = 0.15 \cos(2\pi 8t) \cos(2\pi 50t)$ بهترین مؤلفه‌های (مُد‌های) اول و دوم فلیکر ولتاژ هستند.

نتایج حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی برای تخمین پارامترهای سیگنال فلیکر دو مؤلفه‌ای در جداول ذیل ارائه شده‌اند.

جدول (۴-۲): تأثیر فرکانس نمونه‌برداری بر روی تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ با دو مؤلفه فلیکر (تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری شده = ۱۰۰)

فرکانس نمونه‌برداری (HZ)	A_0	A_{f1}	f_{f1}	A_{f2}	f_{f2}
150	1	0.1	5	0.15	8
200	1	0.1	5	0.15	8
300	1	0.1	5	0.15	8
400	1	0.1	5	0.15	8
500	1	0.1	5	0.15	8

جدول (۷-۲): تأثیر تعداد نمونه‌ها بر روی تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ با دو مؤلفه فلیکر در فرکانس نمونه‌برداری ثابت (150 Hz)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

تعداد نمونه‌ها	A_0	A_{f1}	f_{f1}	A_{f2}	f_{f2}
20	1	0.1	5	0.15	8
50	1	0.1	5	0.15	8
100	1	0.1	5	0.15	8
150	1	0.1	5	0.15	8

همانطور که از جداول (۲-۶) و (۲-۷) دیده می‌شود الگوریتم پیشنهادی، پارامترهای سیگنال ولتاژ

با دو مؤلفه فلیکر را به درستی تخمین می‌زند. ولی برای وجود این دقت باید فرکانس نمونه‌برداری حداقل ۱۵۰ هرتز باشد.

۲-۲-۱-۲-۳ مورد مطالعه سوم: تحلیل سیگنال ولتاژ با سه مؤلفه فلیکر

معادله سیگنال ولتاژ با ۳ مؤلفه فلیکر، بصورت زیر می‌باشد:

$$V(t) = [A_0 + A_{f1} \cos(w_{f1}t + \emptyset_{f1}) + A_{f2} \cos(w_{f2}t + \emptyset_{f2}) + A_{f3} \cos(w_{f3}t + \emptyset_{f3})] \cos(w_0t + \emptyset_0) \quad (۲-۴۰)$$

در معادله فوق، هدف تخمین A_0 ، A_{f1} و w_{f1} ، A_{f2} ، w_{f2} ، A_{f3} و w_{f3} با الگوریتم پیشنهادی می‌باشد. الگوریتم پیشنهادی به یک سیگنال ولتاژ شامل ۳ مؤلفه فلیکر بصورت زیر اعمال شده است:

$$V(t) = [1 + 0.1 \cos(2\pi 5t) + 0.15 \cos(2\pi 8t) + 0.08 \cos(2\pi 15t)] \cos(2\pi 50t) \quad (۲-۴۱)$$

در این حالت، $k_{max1} = 1.5$ و $k_{min1} = 0.5$ در نظر گرفته می‌شوند و الگوریتم به تعداد re_1 تکرار اجرا می‌شود. در گام بعدی و پس از تعیین بهترین گروه مرحله اول، $k_{max2} = 0.5$ و $k_{min2} = 0$ در نظر گرفته می‌شوند و الگوریتم به تعداد re_2 تکرار برای نتایج بهترین گروه انتخاب شده، دنبال می‌شود تا پاسخ بهینه حاصل شود.

نتایج حاصل از تخمین پارامترهای فلیکر ولتاژ در جداول (۲-۸) و (۲-۹) نشان داده شده‌اند:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

جدول (۸-۲): تأثیر فرکانس نمونه برداری بر روی تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ با سه مؤلفه فلیکر

(تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری شده = ۱۰۰)

فرکانس نمونه برداری (Hz)	A_0	A_{f1}	f_{f1}	A_{f2}	f_{f2}	A_{f3}	f_{f3}
150	1.0002	0.1002	5.0009	0.1501	7.9982	0.0808	15.008
200	1	0.1	5	0.1499	7.9999	0.0801	14.999
300	1	0.0998	4.9999	0.1498	8	0.0799	14.999
400	1	0.1	5	0.15	8	0.08	15
500	1	0.1	5	0.15	8	0.08	15

جدول (۹-۲): تأثیر تعداد نمونه‌ها بر روی تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ با سه مؤلفه فلیکر در فرکانس

نمونه برداری ثابت (150 Hz)

تعداد نمونه‌ها	A_0	A_{f1}	f_{f1}	A_{f2}	f_{f2}	A_{f3}	f_{f3}
20	1.003	0.1162	5.387	0.1312	8.1974	0.0795	15.02
50	0.9999	0.1	4.999	0.1499	7.999	0.0799	14.999
100	1.0002	0.1002	5.0009	0.1501	7.9982	0.0808	15.008
150	1	0.0999	4.999	0.14999	8	0.08002	15

۲-۲-۲) تخمین پارامترهای فلیکر ولتاژ با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری^۱

۲-۲-۲-۱) الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری [۲۲]

این الگوریتم از رقابت استعمارطلبانه کشورهای جهان الهام گرفته است. مانند سایر الگوریتم‌های

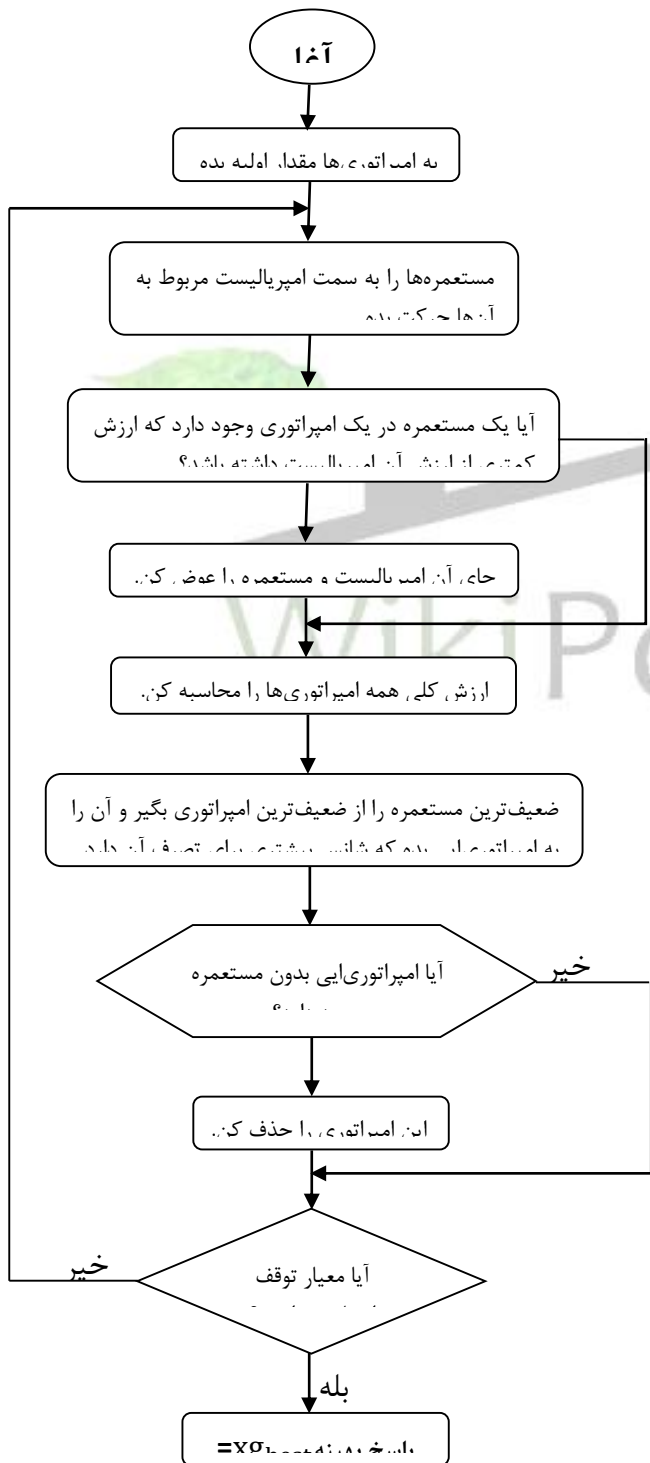
تکاملی، این الگوریتم نیز با یک جمعیت اولیه آغاز می‌شود. افراد جمعیت که کشور خوانده می‌شوند به ۲

1. Imperialistic Competitive Algorithm

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

نوع می‌باشند: امپریالیست‌ها و مستعمره‌ها، که همه با هم امپراتوری‌ها را تشکیل می‌دهند. رقابت استعمارطلبانه میان این امپراتوری‌ها، اساس این الگوریتم را شکل می‌دهد. در طول این رقابت، امپراتوری‌های ضعیف متلاشی شده و قوی‌ها، دارایی آن‌ها را می‌برند. رقابت استعمارطلبانه به سمتی که فقط یک امپراتوری وجود داشته باشد همگرا می‌شود.

شکل (۲-۷) فلوجارت الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.



خیر

بله

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

بله

شکل (۲-۷): فلوچارت الگوریتم

رقابت استعماری

مشابه الگوریتم‌های تکاملی دیگر، این الگوریتم نیز با یک جمعیت اولیه آغاز می‌شود (کشورهای جهان). تعدادی از بهترین کشورها انتخاب می‌شوند تا امپریالیست‌ها را شکل دهند و سایر کشورها، مستعمره‌های این امپریالیست‌ها می‌شوند. مستعمره‌ها بر اساس قدرت امپریالیست‌ها در میان آن‌ها تقسیم می‌شوند.

بعد از تقسیم همه مستعمره‌ها در میان استعمارگران، این مستعمره‌ها حرکتشان به سوی کشور امپریالیست مربوطه را آغاز می‌کنند. روش حرکت آن‌ها در ادامه شرح داده شده است. قدرت کلی یک امپراتوری بستگی به ۲ مقدار قدرت امپریالیست و قدرت مستعمره‌های آن دارد. ما این حقیقت را با تعریف قدرت کلی یک امپراتوری بصورت قدرت کشور امپریالیست بعلاوه درصدی از قدرت متوسط مستعمره‌های آن تعریف می‌کنیم.

سپس رقابت استعمارگرایانه بین همه امپراتوری‌ها آغاز می‌شود. هر امپراتوری‌ایی که قادر به موفقیت در این رقابت نیست و نمی‌تواند قدرتش را افزایش دهد (یا حداقل از کاهش قدرتش جلوگیری نماید)، از رقابت حذف خواهد شد. رقابت استعمارگرایانه به تدریج منجر به افزایش قدرت امپراتوری‌های قوی و کاهش قدرت امپراتوری‌های ضعیف خواهد شد. امپراتوری‌های ضعیف قدرت خود را از دست داده و در نهایت متلاشی خواهند شد. حرکت مستعمره‌ها به سمت امپریالیست‌های مربوطه‌شان همراه با رقابت میان امپراتوری‌ها و همچنین مکانیسم متلاشی شدن بطور امیدوارانه منجر به همگرایی همه کشورها به سمتی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

که در آنجا فقط یک امپراتوری در جهان وجود دارد و همه کشورهای دیگر مستعمره‌های آن امپراتوری هستند، خواهد شد.

در مسأله تخمین پارامترهای معادله فلیکر ولتاژ، همانند روش بیان شده در قسمت قبل، هر مجموعه‌ای شامل دامنه ولتاژ اصلی، دامنه مؤلفه‌های فلیکر ولتاژ و نیز فرکانس مؤلفه‌های فلیکر که با داشتن آن‌ها، مقدار ولتاژ در یک لحظه از زمان طبق رابطه فلیکر (معادله ۲-۲۷)) مشخص می‌شود به عنوان یک عضو (کشور) برای الگوریتم در نظر گرفته می‌شود. مقدار اولیه برای پارامترهای ذکر شده از طریق حدس اولیه در بازه‌های مناسب تعیین می‌شود.

پس از تعیین کشورهای اولیه برای الگوریتم (به تعداد جمعیت مشخص، باید عضوهای اولیه برای الگوریتم تعیین گردند)، تعداد مشخصی از آن‌هایی که دارای بهترین تابع برازش هستند را به عنوان امپریالیست‌ها در نظر گرفته و بقیه عضوها متناسب با تابع برازش امپریالیست‌ها، در میان آن‌ها تقسیم می‌شوند (مستعمره‌ها).

الگوریتم طبق فلوجارت شکل (۲-۷) ادامه می‌یابد.

حرکت دادن مستعمره‌ها به سمت امپریالیست در هر مرحله طبق رابطه زیر انجام می‌شود:

$$U(0, \beta * d) + \text{مکان قبلی آن مستعمره} = \text{مکان جدید یک مستعمره} \quad (۲-۴۲)$$

U نشان دهنده یک عدد تصادفی در بازه $(0, \beta * d)$ است که β عددی بزرگتر از یک و d فاصله بین آن مستعمره و امپریالیست می‌باشد.

در این الگوریتم، ارزش کلی امپراتوری‌ها (کشور استعمارگر و مستعمره‌های آن) طبق رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$(۲-۴۳) \text{ (ارزش متوسط مستعمره‌های آن امپراتوری ex) + ارزش امپریالیست = ارزش کلی یک امپراتوری}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

که e عددی بین صفر و یک است. اگر مقدار e نزدیک به صفر در نظر گرفته شود، نقش امپریالیست در تعیین ارزش کلی امپراتوری بیشتر می‌شود و اگر e عددی نزدیک به یک در نظر گرفته شود مستعمره‌های آن امپراتوری، تأثیر بیشتری در تعیین ارزش کلی آن امپراتوری خواهند داشت.

تابع برازش در نظر گرفته شده در این بخش نیز همانند بخش قبل، رابطه (۲-۳۵) می‌باشد که برای رسیدن به تخمین دقیق پارامترهای فلیکر ولتاژ، باید مقدار SS در این رابطه مینیمم شود. ارزش یک امپراتوری نیز مطابق با تابع برازش آن امپراتوری تعریف شده است. بدین صورت که هر امپراتوری که دارای تابع برازش کمتری باشد، ارزش آن بیشتر است و امپراتوری‌ای قوی به شمار می‌رود و شانس بیشتری برای تصرف مستعمره‌های ضعیف از استعمارگر ضعیف را در هر مرحله دارد.

معیار توقف در این الگوریتم نیز رسیدن به دقت مورد نیاز برای تخمین پارامترهای فلیکر یا همگرایی الگوریتم به سمت ایجاد یک کشور امپریالیست می‌باشد که در نهایت بهترین عضو آن امپریالیست به عنوان پاسخ الگوریتم در نظر گرفته می‌شود.

۲-۲-۲-۲) نتایج تخمین پارامترهای فلیکر ولتاژ

با در نظر گرفتن مقادیر مناسب برای تعداد امپریالیست‌ها، مستعمره‌ها، تعداد نمونه‌های ولتاژ و فرکانس نمونه‌برداری مناسب، این الگوریتم قادر به تخمین پارامترهای فلیکر ولتاژ برای سیگنال‌های فلیکر دارای تا حد ۴ مؤلفه فلیکر با دقت بسیار بالا می‌باشد.

تخمین پارامترهای سیگنال‌های ولتاژ دارای ۱، ۲ و ۳ مؤلفه فلیکر همانند بخش قبل با دقت بسیار زیاد انجام می‌گیرد.

برای یک سیگنال ولتاژ دارای ۴ مؤلفه فلیکر که طبق رابطه زیر بیان می‌گردد، نتایج تخمین پارامترها در جدول (۲-۱۰) ارائه شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$+A_{f3} \cos(w_{f3}t + (\varphi_3 - 2))V(t) = [A_0 + A_{f1} \cos(w_{f1}t + \varphi_{f1}) + A_{f2} \cos(w_{f2}t + \varphi_{f2}) \\ + A_{f3} \cos(w_{f3}t + \varphi_{f3}) + A_{f4} \cos(w_{f4}t + \varphi_{f4})] \cos(w_0t + \varphi_0)$$

سیگنال تست بصورت رابطه (۴۵-۲) می‌باشد.

$$V(t) = [1 + 0.1 \cos(2\pi 5t) + 0.15 \cos(2\pi 8t) \\ + 0.05 \cos(2\pi 18t) + 0.07 \cos(2\pi 25t)] \cos(2\pi 50t) \quad (45-2)$$

جدول (۱۰-۲): نتایج تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ شامل ۴ مؤلفه فلیکر

A_0	A_{f1}	f_{f1}	A_{f2}	f_{f2}	A_{f3}	f_{f3}	A_{f4}	f_{f4}
1	0.1	5	0.15	7.982	0.0501	18.11	0.0694	24.953

در این حالت، تعداد نمونه‌ها برابر با ۱۰۰ و فرکانس نمونه‌برداری برابر با ۲۰۰ هرتز در نظر گرفته شده است.

۳-۲) روش‌های دنبال کردن^۱ پوش سیگنال ولتاژ و آشکارسازی فلیکر ولتاژ

یکی از بخش‌های اصلی تحلیل فلیکر ولتاژ، دنبال کردن پوش ولتاژ و در نتیجه شناسایی محل و

لحظه ایجاد فلیکر می‌باشد. تعدادی از روش‌های سنتی آشکارسازی فلیکر ولتاژ در شبکه، تبدیل FFT، فیلتر

کالمن و مقدار حداقل قدرمطلق می‌باشند. در این بخش به دو روش آشکارسازی فلیکر ولتاژ مبتنی بر

اپراتور انرژی تیگر^۲ (TEO) و تبدیل هیلبرت^۳ (HT) پرداخته می‌شود. سادگی ریاضیاتی این روش‌ها در

مقایسه با سایر الگوریتم‌ها، آن‌ها را کاندیداهای قابل رقابت برای ردیابی آنلاین سطوح فلیکر ولتاژ قرار داده

است. TEO و HT قادر به ردیابی تغییرات دامنه ولتاژ و فرکانس تغذیه در سیستم‌های صنعتی، با کمتر از

1. Tracking
2. Teager Energy Operator
3. Hilbert Transform

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۳ درصد خطا می‌باشند [۲۳]. چنین ردیابی درستی، اجرا و پیاده‌سازی ابزارهای کنترلی حذف فلیکر را آسانتر می‌کند.

۲-۳-۱) آشکارسازی بر اساس اپراتور انرژی تیگر

اپراتور انرژی تیگر، یک اپراتور غیرخطی است که به وسیله تیگر در طول کار او بر روی مدل‌سازی ایجاد سخن ابداع گردید. این اپراتور، انرژی لحظه‌ای سیگنال را می‌تواند ردیابی کند. برای یک سیگنال پیوسته با زمان $(x(t))$ ، اپراتور انرژی بصورت زیر تعریف شده است [۲۳]:

$$TEO[x(t)] = \psi[x(t)] = [x'(t)]^2 - x(t).x''(t) \quad (۴۶-۲)$$

که $x'(t)$ و $x''(t)$ به ترتیب به مشتق اول و دوم $x(t)$ دلالت دارند.

حال یک سیگنال با دامنه ثابت A و فرکانس w را در نظر بگیرید:

$$x(t) = A \cos(wt + \theta) \quad (۴۷-۲)$$

که θ زاویه فاز می‌باشد.

با مشتق‌گیری از معادله (۴۷-۲) نسبت به زمان، داریم:

$$x'(t) = -Aw \sin(wt + \theta) \quad (۴۸-۲)$$

$$x''(t) = -Aw^2 \cos(wt + \theta) \quad (۴۹-۲)$$

با قرار دادن روابط (۴۷-۲) تا (۴۹-۲) در رابطه اپراتور انرژی تیگر (معادله (۴۶-۲))، اپراتور انرژی سیگنال $x(t)$ بصورت زیر بدست می‌آید:

$$\psi[x(t)] = A^2w^2 \quad (۵۰-۲)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

از رابطه فوق داریم:

$$|A| = \frac{\sqrt{\psi[x(t)]}}{w} \quad (51-2)$$

همچنین برای یک سیگنال مدولاسیون دامنه، روابط اپراتور انرژی تیگر بصورت زیر است:

$$x(t) = A(t) \cos(\omega t + \theta) \quad (52-2)$$

$$x'(t) = A'(t) \cdot \cos(\omega t + \theta) - A(t) \cdot \omega \sin(\omega t + \theta) \quad (53-2)$$

$$x''(t) = A''(t) \cdot \cos(\omega t + \theta) - 2A'(t) \cdot \omega \sin(\omega t + \theta) - A(t) \cdot \omega^2 \cos(\omega t + \theta) \quad (54-2)$$

$$\psi[x(t)] = \underbrace{A^2(t)\omega^2}_{D(t)} + \underbrace{\psi[A(t)] \cos^2(\omega t + \theta)}_{E(t)} \quad (55-2)$$

در این روابط $A(t)$ دامنه لحظه‌ای سیگنال $x(t)$ می‌باشد.

وقتی که بیشترین فرکانس پوش دامنه $A(t)$ خیلی کمتر از فرکانس سیگنال است، در اینصورت رابطه $E(t) \ll D(t)$ برقرار است. بنابراین اثر $E(t)$ می‌تواند چشم‌پوشی شود. در اینصورت، دامنه سیگنال در هر لحظه از زمان t از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$|A(t)| \approx \frac{\sqrt{\psi[x(t)]}}{w} \quad (56-2)$$

طبق معادلات (51-2) و (56-2) مشاهده می‌شود که با روش اپراتور انرژی می‌توان دامنه سیگنال

را هم برای سیگنال‌های با دامنه ثابت و هم برای سیگنال‌های با دامنه متغیر ردیابی نمود.

بدین صورت با ردیابی دامنه سیگنال ولتاژ، در صورت تغییر در دامنه سیگنال، می‌توان این تغییر را

متوجه شد. بنابراین در این روش، باید اندازه‌گیری‌های ولتاژ در شبکه با فرکانس مناسبی انجام شود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

چون اندازه‌گیری‌ها در شبکه بصورت گسسته است بنابراین فرم گسسته روش اپراتور انرژی تیگر برای ردیابی پوش ولتاژ و آشکارسازی فلیکر در ادامه بیان می‌شود.

فرم گسسته اپراتور انرژی تیگر بصورت زیر است [۲۳]:

$$TEO[x(n)] = \psi[x(n)] = x^2(n) - x(n-1) * x(n+1) \quad (۵۷-۲)$$

که $x(n)$ مقدار سیگنال x در لحظه n است.

همچنین در حالت گسسته، برای سیگنال سینوسی $x(n)$ ، رابطه اپراتور انرژی بصورت معادله زیر

است [۲۳، ۲۵]:

$$\psi[x(n)] = A^2(n) \cdot \sin^2 w \quad (۵۸-۲)$$

طبق معادله (۵۸-۲) اندازه دامنه $x(n)$ در لحظه $n(A(n))$ طبق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$A(n) = \frac{\sqrt{\psi[x(n)]}}{\sin(w)} \quad (۵۹-۲)$$

حال اگر بخواهیم پوش سیگنال ولتاژ را در شبکه توسط اپراتور انرژی تیگر دنبال کنیم به جای x

در معادلات فوق، ولتاژ (v) را قرار می‌دهیم:

$$TEO[v(n)] = \psi[v(n)] = v^2(n) - v(n-1) * v(n+1) \quad (۶۰-۲)$$

$$\psi[v(n)] = V^2(n) \cdot \sin^2 w \quad (۶۱-۲)$$

$$V(n) = \frac{\sqrt{\psi[v(n)]}}{\sin(w)} \quad (۶۲-۲)$$

در روابط فوق، $\psi[v(n)]$ مقدار انرژی سیگنال ولتاژ در لحظه n و $V(n)$ دامنه ولتاژ در آن لحظه می‌باشد.

همچنین داریم:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$W = \frac{w_0}{w_s} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_0}{2 \cdot \pi \cdot f_s} \quad (۶۳-۲)$$

در رابطه (۶۳-۲)، f_0 فرکانس قدرت و f_s فرکانس نمونه برداری از ولتاژ می باشد. برای دقت بیشتر الگوریتم باید $\frac{f_0}{f_s} < 0.125$ برقرار باشد.

بنابراین برای دنبال کردن پوش سیگنال ولتاژ در شبکه و آشکارسازی فلیکر ولتاژ، روند زیر را داریم:

۱- مقدار ولتاژ را در شبکه با فرکانس نمونه برداری مناسب اندازه گیری می کنیم.

۲- طبق رابطه (۶۰-۲) انرژی سیگنال را در هر لحظه n محاسبه می کنیم.

۳- دامنه ولتاژ در هر لحظه را از رابطه (۶۲-۲) بدست می آوریم.

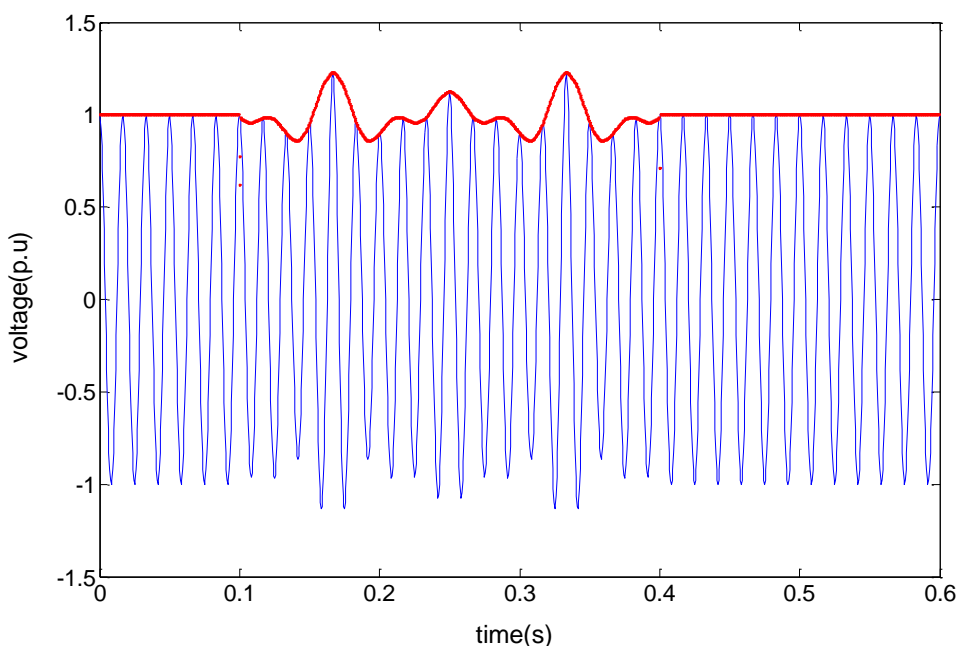
۲-۳-۱) نتایج شبیه سازی

برای نشان دادن توانایی روش TEO در دنبال کردن پوش سیگنال ولتاژ حاوی فلیکر و در نتیجه

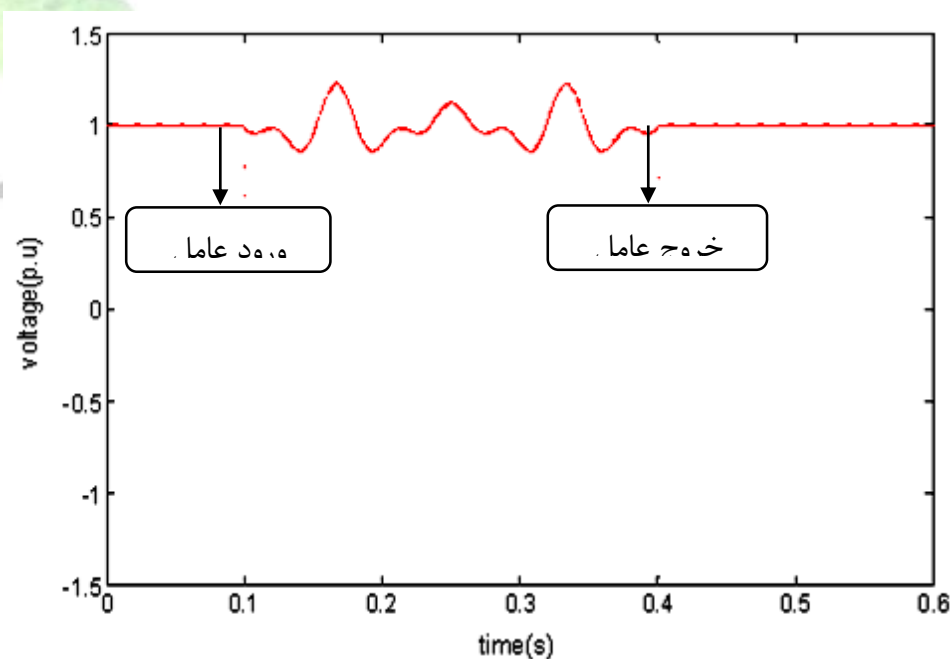
تشخیص باسی که بار فلیکرزا به آن متصل است و نیز زمان ورود عامل فلیکرزا به مدار، به شبیه سازی یک

سیگنال ولتاژ حاوی فلیکر پرداخته شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۲-۸): سیگنال ولتاژ حاوی فلیکر و ردیابی پوش آن توسط اپراتور انرژی تیگر



شکل (۲-۹): پوش سیگنال ولتاژ حاوی فلیکر، ردیابی شده توسط اپراتور انرژی تیگر

۲-۳-۲ آشکارسازی بر اساس تبدیل هیلبرت

تبدیل هیلبرت یک الگوریتم مهم در تحلیل و پردازش سیگنال می‌باشد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

برای هر سیگنال پیوسته با زمان مانند $x(t)$ ، تبدیل هیلبرت $\hat{x}(t)$ طبق رابطه زیر تعیین می‌شود
[۲۴]:

$$HT[x(t)] = \hat{x}(t) = x(t) * h(t) \quad (۶۴-۲)$$

$$h(t) = \frac{1}{\pi t} \quad (۶۵-۲)$$

علامت (*) در رابطه (۶۴-۲) به کانولوشن اشاره دارد.

بنابراین داریم:

$$\hat{x}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x(\tau)}{t-\tau} d\tau = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x(t-\tau)}{\tau} d\tau \quad (۶۶-۲)$$

همچنین تبدیل وارون هیلبرت از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$x(t) = \frac{-1}{\pi t} * \hat{x}(t) = \frac{-1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\hat{x}(t)}{t-\tau} d\tau \quad (۶۷-۲)$$

حال با داشتن $x(t)$ و $\hat{x}(t)$ سیگنال تحلیلی $z(t)$ را بصورت رابطه زیر بیان می‌کنیم:

$$z(t) = x(t) + j\hat{x}(t) \quad (۶۸-۲)$$

حال با در نظر گرفتن روابط (۶۴-۲) تا (۶۸-۲)، الگوریتم زیر را برای ردیابی پوش سیگنال ولتاژ و آشکارسازی فلیکر ولتاژ مطرح می‌کنیم:

۱- از ولتاژ با یک نرخ مناسب نمونه‌برداری کنید و دنباله‌ای از مقادیر ولتاژ نمونه‌گیری شده ($u(n)$)

را بدست آورید. ($n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$) و N تعداد نقاط نمونه‌برداری در طول یک سیکل

اندازه‌گیری است.

۲- تبدیل فوریه گسسته^۱ (DFT) را بر $u(n)$ اعمال کنید و $\hat{U}(k)$ را بدست آورید.

1. Discrete Fourier Transform

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۳- بر اساس دنباله ولتاژ $\dot{U}(k)$ بدست آمده از مرحله (۲)، تبدیل فوریه $\dot{Z}(k)$ را بری سیگنال

تحلیلی $z(n)$ از $u(n)$ توسط رابطه زیر بدست آورید:

$$\dot{Z}(k) = \begin{cases} \dot{U}(k) & k = 0 \\ 2\dot{U}(k) & k = 1, 2, \dots, \left(\frac{N}{2} - 1\right) \\ 0 & k = \frac{N}{2}, \left(\frac{N}{2} + 1\right), \dots, (N - 1) \end{cases} \quad (۶۹-۲)$$

۴- تبدیل فوریه گسسته وارون را به $\dot{Z}(k)$ اعمال کنید و سیگنال تحلیلی $z(n)$ را بدست آورید.

۵- تبدیل هیلبرت سیگنال $u(n)$ را توسط رابطه (۷۰-۲) بدست آورید:

$$\hat{u}(n) = -j[z(n) - u(n)] \quad (۷۰-۲)$$

۶- حال دامنه ولتاژ در هر لحظه $|A(n)|$ که همان پوش سیگنال ولتاژ است را از رابطه زیر بدست

می آوریم:

$$|A(n)| = \sqrt{u^2(n) + \hat{u}^2(n)} \quad (۷۱-۲)$$

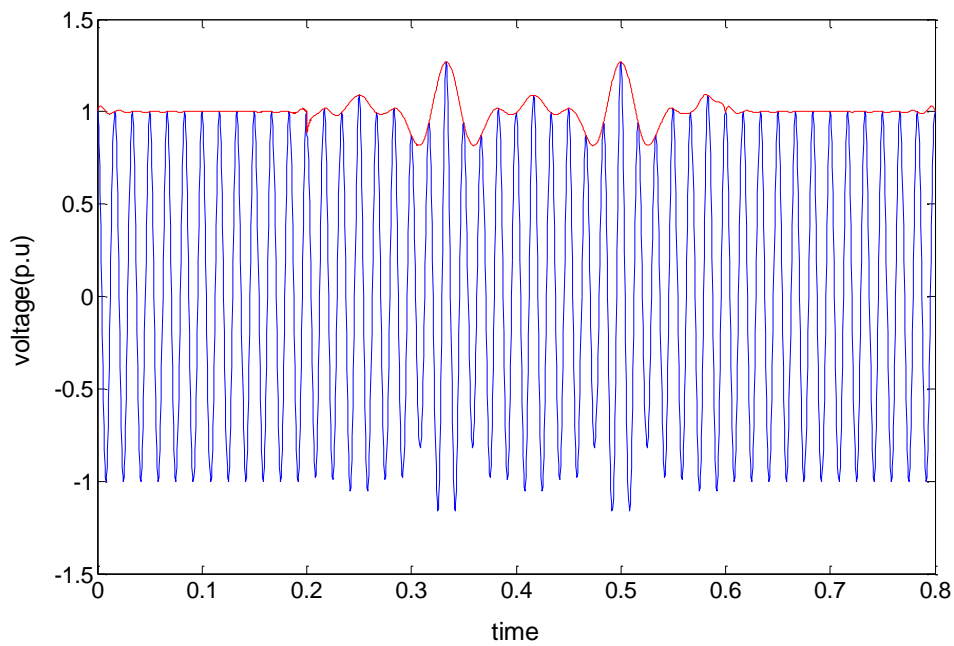
۲-۳-۲-۱) نتایج شبیه سازی

برای نشان دادن صحت روش HT در دنبال کردن پوش سیگنال ولتاژ حاوی فلیکر و در نتیجه

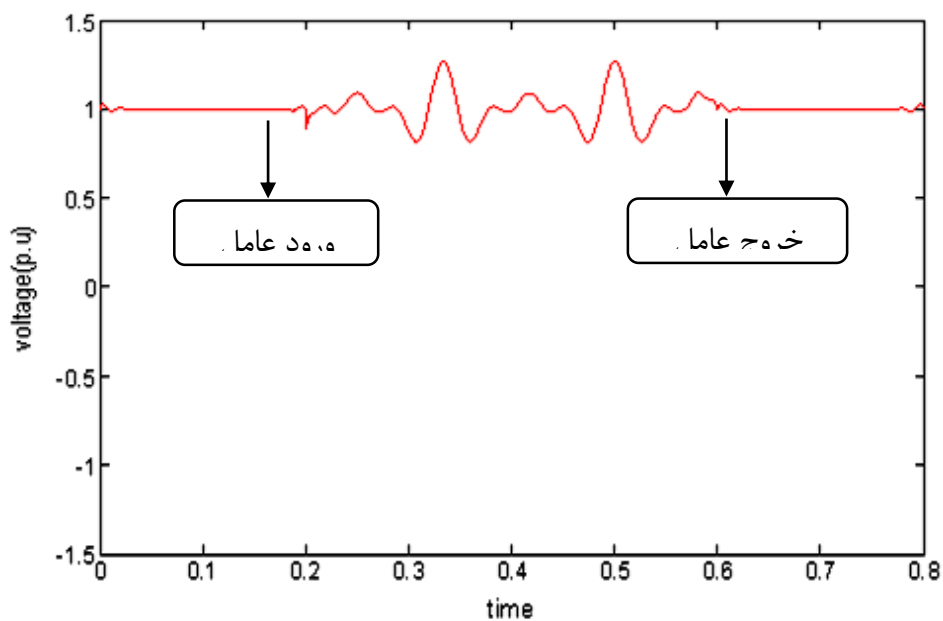
تشخیص باسی که بار فلیکرزا به آن متصل است و نیز زمان ورود عامل فلیکرزا به مدار، به شبیه سازی یک

سیگنال ولتاژ حاوی فلیکر پرداخته ایم.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۲-۱۰): سیگنال ولتاژ حاوی فلیکر و ردیابی پوش آن توسط تبدیل هیلبرت



شکل (۲-۱۱): پوش سیگنال ولتاژ حاوی فلیکر، ردیابی شده توسط تبدیل هیلبرت

۴-۲ خلاصه فصل دوم

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

از آنجا که برای بیان شدت نوسانات فلیکر در شبکه‌های قدرت نیاز به تعیین معیاری برای بیان شدت فلیکر بصورت عددی است دستگاه فلیکرمتر برای این هدف طبق استاندارد IEC طراحی شده است. در این فصل، ابتدا فلیکرمتر استاندارد IEC شبیه‌سازی شد و نحوه استفاده از آن برای اندازه‌گیری معیارهای شدت فلیکر کوتاه‌مدت، شدت فلیکر طولانی‌مدت و سطوح لحظه‌ای فلیکر، شرح داده شد. در ادامه مدل ریاضی فلیکر ولتاژ معرفی شده و به بررسی دو روش بر مبنای الگوریتم‌های PSO و رقابت استعماری برای تخمین پارامترهای فلیکر ولتاژ پرداخته شد. نوآوری بکار رفته در این بخش، در تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ شامل چندین مؤلفه فلیکر و نیز بررسی تأثیر فرکانس نمونه‌برداری ولتاژ شبکه و نیز تعداد این نمونه‌ها بر روی نتایج روش‌های پیشنهادی بود. در پایان این فصل، دو روش بر مبنای اپراتور انرژی تیگر و تبدیل هیلبرت برای دنبال کردن پوش سیگنال ولتاژ در شبکه با استفاده از اندازه‌گیری‌های بدست آمده مطرح شدند که این روش‌ها برای تعیین باسی از شبکه که عامل ایجاد فلیکر به آن متصل است و همچنین لحظات ورود و خروج این عامل از شبکه بکار می‌روند.

فصل سوم: تحلیل فلیکر ولتاژ کوره‌های قوس الکتریکی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در این فصل به بررسی کوره قوس الکتریکی^۱ که یکی از بارهای فلیکرزا است و به تولید سطوح بالای فلیکر در شبکه‌های قدرت شهرت دارد، پرداخته می‌شود. سیستم قدرتی که یک کوره قوس به یک باسبار آن متصل است تحلیل شده و این تجهیز پرکاربرد در شبکه‌های قدرت، شبیه‌سازی شده و سطوح انتشار فلیکر از آن، توسط دستگاه فلیکر متر شبیه‌سازی شده در فصل دوم، اندازه‌گیری و آنالیز می‌شود.

۳-۱) کوره قوس الکتریکی

کوره قوس الکتریکی (EAF) تجهیزاتی است که برای ذوب کردن آهن قراضه و ... بکار می‌رود، بنابراین این تجهیز در صنایع فولاد بسیار استفاده می‌شود. توانایی کنترل دقیق دما و نحوه پخت، کوره قوسی را به یک انتخاب ایده‌آل برای تولید فولاد با کیفیت بالا که در صنعت نفت خام و اتومبیل استفاده می‌شود، قرار داده است. از آنجا که هر دوی این صنایع در حال رشد هستند کوره‌های قوس بیشتر و بیشتری طراحی و ساخته می‌شوند.

به علت تغییرات جریان خیلی زیاد، کارکرد کوره قوس الکتریکی ممکن است باعث نوسان ولتاژ بیش از حد شود که این امر، این دستگاه را به عنوان یکی از منابع اصلی تولید فلیکر ولتاژ در شبکه‌های قدرت معرفی کرده است. از آنجا که فلیکر نور حاصل از این تجهیز، زیاد و قابل اعتراض از سوی مشتریان است کاربرد این تجهیز برای مصرف‌کننده و تولیدکننده، دغدغه زیادی دارد. بنابراین استانداردهای تعیین حد فلیکر مختلفی معرفی شده‌اند و مطالعات وسیعی برای حل مشکلات مربوط به کوره قوس الکتریکی انجام گرفته است نظیر مدل‌سازی کوره قوس، اجرای جبران‌سازی توان راکتیو با استفاده از ابزارهای مختلف برای کاهش فلیکر ولتاژ ناشی از کوره قوسی و اندازه‌گیری و تخمین پارامترهای آن.

۳-۲) مدل‌سازی کوره قوس الکتریکی

1. Electrical Arc Furnace

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

طرز کار کوره قوس بدین صورت است که فلزات و آهن قراضه‌هایی که باید ذوب شوند از طریق ریل در فاصله بین دو الکتروود کوره قرار می‌گیرند. سپس با نزدیک شدن الکتروودها به هم، جریان اتصال کوتاه شدیدی بین الکتروودها برقرار شده و این جریان باعث ذوب فلزات بین الکتروودها می‌شود. همین جریان اتصال کوتاه شدید است که باعث تغییرات دامنه ولتاژ بیش از حد مجاز در باسی که کوره قوس از طریق آن تغذیه می‌شود، می‌گردد.

جریان اتصال کوتاه و در نتیجه فلیکر ولتاژ ناشی از کوره قوسی بستگی به پارامترهایی نظیر توان کوره قوس و نیز ضخامت فلزات قرار گرفته در میان الکتروودهای آن دارد بنابراین جریان اتصال کوتاه و فلیکر کوره قوسی حالتی تصادفی دارند. به همین سبب ارائه مدل دقیقی برای بررسی رفتار کوره قوسی امکان‌پذیر نمی‌باشد. برای بررسی سطح فلیکر ولتاژ انتشار یافته از کوره‌های قوسی، نیاز به مدلی است که تا حد امکان دقیق بوده و مقادیر جریان و ولتاژ آن تا حد امکان با مقادیر بدست آمده از اندازه‌گیری‌های حاصل از کوره قوس واقعی، همخوانی داشته باشد.

مقدار فلیکر ولتاژ ایجاد شده توسط بار (مثلاً کوره قوسی)، باید قبل از اعمال برنامه‌ریزی‌ها، از طریق محاسبه یا اندازه‌گیری تعیین شود. وقتی تصمیم بر نصب بارهایی نظیر آسیاب خردکن در سیستم قدرت می‌باشد، اندازه‌گیری‌های فلیکر انجام شده برای یک ماشین با همان سایز و در محل دیگری از سیستم، می‌تواند برای تخمین فلیکر در موقعیت پیشنهادی بکار رود (با فرض اینکه امیدانس سیستم در هر دو محل مشخص باشد) [۲۷]. اما، برای دستگاه کوره قوس الکتریکی، بدلیل اینکه پارامترهای سیستم به شدت بر روی کارکرد این تجهیز تأثیر می‌گذارند، اندازه‌گیری فلیکر ایجاد شده در یک کوره قوس الکتریکی نصب شده در محلی از سیستم قدرت، نمی‌تواند برای تخمین سطح فلیکر در محل دیگری از سیستم که قصد نصب کوره قوس را داریم بکار رود [۳۵]. بنابراین هرگاه مطالعات برنامه‌ریزی فلیکر برای نصب کوره‌های قوس در آینده انجام می‌شود، سطح فلیکر باید توسط روش‌های حوزه فرکانس یا حوزه زمان محاسبه شود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

در ادامه مختصری درباره این روش‌ها بحث شده و سپس به بررسی کامل روش جدید برای شبیه‌سازی کوره قوس الکتریکی اتصال یافته به یک شبکه قدرت پرداخته خواهد شد.

۳-۲-۱) روش‌های حوزه فرکانس

روش حوزه فرکانس که برای تخمین فلیکر ایجاد شده توسط کوره قوس بکار می‌رود در مرجع [۲۸] ارائه شده است. مطابق با مرجع ذکر شده، فلیکر ایجاد شده توسط یک کوره قوس، می‌تواند با استفاده از رابطه زیر تخمین زده شود:

$$P_{St\ 99\%} = K_{St} \frac{S_{ccf}}{S_{ccn}} \quad (1-3)$$

از آنجا که مقادیر بالای کم‌وقوع P_{St} برای کیفیت توان مخرب نیستند اخیراً به جای استفاده از پارامتر P_{St} برای بیان شدت فلیکر، از پارامتر دیگری به نام $P_{St\ 99\%}$ استفاده شده است. این پارامتر بیان کننده مقداری است که مقادیر اندازه‌گیری شده فلیکر در ۱ درصد از زمان، از این مقدار تجاوز می‌کنند. در رابطه (۱-۳) سایر پارامترها عبارتند از:

K_{St} : مشخصه ضریب انتشار برای P_{St} که در گستره ۴۸ تا ۸۵ بکار می‌رود (برای این پارامتر، معمولاً مقدار ۷۵ جایگزین می‌گردد) [۳۵].

S_{ccf} : سطح اتصال کوتاه در الکترودهای کوره

S_{ccn} : سطح اتصال کوتاه سیستم در نقطه PCC^1 (نقطه اتصال کوره قوس به شبکه قدرت)

معادله (۱-۳) بر اساس لامپ‌های ملتهب (230V, 50Hz) می‌باشد. بنابراین وقتی این رابطه در

آمریکای شمالی استفاده شد (یعنی لامپ‌های ملتهب (120V, 60Hz))، در حالت کلی بصورت معادله (۳-۳)

(۲) اصلاح شد [۳۵]:

1. Point of Common Connection (Coupling)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$P_{st\ 99\%} = K_{120} K_{st} \frac{S_{ccf}}{S_{ccn}} \quad (2-3)$$

که K_{120} یک فاکتور بهره است. مقدار معمول برای این فاکتور $0/8$ است و آن برای به حساب آوردن این حقیقت که چشم انسان به فلیکر نور در لامپ‌های ملتهب ($120V, 60Hz$) حساسیت کمتری دارد، بکار می‌رود.

عیب اصلی تکنیک‌های حوزه فرکانس این است که این روش‌ها، خطا را به صورت‌هایی وارد محاسبات می‌کنند. برای مثال، استفاده از ضریب ثابت $0/8$ برای فاکتور بهره، خطا ایجاد می‌کند زیرا فرکانس فلیکر یک کوره قوس، ثابت نیست. همچنین K_{st} می‌تواند خیلی تغییر کند و تعیین مقدار درست آن دشوار است. استفاده از مقادیر فرضی برای این پارامترهای مهم، می‌تواند منجر به اختلافات قابل توجه بین سطوح P_{st} محاسبه شده و اندازه‌گیری شده شود.

۲-۲-۳) روش‌های حوزه زمان

روش‌های حوزه زمانی موجود که نوعاً برای مطالعات برنامه‌ریزی فلیکر بکار می‌روند [۲۹،۳۰]، قوس را بصورت یک منبع ولتاژ کنترل شده یا بصورت یک مقاومت غیرخطی مدل می‌کنند. روش‌های شبیه‌سازی تغییرات زمانی قوس شامل تغییرات زمانی سینوسی و تغییرات زمانی نویز سفید باند محدود^۱ (BLW) می‌باشند. تغییرات زمانی سینوسی توسط مدوله کردن یک پارامتر استاتیکی (مثلاً مقاومت قوس) با یک شکل موج سینوسی که فرکانس آن نزدیک به بدترین حالت فرکانس فلیکر است (یعنی فرکانسی که در آن چشم انسان حساسیت بیشتری نشان می‌دهد)، تولید می‌شود. معمولاً این فرکانس بین $8-10$ هرتز انتخاب می‌شود. تغییرات نویز سفید توسط اعمال یک تغییر تصادفی به یک مقدار مقاومت

1. Band Limited White noise

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

استاتیک تولید می‌شود. تغییرات زمانی سینوسی و تغییرات BLW، نتایجی تولید می‌کنند که بسیار متفاوت از هم می‌باشند حتی برای کوره‌های یکسان.

سایر مدل‌های حوزه زمان که قادر به پیش‌بینی فلیکر هستند و در مراجعی مانند [۳۱]، [۳۲] و [۳۳] ارائه شده‌اند، نیاز به داده‌های اندازه‌گیری شده یا آماری دارند که در طول مراحل طراحی یک پروژه در دسترس نمی‌باشند که این امر بهره‌وری آن‌ها را مشکل می‌سازد.

۳-۳) نیاز به روش دقیق‌تر برای شبیه‌سازی کوره قوسی

به علت خطایی که می‌تواند در هر دو روش محاسبات حوزه فرکانس و شبیه‌سازی حوزه زمان، وارد شود، تخمین‌های محافظه‌کارانه از پارامترهای مختلف کوره باید انجام شود. تخمین پارامتر محافظه‌کارانه، می‌تواند منجر به نقشه‌های سرویس‌دهی پرهزینه یا در برخی موارد خودداری از سرویس شود. همچنین مقادیری که برای پارامتر $P_{st} 99\%$ بدست می‌آیند اگر صحت کافی نداشته باشند، روش‌های کاهش و حذف فلیکر مناسب نمی‌توانند پیشنهاد شوند که این امر می‌تواند منجر به شکایات مشتریان شود. بنابراین نیاز به روشی دقیق‌تر برای شبیه‌سازی رفتار کوره قوس الکتریکی متصل به شبکه‌های قدرت، می‌باشد. در این بخش، یک روش شبیه‌سازی برای کوره قوس الکتریکی ارائه شده است که دارای دقت بالاتری نسبت به مدل‌های پیشنهادی پیشین است و می‌تواند برای مطالعات برنامه‌ریزی فلیکر با اطمینان بالاتر بکار رود.

۳-۴) توسعه مدل جدید EAF

از نظر ادراکی، یک مدل کوره قوس تلاش می‌کند تا طبیعت متغیر با زمان طول قوس را شبیه‌سازی کند. تغییر طول قوس مهم است از آنجا که آن، یکی از محدود متغیرهای قابل کنترل در یک کوره قوس واقعی است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ارتباط بین مقدار rms ولتاژ قوس و طول قوس بصورت رابطه (۳-۳) است [۳۴]:

$$e_{arc} = a + b \cdot l_{arc} \quad (3-3)$$

که:

e_{arc} : ولتاژ قوس بر حسب ولت است.

a : یک ثابت است (تقریباً ۴۰ ولت).

b : فاکتور بهره (3.9-11.8 v/cm)

l_{arc} : طول قوس (cm)

طبق رابطه (۳-۳)، طول قوس الکتریکی مطابق با تغییرات در ولتاژ قوس، تغییر می‌کند.

رابطه بین ولتاژ و جریان قوس خیلی پیچیده است با این وجود، از نظر ادراکی، تغییر در طول قوس

منجر به ایجاد تغییر در ولتاژ و جریان قوس خواهد شد. تغییرات در طول قوس، بطور طبیعی در طول

فرآیند ذوب کردن اتفاق می‌افتد. تغییرات تصادفی شدید در طول قوس موقعی اتفاق می‌افتد که فلز قراضه

از مسیر الکترودها خارج شود و برای لحظه‌ای فاصله بین دو الکتروود خالی شود. تغییرات تناوبی طول قوس

در نتیجه رفتار هیدرودینامیکی وان^۱ می‌باشد [۳۴]. موج‌های قوی در سطح وان که توسط نیروهای

الکترومغناطیسی تولید شده توسط جریان قوس ایجاد می‌شوند، تمایل به ایجاد تغییراتی در طول قوس

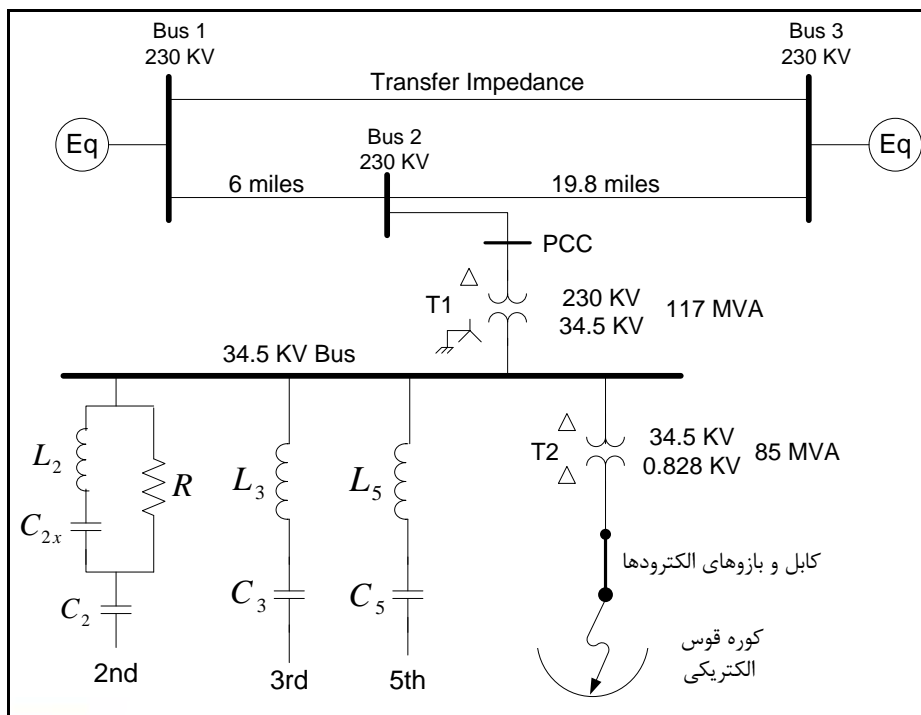
دارند که ذاتاً سینوسی هستند.

در این فصل، برای مدل نمودن کوره قوس الکتریکی، سیستم قدرتی که به یکی از باس‌های آن یک

کوره قوس الکتریکی نصب شده است را در نظر می‌گیریم و با مدل نمودن کوره قوس، به تحلیل سطح

فلیکر انتشار یافته در باس PCC می‌پردازیم. شکل (۳-۱) سیستم قدرت تحلیل شده را نشان می‌دهد:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۱-۳): دیاگرام تک خطی سیستم قدرت بررسی شده

مقادیر پارامترهای سیستم مورد نظر در جدول (۱-۳) ارائه شده‌اند:

جدول (۱-۳): پارامترهای سیستم شکل (۱-۳)

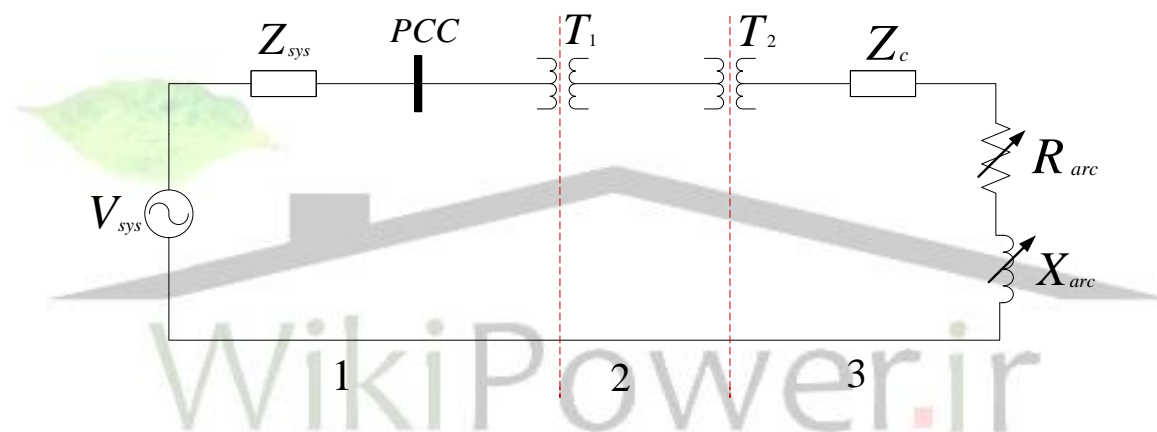
امپدانس	عنصر
$Z_1 = 0.35 + j4.26 \Omega$ $Z_0 = 1.95 + j8.33 \Omega$	سیستم معادل دیده شده از باس ۱
$Z_1 = 0.67 + j9.87 \Omega$ $Z_0 = 3.16 + j16.67 \Omega$	سیستم معادل دیده شده از باس ۳
$Z_1 = 0.43 + j4.50 \Omega$ $Z_0 = 3.44 + j12.54 \Omega$	خط انتقال ۱-۲
$Z_1 = 1.17 + j11.53 \Omega$ $Z_0 = 12.16 + j37.11 \Omega$	خط انتقال ۲-۳
$Z_1 = 6.41 + j46.87 \Omega$ $Z_0 = 2130.6 + j1870.3 \Omega$	امپدانس انتقال ۱-۳
$\frac{X}{R} = 10$, $Z_1 = Z_0 = 5\%$ در مقدار پایه،	ترانسفورماتور T_1
$\frac{X}{R} = 10$, $Z_1 = Z_0 = 1.94\%$ در مقدار پایه،	ترانسفورماتور T_2
$Z_1 = 0.0332 + j2.7 m\Omega$ $Z_0 = 2.6 + j24.0 m\Omega$	کابل و بازوهای الکتروودها
$L_2 = 49.3 mH$	فیلتر هارمونیک دوم

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

$C_2 = 49.91 \mu F$ $C_{2x} = 149.7 \mu F$ $R = 800 \Omega$	
$L_3 = 21 mH$ $C_3 = 37.67 \mu F$	فیلتر هارمونیک سوم
$L_5 = 11 mH$ $C_5 = 25.18 \mu F$	فیلتر هارمونیک پنجم

مدار معادل سیستم شکل (۱-۳)، با صرف نظر نمودن از امپدانس فیلترهای موجود در مدار، بصورت شکل

(۲-۳) می باشد:



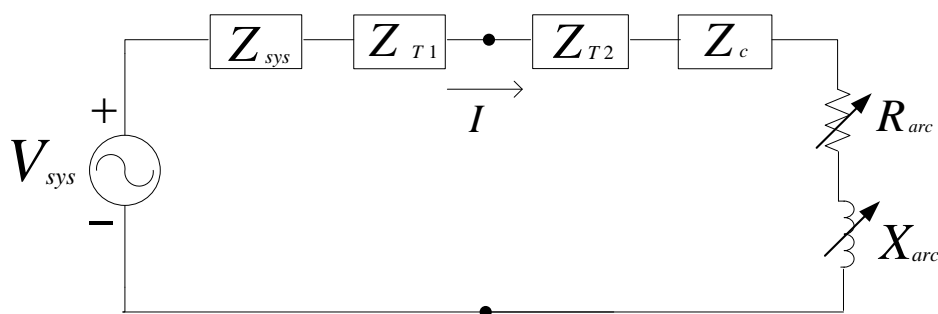
شکل (۲-۳): مدار معادل سیستم شکل (۱-۳)

برای تحلیل سیستم مورد نظر در حوزه پریونیت، این سیستم به ۳ ناحیه طبق شکل (۲-۳)

تقسیم بندی شده است. سیستم پریونیت مورد نظر با قرار دادن امپدانسهای Z_{T1} و Z_{T2} به جای

ترانسفورماتورهای مربوطه در شکل (۲-۳)، بصورت شکل (۳-۳) ارائه می گردد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۳-۳): مدار معادل نهایی سیستم شکل (۱-۳) در حوزه پریونیت

در مدار معادل‌نشان داده شده در شکل (۳-۳)، کوره قوس الکتریکی به صورت یک امپدانس متغیر با مقادیر مقاومت قوس و راکتانس قوس در حوزه پریونیت، به ترتیب برابر با R_{arc} و X_{arc} نشان داده شده است. همچنین در این شکل، Z_c امپدانس توالی مثبت پریونیت الکترودهای کوره، Z_{T1} امپدانس توالی مثبت پریونیت ترانسفورماتور کاهنده، Z_{T2} امپدانس توالی مثبت پریونیت ترانسفورماتور کوره و پارامترهای V_{sys} و Z_{sys} به ترتیب ولتاژ معادل و امپدانس معادل تونن توالی مثبت پریونیت سیستم، دیده شده از باس PCC می‌باشند.

حال برای تعیین پارامترهای مدار در سیستم پریونیت، مقادیر پایه را برای سه ناحیه مشخص شده در شکل فوق تعیین می‌کنیم.

$$S_b = 117 \text{ MVA} \quad (۴-۳)$$

$$V_{b1} = 230 \text{ KV} \quad (۵-۳)$$

$$I_{b1} = \frac{S_b}{\sqrt{3}V_{b1}} = 293.7 \text{ A} \quad (۶-۳)$$

$$Z_{b1} = \frac{V_{b1}}{\sqrt{3}I_{b1}} = 452.13 \Omega \quad (۷-۳)$$

$$V_{b2} = 34.5 \text{ KV} \quad (۸-۳)$$

$$I_{b2} = \frac{S_b}{\sqrt{3}V_{b2}} = 1958 \text{ A} \quad (۹-۳)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

$$Z_{b2} = \frac{V_{b2}}{\sqrt{3}I_{b2}} = 10.173 \Omega (10-3)$$

$$V_{b3} = 0.828 \text{ KV} (11-3)$$

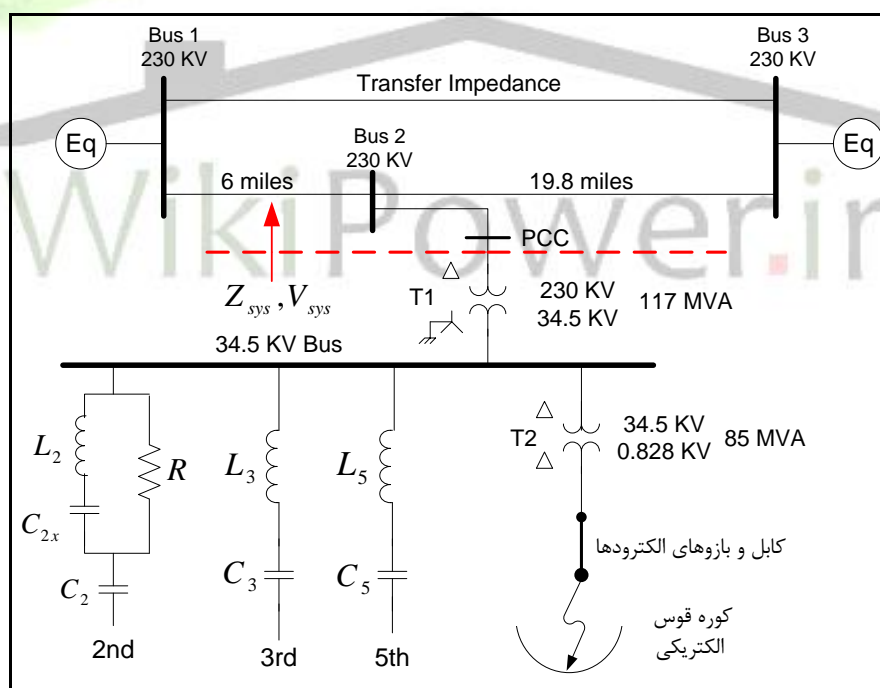
$$I_{b3} = \frac{S_b}{\sqrt{3}V_{b3}} = 81582.103 \text{ A} (12-3)$$

$$Z_{b3} = \frac{V_{b3}}{\sqrt{3}I_{b3}} = 0.00586 \Omega (13-3)$$

در ادامه پارامترهای مختلف نشان داده شده در شکل (۳-۳)، تعیین می‌شوند.

۳-۴-۱) تعیین Z_{sys} و V_{sys}

پارامتر Z_{sys} امپدانس معادل سیستم، دیده شده از نقطه PCC مطابق با شکل (۳-۴) می‌باشد.

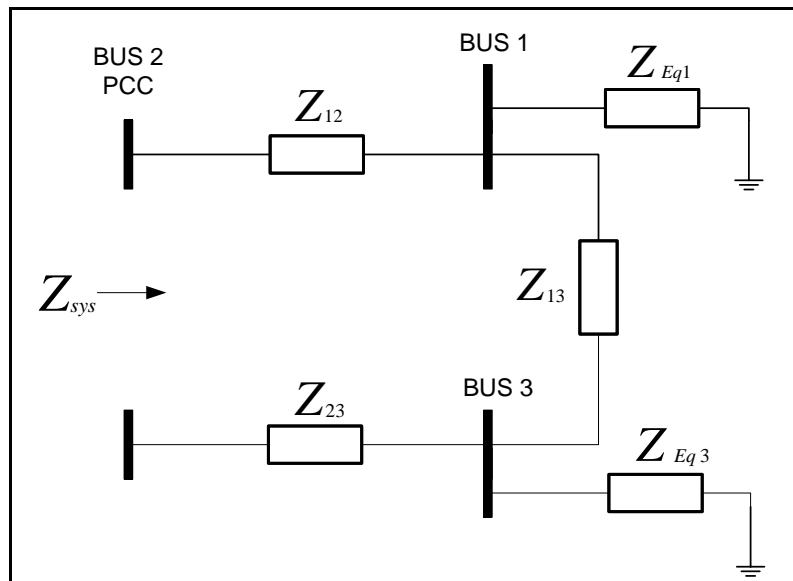


شکل (۳-۴): امپدانس معادل سیستم، دیده شده از نقطه PCC

طبق شکل (۳-۴)، مقدار امپدانس معادل تونن توالی مثبت پریونیت سیستم، دیده شده از نقطه PCC،

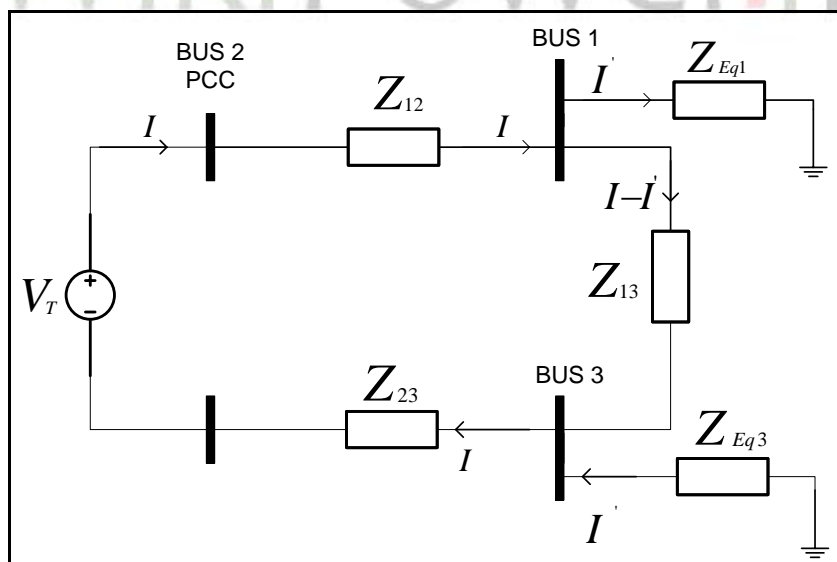
بصورت شکل (۳-۵) بدست می‌آید:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۳-۵): امپدانس معادل دیده شده از نقطه PCC

برای تعیین امپدانس معادل Z_{sys} ، منبع ولتاژ تست V_T را در دو سر مدار قرار داده و جریان گذرنده از آن (I) را طبق شکل (۳-۶) بدست می‌آوریم.



شکل (۳-۶): محاسبه امپدانس معادل دیده شده از نقطه PCC

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

روابط KVL را در مدار شکل (۳-۶) می‌نویسیم:

$$-V_T + Z_{12} \cdot I + Z_{13} \cdot (I - I') + Z_{23} \cdot I = 0 \quad (۱۴-۳)$$

$$-Z_{Eq1} \cdot I' + Z_{13} \cdot (I - I') - Z_{Eq3} \cdot I' = 0 \quad (۱۵-۳)$$

با استفاده از رابطه (۱۵-۳)، مقدار I' را بر حسب I نوشته و آن را در رابطه (۱۴-۳) قرار می‌دهیم.

$$I' = \frac{Z_{13}}{Z_{13} + Z_{Eq1} + Z_{Eq3}} \cdot I \quad (۱۶-۳)$$

$$Z_{sys} = \frac{V_T}{I} = Z_{12} + Z_{13} + Z_{23} - \frac{Z_{13}^2}{Z_{13} + Z_{Eq1} + Z_{Eq3}} \quad (۱۷-۳)$$

با قرار دادن مقدار پارامترهای Z_{12} ، Z_{13} ، Z_{23} ، Z_{Eq1} و Z_{Eq3} از جدول (۳-۱)، مقدار پارامتر Z_{sys} بصورت زیر بدست می‌آید:

$$Z_{sys} = 2.5452 + 26.8949i \Omega \quad (۱۸-۳)$$

همچنین مقدار پارامتر V_{sys} برابر با یک پریونیت می‌باشد.

$$Z_{sys} = 1 \text{ p.u.} \quad (۱۹-۳)$$

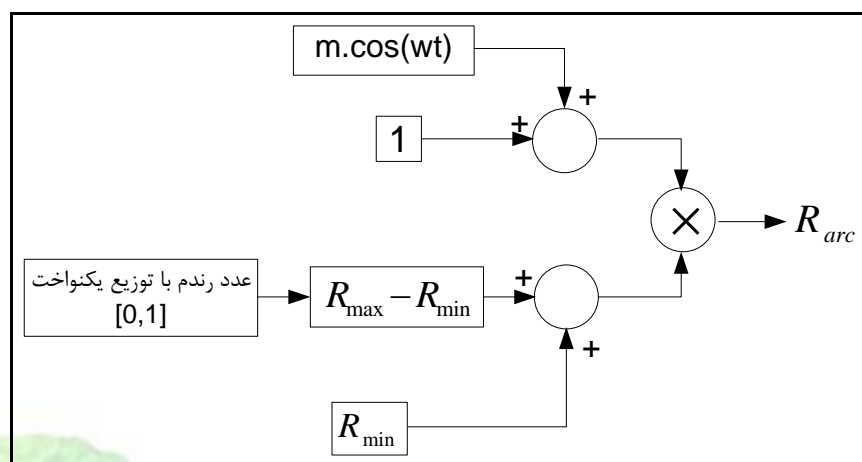
۳-۴-۲) تعیین R_{arc} و X_{arc}

مدل کوره قوسی بصورت یک امپدانس متغیر با زمان که هر دوی تغییرات تصادفی و متناوب را نشان می‌دهد تحقق پیدا می‌کند. بدلیل اینکه جابجایی فلز یک حادثه تصادفی است که احتمال رخ دادن هر نتیجه‌ای در آینده وجود دارد، مقدار امپدانس قوس در کوره قوسی را با در نظر گرفتن یک مولد اعداد تصادفی^۱ با توزیع یکنواخت مدل می‌کنیم. با استفاده از یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت، مقاومت قوس بین مقدار R_{min} (مقاومت قوس مینیمم مطابق با طول قوس مینیمم) و مقدار R_{max} (مقاومت قوس

1. Random Generator

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ماکزیمم مطابق با طول قوس ماکزیمم) تغییر می‌کند. پس مقدار منتجه، دامنه مدوله شده با یک موج سینوسی با فرکانس و دامنه ثابت است. بلوک دیاگرام بر فاز مدل مقاومت قوس در شکل (۷-۳) نشان داده شده است.



شکل (۷-۳): بلوک دیاگرام بر فاز برای تعیین مقاومت متغیر قوس

ورودی‌های مدل فوق عبارتند از: R_{max} ، R_{min} ، m و w .

۳-۴-۲-۱) تعیین R_{max} و R_{min}

برای تعیین مقادیر پارامترهای R_{max} و R_{min} ، روندی مطابق زیر را طی می‌کنیم:

برای یک مقاومت قوس داده شده، راکتانس معادل قوس در فرکانس قدرت با استفاده از رابطه زیر

تخمین زده می‌شود [۳۵]:

$$X_{arc} = X_1 \left[\sqrt{1 + \left(\frac{R_{arc}}{X_1} \right)^2} - 1 \right] \quad (۲۰-۳)$$

که:

X_{arc} : راکتانس معادل قوس (Ω)

R_{arc} : مقاومت قوس

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

X_1 : راکتانس معادل تونن توالی مثبت سیستم است که از الکترودهای کوره دیده می‌شود. با توجه به شکل (۳-۳)، این پارامتر با استفاده از رابطه (۳-۲۱) بدست می‌آید:

$$X_1 = \text{Im}(\bar{Z}_{sys} + \bar{Z}_{T1} + \bar{Z}_{T2} + \bar{Z}_c) \quad (۳-۲۱)$$

توان پریونیت ورودی به کوره (P_f) برای یک امپدانس قوس داده شده، با استفاده از روابط (۳-۲۲) تا (۳-۲۴) محاسبه می‌شود. معمولاً این مقدار، همانطور که از ترمینال‌های سمت فشار قوی ترانس کوره دیده می‌شود، محاسبه می‌گردد [۳۵].

$$\bar{I} = \frac{\bar{V}_{sys}}{\bar{Z}_{sys} + \bar{Z}_{T1} + \bar{Z}_{T2} + \bar{Z}_{arc} + \bar{Z}_c} \quad (۳-۲۲)$$

$$\bar{V}_{T2} = \bar{V}_{sys} - \bar{I}(\bar{Z}_{sys} + \bar{Z}_{T1}) \quad (۳-۲۳)$$

$$P_f = \text{Re}(\bar{V}_{T2} \cdot \bar{I}^*) \quad (۳-۲۴)$$

همچنین ضریب توان ورودی کوره نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$pf = \frac{P_f}{|\bar{V}_{T2} \cdot \bar{I}^*|} \quad (۳-۲۵)$$

برای تعیین R_{min} و R_{max} ، ما باید رابطه بین توان ورودی کوره و ضریب توان را برای مقادیر مختلف از امپدانس قوس بدانیم. منحنی‌ایی که رابطه بین این دو پارامتر را نشان می‌دهد با تکرار مراحل زیر بدست می‌آید:

۱- یک مقدار اولیه برای مقاومت قوس حدس بزنید (برای مثال $R_{arc} = 0$).

۲- با استفاده از روابط (۳-۲۰) و (۳-۲۱)، راکتانس معادل قوس را محاسبه کنید.

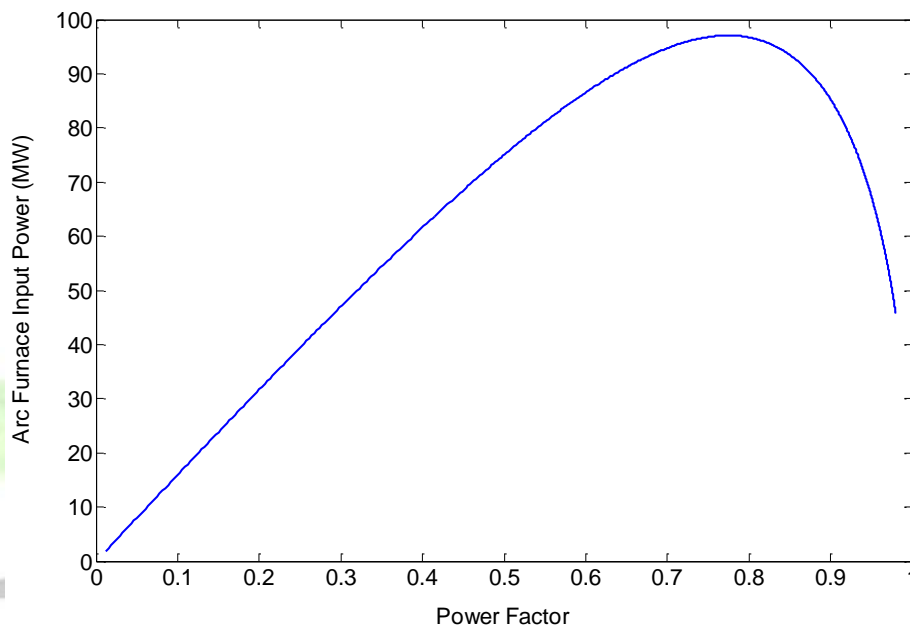
۳- با استفاده از روابط (۳-۲۲) الی (۳-۲۵)، توان پریونیت ورودی به کوره (P_f) و ضریب توان ورودی کوره (pf) را محاسبه کنید.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۴- R_{arc} را افزایش دهید و به مرحله ۲ برگردید.

این فرآیند تا موقعی که به ضریب توان ماکزیمم برسیم ادامه می‌یابد. معمولاً این مقدار بین ۰/۹ و ۰/۹۵ است.

منحنی توان کوره برای سیستم نشان داده شده در شکل (۱-۳)، در شکل (۸-۳) ارائه شده است.

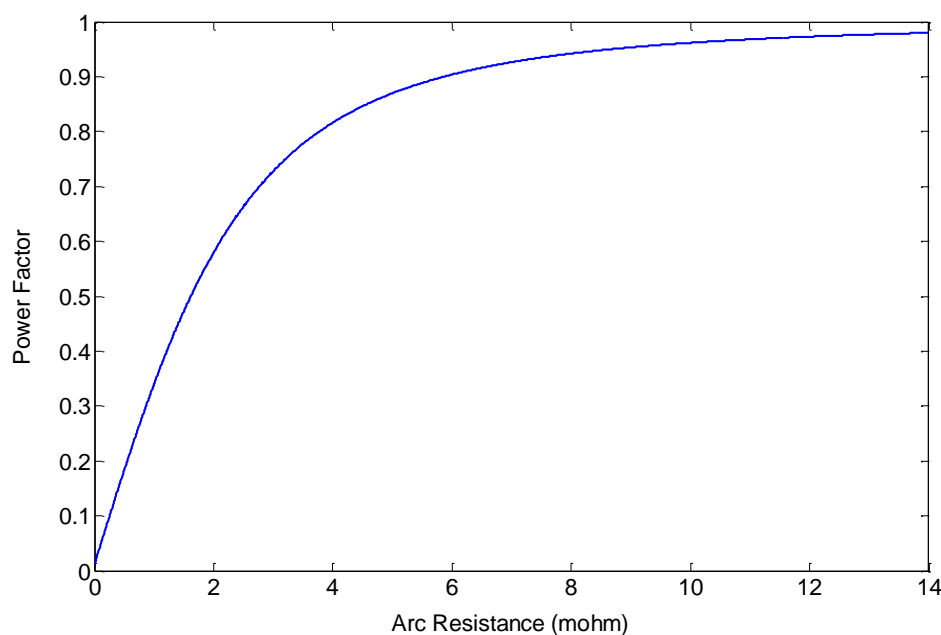


شکل (۸-۳): منحنی توان محاسبه شده ورودی به کوره نسبت به ضریب توان ورودی کوره

همچنین منحنی ضریب توان ورودی کوره به صورت تابعی از مقاومت قوس که شامل اطلاعات بسیار

مهمی در مدل پیشنهادی است در شکل (۹-۳) نشان داده شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۳-۹): منحنی ضریب توان ورودی کوره نسبت به مقاومت قوس

از آنجا که مقاومت قوس در ضریب توان‌های خیلی نزدیک به یک، ناپایدار است [۳۵]، با در نظر گرفتن ضریب توان کوره در محدوده ۰/۱ و حدود ۰/۹۵، طبق شکل (۳-۹)، مقاومت قوس در این بازه، در حدود $R_{min} \approx 0.5 \text{ m}\Omega$ به ازای ضریب توان ۰/۱ و $R_{max} \approx 10 \text{ m}\Omega$ به ازای ضریب توان ۰/۹۵ بدست می‌آید. این مقادیر می‌توانند برای همه فازهای مدل کوره قوس الکتریکی استفاده شوند.

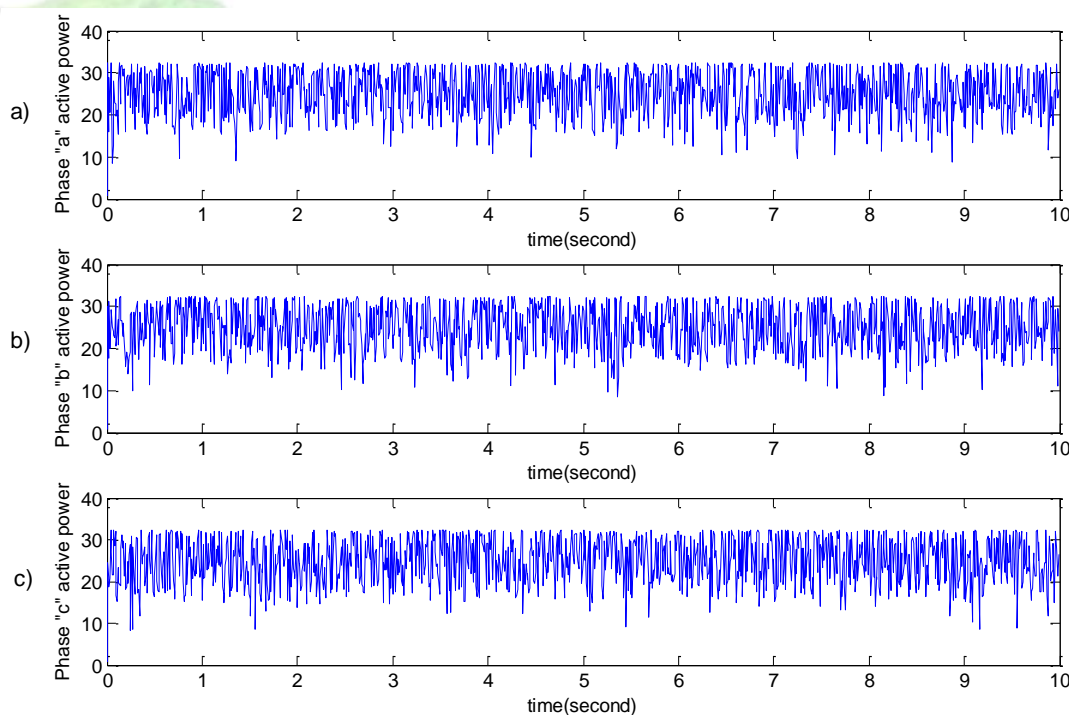
۳-۴-۲-۲ تعیین w و m

فاکتور مدولاسیون m و فرکانس مدولاسیون w نمی‌توانند بدون داده‌های اندازه‌گیری شده، تعیین شوند [۳۵] اما این مقادیر به صورت تجربی برای شبیه‌سازی کوره قوس بکار می‌روند. مقادیر نمونه m و w که منجر به نتایج عالی برای دو کوره متفاوت در سیستم کمپانی جنوبی در ایالات متحده شده اند به ترتیب ۰.۲ و $(20\pi \frac{rad}{s})$ می‌باشند [۳۵]. در شبیه‌سازی کوره قوس در این پایان‌نامه نیز این مقادیر بکار رفته‌اند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

بنابراین برای شبیه‌سازی کوره قوس الکتریکی، ابتدا مقدار مقاومت قوس طبق بلوک دیاگرام شکل (۷-۳) بصورت لحظه به لحظه (با تغییر در هر نیم سیکل) بدست می‌آید. سپس با استفاده از رابطه (۳-۲۰) راکتانس قوس بصورت لحظه به لحظه و به ازای هر یک از مقادیر مقاومت قوس، بدست می‌آید. با بدست آمدن امپدانس لحظه‌ای قوس و با مشخص بودن سایر پارامترهای سیستم قدرت، رفتار سیستم در حالت اتصال یک کوره قوس الکتریکی به یکی از باس‌های سیستم، شبیه‌سازی می‌شود. بدین صورت سیستم قدرت نشان داده شده در شکل (۱-۳) شبیه‌سازی شده است.

در شکل (۳-۱۰) توان اکتیو ورودی به کوره قوس الکتریکی ۳ فاز، از طریق فازهای a ، b و c به مدت زمان ۱۰ ثانیه نشان داده شده است.



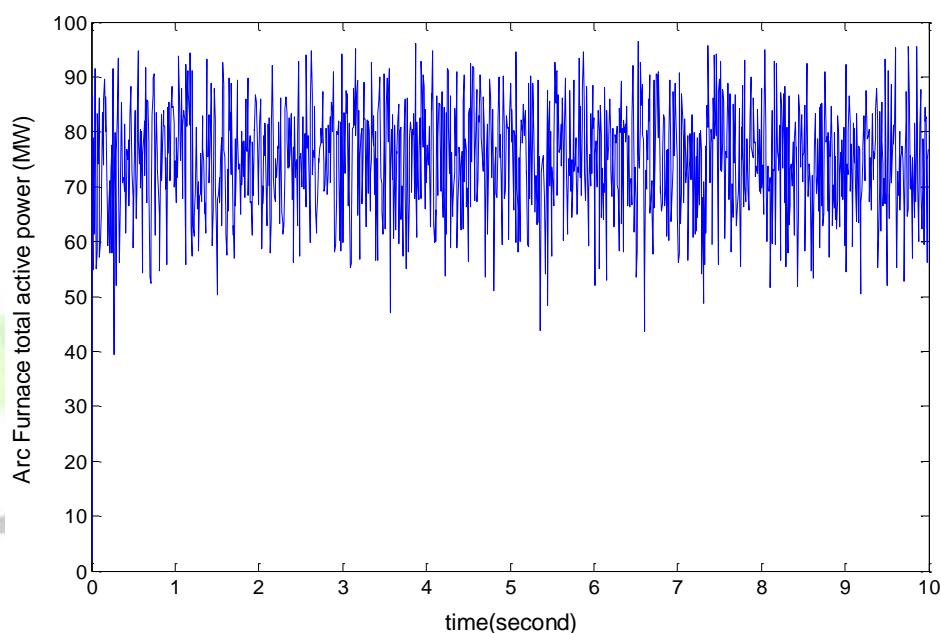
شکل (۳-۱۰): توان اکتیو ورودی به کوره از طریق فاز a

b): توان اکتیو ورودی به کوره از طریق فاز b

c): توان اکتیو ورودی به کوره از طریق فاز c

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

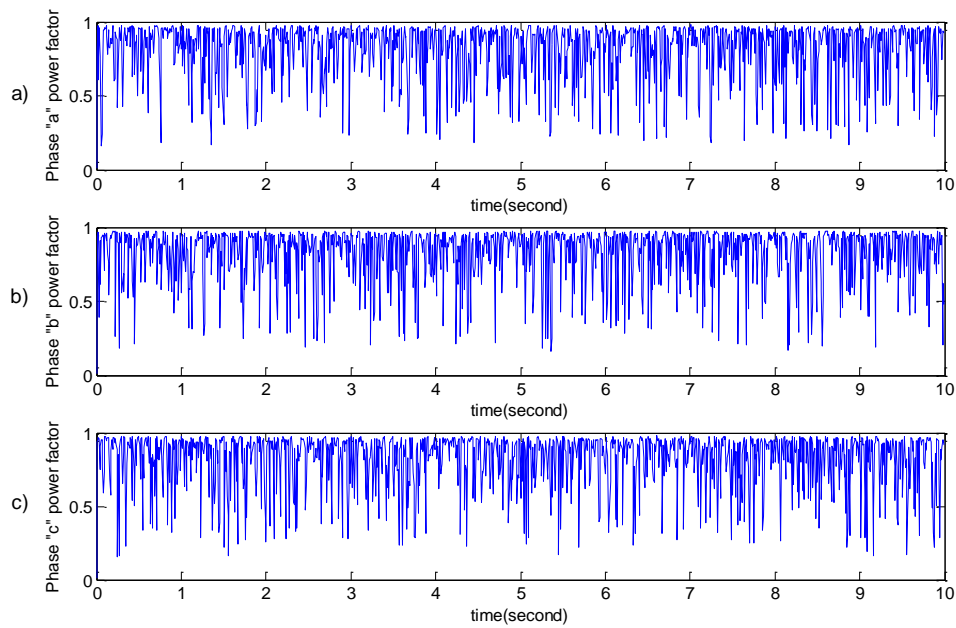
همانطور که از شکل (۳-۱۰) مشخص است توان ورودی به کوره قوس الکتریکی، دارای نوسانات شدید در هر سه فاز است. در نتیجه توان کل ورودی به کوره نیز دارای نوسانات شدید خواهد بود. شکل (۳-۱۱) منحنی توان اکتیو کل ورودی به کوره قوس الکتریکی سیستم شکل (۳-۱) را برای مدت زمان ۱۰ ثانیه نشان می‌دهد.



شکل (۳-۱۱): منحنی توان اکتیو کل ورودی به کوره قوس الکتریکی سیستم شکل (۳-۱)

همچنین ضریب توان الکتریکی ورودی به کوره قوس که دارای تغییرات زیاد است در شکل (۳-۱۲) برای هر ۳ فاز نشان داده شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



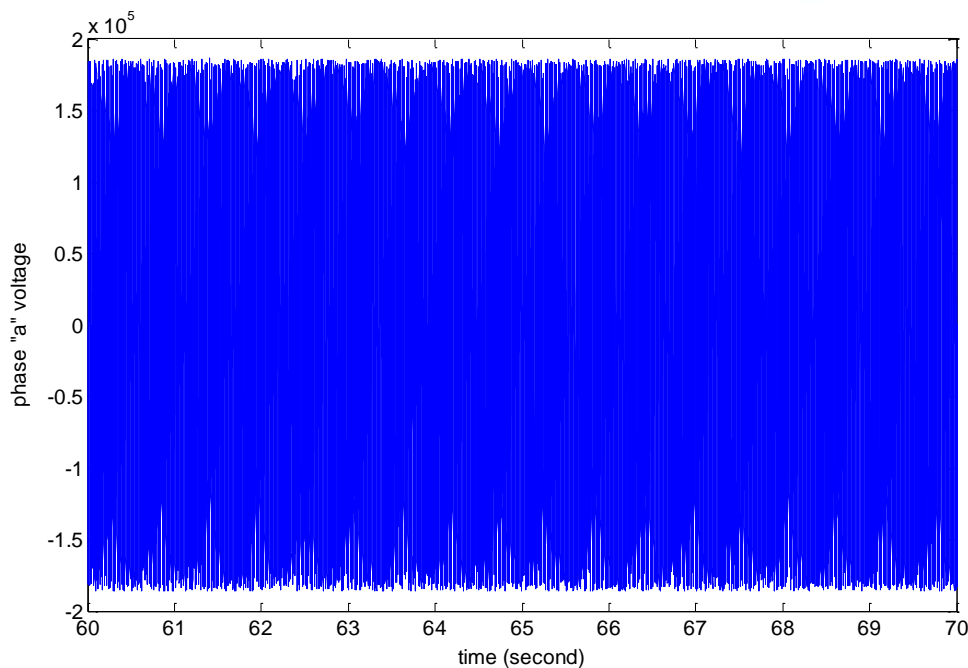
شکل (۳-۱۲): ضریب توان ورودی به کوره از طریق فاز a

b : ضریب توان ورودی به کوره از طریق فاز

c : ضریب توان ورودی به کوره از طریق فاز

شکل موج ولتاژ فاز a که در باس ۲ (نقطه PCC) در سیستم قدرت شکل (۳-۱) اندازه‌گیری شده

است در شکل (۳-۱۳) نشان داده شده است.

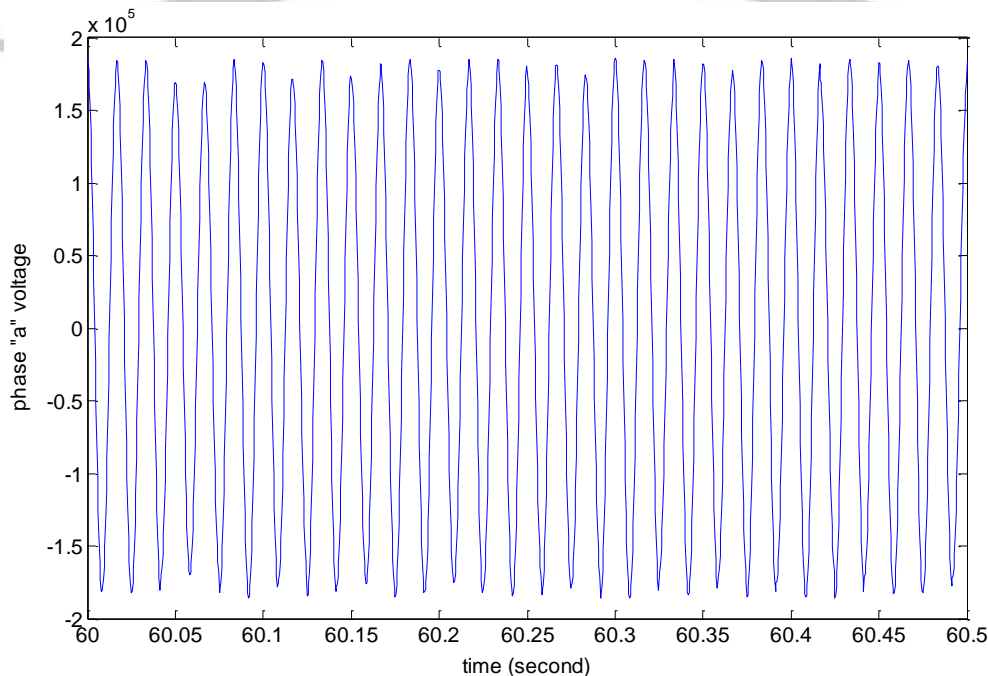


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۳-۱۳): شکل موج ولتاژ فاز a در نقطه PCC از سیستم قدرت شکل (۳-۱)

همانطور که از شکل (۳-۱۳) مشخص است شکل موج ولتاژ در PCC دارای پوش صاف نمی‌باشد و نوسانات دامنه ولتاژ (فلیکر) از این شکل کاملاً مشخص می‌باشد.

برای وضوح بیشتر نوسانات فلیکر در شکل موج ولتاژ، بزرگ‌نمایی شکل (۳-۱۳) در بازه زمانی ۰/۵ ثانیه‌ای از ۶۰ ثانیه تا ۶۰/۵ ثانیه در شکل (۳-۱۴) آورده شده است.



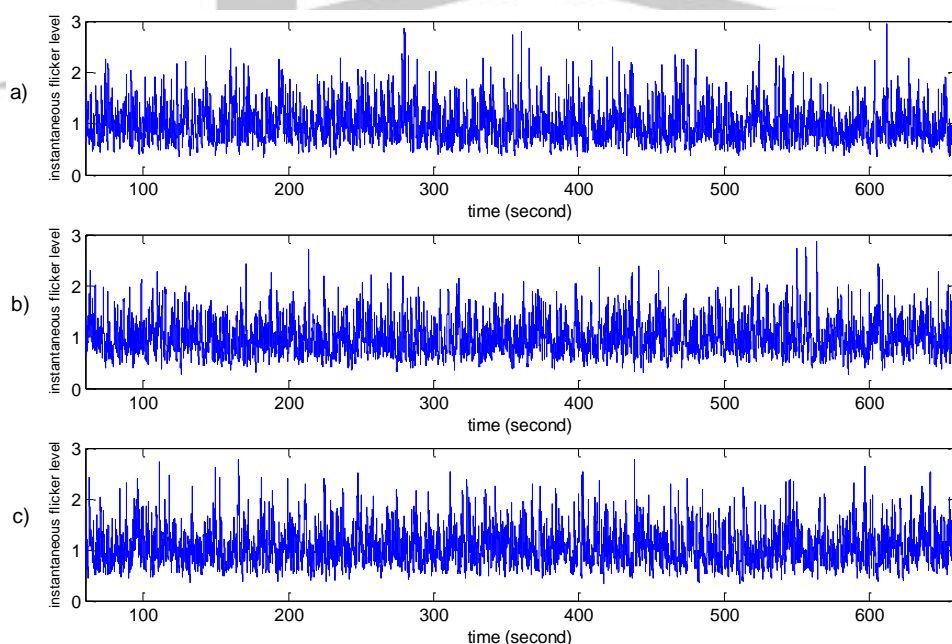
شکل (۳-۱۴): شکل موج ولتاژ فاز a در نقطه PCC سیستم قدرت شکل (۳-۱) در بازه زمانی [۶۰ ۶۰/۵]

ثانیه

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در نهایت، برای تعیین شدت نوسانات فلیکر ناشی از کارکرد کوره قوس الکتریکی در نقطه PCC سیستم قدرت شکل (۱-۳) و برای بیان کمی شدت این نوسانات در هر یک از فازهای سیستم قدرت ۳ فاز ذکر شده، ولتاژ اندازه‌گیری شده در هر یک از فازهای سیستم قدرت در نقطه PCC، بصورت جداگانه به عنوان ورودی‌هایی برای دستگاه فلیکرمتر معرفی و شبیه‌سازی شده در فصل دوم، در نظر گرفته شده و به آن اعمال می‌شوند.

شکل (۱۵-۳) سطوح فلیکر لحظه‌ای ولتاژ که همان خروجی بلوک ۴ دستگاه فلیکرمتر می‌باشند را برای هر سه فاز در نقطه PCC در مدت زمان ۱۰ دقیقه‌ای شبیه‌سازی نشان می‌دهد.



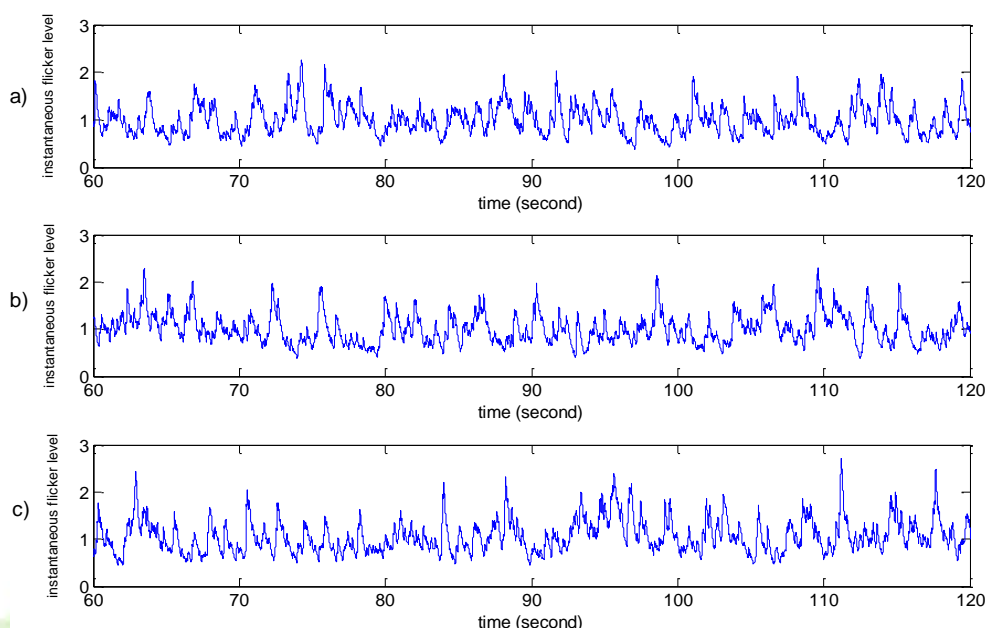
شکل (۱۵-۳): (a): سطوح فلیکر لحظه‌ای ولتاژ فاز *a* در نقطه PCC سیستم قدرت شکل (۱-۳)

(b): سطوح فلیکر لحظه‌ای ولتاژ فاز *b* در نقطه PCC سیستم قدرت شکل (۱-۳)

(c): سطوح فلیکر لحظه‌ای ولتاژ فاز *c* در نقطه PCC سیستم قدرت شکل (۱-۳)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

بزرگ‌نمایی شکل (۳-۱۵) برای مدت زمان ۱ دقیقه در شکل (۳-۱۶) نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۶): سطوح فلیکر لحظه‌ای ولتاژ فازهای a ، b و c در نقطه PCC سیستم قدرت شکل (۳-۱) برای مدت زمان یک دقیقه

در سال‌های اخیر، به جای استفاده از معیار P_{st} (خروجی بلوک ۵ فلیکر متر استاندارد) برای بیان شدت نوسانات فلیکر به صورت کمی، اغلب از معیار دیگری با عنوان $P_{st,99\%}$ استفاده شده است. $P_{st,99\%}$ سطح فلیکری می‌باشد که ۹۹ درصد از مقادیر سطوح لحظه‌ای فلیکر اندازه‌گیری شده در مدت زمان شبیه‌سازی، از این مقدار کمتر می‌باشند و تنها ۱ درصد از مقادیر سطوح لحظه‌ای فلیکر از این مقدار بیشتر هستند (به دلیل موارد خاصی که ممکن است در شبکه قدرت پیش آید و سطح ولتاژ شبکه را تحت تأثیر قرار دهد از احتمال وقوع فلیکر تا حد ۱ درصد بیش از مقدار مجاز، صرف نظر می‌شود).

پس از تعیین سطوح لحظه‌ای فلیکر در سیستم قدرت شکل (۳-۱) برای هر سه فاز، این مقادیر مورد تحلیل آماری قرار گرفته و مقادیر $P_{st,99\%}$ برای هر سه فاز بصورت زیر بدست آمده‌اند.

$$P_{st,99\%,a} = 2.0095 \quad (۳-۲۶)$$

$$P_{st,99\%,b} = 1.91094 \quad (۳-۲۷)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$P_{st,99\%,c} = 2.063 \quad (28-3)$$

مقدار ماکزیمم مجاز برای پارامتر $P_{st,99\%}$ مقدار یک می‌باشد. همانطور که از روابط فوق مشاهده می‌گردد مقدار این پارامتر در هر سه فاز سیستم قدرت از مقدار مجاز تجاوز کرده است و این امر نشان‌دهنده انتشار فلیکر بیش از حد مجاز از طرف کوره قوس الکتریکی می‌باشد. همچنین شدید بودن فلیکر ولتاژ در نقطه PCC از شکل‌های (۱۵-۳) و (۱۶-۳) و نیز سطح ولتاژ در شکل (۱۳-۳) و (۱۴-۳) مشخص است.

۵-۳ خلاصه فصل سوم

از آنجا که کوره قوس الکتریکی یکی از اصلی‌ترین بارهای ایجاد فلیکر در شبکه‌های قدرت است، بدلیل رشد استفاده از این تجهیز در شبکه‌های قدرت، بررسی انتشار فلیکر ناشی از این تجهیز در شبکه‌های قدرت، روز به روز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. چون رفتار کوره قوس الکتریکی تصادفی است و همچنین بستگی به شرایط شبکه نیز دارد ارائه مدلی دقیق بر پایه اصول ریاضی برای این تجهیز امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین برای بررسی هر چه دقیق‌تر رفتار کوره قوس، باید مدلی از این تجهیز ارائه شود که تا حد امکان با مقادیر اندازه‌گیری شده از کوره قوس واقعی در شبکه، همخوانی داشته باشد. در این فصل به بررسی و شبیه‌سازی جدیدترین مدل ارائه شده برای کوره قوس الکتریکی پرداخته شد. در این مدل، کوره قوس بصورت یک امپدانس متغیر که مقادیر مقاومت و راکتانس آن در هر نیم سیکل تغییر می‌کنند ارائه شد. سپس، سیستم قدرتی که یک کوره قوس الکتریکی به یک باس آن اتصال یافته بود شبیه‌سازی شد و با اندازه‌گیری سطوح انتشار فلیکر در آن باس (باس PCC)، به تحلیل فلیکر این تجهیز پرداخته شد و انتشار فلیکر بیش از حد مجاز ناشی از کوره قوس، با محاسبه معیار $P_{st,99\%}$ و سطوح فلیکر لحظه‌ای تأیید شد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فصل چهارم: تحلیل فلیکر ولتاژ توربین‌های بادی متصل شده به شبکه‌های قدرت و حذف آن



در سال‌های اخیر به علت رشد تولیدات توان باد در شبکه‌های قدرت، توجه به مسأله کیفیت توان این نوع از تولیدات پراکنده، اهمیت خاصی پیدا کرده است. یکی از مسائل و مشکلات مهم مرتبط با کارکرد توربین‌های بادی اتصال یافته به شبکه‌های قدرت، مسأله نوسانات ولتاژ و فلیکر در باس‌ها بویژه در نقطه اتصال این تولیدات به شبکه می‌باشد. انتشار زیاد سطوح فلیکر ناشی از توربین‌های بادی در شبکه‌های قدرت، بویژه در شبکه‌های قدرت ضعیف، بحث درباره این موضوع را در سال‌های اخیر بیشتر نموده است. در این فصل به بررسی فلیکر ناشی از اتصال مزارع بادی به شبکه‌های قدرت پرداخته خواهد شد. ابتدا مختصری درباره توربین‌های بادی و انواع آن‌ها از لحاظ سیستم‌های الکتریکی بکار رفته در ساختمان آن‌ها بحث می‌شود. سپس به تغییرات ولتاژ و فلیکر ناشی از اتصال توربین‌های بادی به شبکه‌های قدرت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

پرداخته می‌شود. دو نوع مدل برای شبیه‌سازی باد معرفی می‌گردد. سپس روش اندازه‌گیری فلیکر ناشی از توربین‌های بادی اتصال یافته به شبکه، طبق استاندارد بررسی می‌گردد. در نهایت، سیستم‌های قدرت شبیه‌سازی شده و نتایج آن‌ها و همچنین روش‌های بکار برده شده برای حذف فلیکر در این سیستم‌ها، ارائه خواهند شد.

۴-۱) توربین‌های بادی

در گذشته توان باد به منظور حرکت دادن کشتی‌ها استفاده می‌شده است. اولین توربین بادی انگلیسی ثبت شده به حدود سال ۱۱۹۱ میلادی بر می‌گردد. اولین توربین آسیاب بادی در سال ۱۴۳۹ میلادی در کشور هلند ساخته شد. همچنین دانمارک اولین کشوری بود که از توربین بادی برای تولید جریان الکتریسته استفاده نمود و در سال ۱۸۹۰ میلادی، یک توربین بادی با قطر ۲۳ متر برای این هدف بکار گرفت و تا سال ۱۹۱۰ چند صد واحد توربین بادی با ظرفیتی بین ۵ تا ۲۵ کیلووات در دانمارک ایجاد شدند [۳۶].

از اواسط دهه ۱۹۷۰ میلادی، علاقه زیادی به سمت منابع انرژی تجدیدپذیر به علت دغدغه‌های ناشی از اثرات نامطلوب محیطی منابع انرژی فسیلی، بوجود آمد. تکنولوژی توربین بادی طی ۳۵ سال اخیر به بلوغ رسید [۳۶].

توربین‌های بادی توان را بوسیله تبدیل انرژی جنبشی باد به توان چرخشی مکانیکی، تولید می‌کنند. توربین‌های بادی بیشتر متداول، توربین‌های با محور افقی با دو یا سه تیغه قرار گرفته در بالای برج می‌باشند. توان ناشی از باد در یک ناحیه با مساحت A و عمود بر سرعت باد، توسط رابطه (۴-۱) تعیین می‌شود [۳۶]:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (1-4)$$

که P توان باد (W)، ρ چگالی باد (kg/m^3) و v سرعت باد (m/s) است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

اصول و قواعد مکانیکی، الکتریکی و رفتار آیرودینامیکی توربین‌های بادی، ۳ جنبه مهم برای توربین‌های بادی هستند. در ادامه، مختصری درباره توربین‌های بادی و انواع آن‌ها از نظر بحث کنترلی و الکتریکی بحث می‌شود و سپس به بررسی بحث اصلی پایان‌نامه یعنی انتشار فلیکر از توربین‌های بادی پرداخته می‌شود.

۴-۲) سیستم‌های الکتریکی در توربین‌های بادی

سیستم‌های الکتریکی در ژنراتورهای توربین‌های بادی می‌توانند به دو گروه اصلی تقسیم شوند: سرعت ثابت و سرعت متغیر. توربین‌های بادی سرعت ثابت با یک ژنراتور که مستقیماً به شبکه وصل شده است تجهیز شده‌اند. مزیت اصلی یک توربین بادی سرعت ثابت، سادگی و قیمت پایین سیستم الکتریکی بکاررفته در آن می‌باشد.

توربین‌های بادی سرعت متغیر با یک مبدل تجهیز شده‌اند که این اجازه را می‌دهد که فرکانس ژنراتور از فرکانس شبکه متفاوت باشد. مزیت استفاده از توربین‌های بادی از نوع سرعت متغیر، بهبود کیفیت توان، کاهش نویز و کاهش تنش‌های مکانیکی بر روی توربین بادی می‌باشد.

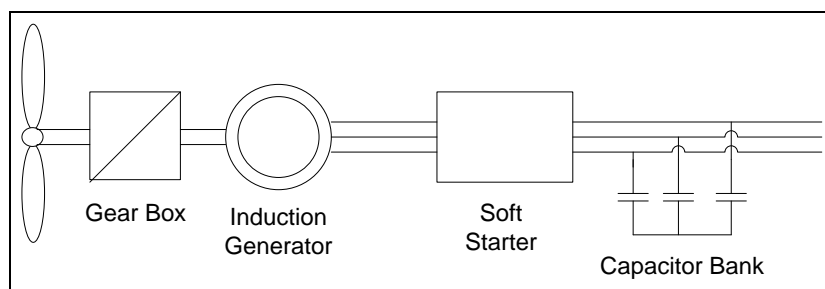
۴-۲-۱) توربین‌های بادی سرعت ثابت

تقریباً همه سازندگان توربین‌های بادی سرعت ثابت، از ژنراتورهای القایی مستقیماً وصل شده به شبکه استفاده می‌کنند. از آنجا که فرکانس شبکه ثابت است، سرعت توربین توسط نسبت گیربکس و نیز توسط تعداد قطب‌ها در ژنراتور تعیین می‌شود. برای افزایش تولید توان، برخی از توربین‌های بادی سرعت ثابت، با یک ژنراتور چند سیم‌پیچ تجهیز شده‌اند، بنابراین می‌توانند در سرعت‌های مختلف بکار روند. برای جلوگیری از جریان هجومی زیاد، یک راه‌انداز مقاومتی^۱ برای محدود کردن جریان در طول بازه راه‌اندازی

1. Soft Starter

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

بکار رفته است. در شکل (۱-۴)، یک طرحواره از سیستم الکتریکی یک توربین بادی سرعت ثابت نشان داده شده است [۳۶]:



شکل (۱-۴): مدل طرحواره سیستم الکتریکی یک توربین بادی با سرعت ثابت

ژنراتور القایی مزایایی مانند قیمت پایین و تحمل اضافه بار را دارد. عیب اصلی آن، غیر قابل کنترل بودن مصرف توان راکتیو در ژنراتور القایی است. برای جبران توان راکتیو مصرفی، بانک‌های خازنی موازی بکار رفته‌اند.

عیب دیگر این سیستم‌ها، نوسانات (جهش) توان نشأت گرفته از شیب باد و اثرات سایه برج می‌باشد.

۲-۲-۴) توربین بادی سرعت متغیر

سیستم الکتریکی این نوع از توربین‌های بادی دارای پیچیدگی بیشتری است. کارکرد سرعت متغیر یک توربین بادی، می‌تواند به روش‌های مختلف بدست آید و چند نوع سیستم الکتریکی مختلف برای رنج‌های وسیع یا کم سرعت بکار رفته‌اند. با کنترل مناسب، همه انواع سیستم‌های سرعت متغیر، می‌توانند نوسانات توان ناشی از اثر سایه برج و تغییر سرعت باد را کاهش دهند.

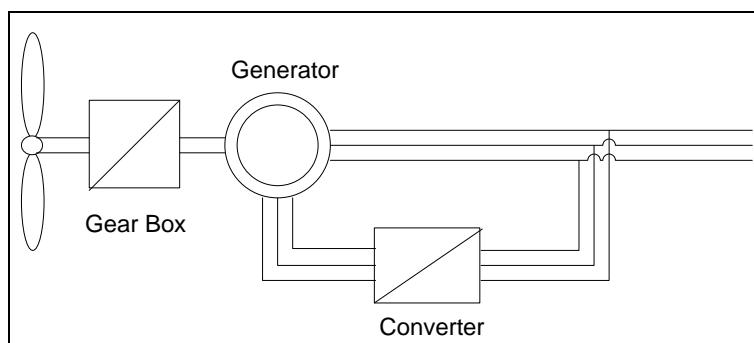
امکان کاهش نوسانات توان، یکی از مزایای این نوع از توربین‌های بادی است. از عیب‌های آن نیز

می‌توان به غیر قابل کنترل بودن مصرف توان راکتیو اشاره نمود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۴-۲-۲-۱) رنج سرعت کم

برای رنج سرعت کم، یک ژنراتور القایی از دو سو تغذیه با یک مبدل اتصال یافته به مدار روتور می‌تواند بکار رود. مدل طرحواره‌ای سیستم مورد نظر در شکل (۴-۲) نشان داده شده است [۳۶].



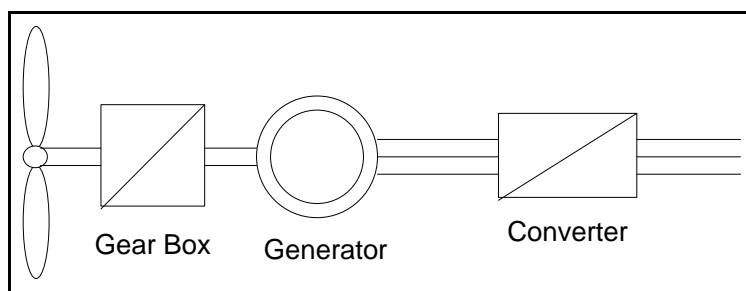
شکل (۴-۲): مدل طرحواره‌ای سیستم الکتریکی یک توربین بادی سرعت متغیر مجهز شده با یک ژنراتور القایی از دو سو تغذیه با یک مبدل اتصال یافته به مدار روتور

۴-۲-۲-۲) رنج سرعت وسیع

سیستم‌های سرعت متغیر با رنج وسیع، با یک مبدل فرکانس تجهیز شده‌اند. در چنین سیستمی، جریان متناوب از ژنراتور، ابتدا نیاز دارد که یکسو شود و سپس قبل از تزریق به شبکه، به جریان متناوب تبدیل شود. بنابراین، سیستم الکتریکی باید، شامل سه بخش اساسی باشد: ژنراتور، یکسوساز و اینورتر. انتخاب این سه بخش اصلی، می‌تواند به دو انتخاب تقریباً مستقل تقسیم شود. ژنراتور و یکسوساز باید بصورت ترکیبی انتخاب شوند و اینورتر تقریباً می‌تواند بصورت مستقل از ژنراتور و یکسوساز بکاررفته، انتخاب شود. برخی از سیستم‌های سرعت متغیر رنج وسیع، هیچ گیربکسی ندارند. سیستم‌های بدون گیربکس، معمولاً یک ژنراتور چندقطبی با یک قطر بزرگ دارند. ژنراتور می‌تواند از نوع تحریک شونده با جریان الکتریکی یا از نوع ژنراتور سنکرون با تحریک دائم مغناطیسی باشد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

وقتی بحث کیفیت توان در این سیستم‌ها پیش می‌آید اینورتر بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. در شکل (۳-۴) یک مدل طرحواره‌ای از یک توربین بادی سرعت متغیر مجهز شده با یک مبدل نشان داده شده است. مبدل شامل یک یکسوساز و یک اینورتر می‌باشد [۳۶].



شکل (۳-۴): مدل طرحواره‌ای از یک سیستم الکتریکی یک توربین بادی سرعت متغیر مجهز شده

با یک مبدل

۳-۴) کیفیت توان توربین‌های بادی

حوزه کیفیت توان بسیار وسیع است و شاخه‌های زیادی دارد که درباره مشکلات مختلف و نتایج آن‌ها بحث می‌کند. هر وسیله‌ای که به شبکه الکتریکی نصب می‌شود باید نیازمندی‌های کیفیت توان بیان شده در استانداردها را برآورده نماید. این، به دلیل این است که تضمین شود که شبکه الکتریکی، در مقابل اغتشاشات ناخواسته، حفاظت می‌شود. بنابراین، وسیله اتصال یافته، با پارامترهای الکتریکی در حد مجاز به شبکه اتصال یافته است. برخی مثال‌ها درباره مشکلاتی که در حوزه استانداردهای کیفیت توان بحث می‌شوند سطح ولتاژ استاتیکی، نوسانات ولتاژ، گذراهای ولتاژ، اعوجاج هارمونیک ولتاژ، نامتعادلی ولتاژ و اغتشاشات توان هستند.

برخی از اصطلاحات کیفیت توان در هنگام روبرو شدن با کاربردهای توان باد، مورد توجه بیشتری قرار می‌گیرند. ایستگاه‌های توان باد معروف هستند که برخی از حدود کیفیت توان را وقتی که آن‌ها بطور نامناسب برای شرایط شبکه‌ای خاص انتخاب شده‌اند، نقض می‌کنند. یکی از مشکلات توربین‌های بادی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

متصل شده به شبکه‌های قدرت، نوسانات ولتاژ و فلیکر می‌باشد. استاندارد IEC 61400-21 [۳۷] مقادیر کمی توصیف‌کننده کیفیت توان یک توربین بادی را تعیین می‌کند.

مشخصات کیفیت توان توربین‌های بادی، بوسیله اصول و قواعد تنظیم آن‌ها و نوع سیستم الکتریکی بکار رفته، تعیین می‌شود.

انرژی موجود در باد با مکعب سرعت باد افزایش می‌یابد. از آنجا که محتوای انرژی باد در شرایط سرعت باد کم، کم است، توربین‌های بادی در شرایط سرعت باد کم (3-4 m/s)، از مدار خارج می‌شوند. وقتی که سرعت باد زیاد می‌شود، توان خروجی نیز افزایش می‌یابد. بسته به نوع توربین بادی بکار رفته، توان نامی معمولاً در شرایط سرعت باد (8-14 m/s) قابل دسترس می‌باشد. در سرعت‌های بالای باد، توان خروجی در حد توان نامی ژنراتور محدود می‌شود. بنابراین توان ناشی از توربین باید محدود شود. این محدودیت در توان حاصل از توربین بادی، باید به دو طریق بدست آید: با نصب کردن تیغه‌های توربین دور از باد (تنظیم نصب)^۱ یا با محدودیت آیرودینامیکی باد (تنظیم دکل)^۲.

۴-۳-۱) توربین‌های بادی تنظیم شده با زاویه نصب

تغییر زاویه تیغه یک روش برای کنترل گشتاور روتور و توان ناشی از سمت باد می‌باشد و همزمان با آن، میسر ساختن محدودیت توان و سرعت در سرعت‌های بالای باد. معمولاً مکانیسم pitch، بوسیله یک درایو هیدرولیکی یا الکتریکی بکار برده می‌شود. روتورهای کنترل‌شونده با نصب، در همه سیستم‌های بزرگتر، غالب هستند.

در روتورهای مجهز شده با یک مکانیسم pitch، زاویه تیغه متناسب با خروجی کنترل‌کننده مربوطه، تنظیم شده است. همچنین مکانیسم pitching برای محدودیت توان در نرخ سرعت‌های بالا که بیشتر از

1. Pitch Regulation
2. Stall Regulation

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مقدار از قبل طراحی شده می‌باشد، با چرخاندن تیغه‌ها خارج از جهت باد بکار رفته است. با افزایش زاویه نصب، توان ماکزیمم و ضرایب گشتاور کاهش پیدا می‌کنند. معمولاً مزیت این نوع تنظیم، کنترل توان خوبکمک در هنگام استارت است. برخی از معایب آن، پیچیدگی زیاد، کاهش قابلیت اطمینان و هزینه زیاد مکانیسم تنظیم و سیستم‌های کنترلی است. از نقطه نظر الکتریکی، کنترل توان خوب به این معنی است که مقدار متوسط توان خروجی، در رنج سرعت باد متفاوت (بویژه سرعت‌های بالای باد) نزدیک توان نامی ژنراتور نگه داشته شود. با این وجود، توان لحظه‌ای به علت وجود تندبادها و سرعت مکانیسم pitch، اطراف مقدار متوسط توان نامی، نوسان خواهد نمود.

۴-۳-۲) توربین‌های بادی تنظیم شده با دکل

تنظیم دکل، ساده‌ترین و ارزان‌ترین روش کنترل است. وقتی که زاویه نصب تیغه‌ها ثابت است یعنی تیغه‌ها توسط سازنده به رینگ (تویی) متصل شده‌اند، تنها، اثر دکل، توان را کنترل می‌کند. برخی از معایب آن شامل از دست دادن انرژی و عدم تأثیر آن در لحظه راه‌اندازی است. از نظر الکتریکی، دو مورد ارزش اشاره کردن را دارند:

- از آنجا که توان خروجی از توربین، همواره بصورت آیرودینامیکی کنترل می‌شود، توربین‌های بادی کنترل شده با دکل، توان نوسانی کمتری نسبت به توربین‌های کنترل شده با مکانیسم pitch تولید می‌کنند. متأسفانه، توربین‌های بادی تنظیم شده با دکل، ممکن است توان خروجی‌ای داشته باشند که به علت تغییرات در چگالی باد و نقص در توربین، گاهاً بالاتر از مقدار توان نامی است.
- توربین‌های بادی تنظیم شده با دکل، تأثیر مثبتی در لحظه استارت ندارند که این امر باعث این می‌شود که توان توربین در بازه اتصال توربین به شبکه، قابل کنترل نباشد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

یک توربین بادی، طراحی شده است تا توان اکتیو به شبکه تزریق کند. تبادل توان راکتیو بین توربین بادی و شبکه بستگی به نوع توربین دارد. توان راکتیو می‌تواند مصرف شود، تولید شود یا اینکه هیچ تبادل توان راکتیوی بین شبکه و توربین وجود نداشته باشد. در نتیجه این حقیقت، ولتاژ در نقطه اتصال مشترک^۱ (U_{PCC}) تعریف شده است.

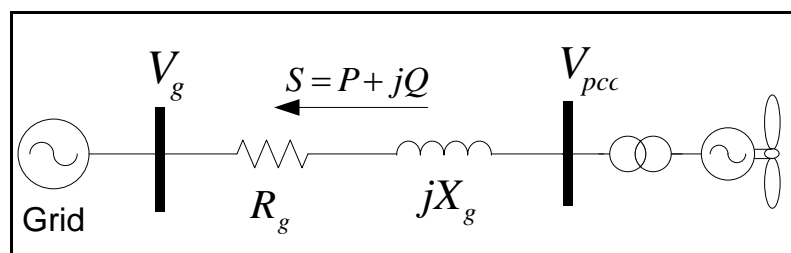
۴-۴) تغییرات ولتاژ

تغییرات ولتاژ در شبکه، اغلب ناشی از تغییرات در بار و تغییرات در واحدهای تولید توان می‌باشد. تولیدات توان از توربین‌های بادی، ممکن است بطور گسترده‌ای نه تنها به علت تغییرات در باد، تغییر نمایند بلکه ممکن است توان تولیدی از مقدار حداکثر به مقدار صفر ناشی از توقف اضطراری، کاهش یابد یا برعکس، در لحظات راه‌اندازی از صفر به یک توان بالا در شرایط باد زیاد افزایش یابد. همه انواع توربین‌های بادی، سبب تغییرات ولتاژ می‌گردند که ناشی از محتوای انرژی باد است. روش‌های مختلفی برای محاسبات تغییرات ولتاژ بکار رفته‌اند. برای مثال، برنامه‌های کامپیوتری مختلفی برای محاسبات پخش بار وجود دارند که از این نرم‌افزارها برای پیش‌بینی تغییرات ولتاژ ناشی از تغییرات بار استفاده می‌شود. محاسبات پخش بار بگونه مفید می‌توانند برای محاسبه تغییرات ولتاژ ناشی از توربین‌های بادی بکار روند.

روش دیگر این است که تغییرات ولتاژ ناشی شده از امپدانس شبکه Z ، توان اکتیو P و توان راکتیو Q را بصورت تحلیلی محاسبه کنیم. در روش تحلیلی، یک مدل امپدانس ساده بصورت نشان داده شده در شکل (۴-۴) بکار می‌رود.

1. Point of Common Coupling

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۴-۴): مدل امپدانسی ساده

در شکل (۴-۴)، V_g ولتاژ شبکه (باس بی‌نهایت) و V_{pcc} ولتاژ در نقطه اتصال مشترک (PCC) می‌باشند و داریم:

$$V_{pcc} = U \angle \delta \quad (۲-۴)$$

$$V_g = U_0 \angle 0 \quad (۳-۴)$$

P و Q به ترتیب توان‌های اکتیو و راکتیو توربین (مزرعه) بادی می‌باشند.

ولتاژ در نقطه PCC می‌تواند بصورت زیر تعیین شود [۳۹]:

$$U = U_0 + \Delta U \quad (۴-۴)$$

$$\Delta U = \frac{(PR_g + QX_g)}{U_0} + \frac{(PX_g - QR_g)j}{U_0} \quad (۵-۴)$$

طبق روابط فوق، ولتاژ در نقطه PCC بسته به مقدار توان‌های اکتیو و راکتیو توربین (مزرعه) بادی و نیز مشخصات شبکه، در حال تغییر است.

۴-۵ مدل‌سازی باد

برای اینکه عملکرد توربین‌های بادی را بررسی کنیم، ضروری است که اطلاعاتی درباره ساختار و رفتار باد داشته باشیم. سرعت و اغتشاش باد از محلی به محل دیگر بسته به آب و هوای عمومی منطقه، شرایط جغرافیا، شرایط سطح زمین و فاکتورهای دیگر تغییر می‌کند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

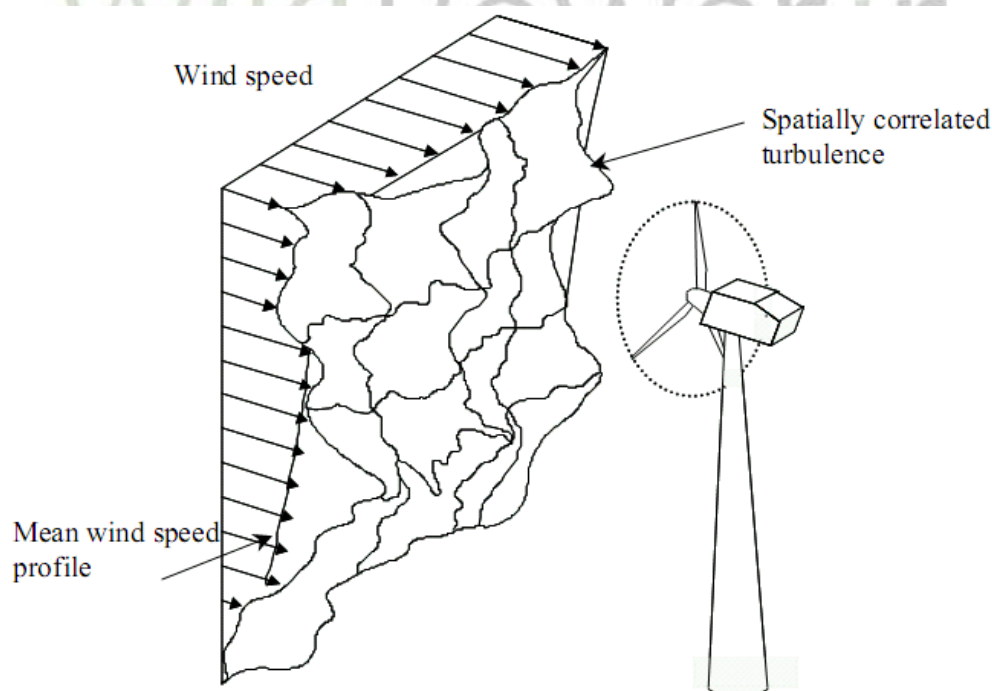
در بررسی پدیده فلیکر ولتاژ ناشی از اتصال توربین‌های بادی به شبکه‌های قدرت در این فصل، نیاز به ارائه مدلی تا حد امکان دقیق از باد و اعمال آن به توربین‌های بادی در شبیه‌سازی‌های انجام شده می‌باشد. در ادامه دو مدل برای شبیه‌سازی رفتار باد معرفی خواهد شد.

۴-۵-۱) مدل باد

توربین‌های بادی، یک توان پیچیده و بصورت مدام نوسانی تولید می‌کنند. بخش عمده‌ای از پیچیدگی آن ناشی از ورودی توربین است یعنی باد. منبع اصلی تغییر توان در توربین‌های بادی، تغییر مداوم سرعت باد است. باد پیچیده است و تیغه‌های عبورکننده از حوزه باد، نوسانات توان را ایجاد می‌کنند. هدف اصلی این بخش این است که یک مدل دینامیکی از باد ارائه دهد که برای ارزیابی کیفیت توان توربین‌های بادی بکار رود.

شکل (۴-۵) مثالی از حوزه باد که بر روی محدوده روتور یک توربین بادی عمل می‌کند را نشان

می‌دهد.



شکل (۴-۵): تصویری از باد در محدوده روتور یک توربین بادی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

باد به دو بخش اساسی طبقه‌بندی می‌شود:

بخش اول پروفیل سرعت متوسط باد را در سرتاسر محدوده روتور نشان می‌دهد که در اینجا به عنوان بخش "معین"^۱ باد نامیده شده است.

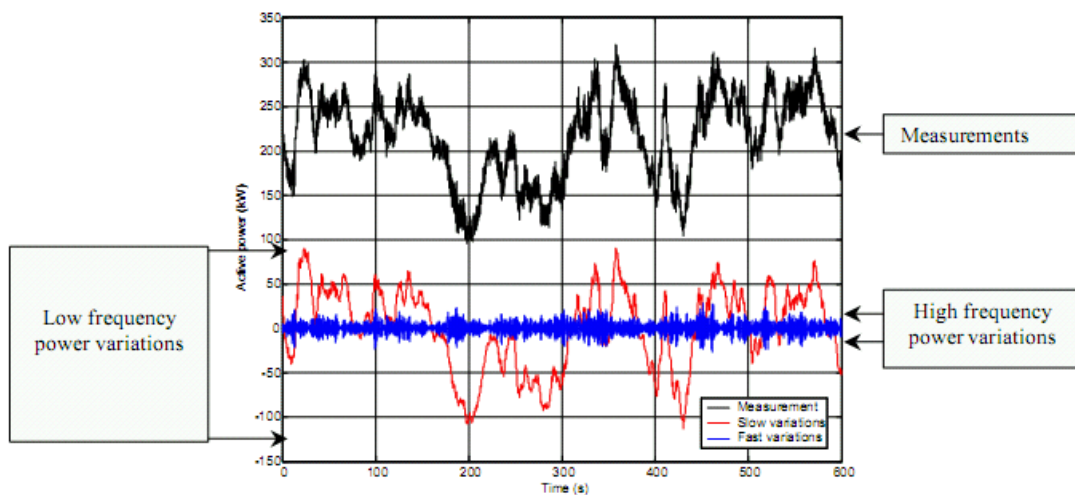
بخش دوم اغتشاش بر روی قسمت معین باد است که در اینجا به عنوان بخش "احتمالی"^۲ باد نامیده شده است.

بخش معین باد در طول محدوده روتور در بازه ۱۰ دقیقه‌ای ثابت فرض می‌شود و تغییرات باد، بخش متغیر با زمان هستند که رفتار احتمالی دارند. این فرض فقط برای بازه‌های زمانی در حد چند دقیقه معتبر است و برای بازه‌های زمانی بزرگ، تغییر آهسته‌ای در سرعت متوسط باد ناشی از تغییرات پیوسته در اتمسفر وجود دارد.

مطابق شکل (۴-۵)، در هر دور چرخش روتور توربین بادی، تیغه‌ها از میان سرعت‌های مختلف باد عبور می‌کنند که این امر منجر به تغییرات توان ناشی از توربین بادی و ژنراتور مربوطه می‌شود. در شکل (۴-۶)، توان اکتیو اندازه‌گیری شده از یک توربین بادی سه تیغه‌ای نشان داده شده است. در این شکل، این امکان وجود دارد که اندازه‌گیری‌های موجود را بصورت تغییرات توان آهسته و سریع تجزیه کنیم که تغییر توان آهسته شامل فرکانس‌هایی در حدود ۰/۵ هرتز است و تغییر توان سریع، شامل همه فرکانس‌های بالای ۰/۵ هرتز است.

1. Deterministic Part
2. Stochastic Part

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۴-۶): توان تولیدی توسط یک توربین بادی نمونه

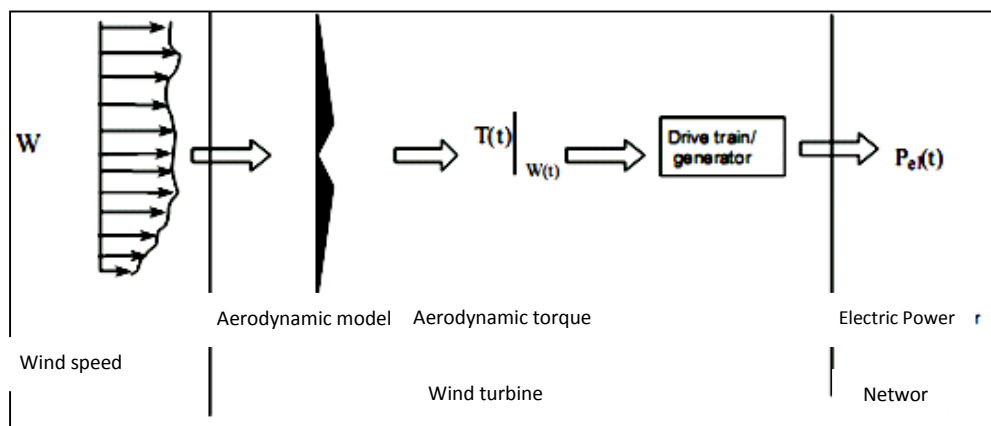
تغییرات توان فرکانس پایین دارای دامنه تغییر زیاد و متناظر با اغتشاش در محدوده روتور هستند

[۳۹].

تغییرات توان فرکانس بالا دارای دامنه کمتر هستند و مرتبط با دینامیک توربین بادی شامل چرخش

تیغه در حوزه باد هستند. این تغییرات به عنوان یکی از دلایل اصلی برای مشکلات فلیکر ناشی از توربین‌های بادی هستند [۳۹].

در شکل (۴-۷)، تولید توان از توربین بادی بصورت طرحواره نشان داده شده است.



شکل (۴-۷): تولید توان الکتریکی از نیروی باد

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در شکل (۴-۷)، w سرعت باد در سراسر محدوده روتور است، T گشتاور آیرودینامیکی و P_{el} توان الکتریکی تحویل داده شده به شبکه است.

معمولاً مدل‌های باد فرض می‌کنند که رشته باد پیوسته در محدوده روتور می‌تواند توسط سری‌های زمانی گسسته از سرعت‌های باد در شبکه‌ای از نقاط در محدوده روتور، جایگزین شود. این فرآیند خیلی معمول و قابل اطمینان است، با این وجود، تعداد زیادی از سری‌های زمانی تولید می‌کند که استفاده از آن‌ها زمان شبیه‌سازی بسیار زیادی صرف می‌کند. بنابراین باید مدل معادلی برای شبیه‌سازی باد در محدوده روتور توربین بادی در نظر گرفت که معادل با مجموع سری‌های زمانی موجود برای نقاط فراوان موجود در سطح روتور باشد. مزایای اصلی مدل سرعت باد معادل، محاسبات سریع و نیاز به حافظه کمتر می‌باشند بویژه در هنگام شبیه‌سازی همزمان تعداد زیادی از توربین‌های بادی در یک مزرعه بادی.



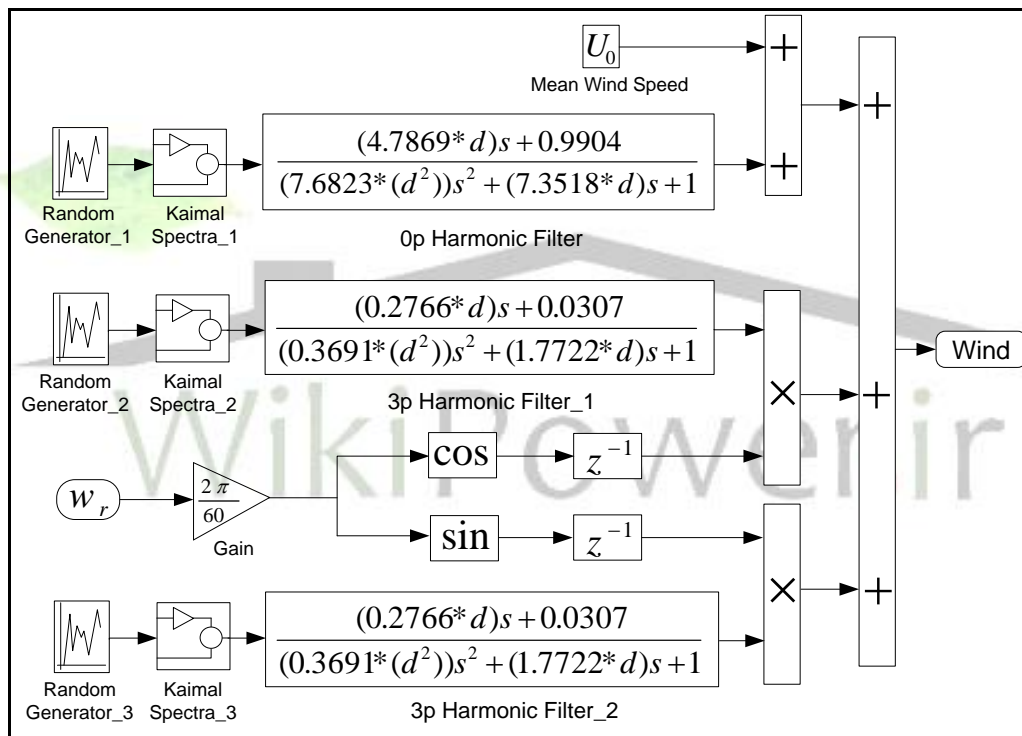
مدل سرعت باد معادل (EWS)، یک مدل باد معادل برای کل روتور است که بخش‌های احتمالی و نیز مشخص سرعت باد را در محدوده روتور به حساب می‌آورد. یعنی باد معادل در یک نقطه را بصورت زیر بیان می‌کند:

$$w(x, y, z, t) = u(x, y, z) + g(x, y, z, t) \quad (۴-۶)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرمان سایت و به همراه فونت های لازمه

که $w(x, y, z, t)$ سرعت کلی باد در موقعیت (x, y, z) و در لحظه t است. $u(x, y, z)$ سرعت باد معین در همان موقعیت است که مستقل از زمان است و $g(x, y, z, t)$ ترم احتمالی سرعت باد در همان موقعیت و زمان است.

مدل سازی سرعت باد در این روش، نیازمند بررسی معادلات پیچیده آیرودینامیکی است که در مراجع [۳۹] و [۴۰] شرح داده شده‌اند. در این پایان‌نامه، پس از بررسی این معادلات در مراجع ذکر شده و با اعمال اندکی تقریب، مدل EWS باد بصورت بلوک دیاگرام نشان داده شده در شکل (۴-۸)، در نظر گرفته شده است.



شکل (۴-۸): مدل سرعت باد معادل (EWS)

این مدل بر اساس طیف Kaimal می‌باشد که در ادامه شرح داده شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۴-۵-۱-۱-۱) چگالی طیف توان اغتشاش

تابع چگالی طیفی که برای اغتشاش باد در این مدل در نظر گرفته شده است مبتنی بر تابعی بنام

تابع Kaimal می‌باشد. رابطه این تابع بصورت زیر می‌باشد [۳۹]:

$$\frac{f \cdot S(f)}{\sigma^2} = \frac{\frac{f \cdot x_1}{U_0}}{\left(1 + 1.5 \left(\frac{f \cdot x_1}{U_0}\right)\right)^{\frac{5}{3}}} \quad (7-4)$$

در این رابطه، f فرکانس اغتشاش، σ^2 واریانس، x_1 مقیاس طول اغتشاش^۱ و U_0 سرعت متوسط باد است. مقدار x_1 از رابطه (۸-۴) بدست می‌آید.

$$\begin{cases} x_1 = 20h & h < 30 \\ x_1 = 600 & h \geq 30 \end{cases} \quad (8-4)$$

که h ارتفاع متوسط توربین بادی^۲ (ارتفاع از زمین تا مرکز پره‌های توربین) می‌باشد.

در رابطه (۷-۴) مقدار واریانس (σ^2) از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\sigma = I_u * U_0 \quad (9-4)$$

که I_u شدت اغتشاش باد^۳ می‌باشد.

الگوی طیف توان Kaimal بر اساس داده‌های چندین آزمایش انجام گرفته در اتمسفر بدست آمده

است [۳۸].

همچنین در بلوک دیاگرام باد در شکل (۸-۴)، فیلتر مؤلفه هارمونیک P_0p (یک عدد مثبت است)

بصورت رابطه (۱۰-۴) و فیلترهای مؤلفه‌های هارمونیک $3p$ طبق رابطه (۱۱-۴) می‌باشند.

$$H_{0p}(s) = \frac{(4.7869 * d^2)s + 0.9904}{(7.6823 * d^2)s^2 + (7.3518 * d)s + 1} \quad (10-4)$$

-
2. Turbulence Length Scale
 1. Wind Turbine Hub Height
 2. Wind Turbulence Intensity

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$H_{3p}(s) = \frac{(0.2766*d)s+0.0307}{(0.3691*d^2)s^2+(1.7722*d)s+1} \quad (11-4)$$

در روابط (۱۰-۴) و (۱۱-۴)، d پارامتر نرمالیزاسیون است که از رابطه (۱۲-۴) بدست می‌آید.

$$d = \frac{R}{U_0} \quad (12-4)$$

در رابطه (۱۲-۴)، R شعاع توربین بادی (طول پره‌های توربین) و U_0 سرعت متوسط باد است.

برای تولید سری‌های باد طبق این روش (شکل (۸-۴))، ابتدا اعداد تصادفی با فرکانسی معین توسط

مولد اعداد تصادفی تولید می‌شوند. رنج این اعداد تصادفی، همانند شدت اغتشاش باد، بر حد مینیمم و

ماکزیمم سرعت باد تولید شده اثر می‌گذارد. بنابراین رنج تولید این اعداد بستگی به شدت نوسانات و

اغتشاش باد در محلی که توربین بادی بررسی می‌شود، دارد.

سپس، این اعداد تصادفی تولید شده، به عنوان فرکانس‌های اغتشاش در نظر گرفته شده و به توابع

Kaimal اعمال می‌شوند. سپس، خروجی توابع Kaimal به فیلترهای هارمونیک مناسب طبق شکل (۴-۸)

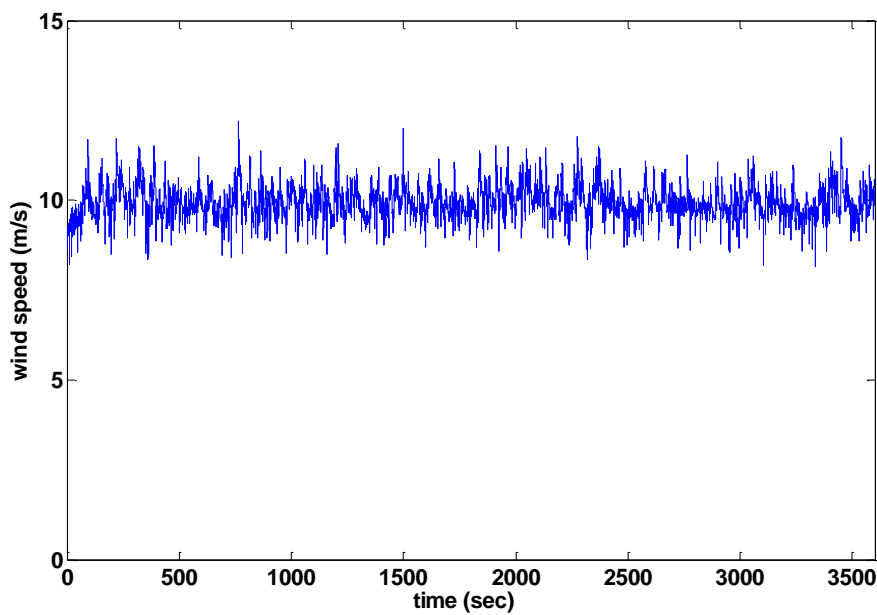
اعمال می‌شوند.

یک سری سرعت باد برای زمان ۳۶۰۰ ثانیه با فاصله زمانی نمونه‌برداری ۰/۰۵ ثانیه، سرعت متوسط

باد 10m/s و شدت اغتشاش ۱۵٪ تولید شده توسط بلوک دیاگرام شکل (۸-۴)، در شکل (۹-۴) نشان داده

شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۴-۹): یک سری باد تولید شده توسط مدل باد EWS

۴-۵-۱-۲) مدل مرکب باد [۴۱]

در این مدل بر اساس طیف فرکانسی، فرض می‌شود که سرعت باد از مجموع چهار مؤلفه تشکیل شده است که عبارتند از:

۱- مقدار متوسط اولیه سرعت باد (v_{wa})

۲- مؤلفه شیب (v_{wr})

۳- مؤلفه تندباد (v_{wg})

۴- مؤلفه اغتشاش (v_{wt})

بنابراین سرعت باد در هر لحظه طبق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$v_w(t) = v_{wa} + v_{wr}(t) + v_{wg}(t) + v_{wt}(t) \quad (۴-۱۳)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در رابطه فوق، به غیر از مقدار متوسط اولیه سرعت باد، سایر مؤلفه‌ها وابسته به زمان هستند.

۴-۵-۱-۲-۱) مقدار متوسط اولیه سرعت باد (v_{wa})

این مؤلفه، یک مقدار ثابت است که میانگین اولیه سرعت باد را نشان می‌دهد. این مقدار را می‌توان

با توجه به باد موجود در منطقه مورد نظر بدست آورد.

۴-۵-۱-۲-۲) مؤلفه شیب (v_{wr})

این مؤلفه توسط مقدار دامنه (A_{wr}) و نیز لحظه آغاز (T_{sr}) و لحظه پایان (T_{er}) آن مشخص

می‌شود.

مقدار این مؤلفه در هر لحظه از زمان، طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{cases} v_{wr}(t) = 0 & ; & t \leq T_{sr} \\ v_{wr}(t) = A_{wr} \left(\frac{t - T_{sr}}{T_{er} - T_{sr}} \right) & ; & T_{sr} < t < T_{er} \quad (14-4) \\ v_{wr}(t) = A_{wr} & ; & t \geq T_{er} \end{cases}$$

۴-۵-۱-۳-۲) مؤلفه تندباد (v_{wg})

این مؤلفه نیز توسط دامنه آن (A_{wg})، زمان آغاز آن (T_{sg}) و زمان پایان آن (T_{eg}) طبق رابطه

زیر مشخص می‌شود:

$$\begin{cases} v_{wg}(t) = 0 & ; & t \leq T_{sg} \\ v_{wg}(t) = \left(\frac{A_{wg}}{2} \right) \cdot \left(1 - \cos \left(2\pi \frac{t - T_{sg}}{T_{eg} - T_{sg}} \right) \right) & ; & T_{sg} < t < T_{eg} \quad (15-4) \\ v_{wg}(t) = 0 & ; & t \geq T_{eg} \end{cases}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۴-۵-۱-۲-۴ مؤلفه اغتشاش (v_{wt})

این مؤلفه اغتشاش سرعت باد را نشان می‌دهد. اغتشاش توسط یک رابطه چگالی طیف توان توصیف می‌شود. رابطه چگالی طیف بکار رفته در این بخش بصورت زیر می‌باشد:

$$S_{wt}(f) = \frac{1}{(\ln(h/z_0))^2 \cdot \chi_1 \cdot v_{wa}} \cdot \frac{1}{\left(1 + 1.5 \frac{f \cdot \chi_1}{v_{wa}}\right)^{\frac{5}{3}}} \quad (۱۶-۴)$$

در رابطه فوق، f فرکانس بر حسب هرتز، h ارتفاع متوسط توربین بادی (ارتفاع از زمین تا مرکز پره‌های توربین) بر حسب متر، Z_0 شدت (درجه، طول) ناهمواری^۱ و χ_1 مقیاس طول اغتشاش می‌باشد. در رابطه فوق، مقدار پارامتر Z_0 بر حسب نوع منطقه اطراف توربین بادی متفاوت است و مقدار آن برای انواع مختلف زمین‌های اطراف توربین بادی طبق جدول (۱-۴) جایگزین می‌گردد:

جدول (۱-۴): مقدار پارامتر شدت ناهمواری برای انواع مختلف مناطق اطراف توربین بادی

نوع منطقه	شدت ناهمواری Z_0
دریا، سطح شنی	۰/۰۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۱
سطح برفی	۰/۰۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۵
چمنزار	۰/۰۰۰۱ تا ۰/۰۰۱
زمین سنگلاخ	۰/۰۴ تا ۰/۱
جنگل، شهر یا مناطق دارای تپه	۱ تا ۵

1. Roughness Length

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

همچنین در رابطه (۴-۱۶)، مقدار پارامتر α_1 از رابطه (۴-۸) بدست می‌آید.

مرحله بعد بدست آوردن یک سری زمانی از مقادیر سرعت باد با یک چگالی طیف توان مطابق با

رابطه (۴-۱۶) می‌باشد.

برای بدست آوردن مؤلفه اغتشاش باد در هر لحظه از زمان، از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$v_{wt}(t) = \sum_{i=1}^n \sqrt{S_{wt}(f_i) \Delta f} \cos(2\pi f_i t + \phi_i + \Delta\phi) \quad (4-17)$$

در رابطه (۴-۱۷)، f_i و ϕ_i به ترتیب فرکانس و فاز اولیه n مؤلفه فرکانسی می‌باشند. مطابق با مرجع

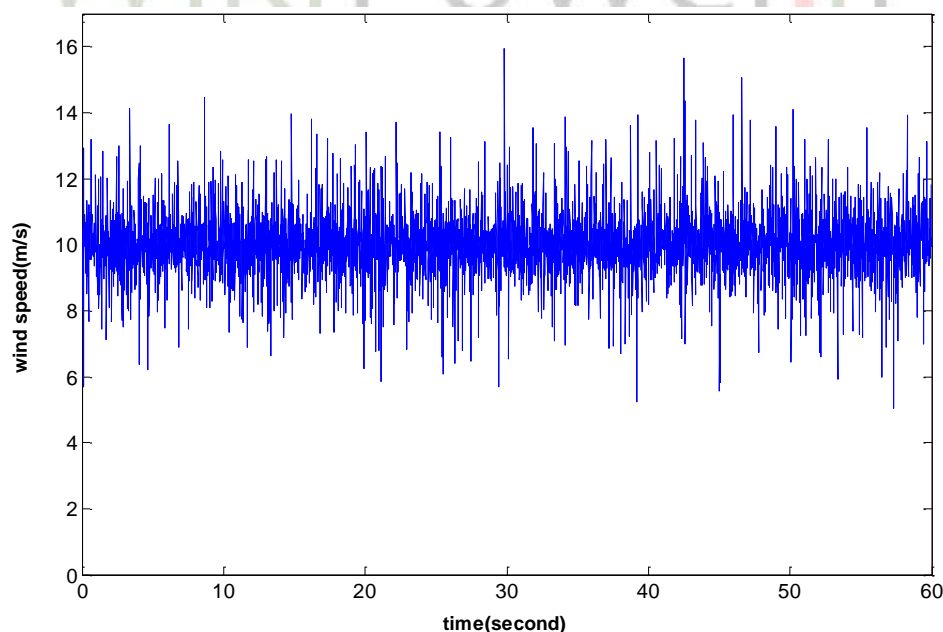
[۴۱]، Δf باید بین ۰/۱ و ۰/۳ هرتز انتخاب شود. مقدار n نیز ۵۰ می‌باشد. ترم $\Delta\phi$ در این معادله، یک

مؤلفه فاز تصادفی کوچک است که در هر پله زمانی افزوده می‌شود تا از متناوبی بودن اغتشاش جلوگیری

نماید.

نمونه‌ای از سری باد تولید شده با مدل مرکب باد برای مدت زمان ۶۰ ثانیه در شکل (۴-۱۰) نشان

داده شده است.



شکل (۴-۱۰): سری باد تولید شده با استفاده از مدل مرکب باد

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۴-۵-۱-۲-۵) مدل سازی سرعت باد مجموع

همانطور که در بخش قبل شرح داده شد، فرض شده است که مدل باد شامل ۴ بخش باشد: مقدار متوسط اولیه، مؤلفه شیب، مؤلفه تندباد و اغتشاش.

در استخراج سیگنال سرعت باد برای مدل پارک بادی، سرعت باد به دو بخش معین (قطعی) و احتمالی (اتفاقی) تقسیم می‌شود. بخش احتمالی شامل بخش اغتشاش در رابطه (۴-۶) می‌باشد. در مدل پارک بادی متراکم، از این بخش صرف‌نظر می‌شود زیرا در یک پارک بادی، اثر اغتشاش بر روی توان خروجی مجموع، به علت اثر هموارسازی تعداد زیاد توربین‌های بادی که با اندازه‌گیری‌های انجام شده در پارک‌های بادی موجود تأیید شده است، کاهش می‌یابد [۴۱]. مزیت بیشتر صرف‌نظر کردن از اغتشاش این است که باعث سریع‌تر شدن محاسبات می‌شود زیرا که در صورت در نظر گرفتن مؤلفه اغتشاش، باید برای هر یک از توربین‌های پارک بادی در هر پله زمانی الگوریتم شرح داده شده برای محاسبه اغتشاش که فرآیندی زمان‌بر است، انجام گیرد.

بخش معین باد شامل مقدار متوسط سرعت اولیه باد و در صورت وجود، مؤلفه‌های شیب و تندباد است. فرض می‌شود که الگو برای هر یک از توربین‌های بادی یکسان باشد، اما شاید متناسب با زمان شیفت پیدا کند که بستگی به طرح پارک بادی و سرعت باد و زاویه وزش دارد. فرض می‌شود که مقدار متوسط اولیه در سرتاسر پارک بادی یکسان باشد. مؤلفه‌های شیب و تندباد در طول پارک بادی حرکت می‌کنند و فاصله زمانی که آن‌ها به هر یک از توربین‌ها می‌رسند بستگی به سرعت متوسط باد، زاویه وزش و نیز طرح پارک بادی دارد. بنابراین زمان‌های آغاز و پایان تندباد و مؤلفه شیب در هر یک از توربین‌های بادی می‌تواند با استفاده از تنها یک سیگنال سرعت باد اعمال شده به یک مدل پارک بادی و با در نظر گرفتن جهت باد و طرح پارک بادی، محاسبه شود. سیگنال سرعت باد با وارد کردن زمان‌های شروع و پایان تندباد و شیب نسبت به مرکز پارک بادی و همچنین جهت باد تعیین می‌شود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برای محاسبه سرعت باد اعمال شده به هر یک از توربین‌های بادی در مزرعه بادی با استفاده از

سرعت باد مدل مجموع مزرعه بادی، مراحل زیر طی می‌شوند:

۴-۵-۱-۲-۵-۱) مرحله اول: ایجاد خط موازی با سرعت باد از میان مرکز پارک بادی

ابتدا یک دستگاه مختصات با مرکزیت آن در گوشه سمت چپ پایین پارک بادی در نظر گرفته

می‌شود. سپس یک معادله توصیف کننده یک خط موازی با سرعت جلورونده باد و عبورکننده از مرکز پارک

بادی $(\frac{w}{2}, \frac{l}{2})$ استنتاج می‌شود (خط $L1$ در شکل (۴-۱۱)). معادله‌ای که این خط را توصیف می‌کند بصورت

زیر می‌باشد:

$$a_1 = \tan \alpha \quad (۴-۱۸)$$

$$b_1 = \frac{l}{2} - a_1 \frac{w}{2} \quad (۴-۱۹)$$

$$y = a_1 x + b_1 \quad (۴-۲۰)$$

که α زاویه وزش سرعت پیش‌رونده باد نسبت به محور افقی است. w و l به ترتیب طول و عرض پارک بادی هستند.

۴-۵-۱-۲-۵-۲) مرحله دوم: محاسبه فاصله مرکز پارک بادی از محل تقاطع خط ایجاد شده در

مرحله اول و خط عمود بر آن

در این مرحله، فاصله مرکز پارک بادی از محل تقاطع خط ایجاد شده در مرحله اول ($L1$) و خط

عمود بر آن و گذرنده از محل توربین مورد نظر ($L2$)، محاسبه می‌شود. برای این کار، برای هر یک از

توربین‌ها، یک معادله برای خط عمود بر خط ساخته شده در مرحله اول و گذرنده از محل توربین بصورت

زیر استنتاج می‌شود:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$a_2 = -\frac{1}{\tan \alpha} \quad (۲۱-۴)$$

$$b_2 = y_i - a_2 x_i \quad (۲۲-۴)$$

$$y = a_2 x + b_2 \quad (۲۳-۴)$$

که x_i و y_i مختصات اُمین توربین در دستگاه مختصات تعریف شده در مرحله ۱ می‌باشند.

سپس نقطه تقاطع دو خط، (x_{in}, y_{in}) بصورت زیر بدست می‌آید:

$$y_{in} = a_1 x_{in} + b_1 = a_2 x_{in} + b_2 \quad (۲۴-۴)$$

$$x_{in} = \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2} \quad (۲۵-۴)$$

$$y_{in} = a_1 \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2} + b_1 = a_2 \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2} + b_2 \quad (۲۶-۴)$$

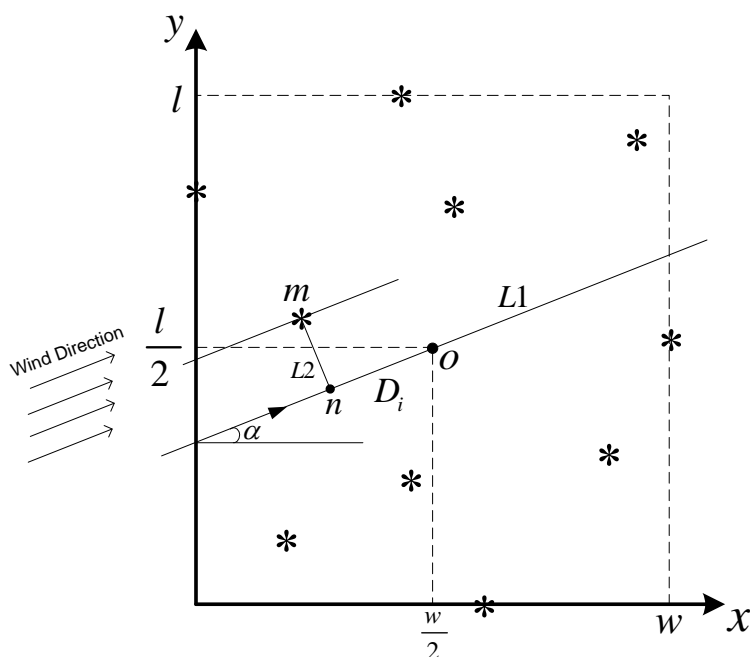
نهایتاً، فاصله بین نقطه مرکز پارک بادی و محل تقاطع خط حاصل از مرحله ۱ و خط حاصل از

مرحله ۲، بصورت رابطه (۲۷-۴) محاسبه می‌شود:

$$D_i = \sqrt{\left(\frac{w}{2} - x_{is}\right)^2 + \left(\frac{l}{2} - y_{is}\right)^2} \quad (۲۷-۴)$$

یک مزرعه بادی با ۱۰ توربین بادی در شکل (۱۱-۴) نشان داده شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۴-۱۱): مزرعه بادی با ۱۰ توربین بادی

۴-۵-۱-۲-۳-۵-۳) مرحله سوم: محاسبه زمان ورود مؤلفه‌های تندباد و شیب

مرحله آخر بدست آوردن زمان رسیدن مؤلفه‌های تندباد و شیب به هر یک از توربین‌های بادی می‌باشد. برای این هدف، مقدار D_i بر سرعت باد متوسط اولیه (v_{wa}) تقسیم شده است و نتیجه آن به زمان رسیدن آن مؤلفه به مرکز توربین جمع شده یا از آن کم شده است.

$$T_{sr,i} = T_{sr} \pm \frac{D_i}{v_{wa}} \quad (۲۸-۴)$$

$$T_{er,i} = T_{er} \pm \frac{D_i}{v_{wa}} \quad (۲۹-۴)$$

$$T_{sg,i} = T_{sg} \pm \frac{D_i}{v_{wa}} \quad (۳۰-۴)$$

$$T_{eg,i} = T_{eg} \pm \frac{D_i}{v_{wa}} \quad (۳۱-۴)$$

در معادلات (۲۸-۴) الی (۳۱-۴)، T_{sr} ، T_{er} ، T_{sg} و T_{eg} به ترتیب، زمان ورود مؤلفه شیب به مرکز

پارک بادی، زمان خروج مؤلفه شیب از مرکز پارک بادی، زمان ورود مؤلفه تندباد به مرکز پارک بادی و

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

زمان خروج مؤلفه تندباد از مرکز پارک بادی می‌باشند (زمان‌ها نسبت به مرکز پارک بادی سنجیده می‌شوند).

در این معادلات، علامت مثبت یا منفی برای مقدار $\frac{D_i}{v_{wa}}$ ، بستگی به زاویه وزش باد (α) و موقعیت توربین‌ها دارد. اگر از مجموعه روابط (۴-۲۸) تا (۴-۳۱)، زمان آغاز و پایان برای یک توربین، منفی بدست آید، این حالت به این معنی است که مؤلفه سرعت باد متناظر، آن توربین را رد کرده است. اگر فقط زمان آغاز منفی بدست آید مؤلفه سرعت باد در حال عبور از آن توربین است.

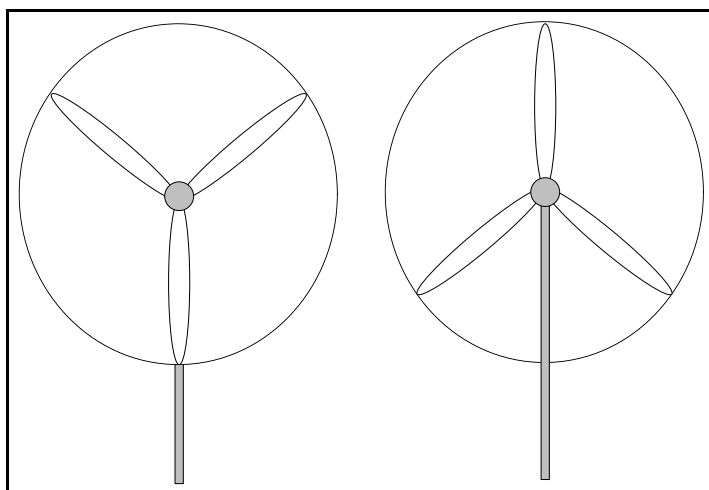
۴-۶) اثر سایه برج^۱ و شیب (گرادیان) باد^۲

بدون توجه به نوع تنظیم مورد استفاده (تنظیم نصب یا دکل)، نوسانات توان ناشی از شیب باد و اثر سایه برج ظاهر خواهند شد که این نوسانات توان منجر به نوسان ولتاژ و فلیکر می‌شوند. توربین‌های بادی با محور افقی، انواعی از برج‌ها دارند. همواره برج نیز جریان باد را دچار اغتشاش می‌کند. هر بار که یک تیغه توربین از مقابل برج عبور می‌کند، اثر سایه برج پیش آمده و در نتیجه یک فرورفتگی توان ایجاد می‌شود. اگر توربین، سه تیغه داشته باشد افت توان در هر بار چرخش توربین، سه مرتبه پیش می‌آید.

توربین سمت چپ در شکل (۴-۱۲) موقعیت روتور را موقعی که یکی از تیغه‌ها از مقابل برج عبور می‌کند، نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود در این لحظه، هیچ یک از دو تیغه دیگر در بالاترین نقطه یعنی جایی که سرعت باد بیشترین مقدار را دارد، قرار ندارند. هر دو عامل اثر سایه برج و افت باد در افت توان در این لحظه سهمیم هستند. در مقابل، موقعیت توربین در شکل راست، اثر سایه برج ایجاد نمی‌کند و نیز یکی از تیغه‌ها در معرض بیشترین سرعت باد (بالاترین مکان) است. در نتیجه در این موقعیت روتور، مقدار توان در حد ماکزیمم خود خواهد بود.

1. Tower Shadow Effect
2. Wind Gradient

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۴-۱۲): موقعیت‌های مختلف روتور در یک توربین سه‌تیغه‌ای

فرکانس نوسانات توان توربین‌های بادی مطابق با سرعت چرخشی روتور ضربدر تعداد تیغه‌ها می‌باشد.

معمولاً به این فرکانس، فرکانس $3p$ گفته می‌شود.

بیشترین نوسانات توان در سرعت‌های بالای باد رخ می‌دهند. توربین‌های بادی مجهز شده با

ژنراتورهای القایی بکار برده شده در سرعت ثابت، نوسانات توان تا حد ۲۰٪ توان متوسط ایجاد می‌کنند

[۳۶].

۷-۴) اندازه‌گیری فلیکر ولتاژ در نقطه PCC

تعریف‌ها، قوانین و روش‌ها برای توصیف کیفیت شکل موج در یک توربین بادی اتصال یافته به شبکه،

در استاندارد IEC 61400-21 [۳۷] ارائه شده‌اند. هدف این استاندارد این است که مقادیری را که نیاز

استتا برای مشخص نمودن کیفیت موج تعیین شوند و روش‌های اندازه‌گیری برای عددی نمودن این

مشخصات و روش‌های ارزیابی درجه اجرای نیازمندی‌های کیفیت توان را بدست آورد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در رابطه با اندازه‌گیری فلیکر، استاندارد نیاز می‌داند که توربین‌های بادی باید در دو وضعیت بررسی

شوند:

- اول، فرض می‌شود که توربین‌های بادی در طول کارکرد پیوسته‌شان، فلیکر منتشر می‌کنند.
- دوم، توربین‌های بادی فلیکر را بدلیل عملکردهای کلیدزنی منتشر می‌کنند.

۴-۷-۱) انتشار فلیکر در حالت کارکرد پیوسته توربین‌های بادی

فلیکر ایجاد شده در طول کارکرد پیوسته، ناشی از نوسانات توان می‌باشد. نوسانات توان نیز غالباً از

تغییرات در سرعت باد، اثر سایه برج و ویژگی‌های مکانیکی توربین بادی ناشی می‌شوند.

برای تعیین انتشار فلیکر تولید شده در طول کارکرد پیوسته یک توربین بادی، باید اندازه‌گیری‌هایی

انجام شوند. استاندارد IEC 61400-21 هشدار می‌دهد که انتشار فلیکر نباید از اندازه‌گیری‌های ولتاژ

بدست آید، زیرا که این روش توسط فلیکر پیشین شبکه متأثر خواهد شد. دو روش برای غلبه بر این مشکل

پیشنهاد شده است، یکی بر اساس اندازه‌گیری‌های توان اکتیو و راکتیو و روش دیگر بر اساس اندازه‌گیری‌های

ولتاژ و جریان است [۳۷]. انتشار فلیکر کوتاه‌مدت از یک توربین بادی، باید با استفاده از یک شبکه مرجع

و با استفاده از توان‌های اکتیو و راکتیو اندازه‌گیری شده برای توربین بادی به عنوان تنها منبع ایجاد فلیکر

در شبکه، انجام گیرد.

در طول مدت هر دو حالت کارکرد پیوسته و کارکردهای کلیدزنی، فرض می‌شود که شبکه دارای

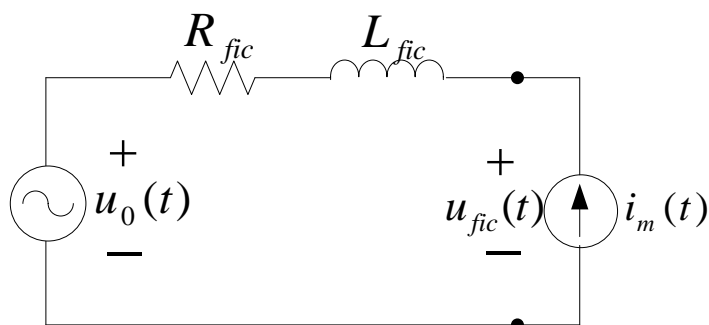
بارهای نوسانی دیگر نیز باشد که ممکن است سبب نوسانات ولتاژ در ترمینال‌های توربین بادی شوند.

همچنین سابقه فلیکر شبکه می‌تواند بر روی اندازه‌گیری‌های فلیکر ناشی از اتصال یک توربین بادی به

شبکه تأثیر گذارد. بنابراین مدلی ایجاد می‌کنند تا نتایج را مستقل از مشخصات و شرایط شبکه‌ای که

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

توربین بادی به آن متصل شده است، بیان نماید. این مدل بر اساس یک شبکه مرجع ساختگی^۱ است که ارزیابی نوسانات ولتاژ را که منحصراً ناشی از آن توربین بادی هستند، میسر می‌سازد. شبکه مرجع ساختگی در شکل (۴-۱۳) نشان داده شده است [۳۶،۳۷].



شکل (۴-۱۳): شبکه مرجع ساختگی برای تحلیل فلیکر انتشار یافته از توربین‌های بادی اتصال یافته به

شبکه قدرت

توربین بادی توسط یک منبع جریان ایده‌آل $i_m(t)$ مدل شده است که مطابق با جریان خروجی اندازه‌گیری شده در توربین بادی است. شبکه توسط یک منبع ولتاژ $u_0(t)$ بدون نوسان، مدل شده است. شبکه‌ای که توربین به آن متصل شده است با مدار معادل تونن آن نشان داده شده است. امیدانس شبکه بصورت یک مقاومت R_{fic} سری با یک اندوکتانس L_{fic} داده شده است.

منبع ولتاژ ایده‌آل شبکه $u_0(t)$ ، یک منبع مستقل از نوسانات (بدون نوسان) را مدل می‌کند و در رابطه (۴-۳۲) تعریف شده است. همانطور که استاندارد IEC 61400-21 بیان می‌کند این سیگنال می‌تواند به روش‌های مختلف تولید شود [۲۷،۳۷]، اما همواره باید شرایط زیر را برآورده کند:

- $u_0(t)$ باید بدون نوسان باشد یعنی فلیکر در این ولتاژ باید صفر باشد.
- $u_0(t)$ باید زاویه الکتریکی $\alpha_m(t)$ یکسانی با ولتاژ اندازه‌گیری شده $u_m(t)$ اصلی داشته باشد.

1. Fictitious Reference Grid

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$u_0(t) = \sqrt{\frac{2}{3}} u_n \sin(\alpha_m(t)) \quad (۳۲-۴)$$

که u_n مقدار rms ولتاژ نامی است. $\alpha_m(t)$ فاز لحظه‌ای مؤلفه اصلی ولتاژ و $u_m(t)$ ولتاژ فاز-خنثی اندازه‌گیری شده در ترمینال‌های توربین بادی است.

ولتاژ فاز-خنثی $u_m(t)$ و جریان خط $i_m(t)$ باید حداقل برای ۱۵ بازه ۱۰ دقیقه‌ای متوالی اندازه‌گیری شوند.

توجه کنید که زاویه الکتریکی $\alpha_m(t)$ مؤلفه اصلی می‌تواند بصورت زیر بیان شود:

$$\alpha_m(t) = 2\pi \int_0^t f(\tau) d\tau + \alpha_0 \quad (۳۳-۴)$$

که $f(t)$ فرکانس اصلی است که ممکن است در طول زمان تغییر کند و α_0 زاویه الکتریکی مؤلفه اصلی در $t = 0$ است.

پس از اینکه $u_0(t)$ تولید شد، مدل مرجع می‌تواند حل شود و ولتاژ ساختگی $u_{fic}(t)$ در ترمینال‌های توربین بادی طبق رابطه (۳۴-۴) محاسبه می‌شود:

$$u_{fic}(t) = u_0(t) + R_{fic} \cdot i_m(t) + L_{fic} \cdot \frac{di_m(t)}{dt} \quad (۳۴-۴)$$

سپس ولتاژ $u_{fic}(t)$ به عنوان ورودی برای فلیکرمتر بکار می‌رود تا مقدار انتشار فلیکر $P_{st,fic}$ را ارائه دهد.

طبق استاندارد IEC 61400-21، ضریب فلیکر ناشی از توربین بادی، باید با بکارگیری رابطه (۴-)

(۳۵) بدست آید [۳۷]:

$$c(\psi_k) = P_{st,fic} \frac{S_{k,fic}}{S_n} \quad (۳۵-۴)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

که $c(\psi_k)$ ضریب فلیکر، S_n توان ظاهری نامی توربین بادی، $P_{st, fic}$ سطح انتشار فلیکر محاسبه شده در توان اتصال کوتاه یک شبکه مرجع ساختگی $S_{k, fic}$ با زاویه شبکه ψ_k است. زاویه شبکه طبق رابطه (۳۶-۴) تعریف می‌شود:

$$\psi_k = \arctan\left(\frac{X_k}{R_k}\right) \quad (۳۶-۴)$$

که X_k راکتانس و R_k مقاومت شبکه می‌باشد.

سپس سطح فلیکر انتشار یافته از یک توربین بادی اتصال یافته به شبکه با توان اتصال کوتاه دلخواه S_k طبق رابطه (۳۷-۴) محاسبه می‌شود.

$$P_{st} = c(\psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_k} \quad (۳۷-۴)$$

۴-۷-۱-۱) مجموع یابی فلیکر

طبق استاندارد IEC 61400-21، معادله (۳۸-۴) برای تعیین انتشار فلیکر از چندین (N) توربین بادی اتصال یافته به یک نقطه مشترک اعمال می‌شود [۳۶، ۳۷]:

$$P_{st \Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^N P_{st, i}^2} = \frac{1}{S_k} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (c_i \cdot S_{n, i})^2} \quad (۳۸-۴)$$

که $P_{st, i}$ انتشار فلیکر از توربین بادی i ام می‌باشد.

اگر توربین‌های بادی مورد بررسی، از یک نوع باشند معادله فوق برای تعیین شدت فلیکر می‌تواند بصورت معادله ساده شده زیر بیان شود:

$$P_{st \Sigma} = \frac{S_{n, i}}{S_k} \cdot c_i \cdot \sqrt{N} \quad (۳۹-۴)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

سطح انتشار فلیکر باید در بازه مورد قبول محدود شود. محدودیت‌هایی برای هر دو پارامتر انتشار فلیکر کوتاه‌مدت و انتشار فلیکر بلندمدت وجود دارد که همیشه محدودیت فلیکر طولانی‌مدت سخت‌تر است. مقادیر نمونه بستگی به شرایط شبکه الکتریکی محلی و سطح ولتاژ شبکه دارد.

۴-۷-۲) انتشار فلیکر در حالت کلیدزنی توربین‌های بادی

بازه‌های استارت توربین‌های بادی سرعت متغیر و توربین‌های بادی سرعت ثابت با کنترل زاویه نصب و کنترل دکل، همگی متفاوت‌اند. معمولاً و به علت سرعت قابل کنترل توربین و کنترل pitch، بازه استارت توربین‌های بادی سرعت متغیر صاف‌تر از توربین‌های بادی سرعت ثابت است. در توربین‌های بادی سرعت ثابت، سرعت توربین در طول بازه استارت افزایش می‌یابد تا اینکه سرعت ژنراتور به سرعت سنکرون نزدیک شود. سپس ژنراتور به شبکه متصل می‌شود.

همانطور که پیشتر ذکر شد توربین‌های بادی سرعت ثابت تنظیم‌شده با دکل، در لحظه راه‌اندازی، کمکی ندارند. اگر ژنراتور سریعاً متصل نشود، ممکن است گشتاور توربین از گشتاور ماکزیمم ژنراتور بیشتر شود، بنابراین منجر به اضافه سرعت توربین شود. بنابراین، استارت^۱ در توربین‌های بادی سرعت ثابت تنظیم شده با دکل، معمولاً حدود ۱۰ پریود^۲ بکار گرفته می‌شود که منجر به جریان هجومی نسبتاً بالا می‌شود.

در مورد توربین‌های بادی سرعت ثابت کنترل شده با زاویه نصب، که در موقع استارت، کمک می‌شوند، گشتاور توربین می‌تواند کنترل شود. بنابراین، استارت ژنراتور می‌تواند با یک روش مسطح‌تر و بیشتر کنترل شده انجام شود. استارت در توربین‌های کنترل شده با زاویه نصب، معمولاً برای دو یا سه ثانیه بکار می‌رود، بنابراین در مقایسه با توربین‌های بادی کنترل شده با دکل، جریان هجومی کمتری ایجاد می‌کند.

1. Soft Starter
2. 10-line period

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

توربین‌های بادی سرعت متغیر معمولاً با کنترل زاویه نصب مجهز می‌شوند. هر دو عامل کنترل زاویه نصب و کنترل سرعت، در استارت صاف مشارکت دارند.

همانطور که بیان شد عملکردهای کلیدزنی توربین‌های بادی نیز باعث ایجاد فلیکر می‌شوند. عملکردهای کلیدزنی معمول، آغاز به کار و از مدار خارج شدن توربین‌های بادی می‌باشند. استارت، استوپ و کلیدزنی بین ژنراتورها یا سیم‌پیچی‌های ژنراتور، سبب تغییر در تولید توان می‌شوند. تغییر در تولید توان نیز باعث تغییر ولتاژ در نقطه اتصال مشترک (PCC) می‌شود. این تغییرات ولتاژ نیز به نوبه خود باعث ایجاد فلیکر می‌شوند.

طبق استاندارد IEC 61400-21، اندازه‌گیری‌های کارکردهای کلیدزنی در طول قطع و وصل توربین بادی و کلیدزنی بین ژنراتورها باید انجام گیرد. کلیدزنی بین ژنراتورها موقعی قابل اجرا است که توربین بادی با بیش از یک ژنراتور یا یک ژنراتور با چند سیم‌پیچی وجود داشته باشد. جریان‌های سه فاز و ولتاژهای فاز-خنثی هر سه فاز باید اندازه‌گیری شوند.

در استاندارد IEC 61400-21، یک ضریب گام فلیکر^۱ (k_f) معرفی شده است. ضریب گام فلیکر از افت ولتاژ اندازه‌گیری شده ناشی از وقفه ژنراتور محاسبه شده است. انتشار فلیکر ناشی شده از تعداد مکرر وقفه‌های یک توربین بادی می‌تواند با استفاده از ضریب گام فلیکر طبق روابط (۴-۴۰) و (۴-۴۱) بدست آید:

$$P_{st} = 18 \cdot k_f(\psi_k) \cdot (N_{10})^{3.2} \cdot \frac{S_n}{S_k} \quad (4-40)$$

$$P_{lt} = 8 \cdot k_f(\psi_k) \cdot (N_{120})^{3.2} \cdot \frac{S_n}{S_k} \quad (4-41)$$

که N_{10} و N_{120} به ترتیب تعداد کلیدزنی‌ها در طول بازه‌های ۱۰ دقیقه‌ای و ۲ ساعتی باشند و $k_f(\psi_k)$ فاکتور گام فلیکر محاسبه شده در زاویه شبکه ψ_k است.

1. Flicker Step Factor

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

اثر ناشی از یک توربین بادی بر روی شبکه قدرت، از طریق یک تست کیفیت توان توربین بادی تعیین می‌شود. نتایج تست باید شامل اطلاعاتی درباره ضریب توان، توان ماکزیمم، فاکتور گام فلیکر، تعداد ماکزیمم عملکردهای کلیدزنی برای یک بازه ۲ ساعته و محتوای هارمونیک جریانی باشد. در حالتی که بیش از یک توربین بادی به PCC متصل باشند، انتشار فلیکر از مجموع آن‌ها می‌تواند از روابط (۴۲-۴) و (۴۳-۴) بدست آید.

$$P_{st\Sigma} = \frac{18}{S_k} \left(\sum_{i=1}^{N_{wt}} N_{10,i} \cdot (k_f(\psi_k) \cdot S_{n,i})^{3.2} \right)^{\frac{1}{3.2}} \quad (42-4)$$

$$P_{lt\Sigma} = \frac{8}{S_k} \left(\sum_{i=1}^{N_{wt}} N_{120,i} \cdot (k_f(\psi_k) \cdot S_{n,i})^{3.2} \right)^{\frac{1}{3.2}} \quad (43-4)$$

که N_{wt} تعداد توربین‌های بادی اتصال یافته به PCC است.

۴-۸) تحلیل فلیکر ولتاژ ناشی از توربین‌های بادی سرعت ثابت [۴۸]

در این بخش یک مزرعه بادی با توربین‌های سرعت ثابت به یک شبکه متصل می‌شود و اثر اتصال این مزرعه بادی به شبکه بر روی ولتاژ نقطه PCC، بررسی می‌گردد. همچنین تأثیر مشخصات خط انتقال، تعداد توربین‌ها در مزرعه بادی و نیز توان نامی مزرعه بادی بر روی ولتاژ PCC نیز بررسی می‌گردد. شبکه‌ای که در این بخش در نظر گرفته شده است، یک شبکه قوی^۱ است. بنابراین بررسی اثر اتصال توربین بادی به شبکه بویژه در لحظات اولیه بیشتر مورد نظر است (لحظات پس از سوئیچینگ توربین بادی).

عوامل مختلفی می‌توانند بر روی کیفیت ولتاژ ناشی از اتصال توربین‌های بادی به شبکه تأثیر گذارند که از آن جمله می‌توان به مشخصات خطی که توربین را به شبکه اتصال می‌دهد، مشخصات باد (سرعت

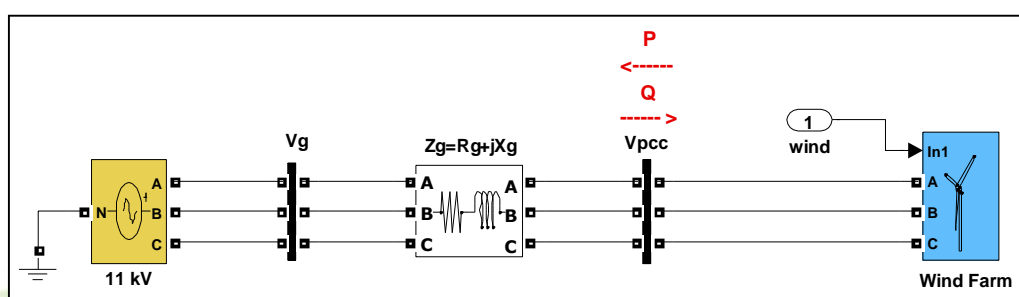
1. Stiff Grid

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

متوسط باد و اغتشاش باد) در محل توربین (مزرعه) بادی، توان نامی خود توربین یا مزرعه بادی اتصال یافته به شبکه و نیز تعداد توربین‌های بادی موجود در مزرعه بادی اشاره نمود.

۴-۸-۱) نتایج شبیه‌سازی

مدل شبکه مورد بررسی در نرم‌افزار مطلب در شکل (۴-۱۴) نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۴): مزرعه بادی اتصال یافته به شبکه قدرت

در شکل (۴-۱۴)، یک مزرعه بادی از طریق یک ترانسفورماتور $(0.575/11) \text{ KV}$ ، 4 MVA و نیز یک خط انتقال با مقاومت R_g و راکتانس X_g ، به شبکه 11 KV اتصال یافته است.

ابتدا یک مزرعه بادی 20 MW و سپس یک مزرعه بادی 80 MW در نظر گرفته شده است. برای هر یک از این حالت‌ها، ابتدا تعداد ۴ توربین بادی در مزرعه در نظر گرفته شده‌اند که سری باد اعمالی به آن‌ها نیز یکسان فرض شده است. سپس تعداد توربین‌های بادی به تعداد ۱۳ و ۲۶ توربین افزایش یافته‌اند و سری‌های مختلفی از باد با اندکی تفاوت در اغتشاش و سرعت متوسط باد به آن‌ها اعمال شده‌اند. برای هر یک از حالت‌های فوق، همچنین اثر مشخصات خط انتقال (R_g, X_g) نیز با فرض مقادیر مختلف برای

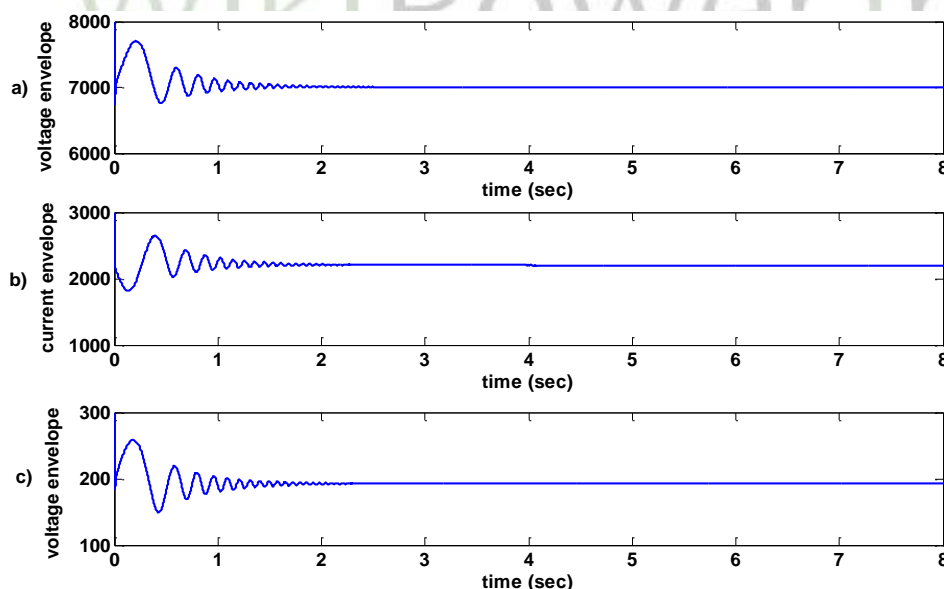
نسبت $\left(\frac{X_g}{R_g}\right)$ بررسی شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

ولتاژ در نقطه PCC و در ترمینال‌های یک ژنراتور توربین بادی و همچنین جریان فازها و پوش آن‌ها، در شکل‌ها نشان داده شده‌اند. همچنین توان اکتیو تولیدی توسط مزرعه بادی و توان راکتیو مصرفی توسط آن اندازه‌گیری شده و در شکل‌ها نشان داده شده‌اند. فقط تعدادی از شکل‌ها در اینجا ارائه شده‌اند. مدل باد در نظر گرفته شده در این شبیه‌سازی‌ها، مدل معادل باد (EWS) می‌باشد.

۴-۸-۱-۱) اثر مشخصات خط در فلیکر ولتاژ مزرعه بادی

در ابتدا، فرض شده است که $\frac{X_g}{R_g} = 1$ باشد و ۴ توربین بادی در مزرعه بادی 20MW وجود داشته باشند. یک سری باد تولید شده و به توربین‌های مزرعه بادی مطابق شکل (۴-۱۴) اعمال می‌شود. پوش ولتاژ فاز a در نقطه PCC و در ترمینال‌های یک ژنراتور توربین بادی، پوش جریان فاز a، توان اکتیو تولیدی توسط مزرعه بادی و توان راکتیو مصرفی توسط آن در شکل‌های (۴-۱۵) و (۴-۱۶) نشان داده شده‌اند. پوش ولتاژها و جریان‌ها نیز توسط اپراتور انرژی تیگر (TEO) که در فصل دوم معرفی شد، ردیابی شده‌اند.

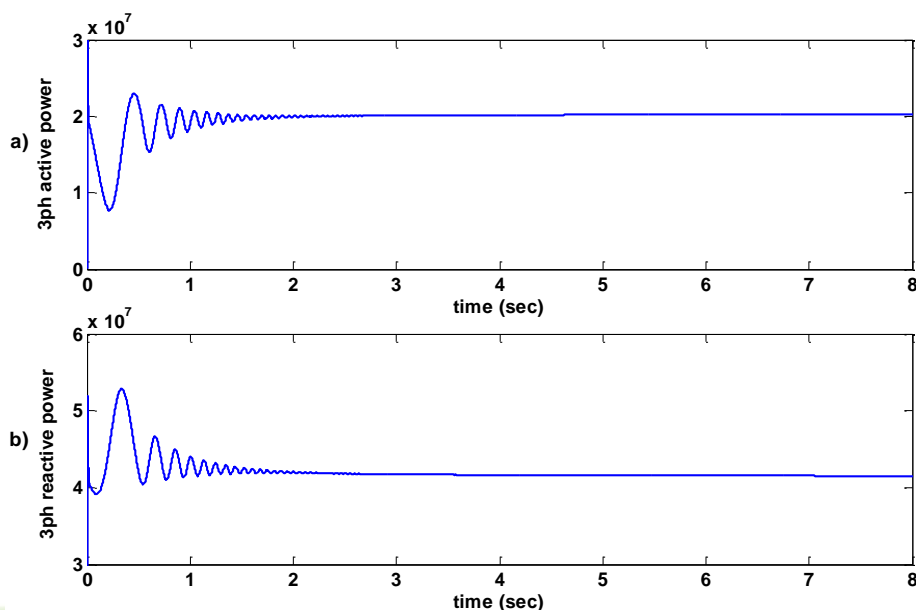


شکل (۴-۱۵): پوش ولتاژ در نقطه PCC

(b) پوش جریان فاز a

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

(c) پوش ولتاژ در ترمینال‌های ژنراتور توربین بادی ($\frac{X_g}{R_g} = 1$)



شکل (۴-۱۶): (a) توان اکتیو کل تولیدی توسط مزرعه بادی

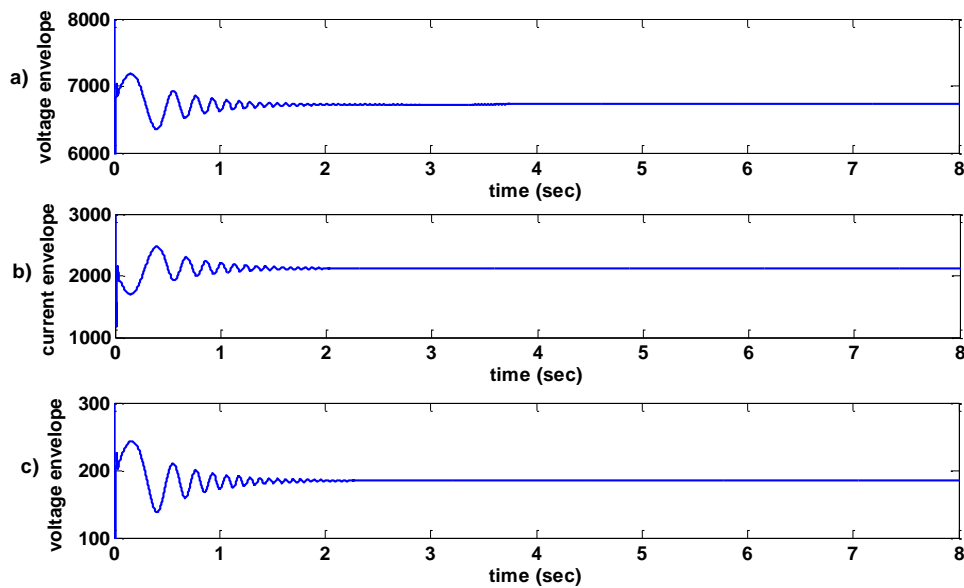
(b) توان راکتیو کل مصرفی توسط مزرعه بادی ($\frac{X_g}{R_g} = 1$)

نوسانات ولتاژ و جریان در لحظات اولیه اتصال مزرعه بادی به شبکه خیلی زیاد است. درصد نوسانات ولتاژ در ترمینال‌های ژنراتور توربین بادی بیشتر از نقطه PCC است. که این، بدلیل وجود بانک‌های خازنی است که در ترمینال‌های ژنراتورهای توربین‌های بادی نصب شده‌اند و بخشی از توان راکتیو مصرفی توربین‌های بادی را تولید می‌کنند و تا حدی از نوسانات ولتاژ کم می‌کنند. پس از چند ثانیه، این نوسانات خیلی کاهش پیدا می‌کنند اما به علت وجود مزرعه بادی، نوسانات نیز وجود خواهند داشت. در صورت کلیدزنی‌های زیاد مزرعه بادی به علت شرایط باد و ...، این نوسانات، ولتاژ شبکه را خیلی تحت تأثیر قرار می‌دهند.

در شبیه‌سازی بعد، نسبت $\frac{X_g}{R_g} = 20$ در نظر گرفته شده است (Z_g ثابت است). شکل موج‌ها در

شکل‌های (۴-۱۷) و (۴-۱۸) نشان داده شده‌اند.

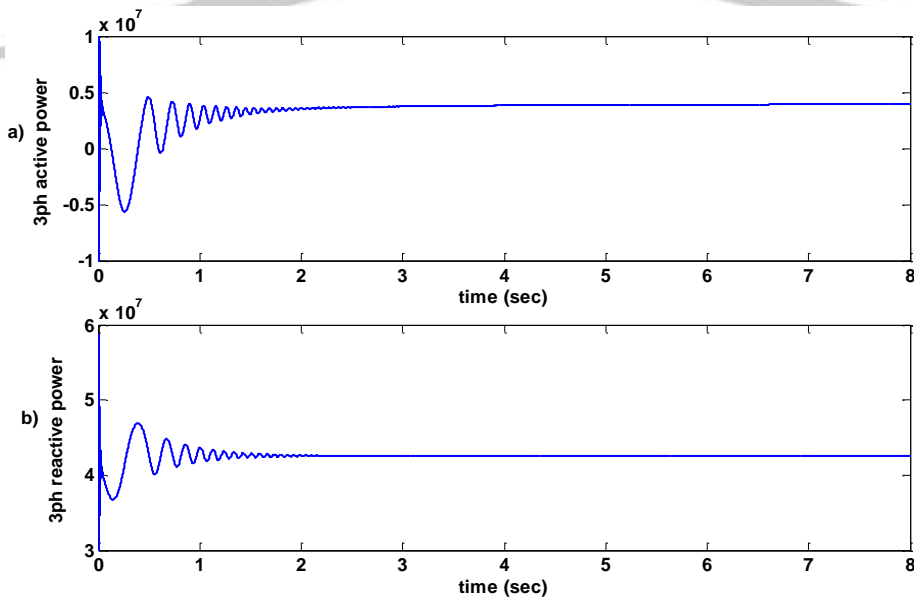
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل (۴-۱۷): پوش ولتاژ در نقطه PCC

(b) پوش جریان فاز a

(c) پوش ولتاژ در ترمینال‌های ژنراتور توربین بادی ($\frac{X_g}{R_g} = 20$)



شکل (۴-۱۸): توان اکتیو کل تولیدی توسط مزرعه بادی

(b) توان راکتیو کل مصرفی توسط مزرعه بادی ($\frac{X_g}{R_g} = 20$)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

همانطو که از شکل‌های (۴-۱۵) و (۴-۱۷) دیده می‌شود، با افزایش نسبت $\frac{X_g}{R_g}$ ، سطح ولتاژ در PCC

در حالت شرایط پایدار، کاهش می‌یابد. همچنین فراجاهش در لحظه استارت توربین بادی نیز کاهش می‌یابد.

اما نسبت $\frac{X_g}{R_g}$ اثر مشخصی بر روی انتشار فلیکر از توربین‌های بادی ندارد و انتشار فلیکر مرتبط با زاویه

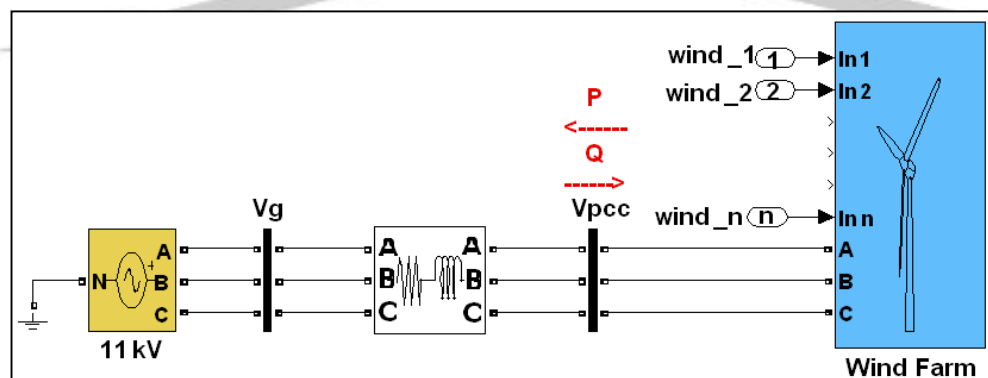
امپدانس خط می‌باشد.

توان اکتیو تولیدی توسط توربین بادی، با افزایش $\frac{X_g}{R_g}$ خیلی زیاد کاهش پیدا می‌کند.

۴-۸-۱-۲) اثر تعداد توربین‌های بادی در مزرعه بادی بر روی فلیکر ولتاژ

در این حالت تعداد ۱۳ توربین بادی در مزرعه بادی 20MW وجود دارد و سری‌های مختلف باد،

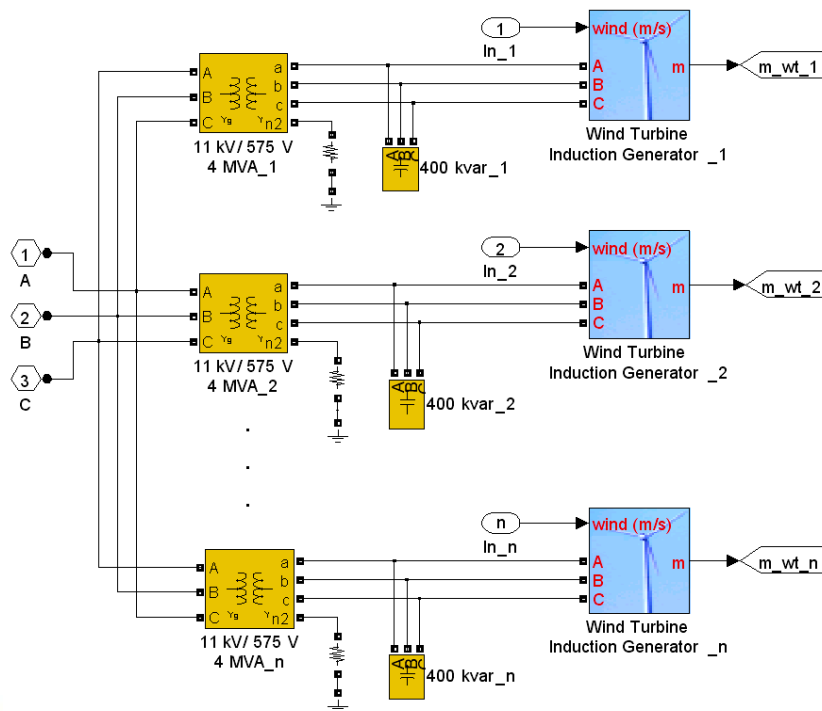
تولید شده و به این توربین‌ها اعمال می‌شوند. سیستم مورد بررسی در شکل (۴-۱۹) نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۹): مزرعه بادی اتصال یافته به شبکه قدرت با اعمال سری‌های باد مختلف به

توربین‌های بادی

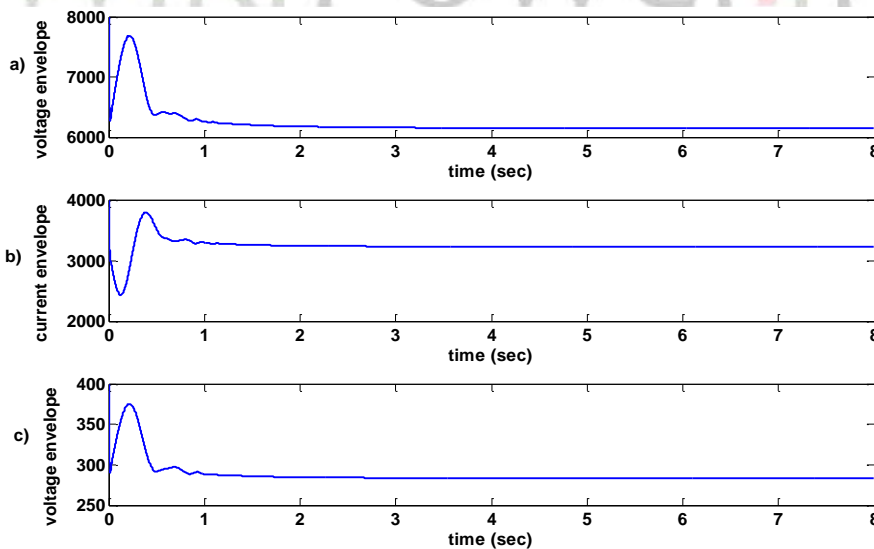
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۴-۲۰): مدل مزرعه بادی با n توربین بادی

پوش ولتاژ فاز a در نقطه PCC و در ترمینال‌های ژنراتور توربین بادی و پوش جریان فاز a و نیز

توان‌های اکتیو و راکتیو مزرعه بادی در شکل‌های (۴-۲۱) و (۴-۲۲) نشان داده شده‌اند.

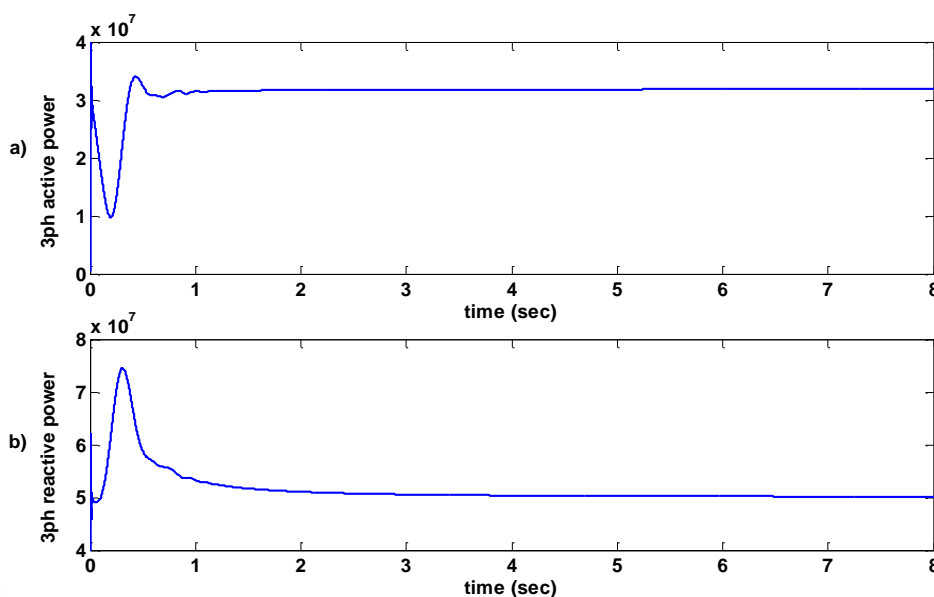


شکل (۴-۲۱): (a) پوش ولتاژ در نقطه PCC

(b) پوش جریان فاز a

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر اسایت و به همراه فونت های لازم

(c) پوش ولتاژ در ترمینال‌های ژنراتور توربین بادی



شکل (۴-۲۲): (a) توان اکتیو کل تولیدی توسط مزرعه بادی

(b) توان راکتیو کل مصرفی توسط مزرعه بادی

این شکل‌ها با حالتی که ۴ توربین بادی در مزرعه بادی وجود داشت و یک سری باد به آن‌ها اعمال می‌شد مقایسه شده‌اند.

از شکل‌های (۴-۱۵) و (۴-۲۱)، مشخص است که در این حالت، فراجهبش ولتاژ شدیدتری در لحظه

کلیدزنی مزرعه بادی به شبکه رخ می‌دهد. بنابراین با افزایش تعداد توربین‌های بادی در مزرعه بادی،

فراجهبش ابتدایی ولتاژ خیلی شدیدتر می‌شود اما این ولتاژ تا رسیدن به حالت دائم کاهش می‌یابد و نوسانات

ولتاژ مانند حالت قبل وجود ندارند. همچنین با افزایش تعداد توربین‌های بادی در مزرعه بادی، سطح ولتاژ

حالت دائم در نقطه PCC کاهش می‌یابد ولی توان اکتیو تولیدی توسط مزرعه بادی و توان راکتیو مصرفی

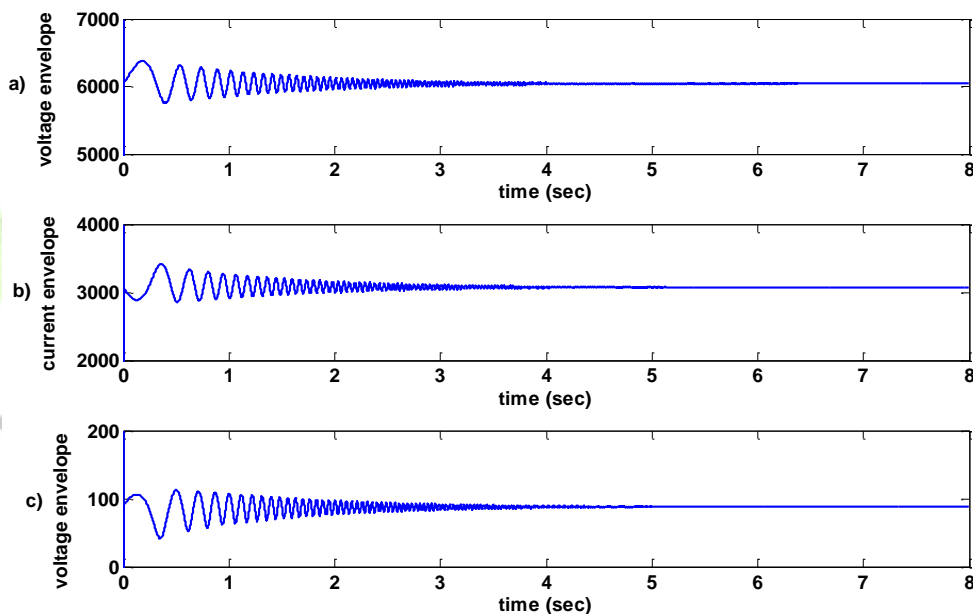
توسط آن، نسبت به حالت وجود تعداد کمی توربین بادی در مزرعه بادی، افزایش می‌یابند.

۴-۱-۸-۳ اثر توان نامی مزرعه بادی بر روی فلیکر ولتاژ در نقطه PCC

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

برای بررسی اثر توان نامی مزرعه بادی بر روی فلیکر ولتاژ در نقطه PCC، یک مزرعه بادی با توان نامی 80MW در نظر گرفته شده است و همچنین اثر مشخصات خط انتقال و تعداد توربین‌های بادی در مزرعه بادی نیز بررسی شده‌اند.

برای یک مزرعه بادی 80MW و $\frac{X_g}{R_g} = 1$ یک سری باد برای توربین‌ها، نتایج ولتاژها و توان‌ها در شکل‌های (۴-۲۳) و (۴-۲۴) نشان داده شده‌اند.

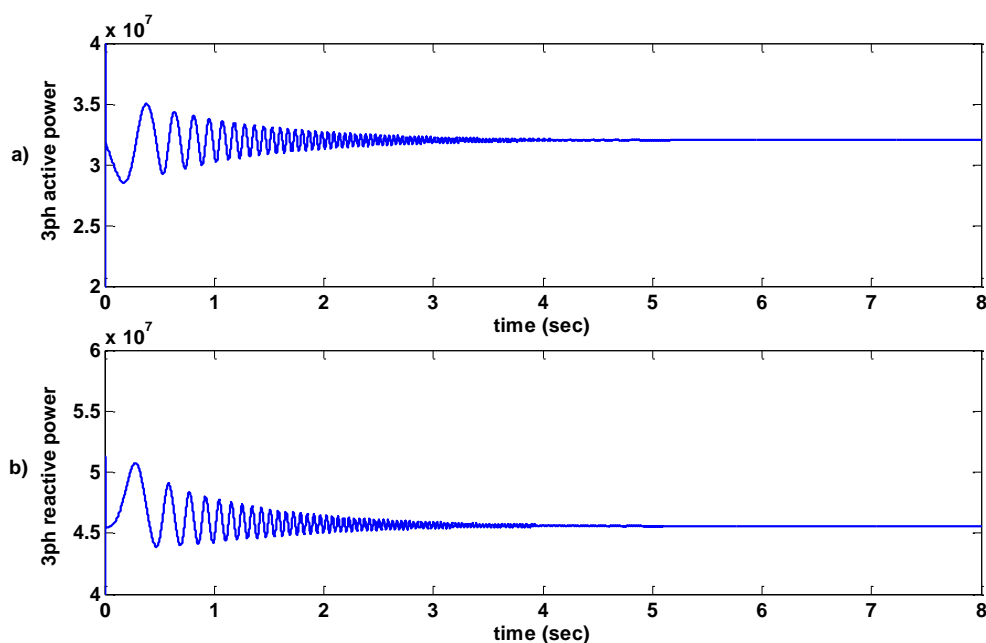


شکل (۴-۲۳): (a) پوش ولتاژ در نقطه PCC

(b) پوش جریان فاز a

(c) پوش ولتاژ در ترمینال‌های ژنراتور توربین بادی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۴-۲۴): (a) توان اکتیو کل تولیدی توسط مزرعه بادی

(b) توان راکتیو کل مصرفی توسط مزرعه بادی

نتایج با حالت مزرعه بادی 20MW مقایسه شده‌اند. از شکل‌های (۴-۱۵) و (۴-۲۳) دیده می‌شود

که با افزایش توان نامی مزرعه بادی، نوسانات ولتاژ و جریان افزایش می‌یابد. در این حالت، سطح ولتاژ در شرایط حالت دائم، در PCC و ترمینال‌های ژنراتور توربین بادی، کاهش می‌یابد.

۴-۹) بررسی فلیکر انتشار یافته از توربین‌های بادی اتصال یافته به شبکه‌های ضعیف

توربین‌های بادی اغلب در مناطقی برپا می‌شوند که شبکه ضعیف است. وقتی که توربین‌های بادی

به شبکه متصل می‌شوند دو پدیده مختلف رخ می‌دهد: نوسانات ولتاژ و تغییرات ولتاژ ساکن (ثابت) ناشی شده از توان تولیدی در توربین.

۴-۹-۱) توصیف شبکه ضعیف

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در شکل (۴-۲۵)، سیستم قدرت بصورت یک منبع ولتاژ سری با یک امپدانس در نظر گرفته شده است. باس ۱ باس بی‌نهایت بوده و باس ۲ نقطه اتصال توربین بادی به شبکه (PCC) است.

سایر پارامترهای شبکه بصورت زیر می‌باشند:

باس ۱ (باس بی‌نهایت): 120 KV

باس ۲ (باس PCC): 575 V

ترانسفورماتور T1: 120 KV/25 KV و 47 MVA

ترانسفورماتور T2: 25 KV/575 V و 12 MVA

خط انتقال:

• راکتور کنترل شده با تریستور :

عنصر کنترل کننده در TCR، یک مدار تریستوری است که در آن یک زوج تریستور بصورت موازی معکوس قرار گرفته و هر یک از آن‌ها به ترتیب در نیم سیکل متوالی فرکانس تغذیه هدایت می‌شوند. اگر تریستورها دقیقاً در لحظه پیک ولتاژ تغذیه، آتش شوند، بطور کامل به اندازه ۱۸۰ درجه هدایت کرده و جریان عبوری از راکتور مشابه وقتی است که مدار تریستوری اتصال کوتاه شده باشد. جریان اساساً راکتیو بوده و به اندازه ۹۰ درجه از ولتاژ عقب‌تر است. با تغییر زاویه آتش تریستورها، راکتور کنترل شده با تریستور به یک سوسپتانس قابل کنترل تبدیل شده و بنابراین می‌تواند به‌عنوان جبران کننده ایستا بکار برده شود.

• خازن سوئیچ شونده با تریستور :

خازن سوئیچ شونده با تریستور (TSC) بوسیله کنترل کردن تعداد خازن‌های در حال هدایت تنظیم می‌گردد. لحظه هدایت تریستورهای موازی و معکوس، در پیک ولتاژ شبکه است. در این صورت تغییرات ولتاژ نسبت به زمان صفر بوده، بنابراین در هنگام هدایت خازن، ضربه جریان نخواهیم داشت. از سویی باید توجه داشت که زاویه آتش در این آرایش تغییر نمی‌کند، یعنی یا تریستورها تریگر می‌شوند و خازن را

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

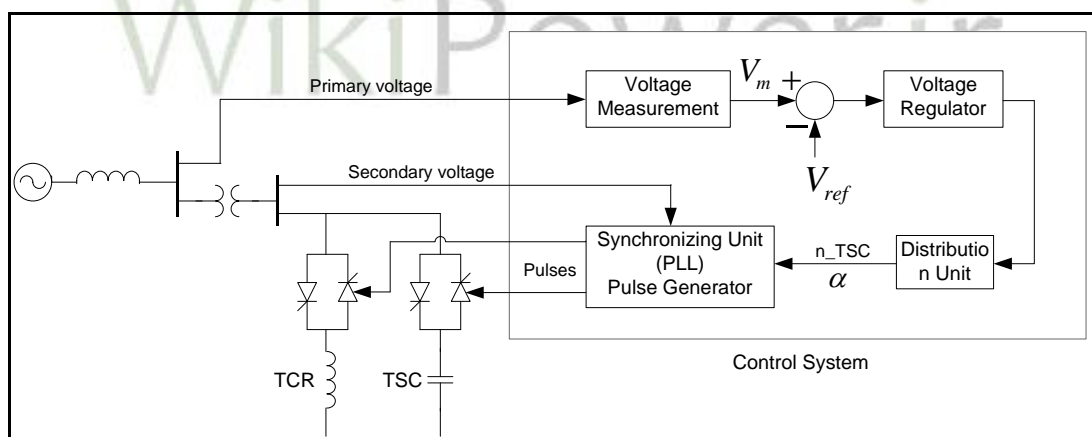
همانند یک کلید به شبکه وصل می‌کنند یا پالسی دریافت نکرده و هدایت نمی‌کنند، بنابراین از مدار قطع هستند. در صورت اتصال به شبکه، همواره یکی از تریستورها عمل هدایت را برای نیم سیکل به عهده می‌گیرد.

در حالتی که نیاز به کار در هر دو ناحیه جبران‌سازی سلفی و خازنی باشد، می‌توان از ترکیب دو جبران‌ساز TCR و TSC استفاده کرد.

در این بخش، برای کنترل ولتاژ باس PCC، ترکیبی از دو نوع SVC شرح داده شده در بالا بکار رفته است. تغییر توان راکتیو با کلیدزنی بانک‌های خازنی سه فاز و اندوکتانس‌های اتصال یافته به سمت ثانویه ترانسفورماتور کوپلینگ انجام می‌گیرد.

۴-۱۰-۳-۱) سیستم کنترلی SVC

بلوک دیاگرام سیستم کنترلی SVC در شکل (۴-۳۵) نشان داده شده است.



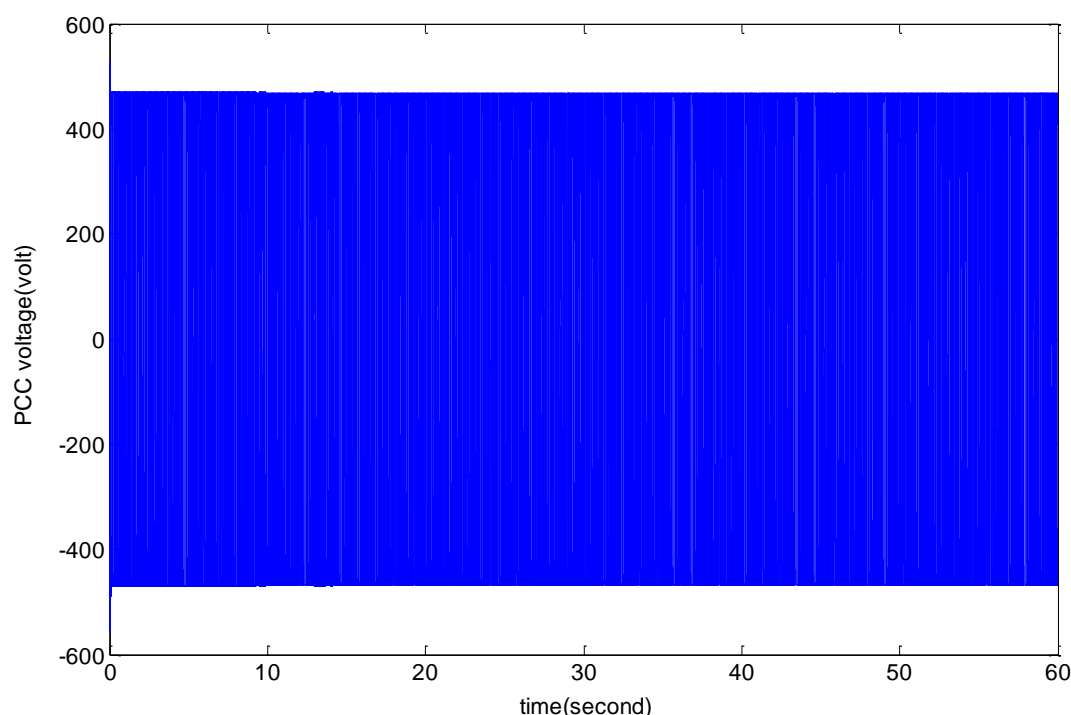
شکل (۴-۳۵): بلوک دیاگرام کنترلی SVC

سیستم کنترل SVC شامل بخش‌های زیر است:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- یک سیستم اندازه‌گیری که ولتاژ توالی مثبت که باید کنترل شود را اندازه‌گیری می‌کند. یک سیستم اندازه‌گیری مبتنی بر تبدیل فوریه که از یک میانگین جاری یک سیکلی استفاده می‌کند، بکار رفته است.
 - یک تنظیم‌کننده ولتاژ که از خطای ولتاژ (تفاضل بین ولتاژ اندازه‌گیری شده (V_m) و ولتاژ مرجع (V_{ref})) استفاده می‌کند تا سوسپتانس SVC را که نیاز است تا ولتاژ سیستم ثابت نگه داشته شود را تعیین کند.
 - یک واحد توزیع که TSCها یا TSRهایی که باید اتصال یابند یا قطع شوند را تعیین می‌کند و زاویه آتش α را برای TCRها محاسبه می‌کند.
 - یک سیستم سنکرون‌سازی که از یک حلقه قفل فاز (PLL) سنکرون شده با ولتاژهای ثانویه و یک پالس ژنراتور که پالس‌های مناسب را به تریستورها ارسال می‌کند تشکیل شده است.
- شکل (۴-۳۶) شکل موج ولتاژ فاز a در نقطه PCC را پس از نصب SVC در آن نشان می‌دهد. کاهش فلیکر در PCC پس از نصب SVC کاملاً مشهود است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۴-۳۶): شکل موج ولتاژ فاز a در نقطه PCC را پس از نصب SVC

۴-۱۱) خلاصه فصل چهارم

در این فصل به بررسی عامل مهم دیگر ایجاد فلیکر در شبکه‌های قدرت یعنی توربین‌ها و مزارع بادی پرداخته شد. ابتدا مختصری درباره توربین‌های بادی و سیستم‌های الکتریکی آنها صحبت شد. سپس به بحث کیفیت توان توربین‌های بادی بویژه فلیکر ولتاژ ناشی از آنها پرداخته شد. دو نوع مدل برای شبیه‌سازی باد ارائه شد. سپس به بحث اندازه‌گیری فلیکر ناشی از توربین‌های بادی در نقطه PCC طبق استاندارد IEC پرداخته شد و انتشار فلیکر از توربین‌های بادی در دو حالت کارکرد سوئیچینگ و نیز کارکرد پیوسته آنها بررسی شد. در ادامه به شبیه‌سازی یک شبکه الکتریکی قوی که یک مزرعه بادی به نقطه PCC آن اتصال یافته است پرداخته شد. نوآوری انجام شده در اینجا، بررسی تأثیر عوامل مختلف نظیر مشخصات خط انتقال اتصال دهنده مزرعه بادی به شبکه قدرت (نسبت $\frac{X}{R}$ خط)، تعداد توربین‌های بادی در مزرعه بادی و توان نامی مزرعه بادی بر روی انتشار فلیکر از مزرعه بادی بویژه در لحظات سوئیچینگ

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

می‌باشد. در ادامه، شبیه‌سازی و بررسی یک شبکه قدرت ضعیف که یک توربین بادی به باس PCC آن اتصال یافته بود انجام شد و اندازه‌گیری‌های ولتاژ و سطوح فلیکر در باس PCC آن اجرا شد. از آنجا که انتشار فلیکر در باس PCC این شبکه خیلی بیشتر از مقدار مجاز انتشار فلیکر بود به اعمال روش‌هایی برای کاهش فلیکر PCC با استفاده از ادوات STATCOM و SVC در این شبکه پرداخته شد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱) نتیجه گیری

فلیکر ولتاژ یکی از جنبه‌های مهم کیفیت توان در شبکه‌های قدرت است. این پدیده به نوسانات متناوب یا غیرمتناوب ولتاژ در شبکه‌های قدرت اطلاق می‌شود که دامنه آن‌ها تا حد ۰/۱ پریونیت بوده و فرکانس این نوسانات نیز بین صفر تا ۳۰ هرتز می‌باشد. بدلیل آثار آزاردهنده و مخرب این نوسانات، استانداردهای کیفیت توان در شبکه‌های قدرت برای این پدیده مطرح شده و حدود انتشار فلیکر مجاز در شبکه‌های قدرت برآورد شده است.

این پایان‌نامه با هدف بررسی و تحلیل این پدیده و آثار آن در شبکه‌های قدرت و بررسی دو عامل اصلی ایجاد فلیکر در شبکه‌های قدرت یعنی کوره‌های قوس الکتریکی و توربین‌های بادی و ارائه راهکارهایی برای کاهش انتشار فلیکر از توربین‌های بادی آغاز شد. تجهیز فلیکرمتر که برای بیان شدت نوسانات فلیکر بصورت کمی بکار می‌رود مطابق با استاندارد IEC 61000-4-15 شبیه‌سازی شد تا بوسیله آن، معیارهای شدت فلیکر کوتاه‌مدت، شدت فلیکر بلندمدت، $P_{st,99\%}$ و سطوح لحظه‌ای فلیکر در باس‌های شبکه قدرت، اندازه‌گیری و تعیین شوند. از آنجا که منحنی فلیکر سنتی قادر به پاسخ‌گویی اطلاعات مورد نیاز برای تعیین دامنه و فرکانس نوسانات فلیکر نبود بویژه در حالتی که سیگنال فلیکر شامل چندین مؤلفه دامنه و فرکانس می‌باشد (که اغلب بارهای فلیکرزا در شبکه‌های قدرت، چنین هستند) روش‌های جدیدی برای تخمین دامنه و فرکانس فلیکر سیگنال‌های ولتاژ شامل چندین مؤلفه فلیکر بر مبنای الگوریتم‌های PSO و رقابت استعماری معرفی شدند که تخمین پارامترهای سیگنال ولتاژ شامل چندین مؤلفه فلیکر، اولین نوآوری این

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

پایان نامه بود. همچنین دو روش دنبال کردن پوش سیگنال ولتاژ و آشکارسازی فلیکر (روش اپراتور انرژی تیگر و روش تبدیل هیلبرت) که برای شناسایی باسی از شبکه که عامل ایجاد فلیکر به آن اتصال یافته و نیز تعیین لحظات دقیق ورود عامل فلیکرزا به شبکه و خروج آن مفید هستند، بررسی شدند. با شناختی که از پدیده فلیکر و روش‌های اندازه‌گیری شدت آن بدست آمد، به بررسی دو عامل اساسی تولید فلیکر در شبکه‌های قدرت یعنی کوره‌های قوس الکتریکی و توربین‌های بادی پرداخته شد. مدل‌سازی کوره قوس با جدیدترین و دقیق‌ترین روش صورت گرفت و شدت فلیکر در باس PCC در شبکه مورد بررسی، اندازه‌گیری شد. در ادامه به بررسی توربین‌های بادی پرداخته شد و انتشار فلیکر ناشی از توربین‌های بادی در حالت‌های سوئیچینگ و نیز کار پیوسته آن‌ها در شبکه‌های قدرت بررسی شد. همچنین مفهوم شبکه ضعیف بررسی شده و شبکه ضعیفی که یک توربین بادی به آن اتصال یافته بود شبیه‌سازی شد. سطح انتشار فلیکر خیلی بالا در این شبکه برای نخستین بار نشان داده شده است که برای حذف آن، از ادوات STATCOM و SVC استفاده شد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۵-۲) پیشنهادات

می‌توان برای بررسی‌های آینده و تکمیل مطالعات در زمینه فلیکر ولتاژ، موارد زیر را مد نظر قرار

داد:

۱- بررسی سطوح انتشار فلیکر ناشی از بارهای دیگر نظیر دستگاه‌های جوش، دستگاه‌های کپی و

... که در شبکه‌های توزیع بسیار گسترده‌اند و تأثیر آن بر روی کیفیت توان شبکه.

۲- از آنجا که کوره‌های قوسی، هارمونیک‌های زیادی نیز تولید می‌کنند می‌توان برای بررسی کامل‌تر

کیفیت توان این بارها، علاوه بر انتشار فلیکر، تولید هارمونیک توسط این بارها را نیز مورد بررسی

قرار داده و راهکارهایی ارائه نمود که همگام با حذف فلیکر، هارمونیک‌های تولیدی این بارها را

نیز فیلتر نمود.

۳- مدل‌سازی همزمان وجود چند عامل فلیکرزا نظیر توربین‌های بادی و کوره‌های قوس الکتریکی

در شبکه قدرت.

۴- استفاده از سایر ادوات FACTS در حذف فلیکر ناشی از توربین‌های بادی و کوره‌های قوسی.

۵- بررسی عوامل هزینه و میزان کارایی در استراتژی‌های حذف فلیکر ناشی از کوره‌های قوسی و

توربین‌های بادی و تعریف نمودن توابع هدف مناسب برای بهینه‌سازی انتخاب روش مناسب

حذف فلیکر.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فهرست منابع

- [۱] آلن وی. اپنهایم، آلن اس. ویلسکی و حمید نواب، "سیگنال‌ها و سیستم‌ها"، ترجمه: دکتر پرویز جبه‌دار مارالانی و مهندس بهمن زنج، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.
- [۲] حمیدرضا خدادادی، "طراحی فیلتر و سنتز مدار"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه امام حسین (ع)، ۱۳۸۷.
- [3] Math H. J. Bollen, Irene Yu-Hua Gu, "Signal Processing of Power Quality Disturbances", edited by Mohamed E. El-Hawary, a John WILEY & SONS, INC., Publication, 2006.
- [4] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty, "Electrical Power Systems Quality", second edition, McGraw-Hill.
- [5] Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 4: Testing and Measurement Techniques Section 15: Flickermeter Functional and Design Specifications, Standard IEC 61000-4-15, Oct 2003.
- [6] A. Bertola, G. C. Lazaroiu, M. Roscia, and D. Zaninelli, "A Matlab-Simulink Flickermeter Model for Power Quality Studies", 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power, pp.734-738, 2004.
- [7] Gary W. Chang, Cheng -I Chen, and Ya-Lun Huang, "A Digital Implementation of Flickermeter in the Hybrid Time and Frequency Domains", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 24, no. 3, pp. 1475-1482, July 2009.
- [8] L. W. White, and S. Bhattacharya, "A Discrete Matlab-Simulink Flickermeter Model for Power Quality Studies", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, vol. 59, no. 3, pp. 527-533, March 2010.
- [9] D. Gallo, C. Landi, and N. Pasquino, "Design and calibration of an objective flickermeter", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, vol. 55, no. 6, pp. 2118-2125, Dec. 2006.
- [10] K. Srinivasan, "Digital measurement of voltage flicker" IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 6, no.4, pp. 1593-1598, Oct. 1991.
- [11] M.T. Chen, "Digital Algorithms for Measurement of Voltage Flicker", IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution, Vol. 144, No. 2, pp.175-180, March.1997.
- [12] C.S. Chen, H.J. Chuang, C.T. Hsu and S.M. Tseng, "Stochastic Voltage Flicker Analysis and its Mitigation for Steel Industrial Power Systems", IEEE Porto Power Tech. Conference, vol. 1, Porto, Portugal, Sept. 2001.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- [13] P.K. Dash, A.K. Pradhan, G. Panda, "Frequency estimation of distorted power system signals using extended complex Kalman filter", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 14, No. 3, pp. 761-766, July. 1999.
- [14] S.A. Solaiman, M.E. El-Hawary, "Measurement of voltage flicker magnitude and frequency in a power system for power quality analysis", Electrical Power Components and Systems, Vol. 27, No. 12, pp. 1289-1297, November. 1999.
- [15] S.A. Soliman, G.S. Christensen, D.H. Kelly, K.M. EL-Naggar, "Least absolute value based on linear programming algorithm for measurement of power system frequency from a distorted bus voltage signal", Electrical Power Components and Systems, Vol. 20, No. 6, pp. 549-568, November. 1992.
- [16] A.A. Girgis, J.W. Stephens, E.B. Makram, "Measurement and Prediction of Voltage Flicker Magnitude and Frequency", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.10, No. 3, pp. 1600–1605, July. 1995.
- [17] C. Ming-Tang, A.P. Sakis Meliopoulos, "Wavelet-based algorithm for voltage flicker analysis", [IEEE Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power](#), Vol. 2, pp. 732-738, Oct. 2000.
- [18] H. Shyh-Jier, L. Chen-Wen, "Enhancement of digital equivalent voltage flicker measurement via continuous wavelet transform", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 19, No. 2, pp. 663-670, April. 2004.
- [19] J. Kennedy, R. Eberhart, "Particle swarm optimization", IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. 4, pp. 1942–1948, Nov/Dec. 1995.
- [20] A.K. Al-Othman and K.M. El-Naggar, "Voltage Flicker Measurement Using Particle Swarm Optimization Technique for Power Quality Assessment", IEEE Electro technical Conference, pp. 1077-1082, May 2006.
- [21] Mardani, Mehdi; Mazlumi, Kazem; Jalilvand, Abolfazl; "Measurement of multiple flickers voltage signal parameters", 19th Iranian Conference on [Electrical Engineering \(ICEE\)](#), pp.1-6, May 2011.
- [22] E. Atashpaz-Gargari, C. Lucas, "Imperialist competitive algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition", IEEE Congress on [Evolutionary Computation](#), pp. 4661-4667, CEC, Sep 2007.
- [23] Abdel-Galil, T.K. El-Saadany, E.F. Salama, M.M.A. "Online Tracking of Voltage Flicker Utilizing Energy Operator and Hilbert Transform", IEEE trans. On power delivery. Vol. 19, issue. 2, pp. 861-867, April 2004.
- [24] Q. Chen, X. Jia, and C. Zhao, "Analysis on Measuring Performance of Three Flicker Detecting Methods", IEEE Power & Energy Society General Meeting (PES), pp. 1-7, July 2009.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- [25] T. K. Abdel-Galil, E.F. El-Saadany and M.M.A. Salama, "Energy Operator for On-Line Tracking of Voltage Flicker Levels", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, vol. 2, pp. 1153-1157, 2002.
- [26] W. Tong, S. Yuan, Z. Li, and X. Song, "Detection of Voltage Flicker Based on Hilbert Transform and Wavelet Denoising", IEEE [Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies](#), pp. 2286-2289, April 2008.
- [27] Assessment of Emission Limits for Fluctuating Loads in MV and HV Power Systems, IEC 61000-3-7, 1995.
- [28] A. Robert and M. Couvreur, "Arc furnace flicker assessment and prediction", in Proc. 12th Int. Conf. Electricity Distribution (CIRED), May 17-21, 1993, vol. 2.
- [29] Varadan, Makram, and Girgis, "A new time domain voltage source model for an arc furnace using EMTP", IEEE Trans. Power Del., vol. 11, no. 3, pp. 1685-1691, Jul. 1996.
- [30] Montanari et al., "Arc furnace model for the study of flicker compensation in electrical networks," IEEE Trans. Power Del., vol. 9, no. 4, pp. 2026-2036, Oct. 1994.
- [31] R. Collantes-Bellido and T. Gomez, "Identification and modeling of a three phase arc furnace for voltage disturbance simulation", IEEE Trans. Power Del., vol. 12, no. 4, pp. 1812-1817, Oct. 1997.
- [32] O. Ozgun and A. Abur, "Flicker study using a novel arc furnace model" IEEE Trans. Power Del., vol. 17, no. 4, pp. 1158-1163, Oct. 2002.
- [33] Jang, Wang, and Heydt, "Development of Enhanced Electric Arc Furnace Models for Transient Analysis", Ithaca, NY: Power Systems Engineering Research Center (PSERC) Publication, 2000.
- [34] Paschkis and Persson, "Industrial Electric Furnaces and Appliances", New York: Interscience Publishers, 1960.
- [35] Randy Horton, Timothy A. Haskew, and Reuben F. Burch IV, "A Time-Domain AC Electric Arc Furnace Model for Flicker Planning Studies", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 24, no. 3, July 2009.
- [36] Ake Larsson, "The Power Quality of Wind Turbines", PhD Thesis, Department of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 2000.
- [37] Wind turbines systems, Part 21: Measurement and Assessment of Power Quality Characteristics of Grid Connected Wind Turbines, Standard IEC 61400-21, Dec. 2008.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- [38] Tomas Petru, "Modeling of Wind Turbines for Power System Studies", Thesis for The Degree of Licentiate of Engineering, Department of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 2001.
- [39] P. Rosas, "Dynamic Influences of Wind Power on the Power System", PhD Thesis submitted to Orsted Institute, Section of Electric Power Engineering, Technical University of Denmark, March 2003.
- [40] P. Sørensen, A. D. Hansen, and P. A. Carvalho Rosas, "Wind models for simulation of power fluctuations from wind farms", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 90, issues. 12-15, pp. 1381-1402, Dec. 2002.
- [41] J. G. Slootweg, "Wind Power Modelling and Impact on Power System Dynamics", elektrotechnisch ingenieur doctorandus in de bedrijfswetenschappen, geboren te De Bilt., 2003.
- [42] P.M. Anderson, A. Bose, "Stability simulation of wind turbine systems", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. 102, no. 12, pp. 3791-3795, Dec. 1983.
- [43] Tande, J.O.G., "Impact of wind turbines on voltage quality", 8th International Conference on [Harmonics and Quality of Power](#), pp. 1158-1161, vol. 2, Oct. 1998.
- [44] A. Lazkano, I. Azkarate, J.J. Gutierrez, J. Ruiz, L.A. Leturiondo, P. Saiz, "Measurement of the Flicker Characteristics of Grid Connected Wind Turbines: Instantaneous Frequency versus Instantaneous Phase Estimation Methods", 14th International Conference on Harmonics and quality of power (ICHQP), pp. 1-6, Sep. 2010.