



دانشکده برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش قدرت  
دانشکده مهندسی برق و رباتیک

عنوان:

تعیین جهت منبع فلیکر در یک سیستم قدرت

استاد راهنما:

دکتر علی دستفان

استاد مشاور:

دکتر علیرضا احمدی فرد

دانشجو:

محمدرضا میرزایی

تابستان ۸۷

تقدیم:

تقدیم به پدرمهربان، مادر بهتر از جان و همسر فداکارم

اسلام عصر غیبت، ظرف آبی است که واژگون شده، تنها رطوبتی بر جای مانده است. تا کی به این آب اندک معرفت، قناعت می کنیم. به امید آنروز که عطش آن آب فرو رفته در چاه غیبت، از خواب غفلت بیدارمان سازد تا از آن آب گوارای معرفت سیراب شویم.

"قل ارئیتم ان اصبح ماءوكم غورا فمن یاتیکم بماء معین" (سوره ملک، آیه ۳۰)

## تشکر و قدردانی:

حمد و سپاس بیکران، خداوندی را سزااست که ما را از عدم به وجود آورد و بهترین بندگانش را برای هدایت خلق، مامور کرد. خدایا بر محمد و آل پاکش درود فرست و ما را از جمله بهترین پیروان آنها قرار بده که تو بر هر کاری توانایی.

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

## چکیده

امروزه به منظور افزایش قابلیت اطمینان برق تولیدی، در بسیاری از مناطق، سیستم های قدرت مختلف به یکدیگر متصل می شوند. به این ترتیب، سیستم قدرت کلی از نقاط مختلف تغذیه می شود و این باعث افزایش قابلیت اطمینان کل سیستم می شود. اما از طرفی این موضوع سبب می شود که فلیکر تولیدی به وسیله منابع مختلف موجود در سیستم، در کل سیستم منتشر شود و بارهای خطی را تحت تاثیر قرار دهد. از طرف دیگر با رقابتی شدن بازار برق، شرکتهای تولیدی سعی می کنند، شدت فلیکر را در نقاط مختلف شبکه به سطح قابل قبولی کاهش دهند. به منظور کاهش سطح فلیکر شبکه، اولین گام، یافتن منابع عمده انتشار فلیکر در شبکه می باشد.

کارهایی که تاکنون در زمینه جهت یابی منابع فلیکر انجام شده، معمولاً در شبکه های شعاعی و یا شبکه هایی که فقط از یک سو تغذیه می شوند، انجام شده است و شبکه های با تغذیه دوگانه یا چندگانه کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

در این پایان نامه، ابتدا روش های اندازه گیری شدت فلیکر به همراه مدل شبیه سازی شده فلیکر متر استاندارد IEC در محیط simulink نرم افزار MATLAB، ارائه می شود، سپس ضمن بررسی روش های موجود در زمینه جهت یابی منابع فلیکر، روشی را برای تشخیص جهت منابع فلیکر در یک سیستم قدرت با تغذیه چندگانه و چگونگی تاثیر متقابل دو یا چند منبع فلیکر بر یک بار خطی، ارائه می کند. در نهایت، با ارائه شبیه سازی های مختلف، کارایی روش ارائه شده مورد بررسی قرار می گیرد و ثابت می شود که روش ارائه شده در کلیه سیستم های قدرت، قابل استفاده است.

**کلمات کلیدی:** سیستم قدرت، کیفیت توان، فلیکر، فلیکر متر، منبع فلیکر، منبع فلیکر غالب، شیب

ولتاژ- جریان، توان فلیکر.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل ۱: مقدمه
۲	۱-۱- تعریف کیفیت توان
۳	۲-۱- پدیده های کیفیت توان و استانداردهای مربوطه
۳	۱-۲-۱- وقفه ها
۴	۲-۲-۱- تغییرات مقدار موثر ولتاژ
۴	۱-۲-۲-۱- فرورفتگی ولتاژ
۵	۲-۲-۲-۱- برآمدگی ولتاژ
۶	۳-۲-۱- هارمونیک ها
۷	۴-۲-۱- پدیده های گذرا
۷	۵-۲-۱- نوسانات مقدار مؤثر ولتاژ: فلیکر
۸	۳-۱- اهمیت کیفیت توان
۱۰	۴-۱- اهمیت جهت یابی منابع فلیکر
۱۰	۵-۱- مروری بر کار های انجام شده در زمینه جهت یابی منابع فلیکر
۱۲	۶-۱- مروری بر پایان نامه
۱۳	فصل ۲: فلیکر و روش های اندازه گیری آن
۱۴	۱-۲- مقدمه
۱۴	۲-۲- فلیکر
۱۵	۳-۲- منابع ایجاد فلیکر در سیستم قدرت
۱۷	۴-۲- تاثیر فرکانس در میزان فلیکر

۱۸	۵-۲- تاثیر اندازه نوسانات ( $\frac{\Delta V}{V}$ ) و فرکانس آنها در میزان فلیکر
۱۸	۶-۲- تاثیر نوع نوسانات (سینوسی یا مربعی) در اندازه فلیکر
۲۱	۷-۲- تاثیر ولتاژ کار نامی در اندازه فلیکر
۲۱	۸-۲- لامپ های رشته ای
۲۸	۹-۲- تاثیر فلیکر روی لامپ های مختلف
۳۱	۱۰-۲- اثرات دیگر نوسانات ولتاژ
۳۱	۱۱-۲- روش های اندازه گیری فلیکر
۳۲	۱-۱۱-۲- روش SCVD
۳۲	۲-۱۱-۲- فلیکرمتر
۳۳	۱۲-۲- فلیکرمتر بر اساس استاندارد IEC
۳۵	۱-۱۲-۲- بلوک ۱: تطبیق دهنده ولتاژ ورودی و مدار باز بینی کالیبراسیون
۳۶	۲-۱۲-۲- بلوک ۲: دمودلاتور مربع کننده
۳۶	۳-۱۲-۲- بلوک ۳: فیلترهای وزن دهی
۳۷	۴-۱۲-۲- بلوک ۴: مربع سازی و هموار سازی
۳۸	۵-۱۲-۲- بلوک ۵: تحلیل آماری بلادرنگ
۳۹	۶-۱۲-۲- خروجی ها
۴۰	۷-۱۲-۲- مشخصات
۴۰	۱-۷-۱۲-۲- پاسخ آنالوگ
۴۲	۲-۷-۱۲-۲- ترانسفورماتور ورودی
۴۳	۳-۷-۱۲-۲- تطبیق دهنده ولتاژ
۴۳	۴-۷-۱۲-۲- مولد داخلی برای بازبینی کالیبراسیون دستگاه
۴۴	۵-۷-۱۲-۲- دمودلاتور مربع ساز
۴۴	۶-۷-۱۲-۲- فیلترهای وزن دهی
۴۴	۷-۷-۱۲-۲- پاسخ کلی از ورودی تا خروجی بلوک ۳
۴۵	۸-۷-۱۲-۲- سلکتور
۴۵	۹-۷-۱۲-۲- ضرب کننده مربعی و فیلتر متوسط لغزان
۴۶	۱۰-۷-۱۲-۲- الگوریتم تحلیل آماری بلادرنگ

۴۶	..... محدودده های کاری دستگاه از نظر رطوبت ودما ۱۱-۷-۱۲-۲
۴۷	..... آزمون عملکرد دستگاه ..... ۸-۱۲-۲
۴۷	..... آزمون های مربوط به سازگاری الکترومغناطیسی(به صورت خاص)..... ۱-۸-۱۲-۲
۴۸	..... آزمونهای مربوط به شرایط آب و هوایی ..... ۲-۸-۱۲-۲
۴۹	..... آزمون های حالت خاموشی دستگاه و بدون منبع تغذیه ..... ۱-۲-۸-۱۲-۲
۴۹	..... آزمون های حالت عملکرد دستگاه..... ۲-۲-۸-۱۲-۲
۵۰	..... ۱۳-۲: سنجش شدت فلیکر بر اساس خروجی فلیکر متر IEC.....
۵۱	..... ۱-۱۳-۲- کلاس بندی سطوح فلیکر خروجی بلوک ۴.....
۵۳	..... ۲-۱۳-۲-سنجش فلیکر کوتاه مدت.....
۵۴	..... ۳-۱۳-۲- سنجش فلیکر بلند مدت.....
۵۴	..... ۱۴-۲: فلیکر متر شبیه سازی شده در محیط.....
۵۶	..... <b>فصل ۳: روش های یافتن منابع فلیکر در سیستم قدرت</b> .....
۵۷	..... ۱-۳- مقدمه.....
۵۸	..... ۲-۳- روش "شیب ولتاژ- جریان".....
۵۸	..... ۱-۲-۳- اساس و پایه روش.....
۶۰	..... ۲-۲-۳- تئوری روش.....
۶۰	..... ۱-۲-۲-۳- حالت Downstream.....
۶۱	..... ۲-۲-۲-۳- حالت Upstream.....
۶۳	..... ۳-۳- روش "توان فلیکر".....
۶۳	..... ۱-۳-۳- اساس و پایه روش.....
۶۴	..... ۲-۳-۳- تئوری روش.....
۶۴	..... ۱-۲-۳-۳- حالت ۱.....
۶۵	..... ۲-۲-۳-۳- حالت ۲.....
۶۷	..... ۳-۳-۳- مدولاسیون اندازه (AM).....
۶۹	..... ۴-۳-۳- توان فلیکر.....
۷۰	..... ۵-۳-۳- روش های اندازه گیری برای محاسبه توان فلیکر.....
۷۳	..... ۱-۵-۳-۳- روش اندازه گیری ۱.....

۷۵	۲-۵-۳-۳- روش اندازه گیری ۲
۷۶	۳-۵-۳-۳- روش اندازه گیری ۳
۷۹	۶-۳-۳- بلوک دیاگرام دستگاه محاسبه توان فلیکر
۸۰	۷-۳-۳- نتایج شبیه سازی و نتایج عملی اعمال روش توان فلیکر در سیستم قدرت
۸۰	۱-۷-۳-۳- شبیه سازی روش های اندازه گیری ۱ و ۲ در Matlab
۸۳	۲-۷-۳-۳- شبیه سازی روش ۳
۸۸	۳-۷-۳-۳- آزمایش عملی روی یک بار ON-OFF
۹۱	۴-۷-۳-۳- اندازه گیری های عملی در یک توربین بادی
۹۳	۵-۷-۳-۳- اندازه گیری های عملی در یک ایستگاه 130 kV
۹۵	۶-۷-۳-۳- نتایج اندازه گیری M1 در ۸ می ۲۰۰۲
۹۷	۷-۷-۳-۳- نتایج اندازه گیری M2 در ۲۴ سپتامبر ۲۰۰۲
۹۸	۸-۷-۳-۳- نتیجه گیری و مقایسه روشهای توان فلیکر
۹۹	۴-۳- نتیجه گیری و مقایسه دو روش توان فلیکر و شیب ولتاژ- جریان
۹۹	۱-۴-۳- نقاط ضعف مشترک هر دو روش
۱۰۰	۲-۴-۳- مقایسه دو روش
۱۰۱	<b>فصل ۴: یافتن منابع فلیکر در یک سیستم قدرت با تغذیه چندگانه</b>
۱۰۲	۱-۴- مقدمه
۱۰۳	۲-۴- شبکه مورد تحلیل و فرضیات کلی مربوط به آن
۱۰۵	۳-۴- تحلیل DC
۱۰۶	۱-۳-۴- تاثیر منابع ولتاژ ( $E_1$ و $E_2$ ) بر جهت انتشار فلیکر
۱۰۸	۲-۳-۴- تاثیر مقاومت های خطوط ( $R_1$ و $R_2$ ) بر جهت انتشار فلیکر
۱۱۰	۳-۳-۴- تاثیر مقاومت های منابع تغذیه ( $I_1$ و $I_2$ ) بر جهت انتشار فلیکر
۱۱۴	۴-۳-۴- تاثیر مقاومت های منابع فلیکر ( $R_{f1}$ و $R_{f2}$ ) بر جهت انتشار فلیکر
۱۱۸	۴-۴- تحلیل AC
۱۱۹	۱-۴-۴- تاثیر منابع ولتاژ ( $V_{s1}$ و $V_{s2}$ ) بر جهت انتشار فلیکر
۱۲۰	۲-۴-۴- تاثیر امپدانس های خطوط ( $Z_1$ و $Z_2$ ) بر جهت انتشار فلیکر
۱۲۱	۳-۴-۴- تاثیر امپدانس های تونن منابع تغذیه ( $Z_{th1}$ و $Z_{th2}$ ) بر جهت انتشار فلیکر

۱۲۵	۴-۴-۴- تاثیر امپدانس های منابع فلیکر ( $Z_{f1}$ و $Z_{f2}$ ) بر جهت انتشار فلیکر.....
۱۲۹	۵-۴- الگوریتم پیشنهادی برای یافتن منبع فلیکر در شبکه های تغذیه شده از چند طرف.....
<b>۱۳۱</b>	<b>فصل ۵: نتایج شبیه سازی .....</b>
۱۳۲	۵-۱- مقدمه .....
۱۳۲	۵-۲- شبیه سازی شماره ۱ .....
۱۳۵	۵-۲-۱- نتایج اندازه گیری نقطه PCC1 .....
۱۳۶	۵-۲-۲- نتایج اندازه گیری نقطه PCC2 .....
۱۳۷	۵-۲-۳- نتایج اندازه گیری نقطه PCC3 .....
۱۳۷	۵-۳- شبیه سازی شماره ۲ .....
۱۳۸	۵-۳-۱- نتایج اندازه گیری نقطه PCC1 .....
۱۳۹	۵-۳-۲- نتایج اندازه گیری نقطه PCC2 .....
۱۴۰	۵-۳-۳- نتایج اندازه گیری نقطه PCC3 .....
۱۴۱	۵-۴- شبیه سازی شماره ۳ .....
۱۴۲	۵-۴-۱- نتایج اندازه گیری نقطه PCC1 .....
۱۴۳	۵-۴-۲- نتایج اندازه گیری نقطه PCC2 .....
۱۴۴	۵-۴-۳- نتایج اندازه گیری نقطه PCC3 .....
۱۴۵	۵-۵- نتایج حاصل از توان فلیکر .....
۱۴۶	۵-۶- شبیه سازی شماره ۴ .....
۱۴۸	۵-۶-۱- نتایج حالت ۱ .....
۱۵۰	۵-۶-۲- نتایج حالت ۲ .....
۱۵۱	۵-۶-۳- نتایج حالت ۳ .....
۱۵۳	۵-۶-۴- نتایج حالت ۴ .....
<b>۱۵۵</b>	<b>فصل ۶: نتیجه گیری و پیشنهادات.....</b>
۱۵۶	۶-۱- نتیجه گیری.....
۱۵۷	۶-۲- پیشنهادات.....
<b>۱۵۸</b>	<b>منابع .....</b>

## فهرست شکلها

صفحه	عنوان
۵	شکل ۱-۱: فرورفتگی ولتاژ خط انتقال بر اثر خطای سه فاز: شکل موج (بالا) و مقدار مؤثر (پایین) ....
۶	شکل ۱-۲: شمای خلاصه انواع وقفه، فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ از نظر مدت زمان، طبق استاندارد IEEE 1159 .....
۷	شکل ۱-۳: ۴ اندازه گیری ولتاژ گذرا در زمان سویچینگ یک خازن در یک محل .....
۸	شکل ۱-۴: اهمیت کیفیت توان از نظر تعداد مقالات منتشر شده طی سال های ۱۹۶۸ تا ۲۰۰۴ .....
۱۵	شکل ۱-۲: شمای نمادین زنجیره "لامپ-چشم-مغز" .....
۱۵	شکل ۲-۲: نوسانات ولتاژ سینوسی ۴۰ درصدی با فرکانس ۱۰ هرتز .....
۱۶	شکل ۲-۳: شمای ساده بار به وجود آورنده فلیکر .....
۱۷	شکل ۲-۴: موج سینوسی ۶۰ هرتز دارای ۲۰ درصد هارمونیک ۱۸۶ هرتز .....
۱۷	شکل ۲-۵: منحنی وزن طیف فرکانسی در تولید فلیکر (پیشنهادی توسط UIE) .....
۱۸	شکل ۲-۶: منحنی رابطه درصد تغییرات ولتاژ و فلیکر قابل مشاهده .....
۱۹	شکل ۲-۷: نوسانات سینوسی ۴۰ درصد .....
۱۹	شکل ۲-۸: نوسانات مربعی ۴۰ درصد .....
۲۰	شکل ۲-۹: منحنی مقادیر درصد تغییرات ولتاژ، برای تولید یک واحد فلیکر .....
۱۲۰ و ۲۳۰	شکل ۲-۱۰: منحنی درصد تغییرات ولتاژ به ازای تولید ۱ واحد فلیکر برای ولتاژهای نامی ۲۳۰ و ۱۲۰
۲۱	ولت .....

- شکل ۲-۱۱: طیف های تشعشعی مربوط به اجسام سیاه در دماهای (از بالا به پایین) ۳۸۵۰، ۳۶۷۵، ۳۵۰۰، ۳۳۲۵ و ۳۱۵۰ درجه کلوین (خطوط خط چین عمودی نشان دهنده طیف قابل مشاهده است)..... ۲۵
- شکل ۲-۱۲: کل انرژی انتشار یافته توسط جسم سیاه در بخش قابل مشاهده طیف به ازای دماهای بازه  $\pm 10\%$  در حد حول ۳۵۰۰ درجه کلوین ..... ۲۶
- شکل ۲-۱۳: اندازه گیری ضریب بهره برای لامپ های ۲۳۰ ولت ۶۰ وات (+)، ۱۲۰ ولت ۶۰ وات (O) و لامپ فلورسنت الکترونیکی (x) ، به همراه منحنی های تئوری مربوط به لامپ های رشته ای ۲۳۰ ولت ۶۰ وات (خطوط توپر) و ۱۲۰ ولت ۶۰ وات (خطوط خط چین) ..... ۲۷
- شکل ۲-۱۴: مدل زنجیره لامپ-چشم-مغز برای لامپ های رشته ای (خط توپر)، لامپ های فلورسنت (خط چین) و بالاست های الکترونیکی (نقطه چین)..... ۳۰
- شکل ۲-۱۵: فلیکر ناشی از ۲۳ نوع مختلف لامپ فلورسنت ..... ۳۰
- شکل ۲-۱۶: شمای کلی دستگاه فلیکرمتر استاندارد IEC ..... ۳۳
- شکل ۲-۱۷: شمای کلی وظایف بلوکهای دستگاه فلیکرمتر ..... ۳۴
- شکل ۲-۱۸: شمای خلاصه مراحل کار دستگاه ..... ۳۴
- شکل ۲-۱۹: شمای کلی وظایف بلوکهای دستگاه فلیکرمتر به همراه خروجیهای نوعی ..... ۳۵
- شکل ۲-۲۰: شمای کلی بلوک ۱ ..... ۳۵
- شکل ۲-۲۱: شمای کلی بلوک ۲ ..... ۳۶
- شکل ۲-۲۲: شمای کلی بلوک ۳ ..... ۳۷
- شکل ۲-۲۳: شمای کلی بلوک ۴ ..... ۳۷
- شکل ۲-۲۴: شمای کلی بلوک ۵ ..... ۳۸
- شکل ۲-۲۵: نمودار تابع انتقال (۲-۲۱) برای لامپ ۲۳۰ ولت ۵۰ هرتز ..... ۴۵
- شکل ۲-۲۶: خروجی نوعی بلوک ۴ که به ۱۰ طبقه تقسیم شده است ..... ۵۱
- شکل ۲-۲۷: نمودار تابع احتمال تجمعی شکل ۵-۱ با ۱۰ کلاس ..... ۵۲
- شکل ۲-۲۸: یک نمونه تابع احتمال تجمعی با تعداد ۴۰۰ کلاس ..... ۵۳
- شکل ۲-۲۹: شمای فلیکرمتر طراحی شده در محیط simulink ..... ۵۵

- شکل ۲-۳۰: نمودار ولتاژ ورودی، خروجی بلوک ۲ و فلیکر لحظه ای خروجی بلوک ۴ (به ازای نوسانات سینوسی ۰/۲۵ درصدی ورودی) ..... ۵۵
- شکل ۳-۱: شمای ساده مدل تک منبعی ..... ۵۸
- شکل ۳-۲: جهت انتشار توان اکتیو شبکه و جهت انتشار فلیکر ناشی از منبع فلیکر A ..... ۵۹
- شکل ۳-۳: جهت انتشار توان اکتیو شبکه و جهت انتشار فلیکر ناشی از منبع فلیکر B ..... ۵۹
- شکل ۳-۴: منحنی تغییرات ولتاژ- جریان نقطه مشاهده مربوط به منابع فلیکر A و B ..... ۵۹
- شکل ۳-۵: مدل شبکه مورد تحلیل در حالت Downstream ..... ۶۰
- شکل ۳-۶: منحنی  $dV/dI$  بر حسب زاویه  $\delta$  ( بار با ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز) ..... ۶۱
- شکل ۳-۷: مدل شبکه مورد تحلیل در حالت Upstream ..... ۶۲
- شکل ۳-۸: منحنی  $dV/dI$  بر حسب زاویه  $\delta$  ( بار با ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز) ..... ۶۳
- شکل ۳-۹: مدل شبکه مورد تحلیل در حالتی که منبع فلیکر، در سطحی پایین تر از نقطه اندازه گیری واقع باشد. .... ۶۳
- شکل ۳-۱۰: پوش جریان و ولتاژ نقطه اندازه گیری در حالتی که منبع فلیکر، در سطحی پایین تر نسبت به نقطه اندازه گیری واقع باشد. .... ۶۵
- شکل ۳-۱۱: مدل شبکه مورد تحلیل در حالتی که منبع فلیکر، در سطحی بالاتر از نقطه اندازه گیری واقع باشد. .... ۶۶
- شکل ۳-۱۲: پوش جریان و ولتاژ نقطه اندازه گیری در حالتی که منبع فلیکر، در سطحی پایین تر نسبت به نقطه اندازه گیری واقع باشد. .... ۶۷
- شکل ۳-۱۳: طیف فرکانسی یک سیگنال مدوله شده اندازه ..... ۶۸
- شکل ۳-۱۴: دیاگرام مربوط به روش اندازه گیری ۱ ..... ۷۴
- شکل ۳-۱۵: دیاگرام مربوط به روش اندازه گیری ۲ ..... ۷۵
- شکل ۳-۱۶: بلوک دیاگرام روش ۳ ..... ۷۶
- شکل ۳-۱۷: بلوک دیاگرام تابع تبدیل (۳-۴۱) ..... ۷۸
- شکل ۳-۱۸: بلوک دیاگرام تابع تبدیل (۳-۴۲) ..... ۷۸

- شکل ۳-۱۹: بلوک دیاگرام دستگاه محاسبه توان فلیکر ..... ۷۹
- شکل ۳-۲۰: مدل simulink برای روش اندازه گیری ۳ ..... ۸۳
- شکل ۳-۲۱: سیگنال خروجی شبیه سازی ۱-۳ ( $\Pi=91 \text{ w}$ ) ..... ۸۵
- شکل ۳-۲۲: سیگنال خروجی شبیه سازی ۲-۳ ( $\Pi=0 \text{ w}$ ) ..... ۸۵
- شکل ۳-۲۳: سیگنال خروجی شبیه سازی ۳-۳ ( $\Pi=-91 \text{ w}$ ) ..... ۸۶
- شکل ۳-۲۴: سیگنال خروجی شبیه سازی ۳-۳ ( $\Pi=14.2 \text{ mw}$ ) ..... ۸۶
- شکل ۳-۲۵: سیگنال خروجی شبیه سازی ۳-۳ ( $\Pi=0 \text{ w}$ ) ..... ۸۷
- شکل ۳-۲۶: سیگنال خروجی شبیه سازی ۳-۳ ( $\Pi=-14.2 \text{ mw}$ ) ..... ۸۷
- شکل ۳-۲۷: مدار معادل مدولاسیون on-off بار مقاومتی ..... ۸۸
- شکل ۳-۲۸: مدل ایجاد شده در محیط simulink به منظور محاسبه توان فلیکر تکفاز مربوط به بار مقاومتی ..... ۸۸
- شکل ۳-۲۹: توان فلیکر محاسبه شده به روش ۳ مربوط به مدار on-off بار مقاومتی ..... ۸۹
- شکل ۳-۳۰: مدل شبیه سازی شده بار on-off ..... ۸۹
- شکل ۳-۳۱: نتایج توان فلیکر بار on-off با استفاده از شبیه سازی (۱۸۰ درجه اختلاف فاز بین پوش ولتاژ و جریان ..... ۹۰
- شکل ۳-۳۲: نتایج توان فلیکر بار on-off با استفاده از شبیه سازی (پوش ولتاژ و جریان همفاز) ..... ۹۰
- شکل ۳-۳۳: دیاگرام تک خطی در نقطه مشاهده ..... ۹۱
- شکل ۳-۳۴: مدل طراحی شده در محیط simulink برای محاسبه توان فلیکر سه فاز در نقطه اتصال توربین به شبکه ..... ۹۲
- شکل ۳-۳۵: توان فلیکر محاسبه شده در نقطه اتصال توربین بادی به شبکه ..... ۹۳
- شکل ۳-۳۶: دیاگرام تک خطی شبکه مورد مطالعه ..... ۹۴
- شکل ۳-۳۷: توان فلیکر سه فاز اندازه گیری شده در نقطه M1a ..... ۹۶
- شکل ۳-۳۸: توان فلیکر سه فاز اندازه گیری شده در نقطه M1b ..... ۹۶
- شکل ۳-۳۹: توان فلیکر سه فاز محاسبه شده در نقاط M2a و M2b ..... ۹۷
- شکل ۳-۴۰: توان فلیکر سه فاز هموار شده محاسبه شده در نقاط M2a و M2b ..... ۹۸

- شکل ۴-۱: مدل شبکه مورد تحلیل ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲: مدل ساده شده شبکه مورد تحلیل ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۳: مدل DC شبکه مورد تحلیل ..... ۱۰۵
- شکل ۴-۴: نمودار تاثیر تغییرات  $E_2$  نسبت به  $E_1$  بر جهت انتشار فلیکر ..... ۱۰۸
- شکل ۴-۵: نمودار تاثیر تغییرات  $R_2$  نسبت به  $R_1$  بر جهت انتشار فلیکر ..... ۱۱۰
- شکل ۴-۶: نمودار تاثیر تغییرات  $r_2$  نسبت به  $r_1$  بر جهت انتشار فلیکر ..... ۱۱۳
- شکل ۴-۷: نمودار تاثیر تغییرات  $R_{f2}$  نسبت به  $R_{f1}$  بر جهت انتشار فلیکر ..... ۱۱۷
- شکل ۴-۸: نمودار تاثیر تغییرات  $V_{s2}$  نسبت به  $V_{s1}$  بر جهت انتشار فلیکر ..... ۱۲۰
- شکل ۴-۹: نمودار تاثیر تغییرات  $Z_2$  نسبت به  $Z_1$  بر جهت انتشار فلیکر ..... ۱۲۱
- شکل ۴-۱۰: نمودار تاثیر تغییرات  $Z_{th2}$  نسبت به  $Z_{th1}$  بر جهت انتشار فلیکر ..... ۱۲۴
- شکل ۴-۱۱: نمودار تاثیر تغییرات  $Z_{f2}$  نسبت به  $Z_{f1}$  بر جهت انتشار فلیکر ..... ۱۲۸
- شکل ۴-۱۲: الگوریتم پیشنهادی برای جهت یابی منبع (منابع) فلیکر در سیستم قدرت ..... ۱۳۰
- شکل ۵-۱: شمای شبکه ۱۳ باسه IEEE با فرض وجود یک منبع فلیکر متصل به باس شماره ۱۳ ..... ۱۳۳
- شکل ۵-۲: مدل منبع فلیکر طراحی شده در محیط simulink نرم افزار MATLAB ..... ۱۳۴
- شکل ۵-۳: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ- جریان نقطه pcc1 (شبیه سازی شماره ۱) ..... ۱۳۵
- شکل ۵-۴: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ- جریان نقطه pcc2 (شبیه سازی شماره ۱) ..... ۱۳۶
- شکل ۵-۵: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ- جریان نقطه pcc3 (شبیه سازی شماره ۱) ..... ۱۳۷
- شکل ۵-۶: شمای شبکه ۱۳ باسه IEEE با فرض وجود یک منبع فلیکر متصل به باس شماره ۵ ..... ۱۳۸
- شکل ۵-۷: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ- جریان نقطه pcc1 (شبیه سازی شماره ۲) ..... ۱۳۹
- شکل ۵-۸: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ- جریان نقطه pcc2 (شبیه سازی شماره ۲) ..... ۱۴۰
- شکل ۵-۹: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ- جریان نقطه pcc3 (شبیه سازی شماره ۲) ..... ۱۴۱
- شکل ۵-۱۰: شمای شبکه ۱۳ باسه IEEE با فرض وجود دو منبع فلیکر متصل به باسهای شماره ۱۳ و شماره ۵ ..... ۱۴۲
- شکل ۵-۱۱: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ- جریان نقطه pcc1 (شبیه سازی شماره ۳) ..... ۱۴۳

- شکل ۵-۱۲: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc2 (شبیه سازی شماره ۳)..... ۱۴۴
- شکل ۵-۱۳: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc3 (شبیه سازی شماره ۳)..... ۱۴۵
- شکل ۵-۱۴: شمای شبکه مورد آزمایش ..... ۱۴۶
- شکل ۵-۱۵: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط  $m1$  ،  $m2$  و  $m3$  (ضریب قدرت ۱ حالت ۱)..... ۱۴۹
- شکل ۵-۱۶: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط  $m1$  ،  $m2$  و  $m3$  (ضریب قدرت ۰/۸ ، حالت ۱)..... ۱۴۹
- شکل ۵-۱۷: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط  $m1$  ،  $m2$  و  $m3$  (ضریب قدرت ۱ ، حالت ۲)..... ۱۵۰
- شکل ۵-۱۸: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط  $m1$  ،  $m2$  و  $m3$  (ضریب قدرت ۰/۸ ، حالت ۲)..... ۱۵۱
- شکل ۵-۱۹: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط  $m1$  ،  $m2$  و  $m3$  (ضریب قدرت ۱ ، حالت ۳)..... ۱۵۲
- شکل ۵-۲۰: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط  $m1$  ،  $m2$  و  $m3$  (ضریب قدرت ۰/۸ ، حالت ۳)..... ۱۵۲
- شکل ۵-۲۱: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط  $m1$  ،  $m2$  و  $m3$  (ضریب قدرت ۱ ، حالت ۴)..... ۱۵۳
- شکل ۵-۲۲: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط  $m1$  ،  $m2$  و  $m3$  (ضریب قدرت ۰/۸ ، حالت ۴)..... ۱۵۴

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۴.....	جدول ۱-۱: تعاریف وقفه در استانداردهای مختلف .....
۷.....	جدول ۲-۱: پدیده های کیفیت توان و استانداردهای مربوطه.....
۲۰.....	جدول ۱-۲: مقادیر درصد تغییرات سینوسی و مربعی به ازای تولید ۱ واحد فلیکر .....
۴۱.....	جدول ۲-۲: پاسخ نرمالیزه فلیکر متر به نوسانات سینوسی.....
۴۲.....	جدول ۳-۲: پاسخ نرمالیزه فلیکر متر به نوسانات مربعی.....
۴۳.....	جدول ۴-۲: مقادیر ولتاژهای نامی مرسوم به همراه حداکثر انحراف.....
۴۴.....	جدول ۵-۲: مقادیر $k, \lambda, W_1, W_2, W_3, W_4$ رابطه (۲-۲).....
۴۶.....	جدول ۶-۲: ارتباط بین درجه سلکتور و سطح متناظر با بالاترین رده تابع احتمال تجمعی.....
جدول ۷-۲: آزمون های لازم به منظور یافتن حد مصونیت فلیکر متر در برابر تداخلات	الکترومغناطیسی.....
۴۷.....	
۸۲.....	جدول ۱-۳: نتایج شبیه سازی روش اندازه گیری ۱.....
۸۲.....	جدول ۲-۳: نتایج شبیه سازی روش اندازه گیری ۲.....
۸۴.....	جدول ۳-۳: نتایج شبیه سازی روش اندازه گیری ۳.....
۱۳۴.....	جدول ۱-۵: امپدانس خطوط (بر اساس مقادیر بیس ۱۳/۸ کیلو ولت و ۱۰ مگا ولت آمپر).....
۱۳۴.....	جدول ۲-۵: داده های مربوط به بار.....
۱۳۵.....	جدول ۳-۵: داده های مربوط به ترانسها.....
۱۴۵.....	جدول ۴-۵: توان فلیکر اندازه گیری شده در نقاط $pcc1$ ، $pcc2$ و $pcc3$ .....
۱۴۸.....	جدول ۵-۵: مقادیر توان فلیکر اندازه گیری شده در حالات مختلف.....

---

---

فصل اول:

مقدمه

---

---

## ۱-۱- تعریف کیفیت توان

چون موضوع این پایان نامه در مورد یکی از پدیده های مهم کیفیت توان به نام فلیکر می باشد، لازم است در ابتدا تعریفی از کیفیت توان ارائه شود. مراجع مختلف، تعاریف متفاوت و گاه، متناقضی را از کیفیت توان ارائه می کنند. به عنوان نمونه در اینجا به دو مورد مهم اشاره می شود:

انجمن مهندسين برق و الكترونیک [۱، ص ۸۰۷] (IEEE) کیفیت توان را اینگونه تعریف می کند: "کیفیت توان یک مفهوم کلی از تغذیه و زمین کردن تجهیزات حساس می باشد به طوری که برای بهره برداری از آن تجهیزات مناسب باشد." از این تعریف می توان چنین فهمید که به عنوان مثال، اعوجاج هارمونیکی جریان، تنها زمانی یک پدیده کیفیت توان محسوب می شود که روی تجهیزات حساس، تاثیر بگذارد. محدودیت دیگر این تعریف این است که این موضوع، قابل کاربرد بر هیچ چیز دیگری غیر از کارایی تجهیزات نیست.

کمیته بین المللی الکتروتکنسین ها (IEC)<sup>۲</sup> همانگونه که در استاندارد IEC 61000-4-30 [۲، ص ۸۰۷] آمده است، کیفیت توان را به صورت زیر تعریف می کند: "کیفیت توان عبارت است از مشخصات بررسی شده برق در یک نقطه داده شده در یک سیستم قدرت، در مقایسه با مجموعه پارامتر های مرجع". این تعریف از کیفیت توان ربطی به کارایی تجهیزات ندارد بلکه مربوط به امکان اندازه گیری و محاسبه کارایی سیستم قدرت است.

تجهیزات الترونیك قدرت ( توان پایین و توان بالا)، عامل ایجاد بسیاری از مشکلات کیفیت توان هستند. همچنین همین تجهیزات به عنوان یک اسباب اساسی برای کاهش مشکلات کیفیت توان نیز به کار می روند.

---

<sup>1</sup> Institute of Electrical and Electronics Engineers

<sup>2</sup> International Electrotechnical Committee

موضوعی که بسیار با مسئله کیفیت توان در ارتباط است، سازگاری الکترومغناطیسی (EMC)<sup>۱</sup> است همانگونه که در استاندارد های مربوط به IEC مورد استفاده قرار گرفته است. بر طبق استاندارد IEC 61000-1-1 [۳]: "سازگاری الکترومغناطیسی عبارتست از توانایی یک وسیله یا سیستم در کارکرد رضایتبخش در محیط الکترومغناطیسی مربوطه بدون ایجاد اغشاشات الکترومغناطیسی غیر قابل تحمل برای هر چیزی در آن محیط." IEC سری کاملی از استانداردها و گزارشات صنعتی در زمینه EMC منتشر کرده که اکثر آنها بخشی از استانداردهای سری IEC 61000 می باشند. این سری از استانداردها قسمت اعظمی از استانداردهای بین المللی موجود در زمینه کیفیت توان را تشکیل می دهند.

## ۱-۲- پدیده های کیفیت توان و استانداردهای مربوطه

مهمترین پدیده های کیفیت توان، عبارتند از:

- وقفه ها<sup>۲</sup>
- تغییرات مقدار موثر ولتاژ<sup>۳</sup>
- اعوجاج در شکل موج ولتاژ: هارمونیک ها<sup>۴</sup>
- پدیده های گذرا<sup>۵</sup>
- نوسانات مقدار مؤثر ولتاژ: فلیکر<sup>۶</sup>

### ۱-۲-۱- وقفه ها

**تعریف وقفه:** کاهش ولتاژ مصرف کننده به کمتر از ۱۰ درصد مقدار ولتاژ نامی را وقفه می نامیم.  
**انواع وقفه:** از حیث اینکه وقفه، چه مدت زمانی طول می کشد، استانداردهای مختلف، آنرا به دسته های مختلفی تقسیم می کنند که ساده ترین دسته بندی همان دسته بندی وقفه های کوتاه

<sup>1</sup> . electromagnetic compatibility  
<sup>2</sup> . Interruptions  
<sup>3</sup> . voltage sags/swells  
<sup>4</sup> . voltage Distortions: Harmonics  
<sup>5</sup> . Transients  
<sup>6</sup> . voltage Fluctuations: Flicker

مدت<sup>۱</sup> و بلند مدت<sup>۲</sup> یا وقفه لحظه ای<sup>۳</sup> و مانا<sup>۴</sup> که به ترتیب در استاندارد های EN 50160 [۴] و IEEE 1366 [۵] صورت گرفته است. دسته بندی های دیگری نیز وجود دارد که خلاصه این دسته بندی ها در جدول ۱-۱ نشان داده شده است.

جدول ۱-۱: تعاریف وقفه در استاندارد های مختلف [۶]

Standard	Term	Definition
IEEE 1159	Interruption	Voltage below 10% of nominal
	Sustained interruption	Longer than 3 s
	Momentary interruption	0.5 cycles to 3 min
	Temporary interruption	3 s to 1 min
IEEE 1250	Instantaneous interruption	Shorter than 30 cycles
	Momentary interruption	0.5 to 2 s
	Temporary interruption	2 s to 2 min
EN 50160	Sustained interruption	Longer than 2 min
	Short interruption	Shorter than 3 min
	Long interruption	Longer than 3 min
IEEE 1366	Momentary interruption	Shorter than 5 min
	Sustained interruption	Longer than 5 min

## ۲-۲-۱- تغییرات مقدار مؤثر ولتاژ

### ۱-۲-۲-۱- فرورفتگی ولتاژ<sup>۵</sup>

تعریف فرورفتگی ولتاژ: کاهش ولتاژ به کمتر از ۹۰ درصد ولتاژ نامی، فرورفتگی ولتاژ نامیده می شود. بنابراین در فرورفتگی ولتاژ مقدار مؤثر ولتاژ بین ۹۰ درصد و ۱۰ درصد ولتاژ نامی است (کمتر از ۱۰ درصد، وقفه به حساب می آید).

عوامل ایجاد فرورفتگی ولتاژ: از مهمترین عوامل ایجاد فرورفتگی ولتاژ، می توان به عوامل زیر

اشاره کرد:

- خطاهای اتصال کوتاه و اتصال زمین
- راه اندازی موتورهای القایی بزرگ
- راه اندازی ترانسفورماتورها (جریان هجومی ترانس)

<sup>1</sup> . short interruptions

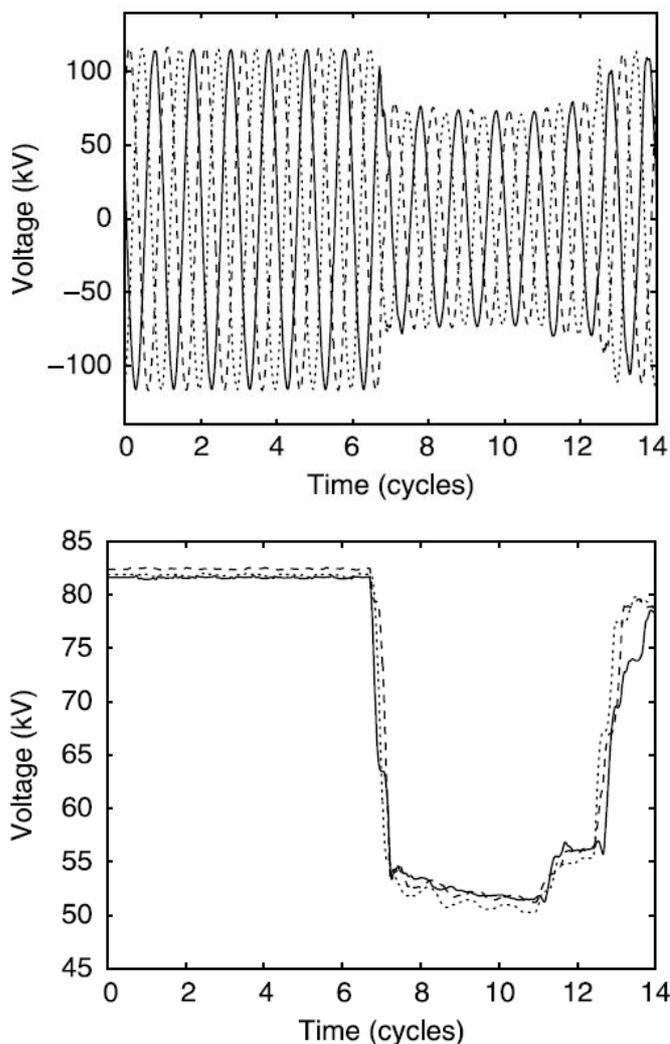
<sup>2</sup> . long interruptions

<sup>3</sup> . momentary

<sup>4</sup> . sustained

<sup>5</sup> . voltage sags

البته جریان شارژ خازن ها هم می تواند باعث فرورفتگی ولتاژ شود ولی چون زمان آن بسیار کوتاه است (در حد چند میلی ثانیه)، جزء پدیده های گذرا محسوب می شود و جزء عوامل ایجاد فرورفتگی ولتاژ در نظر گرفته نشده است. شکل ۱-۱ یک نمونه از فرورفتگی ولتاژ را که به دلیل اتصال کوتاه به وجود آمده، نشان می دهد.



شکل ۱-۱: فرورفتگی ولتاژ خط انتقال بر اثر خطای سه فاز: شکل موج (بالا) و مقدار مؤثر (پایین) [۶]

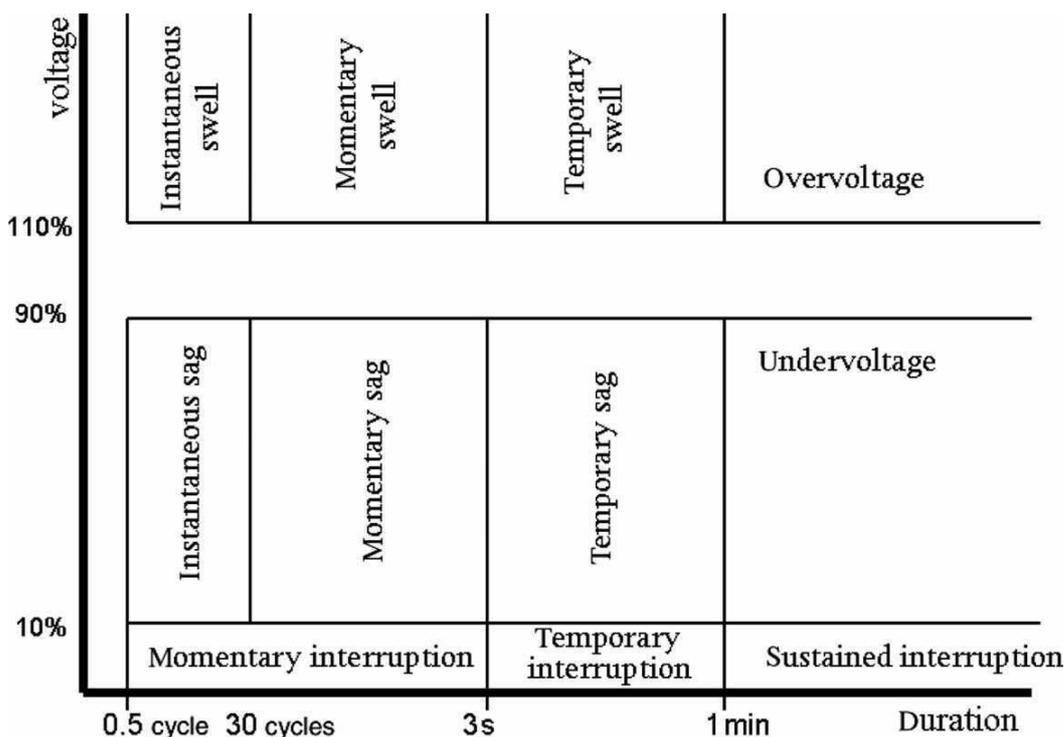
## ۱-۲-۲-۲-۱ برآمدگی ولتاژ<sup>۱</sup>

تعریف برآمدگی ولتاژ: افزایش ولتاژ به بیش از ۱۱۰ درصد ولتاژ نامی، برآمدگی ولتاژ نامیده می شود. عوامل ایجاد برآمدگی ولتاژ: از مهمترین عوامل ایجاد برآمدگی ولتاژ، می توان به عوامل زیر اشاره کرد:

<sup>۱</sup>. voltage swells

- خطاهای تکفاز
- قطع ناگهانی بارهای بزرگ از شبکه
- وصل خازن یا رآکتور به شبکه

تقسیم بندی انواع وقفه، فرورفتگی ولتاژ و برآمدگی ولتاژ، بر طبق استاندارد IEEE 1159 به صورت شماتیک در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.



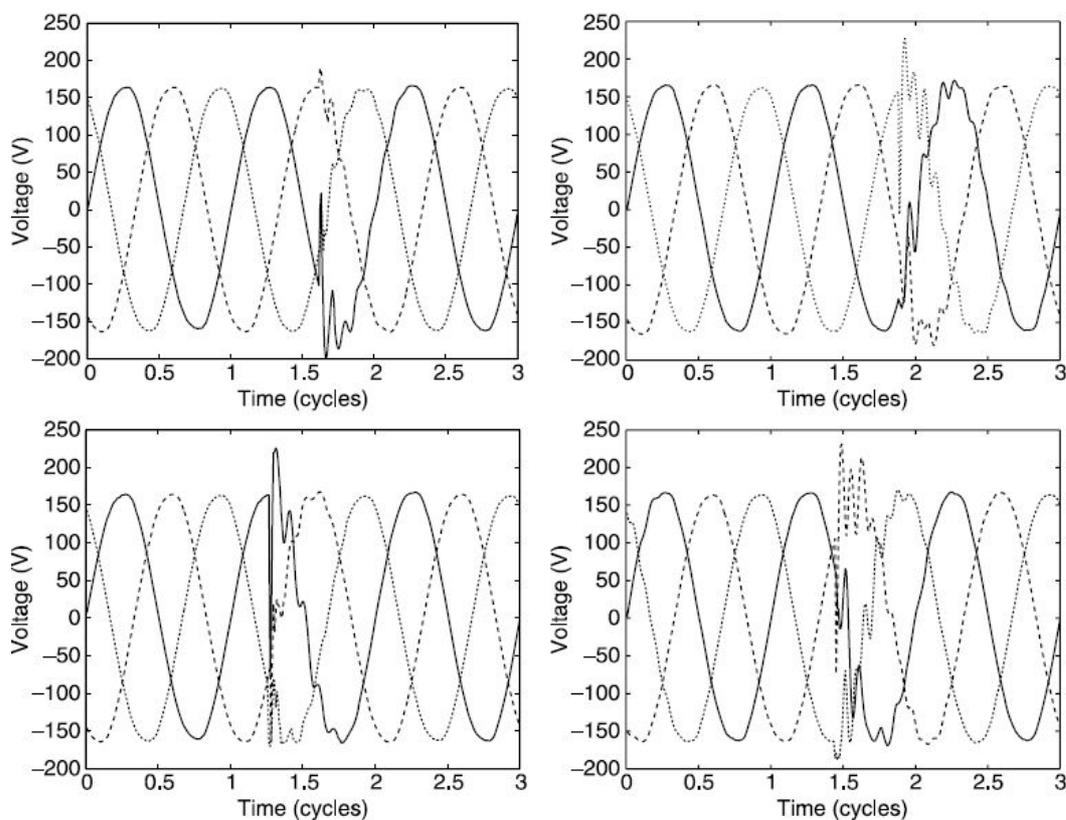
شکل ۲-۱: شمای خلاصه انواع وقفه، فرورفتگی و برآمدگی ولتاژ از نظر مدت زمان، طبق استاندارد IEEE 1159 [۶]

### ۱-۲-۳- هارمونیک ها

مهمترین عامل ایجاد هارمونیک ها، وجود عناصر الکترونیک قدرت در تجهیزات متصل به شبکه می باشد. هارمونیک ها به دو دسته هارمونیک های مضرب صحیح هارمونیک اصلی و هارمونیک هایی که مضرب صحیحی از هارمونیک اصلی نمی باشند، تقسیم می شوند. دسته دوم را Subharmonic ها می نامند. Subharmonic هایی که کوچکتر از هارمونیک اصلی هستند، Interharmonic ها می نامند که در تولید فلیکر نقش مهمی دارند (در فصل دوم در این باره توضیح بیشتری داده می شود).

## ۴-۲-۱- پدیده های گذرا

تعریف پدیده های گذرا: هر انحرافی نسبت به مقادیر نامی که در ولتاژ، اتفاق بیفتد و دارای زمانی کمتر از یک سیکل باشد، یک پدیده گذرا تلقی می شود. مهمترین عوامل ایجاد اختلالات گذرا، عبارتند از: صاعقه، سویچینگ و خطاهایی که خود به خود رفع می شوند. لازم به ذکر است که در مدار آوردن بانک های خازنی یا رآکتورها نیز جزء سویچینگ در نظر گرفته می شود. شکل ۱-۳ ولتاژ حالت گذرای مربوط به لحظه اتصال خازن را در یک مکان در ۴ زمان مختلف نشان می دهد.



شکل ۱-۳: اندازه گیری ولتاژ گذرا در زمان سویچینگ یک خازن در یک محل [۶]

## ۵-۲-۱- نوسانات مقدار مؤثر ولتاژ: فلیکر

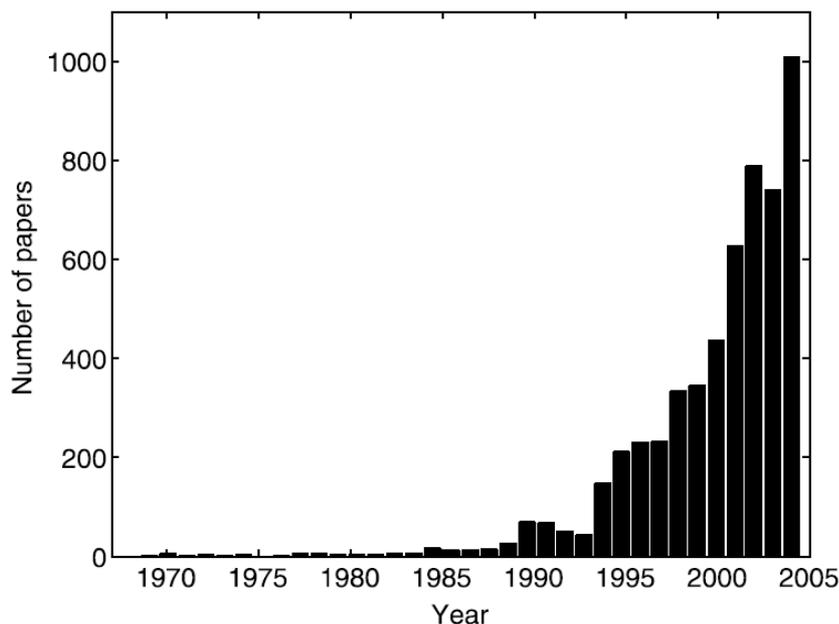
در مورد نوسانات مقدار مؤثر ولتاژ، در فصل ۲ به طور مفصل، بحث خواهد شد خلاصه استانداردهای مربوط به پدیده های کیفیت توان در جدول ۱-۲ آمده است:

جدول ۱-۲: پدیده های کیفیت توان و استانداردهای مربوطه

PQ Condition	Standards Category	IEEE Standards	IEC Standards
<b>Harmonic Voltages and Currents</b> (resonance, TIF and notching)	Environment/Compatibility	none	IEC 1000-2-1/2
	Emission/Immunity Limits	IEEE 519	IEC 1000-3-2/4 (555)
	Tests & Measurement	none	IEC 1000-4-7/13
	Install/Mitigate Practices	IEEE 519A	IEC 1000-5-5
	Component Heating	IEEE/ANSI C57.110	none
<b>Voltage Level</b> (regulation, unbalance, flicker, and fluctuations)	Environment/Compatibility	IEEE 141, 241, C84.1	IEC 38/BTTF 68-6
	Emission/Immunity Limits	ANSI C 84.1	IEC 1000-3-3/5 (555)
	Tests & Measurement	none	IEC 1000-4-1/14/15
	Install/Mitigate Practices	IEEE 141, 241, 1100	IEC 1000-5-X
	Light Flicker	IEEE 141, 519	IEC 868 (1000-4-15)
<b>Momentary Under Voltages</b> (sags, dips)	Environment/Compatibility	IEEE 1250	IEC 1000-2-4
	Emission/Immunity Limits	IEEE P1346	IEC 1000-3-3/5 (555)
	Tests & Measurement	none	IEC 1000-4-1/11
	Install/Mitigate Practices	IEEE 446, 1100, 1159	IEC 1000-5-X
	Fuse Blowing/Upset	IEEE 242 protection	IEC 364
<b>Transient Over Voltages</b> (surges and TOV)	Environment/Compatibility	IEEE/ANSI C62.41	IEC-1000-2-5
	Emission/Immunity Limits	none	IEC-1000-3-X
	Tests & Measurement	IEEE/ANSI C62.45	IEC-1000-4-1/2/4/5/12
	Install/Mitigate Practices	C62 series, 1100	IEC 1000-5-X
	Insulation Breakdown		IEC 664 (creep, clear)

### ۱-۳- اهمیت کیفیت توان

مطالعات بر روی مقوله کیفیت توان در سال های اخیر، با رشد بسیار زیادی همراه بوده است. افزایش بسیار زیاد توجه به فعالیت در حوزه کیفیت توان را می توان از شکل ۱-۴ به صورت آشکارا دریافت.



شکل ۴-۱: اهمیت کیفیت توان از نظر تعداد مقالات منتشر شده طی سال های ۱۹۶۸ تا ۲۰۰۴ [۶]

این شکل، تعداد مقالات موجود در پایگاه داده<sup>۱</sup> INSPEC که در زمینه کیفیت توان منتشر شده را در طی سال های ۱۹۶۸ تا ۲۰۰۴ نشان می دهد [۶]. از روی شکل، مشخص است که مخصوصاً از سال ۱۹۹۵ به بعد یک افزایش چشمگیر در تعداد مقالات در زمینه کیفیت توان به وجود آمده است. دلایل متفاوتی برای این افزایش توجه به مقوله کیفیت توان وجود دارد. برخی از دلایل اصلی این موضوع را می توان به صورت زیر بیان کرد:

- تجهیزات، در مقابل کاهش کیفیت ولتاژ، حساس تر شده اند، فرآیند تولید نیز در برابر عملکرد ناصحیح تجهیزات، حساس تر شده و شرکت های تولیدی نیز در مقابل وقفه افتادن در تولید حساس تر شده اند به طوریکه حتی یک وقفه بسیار کوتاه مدت برای یک کارخانه بزرگ ممکن است هزینه بسیار زیادی داشته باشد.

- افزایش استفاده از تجهیزات الکترونیک قدرت که باعث تولید طیف وسیعی از هارمونیک ها می

شود

<sup>۱</sup> این پایگاه داده، توسط IEE (Institution of Electrical Engineerings) مدیریت می شود

- به وجود آمدن بازار های برق رقابتی، باعث به وجود آمدن نیاز بیشتر به لوازم اندازه گیری کیفیت برق تولیدی شده، همچنین اطلاعات مشتری ها در مورد کیفیت مورد نیاز ولتاژ، بالاتر رفته است. ارتباط متقابل بازار برق و کیفیت توان، در دو مرجع [۷] و [۸] مورد بحث قرار گرفته است.
- منابع انرژی جایگزین، مشکلات جدیدی را در حوزه کیفیت توان، از جمله نوسانات ولتاژ، فلیکر و اعوجاج در شکل موج ها به وجود می آورند [۹].

#### ۴-۱- اهمیت جهت یابی منابع فلیکر

همانطور که در بخش قبل نیز گفته شد، موضوع بهبود کیفیت توان در جامعه صنعتی امروز، موضوعی است که روز به روز بر اهمیت آن افزوده می شود. اولین گام در بهبود کیفیت توان پس از شناخت پدیده های کیفیت توان، شناسایی منابع ایجاد این پدیده ها در سیستم می باشد. به خصوص با یکپارچه شدن سیستم های قدرت (به منظور افزایش قابلیت اطمینان سیستم)، شناسایی محل این منابع، مهمتر و پیچیده تر می شود. فلیکر نیز یکی از مهمترین و فراگیرترین پدیده های کیفیت توان می باشد که علاوه بر ایجاد مزاحمت جدی برای چشم انسان، مشکلاتی را نیز در کیفیت کار لوازم الکترونیکی حساس از قبیل کامپیوتر ها، دستگاههای کپی، کنترلرها، دستگاههای حفاظتی و... به وجود می آورد. بنابراین یافتن منابع فلیکر در سیستم قدرت به عنوان اولین گام در کاهش این پدیده مضر، کاملاً ضروری است. علاوه بر این با دانستن این موضوع که اکثر بارهای ایجاد کننده فلیکر، در توان بالا و ولتاژ بالا کار می کنند و فلیکر حاصل از آنها در ناحیه وسیعی از شبکه قدرت، منتشر شده و تاثیر قابل توجهی بر بارهای مجاور خود دارد، ضرورت جهت یابی منابع فلیکر، دوچندان می شود (در مورد منابع ایجاد فلیکر در فصل دوم توضیح داده می شود).

#### ۵-۱- مروری بر کار های انجام شده در زمینه جهت یابی منابع فلیکر

تاکنون دو روش کلی برای جهت یابی منابع فلیکر در سیستم های قدرت ارائه شده است:

- (۱) روش شیب ولتاژ - جریان<sup>۱</sup>: این روش که در مرجع [۱۰] ارائه شده بر این اصل استوار است که اگر یک نقطه اندازه گیری را در شبکه در نظر بگیریم، با اندازه گیری همزمان ولتاژ و جریان مؤثر و

<sup>۱</sup> V-I slope method

در نظر گرفتن تغییرات آنها می توان جهت انتشار فلیکر را مشخص کرد. به این ترتیب که در حالت کلی در هر نقطه از شبکه دو حالت زیر وجود دارد:

الف) اگر منبع فلیکر قبل از نقطه اندازه گیری (یعنی نزدیکتر به منبع تغذیه) باشد، آنگاه با افزایش جریان منبع فلیکر، ولتاژ نقطه اندازه گیری کم شده در نتیجه جریان نیز در نقطه اندازه گیری کم می شود و برعکس با کاهش جریان منبع فلیکر، ولتاژ نقطه اندازه گیری زیاد شده، در نتیجه جریان نیز در نقطه اندازه گیری زیاد می شود. یعنی در این حالت، شیب تغییرات ولتاژ نسبت به جریان، مثبت است.

ب) اگر منبع فلیکر، بعد از نقطه اندازه گیری (یعنی دورتر از منبع تغذیه) باشد، آنگاه با افزایش جریان منبع فلیکر، ولتاژ نقطه اندازه گیری کم شده ولی چون جریان منبع فلیکر از نقطه اندازه گیری عبور می کند در نتیجه جریان نقطه اندازه گیری زیاد می شود و برعکس با کاهش جریان منبع فلیکر، ولتاژ نقطه اندازه گیری زیاد شده ولی باز هم به دلیل اینکه جریان منبع فلیکر از نقطه اندازه گیری عبور می کند جریان در نقطه اندازه گیری کم می شود. یعنی در این حالت، شیب تغییرات ولتاژ نسبت به جریان، منفی است.

۲) **روش توان فلیکر<sup>۱</sup>**: اساس این روش که در مراجع [۱۱-۱۵] ارائه شده است، نیز تقریباً مبتنی بر همان روش شیب ولتاژ - جریان می باشد. با این تفاوت که به جای اندازه گیری شیب ولتاژ-جریان، از یک کمیت، به نام توان فلیکر، استفاده می کند. در مورد این دو روش، در فصل سوم به طور مفصل بحث می شود.

علاوه بر دو روش فوق، که بر اساس اندازه گیری همزمان ولتاژ و جریان، عمل می کنند، روش دیگری نیز ارائه شده که در این روش، فقط از اندازه گیری ولتاژ استفاده می شود. در این روش که در مرجع [۱۶]، ارائه شده با اندازه گیری و نمونه برداری از ولتاژ شینها، شاخص تشخیص فلیکر از اطلاعات دامنه و فرکانس ولتاژها استخراج می گردد. استخراج این شاخص بر تبدیل جدید  $s^2$  که برای تشخیص وجود فلیکر به کار رفته، استوار است. شاخص به دست آمده برای آموزش یک شبکه عصبی به منظور تشخیص محل منبع فلیکر استفاده شده است.

<sup>۱</sup>. Flicker Power method

<sup>۲</sup>. s- transform

یک روش دیگر نیز در مرجع [۱۷] ارائه شده که یک روش خاص است و فقط، در مواردی که فلیکر تولیدی ناشی از فرکانس های داخلی باشد، کاربرد دارد. در این روش، توان مربوط به فرکانس های مختلف اندازه گیری می شود که از روی علامت این توان ها می توان تشخیص داد که منبع فلیکر در چه سمتی قرار دارد.

## ۱-۶- مروری بر پایان نامه

در فصل اول، مقدمه ای راجع به تعریف کیفیت توان، انواع پدیده های کیفیت توان و استاندارد های مربوطه، اهمیت کیفیت توان، اهمیت جهت یابی منابع فلیکر، بیان شده و همچنین مختصری در مورد کارهای انجام شده در این زمینه توضیح داده شده است.

در فصل دوم، فلیکر و روشهای اندازه گیری آن مورد بررسی قرار می گیرد و فلیکرمتر شبیه سازی شده در محیط simulink نرم افزار MATLAB، به همراه یک مثال ارائه می شود.

فصل سوم، شامل کارهای انجام شده در زمینه جهت یابی منابع فلیکر به همراه نتایج شبیه سازی می باشد که در این فصل، دو روش مهم شیب ولتاژ- جریان و توان فلیکر، مورد بررسی قرار می گیرد. در فصل چهارم، جهت یابی منابع فلیکر در شبکه های با تغذیه چندگانه، مورد بررسی قرار می گیرد و در نهایت یک الگوریتم پیشنهادی در این زمینه ارائه می شود.

در فصل پنجم با ذکر چند مثال و در نظر گرفتن حالات مختلف نشان داده می شود که الگوریتم پیشنهادی در تمام حالات، قادر به تعیین جهت منبع فلیکر و یا منبع فلیکر غالب (در صورت وجود چند منبع فلیکر) می باشد.

در نهایت، در فصل ششم، نتایج حاصل و پیشنهاداتی در زمینه جهت یابی منابع فلیکر، ارائه می

شود.

---

---

فصل دوم:

فلپکر و روش های اندازه گیری آن

---

---

## ۲-۱- مقدمه

یکی از فراگیرترین پدیده های کیفیت توان در سیستمهای قدرت، پدیده فلیکر ولتاژ می باشد. این پدیده که در واقع از نوسانات فرکانس پایین ولتاژ موثر به وجود می آید، علاوه بر نوسانات آزار دهنده نور لامپ، می تواند بر کیفیت کار دستگاه های الکترونیکی و کنترلی حساس نیز تاثیر سوء بگذارد. طبق استاندارد IEC 61000-4-15 نوسانات ولتاژ در طیف فرکانسی ۱ تا ۳۵ هرتز می تواند باعث تولید فلیکر شود [۱۸].

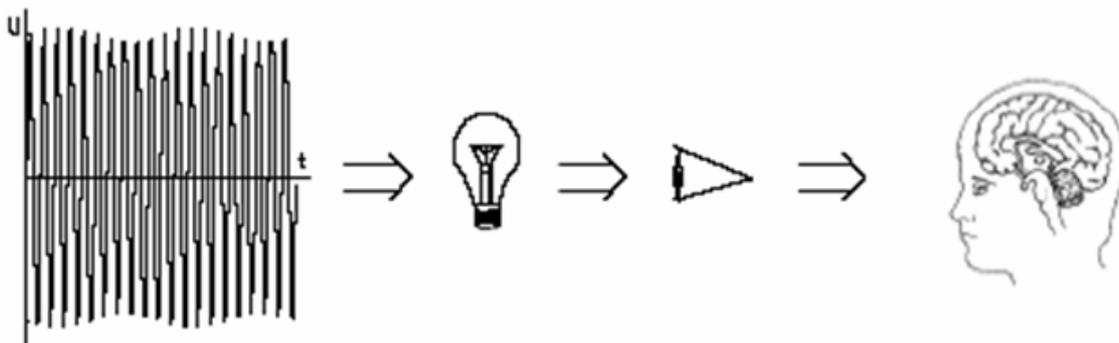
از جمله منابع تولید فلیکر می توان بارهایی چون کوره های قوس الکتریک [۱۹]، ماشین های ذوب فلزات [۲۰]، همچنین ژنراتورهایی چون توربین های بادی [۲۱] و ژنراتورهای تولید کننده برق از موج دریا [۲۲] و نیز بارهای تولید کننده فرکانس های داخلی<sup>۱</sup> مانند مبدلهای فرکانس را نام برد.

## ۲-۲- فلیکر

نوسانات مقدار مؤثر ولتاژ در یک طیف فرکانسی خاص (۰/۰۰۱ هرتز تا ۳۵ هرتز) باعث می شود که نور لامپ به صورت آزاردهنده ای برای انسان تغییر کند. به این نوسانات مقدار مؤثر ولتاژ، فلیکر گویند. بنابراین، نوسانات ولتاژ به خودی خود، تولید فلیکر نمی کند و فقط زمانی تولید فلیکر می کند که نور تولیدی به وسیله این نوسانات، باعث مزاحمت برای چشم انسان شود. به عبارت دیگر، فلیکر و اندازه آن وابسته به رفتار زنجیره "لامپ-چشم-مغز" می باشد (شکل ۲-۱).

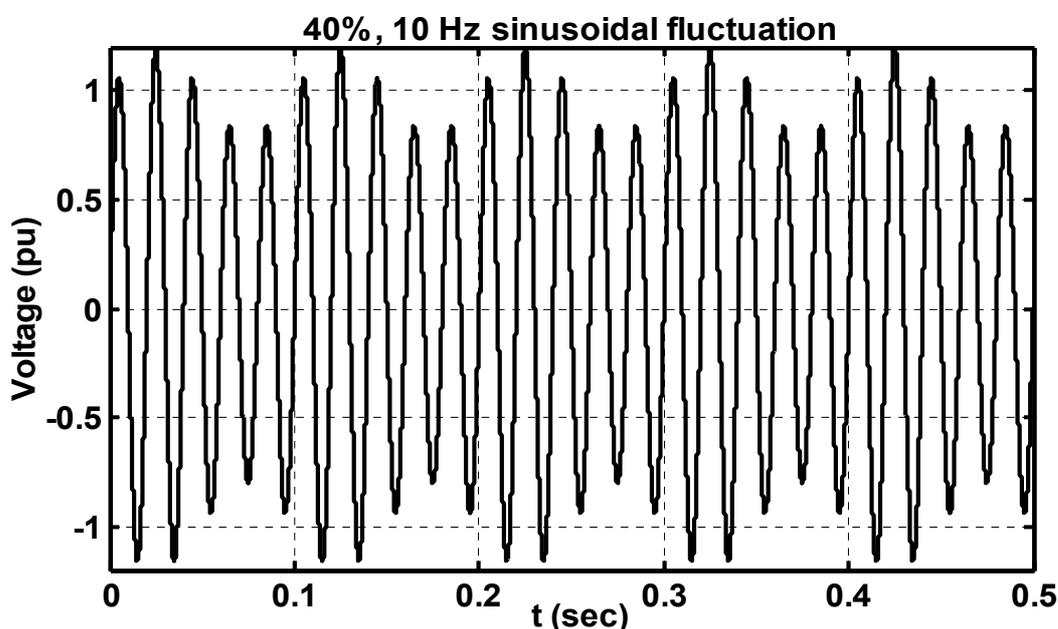
---

<sup>۱</sup> . Inter harmonics & Sub harmonics



شکل ۱-۲: شمای نمادین زنجیره "لامپ-چشم-مغز"

در شکل ۲-۲ نوسانات ولتاژ سینوسی ۴۰ درصدی با فرکانس ۱۰ هرتز نشان داده شده است.

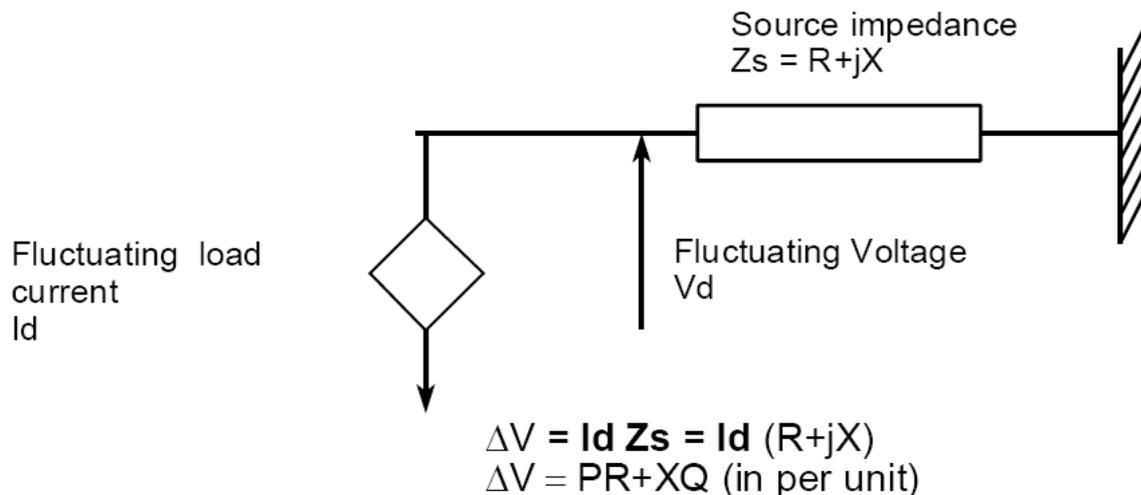


شکل ۲-۲: نوسانات ولتاژ سینوسی ۴۰ درصدی با فرکانس ۱۰ هرتز

### ۲-۳- منابع ایجاد فلیکر در سیستم قدرت

نوسانات ولتاژی که باعث ایجاد فلیکر می شوند در واقع نتیجه وجود نوسانات جریان در شبکه می باشد که چون این جریان از امپدانس منبع عبور می کند باعث به وجود آمدن نوسانات ولتاژ و در نتیجه ایجاد فلیکر می شود. بنابراین بارهایی که دارای امپدانس متغیر هستند و جریان نوسانی از شبکه می کشند می توانند منابع ایجاد فلیکر در شبکه باشند.

در شکل ۲-۳ شمای ساده این موضوع نشان داده شده است.



شکل ۲-۳: شمای ساده بار به وجود آورنده فلیکر

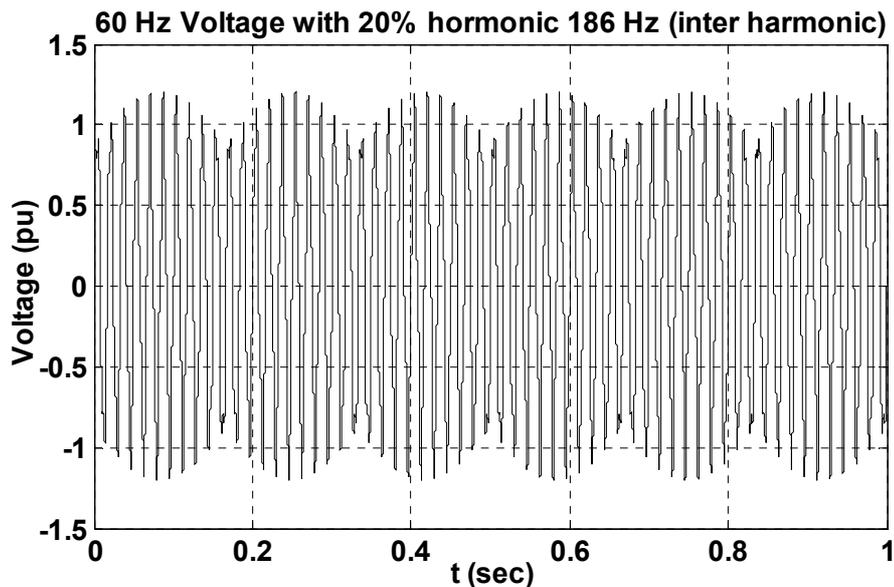
مهمترین منابع تولید فلیکر در سیستم قدرت، بارهای بزرگی چون کوره های قوس الکتریک، ماشین های جوش فلزات و درایو موتورها و انواع خاصی از توربین های بادی می باشند ولی کوره های قوس الکتریک مهمتر از بقیه می باشد.

لازم به ذکر است که منابع تولید inter harmonic نیز می توانند از عوامل ایجاد فلیکر باشند.

دلیل این امر را می توان به صورت زیر توضیح داد:

اگر فرض کنیم که یک فرکانس  $f_{ih}$  در موج وجود داشته باشد نتیجه میگیریم که فرکانس های  $f_0 + f_{ih}$  و  $|f_{ih} - f_0|$  نیز در آن موجود است [۲۳]. که فرکانس اصلی و مضارب صحیح آن می باشد. مؤلفه  $f_0 + f_{ih}$  که همیشه بیشتر از ۳۵ هرتز و در نتیجه خارج از محدوده طیف فرکانسی تولید فلیکر می باشد ولی مؤلفه  $|f_{ih} - f_0|$  می تواند در این طیف قرار گیرد، برای مثال اگر  $f_{ih} = 186$  و فرکانس اصلی ۶۰ هرتز باشد آنگاه  $186 - 180 = 6$  می شود که در محدوده طیف فرکانسی تولید فلیکر قرار دارد. در شکل ۲-۴ یک موج سینوسی ۶۰ هرتز که دارای ۲۰ درصد هارمونیک ۱۸۶ هرتز می باشد نشان داده شده است.

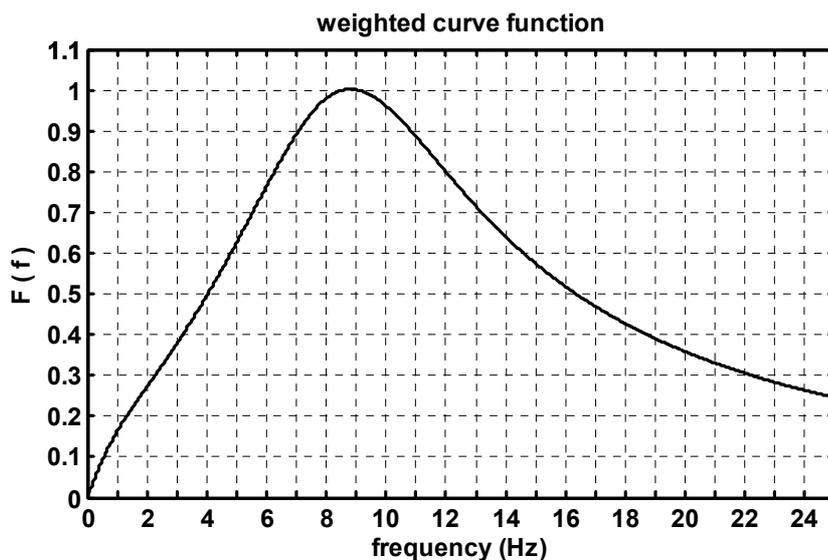
از منابع تولید inter harmonic می توان به درایوهای تنظیم سرعت و مبدل های فرکانس اشاره کرد.



شکل ۲-۴: موج سینوسی ۶۰ هرتز دارای ۲۰ درصد هارمونیک ۱۸۶ هرتز

## ۲-۴- تاثیر فرکانس در میزان فلیکر

آزمایشات، نشان داده که محدوده فرکانسی مؤثر در فلیکر بین ۰/۵ هرتز تا ۳۵ هرتز می باشد و بیشترین تاثیر نوسانات ولتاژ بر روی مقدار فلیکر در محدوده فرکانس ۸ تا ۱۰ هرتز می باشد. در شکل ۲-۵ میزان تاثیر فرکانسهای مختلف در ایجاد فلیکر رسم شده است. در این نمودار ضریب تاثیر برای فرکانس ۸/۸ هرتز که بیشترین تاثیر را دارا می باشد عدد ۱ در نظر گرفته شده است.



شکل ۲-۵: منحنی وزن طیف فرکانسی در تولید فلیکر (پیشنهادی توسط IUIE(International Union for

Electrothermal applications) (برگرفته از [۲۴])

## ۲-۵- تاثیر اندازه نوسانات) $\frac{\Delta V}{V}$ ( و فرکانس آنها در میزان فلیکر

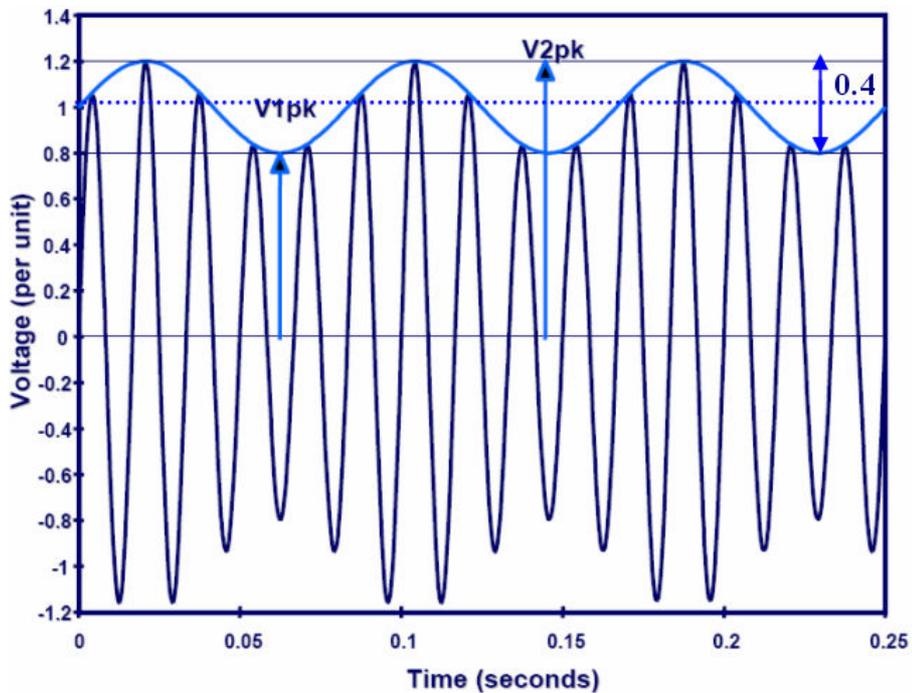
هر نوسان ولتاژی در هر فرکانسی باعث تولید فلیکر نمی شود بلکه اندازه درصد تغییرات ولتاژ به همراه فرکانس این تغییرات در تولید فلیکر نقش دارند. به عبارت دیگر در فرکانسهای محدودهء مثلا ۸ تا ۱۰ هرتز که ضریب تاثیر بیشتری دارند درصد

تغییرات بسیار کوچکی در دامنه ولتاژ می تواند باعث ایجاد فلیکر قابل مشاهده شود ولی در فرکانس های با ضریب تاثیر کمتر برای ایجاد فلیکر قابل مشاهده، دامنهء تغییرات درصد ولتاژ باید بیشتر شود. در شکل ۲-۶ رابطه بین تغییرات درصد ولتاژ در فرکانس های مختلف و فلیکر قابل مشاهده (محسوس) نشان داده شده است. در این شکل همچنین محدوده طیف فرکانسی نوسانات ولتاژ در عملکرد کوره های الکتریکی نشان داده شده است. (این شکل نشان می دهد که محدوده نوسانات عملکرد کوره های قوس الکتریک بین حدود ۰/۱ هرتز و ۵ هرتز می باشد)

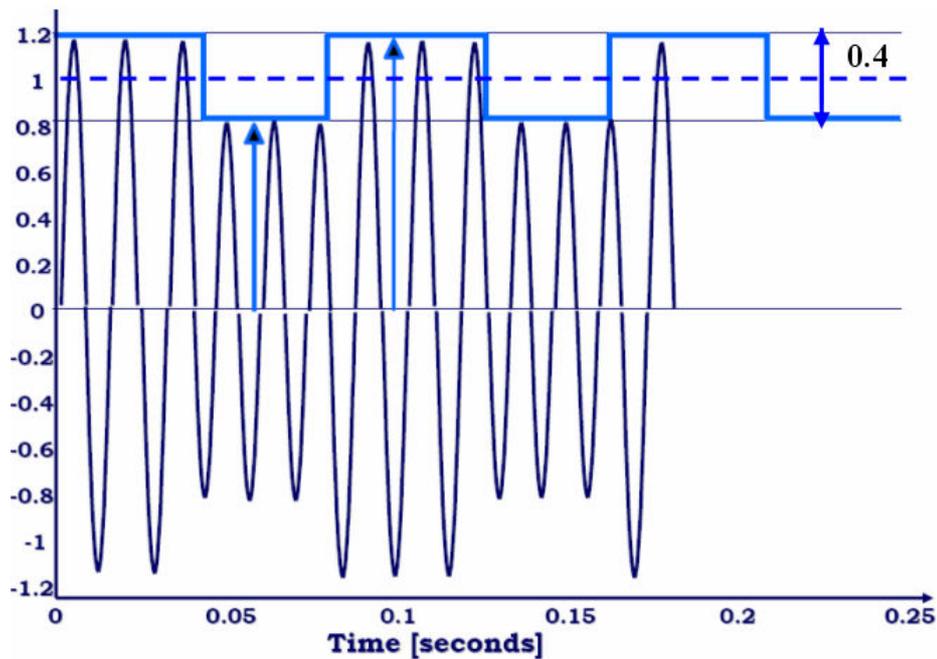
## ۲-۶- تاثیر نوع نوسانات (سینوسی یا مربعی) در اندازه فلیکر

میزان فلیکر به نوع نوسانات نیز وابسته است. آزمایشات نشان می دهد که تغییرات مربعی ولتاژ نسبت به تغییرات سینوسی فلیکر بیشتری تولید می کند. البته دلیل آن کاملا واضح است چون در نوسانات مربعی تغییرات ولتاژ به صورت ناگهانی اتفاق می افتد و این باعث می شود که چشم در مقابل

آن حساس تر شود. در شکل های ۷-۲ و ۸-۲ به ترتیب دو نوع نوسان سینوسی و مربعی با ۴۰ درصد تغییرات ولتاژ نشان داده شده است.



شکل ۷-۲: نوسانات سینوسی ۴۰ درصد

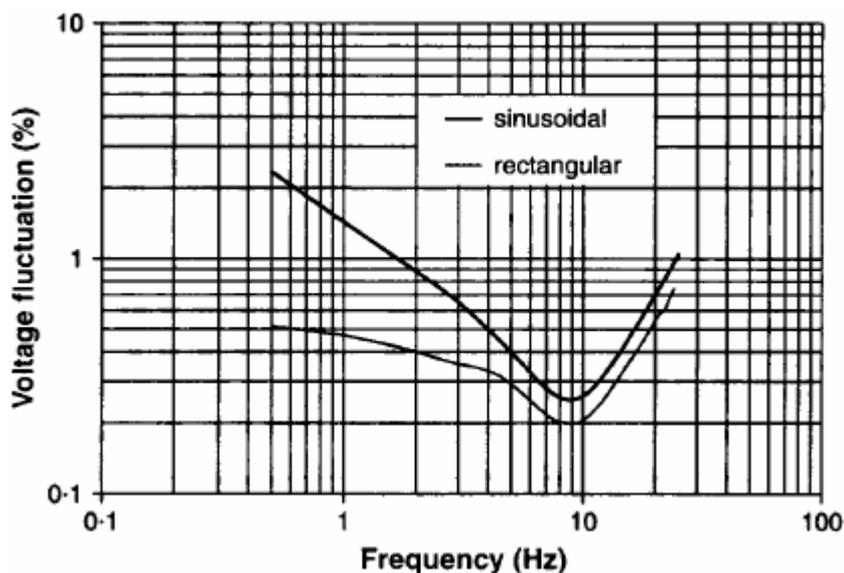


شکل ۸-۲: نوسانات مربعی ۴۰ درصد

در جدول شماره ۲-۱ مقادیر درصد تغییرات سینوسی و مربعی که تولید ۱ واحد فلیکر می کند نشان داده شده است. این مقادیر به صورت نمودار در شکل ۲-۹ رسم شده است [۱۸].

جدول ۲-۱: مقادیر درصد تغییرات سینوسی و مربعی به ازای تولید ۱ واحد فلیکر

Hz	Voltage fluctuation(%)		Hz	Voltage fluctuation(%)	
	sinusoidal	rectangular		sinusoidal	rectangular
0.5	2.340	0.514	10.0	0.260	0.205
1.0	1.432	0.471	10.5	0.270	0.213
1.5	1.080	0.432	11.0	0.282	0.223
2.0	0.882	0.401	11.5	0.296	0.234
2.5	0.754	0.374	12.0	0.312	0.246
3.0	0.654	0.355	13.0	0.348	0.275
3.5	0.568	0.345	14.0	0.388	0.308
4.0	0.500	0.333	15.0	0.432	0.344
4.5	0.446	0.316	16.0	0.480	0.380
5.0	0.398	0.293	17.0	0.530	0.421
5.5	0.360	0.269	18.0	0.584	0.461
6.0	0.328	0.249	19.0	0.640	0.506
6.5	0.300	0.231	20.0	0.700	0.552
7.0	0.280	0.217	21.0	0.760	0.603
7.5	0.266	0.207	22.0	0.824	0.657
8.0	0.256	0.201	23.0	0.890	0.713
8.8	0.250	0.199	24.0	0.962	0.767
9.5	0.254	0.200	25.0	1.042	0.822

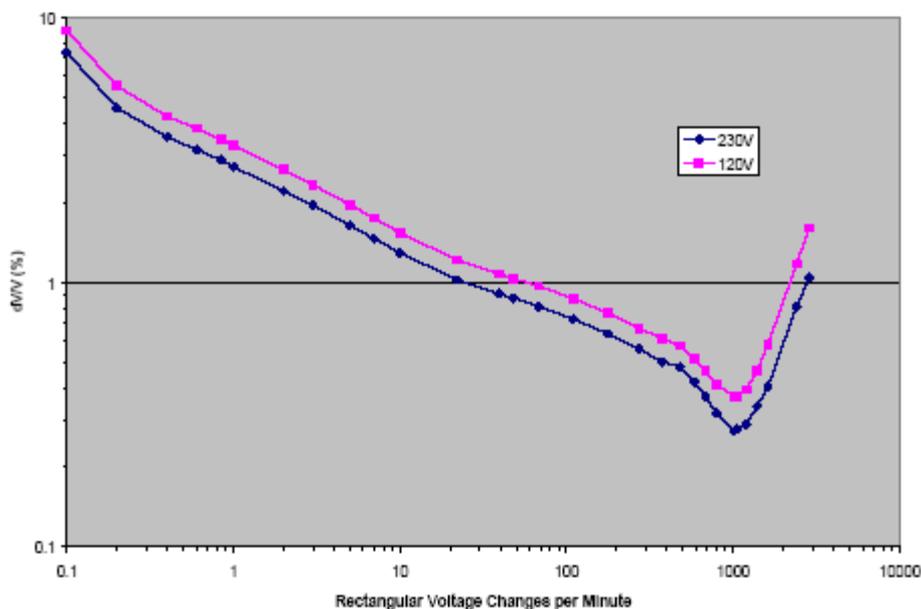


شکل ۲-۹: منحنی مقادیر درصد تغییرات ولتاژ، برای تولید یک واحد فلیکر

## ۷-۲- تاثیر ولتاژ کار نامی در اندازه فلیکر

ولتاژ کار لامپ ها نیز در اندازه فلیکر مؤثر است. به طور کلی هر چه ولتاژ کار نامی لامپ بیشتر باشد حساسیت آن در مورد فلیکر بیشتر است، زیرا هر چه ولتاژ کار نامی لامپ بالاتر باشد، به ازای یک توان معین، جریان نامی آن کمتر و در نتیجه، ضخامت فیلامان تنگستن به کار رفته در آن کاهش می یابد که این کاهش ضخامت، باعث کاهش اینرسی حرارتی می شود و چون نور لامپ به شدت به حرارت فیلامان تنگستن آن وابسته است، بنابراین حساسیت لامپ در برابر نوسانات ولتاژ، بیشتر می شود (در این مورد در بخش ۲-۹ بیشتر توضیح داده می شود). در شکل ۲-۱۰ نمودار درصد تغییرات ولتاژ به ازای تولید ۱ واحد فلیکر برای ولتاژهای نامی ۱۲۰ و ۲۳۰ ولت رسم شده است

Pst=1 Curves for Regular Rectangular Voltage Changes



شکل ۲-۱۰: منحنی درصد تغییرات ولتاژ به ازای تولید ۱ واحد فلیکر برای ولتاژهای نامی ۱۲۰ و ۲۳۰ ولت [۲۶]

## ۸-۲- لامپ های رشته ای<sup>۱</sup> [۶]

یک لامپ رشته ای شامل یک فیلامان تنگستن احاطه شده با یک حباب انباشته شده با مخلوطی از نیتروژن و آرگون می باشد که نسبت نیتروژن و آرگون در آن وابسته به وات مصرفی لامپ می باشد. حباب مربوطه به وسیله اسید فلئوریدریک سرد می شود که این عمل باعث می شود که نور

<sup>۱</sup> . Incandescent lamps

لامپ به جای اینکه متمرکز در یک نقطه شود به اطراف پخش شود و باعث تولید نور یکنواخت خواهد شد.

ولتاژ اعمالی به دو سر فیلامان لامپ باعث عبور جریان از آن می شود. این جریان باعث داغ شدن فیلامان شده و هنگامیکه دمای فیلامان به حد کافی بالا رفت شروع به نور دادن می کند. دمای حالت دائمی فیلامان در حدود ۳۵۰۰ درجه کلوین می باشد. افزایش ولتاژ باعث افزایش جریان و افزایش جریان باعث بالا رفتن دمای فیلامان و در نتیجه باعث افزایش نور تولیدی می شود. بنابراین نوسان ولتاژ باعث نوسان شدت نور تولیدی می شود. فرض کنیم ولتاژ  $v(t)$  به دو سر لامپ، اعمال شود. لامپ دارای مقاومت  $R$  است، در نتیجه توان مصرفی لامپ به صورت زیر است:

$$P_{in} = \frac{v^2}{R} \quad (1-2)$$

این توان باعث افزایش حرارت فیلامان می شود، در حالیکه انرژی تلفاتی منتشر شده در محیط که دمایی بسیار پایین تر از فیلامان دارد باعث کاهش دمای فیلامان می شود در نتیجه داریم:

$$m_f c_1 \frac{dT_f}{dt} = P_{in} - P_{out} \quad (2-2)$$

که در (۲-۲)،  $T_f$  دمای فیلامان،  $c_1$  ضریب گرمای ویژه تنگستن،  $m_f$  جرم فیلامان و  $P_{out}$  انتقال حرارت به محیط است. انتقال حرارت از فیلامان به محیط از سه طریق هدایت، همرفتی و تشعشعی ممکن است. چون حباب از گاز پر شده پس انتقال گرما از طریق هدایت، سهم بسیار کوچکی را دارا می باشد. یافتن نسبت انتقال حرارت از طریق همرفتی و تشعشعی نیاز به فاکتورهای زیادی دارد که خارج از حوصله این گزارش است. برای این کار نیاز به مطالعه دقیق فیزیک انتقال حرارت می باشد. انتقال حرارت از طریق تشعشعی با توان چهارم دمای فیلامان نسبت دارد:

$$P_{rad} = \sigma T_f^4 \quad (3-2)$$

مقدار انتقال حرارت در اثر پدیده همرفتی، به طرز پیچیده ای وابسته به شکل و اندازه حباب لامپ می باشد. اما در اینجا ما فرض می کنیم که کل انتقال حرارت به محیط به طور خطی با اختلاف دمای فیلامان و محیط نسبت دارد. در ادامه خواهیم دید که این فرض باعث می شود که مدل مورد استفاده لامپ همانند یک فیلتر پایین گذر شود. به علاوه با وجود اختلاف دمای زیاد بین فیلامان و محیط، می توان برای کل حرارت انتقالی به محیط رابطه زیر را نوشت:

$$P_{out} = c_2 T_f \quad (4-2)$$

مقاومت فیلامان تنگستن، با دمای آن متناسب است بنابراین:

$$R = c_3 T_f \quad (5-2)$$

از ترکیب روابط (۱-۲)، (۲-۲)، (۴-۲) و (۵-۲) معادله دیفرانسیل زیر برای دمای فیلامان به دست می آید:

$$m_f c_1 \frac{dT_f}{dt} = \frac{v^2(t)}{c_3 T_f} - c_2 T_f \quad (6-2)$$

با فرض اینکه ولتاژ به صورت سینوسی تغییر می کند، داریم:

$$v(t) = \sqrt{2}V \cos(\omega_0 t) \quad (7-2)$$

با جایگذاری (۷-۲) در (۶-۲) داریم:

$$\frac{1}{2} m_f c_1 c_3 \frac{dT_f^2}{dt} + c_2 c_3 T_f^2 = V^2 + V^2 \cos^2(2\omega t) \quad (8-2)$$

که یک معادله دیفرانسیل خطی بر حسب  $T_f^2$  می باشد.

در حالت دائمی،  $T_f^2$  شامل یک ترم ثابت و یک ترم متغیر است که به صورت سینوسی و با فرکانسی دو برابر فرکانس ولتاژ تغییر می کند:

$$T_f^2 = T_{f0}^2 + \Delta T_f^2 \cos(2\omega_0 t + \xi) \quad (9-2)$$

با جایگذاری (۹-۲) در (۸-۲) رابطه زیر برای دمای فیلامان در حالت دائمی به دست می آید:

$$T_{f0} = \frac{V}{\sqrt{c_2 c_3}} \quad (10-2)$$

دمای متوسط حالت دائمی وابسته به راندمان انتقال حرارت به محیط و مقاومت فیلامان می باشد. اندازه تغییر دما برابر است با:

$$\Delta T_f^2 = \frac{V^2}{\sqrt{(m_f c_1 c_3 \omega_0)^2 + (c_2 c_3)^2}} \quad (11-2)$$

توجه شود که دما به صورت سینوسی تغییر نمی کند بلکه طبق رابطه زیر تغییر می کند:

$$T_f(t) = \sqrt{T_{f0}^2 + \Delta T_f^2 \cos(2\omega_0 t + \xi)} \quad (12-2)$$

از طرفی، لامپ را می توان به عنوان یک فیلتر پایین گذر از  $V^2(t)$  به  $T_f^2(t)$  مدل کرد. از اینرو رابطه (۲-۶) را می توان به صورت زیر باز نویسی کرد:

$$\frac{dT_f^2}{dt} + \frac{T_f^2}{\tau_f} = \frac{v^2(t)}{\tau_f c_2 c_3} \quad (13-2)$$

که  $\tau_f = \left(\frac{m_f c_1}{2c_2}\right)$  ثابت زمانی حرارتی لامپ است. پابت زمانی حرارتی وابسته به جرم فیلامان و بازده حرارتی انتقال حرارت به محیط می باشد.

بر طبق [۲۷]، ثابت زمانی های نوعی برای لامپ های ۲۳۰ ولت ۶۰ وات، ۱۹ میلی ثانیه و برای لامپ های ۱۲۰ ولت ۶۰ وات، ۲۸ میلی ثانیه می باشد.

معادله دیفرانسیل (۲-۱۳) را می توان با جایگذاری  $T_{f0}$  بر حسب ولتاژ نامی  $V_0$  مقداری توسعه داد. از رابطه (۲-۱۰) داریم:

$$T_{f0} = \frac{V_0}{\sqrt{c_2 c_3}} \quad (14-2)$$

که می توان آنرا به صورت زیر نیز نوشت:

$$c_2 c_3 = \left(\frac{V_0}{T_{f0}}\right)^2 \quad (15-2)$$

که از جایگذاری (۲-۱۵) در (۲-۱۳) داریم:

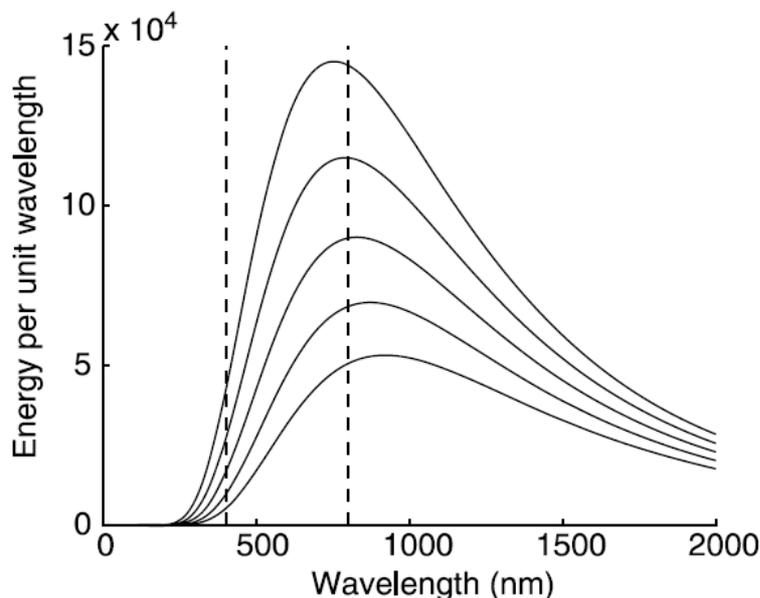
$$\frac{1}{T_{f0}^2} \frac{dT_f^2}{dt} + \frac{1}{\tau_f} \frac{T_f^2}{T_{f0}^2} = \frac{1}{\tau_f} \frac{v^2(t)}{V_0^2} \quad (16-2)$$

دوباره باید یادآور شویم که مدل به دست آمده در (۲-۱۶) با این فرض به دست آمد که تلفات حرارتی منتقل شده به محیط به طور خطی وابسته به دمای فیلامان می باشد. برای به دست آوردن مدل های دقیق تر، به یک معادله دیفرانسیل غیر خطی می رسیم که حل آن از روش های عددی امکان پذیر نیست.

مدل فیلتر مرتبه ۱ به دست آمده، تنها دمای فیلامان را مشخص می کند و نور منتشر شده را مشخص نمی کند. اگر فرض کنیم فیلامان مانند یک جسم سیاه عمل می کند، می توانیم با استفاده

از قانون تشعشع پلانک، مقدار نور تولیدی را به دست آوریم. طبق قانون پلانک مقدار انرژی بر واحد حجم در یک بازه از طول موج  $[\lambda, \lambda+d\lambda]$  از رابطه زیر به دست می آید:

$$dW = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{d\lambda}{e^{(hc/\lambda kT)} - 1} \quad (17-2)$$



شکل ۲-۱۱: طیف های تشعشعی مربوط به اجسام سیاه در دماهای (از بالا به پایین) ۳۸۵۰، ۳۶۷۵، ۳۵۰۰، ۳۳۲۵

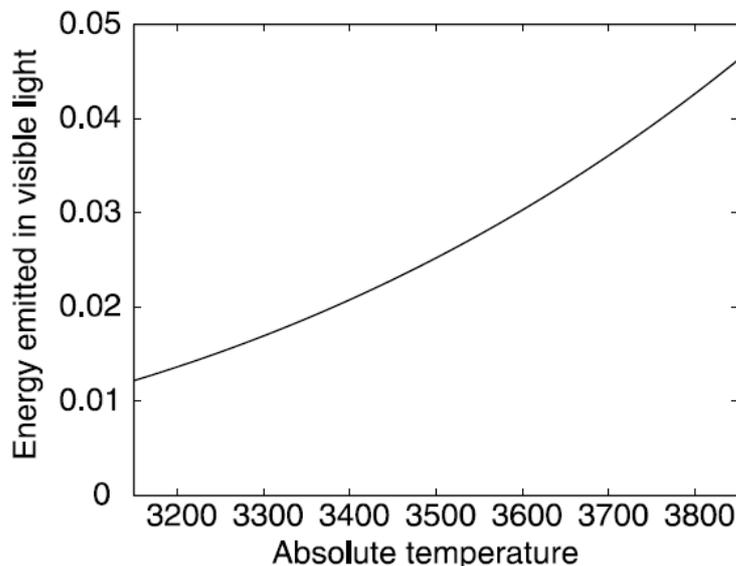
و ۳۱۵۰ درجه کلوین (خطوط خط چین عمودی نشان دهنده طیف قابل مشاهده است) [۶]

که در رابطه فوق،  $h$  ثابت پلانک،  $k$  ثابت بولتزمن<sup>۱</sup> و  $c$  سرعت نور است. نمودار مربوط به این رابطه به ازای ۵ مقدار مختلف دما، در شکل ۲-۱۱ رسم شده است. این مقادیر دما برای ۹۰، ۹۵، ۱۰۰، ۱۰۵ و ۱۱۰ درصد دمای معمول فیلامان (۳۵۰۰ درجه کلوین)، انتخاب شده اند. همانطور که مشاهده می شود، یک تغییر کوچک در دما (ولتاژ)، تغییرات بسیار زیادی را در حرارت تشعشعی منتشر شده ایجاد می کند. بخش قابل مشاهده طیف الکترومغناطیسی (۴۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر) با خطوط خط چین مشخص شده است.

تغییرات انرژی منتشر شده نسبت به تغییرات کوچک دما در شکل ۲-۱۲ قابل مشاهده است. انرژی منتشر شده از انتگرالگیری از منحنی های شکل ۲-۱۱ در بازه طیف قابل مشاهده به دست می آید. از این کمیت (انرژی انتشار یافته) می توان به عنوان شدت نور لامپ استفاده کرد اگرچه حساسیت

<sup>۱</sup> Boltzmann's constant

چشم ما در کل این بازه یکسان نیست. شکل ۲-۱۲ فقط دماهای ۱۰ درصد بالا و پایین تر از ۳۵۰۰ کلوین را در نظر گرفته است ولی می توان نشان داد که نور لامپ تقریباً با توان چهارم دما نسبت دارد.



شکل ۲-۱۲: کل انرژی انتشار یافته توسط جسم سیاه در بخش قابل مشاهده طیف به ازای دماهای بازه  $\pm 10$

درصد حول ۳۵۰۰ درجه کلوین [۶]

با خطی سازی منحنی شکل ۲-۱۲ در اطراف دمای ۳۵۰۰ کلوین، می توان نشان داد که با تغییر ۱ درصدی دما، شدت نور لامپ ۶/۵ درصد تغییر می کند. این تاثیر زیاد دما در نور لامپ به همراه حساسیت بالای چشمان ما در برابر نوسانات نور لامپ، این نتیجه را به همراه دارد که تغییرات بسیار کم ولتاژ می تواند نوسانات آزار دهنده ای از نور لامپ را به وجود آورد. واکنش لامپ در برابر نوسانات ولتاژ را به عنوان ضریب بهره<sup>۱</sup> لامپ تعریف می کنیم. ضریب بهره، نسبت نوسان نسبی در شدت نور لامپ به نوسان نسبی در ولتاژ می باشد:

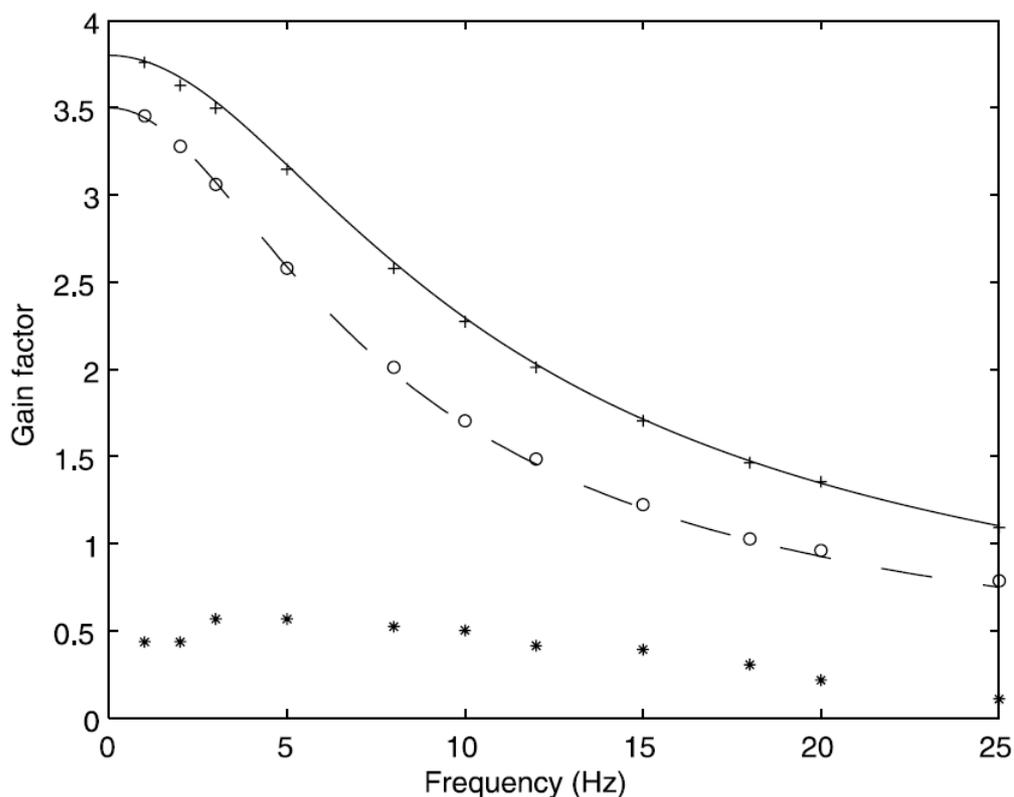
$$G = \frac{(\Delta R) / R}{(\Delta V) / V} \quad (2-18)$$

که  $\Delta R$  مقدار نوسان شدت نور،  $R$  متوسط شدت نور،  $\Delta V$  مقدار نوسان اندازه ولتاژ و  $V$  مقدار متوسط ولتاژ مؤثر می باشد. این ضریب بهره  $G$  تابعی از فرکانس نوسانات می باشد. هر لامپ، ضریب بهره خاص خود را دارا می باشد. در مراجع [۲۷] و [۲۸] رابطه زیر برای ضریب بهره داده شده است:

<sup>۱</sup> . gain factor

$$G(f_M) = \frac{K}{\sqrt{1 + (2\pi f_M \tau)^2}} \quad (19-2)$$

که  $K$  ضریب بهره و  $\tau$  ثابت زمانی لامپ می باشد. رفتار رابطه (۱۹-۲) مطابق با یک فیلتر پایین گذر مرتبه اول است. تعدادی مثال از اندازه گیری های رابطه فوق در مرجع [۲۷] ارائه شده است. از این اندازه گیری ها در شکل ۱۳-۲ استفاده شده است. همانطور که از شکل ۱۳-۲ پیداست، ضریب بهره یک لامپ ۲۳۰ ولت، بیشتر از یک لامپ ۱۲۰ ولت با توان مشابه می باشد. بنابراین به ازای نوسانات مشابه، نوسانات شدت نور لامپ ۲۳۰ ولتی بیشتر است. لامپ فلورسنت نوسانات شدت نور بسیار کمتری نسبت به لامپ های رشته ای از خود نشان می دهد. اما توجه شود که در این اندازه گیری ها لامپ های رشته ای، لامپ های معمولی انتخاب شده اند در حالیکه لامپ فلورسنت از نوع الکترونیکی مقاوم در برابر فلیکر استفاده شده است [۲۷].



شکل ۱۳-۲: اندازه گیری ضریب بهره برای لامپ های ۲۳۰ ولت و ۶۰ وات (+)، ۱۲۰ ولت و ۶۰ وات (o) و لامپ فلورسنت الکترونیکی (x)، به همراه منحنی های تئوری مربوط به لامپ های رشته ای ۲۳۰ ولت و ۶۰ وات (خطوط توپر) و ۱۲۰ ولت و ۶۰ وات (خطوط خط چین) [۶]

در شکل ۲-۱۳ همچنین منحنی های رابطه (۲-۱۹) به صورت خط تو پر رسم شده است. برای لامپ ۲۳۰ ولت، ضریب بهره  $K=3.8$  و ثابت زمانی  $\tau=21\text{ms}$  و برای لامپ ۲۳۰ ولت، ضریب بهره  $K=3.5$  و ثابت زمانی  $\tau=29\text{ms}$  در نظر گرفته شده است.

این مقادیر برای انطباق منحنی های تئوری و اندازه گیری های انجام شده بر یکدیگر انتخاب شده اند. بر طبق [۲۷]، ثابت زمانی نوعی برای یک لامپ ۲۳۰ ولت، ۱۹ میلی ثانیه و برای یک لامپ ۱۲۰ ولت، ۲۸ میلی ثانیه در نظر گرفته شده است (هر دو لامپ ۶۰ وات هستند).

## ۲-۹- تاثیر فلیکر روی لامپ های مختلف

فلیکرمتر استاندارد IEC تنها اثر فلیکر را بر روی لامپ های رشته ای ۲۳۰ ولت و ۱۲۰ ولت ۶۰ وات بررسی می کند. لامپ های رشته ای با توان بالاتر از ۶۰ وات دارای رشته تنگستن ضخیم تر هستند، زیرا باید جریان بیشتری را از خود عبور دهند بدون اینکه ذوب شوند. این باعث افزایش ثابت زمانی حرارتی شده، در نتیجه حساسیت نور لامپ به نوسانات ولتاژ کاهش می یابد. به طور مشابه لامپ ۱۲۰ ولت ۶۰ وات (با جریان ۰/۵ آمپر) در مقایسه با لامپ ۲۳۰ ولت ۶۰ وات (با جریان ۰/۲۶ آمپر) دارای حساسیت کمتری نسبت به نوسانات ولتاژ می باشد. دلیل این موضوع این است که لامپ رشته ای ۱۲۰ ولت ۶۰ وات به دلیل جریان نامی بیشتر دارای رشته ضخیم تری است بنابراین ثابت زمانی حرارتی آن نسبت به لامپ ۲۳۰ ولت ۶۰ وات بیشتر است و در نتیجه حساسیت آن نسبت به نوسانات ولتاژ، کمتر است. با استدلال فوق می توان گفت که جریان نامی عبوری از لامپ های رشته ای، تعیین کننده حساسیت آن ها نسبت به نوسانات ولتاژ می باشد، یعنی هر چه جریان نامی لامپ بیشتر باشد حساسیت آن به نوسانات ولتاژ کمتر است. به این ترتیب حساسیت یک لامپ رشته ای ۲۳۰ ولت ۱۱۵ وات با حساسیت یک لامپ رشته ای ۱۲۰ ولت ۶۰ وات برابر است (زیرا جریان نامی هر دو ۰/۵ آمپر می باشد). بنابراین حساسیت لامپ های با توان کمتر، بیشتر است. خوشبختانه عملاً از لامپ های کم توان در جاهایی که نیاز به یک نور ثابت است کمتر استفاده می شود.

اما لامپ های فلورسنت در جاهایی که نور ثابت از اهمیت خاصی برخوردار است، مورد استفاده زیادی دارد. لامپ های فلورسنت، جزء لامپ های درخشان<sup>۱</sup> هستند که تولید نور در آنها بر خلاف لامپ های رشته ای نیاز به دمای بسیار بالا ندارد. این گونه لامپ ها گرمای کمتری تولید می کنند بنابراین دارای راندمان بالاتری نسبت به لامپ های رشته ای هستند. بیشترین نوع لامپ های مورد استفاده از این نوع لامپ ها به صورت زیر است:

- لامپ های فلورسنت که نور سفید تولید می کنند.
- لامپ های بخار سدیم که نور زرد - نارنجی تولید می کنند.
- لامپ های بخار جیوه که نور آبی - سبز روشن تولید می کنند.

لامپ های فلورسنت بیشترین استفاده را در کاربرد های روشنایی خانگی دارا می باشد. منبع اصلی نور لامپ های فلورسنت، یونیزه شدن مخلوط بخار آرگون و جیوه می باشد. یونیزاسیون به وسیله عبور جریان از گاز داخل لامپ انجام می شود. گاز یونیزه شده نوری تولید می کند که در طیف ماوراء بنفش قرار دارد. این نور به وسیله روکش حباب لامپ که آغشته از گاز می باشد جذب شده و نوری تولید می شود که در طیف نور قابل مشاهده توسط چشم ما قرار دارد. به این فرایند، فلورسانس (تابش ماهتابی) گفته می شود. نام فلورسنت به همین دلیل برای این نوع لامپ ها انتخاب شده است. برای شروع و ماندگاری جریان عبوری از گاز، یک مدار الکترونیکی به نام بالاست<sup>۲</sup>، مورد نیاز است. معمولاً این مدار شامل یک اندوکتانس بزرگ (بالاست مغناطیسی) است، اما به تدریج با یک مدار مولد ولتاژ ثابت (بالاست الکترونیکی) به جای جریان ثابت، جایگزین شده است.

فلیکر متر استاندارد را می توان با تغییر مدل پاسخ زنجیره لامپ - چشم - مغز، برای انواع دیگر لامپ ها تنظیم نمود. برای ساخت فلیکر متر استاندارد با قابلیت تطابق بیشتر باید پاسخ لامپ را از پاسخ زنجیره چشم - مغز، جدا کرد. با این کار استفاده کننده از دستگاه می تواند به راحتی اثر لامپ های مختلف را بررسی کند. در شکل ۲-۱۴ سه نوع لامپ ۲۳۰ ولت با هم مقایسه شده اند. محور عمودی به صورت نسبی است. منحنی ها نشان دهنده حساسیت نسبی در برابر تغییرات ولتاژ می باشد.

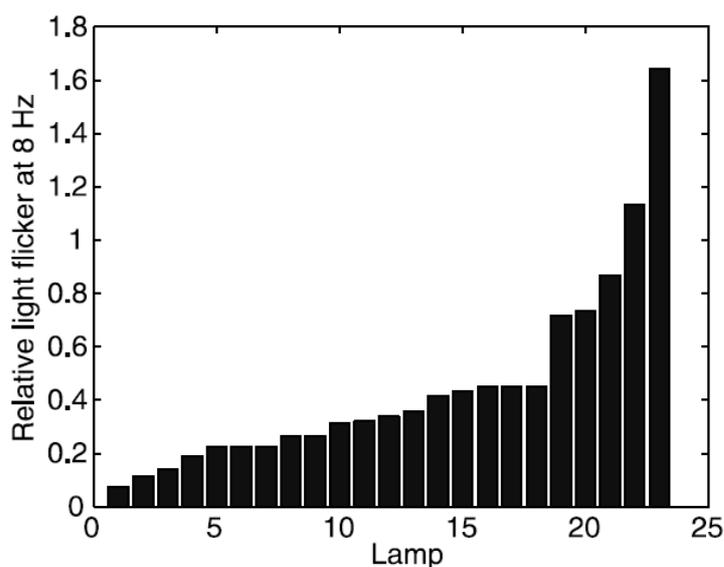
<sup>۱</sup> . luminescent lamps

<sup>۲</sup> . ballast

شکل ۲-۱۴: مدل زنجیره لامپ-چشم-مغز برای لامپ های رشته ای (خط توپر)، لامپ های فلورسنت (خط چین) و بالاست های الکترونیکی (نقطه چین) [۶]

همانطور که مشاهده می شود، بالاست های الکترونیکی دارای کمترین حساسیت، نسبت به نوسانات ولتاژ، و لامپ های رشته ای دارای بیشترین حساسیت می باشند. اما باید توجه داشت که لامپ های ساخت کارخانجات مختلف نیز دارای منحنی های حساسیت متفاوتی هستند.

شکل ۲-۱۵: نتایج فلیکر روشنایی ناشی از نوسانات ۸ هرتز ولتاژ، مربوط به ۲۳ لامپ فلورسنت فشرده مختلف (با بالاست الکترونیکی) را با هم مقایسه می کند.



شکل ۲-۱۵: فلیکر ناشی از ۲۳ نوع مختلف لامپ فلورسنت [۲۷، ص ۱۱۷].

واحد محور عمودی، مطابق با فلیکر روشنایی یک لامپ رشته ای استاندارد می باشد. اکثر لامپ های آزمایش شده دارای فلیکری کمتر از نصف فلیکر لامپ رشته ای استاندارد می باشند، ولی فلیکر روشنایی بعضی از آنها، حتی از لامپ رشته ای استاندارد هم بیشتر است.

اثر دیگری که در فلیکرمتر استاندارد در نظر گرفته نشده است، لامپ هایی است که ممکن است با یک دیمر الکترونیکی تغذیه شوند. اثر دیمر، افزایش نوسانات شدت نور به ازای نوسانات یکسان ولتاژ است. هنگامیکه لامپ به اندازه ۲۵ درصد تاریک می شود (به وسیله دیمر)، شدت نوسانات روشنایی تقریباً دو برابر می شود [ ۲۷، ص ۱۲].

لامپ های فلورسنت به همراه دیمر، ممکن است رفتاری غیرخطی از خود نشان دهند که ترکیب آنها به وسیله فلیکرمتر، کار مشکلی است.

## ۲-۱۰- اثرات دیگر نوسانات ولتاژ

فلیکر روشنایی، تنها اثر نوسانات ولتاژ نیست بلکه بعضی از بارهای دیگر نیز تحت تاثیرات این پدیده قرار می گیرند. بعضی از این نمونه بارها عبارتند از [۲۸]:

- کنترلر هایی که با زاویه ولتاژ عمل می کنند
- ترمز کننده ها و شتاب دهنده های موتورها
- لوازم الکترونیکی حساس از قبیل کامپیوترها، چاپگرها، دستگاههای کپی و لوازم ارتباط از راه دور

## ۲-۱۱- روش های اندازه گیری فلیکر

با توجه به مطالب گفته شده در بخش های قبل، دیدیم که میزان فلیکر تولیدی وابسته به طیف وسیعی از پارامترها از جمله درصد تغییرات ولتاژ، نوع نوسانات، فرکانس تغییرات و ... می باشد. این موضوع سبب می شود که روشهای متفاوتی برای اندازه گیری فلیکر ارائه شود که هرکدام از این روشها ممکن است در یک حالت یکسان، مقادیر متفاوتی از اندازه فلیکر ارائه کنند. با توجه به این موضوع نیاز به یک استاندارد کلی که در همه جا استفاده شود ضروری به نظر می رسد.

استاندارد IEC در زمینه اندازه گیری فلیکر دارای مقبولیت جهانی می باشد که این استاندارد تقریباً کلیه پارامترهایی را که در تولید فلیکر نقش دارند را در نظر گرفته است. منحنی هایی که در بخش های قبل نشان داده شده نتایج سالها تحقیق بر روی افراد مختلف در سرتاسر جهان می باشد که از این منحنی ها در اندازه گیری فلیکر استفاده می شود.

به طور کلی دو راه برای اندازه گیری فلیکر وجود دارد:

الف) روش SCVD<sup>۱</sup>

ب) به وسیله دستگاه های اندازه گیری فلیکر<sup>۲</sup>

## ۲-۱۱-۱- روش SCVD

این روش در واقع یک روش اندازه گیری فلیکر نیست بلکه یک پارامتر است که در هنگام طراحی شبکه دارای کوره قوس الکتریک اندازه گیری می شود. به این ترتیب که درصد افت ولتاژ در نقطه PCC<sup>۳</sup> از حالت مدار باز کوره نسبت به حالت اتصال کوتاه سه فاز اندازه گیری می شود.

در سطوح ولتاژ ۱۳۲ کیلو ولت و پایین تر مقدار SCVD نباید از ۲ درصد تجاوز کند. این مقدار برای سطوح بالاتر از ۱۳۲ کیلو ولت نباید بیشتر از ۱/۶ درصد باشد.

مزیت این روش این است که قبل از نصب کوره با توجه به مقادیر توان اکتیو و راکتیو کوره و امپدانس سیستم می توان مقدار SCVD را محاسبه کرد.

عیب این روش نیز این است که اندازه فلیکر را مشخص نمی کند و همچنین سایر منابع تولید فلیکر را در نظر نمی گیرد.

## ۲-۱۱-۲- فلیکرمتر

اندازه گیری مقدار دقیق فلیکر به وسیله دستگاه فلیکرمتر انجام می شود. فلیکرمتر بر اساس عکس العمل چشم انسان در مقابل نوسانات نور لامپ به اندازه فلیکر عددی را نسبت می دهد. دستگاه های زیادی برای اندازه گیری فلیکر ساخته شده اند که هدف ما بررسی فلیکرمتر استاندارد

<sup>۱</sup> . Short-Circuit Voltage Depression

<sup>۲</sup> . flicker meter

<sup>۳</sup> . Point of Common Coupling

IEC می باشد (در بخش بعد)، ولی در ابتدا یک دید کلی از انواع دستگاههای اندازه گیری فلیکر، لازم به نظر می رسد.

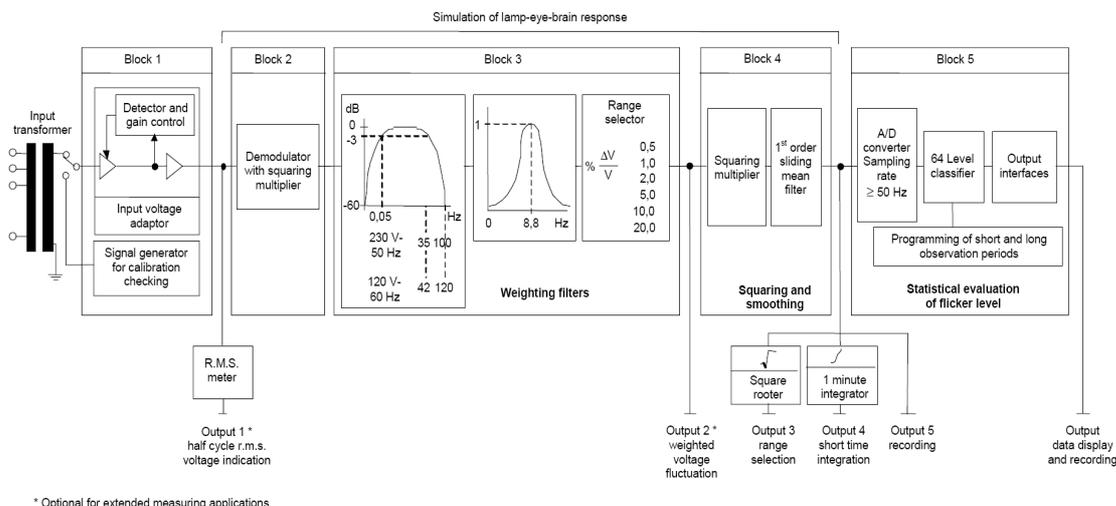
در دستگاههای فلیکرمتر از اصول متنوعی در اندازه گیری فلیکر استفاده می شود. در بعضی از آنها از فتوسل استفاده شده است که در مقابل نور ناشی از فیلامان تنگستن لامپ پاسخ می دهد و در انواع دیگر مستقیماً به ولتاژ ورودی حساس هستند.

در اکثر این دستگاهها مقدار موثر تغییرات ولتاژ اندازه گیری می شود. در بعضی از این دستگاهها منحنی حساسیت چشم انسان نیز مدنظر قرار گرفته است ولی در بعضی از آنها به این منحنی توجهی نشده است. در بعضی از فلیکرمترها از انواع فیلترهای هارمونیک استفاده می شود زیرا هارمونیکها می توانند در قرائت دستگاه اندازه گیری فلیکر اثر بگذارند بدون آنکه در مقدار موثر تغییرات ولتاژ تاثیری داشته باشند.

از لحاظ پیروی نمونه برداری برای تعیین تغییرات موثر ولتاژ نیز با یکدیگر متفاوتند. بعضی نمونه برداری پیوسته دارند، بعضی دیگر در فواصل چند ثانیه یا چند دقیقه نمونه برداری می کنند و بعضی نیز با انتگرال گیری پیوسته این کار را انجام می دهند [۲۹].

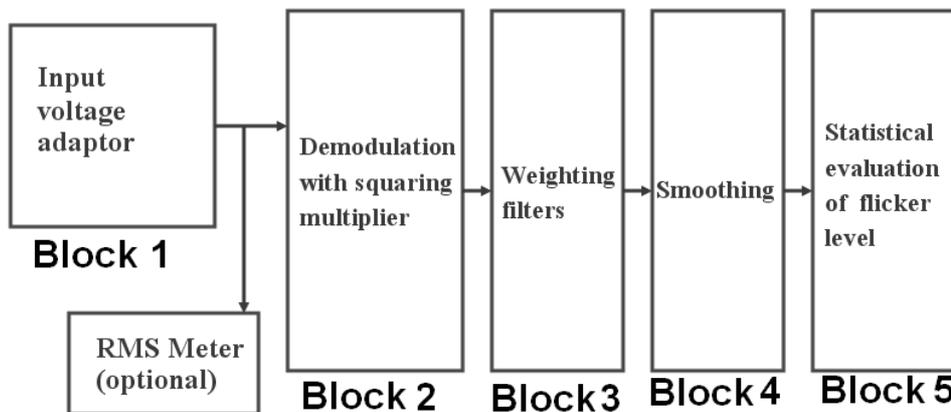
## ۱۲-۲- فلیکرمتر بر اساس استاندارد IEC

در این بخش نحوه طراحی و عملکرد فلیکرمتر استاندارد IEC بررسی می شود. شکل ۲-۱۶ شمای کلی این دستگاه را نشان می دهد.



شکل ۲-۱۶: شمای کلی دستگاه فلیکرمتر استاندارد IEC [۱۰]

همانطور که مشاهده می شود این دستگاه از ۵ بلوک تشکیل شده است که کارهایی که این بلوکها انجام می دهند در شکل ۲-۱۷ توضیح داده شده است.



شکل ۲-۱۷: شمای کلی وظایف بلوکهای دستگاه فلیکرمتر

شمای خلاصه تر دستگاه که در سه مرحله خلاصه می شود در شکل ۲-۱۸ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۸: شمای خلاصه مراحل کار دستگاه

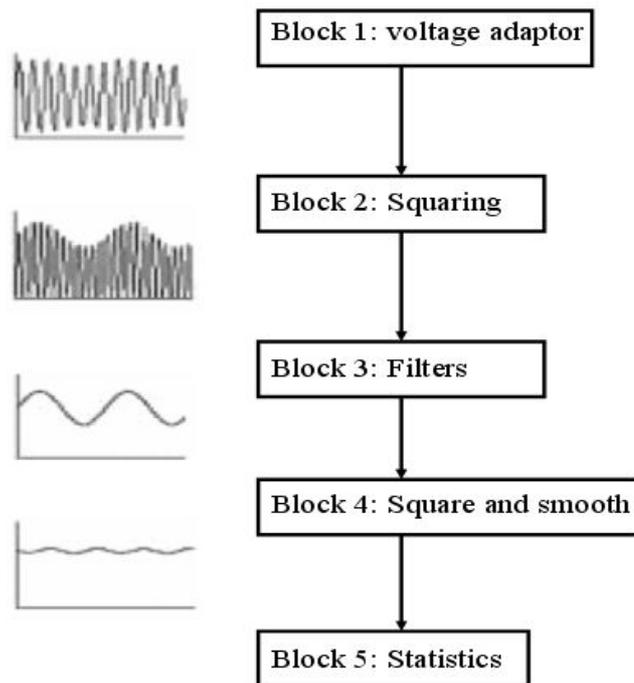
این سه مرحله عبارتند از :

- ۱- عملیات ولتاژ ورودی<sup>۱</sup> که توسط بلوک ۱ انجام می شود.
  - ۲- شبیه سازی پاسخ "لامپ-چشم-مغز"<sup>۲</sup> که توسط بلوک های ۲، ۳ و ۴ انجام می شود.
  - ۳- عملیات خروجی برای یافتن فلیکر کوتاه مدت و بلند مدت<sup>۳</sup> که توسط بلوک ۵ انجام می شود.
- همچنین شمای کلی وظایف بلوک ها به همراه خروجی نوعی آنها در شکل ۲-۱۹ نشان داده شده است. در ادامه، توضیحاتی در مورد هر یک از بلوکها و نحوه کار آنها ارائه می شود.

<sup>1</sup>. input voltage processing

<sup>2</sup>. simulation of lamp-eye-brain response

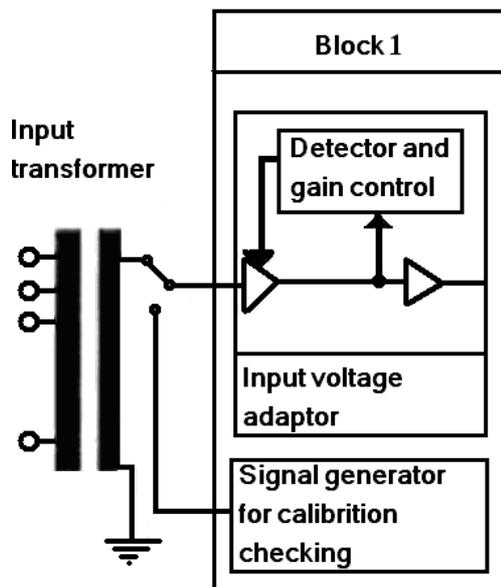
<sup>3</sup>. output processing to give Plt and Pst



شکل ۲-۱۹: شمای کلی وظایف بلوکهای دستگاه فلیکرمتر به همراه خروجیهای نوعی

## ۲-۱۲-۱- بلوک ۱: تطبیق دهنده ولتاژ ورودی و مدار باز بینی کالیبراسیون

این بلوک شامل یک مولد سیگنال به منظور بازبینی کالیبراسیون فلیکرمتر و یک مدار تطبیق دهنده ولتاژ است که ولتاژ موثر ورودی را به مقدار مناسبی برای سطح مرجع داخلی کاهش می دهد (شکل ۲-۲۰).

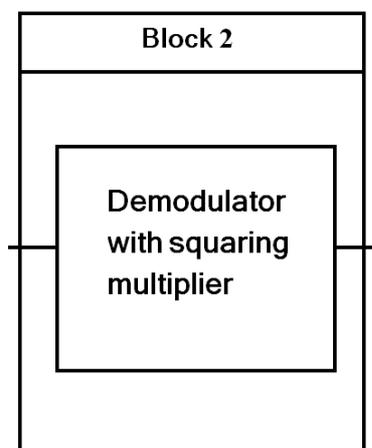


شکل ۲-۲۰: شمای کلی بلوک ۱

به این ترتیب می توان اندازه گیری های فلیکر را به صورت مستقل از مقدار واقعی سطح ولتاژ ورودی انجام داد و آن را به صورت نسبی بر حسب درصد بیان نمود. به کمک تپ ترانسفورماتور ورودی باید بتوان محدوده ولتاژ را به نحوی تغییر داد که در حد قابل قبول قرار گیرد.

### ۲-۱۲-۲- بلوک ۲: دمودلاتور مربع کننده<sup>۱</sup>

هدف از این بلوک، شبیه سازی رفتار لامپ با استفاده از مربع کردن ولتاژ ورودی آن می باشد، زیرا نور لامپ با نسبت توان ۲ ولتاژ ورودی تغییر می کند (شکل ۲-۲۱).



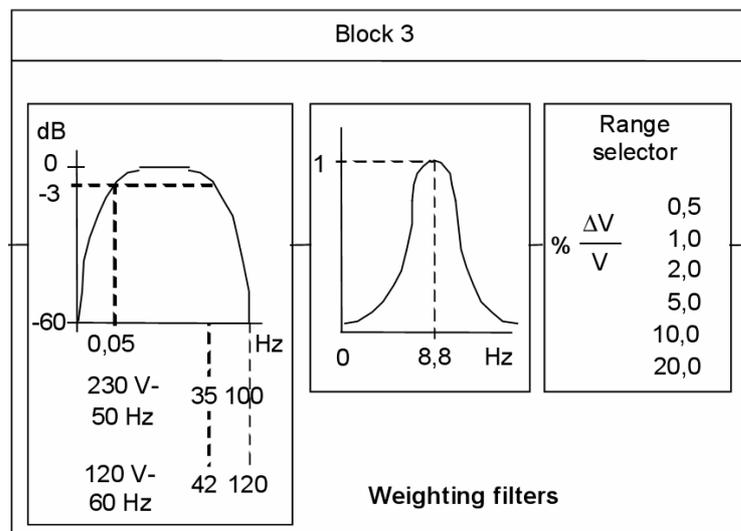
شکل ۲-۲۱: شمای کلی بلوک ۲

### ۲-۱۲-۳- بلوک ۳: فیلترهای وزن دهی<sup>۲</sup>

بلوک ۳ شامل دو فیلتر متوالی و یک سلکتور می باشد (شکل ۲-۲۲). اولین فیلتر مؤلفه dc و مؤلفه های با فرکانس ۲ برابر فرکانس اصلی خروجی دمودلاتور را حذف می کند. دومین فیلتر پاسخ فرکانسی فلیکرمتر را نسبت به نوسانات مدولاتور نشان می دهد. بلوک مربوط به فیلتر وزن دهی، پاسخ فرکانسی فلیکرمتر را نسبت به نوسانات ولتاژ سینوسی یک فیلامان لامپ گازی (۶۰ وات، ۲۳۰ ولت) در ترکیب با سیستم بینایی انسان شبیه سازی می کند. این تابع پاسخ، بر اساس آزمون هایی که روی افراد مختلف انجام گرفته به دست آمده است.

<sup>۱</sup> . square law demodulator

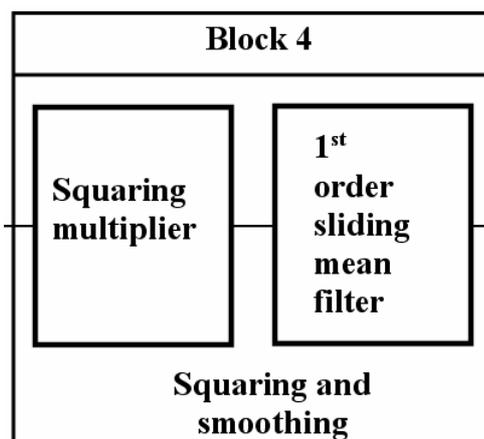
<sup>۲</sup> . weighting filters



شکل ۲-۲۲: شمای کلی بلوک ۳

## ۲-۱۲-۴- بلوک ۴: مربع سازی و هموار سازی<sup>۱</sup>

بلوک ۴ شامل یک ضرب کننده مربعی و یک فیلتر پایین گذر مرتبه اول می باشد (شکل ۲-۲۳).



شکل ۲-۲۳: شمای کلی بلوک ۴

به کمک پاسخ غیرخطی بلوک های ۲ و ۳ و ۴ احساس انسان نسبت به نوسان ولتاژ با توجه به ترکیب لامپ، چشم و مغز شبیه سازی شده است.

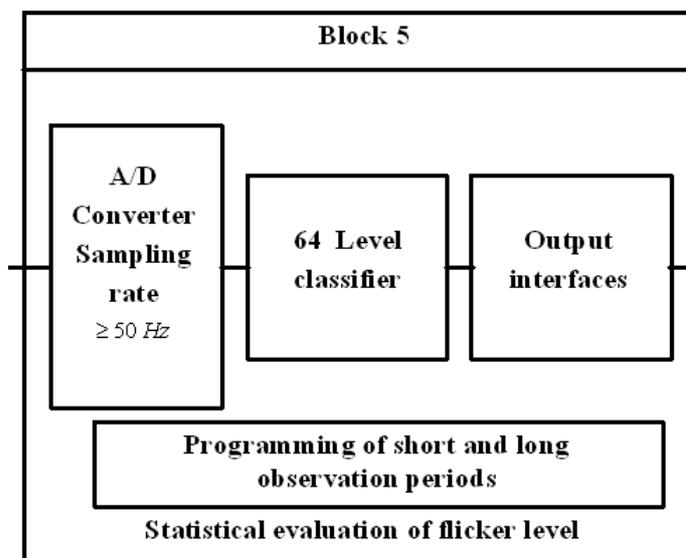
بلوک ۳ تنها بر اساس منحنی قابلیت درک حدود مرزی در مقابل نوسانات ولتاژ سینوسی استوار است. وزن دهی صحیح نوسانات غیر سینوسی و نوسانات تصادفی به کمک انتخاب مناسب توابع

<sup>۱</sup>. Squaring and Smoothing

تبدیل بلوک های ۳ و ۴ انجام می گیرد. تحت چنین شرایطی می توان عملکرد صحیح مدل را با استفاده از سیگنال های مستطیلی متناوب و نیز سیگنال های گذرا بازبینی کرد. خروجی بلوک ۴ درک لحظه ای انسان را از شدت فلیکر نشان می دهد.

## ۲-۱۲-۵- بلوک ۵: تحلیل آماری بلادرنگ<sup>۱</sup>

بلوک ۵ شامل میکروپروسسوری است که تحلیل آماری بلادرنگی را روی سطوح فلیکر انجام می دهد (شکل ۲-۲۴). بنابراین محاسبه مستقیم پارمترهای مهم امکان پذیر خواهد بود. یک واسط مناسب می تواند امکان ضبط و نمایش اطلاعات را فراهم آورد. استفاده از این بلوک به روش محاسبه شدت فلیکر وابسته است.



شکل ۲-۲۴: شمای کلی بلوک ۵

تحلیل آماری چه به صورت بلادرنگ توسط بلوک ۵ انجام شود و چه با استفاده از تجهیزات جانبی دیگر و با بهره گیری از خروجی بلوک ۴ انجام گیرد، باید دامنه سیگنال فلیکر را به تعداد مناسبی از دسته های مختلف تقسیم کند. سیگنال فلیکر با نرخ ثابتی نمونه برداری می شود. هر لحظه که دامنه سیگنال فلیکر مشخص شد، به شمارنده دسته متناظر با آن، یک واحد اضافه خواهد شد. با این روش می توان تابع توزیع فرکانسی مقادیر ورودی را به دست آورد.

<sup>۱</sup>. on-line statistical analysis

اگر فرکانس نمونه برداری به طور مناسب انتخاب شده باشد (به اندازه کافی بزرگتر از حداکثر فرکانس فلیکر) در انتهای زمان اندازه گیری، توزیع دوره زمانی سطح فلیکر در هر دسته مشخص می شود. تابع چگالی احتمال سطوح فلیکر را می توان با اضافه کردن محتوای شمارنده های کلیه دسته ها و بیان تعداد هر دسته نسبت به مقدار کلی به دست آورد. با استفاده از این نتایج می توان تابع احتمال تجمعی را نیز به دست آورد. از تابع احتمال تجمعی می توان مقادیر مهمی را به دست آورد. این مقادیر شامل مقدار متوسط، انحراف معیار، سطح فلیکری که طی دوره مشاهده، فلیکر برای درصد مشخصی از زمان از آن سطح بیشتر می شود و یا درصد زمانی که سطح فلیکر از یک مقدار مشخص بیشتر می شود، خواهد بود.

پیروید زمانی مشاهده اطلاعات به کمک دو بازه زمانی قابل تنظیم  $T_{short}$  و  $T_{long}$  تعریف می شود. بازه زمانی باند مدت  $T_{long}$  کل زمان مشاهده را مشخص می کند و همیشه حاصلضرب صحیحی از بازه زمانی کوتاه مدت  $T_{short}$  است، یعنی:

$$T_{long} = nT_{short} \quad (2-20)$$

برای پروسه بلادرنگ، بلافاصله بعد از هر بازه زمانی کوتاه مدت، تحلیل آماری بازه زمانی بعدی آغاز می شود و نتایج بازه زمانی قبلی روی خروجی قرار می گیرد. به این ترتیب،  $n$  بررسی کوتاه مدت، برای بررسی بلند مدت در دسترس خواهد بود. نمایش گرافیکی تابع احتمال ترجیحا باید با استفاده از توابع نرمال گوس نمایش داد (روش سنجش میزان فلیکر در بخش ۲-۱۳ ارائه می شود).

## ۲-۱۲-۶- خروجی ها

در دیاگرام شکل ۲-۱۶ تعدادی خروجی بین بلوک ۱ تا ۵ مشخص شده اند. خروجی هایی که با ستاره علامت زده شده اند اجباری نبوده ولی می توان به کمک آنها امکانات اضافی را ایجاد نمود.

- از خروجی اختیاری بلوک ۱ و اندازه گیری مقدار مؤثر متناظر با آن می توان شکل موج نوسان ولتاژ را بر حسب تغییرات مقادیر مؤثر ولتاژ ورودی نشان داد. برای این منظور از مربع سازی و انتگرال گیری بین زمان عبور از صفر در هر نیم سیکل و سپس ریشه دوم گرفتن از آن استفاده می شود.

برای مشاهده تغییرات کوچک ولتاژ با دقت بالا باید از یک DC offset قابل تنظیم و یکسو ساز استفاده نمود.

- از خروجی ۲ برای بازبینی پاسخ بلوک ۳ و تنظیم آن استفاده می شود.
- خروجی ۳ نمایش خطی و لحظه ای تغییرات نسبی ولتاژ یعنی  $\frac{\Delta V}{V}$  را برحسب معادل درصدی موج مدولاسیون سینوسی ۸/۸ هرتز بیان می کند. از این خروجی می توان جهت انتخاب محدوده مناسب اندازه گیری استفاده نمود.
- خروجی ۴، انتگرال یک دقیقه ای احساس لحظه ای انسان از شدت فلیکر را نشان می دهد.
- خروجی ۵، احساس لحظه ای انسان را از شدت فلیکر نشان می دهد. برای اندازه گیری های طولانی مدت و پردازش های بعدی می توان نتایج را بر روی نوار مغناطیسی یا دیسکت ذخیره نمود.
- خروجی ۶ در بلوک ۵ را می توان به منظور ارتباط با چاپگر یا نوار مغناطیسی و یا دیسکت به یک واسط دیجیتال متصل نمود. با استفاده از یک مبدل دیجیتال به آنالوگ می توان نمایش آنالوگ تابع احتمال تجمعی را مستقیماً از این بلوک به دست آورد.

## ۲-۱۲-۷- مشخصات<sup>۱</sup>

### ۲-۱۲-۷-۱- پاسخ آنالوگ

پاسخ آنالوگ از ورودی فلیکرمتر به خروجی بلوک ۴، برای نوسانات ولتاژ سینوسی و مربعی به ترتیب در جداول ۲-۲ و ۳-۲ نشان داده شده است. ۱ واحد خروجی بلوک ۴ برابر حد مرزی درک انسان از فلیکر می باشد.

---

<sup>۱</sup>. specifications

جدول ۲-۲: پاسخ نرمالیزه فلیکرمتر به نوسانات سینوسی

(input relative voltage fluctuation  $\Delta V/V$  for one unit of perceptibility at output 5)

Hz	Voltage fluctuation %		Hz	Voltage fluctuation %	
	120-V lamp 60 Hz system	230-V lamp 50 Hz system		120-V lamp 60 Hz system	230-V lamp 50 Hz system
0,5	2,457	2,340	10,0	0,339	0,260
1,0	1,463	1,432	10,5	0,355	0,270
1,5	1,124	1,080	11,0	0,374	0,282
2,0	0,940	0,882	11,5	0,394	0,296
2,5	0,814	0,754	12,0	0,420	0,312
3,0	0,716	0,654	13,0	0,470	0,348
3,5	0,636	0,568	14,0	0,530	0,388
4,0	0,569	0,500	15,0	0,593	0,432
4,5	0,514	0,446	16,0	0,662	0,480
5,0	0,465	0,398	17,0	0,737	0,530
5,5	0,426	0,360	18,0	0,815	0,584
6,0	0,393	0,328	19,0	0,897	0,640
6,5	0,366	0,300	20,0	0,981	0,700
7,0	0,346	0,280	21,0	1,071	0,760
7,5	0,332	0,266	22,0	1,164	0,824
8,0	0,323	0,256	23,0	1,262	0,890
8,8	0,321	0,250	24,0	1,365	0,962
9,5	0,330	0,254	25,0	1,472	1,042
			33,33	Test not required	2,130
			40,0	4,424	Test not required

جدول ۲-۳: پاسخ نرمالیزه فلیکرمتر به نوسانات مربعی

(input relative voltage fluctuation  $\Delta V/V$  for one unit of perceptibility at output 5)

Hz	Voltage fluctuation %		Hz	Voltage fluctuation %	
	120 V lamp 60 Hz system	230 V lamp 50 Hz System		120 V lamp 60 Hz system	230 V lamp 50 Hz system
0,5	0,600	0,514	10,0	0,264	0,205
1,0	0,547	0,471	10,5	0,280	0,213
1,5	0,504	0,432	11,0	0,297	0,223
2,0	0,471	0,401	11,5	0,309	0,234
2,5	0,439	0,374	12,0	0,323	0,246
3,0	0,421	0,355	13,0	0,369	0,275
3,5	0,407	0,345	14,0	0,411	0,308
4,0	0,394	0,333	15,0	0,459	0,344
4,5	0,371	0,316	16,0	0,513	0,376
5,0	0,349	0,293	17,0	0,580	0,413
5,5	0,323	0,269	18,0	0,632	0,452
6,0	0,302	0,249	19,0	0,692	0,498
6,5	0,282	0,231	20,0	0,752	0,546
7,0	0,269	0,217	21,0	0,818	0,586
7,5	0,258	0,207	22,0	0,853	0,604
8,0	0,255	0,201	23,0	0,946	0,680
8,8	0,253	0,199	24,0	1,072	0,743
9,5	0,257	0,200	33,33	Test not required	1,67
			40,0	3,46	Test not required

## ۲-۱۲-۷-۲- ترانسفورماتور ورودی

ترانسفورماتور ورودی باید محدوده وسیعی از ولتاژهای نامی را بپذیرد و آنها را به سطح قابل قبول مدارات الکترونیکی سیستم اندازه گیری تبدیل نماید. مقادیر ولتاژهای نامی مرسوم با فرض ۳۰- تا ۲۰+ درصد انحراف در جدول ۲-۴ آمده است.

بنابراین محدوده کل مشخص شده باید بین ۴۰ تا ۵۰۴ ولت مؤثر باشد. ترانسفورماتور باید حداقل دارای ۲ تپ باشد. سطح عایقی ترانسفورماتور در برابر ولتاژ با فرکانس قدرت به مدت ۱ دقیقه برابر ۲ کیلوولت مؤثر و برای موجهای ضربه  $1.2/50 \mu s$  برابر ۲ کیلوولت پیک می باشد. حفاظت الکترواستاتیکی باید بین سیم پیچ ها وجود داشته باشد.

جدول ۲-۴: مقادیر ولتاژهای نامی مرسوم به همراه حداکثر انحراف

Rated input voltage V r.m.s.	-30 % V r.m.s.	+20 % V r.m.s.
57,7	40	68
100	70	120
115	80,5	130
120	84	144
127	89	152
160	112	192
220	154	264
230	161	276
240	168	288
380	266	456
400	280	480
420	294	504

### ۲-۱۲-۷-۳- تطبیق دهنده ولتاژ

این مدار باید سطح مؤثر ولتاژ ۵۰ هرتز مدوله شده در ورودی بلوک ۲ را مطابق با مشخصات ترانسفورماتور ورودی در مقدار مرجع و ثابت  $V_R$  نگاه دارد بدون آنکه نوسانات نسبی مدوله شده را تغییر دهد. این مدار باید زمان پاسخی برابر ۱ دقیقه را در مقابل تغییرات پله ای مقادیر مؤثر ورودی داشته باشد (زمان پاسخ، زمانی است که مقدار جواب بین ۱۰ تا ۹۰ درصد مقدار نهایی باشد).

### ۲-۱۲-۷-۴- مولد داخلی برای بازبینی کالیبراسیون دستگاه

مولد داخلی باید امکان ایجاد موج سینوسی با فرکانس ۵۰ هرتز که توسط موج مربعی با فرکانس  $50/17=2.94$  هرتز مدوله شده است را تولید نماید. انجام بازبینی کالیبراسیون باید با استفاده از یک علامت نشان داده شود. مشخصه مهم این مدار باید به صورت زیر باشد:

- امکان قفل شدن فاز موج حامل به موج اصلی

- مدولاسیون  $\frac{\Delta V}{V}$  برابر ۱ درصد

- داشتن سطح مناسب برای اندازه گیری تمام محدوده ها

- دقت فرکانس مدولاسیون برابر ۱ درصد

### ۲-۱۲-۷-۵- دمودلاتور مربع ساز

این بخش از مدار در بلوک ۲ قرار دارد و در قسمتی از خروجی آن ولتاژی که به طور خطی با دامنه نوسان ولتاژ ورودی متناسب است نشان داده می شود. محدوده ورودی دمودلاتور باید قادر به دریافت ۱۵۰ درصد مقدار ولتاژ مرجع یعنی  $V_R$  باشد.

### ۲-۱۲-۷-۶- فیلترهای وزن دهی

این فیلترها که در بلوک ۳ قرار دارند به دلایل زیر مورد استفاده قرار می گیرند:  
- حذف مؤلفه dc و مؤلفه با ۲ برابر فرکانس اصلی که در خروجی دمودلاتور وجود دارد (دامنه مؤلفه های با فرکانس بالاتر قابل صرف نظر می باشد).

- وزن دهی به نوسان ولتاژ با توجه به مشخصه لامپ و حساسیت بینایی انسان .  
برای حذف مؤلفه های ناخواسته از یک فیلتر مرتبه اول بالا گذر (با فرکانس قطع 3dB در فرکانس ۰/۰۵ هرتز) و یک فیلتر پایین گذر که می تواند از یک فیلتر Butterworth مرتبه ۶ با فرکانس قطع 3dB در فرکانس ۳۵ هرتز تشکیل شده باشد استفاده نمود.

### ۲-۱۲-۷-۷- پاسخ کلی از ورودی تا خروجی بلوک ۳

برای بلوک های ۲ و ۳ از یک تابع انتقال به صورت زیر استفاده می شود:

$$F(s) = \frac{k w_1 s}{s^2 + 2\lambda s + w_1^2} \times \frac{1 + s/w_2}{(1 + s/w_3)(1 + s/w_4)} \quad (2-21)$$

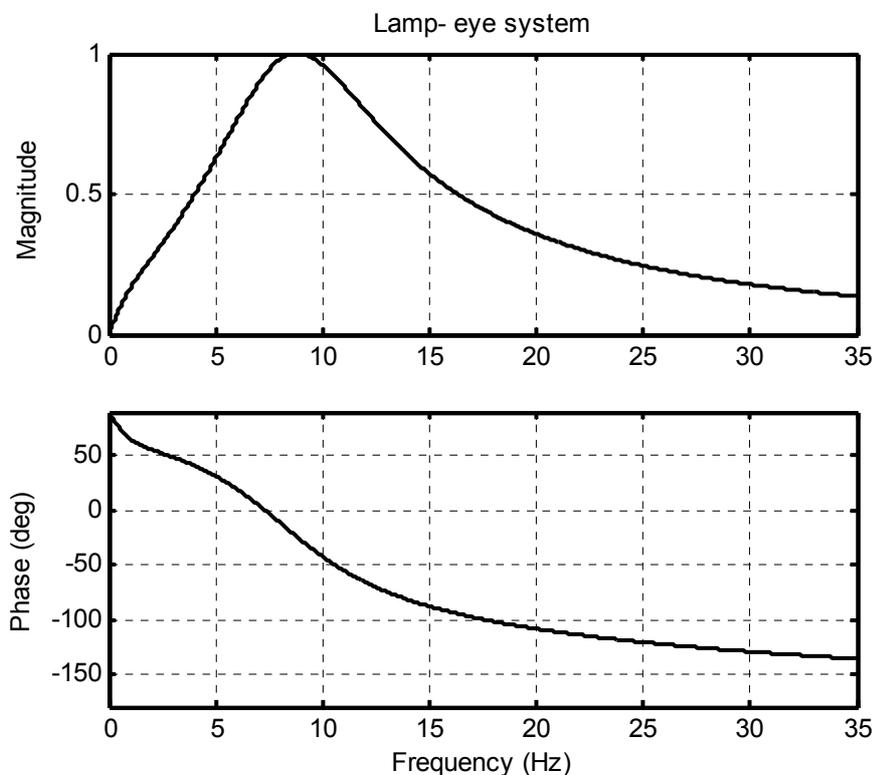
که در آن مقادیر  $k, \lambda, w_1, w_2, w_3, w_4$  به صورت جدول ۲-۵ می باشد:

جدول ۲-۵: مقادیر  $k, \lambda, w_1, w_2, w_3, w_4$  رابطه (۲-۲۱)

ضریب	230 V lamp 50 Hz system	120 V lamp 60 Hz system
k	1.74802	1.6357
$\lambda$	$2\pi \cdot 4.05981$	$2\pi \cdot 4.167375$
$w_1$	$2\pi \cdot 9.15494$	$2\pi \cdot 9.077169$
$w_2$	$2\pi \cdot 2.27979$	$2\pi \cdot 2.939902$
$w_3$	$2\pi \cdot 1.22535$	$2\pi \cdot 1.394468$
$w_4$	$2\pi \cdot 21.9$	$2\pi \cdot 4.05981$

نمودار اندازه و زاویه آن (برای لامپ ۲۳۰ ولت ۵۰ هرتز) در شکل ۲-۲۵ نشان داده شده

است.



شکل ۲-۲۵: نمودار تابع انتقال (۲-۲۱) برای لامپ ۲۳۰ ولت ۵۰ هرتز

## ۲-۱۲-۷-۸- سلکتور

سلکتور، محدودیت حساسیت دستگاه را تعیین می کند. این کار با تغییر ضریب بهره نسبت به دامنه نوسان ولتاژ صورت می پذیرد. محدوده اندازه گیری که به عنوان تغییر ولتاژ نسبی  $\frac{\Delta V}{V}$  برای موج سینوسی مدولاسیون با فرکانس ۸/۸ هرتز بیان می شود، مقادیر ۵/۱-۲-۱-۰-۵-۱۰-۲۰ درصد را در بر می گیرد.

## ۲-۱۲-۷-۹- ضرب کننده مربعی و فیلتر متوسط لغزان

بلوک ۴ دو عمل را انجام می دهد:

- سیگنال فلیکر وزن داده شده را به توان ۲ می رساند. با این کار در واقع احساس غیر خطی چشم- مغز شبیه سازی می شود.

- فیلتر متوسط لغزان، سیگنال را متوسط گیری نموده تا اثرحافظه در مغز شبیه سازی کند. تابع مربع کننده باید محدوده عملکرد کافی هم برای ورودی و هم برای خروجی داشته باشد تا بتواند سطوح فلیکر قابل پذیرش در ۸/۸ هرتز را در خود جای دهد. فیلتر متوسط لغزان یک فیلتر (مقاومت - خازنی) پایین گذر مرتبه اول با ثابت زمانی ۳۰۰ میلی ثانیه می باشد.

### ۲-۱۲-۷-۱۰- الگوریتم تحلیل آماری بلادرنگ

تحلیل آماری باید با استفاده از خروجی بلوک ۴ و به صورت دیجیتالی انجام گیرد. حداقل نرخ نمونه برداری باید برابر ۵۰ نمونه در ثانیه باشد. حداقل تعداد بیت‌های خروجی برابر ۶ و حداقل تعداد رده ها باید برابر ۶۴ باشد.

ارتباط بین درجه سلکتور و سطح متناظر با بالاترین رده تابع احتمال تجمعی که از رده بندی طول فلیکر به دست آمده در جدول ۲-۶ نشان داده شده است.

جدول ۲-۶: ارتباط بین درجه سلکتور و سطح متناظر با بالاترین رده تابع احتمال تجمعی

$\frac{\Delta V}{V}(\%)$	Sensation levels in units of perceptibility threshold
0.5	4
1	16
2	64
5	400
10	1600
20	6400

$T_{short}$  می تواند بین ۱ و ۱۵ دقیقه انتخاب شود.

$T_{long}$  باید مضرب صحیحی از  $T_{short}$  باشد. حداکثر مقدار آن ۱۰۰۸ برابر یعنی معادل ۷ روز با فرض

$T_{short}$  برابر ۱۰ دقیقه است.

لازم به ذکر است که گسترش تحلیل آماری تحت بررسی می باشد.

### ۲-۱۲-۷-۱۱- محدوده های کاری دستگاه از نظر رطوبت و دما

- محدوده دمای کار بین ۱۰- تا ۵۰+ درجه سانتیگراد

- محدوده دمای کار برای ذخیره سازی اطلاعات بین ۱۰- تا ۵۵ درجه سانتیگراد

- محدوده رطوبت نسبی بین ۴۵٪ تا ۹۵٪

## ۲-۱۲-۸- آزمون عملکرد دستگاه

روش تست دستگاه برای تعیین قابل قبول بودن دستگاه باید محدود به بلوک های ۱ تا ۴ باشد، و بلوک ۵ می تواند در هر حالتی باشد (on-line یا off-line). چک کردن تک تک عناصر به طور کلی مورد لزوم نیست. فقط جواب کلی خروجی بلوک ۴ باید برای مقادیر نوسانات موجود در جدول ۲-۶ چک شود.

تست باید برای هر کدام از مقادیر موجود در جدول انجام شود و پیک خروجی باید ۱ باشد. اگر مقدار حداکثر خطا از ۰.۵٪ تجاوز نکند دقت دستگاه قابل قبول می باشد.

## ۲-۱۲-۸-۱- آزمون های مربوط به سازگاری الکترومغناطیسی (به صورت خاص)

آزمون های لازم به منظور یافتن حد مصونیت فلیکر متر در برابر تداخلات الکترومغناطیسی در جدول ۲-۷ خلاصه شده است. برخی از این آزمایشات هنوز توسط زیر مجموعه های 77A و 77B مربوط به IEC تحت بررسی است.

این آزمایشات تحت این فرض پیشنهاد شده که نقطه مرجع مدار الکترونیکی به بدنه و به زمین

Test No.	Interference immunity tests (provisional)		Notes	Test voltage <sup>(1)</sup> Application mode		
				a	b	
1	Insulation tests	Dielectric	kV r.m.s	2	-	
2		Insulation resistance	kV d.c	0.5	-	
3		Impulse voltage 1.2/50µs	kV peak	2	1	
4	Conducted interference	Mains frequency	V r.m.s	(2)	250	-
5		Impulse voltage 1.2/50µs	kV peak	(7)	2	1
6		Low-voltage trains(1 kHz to 1 MHz)	V peak	(8)	100	-
7		Damped oscillatory waves at 1 MHz	kV peak	(3)	1	0.5
8		Fast transients with low energy	kV peak	(6)	2	2
9		Interruption of a.c. power supply	ms	(8)	1 to 10	
10		Static electricity discharges	kV	(4)	15	
11	Electromagnetic fields	Mains frequency	A/m	(8)	500	
12		Impulse 8/20 µs	A/m peak	(8)	500	
13		Damped oscillatory waves at 1 MHz	A/m peak	(8)	50	
14		Radiated H.F. (20 MHz to 500 MHz)	V/m	(5)	10	

وصل است.

آزمایشات ۱ تا ۸ روی ورودی و اتصالات منبع تغذیه انجام می گیرد. آزمایش شماره ۹ فقط روی منبع تغذیه و آزمایشات از شماره های ۱۰ تا ۱۴ روی کل دستگاه انجام می شود.

### توضیحات مربوط به جدول ۲-۷

(۱) مد کاربردی آزمون ولتاژ:

(a) بین ترمینال های هر مدار و بدنه زمین شده دستگاه (مد مشترک)

(b) بین ترمینال های یک مدار (مد تفاضلی)

(۲) مقدار مشخص شده برای زمان لازم در رفع خطا

(۳) برای این آزمون، به ضمیمه C استاندارد IEC شماره 8-60255: رله های الکتریکی، قسمت هشتم: رله های الکتریکی حرارتی مراجعه شود.

(۴) برای این آزمون به استاندارد IEC شماره 2-60803 سازگاری الکترومغناطیسی برای تجهیزات کنترل و اندازه گیری فرایندهای صنعتی، قسمت دوم: نیازهای لازم در تخلیه الکترومغناطیسی مراجعه شود.

(۵) برای این آزمون به استاندارد IEC شماره 3-60803 قسمت سوم: نیازهای لازم در میدان های الکترومغناطیسی تشعشی مراجعه شود.

(۶) آزمونها توسط کمیته فنی شماره ۶۵ استاندارد IEC تحت بررسی است.

(۷) آزمونها توسط کمیته فنی شماره ۶۶ استاندارد IEC تحت بررسی است.

(۸) آزمونها توسط کمیته فنی شماره ۷۷ استاندارد IEC تحت بررسی است.

### ۲-۱۲-۸-۲- آزمونهای مربوط به شرایط آب و هوایی

دستورالعمل آزمونهای مربوط به شرایط آب و هوایی به وسیله استاندارد: IEC 68:Environmental

Testing Procedures به صورت زیر می باشد:

شرایط محیطی در زمان آزمون باید به قرار زیر باشد:

-شرایط آب و هوایی نرمال برای آزمون:

دما: ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتیگراد

رطوبت نسبی: ۴۵ تا ۷۵ درصد

فشار: ۸۶۰ تا ۱۰۶۰ میلی بار

- نوع و ترتیب آزمونها:

الف) آزمون در شرایط گرم و خشک، طبق استانداردهای: 68-2-2/68-2-2A

ب) آزمون در شرایط گرم و مرطوب، طبق استاندارد: 68-2-3

ج) آزمون در شرایط سرد، طبق استانداردهای: 68-2-1/68-2-1A

د) آزمون در شرایط متغیر بودن دما، طبق استاندارد: 68-2-14

- حداکثر فاصله زمانی بین انجام آزمایشهای ب و ج باید دو ساعت باشد.

- حداکثر نرخ تغییرات دما ۱ درجه سانتیگراد بر دقیقه.

- بعد از انجام هر آزمون عملکرد صحیح دستگاه باید تحت شرایط عادی بازبینی شود.

## ۲-۱۲-۸-۲-۱- آزمون های حالت خاموشی دستگاه و بدون منبع تغذیه

بعد از اتمام هر تست، عملکرد دستگاه باید در شرایط محیطی عادی بازبینی شود.

آزمون گرم و خشک

- دما:  $55 \pm 3^{\circ}C$

- مدت: ۲۴ ساعت

آزمون سرد

- دما:  $-10 \pm 3^{\circ}C$

- مدت: ۲۴ ساعت

## ۲-۱۲-۸-۲-۲- آزمون های حالت عملکرد دستگاه

برای تمام آزمون های لیست شده در زیر، عملکرد صحیح دستگاه باید برای حداقل ۵ نقطه از

پاسخ های خاص در زمان شروع، پایان و وسط آزمون بازبینی شود.

حداکثر زمان بین آزمون "گرم و مرطوب" و "سرد" نباید بیشتر از ۲ ساعت شود.

آزمون گرم و خشک

- دما:  $40 \pm 3^\circ C$

- مدت: ۱۶ ساعت

آزمون گرم و مرطوب

- دما:  $40 \pm 3^\circ C$

- مدت: ۲۴ ساعت

در شرایط دمای ماندگار، نسبت رطوبت به  $93_{-3}^{+2}\%$  می رسد.

آزمون سرد

- دما:  $0 \pm 3^\circ C$

- مدت: ۱۶ ساعت

تغییر دمای آزمون

- دمای آغاز:  $40 \pm 3^\circ C$

- دمای انتها:  $0 \pm 3^\circ C$

قبل از اقدام به تغییر دما، دمای آغاز به مدت ۳ ساعت تداوم دارد.

حداکثر نرخ تغییر دما نباید از ۱ درجه بر دقیقه تجاوز کند و به طور میانگین در کل زمان تست

نباید بیش از ۱ درجه بر ۵ دقیقه باشد.

## ۲-۱۳: سنجش شدت فلیکر بر اساس خروجی فلیکرمتر IEC

همانطور که در بخش قبل گفته شد خروجی بلوک ۴ درک لحظه ای انسان را از فلیکر نشان می دهد (فلیکر لحظه ای<sup>۱</sup>:  $P_{ins}$ ). در حالت واقعی، اندازه این فلیکر لحظه ای ممکن است دارای نوسانات بسیار زیادی باشد به طوری که تفسیر آنها به تنهایی ساده نیست. بنابراین نیاز به پارامتر(های) دیگری برای تفسیر اطلاعات خروجی بلوک ۴ کاملاً احساس می شود. به این منظور ۲ پارامتر "فلیکر کوتاه مدت:  $P_{st}$ " و "بلند مدت:  $P_{lt}$ " تعریف می شود که اولی برای منابع تولید فلیکر کوتاه مدت، مانند

<sup>1</sup> instantaneous

<sup>2</sup> st=short time

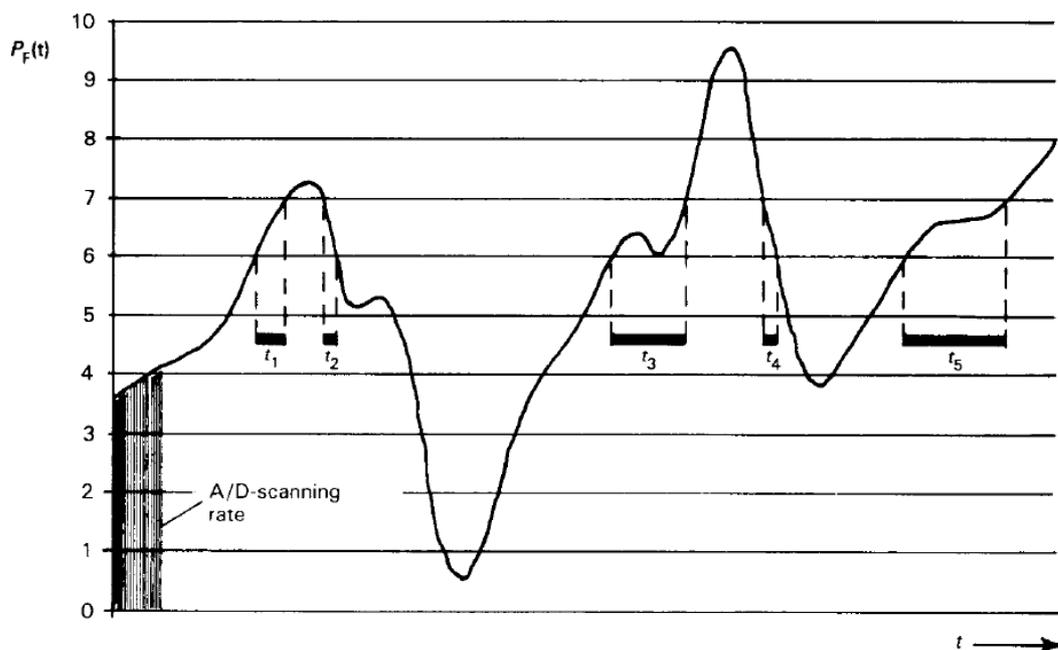
<sup>3</sup> lt=long time

روشن و خاموش شدن موتورها و دومی برای ترکیبی از منابع تولید فلیکر و منابع تولید فلیکر دائمی مانند کوره های قوس الکتریک استفاده می شود. به دلیل نوسانات زیاد فلیکر لحظه ای برای محاسبه  $P_{st}$  نیاز به عملیات آماری برای کلاس بندی اندازه فلیکر داریم. این عملیات توسط بلوک ۵ انجام می شود که در بخش ۲-۱۲-۵ به طور خلاصه توضیح داده شد. در این بخش روش آماری فوق و قواعد مربوط به سنجش کوتاه مدت و بلندمدت ارائه می شود.

### ۲-۱۳-۱- کلاس بندی سطوح فلیکر خروجی بلوک ۴

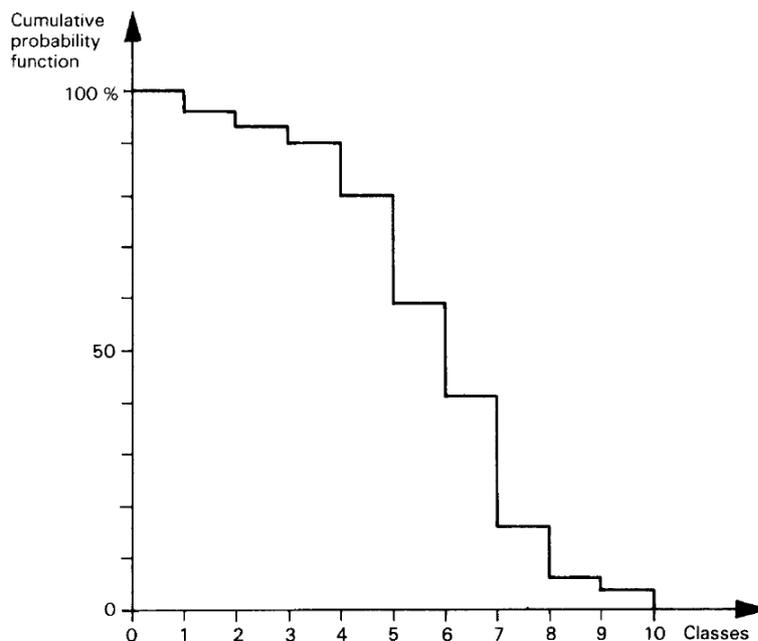
در بلوک ۵ یک مبدل A/D وجود دارد که با فرکانسی بالاتر از ۵۰ هرتز، از مقادیر فلیکر لحظه ای خروجی بلوک ۴ نمونه برداری می کند. دوره نمونه برداری کوتاه مدت، معمولا ۱۰ دقیقه می باشد و برای بلندمدت معمولا ۲ ساعت یعنی ۱۲ نمونه کوتاه مدت می باشد ولی این مدت می تواند حداکثر تا ۱۰۰۸ برابر دوره کوتاه مدت یعنی یک هفته نیز انجام شود.

سپس این مقادیر در کلاس های مختلفی ذخیره می شوند که تعداد این طبقه بندی ها بستگی به درصد تغییرات ولتاژ دارد که هر چه درصد تغییرات ولتاژ بیشتر باشد تعداد طبقه بندی ها نیز باید بیشتر باشد (جدول ۲-۶). تعداد طبقه بندی هایی که در بلوک ۵ نشان داده شده برابر ۶۴ طبقه می باشد. در شکل ۲-۲۶ یک خروجی نوعی که به ۱۰ طبقه تقسیم شده، نشان داده شده است.



شکل ۲-۲۶: خروجی نوعی بلوک ۴ که به ۱۰ طبقه تقسیم شده است [۳۰].

در این شکل به عنوان مثال، زمان های طبقه هفتم مشخص شده اند که مجموع این زمانها، زمان کل طبقه هفتم را تشکیل می دهد. به این ترتیب احتمال وقوع هر طبقه به دست می آید که می توان از این مقادیر نمودار احتمال تجمعی کلاس های مختلف را به دست آورد. این نمودار در شکل ۲-۲۷ نشان داده شده است.

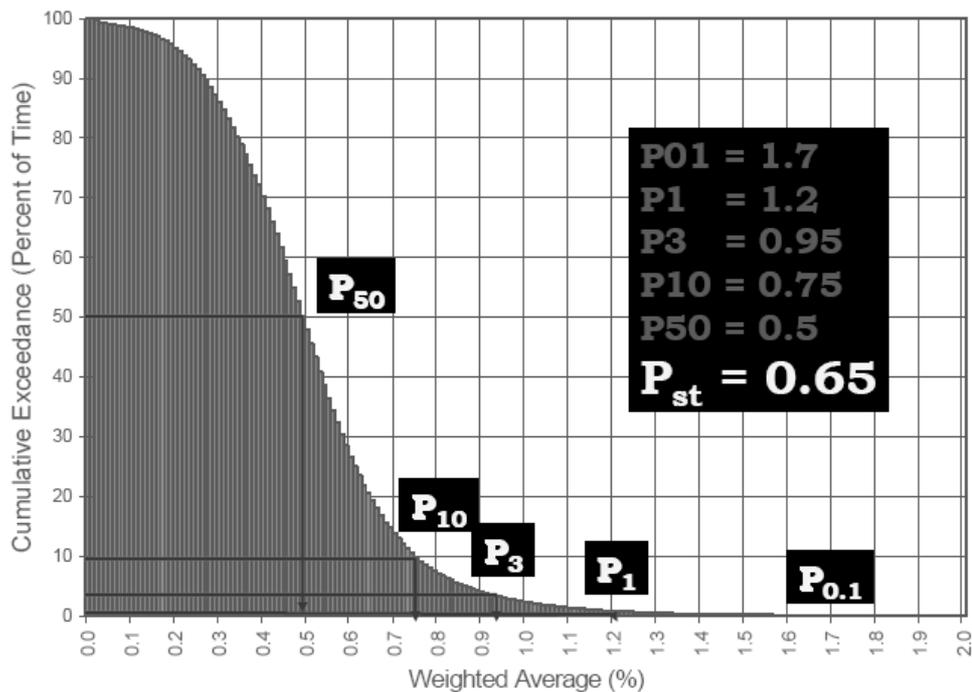


شکل ۲-۲۷: نمودار تابع احتمال تجمعی شکل ۵-۱ با ۱۰ کلاس [۳۰]

هر چه تعداد طبقه ها بیشتر شود، نمودار تابع احتمال تجمعی به نمودار گوسی نزدیکتر می شود و در نتیجه دقت اندازه گیری بیشتر می شود البته از طرف دیگر تعداد زیاد طبقه ها نیاز به حافظه بیشتر و در نتیجه محاسبات کندتر را سبب می شود. در شکل ۲-۲۸ یک نمونه تابع احتمال تجمعی با تعداد کلاس های بیشتر (۴۰۰ کلاس)، نشان داده شده است. مشاهده می شود که شکل نمودار به شکل تابع گوسی نزدیک شده است.

از روی تابع احتمال تجمعی می توان مقادیر درصد فلیکری که از یک مقدار خاص، بیشتر شده اند را حساب کرد. به عنوان مثال، در شکل ۲-۲۸ می توان گفت:

- ۵۰ درصد مقادیر فلیکر لحظه ای در دوره مشاهده از عدد  $0.5$  تجاوز کرده است
- ۱۰ درصد مقادیر فلیکر لحظه ای در دوره مشاهده از عدد  $0.75$  تجاوز کرده است
- ۳ درصد مقادیر فلیکر لحظه ای در دوره مشاهده از عدد  $0.95$  تجاوز کرده است
- ۱ درصد مقادیر فلیکر لحظه ای در دوره مشاهده از عدد  $1/2$  تجاوز کرده است



شکل ۲-۲۸: یک نمونه تابع احتمال تجمعی با تعداد ۴۰۰ کلاس

- ۰/۱ درصد مقادیر فلیکر لحظه ای در دوره مشاهده از عدد ۱/۷ تجاوز کرده است.

### ۲-۱۳-۲-سنجش فلیکر کوتاه مدت

اندازه شدت فلیکر بر اساس یک دوره مشاهده کوتاه مدت  $T_{st}=10$  دقیقه با  $P_{st}$  نشان داده می شود و از آمارهای رده زمانی به دست آمده از رده بندی بلوک ۵ مربوط به فلیکرمتر به دست می آید. به این منظور از فرمول زیر استفاده می شود [۳۱]:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_{1s} + 0.0657P_{3s} + 0.28P_{10s} + 0.08P_{50s}} \quad (2-22)$$

که صدک های  $P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$  مقادیر رده فلیکری است که به ترتیب از 0.1, 1, 3, 10, 50 درصد مدت مشاهده تجاوز می کند. البته مقادیر فوق باید مقادیر صاف شده<sup>۱</sup> خروجی باشند. برای اینکه مقادیر هموار شده به کار روند از فرمول های زیر استفاده می شود:

$$P_{50s} = (P_{30} + P_{50} + P_{80})/3$$

$$P_{10s} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17})/5 \quad (2-23)$$

$$P_{3s} = (P_{2.2} + P_3 + P_4)/3$$

$$P_{1s} = (P_{0.7} + P_1 + P_{1.5})/3$$

<sup>۱</sup>. smoothed values

ثابت زمانی حافظه  $0.3$  ثانیه ای در فلیکر متر این اطمینان را می دهد که برای  $P_{0.1}$  دیگر نیازی به هموارسازی نیست.

## ۲-۱۳-۳- سنجش فلیکر بلند مدت

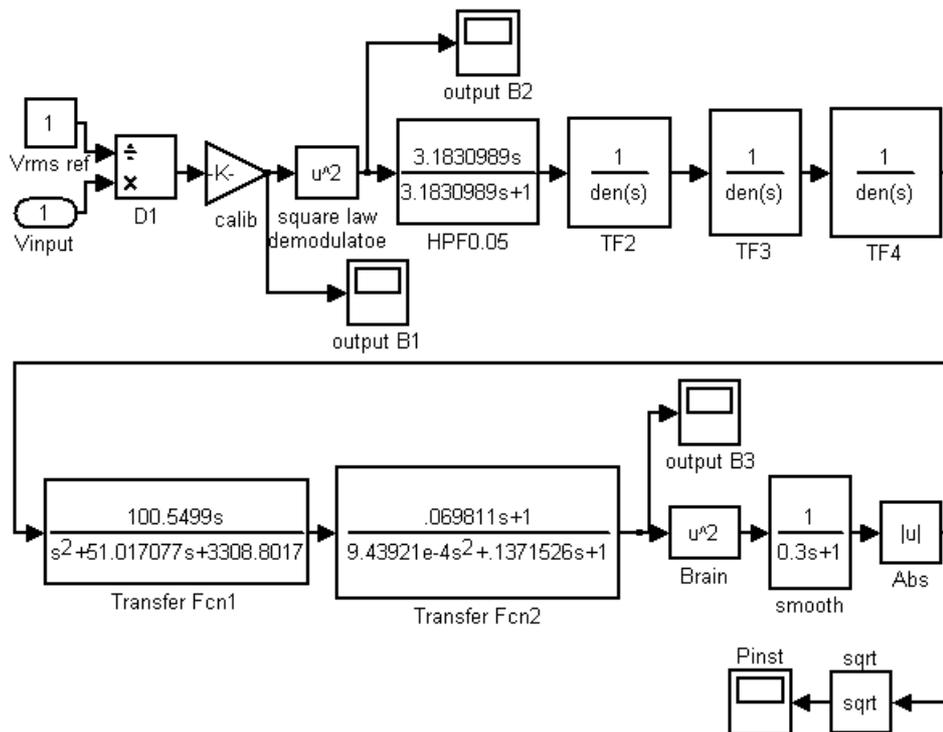
سنجش شدت فلیکر کوتاه مدت که در بخش قبل انجام شد برای بررسی اختلالات ایجاد شده توسط منابع تکی که دوره زمانی کوتاهی دارند مناسب است. در جاهایی که چندین منبع اختلال با هم ترکیب می شوند (مانند موتورهای جوشکاری و سایر موتورها) و یا وقتی که منابع فلیکر با دوره های بلند مدت و با دوره زمانی متغیر در مدار باشند (مانند کوره های قوس الکتریک)، به یک معیار دیگر برای سنجش شدت فلیکر نیاز داریم. بدین منظور، شدت فلیکر بلند مدت  $P_{lt}$  را از مقادیر کوتاه مدت به دست آمده و با استفاده از فرمول زیر به دست می آوریم:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{sti}^3}{N}} \quad (2-24)$$

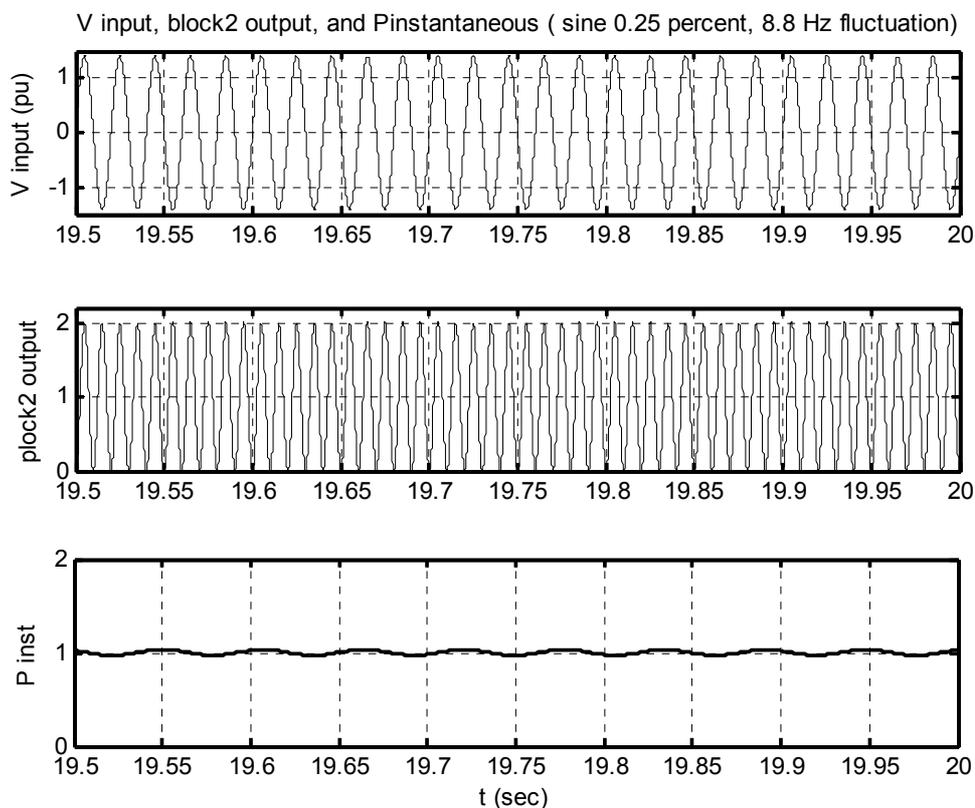
که  $P_{sti}$  ( $i=1, 2, 3, 4, \dots$ ) مقادیر پی در پی شدت فلیکر کوتاه مدت می باشند.

## ۲-۱۴- فلیکر متر شبیه سازی شده در محیط simulink

در این بخش فلیکر متر شبیه سازی شده در محیط simulink ارائه می شود. در شکل ۲-۲۹ شمای طراحی نشان داده شده است. البته این طراحی تا بلوک ۴ انجام شده و تحلیل آماری بلادرنگ (بلوک ۵) در آن گنجانده نشده است. نتایج، برای یک ورودی نوسانات سینوسی  $8/8$  هرتز با درصد نوسانات  $0.25$  درصد در شکل ۲-۳۰ نشان داده شده است. شکل ۲-۳۰ ولتاژ ورودی، خروجی بلوک ۲ (دمودلاتور) و خروجی بلوک ۴ (فلیکر لحظه ای) را نشان می دهد. مشاهده می شود که فلیکر لحظه ای برابر ۱ به دست آمده است که همان عدد جدول ۲-۲ می باشد.



شکل ۲-۲۹: شمای فلیکرمتر طراحی شده در محیط simulink



شکل ۲-۳۰: نمودار ولتاژ ورودی، خروجی بلوک ۲ و فلیکر لحظه ای خروجی بلوک ۴ (به ازای نوسانات سینوسی ۰/۲۵ درصدی ورودی)

---

---

فصل سوم:

روش های یافتن منابع فلیکر در سیستم قدرت

---

---

### ۳-۱- مقدمه

در فصل قبل، روش های اندازه گیری فلیکر، ارائه شد. همانطور که گفته شد این روش ها که مهمترین آن ها استاندارد IEC 61000-4-15 بود فقط اندازه فلیکر را مشخص می کنند و هیچگونه اطلاعاتی راجع به اینکه این میزان فلیکر در کدام محل تولید شده و شبکه را آلوده کرده، نمی دهد. این در حالیست که یافتن منبع یا منابع تولید فلیکر، هم برای شرکت های برق و هم برای مشترکین از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا شرکت های برق به دلیل وجود بازار رقابتی برق، در پی بالا بردن کیفیت برق تولیدی خود هستند و کاهش یا در صورت امکان حذف فلیکر، یکی از اقداماتی است که باید در این زمینه انجام دهند. کاهش یا حذف فلیکر موجود در شبکه، جز با یافتن محل منبع یا منابع فلیکر، امکان پذیر نیست. بنابراین، یافتن یک روش ساده و سریع برای یافتن منبع ایجاد فلیکر بسیار مهم و مفید می باشد.

در این فصل، روش های ارائه شده در زمینه یافتن منابع فلیکر، ارائه می شود و نتایج اعمال این روش ها بر روی یک شبکه واقعی، ارائه می شود. مهمترین روش هایی که تاکنون در این زمینه ارائه شده دو روش زیر می باشد:

۱- روش "شیب ولتاژ- جریان"

۲- روش "توان فلیکر"

البته روش های متفرقه دیگری نیز ارائه شده ولی مانند دو روش فوق، روش های جامعی نیستند و فقط در موارد خاصی کاربرد دارند. یکی از این روش ها، روش توان فرکانس های داخلی می باشد که این روش فقط برای یافتن منابع فلیکری کاربرد دارد که فلیکر تولیدی آنها ناشی از وجود فرکانس های داخلی باشد.

## ۳-۲- روش "شیب ولتاژ- جریان" [۱۰]

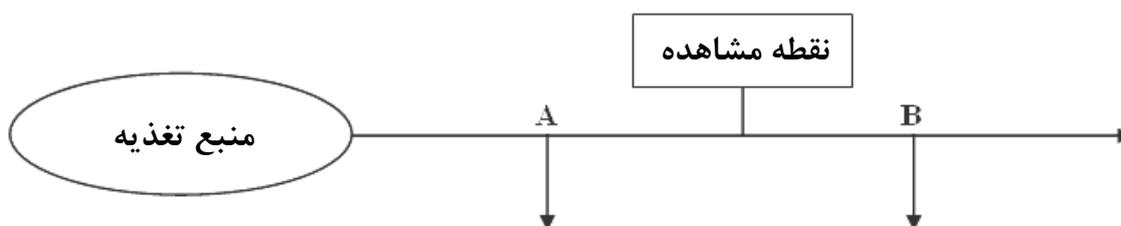
### ۳-۲-۱- اساس و پایه روش

اساس این روش بر این اصل استوار است که اگر یک نقطه اندازه گیری را در شبکه در نظر بگیریم، با اندازه گیری همزمان ولتاژ و جریان مؤثر و در نظر گرفتن تغییرات آنها می توان جهت انتشار فلیکر را مشخص کرد. به این ترتیب که در حالت کلی در هر نقطه از شبکه دو حالت زیر وجود دارد:

(۱) اگر منبع فلیکر قبل از نقطه اندازه گیری ( یعنی نزدیکتر به منبع تغذیه) باشد یا به عبارت دیگر جهت انتشار فلیکر با جهت توان اکتیو شبکه، یکی باشد، آنگاه با افزایش جریان منبع فلیکر، ولتاژ نقطه اندازه گیری کم شده در نتیجه جریان نیز در نقطه اندازه گیری کم می شود و برعکس با کاهش جریان منبع فلیکر، ولتاژ نقطه اندازه گیری زیاد شده، در نتیجه جریان نیز در نقطه اندازه گیری زیاد می شود. یعنی در این حالت، شیب تغییرات ولتاژ نسبت به جریان، مثبت است.

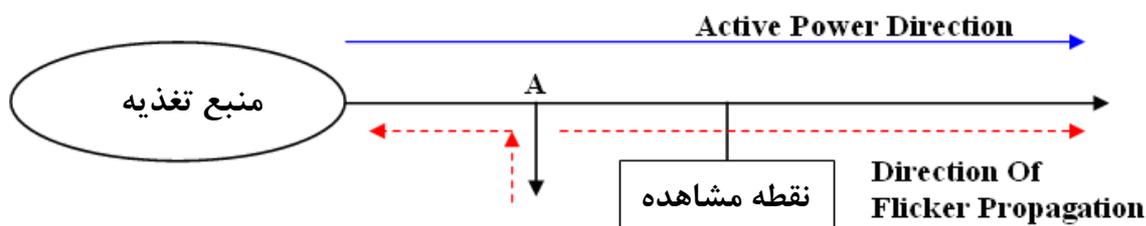
(۲) اگر منبع فلیکر بعد از نقطه اندازه گیری ( یعنی دورتر از منبع تغذیه) باشد یا به عبارت دیگر جهت انتشار فلیکر با جهت توان اکتیو شبکه، یکی نباشد، آنگاه با افزایش جریان منبع فلیکر، ولتاژ نقطه اندازه گیری کم شده ولی چون جریان منبع فلیکر از نقطه اندازه گیری عبور می کند در نتیجه جریان نقطه اندازه گیری زیاد می شود و برعکس با کاهش جریان منبع فلیکر، ولتاژ نقطه اندازه گیری زیاد شده ولی باز هم به دلیل اینکه جریان منبع فلیکر از نقطه اندازه گیری عبور می کند جریان در نقطه اندازه گیری کم می شود. یعنی در این حالت، شیب تغییرات ولتاژ نسبت به جریان، منفی است.

شکل ۳-۱ شمای ساده یک سیستم تک منبعی را نشان می دهد. در این شکل، منبع فلیکر A نسبت به نقطه مشاهده در سمت منبع تغذیه واقع است و منبع فلیکر B نسبت به نقطه مشاهده در سمت بار قرار دارد.



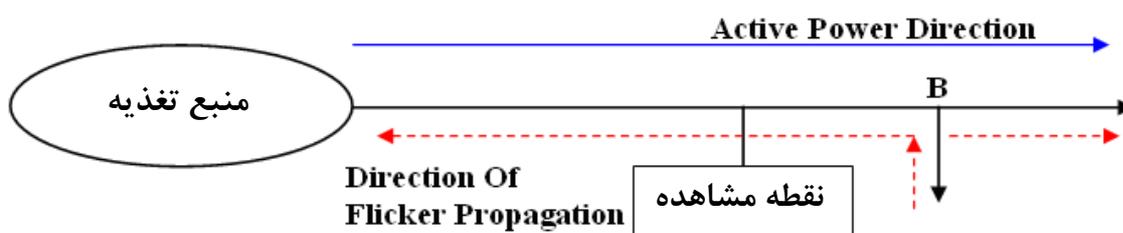
شکل ۳-۱: شمای ساده مدل تک منبعی

شکل ۲-۳ جهت توان اکتیو شبکه و جهت انتشار فلیکر مربوط به منبع فلیکر A را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، جهت توان اکتیو شبکه با جهت انتشار فلیکر ناشی از منبع فلیکر A یکی می باشد (Upstream).



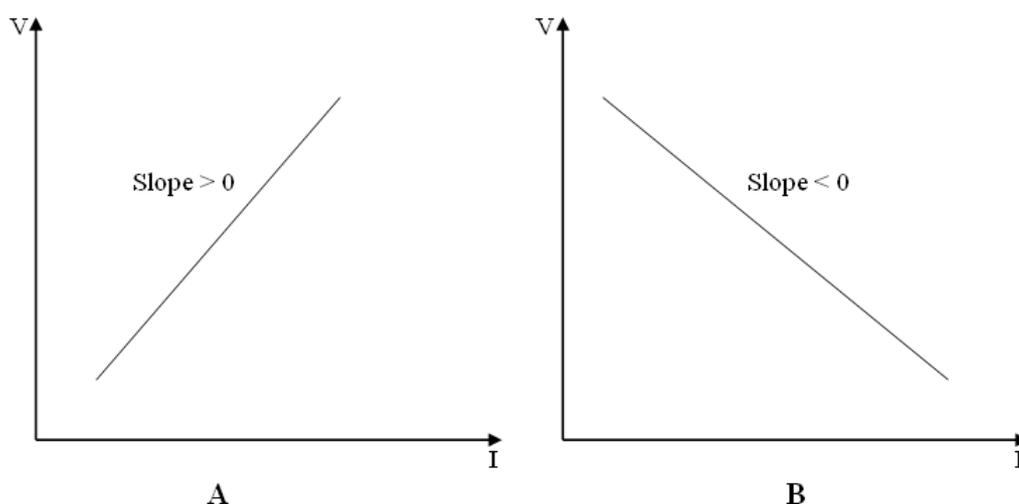
شکل ۲-۳: جهت انتشار توان اکتیو شبکه و جهت انتشار فلیکر ناشی از منبع فلیکر A

شکل ۳-۳ جهت توان اکتیو شبکه و جهت انتشار فلیکر مربوط به منبع فلیکر B را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، جهت توان اکتیو شبکه با جهت انتشار فلیکر ناشی از منبع فلیکر B در خلاف جهت یکدیگرند (Downstream).



شکل ۳-۳: جهت انتشار توان اکتیو شبکه و جهت انتشار فلیکر ناشی از منبع فلیکر B

شکل ۴-۳ منحنی تغییرات ولتاژ- جریان مربوط به نقطه مشاهده را نشان می دهد.

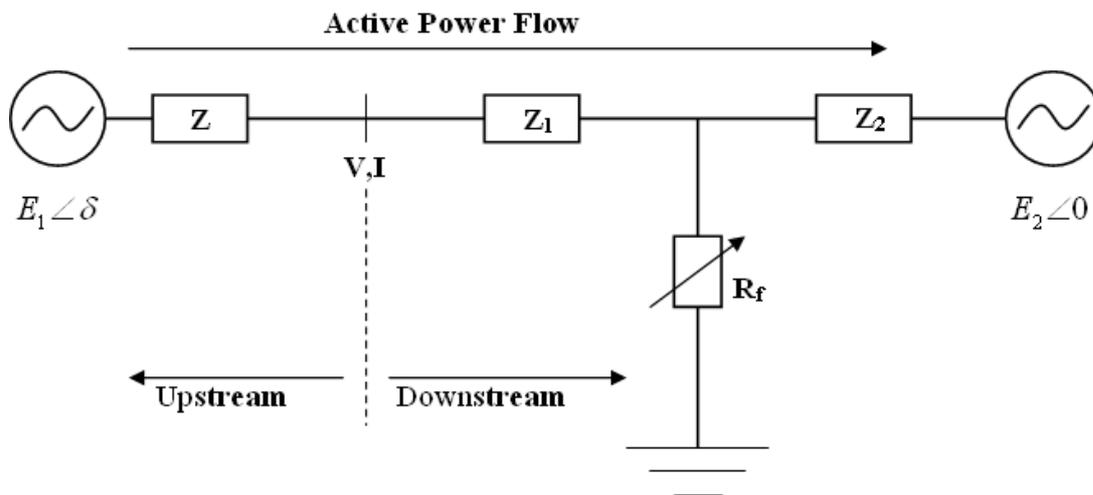


شکل ۴-۳: منحنی تغییرات ولتاژ- جریان مربوط به نقطه مشاهده مربوط به منابع فلیکر A و B

### ۲-۲-۳- تئوری روش

#### ۱-۲-۲-۳- Downstream حالت

شکل ۳-۵ شمای شبکه مورد تحلیل در حالت Downstream را نشان می دهد. این شکل یک سیستم قدرت را که از دو طرف تغذیه می شود نشان می دهد که یک منبع فلیکر (مقاومت متغیر  $R_f$ )، نیز در آن وجود دارد. نقطه مشاهده و جهت توان اکتیو شبکه نیز در شکل نشان داده شده است.



شکل ۳-۵: مدل شبکه مورد تحلیل در حالت Downstream

واضح است که برای ولتاژ و جریان نقطه مشاهده می توان رابطه زیر را نوشت:

$$V = E_1 \angle \delta - Z \angle \theta \cdot I \angle \varphi = E_1 \angle \delta - ZI \angle (\theta + \varphi) \quad (1-3)$$

که در (۱-۳)،  $\theta$  و  $\varphi$ ، به ترتیب زوایای مربوط به امپدانس  $Z$  و جریان  $I$  می باشند. با جداسازی قسمت حقیقی و موهومی رابطه (۱-۳)، رابطه زیر را به دست می آوریم:

$$V = E_1 \cos \delta - ZI \cos(\theta + \varphi) + j(E_1 \sin \delta - ZI \sin(\theta + \varphi)) \quad (2-3)$$

مربع اندازه ولتاژ  $V$ ، از رابطه زیر به دست می آید:

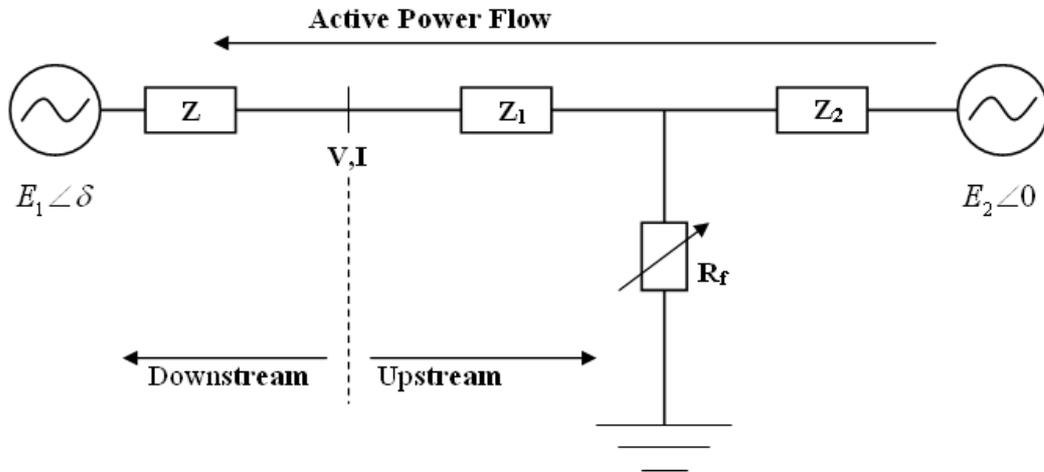
$$\begin{aligned} |V|^2 = & E_1^2 \cos^2 \delta - 2E_1 ZI \cos \delta \cos(\theta + \varphi) + Z^2 I^2 \cos^2(\theta + \varphi) + E_1^2 \sin^2 \delta \\ & - 2E_1 ZI \sin \delta \sin(\theta + \varphi) + Z^2 I^2 \sin^2(\theta + \varphi) \end{aligned} \quad (3-3)$$

که می توان، آنرا به صورت زیر ساده کرد:

$$|V| = V = \sqrt{E_1^2 - 2E_1 ZI \cos(\delta - \theta - \varphi) + Z^2 I^2} \quad (4-3)$$

حال، اگر از رابطه فوق نسبت به جریان مؤثر، مشتق بگیریم رابطه زیر را به دست می آوریم:





شکل ۳-۷: مدل شبکه مورد تحلیل در حالت Upstream

واضح است که برای ولتاژ و جریان نقطه مشاهده می توان رابطه زیر را نوشت:

$$V = E_1 \angle \delta + Z \angle \theta \cdot I \angle \varphi = E_1 \angle \delta + ZI \angle (\theta + \varphi) \quad (۶-۳)$$

که در (۳-۱)،  $\theta$  و  $\varphi$ ، به ترتیب زوایای مربوط به امپدانس  $Z$  و جریان  $I$  می باشند.

با جداسازی قسمت حقیقی و موهومی رابطه (۳-۱)، رابطه زیر را به دست می آوریم:

$$V = E_1 \cos \delta + ZI \cos(\theta + \varphi) + j(E_1 \sin \delta + ZI \sin(\theta + \varphi)) \quad (۷-۳)$$

مربع اندازه ولتاژ  $V$ ، از رابطه زیر به دست می آید:

$$\begin{aligned} |V|^2 = & E_1^2 \cos^2 \delta + 2E_1 ZI \cos \delta \cos(\theta + \varphi) + Z^2 I^2 \cos^2(\theta + \varphi) + E_1^2 \sin^2 \delta + \\ & 2E_1 ZI \sin \delta \sin(\theta + \varphi) + Z^2 I^2 \sin^2(\theta + \varphi) \end{aligned} \quad (۸-۳)$$

که می توان آنرا به صورت زیر ساده کرد:

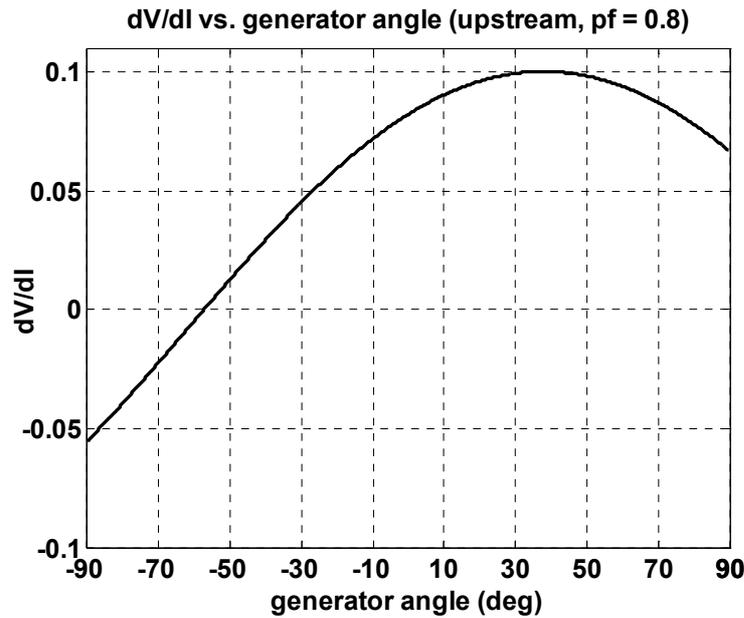
$$|V| = V = \sqrt{E_1^2 + 2E_1 ZI \cos(\delta - \theta - \varphi) + Z^2 I^2} \quad (۹-۳)$$

$$\frac{d|V|}{d|I|} = \frac{Z^2 I + E_1 Z \cos(\delta - \theta - \varphi)}{\sqrt{E_1^2 + 2E_1 ZI \cos(\delta - \theta - \varphi) + Z^2 I^2}} \quad (۱۰-۳)$$

می توان نشان داد که رابطه فوق، با فرضیات گفته شده (در مورد جهت توان اکتیو)، در شرایط طبیعی و عملی سیستم، همیشه مثبت است. این کار را با رسم رابطه فوق، بر حسب تغییرات زاویه  $\delta$  در حالات مختلف، انجام می دهیم.

شکل ۳-۸ نمودار تغییرات رابطه فوق را نسبت به زاویه  $\delta$  و به ازای بار با ضریب قدرت ۰/۸ پس

فاز، نشان می دهد.



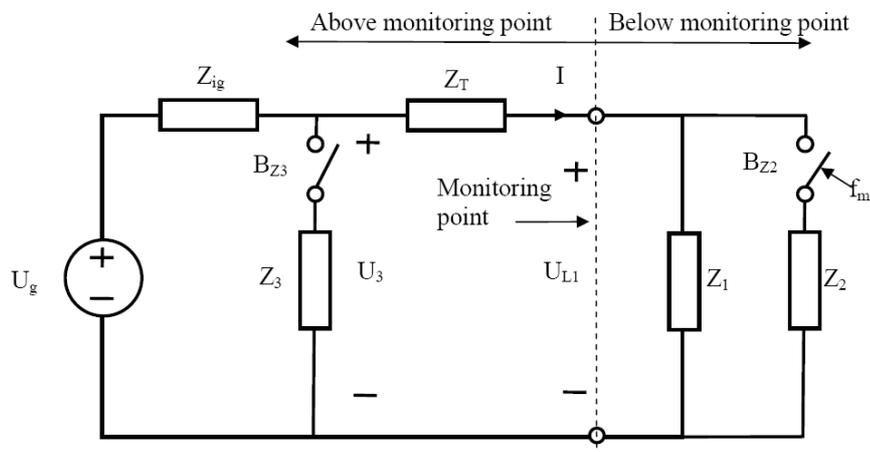
شکل ۳-۸: منحنی  $dV/dI$  بر حسب زاویه  $\delta$  (بار با ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز)

مشاهده می شود که به ازای زوایای بزرگتر از  $57^\circ$  درجه، شیب ولتاژ- جریان مثبت است و در حالت واقعی، زاویه ژنراتور همیشه در این محدوده قرار دارد.

### ۳-۳- روش "توان فلیکر" [۱۱-۱۵]

#### ۳-۳-۱- اساس و پایه روش

اساس این روش بر پایه مدل نشان داده شده در شکل ۳-۹ می باشد. این شکل شامل یک منبع تغذیه با ولتاژ  $U_g$  و امپدانس سری  $Z_{ig}$  می باشد که این منبع، امپدانس های  $Z_1$ ،  $Z_2$  و  $Z_3$  را تغذیه می کند.



شکل ۳-۹: مدل شبکه مورد تحلیل در حالتی که منبع فلیکر، در سطحی پایین تر از نقطه اندازه گیری واقع باشد.

امپدانس های  $Z_2$  و  $Z_3$  منابع فلیکر می باشند، زیرا کلید های  $B_{Z2}$  و  $B_{Z3}$  با فرکانس  $f_m$  (که این فرکانس در محدوده فلیکر قابل مشاهده می باشد) قطع و وصل می شوند.

$Z_T$  امپدانس خط انتقال بین دو بار  $Z_1$  و  $Z_2$  و منبع تغذیه می باشد.

قبل از تحلیل مدل فوق، فرضیات زیر را در نظر می گیریم:

- $U_g$  یک منبع ولتاژ ایده آل است یعنی ولتاژ آن مستقل از جریان آن یک عدد ثابت است.
- نسبت  $R/X$  در امپدانس های  $Z_1$  و  $Z_2$  تقریباً با هم برابرند  $(\frac{R_1}{X_1} \approx \frac{R_2}{X_2})$ .
- ولتاژ  $U_{L1}$  با وصل  $Z_2$  مقدار بسیار کمی افت می کند (کمتر از ۵ درصد).

سؤال اساسی این است :

آیا با اندازه گیری ولتاژ و جریان و مشاهده تغییرات آنها می توان مشخص کرد که منبع فلیکر در کدام سمت نقطه مشاهده واقع شده است؟

برای پاسخ به این سؤال، دو حالت ممکن را در نظر می گیریم:

حالت (۱) مشخص کردن چگونگی تغییرات  $U_L$  و  $I$  نسبت به یکدیگر، وقتی که منبع فلیکر در پایین تر از نقطه مشاهده (Below monitoring point) قرار گرفته باشد (یعنی در شکل ۳-۹،  $B_{Z3}$  قطع است و  $B_{Z2}$  با فرکانس  $f_m$  قطع و وصل می شود).

حالت (۲) مشخص کردن چگونگی تغییرات  $U_L$  و  $I$  نسبت به یکدیگر، وقتی که منبع فلیکر در بالاتر از نقطه مشاهده (Above monitoring point) قرار گرفته باشد (یعنی در شکل ۳-۹،  $B_{Z2}$  قطع است و  $B_{Z3}$  با فرکانس  $f_m$  قطع و وصل می شود).

### ۳-۳-۲- تئوری روش

#### ۳-۳-۱- حالت ۱

وقتی  $B_{Z2}$  باز است (با فرض شرایط پایدار) داریم:

$$U_g = (Z_{ig} + Z_T)I + U_{L1} \quad (۳-۱۱)$$

وقتی  $B_{Z2}$  بسته است، جریان  $\Delta I$  از  $Z_2$  عبور می کند. بنابراین (۳-۱۱) به رابطه زیر تبدیل می شود:

$$U_g = (Z_{ig} + Z_T)(I + \Delta I) + U'_{L1} = (Z_{ig} + Z_T)I + (Z_{ig} + Z_T)\Delta I + U'_{L1} = (Z_{ig} + Z_T)I + \Delta U + U'_{L1} \quad (12-3)$$

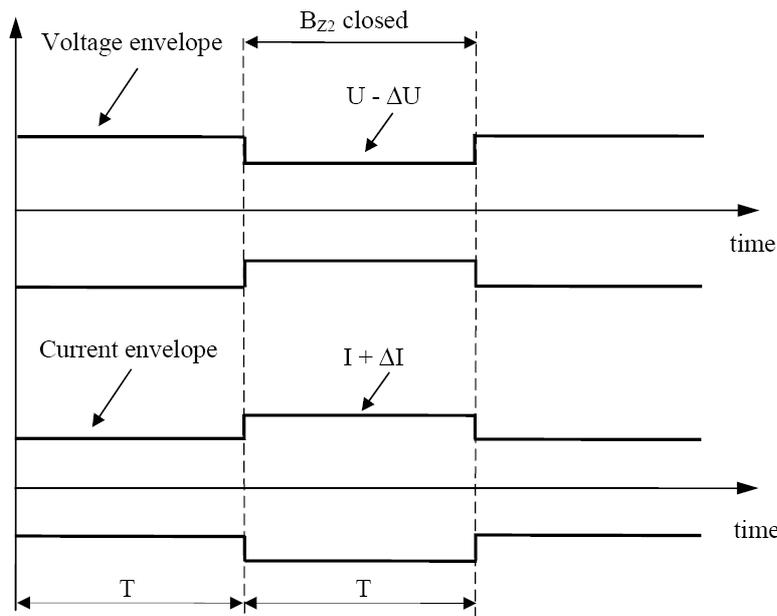
از تفریق دو رابطه فوق، تغییرات ولتاژ  $U_{L1}$  به واسطه باز و بسته شدن کلید  $B_{Z2}$  به صورت زیر است:

$$U'_{L1} - U_{L1} = -\Delta U \quad (13-3)$$

تغییرات مربوط به جریان نیز به صورت زیر است:

$$I \rightarrow I + \Delta I$$

بنابراین نتیجه می گیریم که وقتی  $B_{Z2}$  وصل می شود، ولتاژ نقطه اندازه گیری به اندازه  $\Delta U$  کاهش می یابد؛ در حالیکه جریان نقطه اندازه گیری به اندازه  $\Delta I$  افزایش می یابد. این تغییرات در شکل ۱۰-۳ نشان داده شده است. مشاهده می شود که پوش جریان و ولتاژ در این حالت، ۱۸۰ درجه با هم اختلاف فاز دارند.



شکل ۱۰-۳: پوش جریان و ولتاژ نقطه اندازه گیری در حالتی که منبع فلیکر، در سطحی پایین تر نسبت به نقطه اندازه گیری واقع باشد.

### ۲-۲-۳-۳- حالت ۲

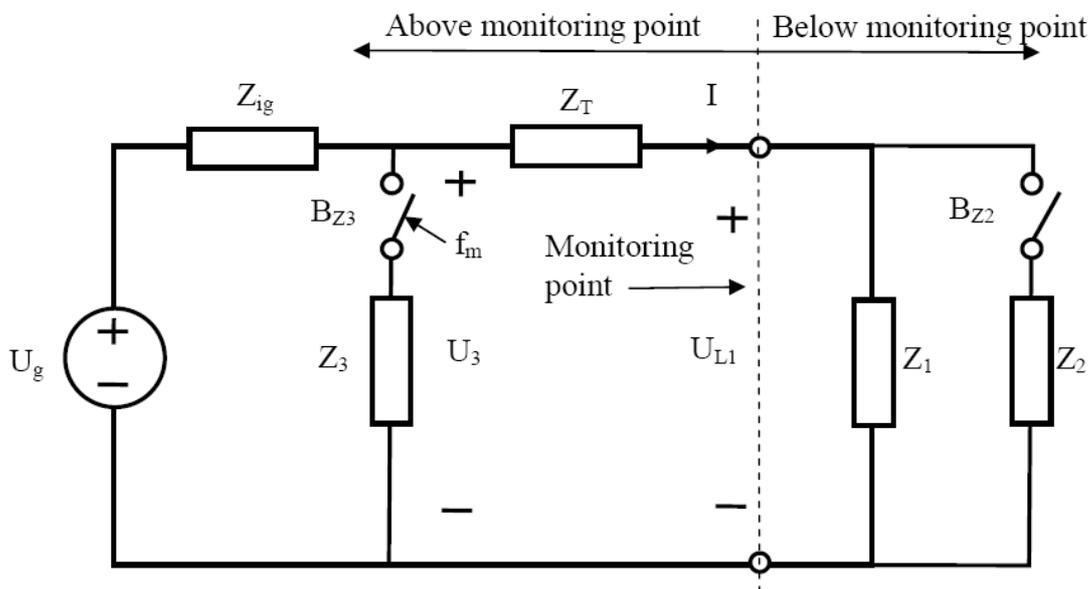
در این حالت  $B_{Z2}$  قطع است و  $B_{Z3}$  با فرکانس  $f_m$  قطع و وصل می شود (شکل ۱۱-۳). واضح است که وقتی  $B_{Z3}$  بسته است ولتاژ  $U_3$  کاهش می یابد. از طرفی چون جریان  $I$  و در نتیجه ولتاژ

$U_{L1}$  به وسیله  $U_3$  مشخص می شوند، پس هم  $I$  و هم  $U_{L1}$  وابسته به تغییرات  $U_3$  می باشند (تمام امیدانس ها خطی فرض شده اند).

ولتاژ  $U_3$  ( ولتاژ دو سر  $Z_3$  ) وقتی  $B_{Z3}$  بسته است از رابطه زیر به دست می آید:

$$U_3 = \frac{U_g}{Z_{ig} + (Z_3 \parallel (Z_T + Z_1))} \cdot (Z_3 \parallel (Z_T + Z_1)) = \frac{U_g Z_3 (Z_T + Z_1)}{Z_{ig} (Z_T + Z_1 + Z_3) + Z_3 (Z_T + Z_1)}$$

$$= \frac{U_g (Z_T + Z_1)}{Z_{ig} (1 + \frac{Z_1 + Z_T}{Z_3}) + (Z_T + Z_1)} \quad (14-3)$$



شکل ۱۱-۳: مدل شبکه مورد تحلیل در حالتی که منبع فلیکر، در سطحی بالاتر از نقطه اندازه گیری واقع باشد.

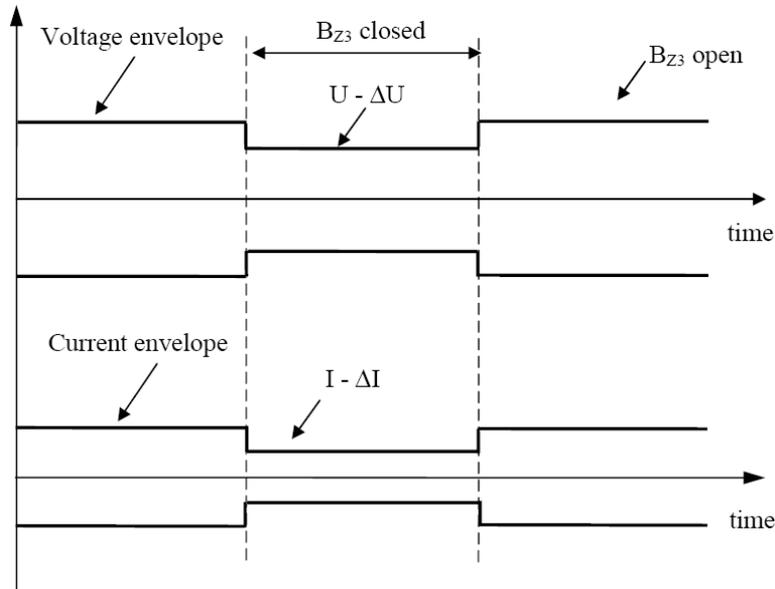
جریان  $I$  جاری شده در  $Z_1$  با استفاده از (۱۴-۳) به صورت زیر به دست می آید:

$$I = \frac{U_3}{Z_T + Z_1} = \frac{U_g}{Z_{ig} (1 + \frac{Z_1 + Z_T}{Z_3}) + (Z_T + Z_1)} \quad (15-3)$$

و ولتاژ  $U_{L1}$  نیز از ضرب  $I$  در  $Z_1$  به دست می آید:

$$U_{L1} = \frac{U_g}{Z_{ig} (1 + \frac{Z_1 + Z_T}{Z_3}) + (Z_T + Z_1)} Z_1 \quad (16-3)$$

واضح است که با کاهش جریان  $I$ ،  $U_{L1}$  نیز کاهش می یابد و برعکس با افزایش جریان  $I$ ،  $U_{L1}$  نیز افزایش می یابد. نمودار تغییرات پوش ولتاژ و جریان نقطه اندازه گیری در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است. مشاهده می شود که پوش جریان و ولتاژ در این حالت، با هم، همفاز می باشند.



شکل ۳-۱۲: پوش جریان و ولتاژ نقطه اندازه گیری در حالتی که منبع فلیکر، در سطحی پایین تر نسبت به نقطه اندازه گیری واقع باشد.

خلاصه نتایج حالت ۱ و حالت ۲ به صورت زیر است:

- ۱- یک منبع فلیکر باعث تغییرات ولتاژ و جریان در نقطه مشاهده می شود. به عبارت دیگر، یک منبع فلیکر باعث یک مدولاسیون اندازه (AM)<sup>۱</sup> در ولتاژ و جریان نقطه مشاهده می شود.
  - ۲- پوش تغییرات ولتاژ و جریان، ۱۸۰ درجه با هم اختلاف فاز دارند اگر منبع فلیکر در سطحی پایین تر از نقطه مشاهده<sup>۲</sup> قرار داشته باشد.
  - ۳- پوش تغییرات ولتاژ و جریان، با هم، همفازند اگر منبع فلیکر در سطحی بالاتر از نقطه مشاهده<sup>۳</sup> قرار داشته باشد.
- با توجه به نکات ۲ و ۳، نتیجه می گیریم که می توان با به کار بردن روش های اندازه گیری، جهت منبع فلیکر را در شبکه قدرت مشخص کرد.

<sup>۱</sup> . Amplitude Modulation

<sup>۲</sup> . Below Monitoring Point

<sup>۳</sup> . Above Monitoring Point

### ۳-۳-۳- مدولاسیون اندازه

بر طبق نکته ۱ از نکات فوق، سیگنال های ولتاژ و جریان به واسطه وجود منبع فلیکر در شبکه، از نظر اندازه مدوله شده اند. معادله کلی یک سیگنال مدوله اندازه  $u_{AM}(t)$  به صورت زیر است:

$$u_{AM}(t) = E(t) \cos(2\pi f_c t) \quad (17-3)$$

که  $f_c$  فرکانس موج حامل ( در اینجا همان فرکانس قدرت ۵۰ یا ۶۰ هرتز) می باشد. همچنین در (۱۷-۳) اندازه  $E(t)$  با زمان تغییر می کند که می توان آنرا به صورت زیر نوشت:

$$E(t) = E_c + m(t)$$

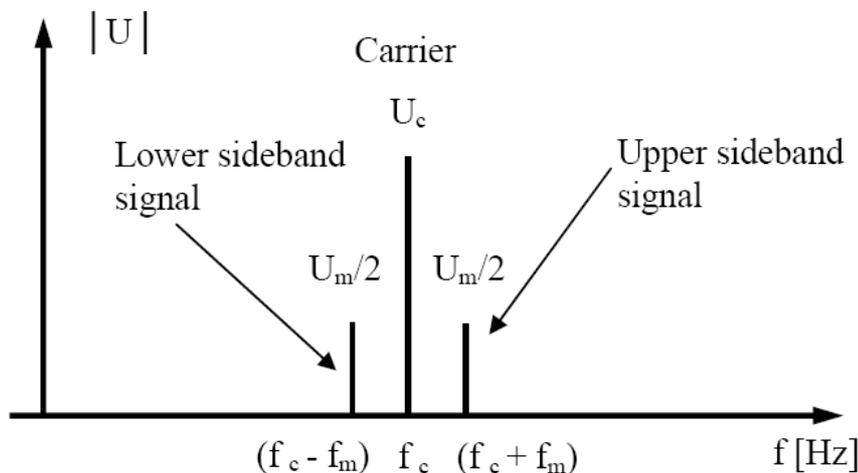
$E_c$  اندازه سیگنال حامل و  $m(t)$  سیگنال مدوله می باشد. بعلاوه سیگنال مدوله  $m(t)$  پوش  $u_{AM}(t)$  را تعریف می کند. در شکل های ۱۰-۳ و ۱۲-۳ سیگنال مدوله  $m(t)$  یک موج مربعی با اندازه  $\frac{\Delta I}{2}$  و  $\frac{\Delta U}{2}$  و فرکانس مدوله  $f_m$  برابر  $\frac{1}{2T}$  (بر حسب هرتز) می باشد.

سیگنال های مدوله اندازه در ولتاژ و جریان را به صورت زیر می توان نوشت:

$$u_{AM}(t) = (U_c + m_u(t)) \cos(2\pi f_c t) \quad (18-3)$$

$$i_{AM}(t) = (I_c + m_i(t)) \cos(2\pi f_c t) \quad (19-3)$$

طیف فرکانسی سیگنال مدوله شده اندازه شامل ۳ عنصر: سیگنال موج حامل با اندازه  $U_m$  در فرکانس  $f_c$ ؛ سیگنال باند کنار بالایی<sup>۱</sup> با اندازه  $U_m/2$  در فرکانس  $f_c + f_m$  و سیگنال باند کنار بالایی با اندازه  $U_m/2$  در فرکانس  $f_c - f_m$  می باشد (شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۳: طیف فرکانسی یک سیگنال مدوله شده اندازه

<sup>۱</sup>. upper side band

فرایند دمدولاسیون (آشکار سازی موج اولیه از موج حامل) سیگنال مدوله شده اندازه به معنی بازیابی سیگنال مدوله  $m(t)$  می باشد. انواع مختلف دمدولاسیون وجود دارد ولی در روش های اندازه گیری ارائه شده در اینجا، فرایند دمدولاسیون به وسیله یک دمدولاتور مربعی ارائه شده در زیر انجام می شود.

$$\begin{aligned}
 u^2(t) &= \left( U_c + \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \cos(k\omega_1 t + \beta_k) \right)^2 \cos^2(\omega_c t + \beta_c) \\
 &= \left( U_c^2 + 2U_c \cdot \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \cos(k\omega_1 t + \beta_k) + \left( \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \cos(k\omega_1 t + \beta_k) \right)^2 \right) \cdot \frac{1}{2} (1 + \cos(2\omega_c t + 2\beta_c)) \quad (20-3) \\
 &= \left\{ \frac{U_c^2}{2} + \frac{1}{2} \cdot 2U_c \cdot \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \cos(k\omega_1 t + \beta_k) + \frac{1}{2} \cdot \left( \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \cos(k\omega_1 t + \beta_k) \right)^2 \right\} + \\
 &\quad \left\{ \frac{U_c^2}{2} + \frac{1}{2} \cdot 2U_c \cdot \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \cos(k\omega_1 t + \beta_k) + \frac{1}{2} \cdot \left( \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \cos(k\omega_1 t + \beta_k) \right)^2 \right\} \cdot \cos(2\omega_c t + 2\beta_c)
 \end{aligned}$$

### ۳-۳-۴- توان فلیکر

سیگنال های مدوله  $m_u(t)$  و  $m_i(t)$ ، پوش سیگنال های مدوله اندازه را نشان می دهند و برای محاسبه توان فلیکر FP بر طبق تعاریف زیر عمل می کنیم:

توان فلیکر لحظه ای  $fp(t)$  با معادله زیر تعریف می شود:

$$fp(t) = m_u(t) \cdot m_i(t) \quad (21-3)$$

که واحد آن همان وات است.

مقدار متوسط  $fp(t)$  را توان فلیکر می گوئیم و با FP نشان می دهیم:

$$FP = \frac{1}{T} \int_0^T fp(t) dt \quad (22-3)$$

تفسیر فیزیکی واقعی از تعریف فوق وجود ندارد ولی علامت توان فلیکر، جهت انتشار فلیکر در شبکه را مشخص می کند.

اگر جهت انتشار فلیکر از بار به سمت ژنراتور باشد (حالت ۱)،  $m_u(t)$  و  $m_i(t)$ ،  $180^\circ$  درجه با هم اختلاف فاز دارند و توان فلیکر FP دارای علامت منفی است ( $FP < 0$ ).

اگر جهت انتشار فلیکر از ژنراتور به سمت بار باشد (حالت ۲)،  $m_u(t)$  و  $m_i(t)$ ، با هم همفازند و توان فلیکر FP دارای علامت مثبت است ( $FP > 0$ ).

اگر سیگنال های مدوله  $m_u(t)$  و  $m_i(t)$  را بتوان متناوب فرض کرد و عناصر فرکانسی غیر از فرکانس اصلی را شامل باشند آنگاه سیگنال های مدوله  $m_u(t)$  و  $m_i(t)$  را می توان به صورت سری فوریه نوشت:

$$m_u(t) = \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \cos(k\omega_c t + \beta_k) \quad (23-3)$$

$$m_i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} I_{mk} \cos(k\omega_c t + \alpha_k) \quad (24-3)$$

با استفاده از (23-3) و (24-3) در (22-3) داریم

$$FP = \frac{1}{T} \int_0^T fp(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \left( \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \cos(k\omega_c t + \beta_k) \right) \left( \sum_{k=1}^{\infty} I_{mk} \cos(k\omega_c t + \alpha_k) \right) dt \quad (25-3)$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} \frac{U_{mk} I_{mk}}{2} \cos(\beta_k - \alpha_k) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{U_{mk} I_{mk}}{2} \cos(\varphi_k)$$

از عبارت (25-3) مشاهده می شود که توان فلیکر، شامل هر دو سیگنال مدوله ولتاژ و جریان می باشد. معادله (25-3) همچنین نشان می دهد که عبارت  $\cos(\varphi_k)$  مشخص کننده علامت توان فلیکر می باشد.

همانطور که قبلا گفته شد، یک تغییر ناگهانی در اندازه جریان فورا تغییر در اندازه ولتاژ را سبب می شود. بنابراین در عمل، فقط دو اختلاف فاز 0 و 180 درجه وجود دارد. بعضی مواقع یک مدت کوتاه گذرا در زمان تغییر اندازه اتفاق می افتد. یک حالت گذرا روی دقت، تاثیر نمی گذارد همانطور که این حالت گذرا به وسیله عمل فیلترینگ حذف می شود.

### ۳-۵- روش های اندازه گیری برای محاسبه توان فلیکر

در بخش قبل، یک تعریف برای توان فلیکر FP ارائه شد. با این تعریف به عنوان پایه، سه روش اندازه گیری برای محاسبه توان فلیکر ارائه می شود.

(۱) روش ۱: در این روش، توان فلیکر با محاسبه طیف فرکانسی سیگنال های کناری<sup>۱</sup> برای ولتاژ و جریان (هر دو) مشخص می شود. بنابراین توان در سیگنال های کناری محاسبه می شود که برابر توان فلیکر می باشد.

<sup>۱</sup>. side band

(۲) روش ۲: سیگنال های ولتاژ و جریان، سیگنال های دمدوله شده مربعی هستند. بنابراین در حوزه فرکانس، توان فلیکر از سیگنال های دمدوله شده باند اصلی<sup>۱</sup> محاسبه می شود.

(۳) روش ۳: سیگنال های ولتاژ و جریان، سیگنال های دمدوله شده مربعی هستند. بنابراین سیگنال های دمدوله شده، به وسیله یک فیلتر میان گذر<sup>۲</sup> با یک تابع انتقال<sup>۳</sup> تعریف شده در استاندارد IEC 61000-4-15، سیگنال های خروجی هر زنجیره فیلتر در هم ضرب می شوند تا توان فلیکر متغیر با زمان  $fp(t)$  به دست آید. توان فلیکر، با متوسط گرفتن از  $fp(t)$  به دست می آید.

روش اندازه گیری ۱ و ۲ بر پایه محاسبه در حوزه فرکانس هستند در حالیکه روش ۳ بر پایه محاسبات در حوزه زمان می باشد.

### ولتاژ مختلط، جریان مختلط و توان مختلط

روش های ۱ و ۲ از  $N$  نقطه تبدیل فوریه گسسته<sup>۴</sup> (DFT) برای محاسبه طیف فرکانسی استفاده می کنند. سیگنال های ورودی به DFT، سیگنال های گسسته زمانی  $u[n]$  و  $i[n]$  می باشند ( $u[n]$  و  $i[n]$  همان سمپل های ولتاژ و جریان می باشند). نتیجه محاسبه DFT، بردار های مختلط  $U$  و  $I$  می باشند:

$$U = [U_1, U_2, U_3, \dots, U_N] = [|U_1| \angle \beta_1, |U_2| \angle \beta_2, \dots, |U_N| \angle \beta_N] \quad (26-3)$$

$$I = [I_1, I_2, I_3, \dots, I_N] = [|I_1| \angle \alpha_1, |I_2| \angle \alpha_2, \dots, |I_N| \angle \alpha_N] \quad (27-3)$$

عبارات (۲۶-۳) و (۲۷-۳) شامل طیف فرکانسی  $u[n]$  و  $i[n]$  با فاصله فرکانسی  $\Delta f = \frac{f_s}{N}$  می

باشد که  $f_s$  فرکانس سمپلینگ می باشد.

توان مختلط فلیکر  $S_k = p_k + jQ_k$  (بر واحد فرکانس) از  $U$  و  $I$  به دست می آید:

$$S_k = \frac{1}{2} U_k \cdot I_k^* = p_k + jQ_k \quad (28-3)$$

$$P_k = \frac{1}{2} |U_k| |I_k| \cos \varphi_k \quad (29-3)$$

$$Q_k = \frac{1}{2} |U_k| |I_k| \sin \varphi_k \quad (30-3)$$

<sup>1</sup>. base band

<sup>2</sup>. band pass

<sup>3</sup>. Transfer Function

<sup>4</sup> Discret Furier Transform

$$S = [S_1, S_2, S_3, \dots, S_N] \quad (31-3)$$

به عنوان مثال، توان اکتیو فلیکر  $P_1$  از توان مختلط فلیکر  $S_1$  به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_1 = \text{Re}\{S_1\} = \text{Re}\{p_1 + jQ_1\} \quad (32-3)$$

### مقیاس بندی<sup>۱</sup>

بسیاری مواقع لازم است که یک بردار مختلط مقیاس بندی شود تا یک یا چند فرکانس خاص تضعیف شوند (یا تقویت شوند). یک راه آسان برای مقیاس بندی، ضرب عنصر  $U_k$  در ثابت مقیاس  $w_k$  می باشد.

$$U_{\text{mod}} = \{w_1 U_1, w_2 U_2, \dots, w_k U_k, \dots, w_N U_N\} \quad (33-3)$$

که  $U_{\text{mod}}, k=1,2,\dots,N$  بردار بهبود یافته و  $W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_N\}$  بردار مقیاس می باشد.

استفاده از بردار مقیاس بندی در زیر آمده است:

مثال: می خواهیم عناصر بردار  $U$  و  $I$  به ازای تمام فرکانس های بالاتر از  $f_s/2$  صفر شوند. عناصر

بردار مقیاس بندی  $W$  باید به صورت زیر تعیین شوند:

$$w_{ik} = w_k = \begin{cases} 1 & \text{for } 1 \leq k \leq \frac{N}{2} \\ 0 & \text{for } \frac{N}{2} < k \leq N \end{cases} \quad (34-3)$$

عناصر  $w_k$  در بردار مقیاس  $W$  را همچنین می توان طوری انتخاب کرد که یک طیف اندازه خاصی از بردار مختلط به دست آید. استفاده از بردار مقیاس، روشی قوی و قابل انعطاف است.

### بردار مقیاس و توان فلیکر

در روش اندازه گیری ۱ و ۲، توان فلیکر به صورت مجموعه ای از ترکیبات مربوط به عناصر توان

فلیکر مقیاس بندی شده  $fp_k$  محاسبه می شود:

$$FP = \sum_{k=1}^N fp_k = \sum_{k=1}^N \text{Re}\left\{\frac{1}{2} w_k U_k I_k^*\right\} \quad (35-3)$$

مقادیر عناصر  $w_k$  در مقیاس بندی، وابسته به روش اندازه گیری استفاده شده می باشد.

<sup>۱</sup>. scaling

### دمدولاسیون مربعی

روش های اندازه گیری ۲ و ۳ از دمدولاسیون مربعی برای بازیافت سیگنال های  $m_i(t)$  و  $m_u(t)$  استفاده می کنند. یک دمدولاسیون مربعی از یک سیگنال مدوله شده اندازه  $u(t)$  با عبارات رابطه (۳-۲۰) به دست می آید.

عبارت (۳-۲۰) نشان می دهد که دمدولاسیون مربعی، دو دسته سیگنال جدا شده در فرکانس ایجاد می کند.

دسته اول شامل فرکانس صفر (عنصر DC)، سیگنال مدوله (ضرب در  $U_c$ ) و مربع سیگنال مدوله شده (مقیاس بندی شده با ضریب  $1/2$ ) می باشد.

دسته دوم روی دوبرابر فرکانس اصلی متمرکز می شود و شامل همان عناصر دسته اول می باشد.

### ۳-۳-۵-۱- روش اندازه گیری ۱

اگر ولتاژ سمپلینگ  $u[n]$  و جریان  $i[n]$  مدوله شده اندازه فرض شوند، سیگنال های مدوله سیگنال بالایی و پایینی کناری را می سازند. در حوزه فرکانس، سیگنال مدوله به دو سیگنال شکسته می شود (هر کدام به اندازه نصف اندازه سیگنال اصلی) و در دو طرف فرکانس حامل قرار می گیرند (با فرکانس  $f_c \pm f_m$ )

با استفاده از تئوری ارائه شده در بخش قبل، توان فلیکر FP از سیگنال های باند کناری محاسبه می شود:

$$FP = \frac{1}{2} \cdot \sum_{k=0}^{j-1} \text{Re} \left\{ w_{u(M-j+k)} \cdot (U_{(M-j+k)} + U_{(M+j-k)}) \cdot w_{i(M-j+k)} \cdot (I_{(M-j+k)} + I_{(M+j-k)})^* \right\} \quad (36-3)$$

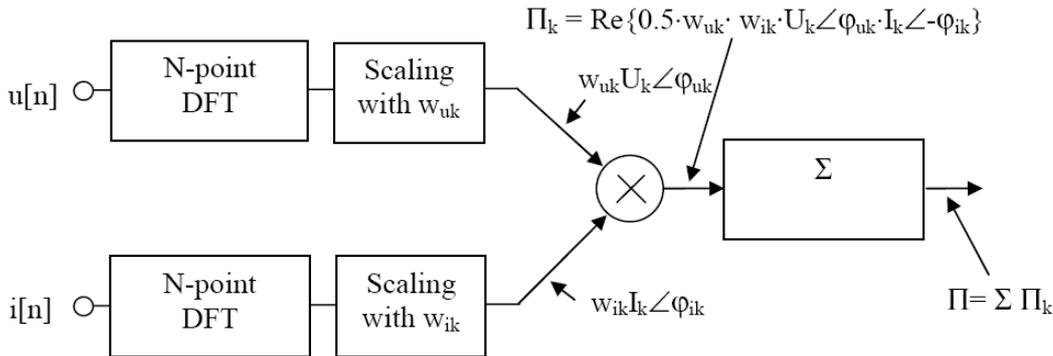
با فرض یک سیگنال مدوله شده اندازه و سیگنال سمپلینگ ولتاژ  $u[n]$  و جریان  $i[n]$  شامل  $j$  سیگنال باند کناری در هر دو طرف فرکانس حامل، همچنین با فرض اینکه طیف های فرکانسی  $u[n]$  و  $i[n]$  به وسیله DFT ( $N$  نقطه ای) محاسبه شده اند.

خروجی DFT ها، بردار های مختلط ولتاژ و جریان  $U$  و  $I$  می باشند. ولتاژ و جریان مختلط حامل با اندیس  $k=M$  در  $U$  و  $I$  مشخص می شوند. توان فلیکر FP با معادله زیر به دست می آید:

$$FP = \frac{1}{2} \cdot \sum_{k=0}^{j-1} \text{Re} \left\{ w_{u(M-j+k)} \cdot (U_{(M-j+k)} + U_{(M+j-k)}) \cdot w_{i(M-j+k)} \cdot (I_{(M-j+k)} + I_{(M+j-k)})^* \right\} \quad (37-3)$$

عناصر مقیاس بندی  $w_{u(M-j+k)}$  طوری انتخاب می شوند که یک طیف اندازه خاص از سیگنال های مدوله (یعنی فیلتر میان گذر استفاده شده در 15-4-61000) به دست آیند. اگر تمام عناصر مقیاس بندی، ۱ انتخاب شوند یک پنجره مستطیلی بدون فیلترینگ به دست می آید.

شکل ۳-۱۴ دیاگرام جریان سیگنال به روش اندازه گیری ۱ را نشان می دهد:



شکل ۳-۱۴: دیاگرام مربوط به روش اندازه گیری ۱

راه دیگر محاسبه توان فلیکر (اگر اندازه سیگنال های بالا و پایین کناری برابر باشند) استفاده از فقط یکی از سیگنال های کناری می باشد. محاسبه توان فلیکر از سیگنال های کناری پایینی از رابطه زیر به دست می آید:

$$FP = \frac{1}{2} \cdot \sum_{k=0}^{j-1} \text{Re} \left\{ 2w_{u(M-j+k)} \cdot U_{(M-j+k)} \cdot 2w_{i(M-j+k)} \cdot I_{(M-j+k)}^* \right\} \quad (3-38)$$

و محاسبه توان فلیکر از سیگنال های کناری بالایی از رابطه زیر به دست می آید:

$$FP = \frac{1}{2} \cdot \sum_{k=0}^{j-1} \text{Re} \left\{ 2w_{u(M+j-k)} \cdot U_{(M+j-k)} \cdot 2w_{i(M+j-k)} \cdot I_{(M+j-k)}^* \right\} \quad (3-39)$$

مزیت روش اندازه گیری ۱ این است که هیچ دمدولاسیونی مورد نیاز نیست. از طرف دیگر دو عیب عمده نیز دارد. عیب اول اینکه محاسبه DFT همیشه یک کار وقت گیر است

عیب دوم اینکه چون داده های ورودی DFT در N نقطه، خلاصه می شود، گم شدن اطلاعات اتفاق می افتد. گم شدن اطلاعات باعث یک اعوجاج در خروجی DFT می شود.

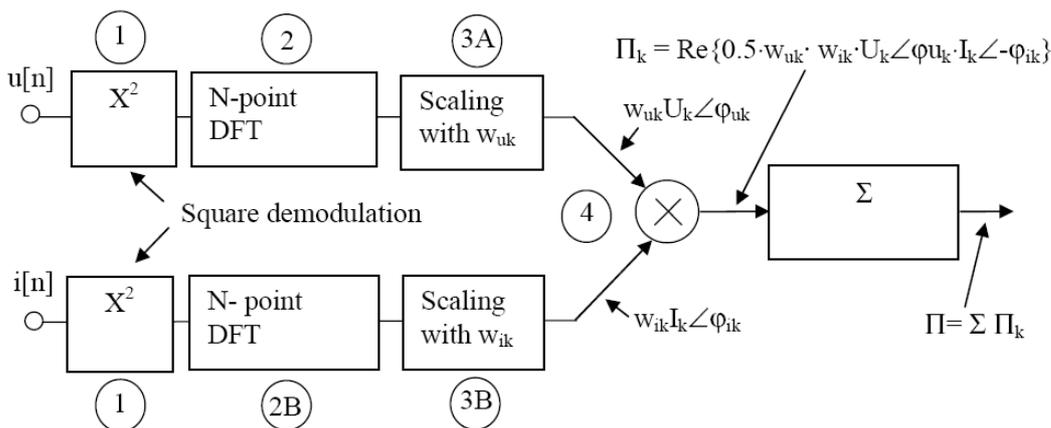
وقتی از روش ۱ استفاده می کنیم، عناصر سیگنال در حوزه فرکانس، پراکنده می شوند و عناصر فرکانس نزدیک به هم به سختی قابل تشخیص هستند. چون سیگنال های باند کناری نزدیک به فرکانس اصلی هستند، پدیده پراکندگی می تواند سبب خطای جدی در نتایج شود.

### ۲-۳-۵-۲- روش اندازه گیری ۲

این روش مشابه روش ۱ بر پایه تحلیل در حوزه فرکانس می باشد. تفاوت اصلی این است که تحلیل سیگنال های مدولاسیون در باند پایه (اصلی) انجام می شود.

در روش ۲، اطلاعات زیر خط دار رابطه (۳-۲۰) برای محاسبه توان فلیکر به کار می رود. قسمت اول عبارت زیر خط دار، شامل سیگنال های مدولاسیون می باشد (بعد از مقیاس بندی). قسمت دوم عبارت زیر خط دار، نتیجه عمل غیر خطی دمدولاسیون مربعی است که عناصر سیگنال جدیدی را تولید می کند. این عنصر سیگنال بسیار از عنصر اولی کوچکتر است و اثر زیادی بر دقت نمی گذارد.

مزیت روش ۲ در مقایسه با ۱ جداسازی (در فرکانس) سیگنال های مدولاسیون و فرکانس حامل می باشد. این روش خطای ایجاد شده توسط پراکندگی را حذف می کند. بلوک دیاگرام روش اندازه گیری ۲ در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۵: دیاگرام مربوط به روش اندازه گیری ۲

سیگنال های ورودی، داده های سمپلگیری شده از ولتاژ  $u[n]$  و  $i[n]$  می باشند. در بلوک (1A) و (1B) دمدولاسیون مربعی سیگنال های ورودی به وسیله به توان ۲ رساندن هر عنصر بردار انجام می شود. سیگنال دمدوله شده، سیگنال ورودی DFT (با  $N$  نقطه) می باشند (بلوک های (2A) و (2B)).

سیگنال های خروجی از (2A) و (2B) بردار های مختلط (U و I) می باشند که شامل طیف

فرکانسی  $u[n]$  و  $i[n]$  با ضریب جداسازی<sup>۱</sup> فرکانس  $\Delta f = \frac{f_s}{N}$  می باشد.

مقیاس بندی در بلوک (3A) و (3B) با ضرب هر عنصر U و I در  $w_{uk}$  و  $w_{ik}$  انجام می شود.

توان فلیکر از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$FP = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{j-1} \text{Re} \left\{ \frac{2}{U_c} w_{u(M-j+k)} \cdot U_{(M-j+k)} \cdot \frac{2}{I_c} w_{i(M-j+k)} \cdot I_{(M-j+k)}^* \right\} \quad (40-3)$$

که j تعداد سیگنال های مدوله مؤثر بر فلیکر، M اندیس موجود در U و I شامل سیگنال حامل

می باشد،  $U_c$  و  $I_c$  اندازه سیگنال های حامل ولتاژ و جریان می باشند.

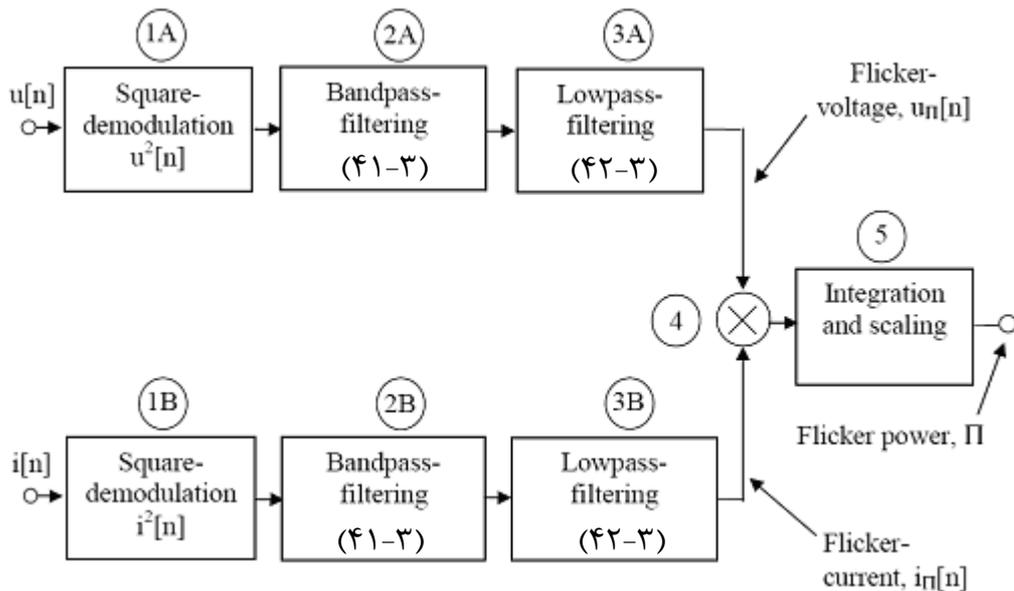
عناصر مقیاس  $w_{u(M-j+k)}$  و  $w_{i(M-j+k)}$  برای دست یابی به یک طیف اندازه خاص مربوط به

سیگنال های مدوله، مشابه روش ۱ انتخاب می شوند.

### ۳-۳-۵-۳- روش اندازه گیری ۳

برخلاف دو روش قبل، روش ۳ منحصرا بر پایه محاسبات در حوزه زمان می باشد. بلوک دیاگرام

این روش، در شکل ۱۶-۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۶-۳: بلوک دیاگرام روش ۳

<sup>۱</sup>. Resolution

این روش، تا حدی بر پایه استاندارد IEC 61000-4-15 می باشد، زیرا بلوک های ۱ و ۲ درست همان فیلتر های تعریف شده در این استاندارد می باشد. این بدین معنی است که توان فلیکر محاسبه شده به این روش تا حدود زیادی با موقعیت عملی فلیکر در شبکه همخوانی دارد.

بلوک های ۱ تا ۳ مان سیگنال های جریان و ولتاژ می باشند. سیگنال های مدوله به وسیله دمودولاسیون مربعی انجام گرفته در بلوک (1A) و (1B) بازیافت می شوند (همچنین (۲۰-۳) را ببینید).

تابع انتقال آنالوگ فیلتر میان گذر (Band Pass) استفاده شده در بلوک (2A) و (2B) همان فیلتری است که در فصل دوم برای فلیکرمتر استاندارد IEC به کار رفت و تابع انتقال آن در (۲۱-۲) داده شده است. همچنین ضرایب آن در جدول ۲-۵ داده شده است. پاسخ فرکانسی تابع تبدیل فوق، نیز در شکل ۲-۲۵ نشان داده شده است.

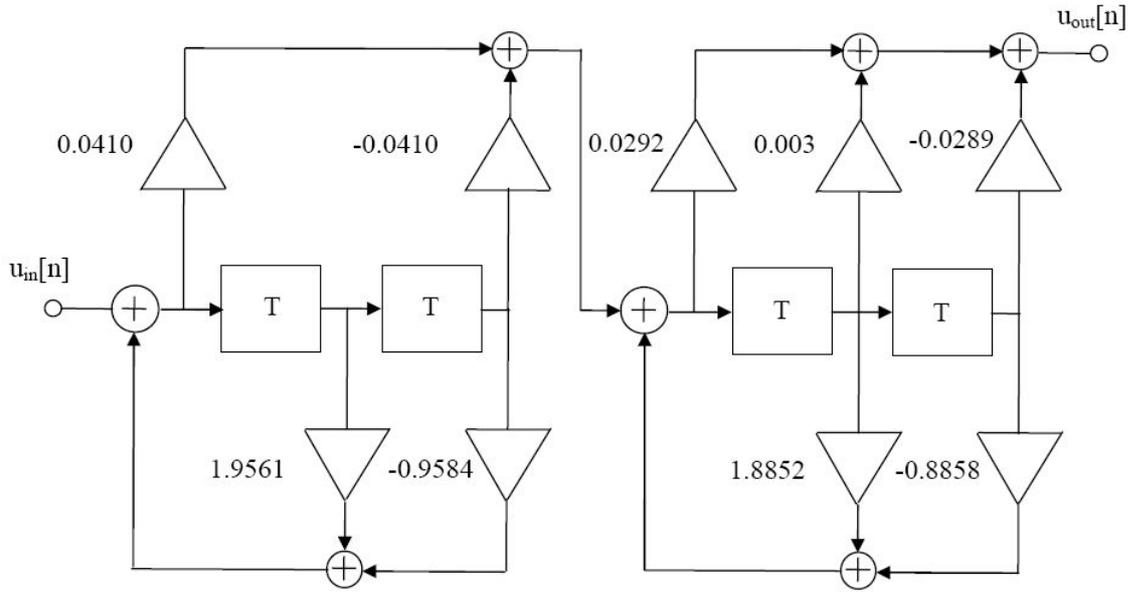
فیلتر میان گذر (۲۱-۲) به عنوان یک معادل دیجیتال، به وسیله تبدیل Bilinear به کار می رود. تابع انتقال آن در (۳-۴۱) آمده است:

$$H(z) = \frac{0.0410 - 0.0410z^{-2}}{1 - 1.9561z^{-1} + 0.9584z^{-2}} \cdot \frac{0.0292 + 0.003z^{-1} - 0.0289z^{-2}}{1 - 1.8852z^{-1} + 0.8858z^{-2}} \quad (۳-۴۱)$$

بلوک دیاگرام تابع تبدیل (۳-۴۱) در شکل ۳-۱۷ نشان داده شده است.

خروجی های فیلتر میان گذر، سیگنال های مدوله وزن دار شده با طیف اندازه فیلتر می باشند. فیلتر پایین گذر بلوک (3A) و (3B) به منظور دست یابی به دقت بیشتر در عناصر سیگنال همخوان با فرکانس حامل به کار می رود.

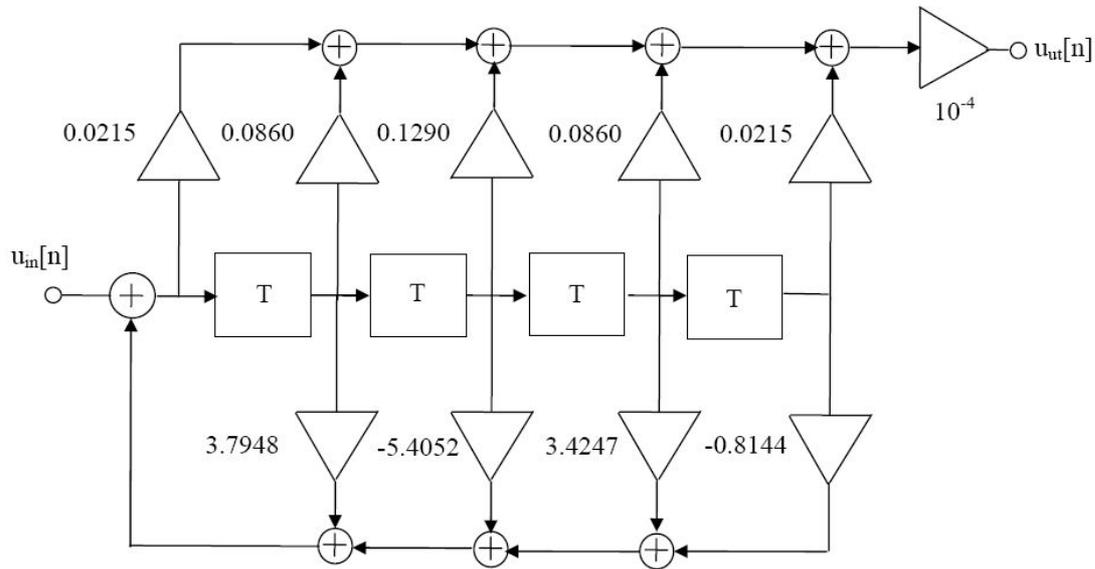
شبیه سازی ها در MATLAB نشان می دهد که فیلتر پایین گذر Butter worth از مرتبه ۴ با فرکانس قطع ۳۰ هرتز دقت کافی را می دهد. تابع انتقال عددی فیلتر پایین گذر در (۳-۴۲) آمده است.



شکل ۳-۱۷: بلوک دیاگرام تابع تبدیل (۳-۴۱)

$$H(z) = 10^{-4} \frac{0.0215 + 0.0860z^{-1} + 0.1290z^{-2} + 0.0860z^{-3} + 0.0215z^{-4}}{1 - 3.7948z^{-1} + 5.4052z^{-2} - 3.4247z^{-3} + 0.8144z^{-4}} \quad (3-42)$$

بلوک دیاگرام (۳-۴۲) در شکل ۳-۱۸ نشان داده شده است (فرکانس سمپلینگ ۱۲۰۰ هرتز).



شکل ۳-۱۸: بلوک دیاگرام تابع تبدیل (۳-۴۲)

سیگنال خروجی هر فیلتر در بلوک ۴ ضرب می شود و حاصل آن، توان فلیکر لحظه ای

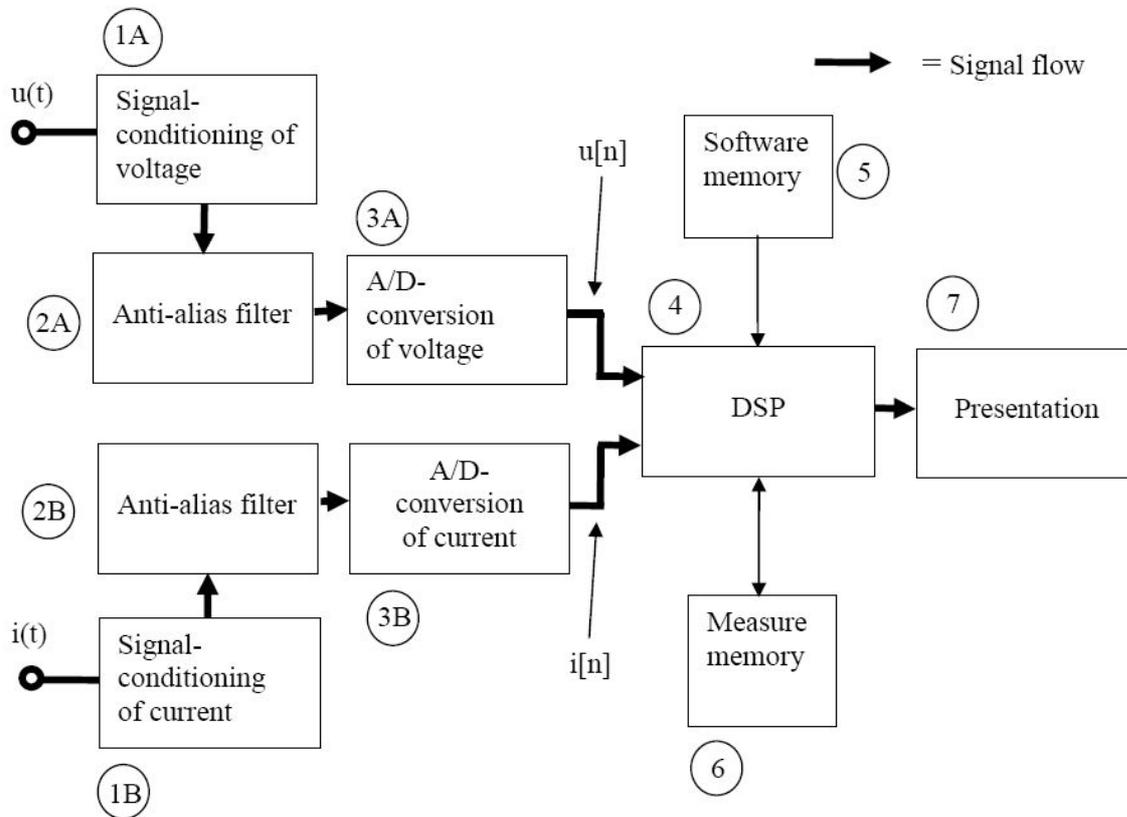
$u_{\Pi}[n]i_{\Pi}[n] = \Pi[n]$  می باشد. نهایتاً توان فلیکر  $\Pi$  از متوسط توان فلیکر لحظه ای به دست می آید

(بلوک ۵).

با بررسی (۳-۲۰) مشخص است که سیگنال های مدوله خروجی بلوک (3A) و (3B) باید برای بازیابی صحیح سیگنال های مدوله، به ترتیب با ضرایب  $\frac{1}{U_c}$  و  $\frac{1}{I_c}$  مقیاس بندی شوند. بنابراین، سیگنال خروجی متوسط گیری شده بلوک ۵ در ضریب  $\frac{1}{U_c I_c}$  ضرب شده است.

### ۳-۳-۶- بلوک دیاگرام دستگاه محاسبه توان فلیکر

شکل ۳-۱۹ بلوک دیاگرام یک دستگاه قابل استفاده برای محاسبه توان فلیکر را نشان می دهد. کارکرد این دستگاه بر اساس عملیات تجزیه و تحلیل سیگنال دیجیتال (DSP)<sup>۱</sup> می باشد.



شکل ۳-۱۹: بلوک دیاگرام دستگاه محاسبه توان فلیکر

DSP همچنین تبدیل A/D<sup>۲</sup> را مدیریت می کند و نتایج را نشان می دهد. در مورد دیاگرام شکل

۳-۱۹ در زیر توضیح داده می شود.

<sup>۱</sup>. Digital Signal Processing

<sup>۲</sup>. Analog to Digital

سیگنال های اندازه گیری (یعنی شکل موج ها) ولتاژ و جریان به ورودی دستگاه وصل می شوند. از طریق مبدل های ولتاژ و جریان، سیگنال های خروجی مبدل ها، مقیاس بندی می شوند. در بلوک های (1A) و (1B) برای دست یابی به سیگنال با اندازه مناسب، سیگنال های خروجی (1A) و (1B) به فیلتر های آنتی الیاسینگ<sup>۱</sup> بلوک های (2A) و (2B) وصل می شوند.

چون طیف اندازه سیگنال های ورودی روی فرکانس قدرت متمرکز می شوند، فرکانس قطع فیلتر آنتی الیاسینگ کمی بالاتر از فرکانس قدرت انتخاب می شود. برای مثال اگر فرکانس قطع ۷۲ هرتز استفاده شود، فیلتر هم می تواند به عنوان فیلتر آنتی الیاسینگ عمل کند و هم فیلتر تضعیف فرکانس های پایین تر از  $f_s/2$  مانند هارمونیک ها و اینترهارمونیک ها باشد.

سیگنال های خروجی آنالوگ فیلتر آنتی آلیاس، به وسیله ADC<sup>۲</sup> ها در بلوک (3A) و (3B) به صورت دیجیتالی نشان داده می شوند (سمپل های  $u[n]$  و  $i[n]$ ). داده های سمپل گیری شده، موقتا در حافظه اندازه گیری (بلوک ۶) ذخیره می شوند و سیگنال های ورودی برای روش های ۱-۳ را تشکیل می دهند.

نرم افزار دستگاه در یک حافظه مانا (ثبات) (بلوک ۵) ذخیره می شود و مقدار لحظه ای توان فلیکر به صورت عددی یا نموداری در بلوک ۷ نشان داده می شود.

### ۳-۳-۷- نتایج شبیه سازی و نتایج عملی اعمال روش توان فلیکر

به منظور تایید روش های اندازه گیری ارائه شده در بخش های قبل، شبیه سازی هایی در Matlab و آزمایش های عملی انجام شده است. نتایج این کار ها در این بخش مورد بحث قرار می گیرد. دقت به دست آمده، وقتی که شبیه سازی در Matlab آزمایش شده اند، جالب می باشد. مقایسه نتایج شبیه سازی با نتایج تئوری، روش های اندازه گیری نشان دهنده دقت بالای نتایج می باشد. در مورد آزمون های عملی، تنها روش ۳ مورد آزمایش قرار گرفته است، زیرا این روش، بهترین روش برای اعمال به دستگاه می باشد.

### ۳-۳-۷-۱- شبیه سازی روش های اندازه گیری او ۲ در Matlab

<sup>1</sup> . Anti aliasing

<sup>2</sup> . Analog to Digital Conversion

دقت روش های ۱ و ۲ با استفاده از Matlab مورد بررسی قرار می گیرد. ۶ عدد سیگنال ورودی مدوله شده اندازه، با شاخص های مدوله متفاوت و اختلاف فاز های متفاوت برای این تحقیق مورد آزمایش قرار گرفته است. سیگنال های مدوله ولتاژ به عنوان سیگنال های مرجع با زاویه ۰ مورد استفاده قرار گرفته است. برای جریان های مدوله، فاز های ۰، ۹۰ و ۱۸۰ درجه انتخاب شده است.

سیگنال مدوله یک سیگنال سینوسی با فرکانس ۸/۸ هرتز مطابق با پاسخ ماکزیمم فیلتر Lamp-eye در استاندارد IEC61000-4-15 انتخاب شده است. توالی داده های ورودی به مدل، شامل داده های گسسته سمپل های ولتاژ  $u[n]$  و جریان  $i[n]$  با فرکانس سمپلینگ  $f_s$  برابر ۴۰۹/۶ هرتز انتخاب شده است. به منظور دست یابی به دقت بالا در هنگام محاسبه توان فلیکر، یک DFT با ۴۰۹۶ نقطه مورد استفاده قرار گرفته است. تعداد زیاد نقاط مورد استفاده در DFT عیب عمده استفاده از روش های ۱ و ۲ می باشد.

ساختن یک DFT ۴۰۹۶ نقطه ای تاثیر زیادی در سرعت دستگاه دارد. این باعث سخت افزار پیچیده تر و گران تر در مقایسه با دستگاه طراحی شده برای محاسبات حوزه زمان (روش ۳) می باشد. اندازه تئوری توان فلیکر  $\Pi$  از فرمول زیر محاسبه می شود.

$$\Pi = \frac{1}{2} \Delta U \cdot \Delta I \cos \varphi \quad [w] \quad (43-3)$$

اختلاف فاز  $\Phi$  اعداد ۰، ۹۰ و ۱۸۰ می باشد.

اندازه سیگنال های مدوله  $\Delta U$  و  $\Delta I$  از روابط زیر محاسبه می شوند:

$$U = \sqrt{2} \times 230v \rightarrow \Delta U = 0.2 \times U = \sqrt{2} \times 48 \quad V$$

$$I = \sqrt{2} \times 10v \rightarrow \Delta I = 0.2 \times I = \sqrt{2} \times 2 \quad A$$

جدول ۱-۳ دقت بسیار بالا را در نتایج شبیه سازی روش اندازه گیری ۱ نشان می دهد.

این دقت بالا مورد انتظار هم هست زیرا هیچ دمدمولاسیونی انجام نمی شود. فرکانس سمپلینگ ۴۰۹/۶ هرتزی و DFT، ۴۰۹۶ نقطه ای به معنی درجه جداسازی ۰/۱ هرتزی می باشد که باعث کاهش پدیده پراکندگی به طور چشم گیری می شود.

جدول ۳-۱: نتایج شبیه سازی روش اندازه گیری ۱

Measurement method 1		
Sim-ulation No.	Voltage: Carrier ampl. / mod. % / mod. freq / $\varphi_u$ / Current: Carrier ampl. / mod. % / mod. freq / $\varphi_i$ /	Flicker power $\Pi$ [W] Calculated results / simulated results / relative error
1.1	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$	92W / 92W / 0.0%
1.2	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 90^\circ$	0.0W / 0.0W / 0.0%
1.3	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 180^\circ$	-92W / -92W / 0.0%
1.4	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$	14.4mW / 14.4mW / 0.0%
1.5	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 90^\circ$	0.0W / 0.0W / 0.0%
1.6	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 180^\circ$	-14.4mW / -14.4mW / 0.0 %

همچنین جدول ۳-۲ دقت بالا را برای روش ۲ نشان می دهد، ولی یک خطای کوچک به دلیل عمل دمدمولاسیون ایجاد می شود.

جدول ۳-۲: نتایج شبیه سازی روش اندازه گیری ۲

Measurement method 2		
Sim-ulation No.	Voltage: Carrier ampl. / mod. % / mod. freq / $\varphi_u$ / Current: Carrier ampl. / mod. % / mod. freq / $\varphi_i$ /	Flicker power $\Pi$ [W] Calculated results/ simulated results,/ relative error
2.1	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$	92W / 92.23W / 0.25%
2.2	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 90^\circ$	0.0W / 0.0W / 0.0%
2.3	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 180^\circ$	-92W / -91.77W / -0.25%
2.4	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$	14.4mW / 14.2mW / -1.4%
2.5	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 90^\circ$	0.0W / 0.0W / 0.0%
2.6	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 180^\circ$	-14.4mW / -14.2mW / 1.4%

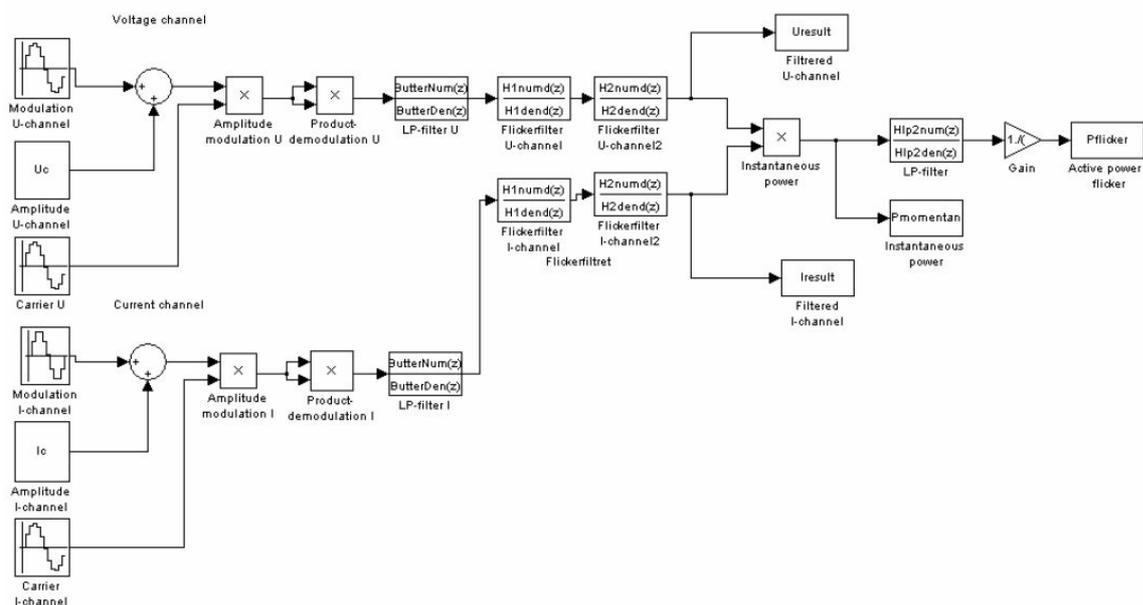
### ۳-۳-۷-۲- شبیه سازی روش ۳

شبیه سازی بر طبق روش اندازه گیری ۳ با استفاده از مدل Simulink شکل ۳-۲۰ انجام گرفته است. به منظور دست یابی به نتایج قابل مقایسه برای هر سه روش، از همان ورودی های بخش قبل استفاده شده است.

سیگنال مدوله شده اندازه در سمت چپ شکل ۳-۲۰ تولید می شود. سپس سیگنال مدوله، توسط یک دمدولاسیون مربعی بازایی می شود. خروجی سیگنال دمدولاتور به زنجیره فیلتر وصل می شود (با توابع انتقال داده شده در (۳-۴۱) و (۳-۴۲)).

سیگنال خروجی هر فیلتر، ضرب می شوند (نتیجه حاصل، توان فلیکر لحظه ای  $\Pi[n]$  می باشد) و متوسط گیری می شود تا  $\Pi$  به دست آید.

قبل از نشان دادن نتیجه، سیگنال خروجی فیلتر متوسط گیری مقیاس بندی می شود تا نتیجه درست به دست آید.



شکل ۳-۲۰: مدل simulink برای روش اندازه گیری ۳

۶ مورد شبیه سازی متفاوت انجام شده است (جدول ۳-۳ را ببینید). ۳ شبیه سازی با مدولاسیون سطح بالا (20%) انجام شده و ۳ مورد بقیه با مدولاسیون سطح پایین (0.25%). برای هر سطح

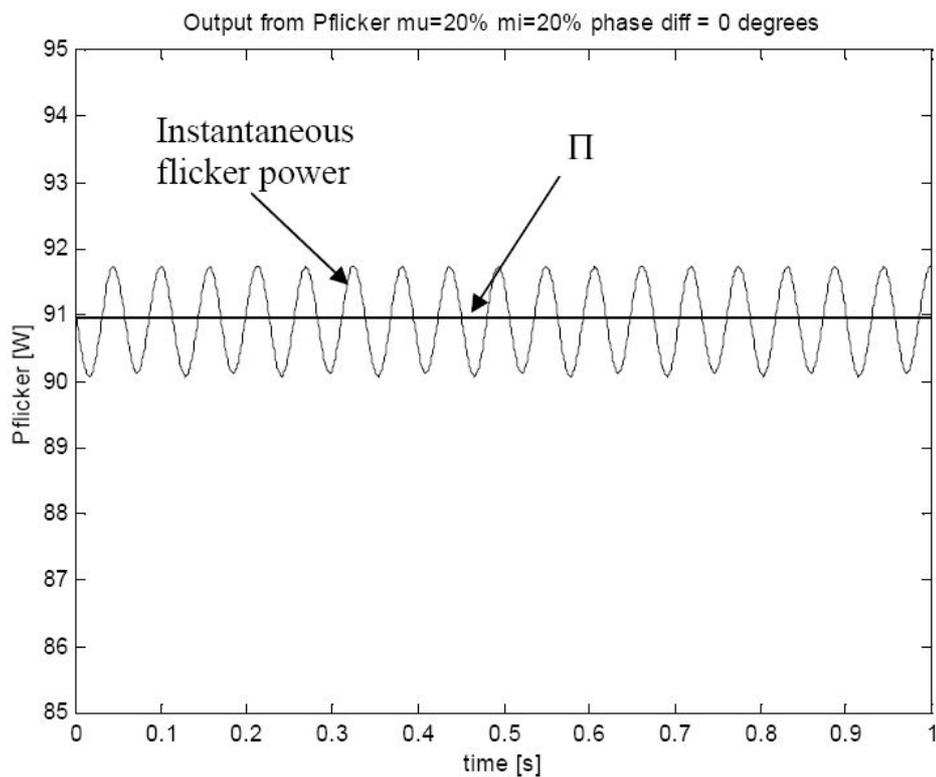
مدولاسیون، سه اختلاف فاز متفاوت (۰، ۹۰ و ۱۸۰ درجه) استفاده شده است. نتایج شبیه سازی ها در جدول ۳-۳ نشان داده شده است. مقداری خطا در نتایج دیده می شود.  
جدول ۳-۳: نتایج شبیه سازی روش اندازه گیری ۳

Measurement method 3			
Sim-ulation No.	Voltage: Carrier ampl. / mod. % / mod. freq / $\phi_u$ / Current: Carrier ampl. / mod. % / mod. freq / $\phi_i$ /	$\Pi$ [W] Calculated results/ simulated results/ relative error	Figure No.
3.1	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$	92W / 91W / 1.1%	3-21
3.2	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 90^\circ$	0.0W / 0.0W / 0.0%	3-22
3.3	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 20\% / 8.8 \text{ Hz} / 180^\circ$	-92W / -91W / -1.1%	3-23
3.4	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$	14.4mW / 14.2mW / -1.4%	3-24
3.5	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 90^\circ$	0.0W / 0.0W / 0.0%	3-25
3.6	Voltage : $\sqrt{2} \cdot 230V / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 0^\circ$ Current : $\sqrt{2} \cdot 10A / 0.25\% / 8.8 \text{ Hz} / 180^\circ$	-14.4mW / -14.2mW / -1.4 %	3-26

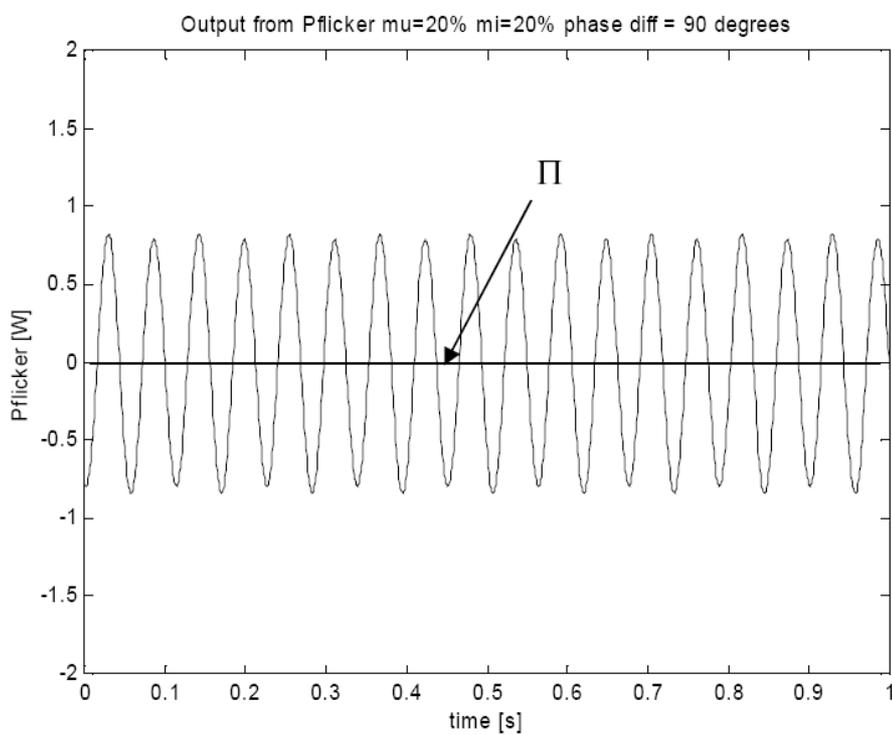
دو عامل عمده در کل خطا ها وجود دارد: اولین عامل، از عمل دمدولاسیون نتیجه می شود و دومین عامل از طیف اندازه فیلتر های استفاده شده نشات می گیرد. خطای ایجاد شده از عمل دمدولاسیون در بخش قبل، مورد بحث قرار گرفت. عامل دوم خطا نیز به این دلیل است که اندازه پاسخ فیلتر در فرکانس ۸/۸ هرتز، دقیقا برابر ۱ نیست.

آزمایش طیف اندازه مربوط به زنجیره فیلتر Cas cade با تابع انتقال (۳-۴۱) و (۳-۴۲)، اندازه را به جای ۱ عدد ۰/۹۸۴ نشان می دهد. اگر یک جبران سازی برای این خطا انجام شود یک نتیجه کاملا نزدیک به نتایج تئوری به دست می آید. شکل های ۳-۲۱ تا ۳-۲۶ توان فلیکر محاسبه شده برای هر شبیه سازی را نشان می دهد.

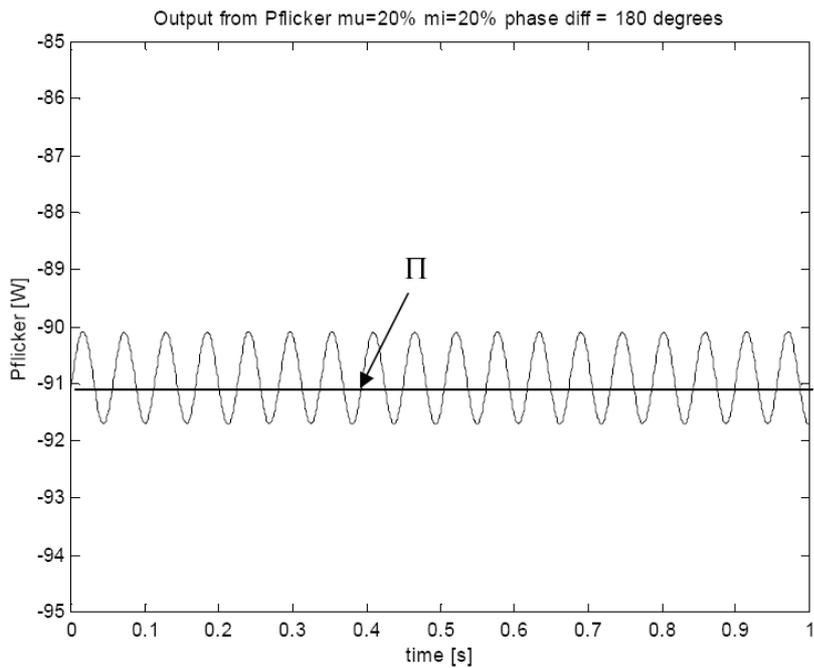
به دلیل اینکه فیلتر متوسط گیری به طور کامل، توان فلیکر لحظه ای  $\Pi[n]$  را تضعیف نمی کند، یک عنصر سیگنال کوچک توان فلیکر لحظه ای، سوار بر مقدار متوسط نشان داده شده است. این موضوع به عنوان یک نوسان سینوسی در شکل های ۳-۲۱ تا ۳-۲۶ دیده می شود.



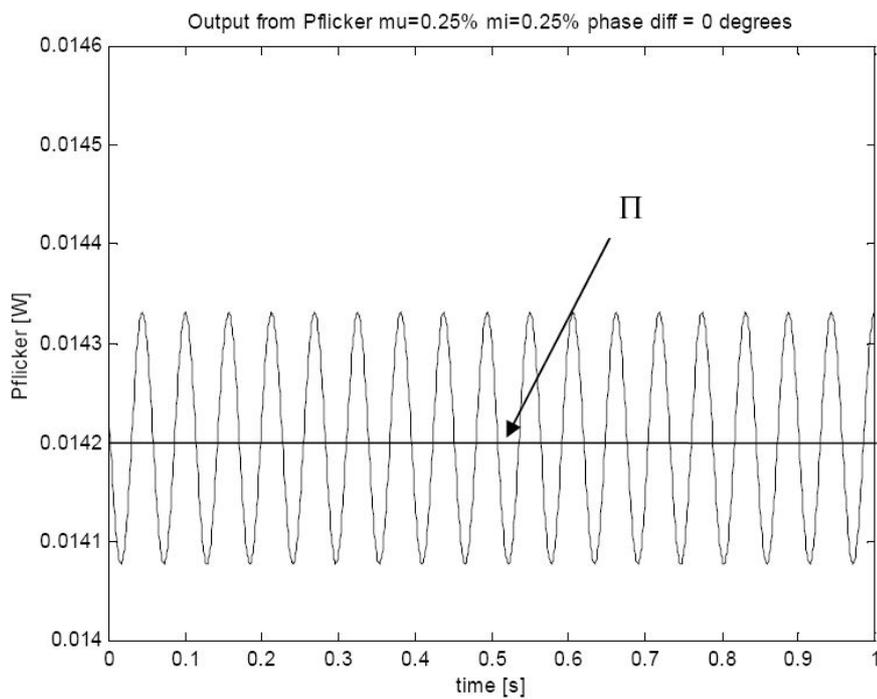
شکل ۳-۲۱: سیگنال خروجی شبیه سازی ۱-۳ ( $\Pi=91\text{ w}$ )



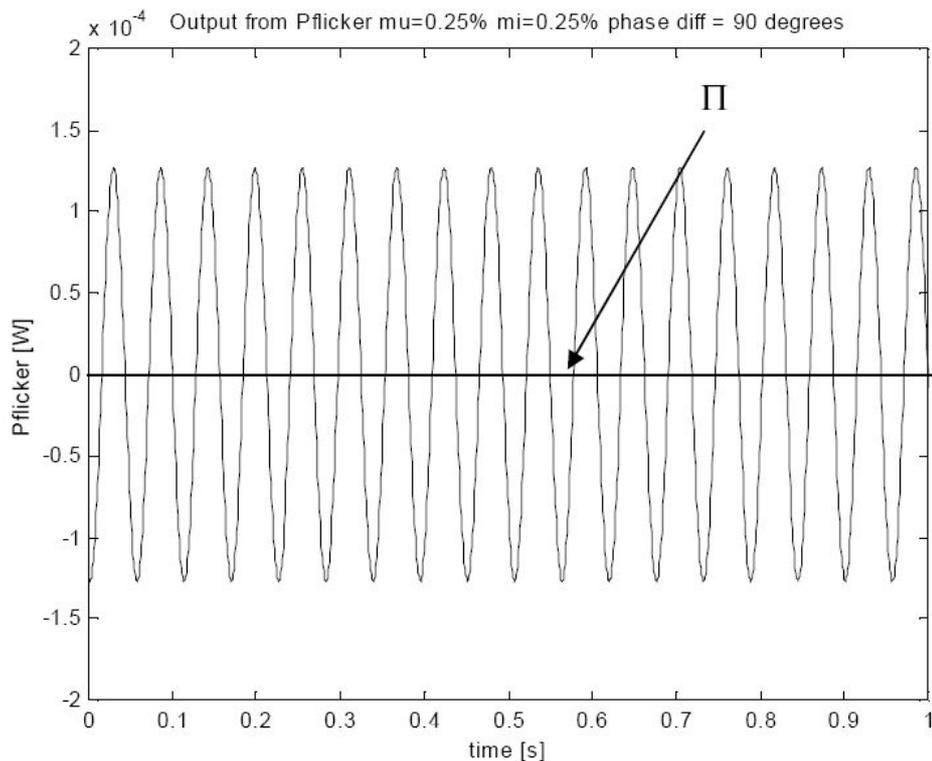
شکل ۳-۲۲: سیگنال خروجی شبیه سازی ۲-۳ ( $\Pi=0\text{ w}$ )



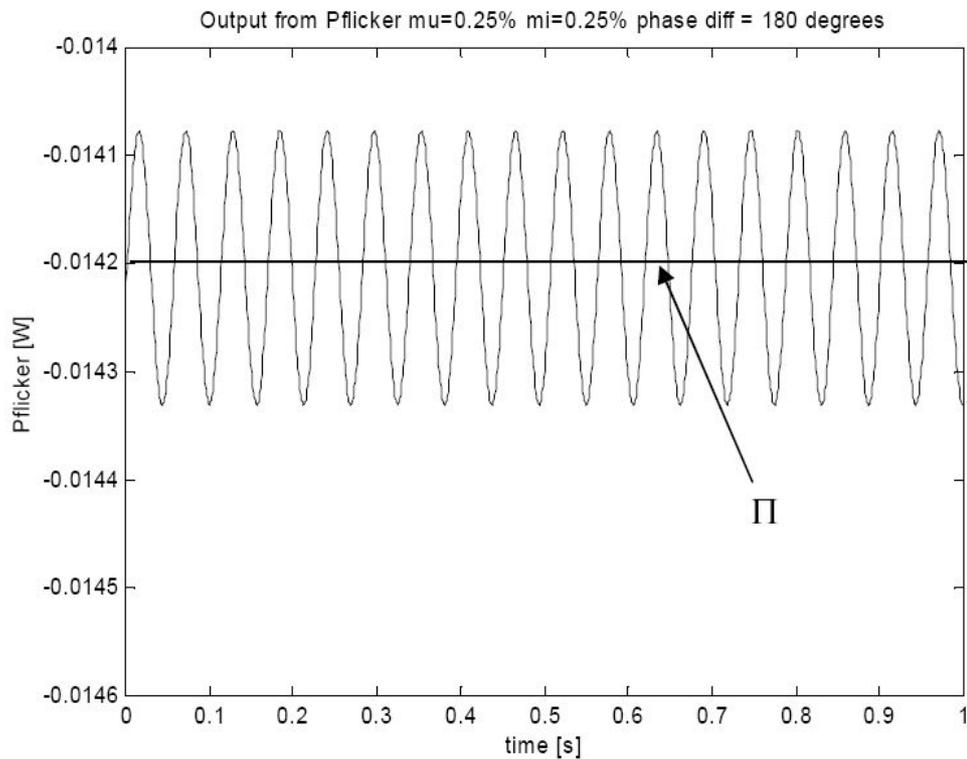
شکل ۳-۲۳: سیگنال خروجی شبیه سازی ۳-۳ ( $\Pi=-91$  w)



شکل ۳-۲۴: سیگنال خروجی شبیه سازی ۳-۳ ( $\Pi=14.2$  mw)



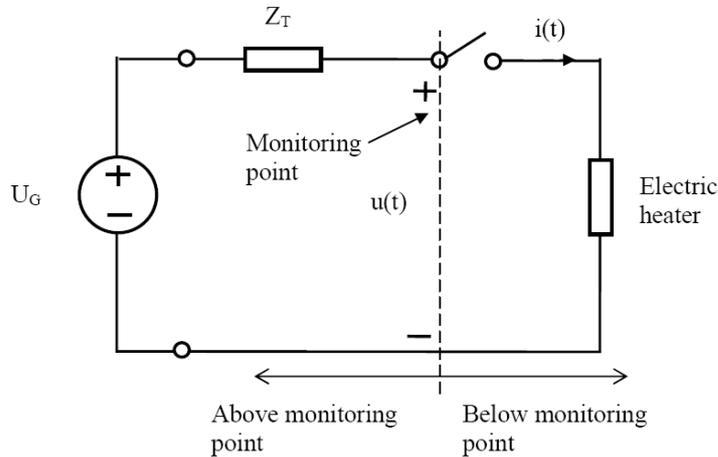
شکل ۳-۲۵: سیگنال خروجی شبیه سازی ۳-۳ ( $\Pi=0$  w)



شکل ۳-۲۶: سیگنال خروجی شبیه سازی ۳-۳ ( $\Pi=-14.2$  mw)

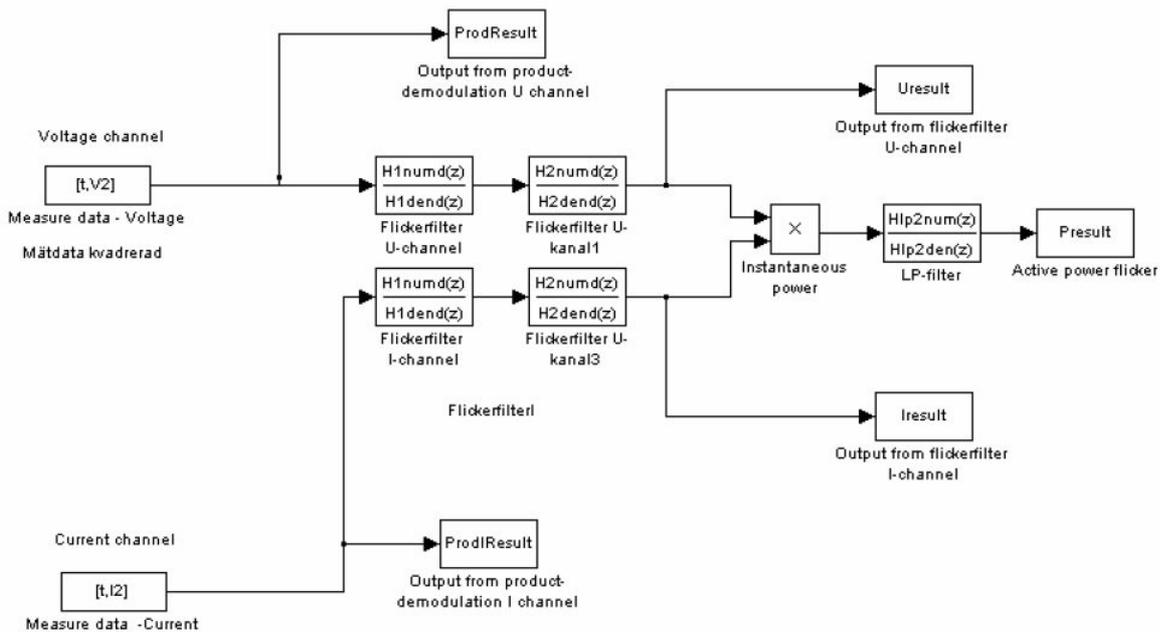
### ۳-۷-۳-۳- آزمایش عملی روی یک بار ON-OFF

یک آزمایش بسیار ابتدایی روی یک هیتر الکتریکی 2 KW انجام شده است. نحوه آزمایش در شکل ۲۷-۳ نشان داده شده است.



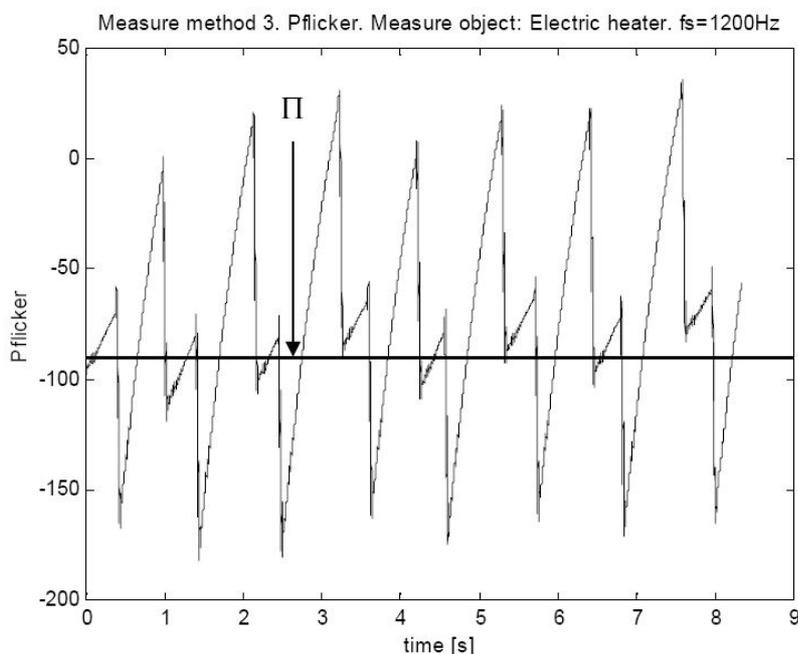
شکل ۲۷-۳: مدار معادل مدولاسیون on-off بار مقاومتی

بار به وسیله یک کلید (با مانور قطع و وصل پریودیک با فرکانس طیف فلیکر) به منبع وصل شده است. به منظور محاسبه توان فلیکر  $\Pi$ ، یک مدل در simulink با داده های اندازه گیری ورودی ارائه شده است (شکل ۲۸-۳).



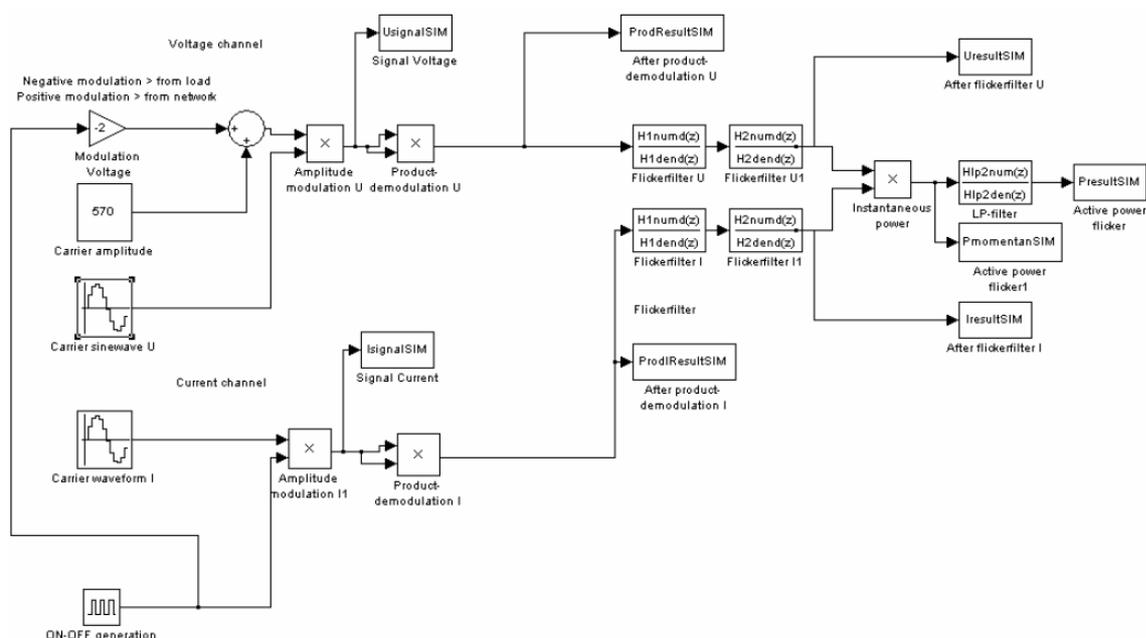
شکل ۲۸-۳: مدل ایجاد شده در محیط simulink به منظور محاسبه توان فلیکر تکفاز مربوط به بار مقاومتی

شکل موج های داده های  $u[n]$  و  $i[n]$  به روش دمدولاسیون مربعی، بازیابی شده اند. از آنجا که منبع فلیکر در پایین نقطه مشاهده قرار گرفته، انتظار داریم که توان فلیکر، منفی باشد که با مشاهده نتایج، مشخص می شود که نتایج به دست آمده با نتایج تئوری همخوانی دارد (شکل ۳-۲۹).



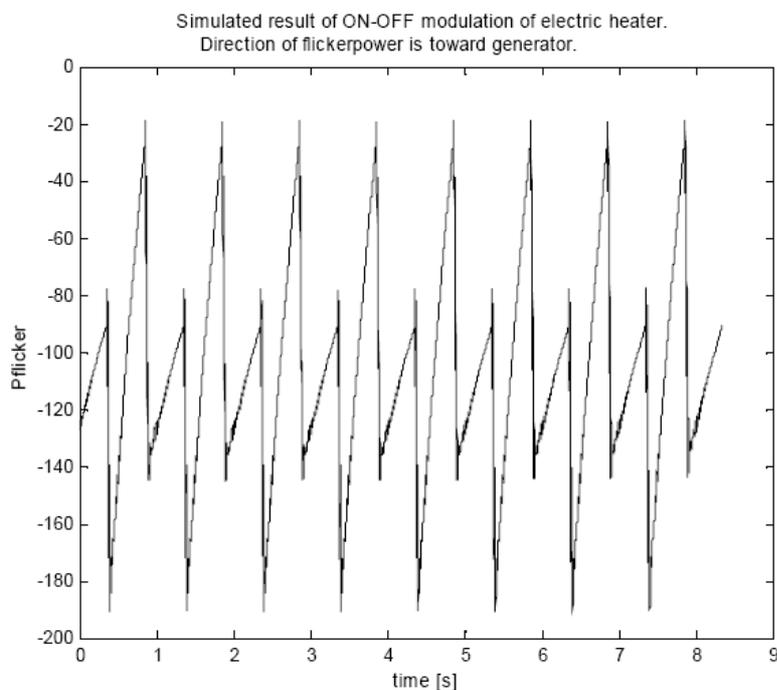
شکل ۳-۲۹: توان فلیکر محاسبه شده به روش ۳ مربوط به مدار on-off بار مقاومتی

شکل ۳-۳۰ مدل شبیه سازی شده آزمایش عملی بار on-off را نشان می دهد.

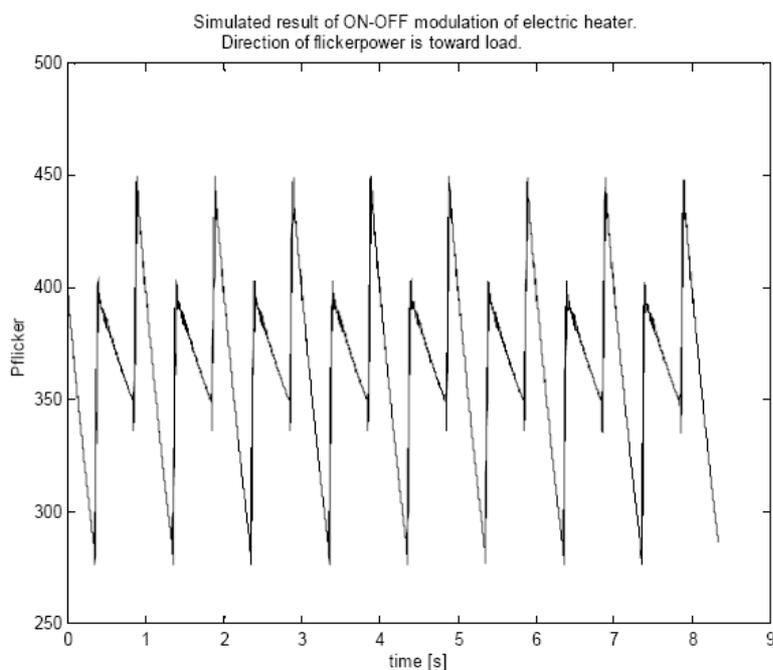


شکل ۳-۳۰: مدل شبیه سازی شده بار on-off

در این مدل، یک سیگنال ژنراتور موج مربعی (۱ و ۰ با دیوتی سایکل ۵۰ درصد) توالی on-off را شبیه سازی می کند (قسمت پایین سمت چپ شکل ۳-۳۰). موج مربعی در سیگنال جریان ضرب می شود. همچنین یک ژنراتور موج مربعی مشابه برای مدولاسیون سیگنال ولتاژ مورد استفاده قرار می گیرد. نتایج شبیه سازی در شکل های ۳-۳۱ و ۳-۳۲ نشان داده شده اند.



شکل ۳-۳۱: نتایج توان فلیکر بار on-off با استفاده از شبیه سازی (۱۸۰ درجه اختلاف فاز بین پوش ولتاژ و جریان)



شکل ۳-۳۲: نتایج توان فلیکر بار on-off با استفاده از شبیه سازی (پوش ولتاژ و جریان همفاز)

شکل ۳-۳۱ بسیار شبیه شکل ۳-۲۹ است. این نتیجه مورد انتظار است زیرا سیگنال مدوله ولتاژ، منفی انتخاب شده و فرکانس موج مربعی نزدیک فرکانس مدولاسیون on-off عملی انتخاب شده است.

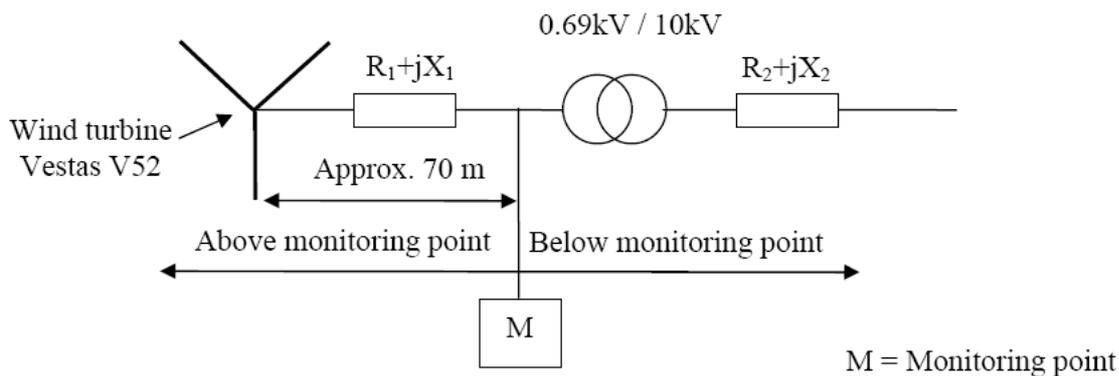
در این شبیه سازی اول، پوش های ولتاژ و جریان، با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز انتخاب شده اند (یعنی توان فلیکر منفی).

در شبیه سازی دوم، سیگنال موج مربعی که برای مدوله کردن سیگنال ولتاژ به کار رفته در (-1) ضرب می شود که به معنی همفاز بودن پوش ولتاژ و جریان می باشد و توان فلیکر مثبت تولید می شود. نتیجه در شکل ۳-۳۲ نشان داده شده است.

نتیجه: آزمایش عملی و همچنین شبیه سازی برای بار on-off نشان داد که با استفاده از روش ۳ می توان جهت انتشار فلیکر را تشخیص داد.

### ۳-۳-۴-۷-۳-۳- اندازه گیری های عملی در یک توربین بادی

اندازه گیری های عملی بر طبق روش ۳ در نقطه اتصال یک توربین بادی به شبکه، انجام شده است. این توربین بادی، دارای توانی بیش از 850 kw تولید می کند و متصل به یک شبکه توزیع 10 kV می باشد (شکل ۳-۳۳).



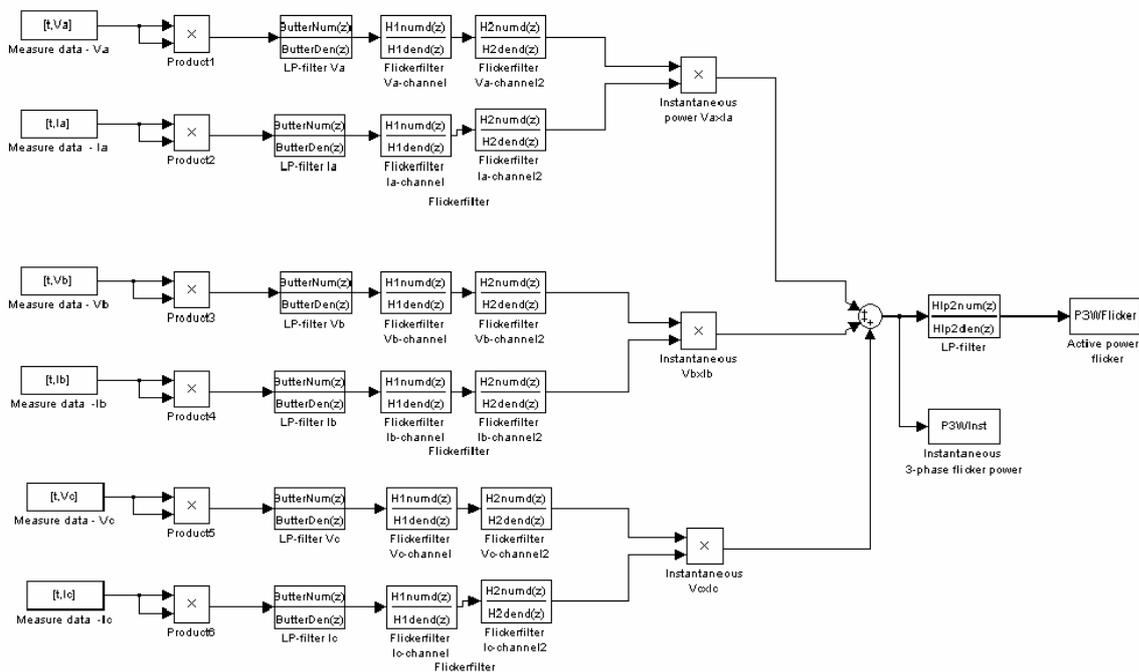
شکل ۳-۳۳: دیاگرام تک خطی در نقطه مشاهده

هدف از اندازه گیری ها، مشخص کردن توان فلیکری است که در نقطه اتصال توربین به شبکه وجود دارد و همچنین هدف دیگر، تعیین جهت منبع فلیکر می باشد.

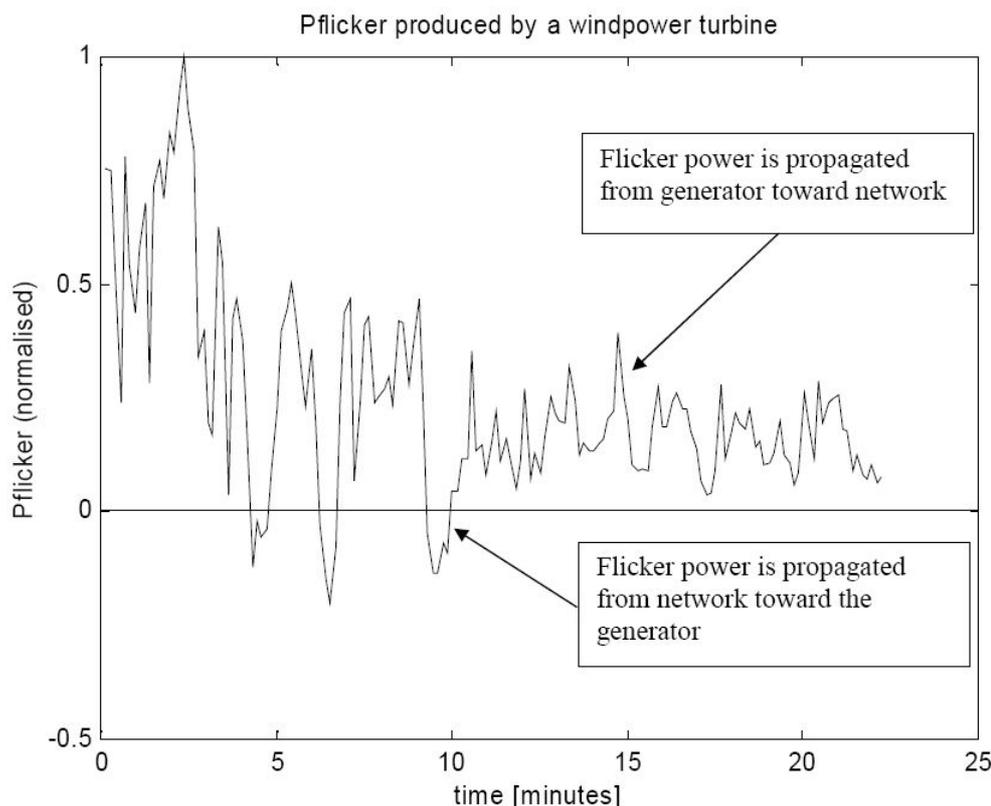
محل قرار گرفتن توربین بادی، یک ناحیه روستایی است و بارهای متصل به توربین بادی، عمدتاً بارهای کشاورزی، صنایع کوچک و خانگی می باشد. بنابراین انتظار می رود که از سمت بار، هیچ فلیکری تولید نشود. اندازه گیری ها در سه کانال ولتاژ و سه کانال جریان انجام شده اند. نقطه مشاهده در سمت ولتاژ پایین ترانسفورماتور، حدوداً در ۷۵ متری توربین بادی قرار دارد. نمونه برداری از ولتاژ و جریان به وسیله دستگاه Unipower Recorder با فرکانس ۱۲۰۰ هرتز انجام شده است. دوره اندازه گیری حدوداً ۲۰ دقیقه بوده که در طی این مدت، توربین در تمام مدت، تولید داشته است.

داده های اندازه گیری شده برای استفاده از مدل simulink شکل ۳-۳۴ به matlab وارد شده تا به روش اندازه گیری ۳ تحلیل شوند. نتایج اندازه گیری، نشان دهنده توان فلیکر مثبت (در بیشتر لحظات) می باشد که به معنی جهت انتشار فلیکر از توربین (ژنراتور) به سمت بار می باشد (شکل ۳-۳۵).

نتیجه: توربین بادی یک منبع تولید فلیکر است که به شبکه 10 kV، فلیکر تزریق می کند.



شکل ۳-۳۴: مدل طراحی شده در محیط simulink برای محاسبه توان فلیکر سه فاز در نقطه اتصال توربین به شبکه



شکل ۳-۳۵: توان فلیکر محاسبه شده در نقطه اتصال توربین بادی به شبکه

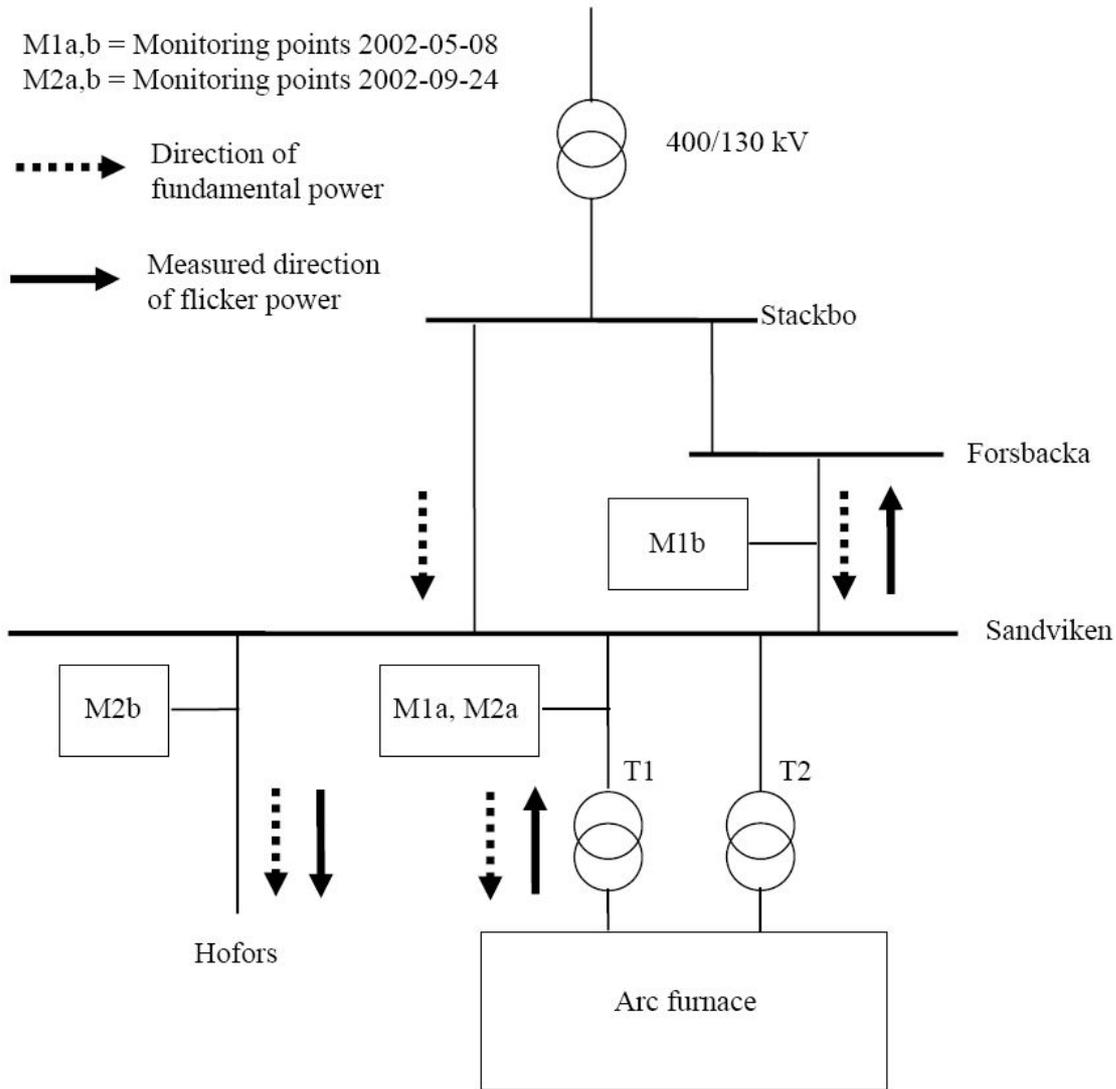
### ۳-۳-۷-۵- اندازه گیری های عملی در یک ایستگاه 130 kV

دو نمونه اندازه گیری در یک ایستگاه 130 kV واقع در Sandviken سوئد انجام شده است. دو هدف اصلی از این اندازه گیری ها به صورت زیر است:

- (۱) برای مطالعه قابلیت های روش اندازه گیری ۳
- (۲) برای مطالعه جهت انتشار فلیکر در شبکه، نزدیک به کوره قوس الکتریک موجود در Sandviken.

شکل ۳-۳۶ دیاگرام تک خطی ایستگاه فشار قوی مورد مطالعه را نشان می دهد. ایستگاه، شامل خطوط انتقال ورودی به ایستگاه از سمت Stackbo و از سمت Forsbacka، خطوط انتقال خروجی تغذیه کننده روستای Hofors و کوره قوس الکتریک مربوط به کارخانه فولاد سازی در Sandviken می باشد.

مشخص است که نقطه مشاهده باید در محل اتصال کوره قوس الکتریک باشد (نقاط M1a و M2a و M2b) و منبع فلیکر نسبت به این نقاط در سمت پایین قرار دارد. بنابراین انتظار داریم توان فلیکر منفی باشد



شکل ۳-۳۶: دیاگرام تک خطی شبکه مورد مطالعه

در نقطه مشاهده M2b، موقعیت، برعکس می شود زیرا خط انتقال در حال تغذیه روستا می باشد. بنابراین منبع فلیکر در بالاتر از (از نظر سطح ولتاژ) نقطه مشاهده قرار دارد و در نتیجه انتظار داریم که توان فلیکر مثبت باشد اما موقعیت پیچیده تری نیز وجود دارد و آن وجود یک کارخانه فولاد دیگر در Hofors می باشد. بنابراین، وقتی هر دو کارخانه فولاد در حال فعالیت هستند هر دو در توان فلیکر اندازه گیری شده در نقاط M2b و M1b مؤثرند. اما به دلیل اینکه کارخانه فولاد sandviken

بسیار نزدیکتر به ایستگاه 130 kV می باشد (تنها چند صد متر) نسبت به کارخانه فولاد Hofors (با فاصله حدودا 25 km)، بنابراین بخش عمده توان فلیکر اندازه گیری شده در نقطه M2b (و M1b) به وسیله کارخانه موجود در Sandviken تولید می شود.

برای اندازه گیری ها از دو دستگاه Unipower Recorder استفاده شده است.

### ۳-۳-۶- نتایج اندازه گیری M1 در ۸ می ۲۰۰۲

اولین اندازه گیری های عملی در ۸ می ۲۰۰۲ در نقاط M1a و M1b (شکل ۳-۳۶) انجام شد. سه ولتاژ فاز به نول و سه جریان خط به طور همزمان در هر نقطه ثبت شده اند. نتایج اندازه گیری ها در شکل های ۳-۳۷ و ۳-۳۸ نشان داده شده اند.

توان فلیکر جاری شده در خط انتقال Forsbacka در شکل ۳-۳۷ و توان فلیکر جاری شده در خط انتقال به سمت کوره قوس الکتریک در شکل ۳-۳۸ نشان داده شده است.

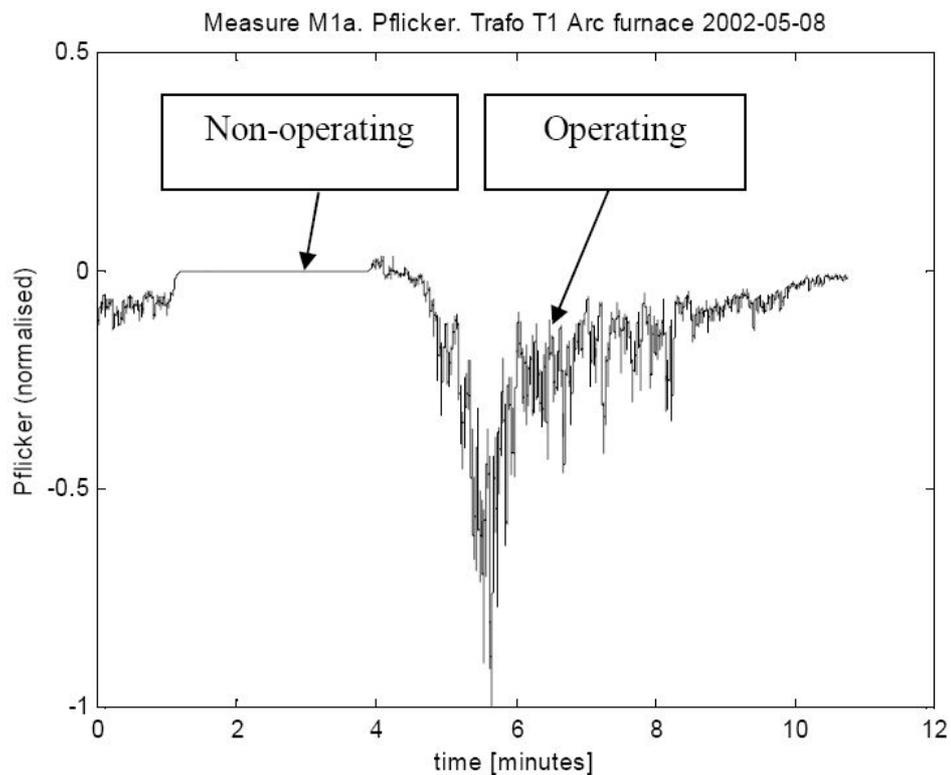
همانطور که نتایج نشان می دهند، توان فلیکر اندازه گیری شده دقیقا همان نتایج مورد انتظار است زیرا منبع فلیکر برای هر دو نقطه در پایین نقطه قرار دارد و توان فلیکر اندازه گیری شده در هر دو نقطه منفی است.

با دقت در دو شکل ۳-۳۷ و ۳-۳۸ توان فلیکر در هر دو نقطه مشابهند. به علاوه، وقتی کوره قوس الکتریک غیر فعال است، توان فلیکر نزدیک به صفر است که این همان نتیجه مورد انتظار است.

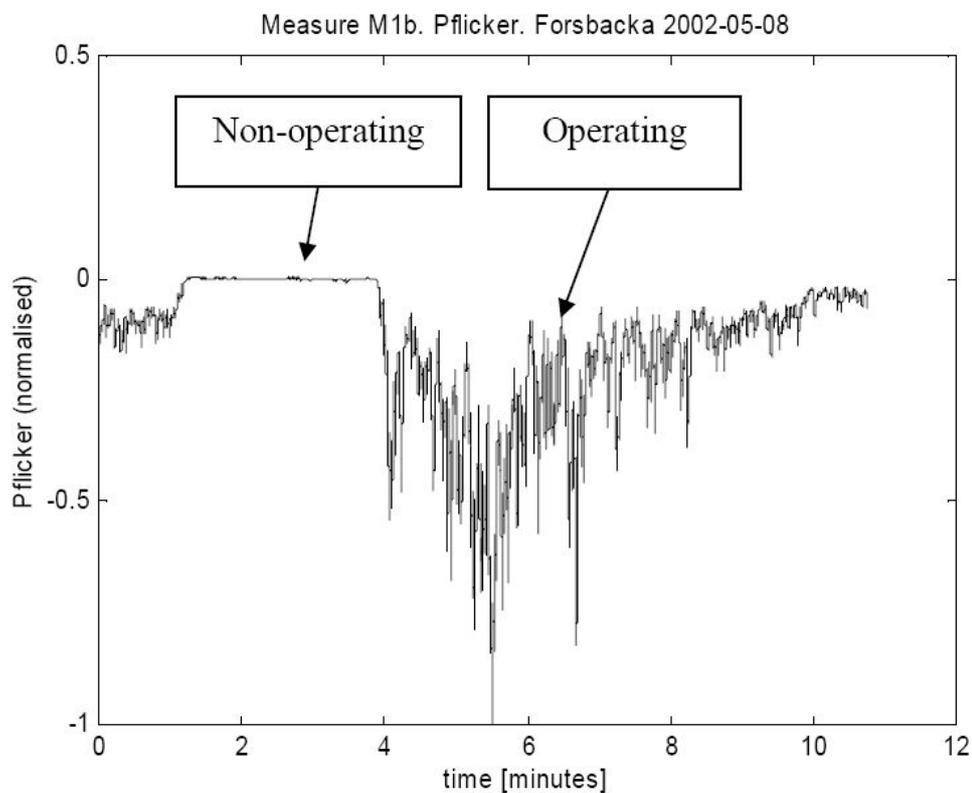
شکل موج های جریان و ولتاژ که داده های ورودی به روش اندازه گیری ۳ هستند در مرجع [۱۱] آمده است.

در طی دوره عدم فعالیت کوره قوس الکتریک، اندازه جریان و ولتاژ، ثابت هستند. در نتیجه توان فلیکر در این دوره صفر است.

در طی دوره فعالیت کوره، اندازه های پوش ولتاژ و جریان متغیرند و توان فلیکر تولید می شود که این همان نتیجه مورد انتظار است.



شکل ۳-۳۷: توان فلیکر سه فاز اندازه گیری شده در نقطه M1a

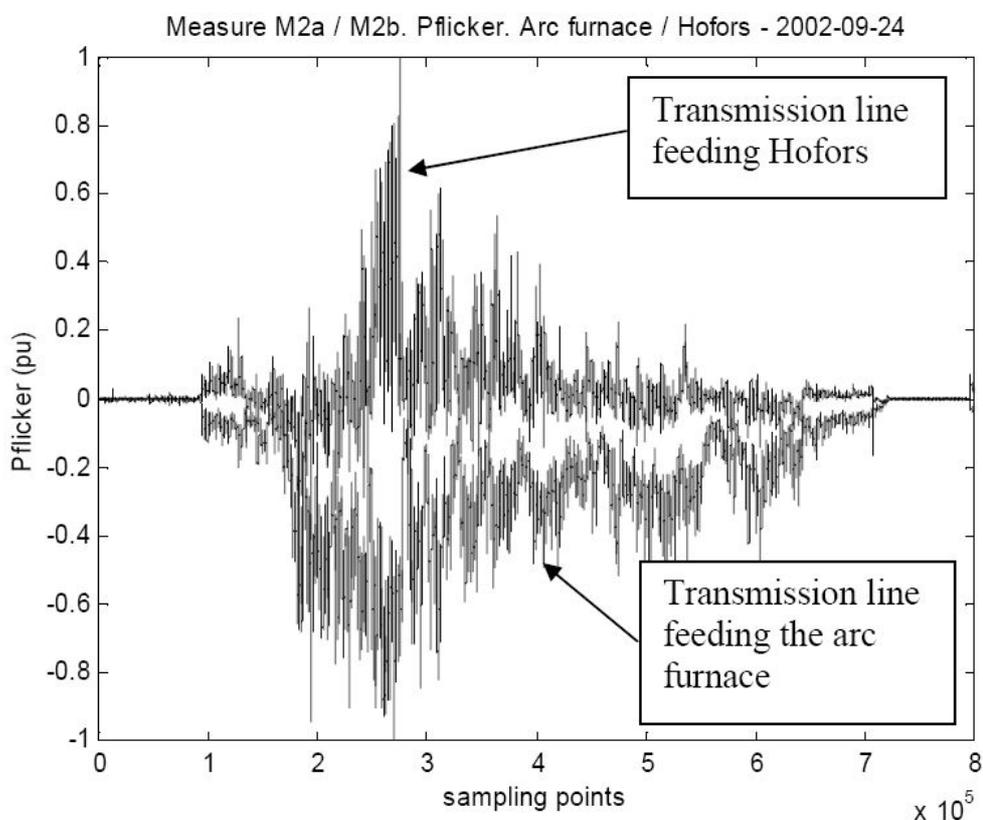


شکل ۳-۳۸: توان فلیکر سه فاز اندازه گیری شده در نقطه M1b

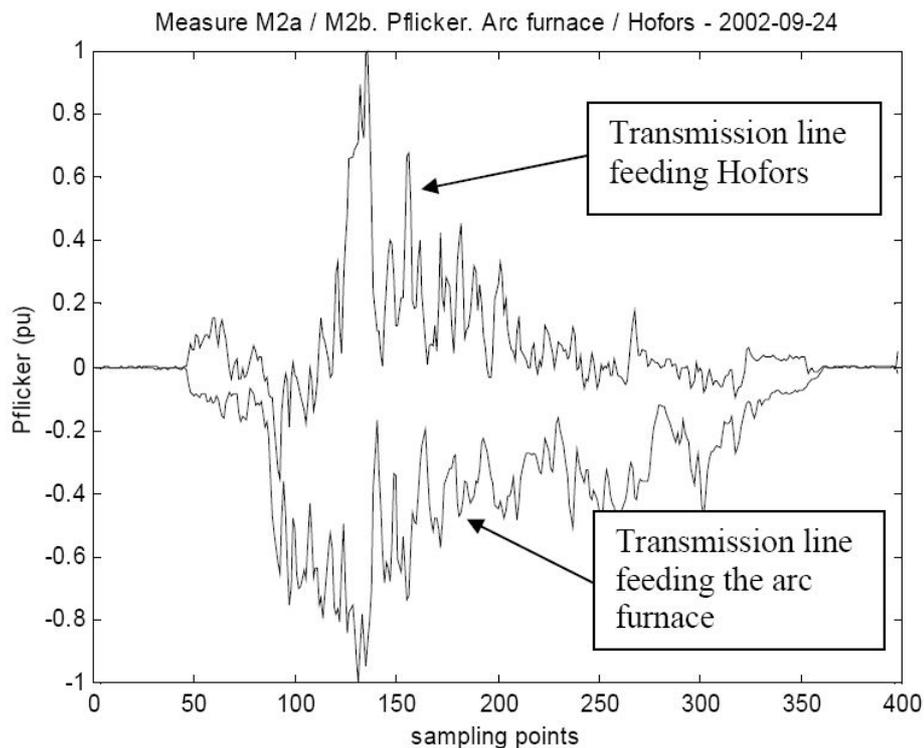
### ۳-۷-۳-۷- نتایج اندازه گیری M2 در ۲۴ سپتامبر ۲۰۰۲

اندازه گیری دوم در Sandviken دقیقاً مشابه اندازه گیری های اول می باشد. دو نقطه مشاهده انتخاب شده M2a همان نقطه M1a در اندازه گیری اول می باشد. نقطه مشاهده M2b (خط خروجی به Hofors) در نقطه ای که توان فلیکر انتظار می رود مثبت باشد، قرار دارد (وقتی که کوره قوس الکتریکی Sandviken فعال باشد).

نتیجه اندازه گیری ها در شکل های ۳-۳۹ و ۳-۴۰ نشان داده شده است. در شکل های ۳-۳۹ و ۳-۴۰ توان فلیکر در نقطه M2a و M2b در یک شکل رسم شده اند. در شکل ۳-۴۰ اطلاعات به وسیله یک محاسبه متوسط با استفاده از ۲۰۰۰ نقطه نمونه گیری، هموار شده اند. مشاهده وابستگی بین دو نمودار در شکل های ۳-۳۹ و ۳-۴۰ جالب توجه است. در طی فعالیت کوره قوس الکتریک، توان فلیکر در نقطه M2a منفی به دست آمده است. در همین زمان، توان فلیکر در نقطه M2b مثبت شده است. بنابراین منبع فلیکر نسبت به نقطه M2b در سطح بالاتر قرار دارد و نسبت به M2a در سطح پایین تر قرار دارد.



شکل ۳-۳۹: توان فلیکر سه فاز محاسبه شده در نقاط M2a و M2b



شکل ۳-۴۰: توان فلیکر سه فاز هموار شده محاسبه شده در نقاط M2a و M2b

شکل ۳-۳۷ نشان می دهد که توان فلیکر از سمت کوره قوس الکتریک به خط انتقال سمت Hofors انتشار می یابد که این همان نتیجه مورد انتظار است. اما شکل ۳-۴۰ نشان می دهد که توان فلیکر در نقطه مربوط به خط انتقال Hofors در بازه هایی منفی شده و این به معنی این است که در این بازه ها، فلیکر از سمت روستای Hofors به سمت ایستگاه انتشار می یابد. توجیه این پدیده به این صورت است که در این بازه ها توان فلیکر مربوط به کوره قوس الکتریک موجود در Hofors نسبت به توان فلیکر کوره Sandviken غالب شده است. این موضوع با تحقیق اینکه در این بازه ها کوره Hofors در حال فعالیت بوده ثابت می شود. اما توان فلیکر منفی M2a (در بیشتر زمان ها) با مثبت بودن توان فلیکر در M2b همخوانی دارد.

نتیجه: کوره قوس الکتریک Sandviken منبع فلیکر غالب در این آزمایش می باشد.

### ۳-۳-۷-۸- نتیجه گیری و مقایسه روشهای توان فلیکر

اندازه گیری های عملی انجام شده، قابلیت اطمینان بالای روش ۳ را نشان می دهد. در همه آزمایشات انجام شده، نتایج به دست آمده بر طبق انتظار بود. مطالعه شکل موج های ولتاژ و جریان به موازات مطالعه توان فلیکر جالب توجه است. برای مثال در اندازه گیری اول (M1)، آشکار است که

توان فلیکر در M1a و M1b کاملاً مساوی هستند زیرا هر دو شکل موج جریان و ولتاژ، مشابه به نظر می‌رسند. از طرف دیگر اگر به شکل موج های آزمایش دوم توجه کنیم، شکل موج های جریان در M2a و M2b کاملاً با یکدیگر متفاوتند. بنابراین پوش های ولتاژ و جریان اندازه گیری شده در علامت توان فلیکر از اهمیت بالایی برخوردارند. نشان داده شد که محاسبه توان فلیکر یک راه بسیار مناسب برای تشخیص منبع فلیکر در شبکه قدرت است. روش های اندازه گیری ارائه شده، یک بعد جدید در فهم اینکه چگونه یک منبع فلیکر، شبکه را آلوده (به فلیکر) می‌کند را ارائه می‌کند.

### ۳-۴- نتیجه گیری و مقایسه دو روش توان فلیکر و شیب ولتاژ - جریان

با مقایسه دو روش ارائه شده در بخش قبل، مشاهده می‌شود که پایه و اساس دو روش فوق، کاملاً مشابه یکدیگر است و با وجود اینکه هر دو روش دارای نقطه ضعف هایی هستند ولی کلاً روش توان فلیکر دارای نقطه ضعف های کمتری نسبت به روش شیب ولتاژ- جریان می‌باشد. در زیر ابتدا نقطه ضعف های مشترک مربوط به هر دو روش، بررسی می‌شود، سپس، مزیت های روش توان فلیکر نسبت به روش شیب، بیان می‌شود.

#### ۳-۴-۱- نقاط ضعف مشترک هر دو روش

۱) در مورد بارهای با ضریب قدرت پیش فاز، در هر دو روش، احتمال جهت یابی اشتباه وجود دارد (مخصوصاً اگر ضریب قدرت خیلی کوچکتر از ۱ باشد). دلیل این امر کاملاً واضح است چون اساس این دو روش بر پایه تنظیم ولتاژ منفی است در حالیکه در بارهای پیش فاز، احتمال اینکه تنظیم ولتاژ، مثبت باشد وجود دارد. اگر چه وجود چنین بارهایی در شبکه به ندرت اتفاق می‌افتد ولی به هر حال این نکته یکی از نقاط ضعف هر دو روش فوق است.

۲) هر دو روش، فقط در شبکه های شعاعی کاربرد دارند و در شبکه های با تغذیه چندگانه (مخصوصاً اگر دارای بیش از یک منبع فلیکر باشند) به درستی جواب نمی‌دهند.

۳) در هر دو روش، فقط جهت انتشار فلیکر، تشخیص داده می‌شود و تعداد منابع فلیکر موجود، مشخص نمی‌شود.

### ۳-۴-۲- مقایسه دو روش

- در روش شیب ولتاژ- جریان، به دلیل وجود اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان در حالت واقعی، افزایش و کاهش ولتاژ و جریان به صورت همزمان اتفاق نمی افتد. بنابراین در بعضی مواقع که این اختلاف فاز، نزدیک ۹۰ درجه باشد، احتمال خطای این روش، بسیار زیاد می شود. در حالیکه در روش توان فلیکر، چون پوش ولتاژ و جریان را در نظر می گیرد این خطا وجود ندارد. اگر چه چنین حالتی در عمل به ندرت اتفاق می افتد ولی می توان از آن به عنوان یکی از مزیت های روش توان فلیکر نسبت به روش شیب ولتاژ- جریان، نام برد.
- روش شیب ولتاژ- جریان، هیچ تفاوتی بین فرکانس های مختلف فلیکر تولیدی قائل نمی شود؛ در حالیکه در روش توان فلیکر، منحنی وزن طیف فرکانسی نیز در نظر گرفته می شود. به عبارت دیگر، در روش شیب، تنها علامت شیب ولتاژ نسبت به جریان، تعیین کننده است؛ در حالیکه در روش توان فلیکر، اندازه توان فلیکر نیز بامعنی است و هر چه این مقدار در یک نقطه بیشتر شود نشان دهنده شدت فلیکر بیشتر است و بالعکس، هر چه کمتر باشد بیانگر شدت فلیکر کمتر است.

---

---

## فصل چهارم:

یافتن منابع فلیکر در یک سیستم قدرت با تغذیه

چندگانه

---

---

## ۴-۱- مقدمه

امروزه، در بیشتر مناطق دنیا، به منظور افزایش قابلیت اطمینان، شبکه های قدرت کوچکتر را به یکدیگر متصل می کنند. این کار باعث می شود که کل شبکه از چندین نقطه تغذیه شود و اگر مشکلی برای یکی از منابع تغذیه پیش بیاید بقیه منابع، انرژی مورد نیاز شبکه را تامین کنند؛ در نتیجه قابلیت اطمینان کل شبکه ارتقا می یابد. اگر چه این عمل، بدون شک قابلیت اطمینان شبکه را از اهمیت زیادی برخوردار است بهبود می بخشد؛ ولی یک عیب نیز دارد و آن، انتشار یافتن فلیکر تولیدی توسط منابع مختلف تولید فلیکر در کل شبکه می باشد.

در چنین شبکه هایی که منابع مختلف تولید فلیکر، در شبکه وجود دارند، یافتن منابع فلیکری که تاثیر بیشتری روی بارهای خطی موجود در شبکه می گذارند، از اهمیت خاصی برخوردار است. تا کنون، کار های انجام شده در زمینه یافتن منابع فلیکر، بیشتر مربوط به شبکه های شعاعی تغذیه شده از یک طرف بوده و شبکه های با تغذیه چند گانه را در بر نمی گیرد. همانگونه که در فصل قبل ذکر شد، دو روش " شیب ولتاژ- جریان" و "توان فلیکر"، از این ایده استفاده می کنند که:

(۱) اگر منبع فلیکر، بعد از نقطه اندازه گیری (یعنی در سمت بار) قرار داشته باشد؛ آنگاه شیب ولتاژ- جریان منفی است (یا توان فلیکر منفی است)؛ به عبارت دیگر با افزایش جریان، ولتاژ، کاهش می یابد و با کاهش جریان، ولتاژ افزایش می یابد.

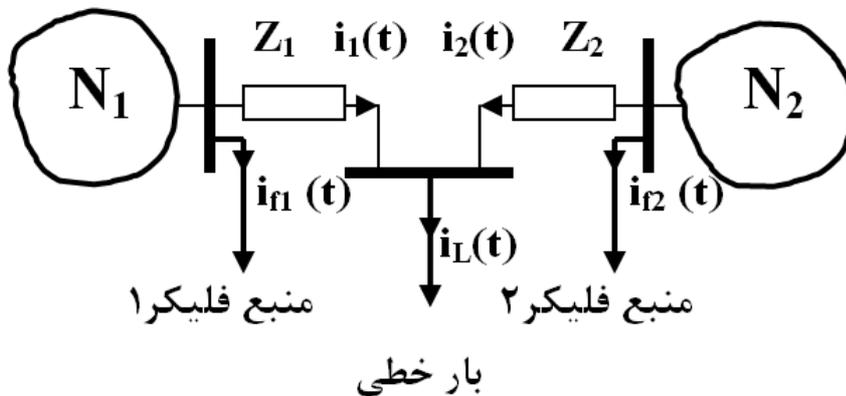
(۲) اگر منبع فلیکر، قبل از نقطه اندازه گیری باشد؛ آنگاه شیب ولتاژ- جریان مثبت است (یا توان فلیکر مثبت است)؛ به عبارت دیگر با افزایش جریان، ولتاژ نیز افزایش می یابد و با کاهش جریان، ولتاژ نیز کاهش می یابد. خلاصه، هرگاه جهت انتشار فلیکر هم جهت با توان اکتیو شبکه باشد؛ شیب ولتاژ- جریان مثبت (یا توان فلیکر مثبت)؛ و هرگاه جهت انتشار فلیکر در خلاف جهت توان اکتیو شبکه باشد، شیب ولتاژ- جریان منفی (یا توان فلیکر منفی) است. حال، این سؤال اساسی مطرح

است که: آیا در شبکه های غیر شعاعی که از دو یا چند نقطه تغذیه می شوند نیز این روش ها جواب درستی می دهند یا خیر؟

در این فصل قصد داریم تاثیر دو یا چند منبع فلیکر را بر یک بار خطی در یک شبکه حلقوی تغذیه شده از دو طرف، بررسی کنیم و با تعمیم نتایج به دست آمده، روش های قبل را طوری اصلاح کنیم که قابل کاربرد در اینگونه شبکه ها نیز باشند.

#### ۲-۴- شبکه مورد تحلیل و فرضیات کلی مربوط به آن

برای به دست آوردن نتایج قابل تعمیم، یک شبکه حلقوی را در نظر می گیریم که یک بار خطی را از دو سمت، تغذیه می کند؛ فرض کنیم در دو سمت بار خطی، دو منبع فلیکر وجود دارند که روی این بار خطی تاثیر متقابل دارند (شکل ۴-۱)؛ هدف، تعیین منبع غالب است. منظور از منبع غالب، منبعی است که تاثیر بیشتری روی بار خطی دارد و در نتیجه، عملیات حذف یا کاهش فلیکر ناشی از آن از اهمیت بالاتری برخوردار است.



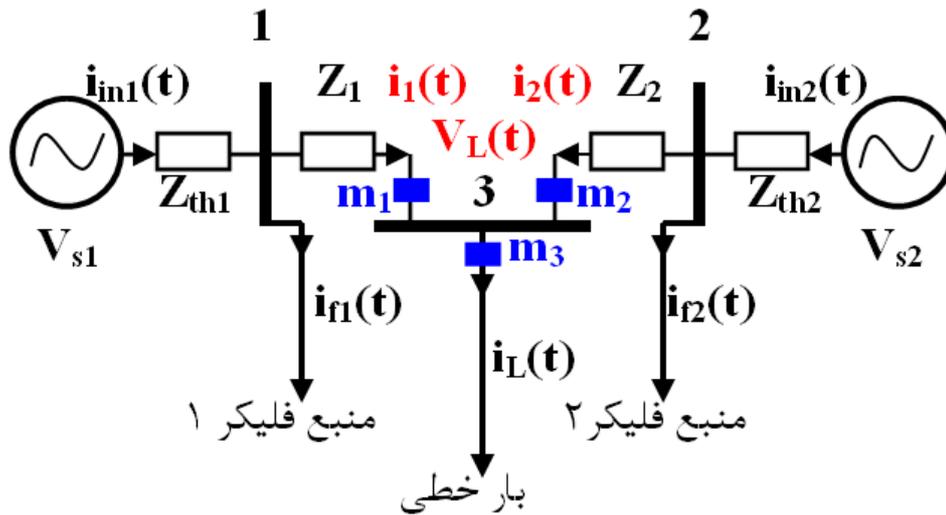
شکل ۴-۱: مدل شبکه مورد تحلیل

برای تحلیل این شبکه، فرضیات کلی زیر را در نظر می گیریم:

- ۱- دو شبکه  $N_1$  و  $N_2$  از منابع تغذیه و بارهای خطی ثابت تشکیل شده اند.
- ۲- منابع فلیکر، امپدانس های متغیر با زمان هستند که هرکدام بین یک مقدار مینیمم و یک مقدار ماکزیمم در تغییرند.
- ۳- بار خطی، یک امپدانس ثابت است.

۴- امپدانس های خطوط در طول دوره تحلیل، ثابت هستند.

در مرحله اول تحلیل شبکه فوق، ابتدا معادل تونن دو شبکه  $N_1$  و  $N_2$  را در مدل قرار می دهیم (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲: مدل ساده شده شبکه مورد تحلیل

حال، چون هدف، بررسی تاثیر متقابل دو منبع فلیکر بر بار خطی می باشد، پس نقاط اندازه گیری، نقاط متصل به باس شماره ۳ که بار خطی به آن متصل است، در نظر گرفته می شود (نقاط  $m_1$ ،  $m_2$  و  $m_3$  در شکل ۲). در واقع تنها داده های مورد نیاز برای تحلیل شبکه، جریان های  $i_1(t)$  و  $i_2(t)$  می باشند. زیرا  $i_L(t)$  و  $V_L(t)$  با معادلات زیر به  $i_1$  و  $i_2$  وابسته اند:

$$i_L(t) = i_1(t) + i_2(t) \quad (۱-۴)$$

$$V_L(t) = i_L(t) \cdot Z_L \quad (۲-۴)$$

اگر بخواهیم با استفاده از تئوری توان فلیکر یا تئوری شیب ولتاژ - جریان، نتیجه اندازه گیریها را پیش بینی کنیم، قاعدتا باید توان فلیکر یا شیب ولتاژ- جریان در هر سه نقطه مورد نظر، مثبت باشد؛ زیرا برای هر سه نقطه، منبع فلیکر در سمت منبع تغذیه قرار دارد، ولی این انتظار، تنها برای نقطه  $m_3$  همیشه برآورده می شود و در مورد دو نقطه  $m_1$  و  $m_2$  بسته به پارامترهای شبکه ممکن است این انتظار برآورده نشود و این به این دلیل است که در حالاتی ممکن است منبع فلیکر شماره ۲ غالب شود و در نتیجه نقطه  $m_1$ ، Downstream شود و یا برعکس اگر منبع فلیکر شماره ۱ غالب شود، آنگاه نقطه  $m_2$ ، Downstream می شود. هدف از این بخش، بررسی حالات ممکن می باشد. برای

این کار بهتر است در ابتدا به جای اینکه مدل واقعی را در نظر بگیریم، مدل مدار را به صورت یک مدار کاملاً DC در نظر بگیریم؛ زیرا در تحلیل DC عملاً تعداد پارامترهای مدار، نصف شده، تحلیل مدار معادل نسبت به حالت AC بسیار ساده تر می شود.

### ۴-۳- تحلیل DC

به منظور تحلیل DC، تمام منابع تغذیه را منبع ولتاژ DC و تمام بارهای خطی و امپدانس های خطوط را مقاومت های ثابت در نظر می گیریم و همچنین منابع فلیکر را مقاومت های متغیر در نظر می گیریم که مقادیر آنها بین یک مقدار مینیمم و یک مقدار ماکزیمم در حال تغییرند. شکل ۳-۴ شمای مدار DC را نشان می دهد. هدف، بررسی تاثیر عناصر مختلف شبکه، در جهت انتشار فلیکر می باشد.

با توجه به اینکه تنها عناصر متغیر در این مدار، مقاومت های متغیر  $R_{f1}$  و  $R_{f2}$  می باشند؛ پس می توان با به دست آوردن معادلات مربوط به جریان های  $i_1$  و  $i_2$  و سپس مشتق گرفتن از آنها نسبت به  $R_{f1}$  و  $R_{f2}$  تاثیر عناصر مختلف شبکه در جهت انتشار فلیکر را بررسی کرد، به این ترتیب که مثلاً اگر بخواهیم تاثیر مقاومت های تونن  $I_1$  و  $I_2$  را در جهت انتشار فلیکر بررسی کنیم، یا به عبارت دیگر برای اینکه به این سؤال جواب دهیم که آیا تغییرات مقاومت تونن دو شبکه  $N_1$  و  $N_2$  در جهت انتشار

فلیکر مؤثر است یا خیر؟ می توانیم در معادلات  $\frac{di_1}{dR_{f1}}$ ،  $\frac{di_2}{dR_{f1}}$  و  $\frac{di_2}{dR_{f2}}$ ،  $\frac{di_1}{dR_{f2}}$  را ثابت در نظر بگیریم و  $r_2$  را در یک بازه قابل قبول، تغییر دهیم، اگر علامت معادلات فوق تغییر کند یعنی تغییرات متقابل این دو عنصر بر جهت انتشار فلیکر تاثیر گذار است در غیر اینصورت این دو عنصر بر جهت انتشار فلیکر تاثیری ندارند. در این بخش، تاثیر عناصر مختلف شبکه را بر جهت انتشار فلیکر بررسی می کنیم.

#### ۴-۳-۱- تاثیر منابع ولتاژ ( $E_1$ و $E_2$ ) بر جهت انتشار فلیکر

در این قسمت، تاثیر تغییرات منابع ولتاژ نسبت به یکدیگر، بر جهت انتشار فلیکر، بررسی می شود. برای این کار، تمامی عناصر متقابل شبکه به جز منابع ولتاژ  $E_1$  و  $E_2$  برابر فرض می شوند؛ یعنی:  $r_1 = r_2 = r$ ؛  $R_{f1} = R_{f2} = R_f$  و  $R_1 = R_2 = R$ ؛ در نتیجه، معادلات زیر به دست می آیند:

$$i_1 = \frac{R_f(E_1 R r + E_1 R R_f + E_1 r R_f + E_1 R_L r + E_1 R_L R_f - R_L E_2 r - R_L E_2 R_f)}{(R r + R R_f + r R_f)(R r + R R_f + 2 R_L r + r R_f + 2 R_L R_f)} \quad (۳-۴)$$

$$i_2 = \frac{R_f(E_2 R r + E_2 R R_f + E_2 r R_f + E_2 R_L r + E_2 R_L R_f - R_L E_1 r - R_L E_1 R_f)}{(R r + R R_f + r R_f)(R r + R R_f + 2 R_L r + r R_f + 2 R_L R_f)} \quad (۴-۴)$$

$$i_L = \frac{(E_1 + E_2) \cdot R_f}{(R r + R R_f + 2 R_L r + r R_f + 2 R_L R_f)} \quad (۵-۴)$$

$$\frac{di_1}{dR_f} = \frac{r(E_1 R^3 r^2 + 2 E_1 R^3 r R_f + 6 E_1 R^2 r R_L R_f + 3 E_1 R^2 R_f^2 R_L + 4 R_f E_1 R r^2 R_L + 4 R_f^2 E_1 R r R_L + 4 E_1 R_L^2 R r R_f + 2 E_1 R_L^2 R R_f^2 - 2 R_L E_2 R^2 r R_f - 4 R_L^2 E_2 R r R_f - R_L E_2 R^2 R_f^2 - 2 R_L^2 E_2 R R_f^2 + 3 E_1 R^2 r^2 R_L + 2 E_1 R^2 r^2 R_f + E_1 R^3 R_f^2 + 2 E_1 R^2 R_f^2 r + R_f^2 E_1 R r^2 + E_1 r^2 R_f^2 R_L + 2 E_1 R_L^2 R r^2 - R_L E_2 R^2 r^2 - 2 R_L^2 E_2 R r^2 + R_f^2 R_L E_2 r^2)}{(R r + R R_f + r R_f)^2 (R r + R R_f + 2 R_L r + r R_f + 2 R_L R_f)^2} \quad (۶-۴)$$

$$\frac{di_2}{dR_f} = \frac{r(E_2 R^3 r^2 + 2 E_2 R^3 r R_f + 6 E_2 R^2 r R_L R_f + 3 E_2 R^2 R_f^2 R_L + 4 R_f E_2 R r^2 R_L + 4 R_f^2 E_2 R r R_L + 4 E_2 R_L^2 R r R_f + 2 E_2 R_L^2 R R_f^2 - 2 R_L E_1 R^2 r R_f - 4 R_L^2 E_1 R r R_f - R_L E_1 R^2 R_f^2 - 2 R_L^2 E_1 R R_f^2 + 3 E_2 R^2 r^2 R_L + 2 E_2 R^2 r^2 R_f + E_2 R^3 R_f^2 + 2 E_2 R^2 R_f^2 r + R_f^2 E_2 R r^2 + E_2 r^2 R_f^2 R_L + 2 E_2 R_L^2 R r^2 - R_L E_1 R^2 r^2 - 2 R_L^2 E_1 R r^2 + R_f^2 R_L E_1 r^2)}{(R r + R R_f + r R_f)^2 (R r + R R_f + 2 R_L r + r R_f + 2 R_L R_f)^2} \quad (۷-۴)$$

اگر (۴-۶) را برابر صفر قرار دهیم و از آن  $E_{2c1}$  مقدار ولتاژ منبع  $E_2$  است که  $\frac{di_1}{dR_f}$  به ازای

آن، صفر می شود و تغییر علامت می دهد) را برحسب  $E_1$  و سایر پارامتر های شبکه به دست آوریم؛ رابطه زیر به دست می آید:

$$E_1 (R^3 r^2 + 2R^3 r R_f + 6R^2 r R_L R_f + 3R^2 R_f^2 R_L + 4R_f R r^2 R_L + 4R_f^2 R r R_L + 4R_L^2 R r R_f + 2R_L^2 R R_f^2 + 3R^2 r^2 R_L + 2R^2 r^2 R_f + R^3 R_f^2 + 2R^2 R_f^2 r + R_f^2 R r^2 + r^2 R_f^2 R_L + 2R_L^2 R r^2) \\ E_{2c1} = \frac{4R_L^2 R r R_f - R_L R^2 R_f^2 + 2R_L^2 R R_f^2 + R_L R^2 r^2 + 2R_L^2 R r^2 + 2R_L R^2 r R_f - R_f^2 R_L r^2}{(۸-۴)}$$

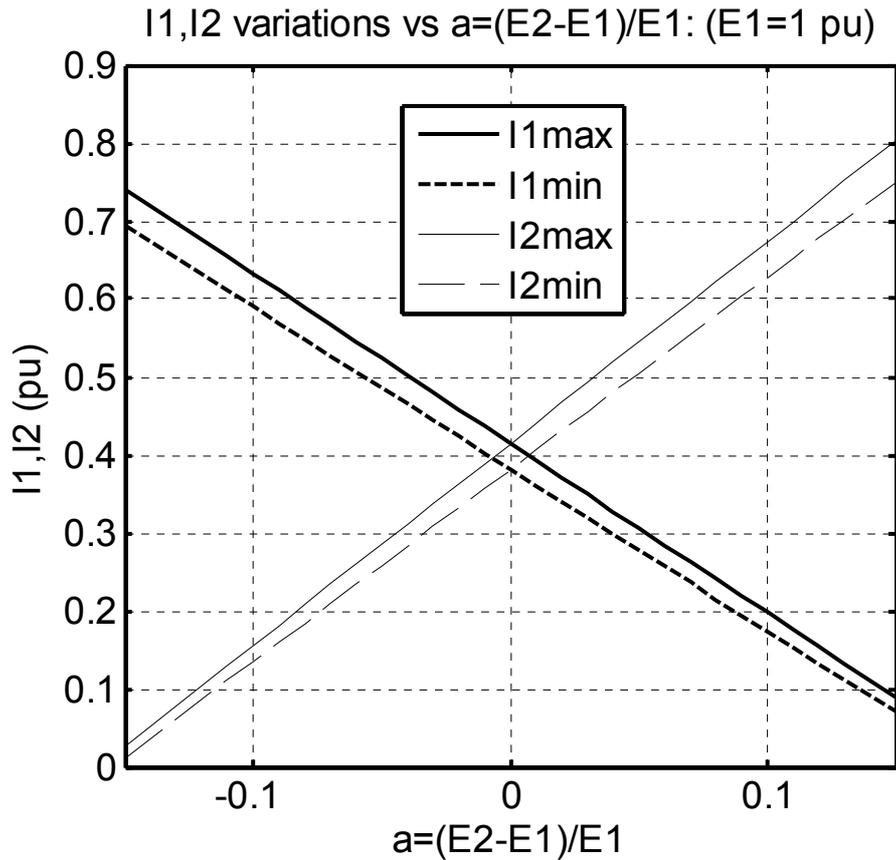
این به این معنی است که پوش جریان  $i_1$ ، به ازای  $E_2 > E_{2c1}$ ،  $۱۸۰$  درجه تغییر جهت می دهد یا به عبارت دیگر جهت انتشار فلیکر تغییر می کند. حال باید بررسی کنیم که در شرایط واقعی سیستم، آیا چنین مقدار ولتاژی وجود دارد یا خیر؟ با جایگذاری (۴-۸)، در (۴-۳) رابطه زیر برای  $i_{1c}$  به دست می آید ( $i_{1c}$  مقدار جریان به ازای  $E_2 = E_{2c1}$  می باشد):

$$i_{1c} = \frac{-E_1 R_f^2 r}{(R^2 + 2R_L R - R_f^2) r^2 + (2R^2 R_f + 4R_L R R_f) r + R^2 R_f^2 + 2R_L R R_f^2} \quad (۹-۴)$$

رابطه (۴-۹)، در شرایط واقعی همیشه منفی است؛ یعنی جهت جریان تغییر کرده و در نتیجه جهت توان اکتیو نیز تغییر کرده است که این با فرض اولیه ما سازگار نیست. لازم به ذکر است که اگر همین کار را برای  $i_{2c}$  نیز انجام دهیم باز هم به همین نتیجه می رسیم. پس به طور خلاصه می توان گفت: تغییرات  $E_2$  نسبت به  $E_1$ ، باعث تغییر جهت انتشار فلیکر نمی شود.

همچنین نتایج به دست آمده از شبیه سازی، نیز این موضوع را تایید می کند. شکل ۴-۴، تاثیر تغییرات  $E_2$  نسبت به  $E_1$  را بر جهت انتشار فلیکر نشان می دهد.

همانطور که مشاهده می شود؛ منحنی های پوش مربوط به جریان های  $i_1$  و  $i_2$  در اثر تغییرات  $E_2$  نسبت به  $E_1$ ، تغییر جهت نداده اند؛ و این به معنی اینست که تغییرات منابع ولتاژ هیچگونه تاثیری بر جهت انتشار فلیکر ندارد.



شکل ۴-۴: نمودار تاثیر تغییرات E2 نسبت به E1 بر جهت انتشار فلیکر

#### ۴-۳-۲- تاثیر مقاومت‌های خطوط (R<sub>2</sub> و R<sub>1</sub>) بر جهت انتشار فلیکر

در این قسمت، تاثیر تغییرات مقاومت‌های خطوط نسبت به یکدیگر، بر جهت انتشار فلیکر، بررسی می‌شود. برای این کار، تمامی عناصر متقابل شبکه به جز مقاومت‌های خطوط R<sub>1</sub> و R<sub>2</sub> برابر فرض می‌شوند؛ یعنی: r<sub>1</sub> = r<sub>2</sub> = r ; E<sub>1</sub> = E<sub>2</sub> = E و R<sub>f1</sub> = R<sub>f2</sub> = R<sub>f</sub>؛ در نتیجه، معادلات زیر به دست می‌آیند:

$$i_1 = \frac{ER_f((R_2 + R_f)r + R_2R_f)}{(R_1R_2 + R_1R_f + R_1R_L + R_2R_f + R_f^2 + 2R_LR_f + R_LR_2)r^2 + (2R_f^2R_L + R_1R_f^2 + 2R_1R_LR_f + 2R_LR_2R_f + R_f^2R_2 + 2R_1R_2R_f)r + R_1R_f^2R_L + R_LR_f^2R_2 + R_1R_f^2R_2} \quad (10-4)$$

$$i_2 = \frac{ER_f((R_1 + R_f)r + R_1R_f)}{(R_1R_2 + R_2R_f + R_2R_L + R_1R_f + R_f^2 + 2R_LR_f + R_LR_1)r^2 + (2R_f^2R_L + R_1R_f^2 + 2R_1R_LR_f + 2R_LR_2R_f + R_f^2R_2 + 2R_1R_2R_f)r + R_1R_f^2R_L + R_LR_f^2R_2 + R_1R_f^2R_2} \quad (11-4)$$

$$i_L = \frac{ER_f((R_2 + 2R_f + R_1)r + R_f(R_2 + R_1))}{(R_1R_2 + R_1R_f + R_1R_L + R_2R_f + R_f^2 + 2R_LR_f + R_LR_2)r^2 + (2R_f^2R_L + R_1R_f^2 + 2R_1R_LR_f + 2R_LR_2R_f + R_f^2R_2 + 2R_1R_2R_f)r + R_1R_f^2R_L + R_LR_f^2R_2 + R_1R_f^2R_2)} \quad (12-4)$$

$$\begin{aligned} &Er(R_1r^2R_2^2 + 2r^2R_f^2R_L + R_1R_f^2r^2 + R_LR_1r^2R_2^2 + R_2R_1R_f^2R_L + \\ &2R_2R_1rR_LR_f + 2rR_1R_f^2R_L + 2R_1r^2R_LR_f + R_LR_f^2R_2^2 + 2R_1r^2R_2R_f \\ &+ R_2R_1r^2R_L + R_1R_f^2R_2^2 + 2rR_1R_f^2R_2 + 2R_1rR_2^2R_f + 2R_LR_2^2R_f + \\ &2R_LR_f^2R_2 + 2rR_LR_f^2R_2) \end{aligned} \quad (13-4)$$

$$\frac{di_1}{dR_f} = \frac{2R_LR_1r^2R_2R_f + 2rR_LR_f^2R_2}{A_1^2}$$

$$\begin{aligned} &Er(R_2r^2R_1^2 + 2r^2R_f^2R_L + R_2R_f^2r^2 + R_LR_2r^2R_1^2 + R_2R_1R_f^2R_L + \\ &2R_2R_1rR_LR_f + 2rR_2R_f^2R_L + 2R_2r^2R_LR_f + R_LR_f^2R_1^2 + 2R_1r^2R_2R_f \\ &+ R_2R_1r^2R_L + R_2R_f^2R_1^2 + 2rR_1R_f^2R_2 + 2R_2rR_1^2R_f + 2R_LR_1^2R_f + \\ &2R_LR_f^2R_1 + 2rR_LR_f^2R_1) \end{aligned} \quad (14-4)$$

$$\frac{di_2}{dR_f} = \frac{2R_LR_1r^2R_1R_f + 2rR_LR_f^2R_1}{A_2^2}$$

که  $A_1$  و  $A_2$  به ترتیب، مخرج کسر های  $i_1$  و  $i_2$  هستند

واضح است که روابط (13-4) و (14-4)، همیشه مثبتند و هیچگاه صفر نمی شوند. پس نتیجه

می گیریم که تغییرات  $R_2$  و  $R_1$  نسبت به یکدیگر، هیچ گونه تاثیری در تغییر جهت فلیکر ندارد.

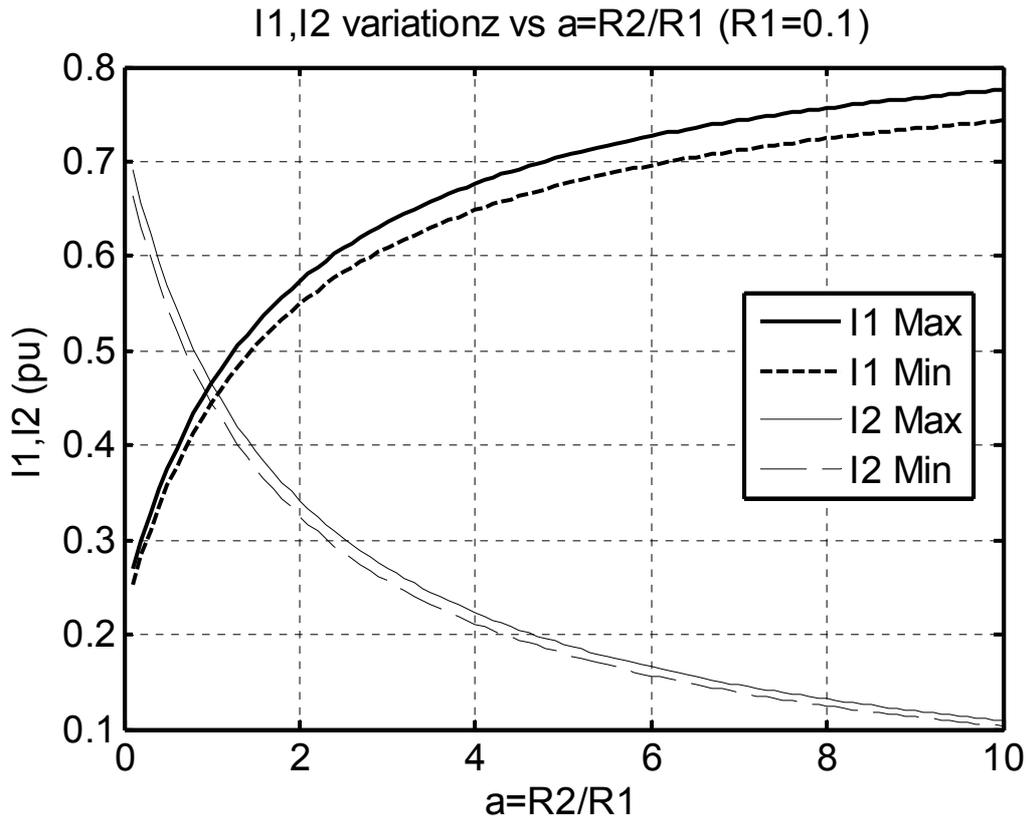
همچنین نتایج به دست آمده از شبیه سازی نیز این موضوع را تایید می کند. شکل 4-5، تاثیر

تغییرات  $R_2$  نسبت به  $R_1$  را بر جهت انتشار فلیکر نشان می دهد.

همانطور که مشاهده می شود؛ منحنی های پوش مربوط به جریان های  $i_1$  و  $i_2$  در اثر تغییرات  $R_2$

نسبت به  $R_1$ ، تغییر جهت نداده اند؛ و این به معنی اینست که تغییرات مقاومت خطوط، هیچگونه

تاثیری بر جهت انتشار فلیکر ندارد.



شکل ۴-۵: نمودار تاثیر تغییرات  $R_2$  نسبت به  $R_1$  بر جهت انتشار فلیکر

### ۴-۳-۳- تاثیر مقاومت‌های منابع تغذیه ( $r_1$ و $r_2$ ) بر جهت انتشار فلیکر

در این قسمت می‌خواهیم تاثیر تغییرات مقاومت‌های منابع تغذیه نسبت به یکدیگر را بر جهت انتشار فلیکر، بررسی کنیم. برای این کار، تمامی عناصر متقابل شبکه به جز مقاومت‌های منابع تغذیه  $r_1$  و  $r_2$  را برابر می‌گیریم؛ یعنی:  $R_1 = R_2 = R$ ؛  $E_1 = E_2 = E$  و  $R_{f1} = R_{f2} = R_f$ ؛ در نتیجه، معادلات زیر را به دست می‌آوریم:

$$i_1 = \frac{ER_f(Rr_2 + RR_f + r_2R_f + R_Lr_2 - R_Lr_1)}{(R_f^2r_2 + R_f^2R + R^2R_f + R^2r_2 + 2Rr_2R_f + 2RR_Lr_2 + 2RR_LR_f + 2R_fR_Lr_2 + R_f^2R_L)r_1 + R_LR_f^2r_2 + R^2R_f^2 + 2RR_f^2R_L + RR_f^2r_2 + R^2R_fr_2 + 2RR_fR_Lr_2} \quad (15-4)$$

$$i_2 = \frac{ER_f(Rr_1 + RR_f + r_1R_f + R_Lr_1 - R_Lr_2)}{(R_f^2r_1 + R_f^2R + R^2R_f + R^2r_1 + 2Rr_1R_f + 2RR_Lr_1 + 2RR_LR_f + 2R_fR_Lr_1 + R_f^2R_L)r_2 + R_LR_f^2r_1 + R^2R_f^2 + 2RR_f^2R_L + RR_f^2r_1 + R^2R_fr_1 + 2RR_fR_Lr_1} \quad (16-4)$$

$$i_L = \frac{ER_f(Rr_2 + 2RR_f + r_2R_f + r_1R_f + Rr_1)}{R_L R_f^2 r_2 + r_1 R_f^2 R_L + r_1 R_f^2 r_2 + r_1 R_f^2 R + 2RR_f^2 R_L + RR_f^2 r_2 + R^2 r_1 R_f + R^2 r_1 r_2 + R^2 R_f r_2 + 2Rr_1 r_2 R_f + 2Rr_1 R_L r_2 + 2Rr_1 R_L R_f + 2RR_f R_L r_2 + 2r_1 R_f R_L r_2 + R^2 R_f^2} \quad (17-4)$$

$$\begin{aligned} & E(Rr_2^2 r_1 R_f^2 + 2R^2 r_2 r_1 R_f^2 - R^2 r_2 R_f^2 R_L + 2R^3 r_2 r_1 R_f + 2R^2 r_2^2 r_1 R_f \\ & + 3R^2 r_2^2 r_1 R_L + 3R^2 R_f^2 r_1 R_L + 3Rr_2 r_1 R_f^2 R_L + 4R^2 r_2 r_1 R_L R_f + \\ & 4Rr_2^2 r_1 R_f R_L + r_2^2 R_f^2 r_1 R_L - 2R_L^2 r_2 RR_f^2 + 2R_L^2 r_2^2 Rr_1 + R_L r_1^2 R_f^2 r_2 \\ & + R_L r_1^2 R_f^2 R + 2R_L^2 r_1 RR_f^2 - R_L r_1^2 R^2 r_2 - 2R_L^2 r_1^2 Rr_2 + R^3 r_2^2 r_1 + \\ \frac{di_1}{dR_f} = & \frac{R^3 R_f^2 r_1 - R_L^2 r_2^2 R_f^2 + R_L^2 r_1^2 R_f^2}{A_1^2} \end{aligned} \quad (18-4)$$

$$\begin{aligned} & E(Rr_1^2 r_2 R_f^2 + 2R^2 r_2 r_1 R_f^2 - R^2 r_1 R_f^2 R_L + 2R^3 r_2 r_1 R_f + 2R^2 r_1^2 r_2 R_f + \\ & 3R^2 r_1^2 r_2 R_L + 3R^2 R_f^2 r_2 R_L + 3Rr_2 r_1 R_f^2 R_L + 4R^2 r_2 r_1 R_L R_f + \\ & 4Rr_1^2 r_2 R_f R_L + r_1^2 R_f^2 r_2 R_L - 2R_L^2 r_1 RR_f^2 + 2R_L^2 r_1^2 Rr_2 + R_L r_2^2 R_f^2 r_1 \\ & + R_L r_2^2 R_f^2 R + 2R_L^2 r_2 RR_f^2 - R_L r_2^2 R^2 r_1 - 2R_L^2 r_2^2 Rr_1 + R^3 r_1^2 r_2 + \\ \frac{di_2}{dR_f} = & \frac{R^3 R_f^2 r_2 - R_L^2 r_1^2 R_f^2 + R_L^2 r_2^2 R_f^2}{A_2^2} \end{aligned} \quad (19-4)$$

که  $A_1$  و  $A_2$  به ترتیب، مخرج کسر های  $i_1$  و  $i_2$  هستند

اگر (18-4) را برابر صفر قرار دهیم و از آن  $r_{2c1}$  مقدار مقاومت منبع  $E_2$  است که  $\frac{di_1}{dR_f}$  به

ازای آن، صفر می شود و تغییر علامت می دهد) را برحسب  $r_1$  و سایر پارامتر های شبکه به دست آوریم؛ رابطه زیر به دست می آید:

$$r_{2c1} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (20-4)$$

که در رابطه (20-5)،  $a$ ،  $b$  و  $c$  از روابط زیر به دست می آیند:

$$a = Rr_1 R_f^2 + 2R^2 r_1 R_f + 3R^2 r_1 R_L + 4Rr_1 R_f R_L + R_f^2 r_1 R_L + 2R_L^2 Rr_1 + R^3 r_1 - R_L^2 R_f^2 \quad (21-4)$$

$$\begin{aligned} b = & 2R^2 r_1 R_f^2 - R^2 R_f^2 R_L + 2R^3 r_1 R_f + 3Rr_1 R_f^2 R_L + 4R^2 r_1 R_L R_f - 2R_L^2 RR_f^2 \\ & + R_L r_1^2 R_f^2 - R_L r_1^2 R^2 - 2R_L^2 r_1^2 R \end{aligned} \quad (22-4)$$

$$c = 3R^2 R_f^2 r_1 R_L + R_L r_1^2 R_f^2 R + 2R_L^2 r_1 RR_f^2 + R^3 R_f^2 r_1 + R_L^2 r_1^2 R_f^2 \quad (23-4)$$

نتیجه مشابهی را می توان با صفر قرار دادن (۴-۱۹) برای  $r_{2c2}$  به دست آورد  $r_{2c2}$  مقدار مقاومت

منبع  $E_2$  است که  $\frac{di_2}{dR_f}$  به ازای آن، صفر می شود و تغییر علامت می دهد).

با توجه به اینکه در قسمت قبل، ثابت شد که تغییرات مقاومت‌های خطوط تاثیری در تغییر جهت انتشار فلیکر ندارند؛ می توان در روابط فوق برای ساده کردن روابط از مقاومت های خطوط ( $R$ ) صرف نظر کرد و در نتیجه روابط ساده زیر را به دست آورد:

$$i_1 = \frac{ER_f(r_2R_f + R_Lr_2 - R_Lr_1)}{(R_f^2r_2 + 2R_fR_Lr_2 + R_f^2R_L)r_1 + R_LR_f^2r_2} \quad (24-4)$$

$$i_2 = \frac{ER_f(r_1R_f + R_Lr_1 - R_Lr_2)}{(R_f^2r_1 + 2R_fR_Lr_1 + R_f^2R_L)r_2 + R_LR_f^2r_1} \quad (25-4)$$

$$i_L = \frac{ER_f(r_1 + r_2)}{R_LR_f(r_1 + r_2) + r_1r_2(R_f + 2R_L)} \quad (26-4)$$

$$\frac{di_1}{dR_f} = \frac{ER_LR_f^2(r_2^2(r_1 - R_L) + r_1^2(r_2 + R_L))}{A_1^2} \quad (27-4)$$

$$\frac{di_2}{dR_f} = \frac{ER_LR_f^2(r_1^2(r_2 - R_L) + r_2^2(r_1 + R_L))}{A_2^2} \quad (28-4)$$

$$r_{2c1} = \frac{R_Lr_1}{R_L - r_1} \quad (29-4)$$

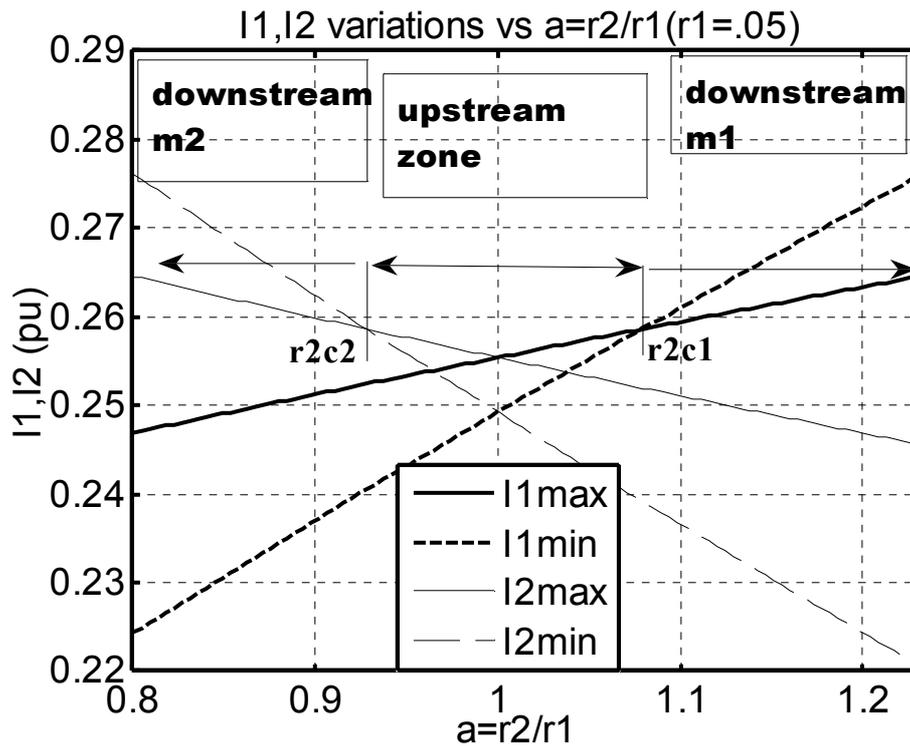
$$r_{2c2} = \frac{R_Lr_1}{R_L + r_1} \quad (30-4)$$

این به این معنی است که پوش جریان  $i_1$ ، به ازای  $r_2 > r_{2c1}$ ،  $180^\circ$  درجه تغییر جهت می دهد یا به عبارت دیگر جهت انتشار فلیکر در نقطه  $m_1$  تغییر می کند. همچنین، پوش جریان  $i_2$ ، به ازای  $r_2 < r_{2c2}$ ،  $180^\circ$  درجه تغییر جهت می دهد یا به عبارت دیگر جهت انتشار فلیکر در نقطه  $m_2$  تغییر می کند. پس به طور خلاصه در کل بازه تغییرات  $r_2$  نسبت به  $r_1$ ، سه ناحیه وجود دارد:

(۱)  $r_2 < r_{2c2}$  که در این ناحیه،  $m_1$ ، Upstream و  $m_2$ ، Downstream است.

(۲)  $r_{2c2} < r_2 < r_{2c1}$  که در این ناحیه، هر دو نقطه  $m_1$  و  $m_2$ ، Upstream هستند.

(۳)  $r_2 > r_{2c1}$  که در این ناحیه،  $m_1$ ، Downstream و  $m_2$ ، Upstream است.



شکل ۴-۶: نمودار تاثیر تغییرات  $I_2$  نسبت به  $r_1$  بر جهت انتشار فلیکر

همچنین نتایج به دست آمده از شبیه سازی نیز، این موضوع را تایید می کند. شکل ۴-۶، تاثیر تغییرات  $I_2$  نسبت به  $r_1$  را بر جهت انتشار فلیکر نشان می دهد. این سه ناحیه در شکل ۴-۶ نشان داده شده است.

جالب توجه است که روابط (۴-۲۹) و (۴-۳۰) مستقل از  $R_f$  هستند و این به این معنی است که در صورت صفر گرفتن مقاومت های خطوط، هر منبع فلیکری با هر شدتی که در دو طرف بار خطی وجود داشته باشد، مقادیر مقاومت بحرانی تغییری نمی کند. با جایگذاری (۴-۲۴) در (۴-۱۵) و (۴-۲۵) در (۴-۱۶) مقادیر جریان های متناظر با مقاومت های بحرانی به دست می آیند.

$$i_{1c1} = \frac{E}{2R_L} \quad (۴-۳۱)$$

$$i_{2c1} = \frac{E((R_L + R_f)r_1 - R_f R_L)}{2R_L^2(R_f + r_1)} \quad (۴-۳۲)$$

$$i_{Lc1} = \frac{ER_f(2R_L - r_1)}{2R_L^2(R_f + r_1)} \quad (۴-۳۳)$$

$$i_{1c2} = \frac{E(R_f - r_1)}{2(R_L r_1 + R_f r_1 + R_f R_L)} \quad (34-4)$$

$$i_{2c2} = \frac{E}{2R_L} \quad (35-4)$$

$$i_{Lc2} = \frac{ER_f(2R_L + r_1)}{2R_L(R_L r_1 + R_f r_1 + R_f R_L)} \quad (36-4)$$

که در روابط فوق،  $i_{1c1}$ ، همان  $i_1$  به ازای  $r_2 = r_{2c1}$  و  $i_{1c2}$ ، همان  $i_1$  به ازای  $r_2 = r_{2c2}$  می باشد. همچنین،  $i_{2c1}$ ، همان  $i_2$  به ازای  $r_2 = r_{2c1}$  و  $i_{2c2}$ ، همان  $i_2$  به ازای  $r_2 = r_{2c2}$  می باشد. همانطور که از رابطه (31-4) پیداست به ازای  $r_2 = r_{2c1}$ ، جریان  $i_1$  یک جریان ثابت و بدون نوسان است. یعنی مقدار ماکزیمم و مینیمم پوش آن با یکدیگر مساوی شده اند. همچنین به ازای  $r_2 = r_{2c2}$ ، جریان  $i_2$  یک جریان ثابت و بدون نوسان است. یعنی مقدار ماکزیمم و مینیمم پوش آن با یکدیگر مساوی شده اند.

پس نتیجه کلی این است که تغییرات مقاومت‌های سری منابع تغذیه، بر تغییر جهت انتشار فلیکر مؤثر است. به عبارت دیگر با وجود دو منبع فلیکر با شدت تغییرات مساوی، اگر مقاومت سری یکی از منابع تغذیه، تا یک حد خاص از مقاومت سری منبع دیگر بزرگتر باشد؛ آنگاه نقطه اندازه گیری سمت منبع قوی تر (منبعی که مقاومت سری آن کوچکتر است)، Downstream می شود. و این به این معنی است که اگر دو منبع فلیکر با شدت مساوی داشته باشیم، منبع فلیکر سمت منبع ضعیف تر، منبع غالب خواهد بود.

نکته: اندازه بار نیز در مقادیر مقاومت‌های بحرانی تاثیر دارد به طوری که هر چه توان بار کمتر باشد (  $R_L$  بزرگتر باشد) مقادیر مقاومت های بحرانی  $r_{2c1}$  و  $r_{2c2}$  از دو طرف به  $r_1$  نزدیکتر می شوند و در نتیجه بازه مربوط به ناحیه وسط (ناحیه ای که هر دو نقطه، upstream هستند) کوچکتر می شود و برعکس.

#### 4-3-4- تاثیر مقاومت‌های منابع فلیکر ( $R_{f1}$ و $R_{f2}$ ) بر جهت انتشار فلیکر

در این قسمت می خواهیم تاثیر تغییرات مقاومت‌های منابع فلیکر نسبت به یکدیگر را بر جهت انتشار فلیکر، بررسی کنیم. برای این کار، تمامی عناصر متقابل شبکه به جز مقاومت‌های منابع فلیکر

$R_{f1}$  و  $R_{f2}$  را برابر می‌گیریم؛ یعنی:  $R_1 = R_2 = R$ ؛  $E_1 = E_2 = E$  و  $r_1 = r_2 = r$ ؛ در نتیجه، معادلات زیر را به دست می‌آوریم:

$$i_1 = \frac{E((R_{f1}R + R_{f1}R_{f2} + R_{f1}R_L - R_L R_{f2})r + R_{f1}RR_{f2})}{(RR_{f2} + 2RR_L + R^2 + R_{f1}R + R_{f1}R_{f2} + R_{f1}R_L + R_L R_{f2})r^2 + (2RR_L R_{f2} + 2R_{f1}RR_{f2} + 2R_{f1}R_L R_{f2} + R_{f1}R^2 + 2R_{f1}RR_L + R^2 R_{f2})r + R_{f1}R^2 R_{f2} + 2R_{f1}RR_L R_{f2}} \quad (37-4)$$

$$i_2 = \frac{E((R_{f2}R + R_{f1}R_{f2} + R_{f2}R_L - R_L R_{f1})r + R_{f1}RR_{f2})}{(RR_{f2} + 2RR_L + R^2 + R_{f1}R + R_{f1}R_{f2} + R_{f1}R_L + R_L R_{f2})r^2 + (2RR_L R_{f2} + 2R_{f1}RR_{f2} + 2R_{f1}R_L R_{f2} + R_{f1}R^2 + 2R_{f1}RR_L + R^2 R_{f2})r + R_{f1}R^2 R_{f2} + 2R_{f1}RR_L R_{f2}} \quad (38-4)$$

$$i_L = \frac{E((R_{f1}R + R_{f2}R + 2R_{f1}R_{f2})r + 2R_{f1}RR_{f2})}{(RR_{f2} + 2RR_L + R^2 + R_{f1}R + R_{f1}R_{f2} + R_{f1}R_L + R_L R_{f2})r^2 + (2RR_L R_{f2} + 2R_{f1}RR_{f2} + 2R_{f1}R_L R_{f2} + R_{f1}R^2 + 2R_{f1}RR_L + R^2 R_{f2})r + R_{f1}R^2 R_{f2} + 2R_{f1}RR_L R_{f2}} \quad (39-4)$$

$$\frac{di_1}{dR_f} = \frac{Er(2R_L + R)(R_{f1}R^2r^2 + 2R_{f1}R^2rR_{f2} + 2R_{f1}Rr^2R_{f2} + R_{f1}Rr^2R_L + R_{f1}R^2R_{f2}^2 + 2R_{f1}RR_{f2}^2r + R_{f1}RR_{f2}^2R_L + R_{f1}r^2R_{f2}^2 + R_{f1}rR_{f2}^2R_L - R_L R_{f2}r^2R - R_L R_{f2}R_{f1}^2r - R_L R_{f2}RR_{f1}^2)}{A_1^2} \quad (40-4)$$

$$\frac{di_2}{dR_f} = \frac{Er(2R_L + R)(R_{f2}R^2r^2 + 2R_{f1}R^2rR_{f2} + 2R_{f1}Rr^2R_{f2} + R_{f2}Rr^2R_L + R_{f2}R^2R_{f1}^2 + 2R_{f2}RR_{f1}^2r + R_{f2}RR_{f1}^2R_L + R_{f2}r^2R_{f1}^2 + R_{f2}rR_{f1}^2R_L - R_L R_{f1}r^2R - R_L R_{f1}R_{f2}^2r - R_L R_{f1}RR_{f2}^2)}{A_1^2} \quad (41-4)$$

که  $A_1$  و  $A_2$  به ترتیب، مخرج کسرهای  $i_1$  و  $i_2$  هستند

اگر (40-4) را برابر صفر قرار دهیم و از آن  $R_{f2c1}$  مقدار مقاومت منبع فلیکر شماره ۲ است

که  $\frac{di_1}{dR_f}$  به ازای آن، صفر می‌شود و تغییر علامت می‌دهد) را برحسب  $R_{f1}$  و سایر پارامترهای

شبکه به دست آوریم؛ رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_{f2c1} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (42-4)$$

که در رابطه (42-4)،  $a$ ،  $b$  و  $c$  از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$a = R_{f1}R^2 + 2R_{f1}Rr + R_{f1}RR_L + R_{f1}r^2 + R_{f1}rR_L \quad (43-4)$$

$$b = 2R_{f1}R^2r + 2R_{f1}Rr^2 - R_L r^2 R - R_L R_{f1}^2 r - R_L R_{f1}^2 R \quad (44-4)$$

$$c = R^2 R_{f1} r^2 + R_L r^2 R_{f1} R \quad (45-4)$$

نتیجه مشابهی را می توان با صفر قرار دادن (۴-۴۱) به دست آورد.

با توجه به اینکه در قسمت قبل، ثابت شد که تغییرات مقاومت‌های خطوط تاثیری در تغییر جهت انتشار فلیکر ندارند؛ می توان در روابط فوق برای ساده کردن روابط از مقاومت های خطوط (R) صرف نظر کرد و در نتیجه روابط ساده زیر را به دست آورد:

$$i_1 = \frac{E(R_{f1}R_{f2} + R_{f1}R_L - R_L R_{f2})}{R_{f1}R_{f2}(2R_L + R_{th}) + R_L R_{th}(R_{f1} + R_{f2})} \quad (۴۶-۴)$$

$$i_2 = \frac{E(R_{f1}R_{f2} + R_{f2}R_L - R_L R_{f1})}{R_{f1}R_{f2}(2R_L + R_{th}) + R_L R_{th}(R_{f1} + R_{f2})} \quad (۴۷-۴)$$

$$i_L = \frac{2ER_{f1}R_{f2}}{R_{f1}R_{f2}(2R_L + R_{th}) + R_L R_{th}(R_{f1} + R_{f2})} \quad (۴۸-۴)$$

$$\frac{di_1}{dR_f} = \frac{2Er^2 R_L R_{f1} R_{f2} (rR_{f2} + R_{f2}R_L - R_L R_{f1})}{A_1^2} \quad (۴۹-۴)$$

$$\frac{di_2}{dR_f} = \frac{2Er^2 R_L R_{f1} R_{f2} (rR_{f1} + R_{f1}R_L - R_L R_{f2})}{A_2^2} \quad (۵۰-۴)$$

با صفر قرار دادن (۴-۴۹) و (۴-۵۰)، به ترتیب روابط زیر برای مقاومت های بحرانی منابع فلیکر به

دست می آید:

$$R_{f2c1} = \frac{R_L R_{f1}}{R_L + r} \quad (۵۱-۴)$$

$$R_{f2c2} = \frac{R_{f1}(R_L + r)}{R_L} \quad (۵۲-۴)$$

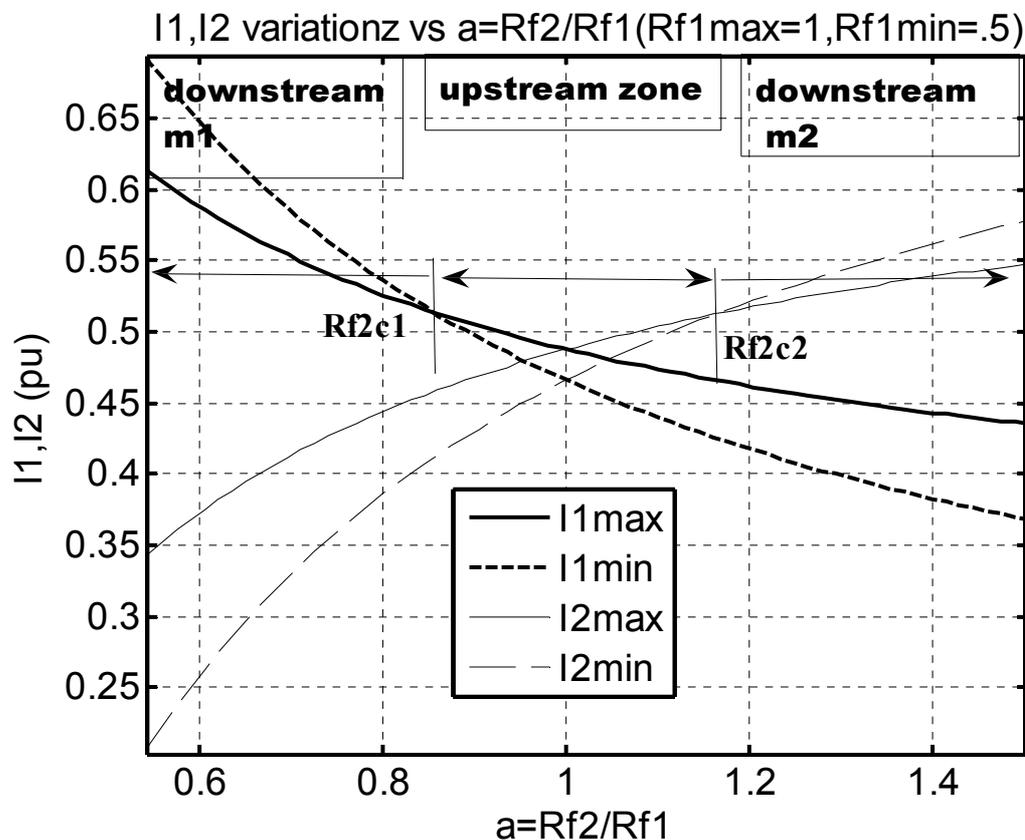
این به این معنی است که پوش جریان  $i_1$ ، به ازای  $R_{f2} < R_{f2c1}$ ،  $۱۸۰^\circ$  درجه تغییر جهت می دهد یا به عبارت دیگر جهت انتشار فلیکر در نقطه  $m_1$  تغییر می کند. همچنین، پوش جریان  $i_2$ ، به ازای  $R_{f2} > R_{f2c2}$ ،  $۱۸۰^\circ$  درجه تغییر جهت می دهد یا به عبارت دیگر جهت انتشار فلیکر در نقطه  $m_2$  تغییر می کند. پس به طور خلاصه، در کل بازه تغییرات  $R_{f2}$  نسبت به  $R_{f1}$ ، سه ناحیه وجود دارد:

(۱)  $R_{f2} < R_{f2c1}$  که در این ناحیه،  $m_1$  Downstream و  $m_2$  Upstream است.

(۲)  $R_{f2c1} < R_{f2} < R_{f2c2}$  که در این ناحیه، هر دو نقطه  $m_1$  و  $m_2$  Upstream هستند.

(۳)  $R_{f2} > R_{f2c2}$  که در این ناحیه،  $m_1$  Upstream و  $m_2$  Downstream است.

همچنین، نتایج به دست آمده از شبیه سازی نیز، این موضوع را تایید می کند. شکل ۷-۴، تاثیر تغییرات  $R_{f2}$  نسبت به  $R_{f1}$  را بر جهت انتشار فلیکر نشان می دهد. این سه ناحیه در شکل ۷-۴ نشان داده شده است.



شکل ۷-۴: نمودار تاثیر تغییرات  $R_{f2}$  نسبت به  $R_{f1}$  بر جهت انتشار فلیکر

با جایگذاری (۵۱-۴) در (۴۶-۴) و (۵۲-۴) در (۴۷-۴) مقادیر جریان های متناظر با مقاومت های بحرانی به دست می آیند.

$$i_{1c1} = \frac{E}{r + 2R_L} \quad (53-4)$$

$$i_{2c1} = \frac{E(R_{f1} - r)}{(r + 2R_L)(R_{f1} + r)} \quad (54-4)$$

$$i_{1c2} = \frac{2ER_{f1}}{(r + 2R_L)(R_{f1} + r)} \quad (55-4)$$

$$i_{1c2} = \frac{E(R_{f1}R_L + rR_{f1} - rR_L)}{(r + 2R_L)(R_{f1}R_L + rR_{f1} + rR_L)} \quad (56-4)$$

$$i_{2c2} = \frac{E}{r + 2R_L} \quad (57-4)$$

$$i_{Lc2} = \frac{2ER_{f1}(R_L + r)}{(r + 2R_L)(R_{f1}R_L + rR_{f1} + rR_L)} \quad (58-4)$$

همانطور که از رابطه (53-4) پیداست به ازای  $R_{f2} = R_{f2c1}$ ، جریان  $i_1$  یک جریان ثابت و بدون نوسان است. یعنی مقدار ماکزیمم و مینیمم پوش آن با یکدیگر مساوی شده اند. همچنین به ازای  $R_{f2} = R_{f2c2}$ ، جریان  $i_2$  یک جریان ثابت و بدون نوسان است. یعنی مقدار ماکزیمم و مینیمم پوش آن با یکدیگر مساوی شده اند.

پس نتیجه کلی این است که تغییرات مقاومت‌های منابع فلیکر، بر تغییر جهت انتشار فلیکر مؤثر است. به عبارت دیگر با وجود دو منبع تغذیه با مقاومت سری مساوی، اگر تغییرات مقاومت یکی از منابع فلیکر، تا یک حد خاص از مقاومت سری منبع دیگر بزرگتر باشد؛ آنگاه نقطه اندازه گیری سمت منبع فلیکر ضعیف تر (منبعی که مقاومت فلیکر آن بزرگتر است)، Downstream می شود. و این به این معنی است که اگر دو منبع تغذیه با قدرت مساوی داشته باشیم، منبع فلیکری که دارای نوسانات بیشتری است، منبع غالب خواهد بود.

#### 4-4- تحلیل AC

به منظور تحلیل AC، شکل 4-2 را در نظر می گیریم. روش کار باز هم مانند تحلیل DC است با این تفاوت که تعداد پارامترهای موجود دو برابر می شود و در واقع اعداد تبدیل به بردار می شوند و اگر بخواهیم حالت کلی را در نظر بگیریم باید علاوه بر مشتقات جریان ها (در تحلیل AC منظور از جریان یا ولتاژ، مقادیر مؤثر می باشد) نسبت به  $R_{f1}$  و  $R_{f2}$ ، باید مشتق آنها نسبت به  $X_{f1}$  و  $X_{f2}$  را نیز مد نظر قرار دهیم ولی از آنجا که در مدل اکثر منابع فلیکر از جمله کوره قوس الکتریک، تنها مقاومت آن متغیر است پس این مشتقات را در نظر نمی گیریم.

با توجه به اینکه تنها عناصر متغیر در این مدار نیز مانند حالت DC، مقاومت های متغیر  $R_{f1}$  و  $R_{f2}$  می باشند؛ پس می توان با به دست آوردن معادلات مربوط به جریان های  $I_1$  و  $I_2$  و سپس مشتق گرفتن از آنها نسبت به  $R_{f1}$  و  $R_{f2}$  تاثیر عناصر مختلف شبکه در جهت انتشار فلیکر را بررسی کرد، به این ترتیب که مثلا اگر بخواهیم تاثیر امپدانس های تونن  $Z_{th1}$  و  $Z_{th2}$  را در جهت انتشار فلیکر بررسی

کنیم، یا به عبارت دیگر برای اینکه به این سؤال پاسخ داده شود که آیا تغییرات امپدانس تونن دو شبکه  $N_1$  و  $N_2$  در جهت انتشار فلیکر مؤثر است یا خیر؟ می توان در معادلات  $\frac{dI_1}{dR_{f2}}$  و  $\frac{dI_1}{dR_{f1}}$  ،  $Z_{th1}$  را ثابت در نظر گرفت و  $Z_{th2}$  را در یک بازه قابل قبول، تغییر داد، اگر علامت معادلات فوق تغییر کند یعنی تغییرات متقابل این دو عنصر بر جهت انتشار فلیکر تاثیر گذار است در غیر اینصورت این دو عنصر بر جهت انتشار فلیکر تاثیری ندارند. در این بخش، تاثیر عناصر مختلف شبکه بر جهت انتشار فلیکر بررسی می شود.

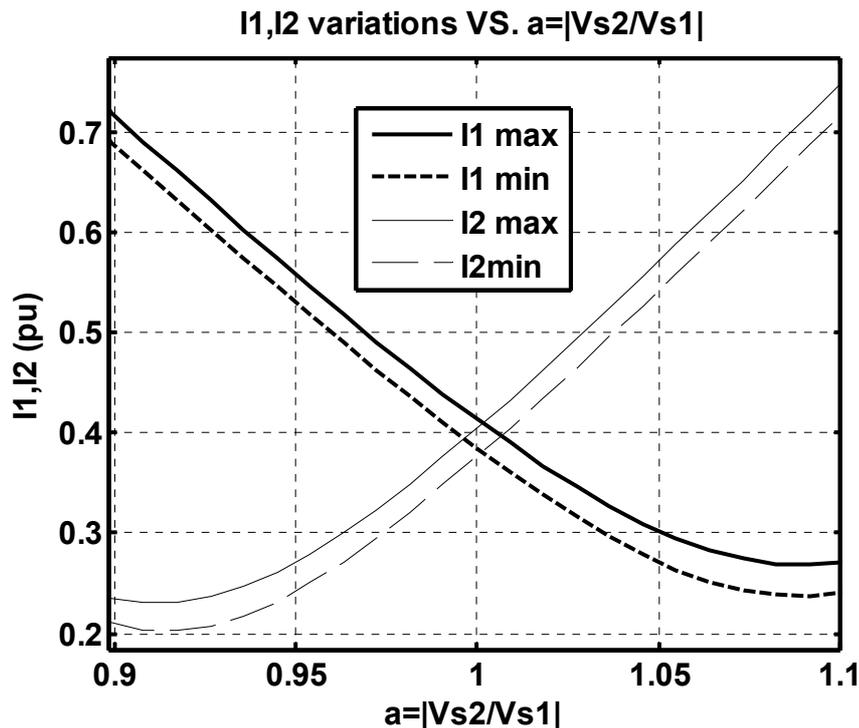
#### ۴-۴-۱- تاثیر منابع ولتاژ ( $V_{s2}$ و $V_{s1}$ ) بر جهت انتشار فلیکر

در این قسمت می خواهیم تاثیر تغییرات منابع ولتاژ نسبت به یکدیگر را بر جهت انتشار فلیکر، بررسی کنیم. برای این کار، تمامی عناصر متقابل شبکه به جز منابع ولتاژ  $V_{s2}$  و  $V_{s1}$  را برابر می گیریم؛ یعنی:  $Z_{th1} = Z_{th2} = Z_{th} = r + jx$ ؛  $Z_1 = Z_2 = Z = R + jX$  و  $Z_{f1} = Z_{f2} = Z_f = R_f + jX_f$ ؛ در نتیجه، معادلات پیچیده ای به دست می آید که اگر از بعضی فرضیات مورد قبول از قبیل صرفنظر کردن از مقاومت تونن منابع در برابر راکتانس تونن و همچنین صرفنظر کردن از مقاومت خطوط در برابر راکتانس خطوط، معادلات زیر را برای  $\frac{dI_1}{dR_f}$  و  $\frac{dI_2}{dR_f}$  به دست می آوریم:

$$\frac{dI_1}{dR_f} = \frac{dI_2}{dR_f} = \frac{-x(E_{1r}X_L + E_{2r}X_L + E_{2m}R_L - j(E_{1r}R_L + E_{2r}R - E_{2m}xL))}{((xX_f + 2X_LX_f + 2xX_L - 2R_fR_L - j(xR_f - 2xR_L - 2R_LX_f - 2R_fX_L))^2} \quad (۵۹-۴)$$

اگر پوش جریان های  $I_1$  و  $I_2$  بخواهد تغییر جهت دهد باید صورت رابطه (۵۹-۴) برابر صفر شود و تغییر علامت دهد، در صورتیکه واضح است که قسمت حقیقی رابطه فوق، هیچگاه صفر نمی شود. پس به طور خلاصه می توان گفت: تغییرات  $V_{s2}$  نسبت به  $V_{s1}$ ، باعث تغییر جهت انتشار فلیکر نمی شود.

همچنین نتایج به دست آمده از شبیه سازی نیز این موضوع را تایید می کند. شکل ۴-۸، تاثیر تغییرات  $V_{s2}$  نسبت به  $V_{s1}$  را بر جهت انتشار فلیکر نشان می دهد.



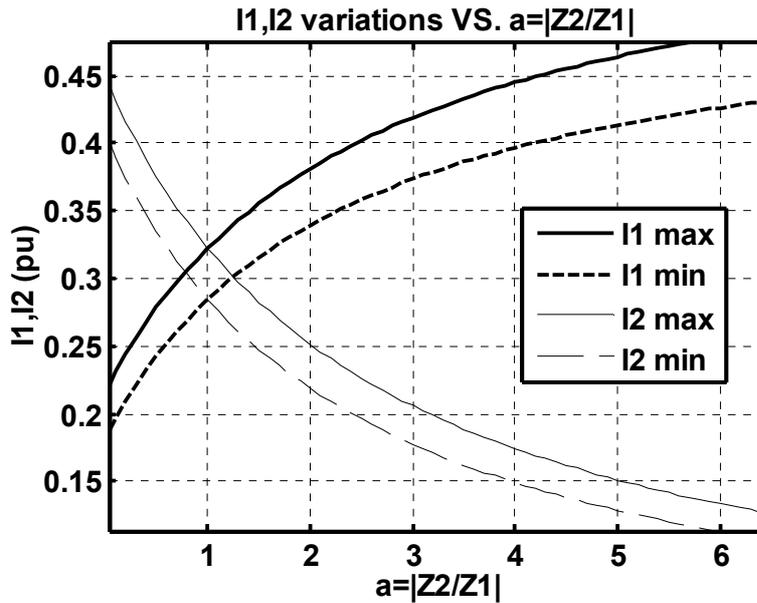
شکل ۴-۸: نمودار تاثیر تغییرات  $V_{s2}$  نسبت به  $V_{s1}$  بر جهت انتشار فلیکر

همانطور که مشاهده می شود؛ منحنی های پوش مربوط به جریان های  $I_1$  و  $I_2$  در اثر تغییرات  $V_{s2}$  نسبت به  $V_{s1}$ ، تغییر جهت نداده اند؛ و این به معنی اینست که تغییرات منابع ولتاژ هیچگونه تاثیری بر جهت انتشار فلیکر ندارد.

#### ۴-۴-۲- تاثیر امپدانس های خطوط ( $Z_1$ و $Z_2$ ) بر جهت انتشار فلیکر

در این قسمت، تاثیر تغییرات امپدانس های خطوط نسبت به یکدیگر بر جهت انتشار فلیکر، بررسی می شود. برای این کار، تمامی عناصر متقابل شبکه به جز امپدانس های خطوط  $Z_1$  و  $Z_2$  برابر فرض می شوند؛ یعنی:  $Z_{th1} = Z_{th2} = Z_{th} = r + jx$ ؛  $V_{s1} = V_{s2} = V_s = E_r + jE_i$ ؛  $Z_{f1} = Z_{f2} = Z_f = R_f + jX_f$  و در نتیجه، معادلات پیچیده ای به دست می آید که تحلیل آنها بسیار مشکل به نظر می رسد ولی از طریق رسم نمودار به راحتی می توان متوجه شد که تغییرات امپدانس های خطوط، هیچگونه تاثیری بر جهت انتشار فلیکر ندارد (شکل ۴-۹).

همانطور که مشاهده می شود؛ منحنی های پوش مربوط به جریان های  $I_1$  و  $I_2$  در اثر تغییرات  $Z_2$  نسبت به  $Z_1$ ، تغییر جهت نداده اند؛ و این به معنی اینست که تغییرات امپدانس های خطوط، هیچگونه تاثیری بر جهت انتشار فلیکر ندارد.



شکل ۴-۹: نمودار تاثیر تغییرات  $Z_2$  نسبت به  $Z_1$  بر جهت انتشار فلیکر

#### ۴-۳-۴- تاثیر امپدانس های تونن منابع تغذیه ( $Z_{th1}$ و $Z_{th2}$ ) بر جهت انتشار فلیکر

در این قسمت، تاثیر تغییرات امپدانس های منابع تغذیه نسبت به یکدیگر، بر جهت انتشار فلیکر، بررسی می شود. برای این کار، فرض می شود، تمامی عناصر متقابل شبکه به جز امپدانس های تونن منابع تغذیه  $Z_{th1}$  و  $Z_{th2}$  با هم برابرند؛ یعنی:  $V_{s1} = V_{s2} = V_s = E_r + jE_i$ ؛  $Z_1 = Z_2 = Z = R + jX$ ؛  $Z_{f1} = Z_{f2} = Z_f = R_f + jX_f$  در نتیجه، باز هم مانند قسمت های قبل به دلیل زیاد بودن پارامتر های مدار، معادلات پیچیده ای به دست می آیند که تحلیل آنها جز با کم کردن تعدادی از پارامتر های موجود بسیار مشکل به نظر می رسد. بنابراین با توجه به اینکه در قسمت قبل ثابت شد که امپدانس های خطوط تاثیری در تغییر جهت انتشار فلیکر ندارند، پس می توان با یک فرض معقول آنها را نادیده گرفت با این فرض، معادلات زیر به دست می آید:

$$I_1 = \frac{(r_2 R_f - x_2 X_f + R_L r_2 - X_L x_2 + X_L x_1 - R_L r_1 + j(r_2 X_f - X_L r + x_2 R_f + R_L x_2 + X_L r_2 - R_L x_1))(E_i - jE_r)}{(-2x_1 X_L x_2 + 2x_1 R_L r_2 + 2r_1 X_L r_2 + 2r_1 R_L x_2 + R_f X_L r_2 - x_1 X_f X_L + ix_1 R_f x_2 + r_1 X_f R_L + iX_L R_f x_2 + ix_1 X_f r_2 + ix_1 R_f X_L + ir_1 X_f x_2 - ir_1 R_f r_2 - 2ir_1 R_L r_2 + 2ix_1 X_L r_2 - ir_1 R_f R_L + iX_f R_L x_2 + ix_1 X_f R_L + iX_L X_f r_1 + iX_L r_2 X_f - iR_L R_f r_2 + 2ir_1 X_L x_2 + 2ix_1 R_L x_2 + X_f R_L x_2 + X_f R_L r_2 - X_f X_L x_2 + x_1 R_f R_L + r_1 R_f X_L + r_1 X_f r_2 + r_1 R_f x_2 + x_1 R_f r_2 - x_1 X_f x_2)}$$

(۴-۶۰)

$$I_2 = \frac{(r_1 R_f - x_1 X_f + R_L r_1 - X_L x_1 + X_L x_2 - R_L r_2 + j(r_1 X_f - X_L r_2 + x_1 R_f + R_L x_1 + X_L r_1 - R_L x_2))(E_i - jE_r)}{(-2x_1 X_L x_2 + 2x_1 R_L r_2 + 2r_1 X_L r_2 + 2r_1 R_L x_2 + R_f X_L r_2 - x_1 X_f X_L + ix_1 R_f x_2 + r_1 X_f R_L + iX_L R_f x_2 + ix_1 X_f r_2 + ix_1 R_f X_L + ir_1 X_f x_2 - ir_1 R_f r_2 - 2ir_1 R_L r_2 + 2ix_1 X_L r_2 - ir_1 R_f R_L + iX_f R_L x_2 + ix_1 X_f R_L + iX_L X_f r_1 + iX_L r_2 X_f - iR_L R_f r_2 + 2ir_1 X_L x_2 + 2ix_1 R_L x_2 + R_f R_L x_2 + X_f R_L r_2 - X_f X_L x_2 + x_1 R_f R_L + r_1 R_f X_L + r_1 X_f r_2 + r_1 R_f x_2 + x_1 R_f r_2 - x_1 X_f x_2)}$$

(۶۱-۴)

$$\frac{dI_1}{dR_f} = \frac{(-X_L x_2 - R_L r_1 + R_L r_2 - r_1 r_2 + X_L x_1 + x_1 x_2 - j(x_1 r_2 + X_L r_1 - X_L r_2 - R_L x_2 + r_1 x_2 + R_L x_1))(X_L - iR_L)(-ir_1 + x_1 + x_2 - ir_2)(-E_r - jE_i)}{A_1^2}$$

(۶۲-۴)

$$\frac{dI_2}{dR_f} = \frac{(-X_L x_1 - R_L r_2 + R_L r_1 - r_1 r_2 + X_L x_2 + x_1 x_2 - j(x_1 r_2 + X_L r_2 - X_L r_1 - R_L x_1 + r_1 x_2 + R_L x_2))(X_L - iR_L)(-ir_1 + x_1 + x_2 - ir_2)(-E_r - jE_i)}{A_2^2}$$

(۶۳-۴)

که در روابط (۶۲-۴) و (۶۳-۴)،  $A_1$  و  $A_2$  به ترتیب مخرج کسرهای  $I_1$  و  $I_2$  هستند. با صفر قرار دادن صورت رابطه (۶۲-۴) مقادیر مقاومت تونن و راکتانس تونن بحرانی به صورت زیر به دست می آیند:

$$r_{th2c1} = \frac{R_L r_{th1}(R_L - r_{th1}) + X_L^2 r_{th1} - R_L x_{th1}^2}{(R_L - r_{th1})^2 + (X_L - x_{th1})^2}$$

(۶۴-۴)

$$x_{th2c1} = \frac{X_L x_{th1}(X_L - x_{th1}) + R_L^2 x_{th1} - X_L r_{th1}^2}{(R_L - r_{th1})^2 + (X_L - x_{th1})^2}$$

(۶۵-۴)

به عبارت دیگر:

$$Z_{th2c1} = r_{th2c1} + jx_{th2c1} = \frac{Z_L Z_{th1}}{Z_L - Z_{th1}}$$

(۶۶-۴)

همچنین با صفر قرار دادن صورت رابطه (۶۳-۴) مقادیر مقاومت تونن و امپدانس تونن بحرانی به صورت زیر به دست می آیند:

$$r_{th2c2} = \frac{R_L r_{th1}(R_L + r_{th1}) + X_L^2 r_{th1} + R_L x_{th1}^2}{(R_L + r_{th1})^2 + (X_L + x_{th1})^2}$$

(۶۷-۴)

$$x_{th2c}^2 = \frac{X_L x_{th1} (X_L + x_{th1}) + R_L^2 x_{th1} + X_L r_{th1}^2}{(R_L + r_{th1})^2 + (X_L + x_{th1})^2} \quad (۶۸-۴)$$

به عبارت دیگر:

$$Z_{th2c}^2 = r_{th2c}^2 + jx_{th2c}^2 = \frac{Z_L Z_{th1}}{Z_L + Z_{th1}} \quad (۶۹-۴)$$

توجه شود که اگر مقادیر راکتانس ها را برابر صفر در نظر بگیریم، روابط فوق تبدیل به همان روابط (۲۹-۴) و (۳۰-۴) که در قسمت تحلیل DC به دست آمد، می شوند.

این به این معنی است که پوش جریان  $i_1$ ، به ازای  $Z_{th2} > Z_{th2c}^1$ ،  $۱۸۰$  درجه تغییر جهت می دهد یا به عبارت دیگر جهت انتشار فلیکر در نقطه  $m_1$  تغییر می کند. همچنین، پوش جریان  $i_2$ ، به ازای  $Z_{th2} < Z_{th2c}^2$ ،  $۱۸۰$  درجه تغییر جهت می دهد یا به عبارت دیگر جهت انتشار فلیکر در نقطه  $m_2$  تغییر می کند. پس به طور خلاصه در کل بازه تغییرات  $Z_{th2}$  نسبت به  $Z_{th1}$ ، سه ناحیه وجود دارد:

$$(۱) \quad Z_{th2} < Z_{th2c}^2 \quad \text{که در این ناحیه، } m_1 \text{ و } m_2 \text{ Downstream است.}$$

$$(۲) \quad Z_{th2c}^2 < Z_{th2} < Z_{th2c}^1 \quad \text{که در این ناحیه، هر دو نقطه } m_1 \text{ و } m_2 \text{ Upstream هستند.}$$

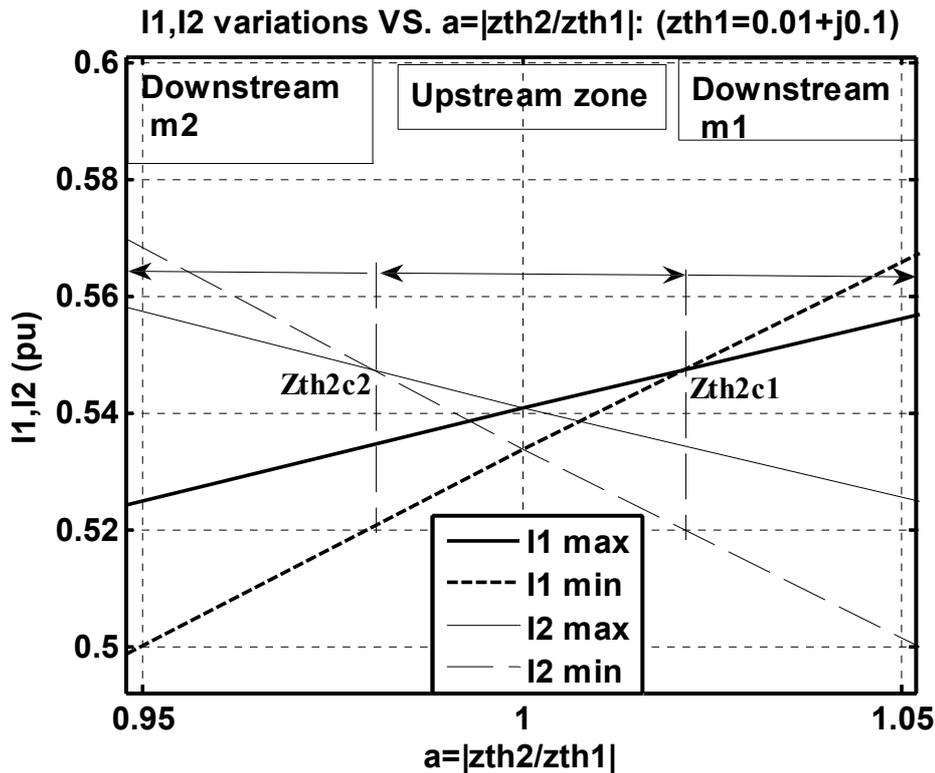
$$(۳) \quad Z_{th2} > Z_{th2c}^1 \quad \text{که در این ناحیه، } m_1 \text{ و } m_2 \text{ Downstream است.}$$

همچنین نتایج به دست آمده از شبیه سازی نیز، این موضوع را تایید می کند. شکل ۴-۱۰، تاثیر تغییرات  $Z_{th2}$  نسبت به  $Z_{th1}$  را بر جهت انتشار فلیکر نشان می دهد. این سه ناحیه در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است.

جالب توجه است که روابط (۴-۶۶) و (۴-۶۹) مستقل از  $Z_f$  هستند و این به این معنی است که در صورت صفر گرفتن امپدانس های خطوط، هر منبع فلیکری با هر شدتی که در دو طرف بار خطی وجود داشته باشد، مقادیر امپدانس بحرانی تغییری نمی کند. با جایگذاری (۴-۶۶) در (۴-۶۰) و (۴-۶۹) در (۴-۶۱) مقادیر جریان های متناظر با امپدانس های بحرانی به دست می آیند.

$$I_{1c1} = \frac{(E_r + jE_i)}{2(R_L + jX_L)} = \frac{V_s}{2Z_L} \quad (۷۰-۴)$$

$$I_{2c1} = \frac{j(r_1 X_f - jR_L r_1 + X_L r_1 - X_f R_L - jX_f X_L + jx_1 X_f + R_L x_1 + jX_L x_1 - jr_1 R_f + jR_f R_L - R_f X_L + x_1 R_f) V_s}{2(R_f + r_1 + j(x_1 + X_f))(X_L - jR_L)^2}$$



شکل ۴-۱۰: نمودار تاثیر تغییرات  $Z_{th2}$  نسبت به  $Z_{th1}$  بر جهت انتشار فلیکر

$$= \frac{V_s (Z_{th1} (Z_L + Z_f) - Z_L Z_f)}{2Z_L^2 (Z_{th1} + Z_f)} \quad (71-4)$$

$$I_{Lc1} = \frac{V_s Z_f (2Z_L - Z_{th1})}{2Z_L^2 (Z_f + Z_{th1})} \quad (72-4)$$

$$I_{1c2} = \frac{V_s (Z_f - Z_{th1})}{2(Z_L Z_{th1} + Z_f Z_{th1} + Z_f Z_L)} \quad (73-4)$$

$$I_{2c2} = \frac{(E_r + jE_i)}{2(R_L + jX_L)} = \frac{V_s}{2Z_L} \quad (74-4)$$

$$I_{Lc2} = \frac{V_s Z_f (2Z_L + Z_{th1})}{2Z_L (Z_L Z_{th1} + Z_f Z_{th1} + Z_f Z_L)} \quad (75-4)$$

که در روابط فوق،  $I_{1c1}$ ، همان  $I_1$  به ازای  $Z_{th2} = Z_{th2c1}$  و  $I_{1c2}$ ، همان  $I_1$  به ازای  $Z_{th2} = Z_{th2c2}$  می باشد. همچنین،  $I_{2c1}$ ، همان  $I_2$  به ازای  $Z_{th2} = Z_{th2c1}$  و  $I_{2c2}$ ، همان  $I_2$  به ازای  $Z_{th2} = Z_{th2c2}$  می باشد همانطور که از رابطه (۷۰-۴) پیداست به ازای  $Z_{th2} = Z_{th2c1}$ ، جریان  $I_1$  یک جریان ثابت و بدون نوسان است. یعنی مقدار ماکزیمم و مینیمم پوش آن با یکدیگر مساویند. همچنین به ازای  $Z_{th2} = Z_{th2c2}$ ، جریان  $I_2$  یک جریان ثابت است. یعنی مقدار ماکزیمم و مینیمم پوش آن با هم مساویند.

پس، نتیجه کلی این است که تغییرات امپدانس های سری منابع تغذیه، بر تغییر جهت انتشار فلیکر، مؤثر است؛ به عبارت دیگر با وجود دو منبع فلیکر با شدت تغییرات مساوی، اگر امپدانس سری یکی از منابع تغذیه، تا یک حد خاص از امپدانس سری منبع دیگر بزرگتر باشد؛ آنگاه نقطه اندازه گیری سمت منبع قوی تر (منبعی که مقاومت سری آن کوچکتر است)، Downstream می شود. و این به این معنی است که اگر دو منبع فلیکر با شدت مساوی وجود داشته باشد، منبع فلیکر سمت منبع تغذیه ضعیف تر، منبع غالب خواهد بود.

**نکته:** اندازه بار نیز در مقادیر امپدانس های بحرانی تاثیر دارد به طوریکه هر چه توان بار کمتر باشد ( $Z_L$  بزرگتر باشد) مقادیر امپدانس های بحرانی  $Z_{th2c1}$  و  $Z_{th2c2}$  از دو طرف به  $Z_{th1}$  نزدیکتر می شوند و در نتیجه بازه مربوط به ناحیه وسط (ناحیه ای که هر دو نقطه، upstream هستند) کوچکتر می شود و برعکس هر چه بار بزرگتر باشد، ناحیه وسط، از هر دو طرف وسیع تر می شود.

#### ۴-۴-۴- تاثیر امپدانس های منابع فلیکر ( $Z_{f1}$ و $Z_{f2}$ ) بر جهت انتشار فلیکر

در این قسمت، تاثیر تغییرات امپدانس های منابع فلیکر نسبت به یکدیگر بر جهت انتشار فلیکر، بررسی می شود. برای این کار، تمامی عناصر متقابل شبکه به جز امپدانس های منابع فلیکر  $Z_{f1}$  و  $Z_{f2}$  برابر فرض می شوند؛ یعنی:  $V_{s1} = V_{s2} = V_s = E_r + jE_i$ ؛  $Z_{th1} = Z_{th2} = Z_{th} = r + jx$  و  $Z_1 = Z_2 = Z = R + jX$ ؛ در حالت کلی معادلات پیچیده ای به دست می آید که با توجه به اینکه در قسمت های قبل ثابت شد که مقادیر امپدانس خطوط در تغییر جهت انتشار فلیکر بی تاثیر است، بنابراین می توان برای سادگی روابط از آنها صرفنظر کرد. با این فرض، معادلات زیر به دست می آیند:

$$I_1 = \frac{-V_s(R_{f2}R_{f1} - R_{f2}R_L + R_L R_{f1} - iR_{f2}X_L + iX_{f2}R_{f1} - iX_{f2}R_L + X_{f2}X_L + iR_{f2}X_{f1} - X_{f1}X_{f2} - X_L X_{f1} + iX_L R_{f1} + iR_L X_{f1})}{(-2R_{f2}R_L R_{f1} + 2R_{f2}X_L X_{f1} + 2X_{f2}X_L R_{f1} - R_{f2}rR_{f1} - R_L rR_{f1} + R_{f2}X_L X + xX_L R_{f1} + xR_L X_{f1} + X_{f2}R_L X + xR_{f2}X_{f1} + rX_L X_{f1} + xX_{f2}R_{f1} + rX_{f2}X_L + rX_{f2}X_{f1} - R_{f2}R_L r + 2X_{f2}R_L X_{f1} + iX_L xX_{f1} + 2iX_{f2}X_L X_{f1} + iX_{f2}X_L X + iX_{f2}xX_{f1} - iR_{f2}R_L x - 2iR_{f2}R_L X_{f1} - iX_L rR_{f1} - iR_L xR_{f1} - iX_{f2}R_L r - iR_{f2}X_L r - iR_{f2}xR_{f1} - 2iR_{f2}X_L R_{f1} - iR_{f2}rX_{f1} - iR_L rX_{f1} - iX_{f2}rR_{f1} - 2iX_{f2}R_L R_{f1})}$$

$$= \frac{V_s(Z_{f1}Z_{f2} + Z_{f1}Z_L - Z_{f2}Z_L)}{Z_{f1}Z_{f2}(2Z_L + Z_{th}) + Z_L Z_{th}(Z_{f1} + Z_{f2})} \quad (۷۶-۴)$$

$$I_2 = \frac{-V_s(R_{f2}R_{f1} - R_{f1}R_L + R_L R_{f2} - iR_{f1}X_L + iX_{f2}R_{f1} - iX_{f1}R_L + X_{f1}X_L + iR_{f2}X_{f1} - X_{f1}X_{f2} - X_L X_{f2} + iX_L R_{f2} + iR_L X_{f2})}{(-2R_{f2}R_L R_{f1} + 2R_{f2}X_L X_{f1} + 2X_{f2}X_L R_{f1} - R_{f2}rR_{f1} - R_L rR_{f1} + R_{f2}X_L x + xX_L R_{f1} + xR_L X_{f1} + X_{f2}R_L x + xR_{f2}X_{f1} + rX_L X_{f1} + xX_{f2}R_{f1} + rX_{f2}X_L + rX_{f2}X_{f1} - R_{f2}R_L r + 2X_{f2}R_L X_{f1} + iX_L xX_{f1} + 2iX_{f2}X_L X_{f1} + iX_{f2}X_L x + iX_{f2}xX_{f1} - iR_{f2}R_L x - 2iR_{f2}R_L X_{f1} - iX_L rR_{f1} - iR_L xR_{f1} - iX_{f2}R_L r - iR_{f2}X_L r - iR_{f2}xR_{f1} - 2iR_{f2}X_L R_{f1} - iR_{f2}rX_{f1} - iR_L rX_{f1} - iX_{f2}rR_{f1} - 2iX_{f2}R_L R_{f1})}$$

$$= \frac{V_s(Z_{f1}Z_{f2} + Z_{f2}Z_L - Z_{f1}Z_L)}{Z_{f1}Z_{f2}(2Z_L + Z_{th}) + Z_L Z_{th}(Z_{f1} + Z_{f2})} \quad (77-4)$$

$$\frac{dI_1}{dR_f} = \frac{2(-iX_{f2}r - R_{f2}r - X_L X_{f1} + iX_L R_{f1} + X_L X_{f2} - iX_L R_{f2} + iR_L X_{f1} + R_L R_{f1} - iR_L X_{f2} - R_L R_{f2} + xX_{f2} - iR_{f2}x)(R_L + jX_L)(R_{f2} + jX_{f2})V_s}{A_1^2}$$

$$= \frac{2V_s Z_{f2} Z_L (-Z_{f2}(Z_L + Z_{th}) + Z_{f1}Z_L)}{A_1^2} \quad (78-4)$$

$$\frac{dI_2}{dR_f} = \frac{2(-iX_{f1}r - R_{f1}r - X_L X_{f2} + iX_L R_{f2} + X_L X_{f1} - iX_L R_{f1} + iR_L X_{f2} + R_L R_{f2} - iR_L X_{f1} - R_L R_{f1} + xX_{f1} - iR_{f1}x)(R_L + jX_L)(R_{f1} + jX_{f1})V_s}{A_1^2}$$

$$= \frac{2V_s Z_{f1} Z_L (-Z_{f1}(Z_L + Z_{th}) + Z_{f2}Z_L)}{A_2^2} \quad (79-4)$$

که در (78-4) و (79-4)،  $A_1$  و  $A_2$  به ترتیب، مخرج کسرهای  $I_1$  و  $I_2$  هستند.

اگر (78-4) را برابر صفر قرار دهیم و از آن  $Z_{f2c1} Z_{f2c1}$  مقدار مقاومت منبع فلیکر شماره ۲ است

که  $\frac{dI_1}{dZ_f}$  به ازای آن، صفر می شود و تغییر علامت می دهد) را برحسب  $Z_{f1}$  و سایر پارامترهای

شبکه به دست آوریم؛ روابط زیر به دست می آید:

$$R_{f2c1} = \frac{R_{f1}(R_L^2 + X_L^2 + X_L x + R_L r) + X_{f1}(R_L x - X_L r)}{(R_L + r)^2 + (X_L + x)^2} \quad (80-4)$$

$$X_{f2c1} = \frac{(X_L X_{f1} - R_L R_{f1})(X_L + x) + (R_L X_{f1} - X_L R_{f1})(R_L + r)}{(R_L + r)^2 + (X_L + x)^2} \quad (81-4)$$

به عبارت دیگر:

$$Z_{f2c1} = \frac{Z_L Z_{f1}}{Z_L + Z_{th}} \quad (82-4)$$

همچنین با صفر قرار دادن (۷۹-۴)  $Z_{f2c2}$  مقدار مقاومت منبع فلیکر شماره ۲ است که

به ازای آن، صفر می شود و تغییر علامت می دهد) برحسب  $Z_{f1}$  و سایر پارامترهای شبکه به

دست می آید:

$$R_{f2c2} = \frac{X_{f1}(X_L - R_L)(R_L + r) + R_{f1}X_L(X_L - R_L + x) + R_{f1}R_Lr}{(R_L^2 + X_L^2)} \quad (۸۳-۴)$$

$$X_{f2c2} = \frac{X_L(X_{f1}(X_L + x) - R_{f1}(r - X_L)) + R_L(R_{f1}(X_L + x) + X_{f1}(R_L + r))}{(R_L^2 + X_L^2)} \quad (۸۴-۴)$$

$$Z_{f2c2} = \frac{Z_{f1}(Z_L + Z_{th})}{Z_L} \quad (۸۵-۴)$$

این به این معنی است که پوش جریان  $I_1$ ، به ازای  $Z_{f2} < Z_{f2c1}$ ،  $۱۸۰^\circ$  درجه تغییر جهت می دهد یا به عبارت دیگر جهت انتشار فلیکر در نقطه  $m_1$  تغییر می کند. همچنین، پوش جریان  $i_2$ ، به ازای  $Z_{f2} > Z_{f2c2}$ ،  $۱۸۰^\circ$  درجه تغییر جهت می دهد یا به عبارت دیگر جهت انتشار فلیکر در نقطه  $m_2$  تغییر می کند. پس به طور خلاصه، در کل بازه تغییرات  $Z_{f2}$  نسبت به  $Z_{f1}$ ، سه ناحیه وجود دارد:

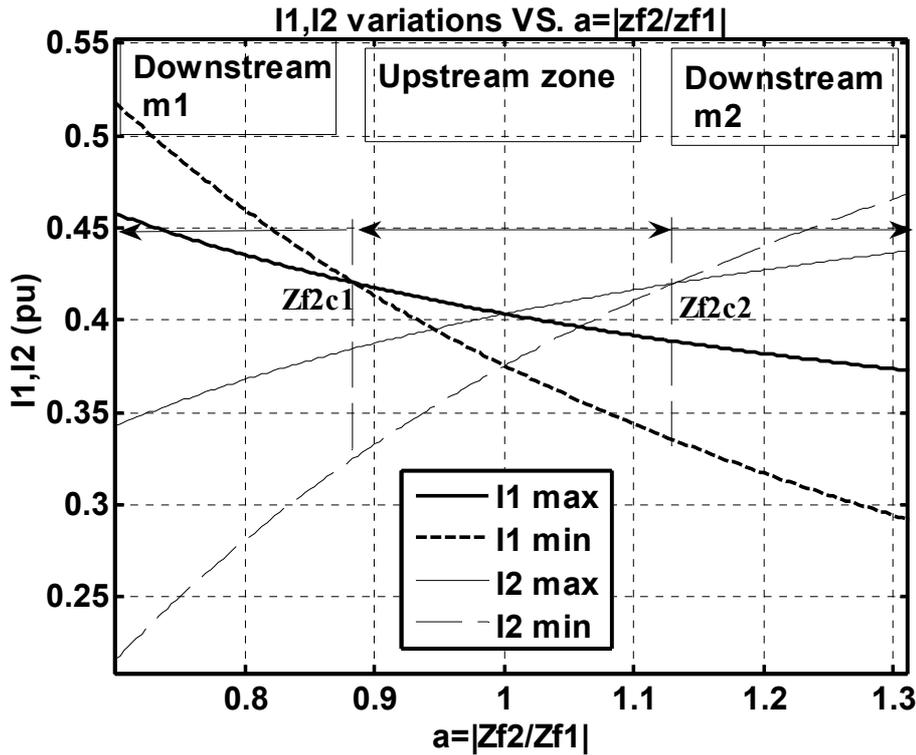
(۱)  $Z_{f2} < Z_{f2c1}$  که در این ناحیه،  $m_1$ ، Downstream و  $m_2$ ، Upstream است.

(۲)  $Z_{f2c1} < Z_{f2} < Z_{f2c2}$  که در این ناحیه، هر دو نقطه  $m_1$  و  $m_2$ ، Upstream هستند.

(۳)  $Z_{f2} > Z_{f2c2}$  که در این ناحیه،  $m_1$ ، Upstream و  $m_2$ ، Downstream است.

همچنین نتایج به دست آمده از شبیه سازی نیز، این موضوع را تایید می کند. شکل ۴-۱۱، تاثیر

تغییرات  $Z_{f2}$  نسبت به  $Z_{f1}$  را بر جهت انتشار فلیکر نشان می دهد. این سه ناحیه در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۱: نمودار تاثیر تغییرات  $Z_{f2}$  نسبت به  $Z_{f1}$  بر جهت انتشار فلیکر

با جایگذاری (۴-۸۲) در (۴-۷۶) و (۴-۸۵) در (۴-۷۷) مقادیر جریان های متناظر با امیدانس

های بحرانی به دست می آیند.

$$I_{1c1} = \frac{V_s}{Z_{th} + 2Z_L} \quad (۴-۸۶)$$

$$I_{2c1} = \frac{V_s (Z_{f1} - Z_{th})}{(Z_{th} + 2Z_L)(Z_{f1} + Z_{th})} \quad (۴-۸۷)$$

$$I_{Lc1} = \frac{2V_s Z_{f1}}{(Z_{th} + 2Z_L)(Z_{f1} + Z_{th})} \quad (۴-۸۸)$$

$$I_{1c2} = \frac{V_s (Z_{f1} Z_L + Z_{th} Z_{f1} - Z_{th} Z_L)}{(Z_{th} + 2Z_L)(Z_{f1} Z_L + Z_{th} Z_{f1} + Z_{th} Z_L)} \quad (۴-۸۹)$$

$$I_{2c2} = \frac{V_s}{Z_{th} + 2Z_L} \quad (۴-۹۰)$$

$$I_{Lc2} = \frac{2V_s Z_{f1} (Z_L + Z_{th})}{(Z_{th} + 2Z_L)(Z_{f1} Z_L + Z_{th} Z_{f1} + Z_{th} Z_L)} \quad (۴-۹۱)$$

که در روابط فوق،  $I_{1c1}$ ، همان  $I_1$  به ازای  $Z_{f2} = Z_{f2c1}$  و  $I_{1c2}$ ، همان  $I_1$  به ازای  $Z_{f2} = Z_{f2c2}$  می باشد. همچنین،  $I_{2c1}$ ، همان  $I_2$  به ازای  $Z_{f2} = Z_{f2c1}$  و  $I_{2c2}$ ، همان  $I_2$  به ازای  $Z_{f2} = Z_{f2c2}$  می باشد. همانطور که از رابطه (۴-۸۶) پیداست به ازای  $Z_{f2} = Z_{f2c1}$ ، جریان  $I_1$  یک جریان ثابت و بدون نوسان است. یعنی مقدار ماکزیمم و مینیمم پوش آن با یکدیگر مساوی شده اند. همچنین به ازای  $Z_{f2} = Z_{f2c2}$ ، جریان  $I_2$  یک جریان ثابت و بدون نوسان است. یعنی مقدار ماکزیمم و مینیمم پوش آن با یکدیگر مساوی شده اند.

پس نتیجه کلی این است که تغییرات امپدانس های منابع فلیکر، بر تغییر جهت انتشار فلیکر مؤثر است. به عبارت دیگر با وجود دو منبع تغذیه با امپدانس سری مساوی، اگر تغییرات امپدانس یکی از منابع فلیکر، تا یک حد خاص از امپدانس سری منبع دیگر بزرگتر باشد؛ آنگاه نقطه اندازه گیری سمت منبع فلیکر ضعیف تر (منبعی که امپدانس فلیکر آن بزرگتر است)، Downstream می شود. و این به این معنی است که اگر دو منبع تغذیه با قدرت مساوی داشته باشیم، منبع فلیکری که دارای نوسانات بیشتری است، منبع غالب خواهد بود.

#### ۴-۵- الگوریتم پیشنهادی برای یافتن منبع(منابع) فلیکر در شبکه

##### های تغذیه شده از چند طرف

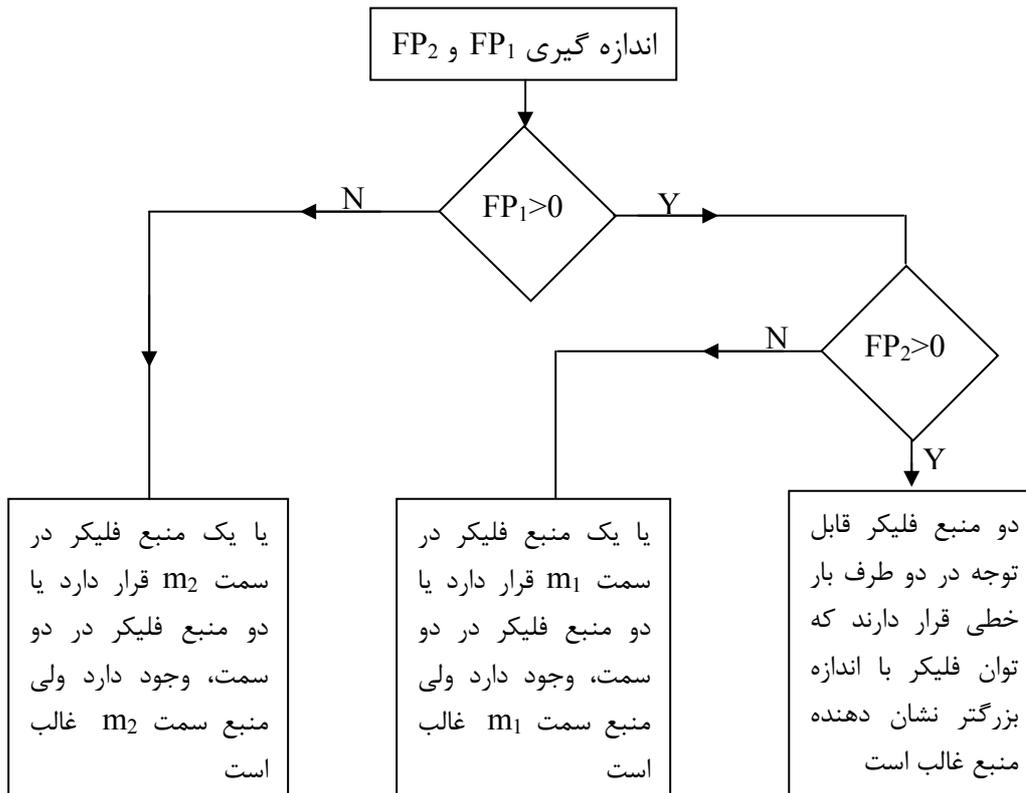
با توجه به نتایج یه دست آمده در بخش های قبل، می توان الگوریتم زیر را برای یافتن منابع فلیکر یا منبع فلیکر غالب در سیستم هایی که از دو سو تغذیه می شوند، به کار برد:

- ۱- توان فلیکر در نقطه اتصال بار خطی به شبکه برای هر دو خط ورودی، اندازه گیری شود.
- ۲- مقایسه نتایج به دست آمده: اگر هر دو مقدار به دست آمده، مثبت باشند، برو به ۳.
- اگر توان فلیکر مربوط به نقطه  $m_1$  مثبت و توان فلیکر مربوط به  $m_2$  منفی باشد، برو به ۴.
- اگر توان فلیکر مربوط به نقطه  $m_1$  منفی و توان فلیکر مربوط به  $m_2$  مثبت باشد، برو به ۵.
- ۳- دو منبع فلیکر قابل توجه در دو طرف بار خطی وجود دارند که هر دو مهم هستند ولی اندازه هر کدام از توان های فلیکر بزرگتر باشد منبع فلیکر همان سمت، منبع غالب است

۴- دو حالت ممکن وجود دارد: یا فقط یک منبع فلیکر در سمت نقطه  $m_1$  وجود دارد و یا دو منبع فلیکر وجود دارد که منبع فلیکر سمت  $m_1$  غالب است.

۵- دو حالت ممکن وجود دارد: یا فقط یک منبع فلیکر در سمت نقطه  $m_2$  وجود دارد و یا دو منبع فلیکر وجود دارد که منبع فلیکر سمت  $m_2$  غالب است.

شمای مراحل الگوریتم پیشنهادی در شکل ۴-۱۲ رسم شده است.



شکل ۴-۱۲: الگوریتم پیشنهادی برای جهت یابی منبع (منابع) فلیکر در سیستم قدرت

لازم به ذکر است که الگوریتم فوق، در کلیه شبکه ها، قابل استفاده است. همچنین از طریق این الگوریتم می توان تعداد منابع فلیکر را هم با تعداد معدودی اندازه گیری، مشخص کرد. به این ترتیب که از یک نقطه شروع کرده، اگر توان فلیکر، مثبت بود یک خط به سمت منبع و اگر توان فلیکر، مثبت بود یک خط به سمت بار حرکت می کنیم و مراحل را تکرار می کنیم. در فصل پنجم، با ذکر مثال در این مورد بیشتر توضیح داده می شود.

---

---

فصل پنجم:

نتایج شبیه سازی

---

---

## ۵-۱- مقدمه

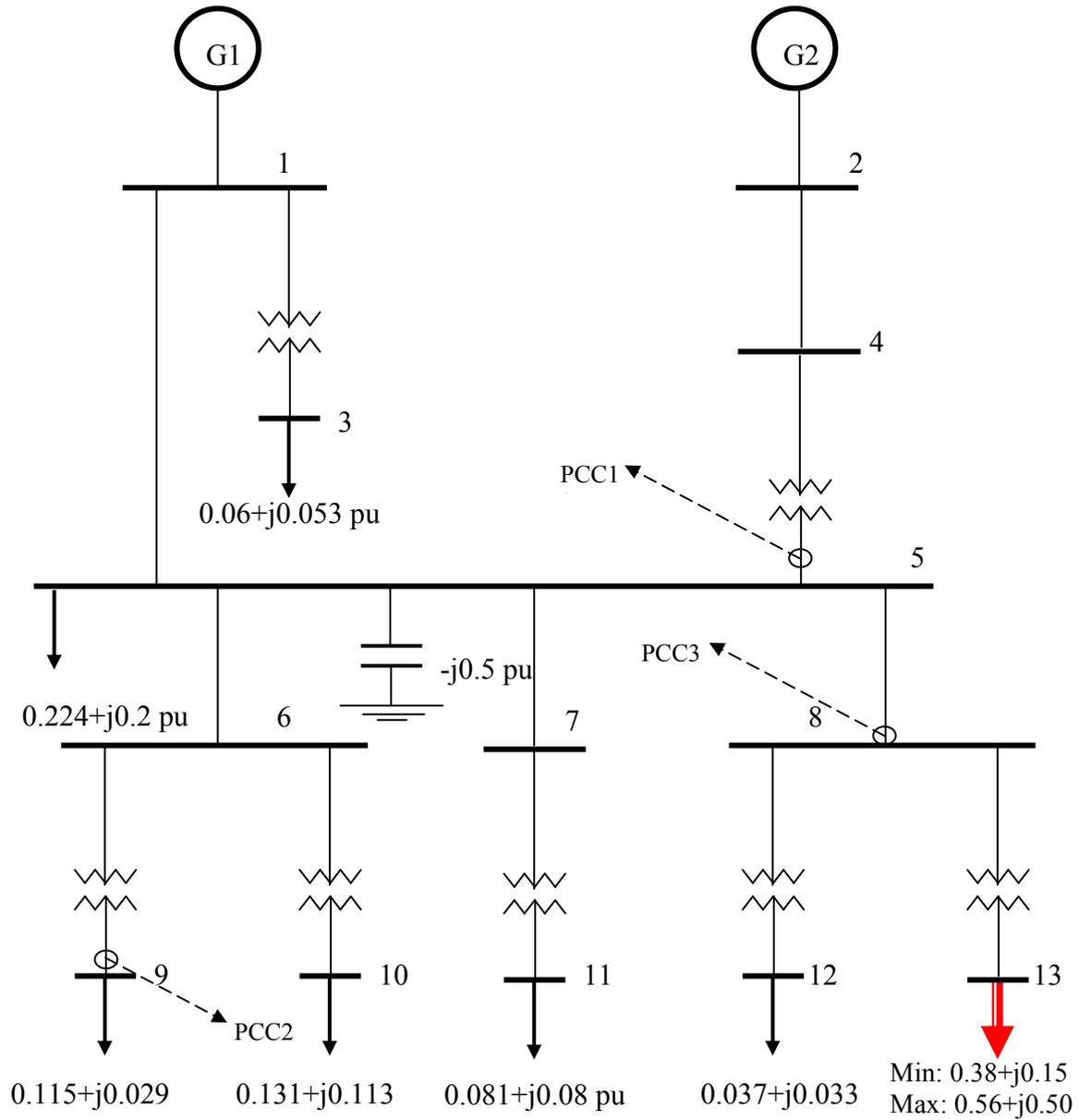
در فصل سوم، دو روش برای تشخیص جهت منبع فلیکر در سیستم قدرت، ارائه شد. همانگونه که گفته شد، این دو روش، تنها در شبکه های شعاعی، کاربرد دارند و برای استفاده آنها در شبکه های حلقوی (تغذیه شده از چند سو) نیاز به اصلاحاتی اساسی دارند.

در فصل قبل با استفاده از نتایج تئوری و همچنین شبیه سازی های انجام شده، در نهایت یک الگوریتم، برای تعیین جهت منبع فلیکر، پیشنهاد شد. به منظور نشان دادن کارایی الگوریتم به دست آمده و همچنین مقایسه نتایج به دست آمده از دو روش ذکر شده در فصل سوم، در این فصل، چهار مورد، شبیه سازی انجام می شود. سه مورد از این شبیه سازی ها (شبیه سازیهای شماره ۱، ۲ و ۳) بر روی شبکه ۱۳ باسه IEEE که یک شبکه شعاعی است انجام می گیرد و یک مورد دیگر (شبیه سازی شماره ۴) بر روی شبکه ۳ باسه مورد بحث در فصل ۴ انجام می شود.

## ۵-۲- شبیه سازی شماره ۱

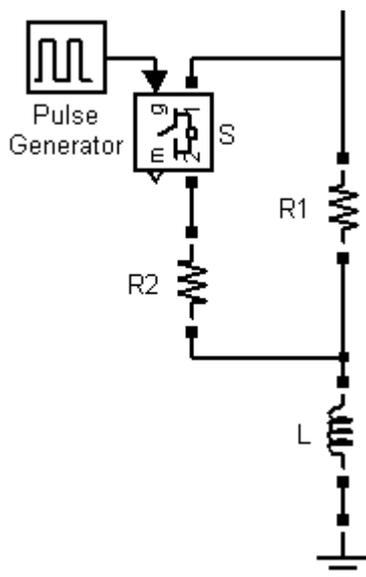
در این بخش، نتایج اعمال روشهای فوق بر شبکه ۱۳ باسه IEEE ارائه می شود. شکل ۵-۱ این شبکه را نشان می دهد.

سه نقطه مشاهده (PCC1، PCC2 و PCC3) به ترتیب، خروجی ترانسفورماتور متصل به باس شماره ۵، خروجی ترانسفورماتور متصل به باس شماره ۹ و خط ورودی به باس شماره ۸ در نظر گرفته شده است. همچنین بار مولد فلیکر، بار متصل به باس شماره ۱۳ فرض شده است. به این صورت که فرض شده توان بار آن با فرکانس ۱۰ هرتز مربعی بین مقدار مینیمم  $0.38+j0.15$  و مقدار ماکزیمم  $0.56+j0.5$  تغییر می کند.



شکل ۵-۱: شمای شبکه ۱۳ باسه IEEE با فرض وجود یک منبع فلیکر متصل به باس شماره ۱۳

در مدل سازی منبع فلیکر با مشخصات فوق، از یک بار R-L سری با L ثابت و R متغیر استفاده شده است. چون توان منبع فلیکر، بین یک مقدار مینیمم و ماکزیمم با نوسانات مربعی ۱۰ هرتز، تغییر می کند، بنابراین از دو مقاومت ثابت موازی R1 و R2 استفاده می کنیم که اولی همیشه در مدار است و دومی به وسیله یک کلید که با فرکانس ۱۰ هرتز قطع و وصل می شود، با اولی به صورت موازی وصل می شود (شکل ۵-۲).



شکل ۲-۵: مدل منبع فلیکر طراحی شده در محیط simulink نرم افزار MATLAB

مشخصات مربوط به شبکه در جداول ۱-۵ تا ۳-۵ نشان داده شده است.

جدول ۱-۵: امیدانس خطوط (بر اساس مقادیر بیس ۱۳/۸ کیلو ولت و ۱۰ مگا ولت آمپر)

From	to	R	X
1	5	0.00122	0.00243
2	4	0.00139	0.00296
5	6	0.00075	0.00063
5	7	0.00157	0.00131
5	8	0.00109	0.00091

جدول ۲-۵: داده های مربوط به بار

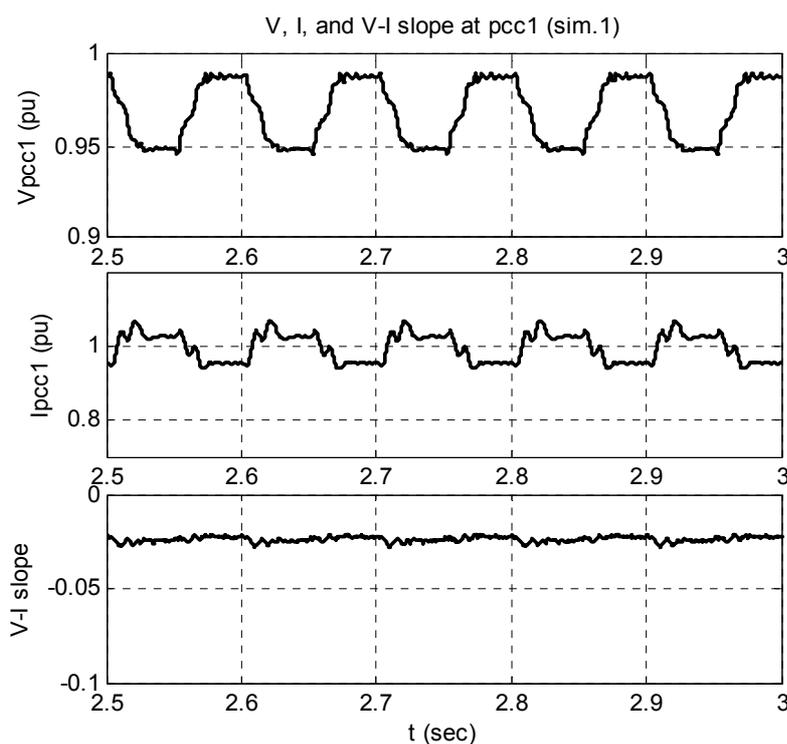
Bus	$V_{mag}(pu)$	$\Theta(deg)$	$P_{gen}$ pu	$Q_{gen}$ pu	$P_{load}$ pu	$Q_{load}$ pu
1	0.995		0.2000			
2	1.000	0.00				
3					0.0600	0.0530
4						
5					0.2240	0.2000
6						
7						
8						
9					0.1150	0.0290
10					0.1310	0.1130
11					0.0810	0.0800
13					Min: 0.3800 Max: 0.5600	Min: 0.1500 Max: 0.5000
12					0.0370	0.0330

جدول ۳-۵: داده های مربوط به ترانسها

from	to	voltage	tap	MVA	R	X
1	3	13.8:0.48	13.45	1.5	0.063953	0.37796
4	5	69:13.8	69	15	0.003132	0.053241
6	9	13.8:0.48	13.45	1.25	0.05914	0.35510
6	10	13.8:4.16	13.11	1.725	0.043142	0.34514
7	11	13.8:0.48	13.45	1.5	0.058287	0.37887
8	12	13.8:0.48	13.8	1.5	0.055753	0.36240
8	13	13.8:2.4	13.11	3.75	0.012181	0.14616

### ۵-۲-۱- نتایج اندازه گیری نقطه PCC1

نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc1 در شکل ۳-۵ نشان داده شده است.



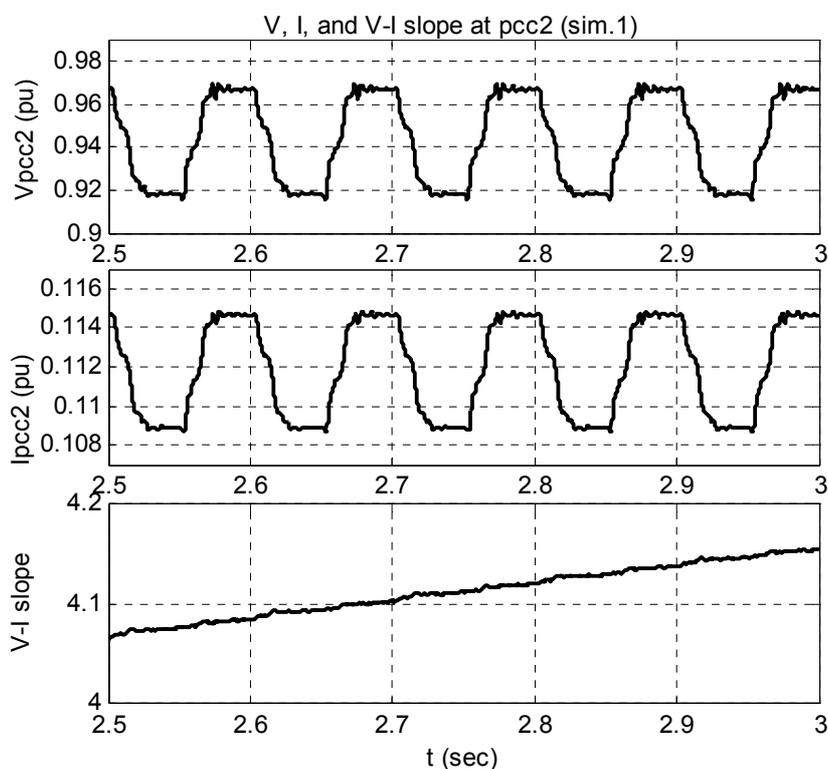
شکل ۳-۵: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc1 (شبیه سازی شماره ۱)

مشاهده می شود که پوش ولتاژ و جریان نسبت به یکدیگر، دارای ۱۸۰ درجه اختلاف فاز هستند که نشان دهنده این است که منبع فلیکر، بعد از نقطه اندازه گیری pcc1 می باشد. همچنین از نمودار

شیب ولتاژ- جریان نیز مشاهده می شود که این شیب، همواره مقداری منفی است. این نتیجه با نتایج به دست آمده در روش شیب ولتاژ-جریان، کاملاً سازگار است

### ۵-۲-۲- نتایج اندازه گیری نقطه PCC2

نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ- جریان نقطه pcc2 در شکل ۴-۵ نشان داده شده است. مشاهده می شود که پوش ولتاژ و جریان نسبت به یکدیگر، همفاز هستند که نشان دهنده این است که منبع فلیکر، قبل از نقطه اندازه گیری pcc2 می باشد. همچنین از نمودار شیب ولتاژ- جریان نیز مشاهده می شود که این شیب، همواره مقداری مثبت است. این نتیجه نیز مانند قبل با نتایج به دست آمده در روش شیب ولتاژ-جریان، کاملاً سازگار است

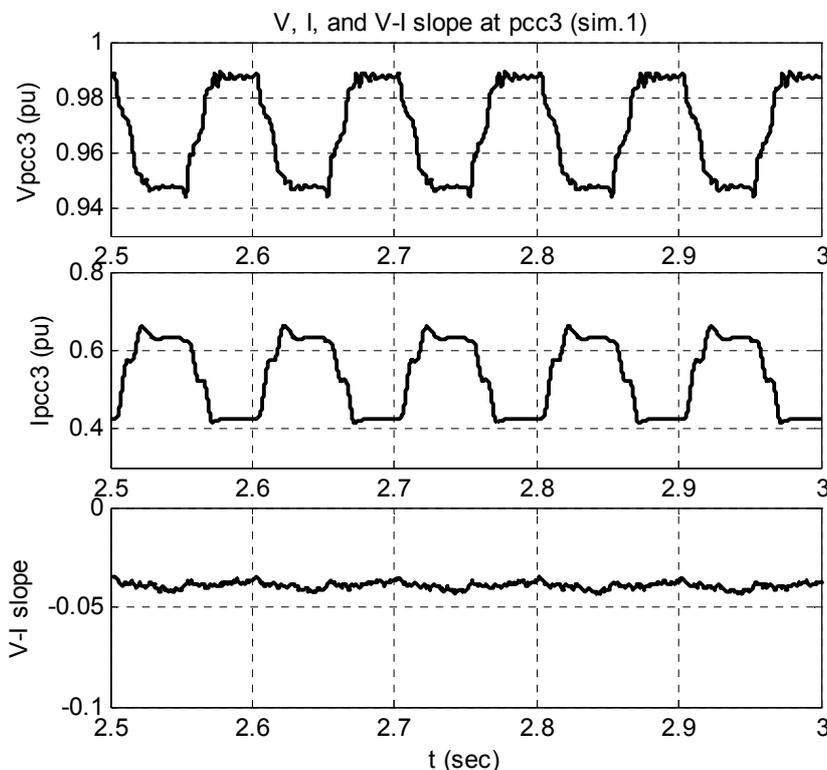


شکل ۴-۵: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ- جریان نقطه pcc2 (شبیه سازی شماره ۱)

### ۵-۲-۳- نتایج اندازه گیری نقطه PCC3

این نقطه در این شبیه سازی همان خاصیت نقطه pcc1 را دارا می باشد بنابراین نتایج به دست آمده در این نقطه نیز باید مانند نقطه pcc1 باشد. نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc3 در شکل ۵-۵ نشان داده شده است.

مشاهده می شود که پوش ولتاژ و جریان نسبت به یکدیگر، دارای ۱۸۰ درجه اختلاف فاز هستند که نشان دهنده این است که منبع فلیکر، بعد از نقطه اندازه گیری pcc3 می باشد. همچنین از نمودار شیب ولتاژ-جریان نیز مشاهده می شود که این شیب، همواره مقداری منفی است. این نتیجه با نتایج به دست آمده در روش شیب ولتاژ-جریان، کاملاً سازگار است.

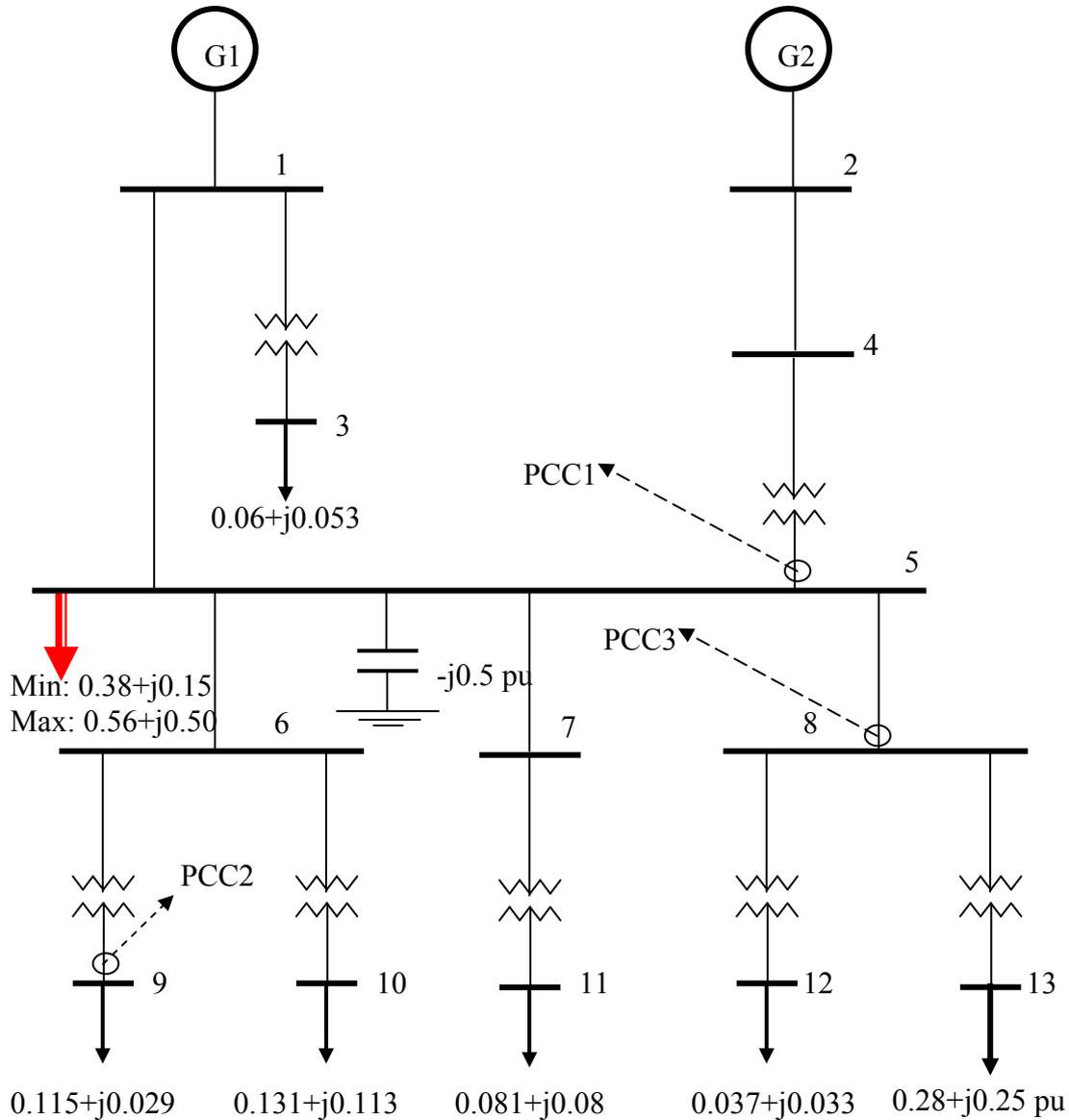


شکل ۵-۵: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc3 (شبیه سازی شماره ۱)

### ۵-۳- شبیه سازی شماره ۲

در این بخش، نیز مانند شبیه سازی شماره ۱ نتایج اعمال روشهای بیان شده، بر شبکه ۱۳ باسه IEEE ارائه می شود با این تفاوت که در این شبیه سازی فرض شده همان منبع فلیکر شبیه سازی

شماره ۱ به جای باس شماره ۱۳ به باس شماره ۵ متصل شده است. شکل ۵-۶ این شبکه را نشان می دهد.

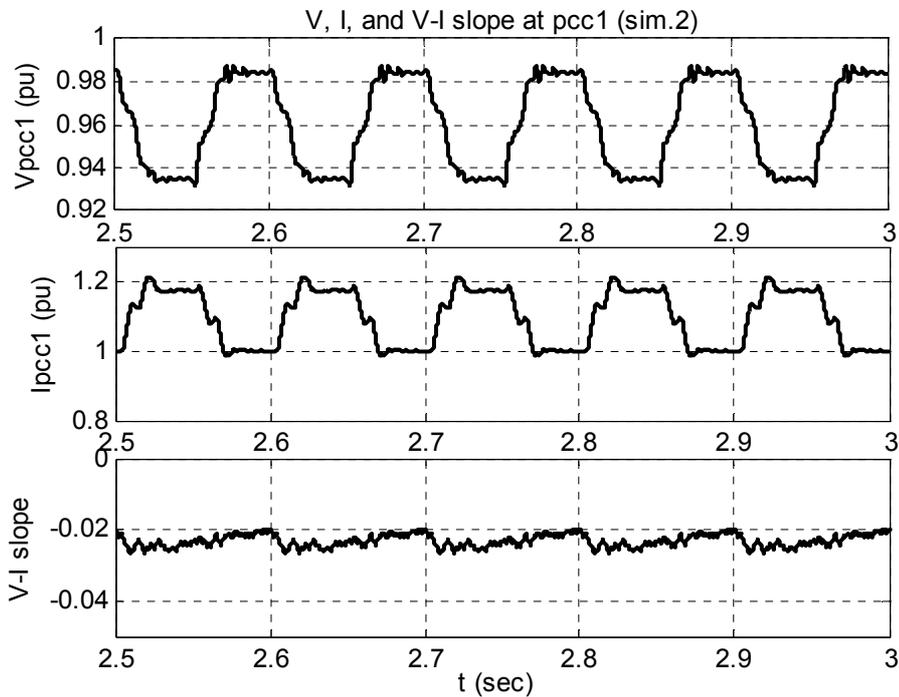


شکل ۵-۶: شمای شبکه ۱۳ باس IEEE با فرض وجود یک منبع فلیکر متصل به باس شماره ۵

### ۵-۳-۱- نتایج اندازه گیری نقطه PCC1

نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc1 در شکل ۵-۷ نشان داده شده است. مشاهده می شود که پوش ولتاژ و جریان نسبت به یکدیگر، ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند که نشان دهنده این است که منبع فلیکر، بعد از نقطه اندازه گیری pcc1 می باشد. همچنین از نمودار شیب ولتاژ-جریان

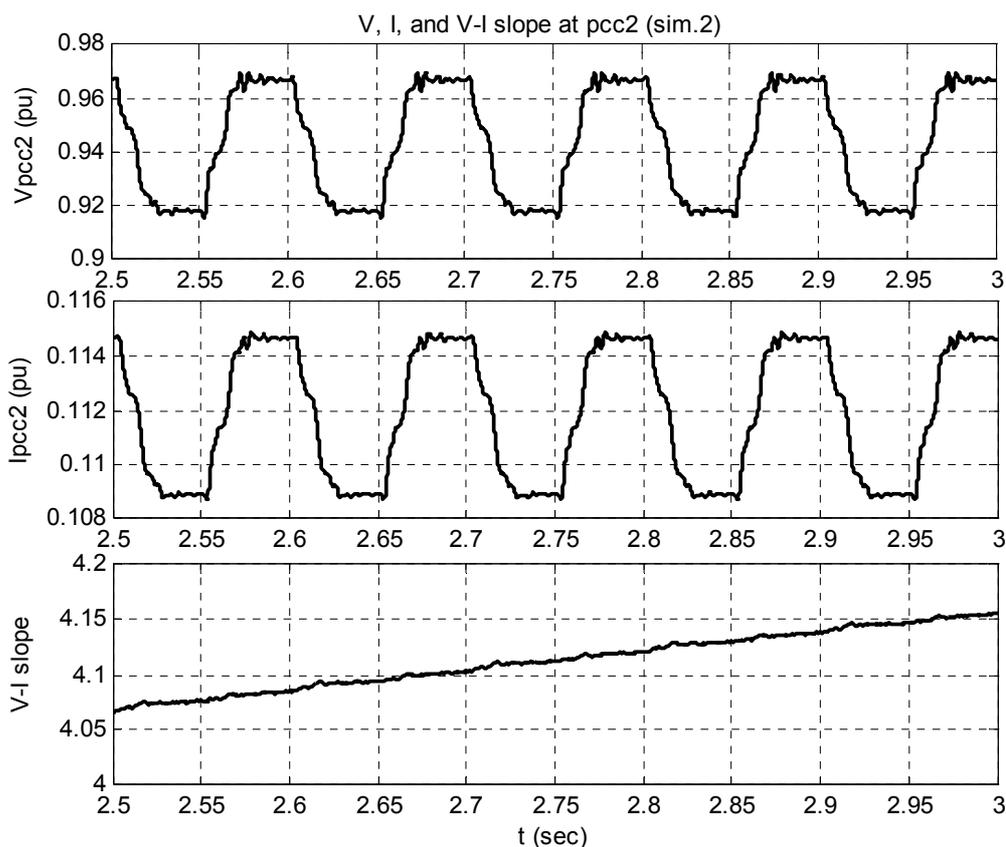
نیز مشاهده می شود که این شیب، همواره مقداری منفی است. این نتیجه نیز مانند قبل با نتایج به دست آمده در روش شیب ولتاژ-جریان، کاملاً سازگار است



شکل ۵-۷: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc1 (شبیه سازی شماره ۲)

### ۵-۳-۲- نتایج اندازه گیری نقطه PCC2

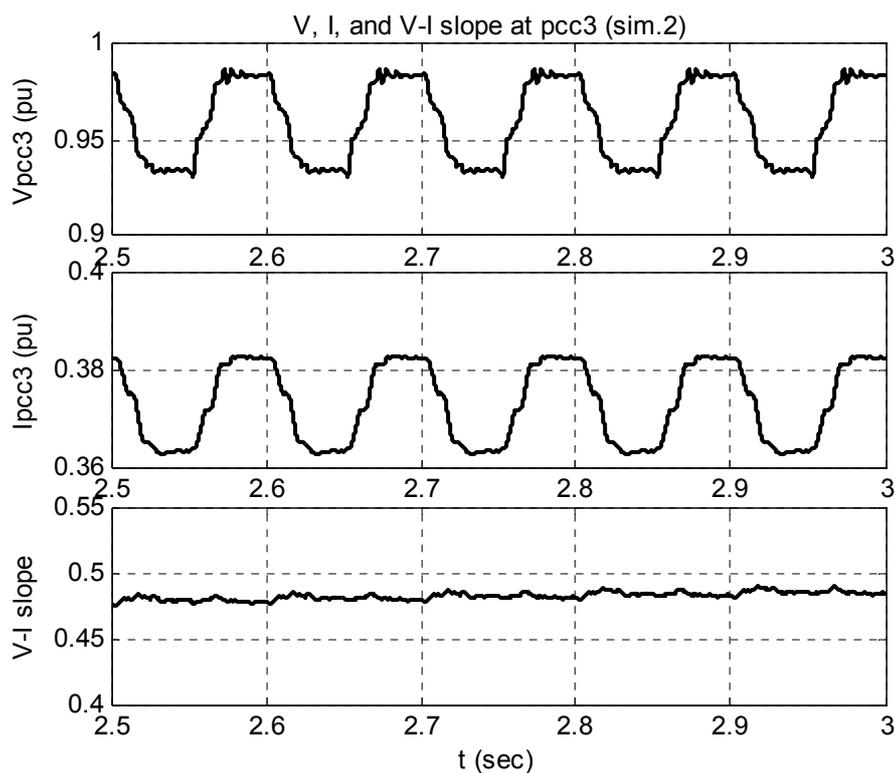
نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc2 در شکل ۵-۸ نشان داده شده است. مشاهده می شود که پوش ولتاژ و جریان نسبت به یکدیگر، همفازند که نشان دهنده این است که منبع فلیکر، قبل از نقطه اندازه گیری pcc2 می باشد. همچنین از نمودار شیب ولتاژ-جریان نیز مشاهده می شود که این شیب، همواره مقداری مثبت است. این نتیجه نیز مانند قبل با نتایج به دست آمده در روش شیب ولتاژ-جریان، کاملاً سازگار است



شکل ۵-۸: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc2 (شبیه سازی شماره ۲)

### ۵-۳-۳- نتایج اندازه گیری نقطه PCC3

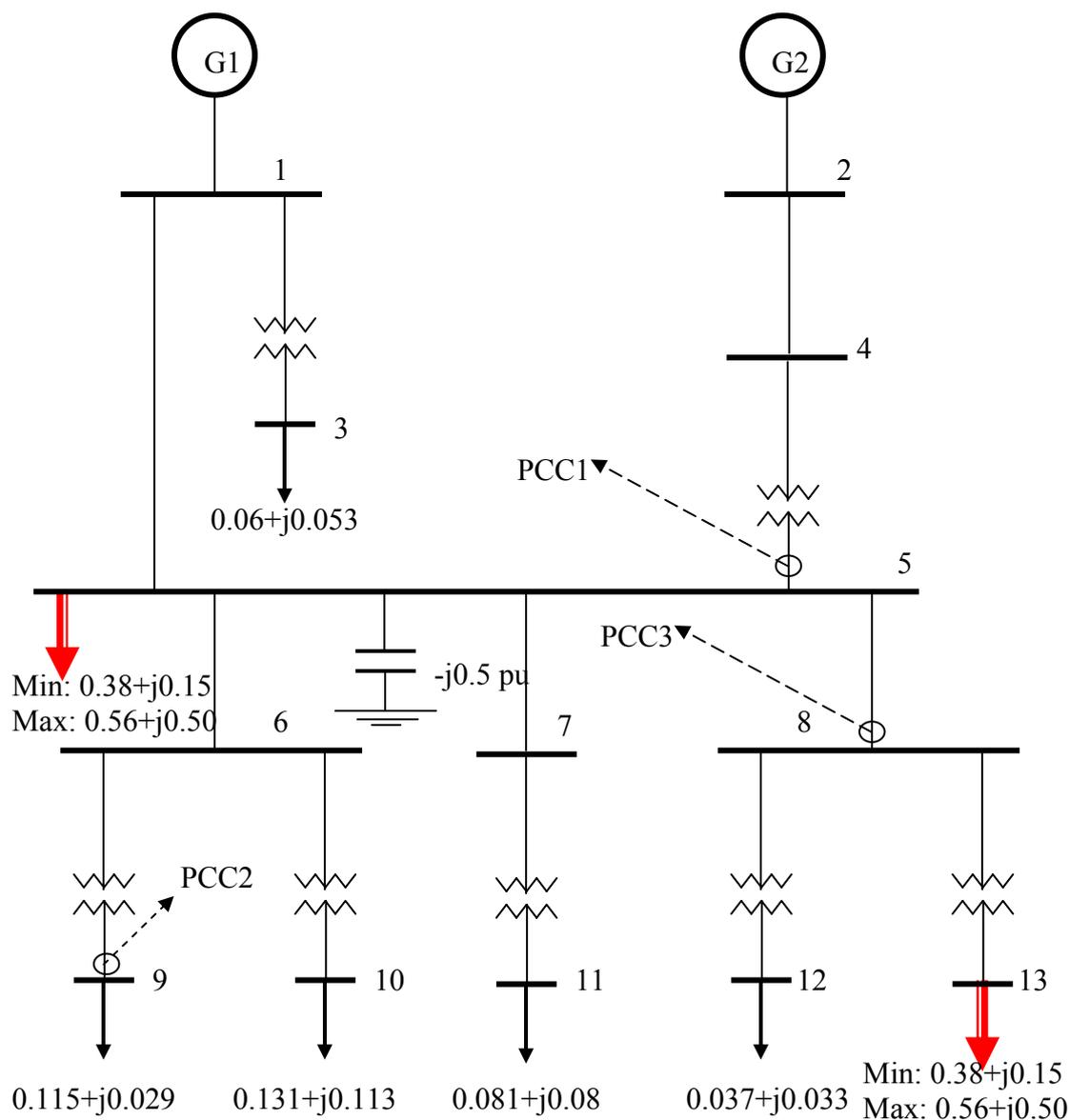
نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc3 در شکل ۵-۹ نشان داده شده است. مشاهده می شود که پوش ولتاژ و جریان نسبت به یکدیگر، همفاز هستند که نشان دهنده این است که منبع فلیکر، قبل از نقطه اندازه گیری pcc3 می باشد. همچنین از نمودار شیب ولتاژ-جریان نیز مشاهده می شود که این شیب، همواره مقداری مثبت است. این نتیجه نیز مانند قبل با نتایج به دست آمده در روش شیب ولتاژ-جریان، کاملاً سازگار است



شکل ۵-۹: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc3 (شبیه سازی شماره ۲)

### ۵-۴- شبیه سازی شماره ۳

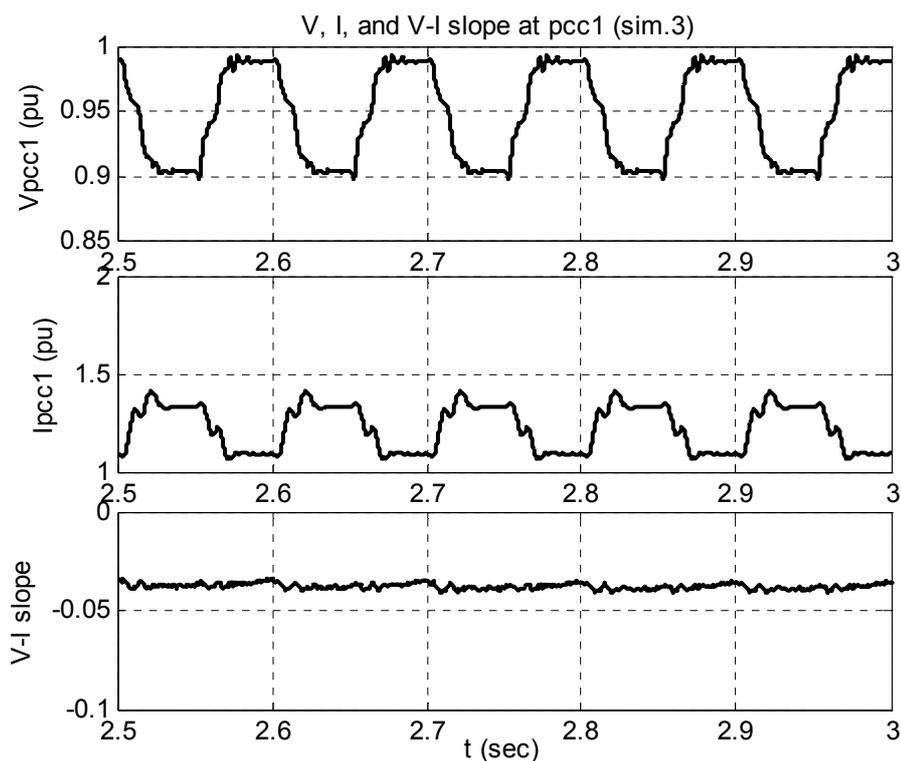
در این بخش، نیز مانند شبیه سازی های شماره ۱ و ۲، نتایج اعمال روشهای بیان شده، بر شبکه ۱۳ باسه IEEE ارائه می شود با این تفاوت که در این شبیه سازی فرض می شود دو منبع فلیکر مشابه شبیه سازی شماره ۱ به دو باس شماره ۱۳ و ۵ متصل شده است. شکل ۵-۱۰ این شبکه را نشان می دهد.



شکل ۵-۱۰: شمای شبکه ۱۳ باسه IEEE با فرض وجود دو منبع فلیکر متصل به باسهای شماره ۱۳ و شماره ۵

### ۵-۴-۱- نتایج اندازه گیری نقطه PCC1

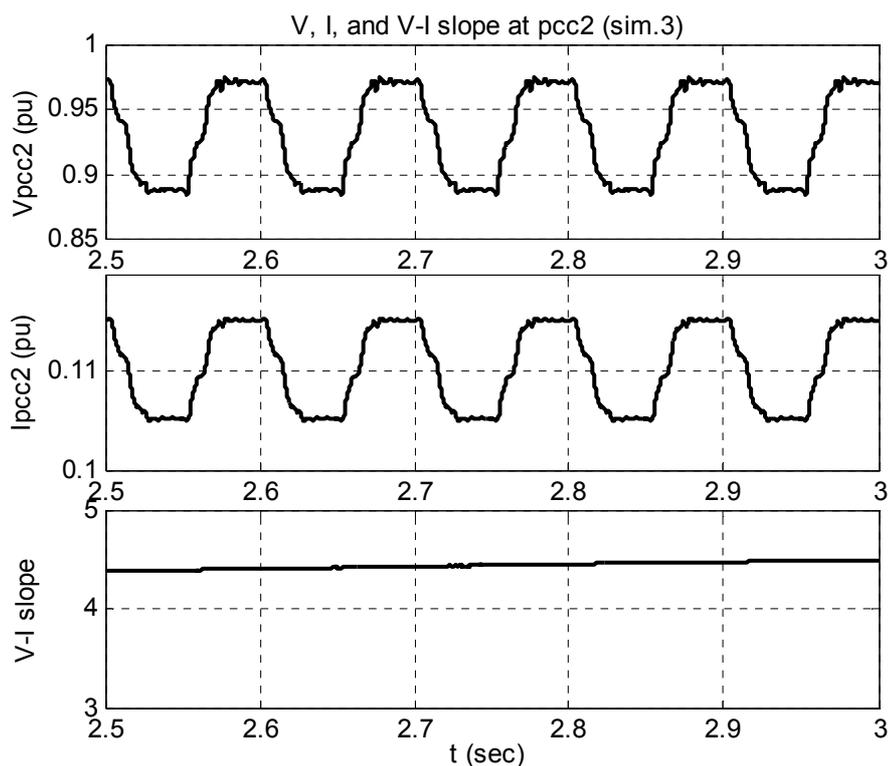
نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc1 در شکل ۵-۱۱ نشان داده شده است. مشاهده می شود که پوش ولتاژ و جریان نسبت به یکدیگر، ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند که نشان دهنده این است که منبع فلیکر، بعد از نقطه اندازه گیری pcc1 می باشد. همچنین نمودار شیب ولتاژ-جریان نیز نشان می دهد که این شیب، همواره مقداری منفی است. این نتیجه با نتایج به دست آمده در روش شیب ولتاژ-جریان، کاملاً سازگار است.



شکل ۵-۱۱: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc1 (شبیه سازی شماره ۳)

#### ۵-۴-۲- نتایج اندازه گیری نقطه PCC2

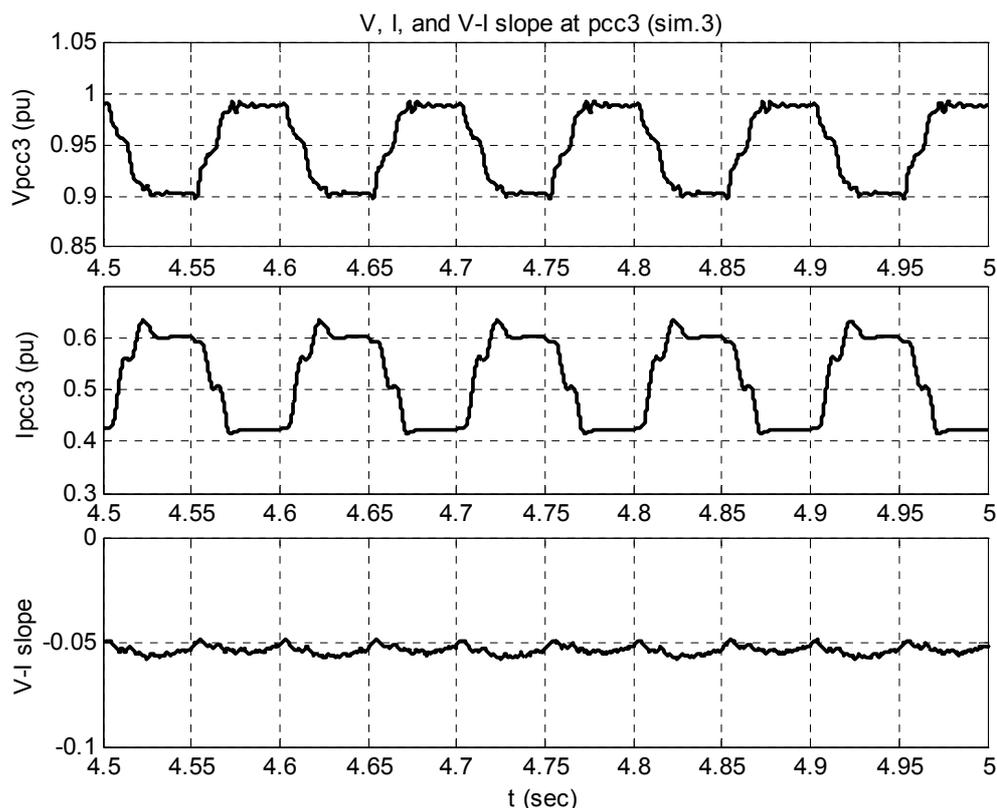
نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc2 در شکل ۵-۱۲ نشان داده شده است. مشاهده می شود که پوش ولتاژ و جریان نسبت به یکدیگر، همفاز هستند که نشان دهنده این است که منبع فلیکر، قبل از نقطه اندازه گیری pcc2 می باشد. همچنین از نمودار شیب ولتاژ-جریان نیز مشاهده می شود که این شیب، همواره مقداری مثبت است. این نتیجه نیز مانند قبل با نتایج به دست آمده در روش شیب ولتاژ-جریان، کاملاً سازگار است



شکل ۵-۱۲: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc2 (شبیه سازی شماره ۳)

### ۵-۴-۳- نتایج اندازه گیری نقطه PCC3

نمودار ولتاژ و جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc3 در شکل ۵-۱۳ نشان داده شده است. مشاهده می شود که پوش ولتاژ و جریان نسبت به یکدیگر،  $180^\circ$  درجه اختلاف فاز دارند که نشان دهنده این است که منبع فلیکر، بعد از نقطه اندازه گیری pcc3 می باشد. همچنین نمودار شیب ولتاژ-جریان نیز نشان می دهد که این شیب، همواره مقداری منفی است. این نتیجه با نتایج به دست آمده در روش شیب ولتاژ-جریان، کاملاً سازگار است.



شکل ۵-۱۳: نمودار ولتاژ، جریان و شیب ولتاژ-جریان نقطه pcc3 (شبیه سازی شماره ۳)

## ۵-۵- نتایج حاصل از توان فلیکر

نتایج مربوط به توان فلیکر در جدول ۴-۵ خلاصه شده است.

در شبیه سازی های شماره ۱ و ۲ که فقط یک منبع فلیکر در شبکه وجود دارد، واضح است که نتایج کاملاً قابل قبول هستند زیرا برای نقاط بالاتر از منبع فلیکر، توان فلیکر منفی و برای نقاط پایین تر از منبع فلیکر، توان فلیکر مثبت شده است و این همان چیزی است که در تئوری روش توان فلیکر

جدول ۴-۵: توان فلیکر اندازه گیری شده در نقاط pcc1، pcc2 و pcc3

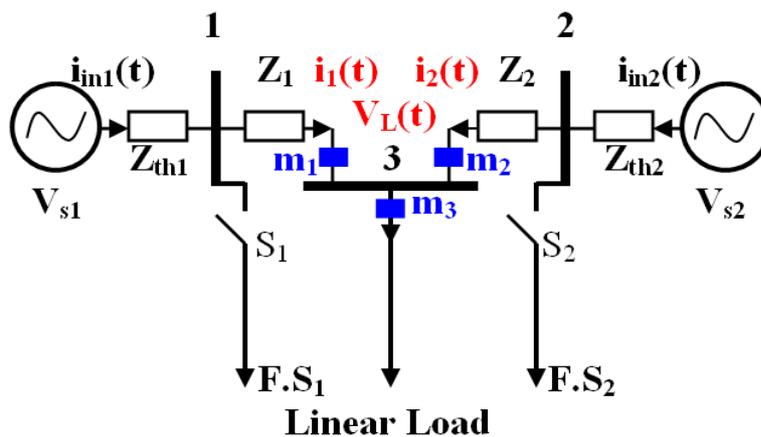
شماره شبیه سازی	FP1(pu)	FP2(pu)	FP3(pu)
۱	-0.0029	$2.784 \times 10^{-4}$	-0.0083
۲	-0.0088	$2.842 \times 10^{-4}$	$9.75 \times 10^{-4}$
۳	-0.0211	$8.4 \times 10^{-4}$	-0.0155

بیان شد. اما در شبیه سازی شماره ۳ به دلیل وجود دو منبع فلیکر می توانیم از الگوریتم به دست آمده در فصل ۴ استفاده کنیم. در نقطه pcc1 توان فلیکر، منفی شده و این به این معنی است که منبع فلیکر غالب، بعد از این نقطه قرار دارد. در نقطه pcc3 توان فلیکر منفی شده و این به این معنی است که منبع فلیکر غالب بعد از این نقطه قرار دارد ولی دقت شود که اندازه آن بسیار کمتر شده، بنابراین با توجه به توان فلیکر این نقطه و همچنین توان فلیکر نقطه pcc1 نتیجه می گیریم که یک منبع فلیکر به باس ۵ متصل است و یک منبع فلیکر دیگر نیز بعد از نقطه pcc3 قرار دارد. توان فلیکر در نقطه pcc2 نیز مثبت شده که نشان دهنده این است که منبع یا منابع فلیکر، قبل از این نقطه قرار دارند.

### ۵-۶- شبیه سازی شماره ۴

در این شبیه سازی، با در نظر گرفتن مقادیر نوعی مختلف برای پارامترهای شبکه سه باسه مورد بحث در فصل ۴، نتایج تئوری به دست آمده، مورد بررسی قرار می گیرد و نشان داده می شود که با استفاده از این الگوریتم در تمام موارد می توان جهت منبع یا منابع فلیکر را به خوبی تعیین نمود. همچنین نشان داده می شود که با استفاده از این الگوریتم می توان منبع فلیکر غالب را در صورت وجود چند منبع فلیکر، تشخیص داد.

شکل مربوط به سیستم مورد آزمایش، در شکل ۵-۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۴: شمای شبکه مورد آزمایش

مشخصات شبکه به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$Z_{th1}=0.01+j0.1; Z_{th2}=0.02+j0.12; Z_1=Z_2=0.01+j0.1$$

مشخصات دو بار منبع فلیکر نیز به صورت زیر است:

$$F.S1: P_{f1} \begin{cases} Max: 0.58 \\ Min: 0.32 \end{cases}; Q_{f1} \begin{cases} Max: 0.43 \\ Min: 0.08 \end{cases}; F.S2: P_{f2} \begin{cases} Max: 0.48 \\ Min: 0.26 \end{cases}; Q_{f2} \begin{cases} Max: 0.36 \\ Min: 0.07 \end{cases}$$

چهار حالت مختلف را برای منابع فلیکر در نظر می گیریم:

- حالت ۱:  $S_1$  وصل و  $S_2$  قطع است؛ یعنی منبع فلیکر شماره ۱ در مدار است و منبع فلیکر شماره ۲ در مدار نیست.
  - حالت ۲:  $S_1$  قطع و  $S_2$  وصل است؛ یعنی منبع فلیکر شماره ۲ در مدار است و منبع فلیکر شماره ۱ در مدار نیست.
  - حالت ۳: هر دو کلید وصل هستند؛ یعنی هر دو منبع فلیکر در مدارند.
  - حالت ۴: مانند حالت ۳ هر دو کلید وصل هستند ولی در این حالت فرض می کنیم جای دو منبع فلیکر تعویض شده است؛ یعنی منبع فلیکر شماره ۱ در سمت راست و منبع فلیکر شماره ۲ در سمت چپ قرار گرفته است.
- برای هر حالت فوق، شش حالت مختلف بار را در نظر گرفته ایم به این صورت که توان ظاهری بار را ۱ در نظر گرفته ایم ولی ضریب قدرت بار را از ۰/۵ تا ۱ و به فاصله های ۰/۱ تغییر داده ایم. توان فلیکر اندازه گیری شده در نقاط  $m_1$ ،  $m_2$  و  $m_3$  در حالات مختلف و به ازای بارهای مختلف در جدول ۵-۵ نشان داده شده است.

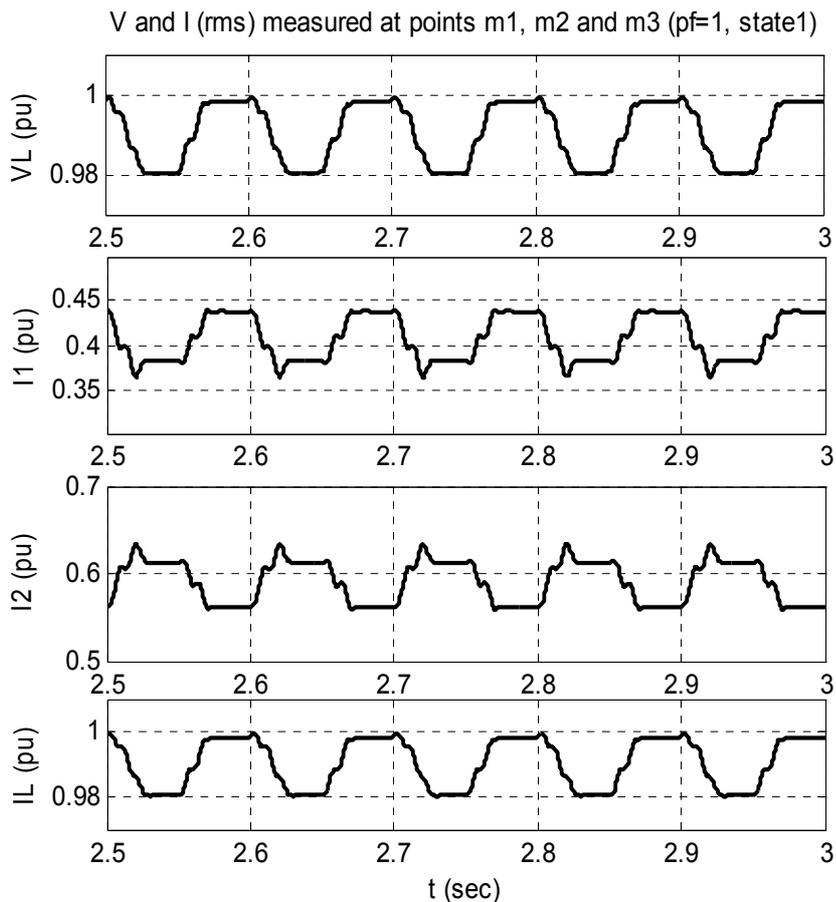
جدول ۵-۵: مقادیر توان فلیکر اندازه گیری شده در حالات مختلف

state ↓	Power factor →	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	FP <sub>1</sub>	0.290	0.289	0.285	0.277	0.261	0.201
	FP <sub>2</sub>	-0.221	-0.234	-0.246	-0.257	-0.263	-0.233
	FP <sub>3</sub>	0.046	0.047	0.048	0.050	0.052	0.059
2	FP <sub>1</sub>	-0.217	-0.214	-0.209	-0.202	-0.191	-0.152
	FP <sub>2</sub>	0.172	0.194	0.219	0.249	0.282	0.145
	FP <sub>3</sub>	0.041	0.042	0.043	0.045	0.047	0.053
3	FP <sub>1</sub>	0.107	0.113	0.120	0.128	0.139	0.167
	FP <sub>2</sub>	0.082	0.079	0.075	0.070	0.064	0.053
	FP <sub>3</sub>	0.168	0.172	0.176	0.181	0.190	0.217
4	FP <sub>1</sub>	-0.062	-0.054	-0.044	-0.031	-0.012	0.046
	FP <sub>2</sub>	0.222	0.232	0.243	0.252	0.256	0.185
	FP <sub>3</sub>	0.172	0.175	0.179	0.185	0.194	0.221

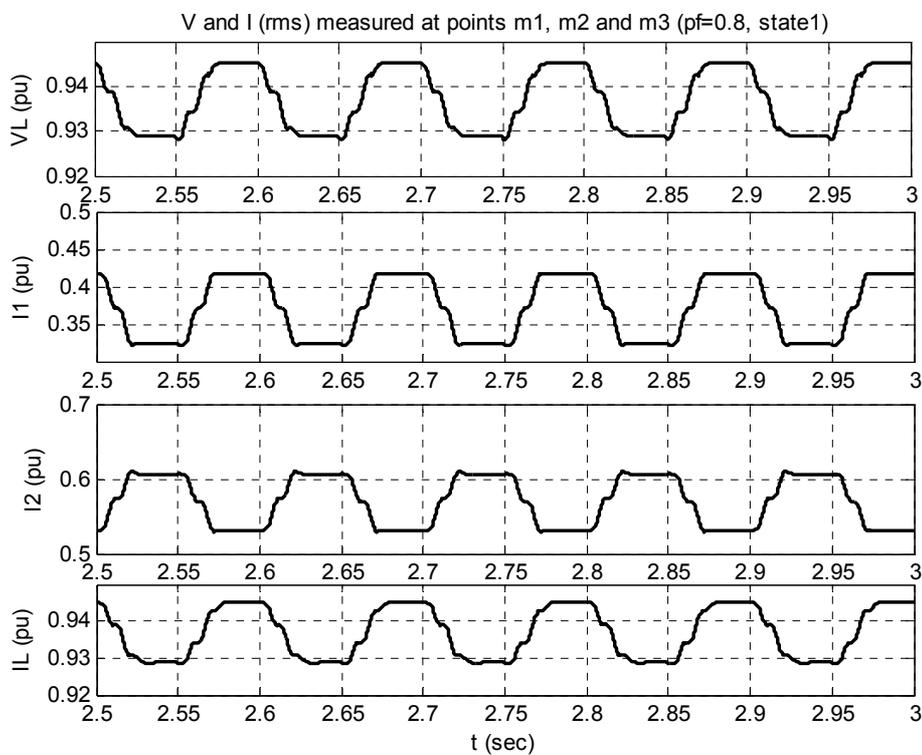
نمودارهای ولتاژ و جریان موثر برای هر چهار حالت و به ازای بارهای با ضریب قدرت ۱ و ۰/۸ پس فاز در شکل های ۵-۲۰ تا ۵-۲۷ نشان داده شده است.

### ۵-۶-۱- نتایج حالت ۱

در حالت ۱ به دلیل وجود یک منبع فلیکر در سمت  $m_1$  مطابق الگوریتم پیشنهادی، انتظار می رود که توان فلیکر  $FP_1$ ، مثبت و توان فلیکر  $FP_2$ ، منفی باشد که نتایج به دست آمده در جدول ۵-۵ همین موضوع را نشان می دهد. همچنین انتظار می رود که پوش ولتاژ و جریان، در نقطه  $m_1$  با هم همفاز باشند و در نقطه  $m_2$  دارای  $180^\circ$  درجه اختلاف فاز باشند که این انتظار نیز از شکل های ۵-۱۵ و ۵-۱۶ که نتایج را برای دو ضریب قدرت ۱ و ۰/۸ پس فاز نشان می دهند برآورده می شود.



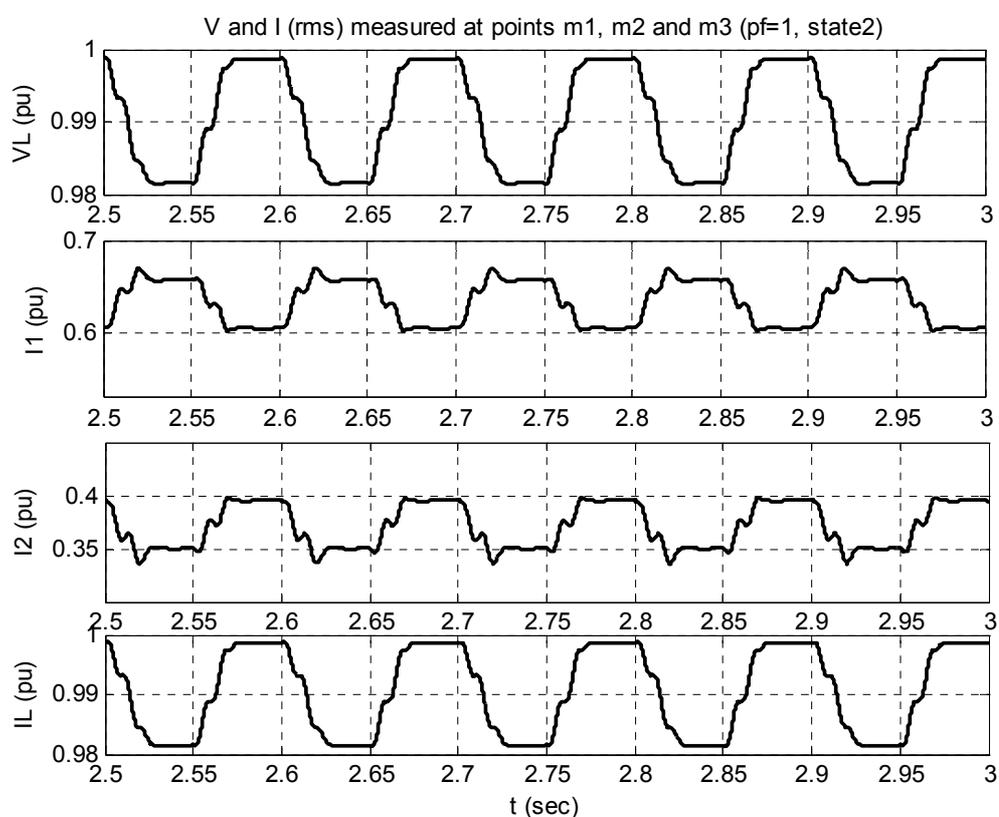
شکل ۵-۱۵: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط  $m_1$ ،  $m_2$  و  $m_3$  (ضریب قدرت ۱، حالت ۱)



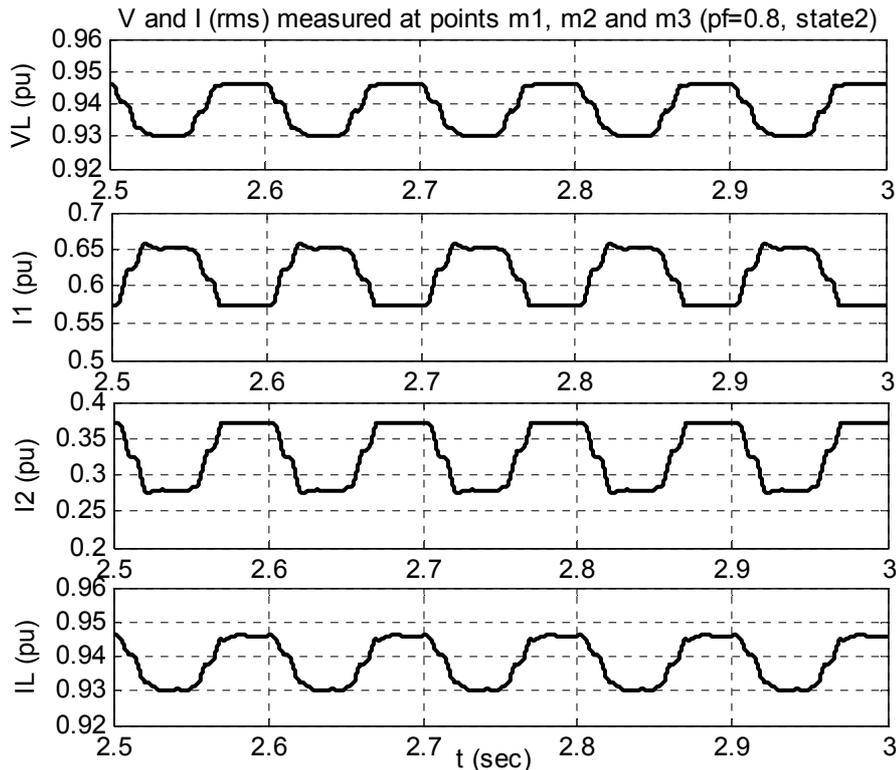
شکل ۵-۱۶: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط  $m_1$ ،  $m_2$  و  $m_3$  (ضریب قدرت ۰/۸، حالت ۱)

## ۵-۶-۲- نتایج حالت ۲

در حالت ۲ به دلیل وجود یک منبع فلیکر در سمت  $m_2$  مطابق الگوریتم پیشنهادی، انتظار می رود که توان فلیکر  $FP_2$ ، مثبت و توان فلیکر  $FP_1$ ، منفی باشد که نتایج به دست آمده در جدول ۵-۵ همین موضوع را نشان می دهد. همچنین انتظار می رود که پوش ولتاژ و جریان، در نقطه  $m_2$  با هم همفاز باشند و در نقطه  $m_1$  دارای  $180^\circ$  درجه اختلاف فاز باشند که این انتظار نیز از شکل های ۵-۱۷ و ۵-۱۸ که نتایج را برای دو ضریب قدرت ۱ و  $0.8$  پس فاز نشان می دهند برآورده می شود.



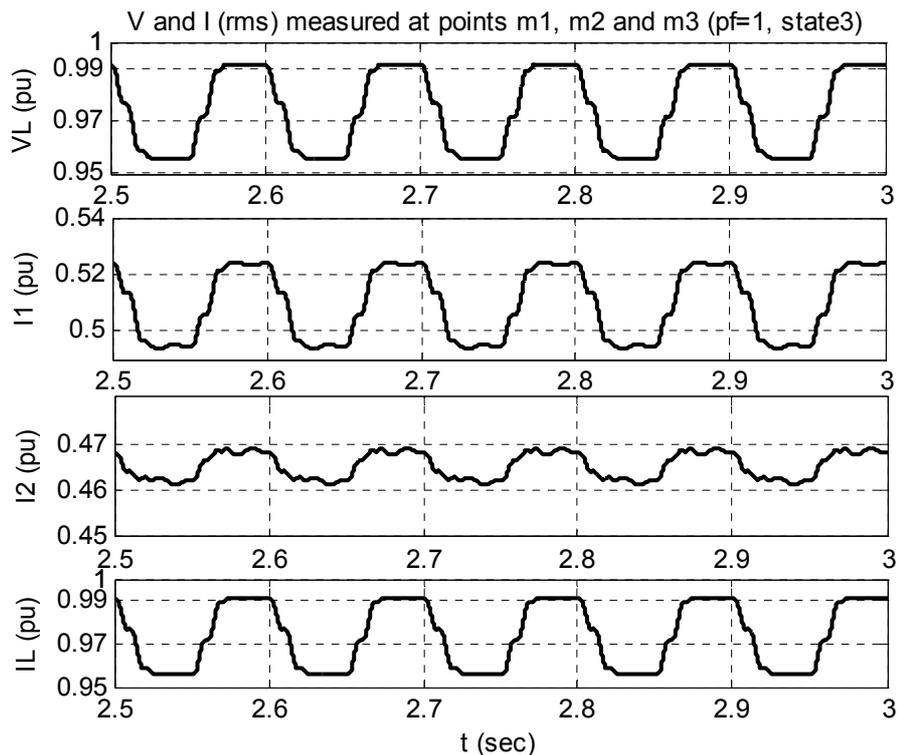
شکل ۵-۱۷: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط  $m_1$ ،  $m_2$  و  $m_3$  (ضریب قدرت ۱، حالت ۲)



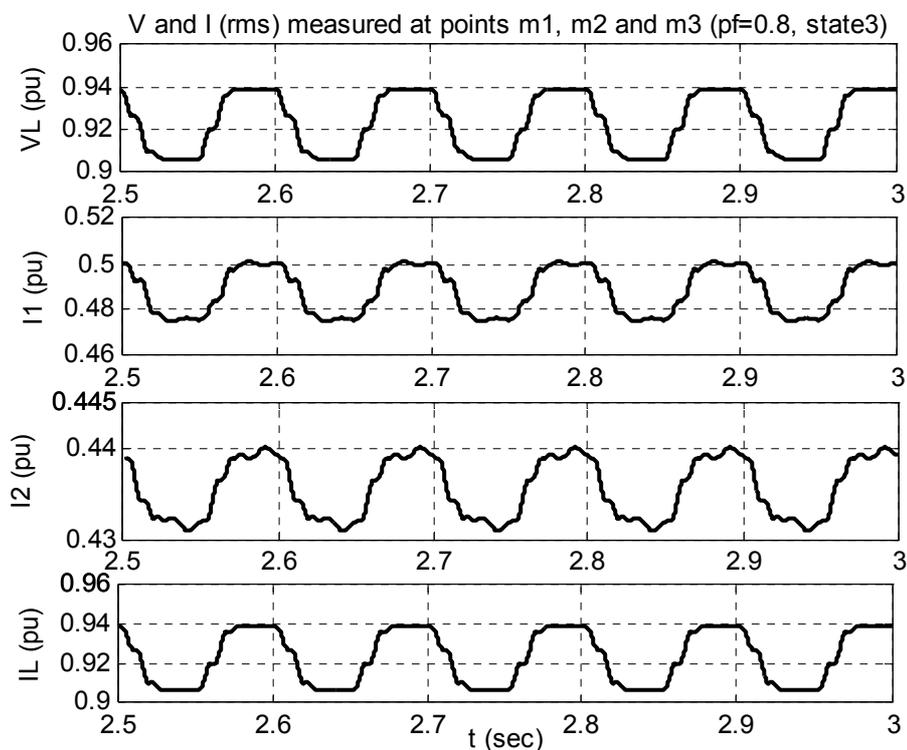
شکل ۵-۱۸: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط m1 و m2 و m3 (ضریب قدرت ۰/۸ ، حالت ۲)

### ۵-۶-۳- نتایج حالت ۳

در حالت ۳ به دلیل وجود دو منبع فلیکر در دو سمت بار خطی، مثبت یا منفی بودن هر کدام از توان های فلیکر  $FP_1$  و  $FP_2$  بستگی به این دارد که کدام منبع، غالب باشد. با دقت در نتایج به دست آمده برای توان فلیکر، مشاهده می شود که تمام مقادیر توان فلیکر برای هر دو نقطه، مثبت هستند، بنابراین مطابق الگوریتم پیشنهادی نتیجه می گیریم که تاثیر هر دو منبع فلیکر بر بار خطی، قابل توجه است ولی با توجه به اندازه توان فلیکر در دو نقطه مشاهده می شود که اندازه  $FP_1$  در تمام حالات بار، بزرگتر است بنابراین نتیجه می گیریم که منبع فلیکر سمت  $m_1$ ، منبع غالب می باشد. همچنین، با توجه به نمودار های ولتاژ و جریان که به ازای دو ضریب قدرت ۱ و ۰/۸ پس فاز در شکل های ۵-۱۹ و ۵-۲۰ نشان داده شده نیز مشاهده می شود که پوش ولتاژ و جریان در هر دو نقطه همفازند که تایید کننده نتایج موجود در جدول ۵-۵ می باشد.



شکل ۵-۱۹: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط  $m1$ ،  $m2$  و  $m3$  (ضریب قدرت ۱، حالت ۳)

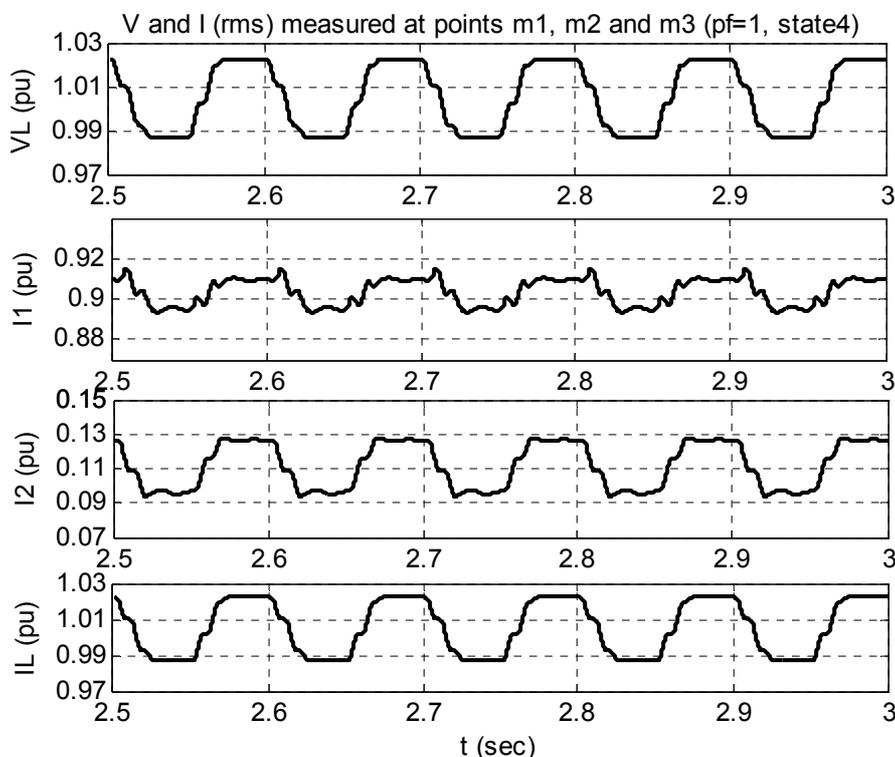


شکل ۵-۲۰: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط  $m1$ ،  $m2$  و  $m3$  (ضریب قدرت ۰/۸، حالت ۳)

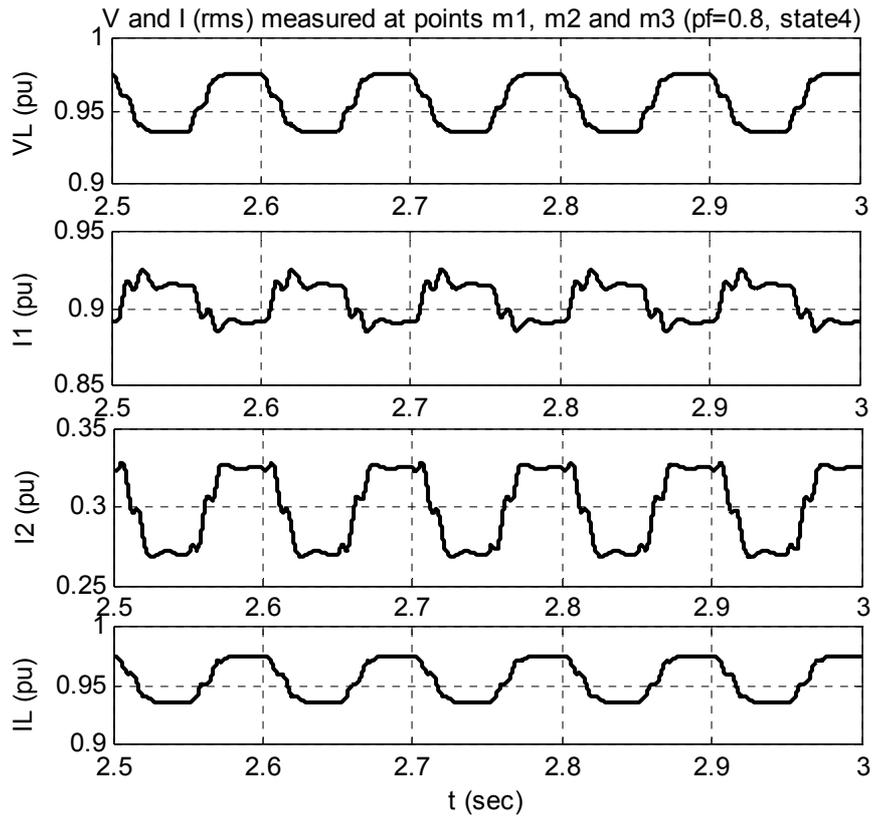
## ۵-۶-۴- نتایج حالت ۴

در حالت ۴ که جای دو منبع فلیکر تعویض شده، با مشاهده نتایج مشخص می شود که منبع فلیکر سمت  $m_2$ ، منبع غالب است، زیرا مقادیر توان فلیکر مربوط به نقطه  $m_1$  به ازای ضریب قدرت های ۰/۵ تا ۰/۹ همه منفی هستند و به ازای ضریب قدرت واحد که مثبت شده نیز مقدار آن از مقدار متناظر آن در نقطه  $m_2$  کوچکتر است.

همچنین، با توجه به نمودار های ولتاژ و جریان که به ازای دو ضریب قدرت ۱ و ۰/۸ پس فاز در شکل های ۵-۲۱ و ۵-۲۲ نشان داده شده نیز مشاهده می شود که پوش ولتاژ و جریان در نقطه  $m_2$  به ازای هر دو ضریب قدرت بار، همفازند که مویید این است که توان فلیکر  $FP_2$  به ازای هر دو بار مثبت است که این مطابق نتایج جدول ۵-۵ می باشد. اما شکل ۵-۲۱ نشان می دهد که پوش ولتاژ و جریان در نقطه  $m_1$ ، به ازای بار با ضریب قدرت ۱ همفازند که مویید مثبت بودن توان فلیکر  $FP_1$  در جدول ۵-۵ می باشد. شکل ۵-۲۲ نیز نشان می دهد که پوش ولتاژ و جریان در نقطه  $m_1$ ، دارای ۱۸۰ درجه اختلاف فاز می باشند که باز هم مویید توان فلیکر منفی است که در جدول ۵-۵ به دست آمده است.



شکل ۵-۲۱: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط  $m_1$ ،  $m_2$  و  $m_3$  (ضریب قدرت ۱، حالت ۴)



شکل ۵-۲۲: ولتاژ و جریان های مربوط نقاط  $m_1$ ،  $m_2$  و  $m_3$  (ضریب قدرت ۰/۸، حالت ۴)

---

---

فصل ششم:

نتیجه گیری و پیشنهادات

---

---

## ۶-۱- نتیجه گیری

در این پایان نامه، جهت یابی منابع فلیکر در سیستم های قدرت بررسی شد. ملاحظه شد که در شبکه های شعاعی تغذیه شده از یک سمت، با دو روش شیب ولتاژ-جریان و روش توان فلیکر می توان جهت انتشار فلیکر را در شبکه پیدا کرد. همچنین روشن شد که روش توان فلیکر، نسبت به روش شیب ولتاژ-جریان برتری محسوسی دارد زیرا در روش شیب ولتاژ-جریان به دلیل اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان احتمال ایجاد خطا به خصوص در حالتی که ضریب قدرت شبکه پایین است، وجود دارد. علاوه بر این، روش شیب، هیچ تفاوتی بین فرکانس های مختلف فلیکر تولیدی قائل نمی شود؛ در حالیکه در روش توان فلیکر، منحنی وزن طیف فرکانسی نیز در نظر گرفته می شود. به عبارت دیگر، در روش شیب، تنها علامت شیب ولتاژ نسبت به جریان تعیین کننده است؛ در حالیکه در روش توان فلیکر، اندازه توان فلیکر نیز بامعنی است و هر چه این مقدار در یک نقطه بیشتر شود نشان دهنده شدت فلیکر بیشتر است و بالعکس هر چه این مقدار کمتر باشد بیانگر شدت فلیکر کمتر می باشد..

در شبکه های تغذیه شده از چند سمت، با بررسی تاثیرات متقابل عناصر یک سیستم قدرت تغذیه شده از دو طرف، روابط مهمی در این زمینه به دست آمد که از این روابط می توان به منظور جهت یابی منبع یا منابع فلیکر در شبکه های تغذیه شده از چند سمت، استفاده کرد. در نهایت یک الگوریتم کلی برای جهت یابی منابع فلیکر در چنین شبکه هایی به دست آمد که می توان این الگوریتم را در کلیه شبکه های قدرت به کار برد.

همچنین با ارائه مثال های متعدد، نشان داده شد که الگوریتم پیشنهادی در تمام موارد، به درستی، منبع فلیکر را در شبکه تشخیص می دهد. مخصوصا در مواردی که دو یا چند منبع فلیکر در

شبکه وجود دارد و یا شبکه از دو یا چند نقطه تغذیه می شود، کارایی الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفت و صحت آن مورد تایید قرار گرفت.

## ۶-۲- پیشنهادات

در فصل چهارم، روابط مهمی در یک سیستم قدرت تغذیه شده از دو طرف، به دست آمد که نشان دهنده تاثیر پارامترهای مختلف شبکه بر جهت انتشار فلیکر می باشد. به نظر می رسد این روابط در طراحی شبکه می تواند مورد استفاده قرار گیرد، به خصوص اینکه اگر شبکه طوری طراحی شود که مقادیر امپدانس تونن شبکه یا امپدانس مربوط به منابع فلیکر موجود، نزدیک به یکی از نقاط بحرانی به دست آمده باشند، توان فلیکر در یک طرف، نزدیک به صفر می شود و این می تواند در کاهش شدت فلیکر موثر بر بار خطی بسیار موثر باشد.

نکته دیگر اینکه اگر چه با الگوریتم به دست آمده در فصل چهارم می توان تعداد منابع فلیکر در سیستم قدرت را مشخص کرد ولی به نظر می رسد که با انجام اصلاحاتی در الگوریتم فوق بتوان با تعداد حداقل اندازه گیری به این مهم دست یافت.

همچنین به منظور اطمینان از کارایی روش به دست آمده، انجام آزمایشات عملی در این زمینه بسیار لازم به نظر می رسد. بنابراین پیشنهاد می شود که در صورت وجود امکانات، این روش در نقاطی از سیستم قدرت ایران که دارای فلیکر قابل توجهی هستند، به کار رود.

منابع:

- [1] IEEE Std. 100, “The IEEE standard dictionary of electrical and electronics terms”, 6th ed., 1996.
- [2] Electromagnetic compatibility (EMC), Part 4, Section 30: Power quality measurement methods, IEC 61000-4-30.
- [3] Electromagnetic compatibility (EMC), Part 1, Section 1: Application and interpretation of fundamental definitions and terms, IEC 61000-1-1.
- [4] EN 50160, "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems", 1999
- [5] IEEE STD 1366 "Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices", 2003.
- [6] M. Bollen, I. Y. H. Gu, "Signal processing of Power Quality Disturbances", New York: IEEE Press, John Wiley & Sons, 2006.
- [7] J. Arrillaga, M. H. J. Bollen, and N. R. Watson, Power quality following deregulation. Proceedings IEEE, 88(2): 46–261, February, 2000.
- [8] K. Bhattacharya, M. H. J. Bollen, and J. E. Daalder, “Operation of Restructured Power Systems, Kluwer Academic”, Boston, 2001.
- [9] A. Woyte. Design issues of photovoltaic systems and their grid interaction. PhD thesis, Department Electrical Engineering, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium, December 2003.

- [10] Alexandre B. Nassif, Edwin E. Nino and Wilsun Xu, "A V-I Slope-Based Method for Flicker Source detection", IEEE Trans. Power Del., vol. 21, no. 2, pp. 755–760, Apr. 2006.
- [11] P. G. V. Axelberg, "Measurement methods for calculation of the direction to a flicker source", Lic. Eng. dissertation, Dept. Elect. Power Eng., Chalmers Univ. Technol., Gothenburg, Sweden, 2003.
- [12] P. Axelberg and J. Carlsson, "A measurement method to determine the direction to a flicker source", Swedish Patent 331, 2005.
- [13] P. G. V. Axelberg and M. H. J. Bollen, "An algorithm for determining the direction to a flicker source", IEEE Trans. Power Del., vol. 21, no. 2, pp. 755–760, Apr. 2006.
- [14] Peter G. V. Axelberg, Math H. J. Bollen and Irene Yu-Hua Gu, "Trace of Flicker Sources by Using the Quantity of Flicker Power", IEEE Trans. Power Del., vol. 23, no. 1, JANUARY 2008
- [15] Peter G. V. Axelberg, "On Tracing Flicker Sources and Classification of Voltage Disturbances", Thesis for the degree of PHD, Chalmers university of technology, Göteborg, Sweden, 2007.
- [۱۶] نوید اقتدارپور، ابراهیم فرجاه، علیرضا خیاطیان، "تشخیص هوشمند محل ایجاد فلیکر در شبکه های توزیع" ICEE 2006 .
- [17] D. Zhang, W. Xu, A. Nassif, "Flicker Source Identification by Interharmonic Power Direction", IEEE 18 h Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, pp. 2031-2034, May 2005.
- [18] IEC Flickermeter—Functional and Design Specifications, IEC Std. 61000-4-15, 1999.
- [19] S. R. Mendis, M. T. Bishop, and J. F. Witte, "Investigations of voltage flicker in electric arc furnace power systems," IEEE Ind. Appl. Mag., vol. 2, no. 1, pp. 28–34, Jan./Feb. 1996.
- [20] M. M. Morcos and J. C. Gomez, "Flicker sources and mitigation," IEEE Power Eng. Rev., pp. 5–10, Nov. 2002.
- [21] Å. Larsson, "Flicker emission of wind turbines during continuous operation," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 17, no. 1, pp. 114–118, Mar. 2002.

- 
- [22] R. G. Alcorn and W. C. Beattie, "Power quality assessment from a wave-power station," presented at the Int. Conf. Exhibit. Electricity Distribution—CIRED, Conf. Publ. 482, 2001.
- [23] T. Keppler, N. R. Watson, J. Arrilaga, and S. H. Chen, "Theoretical assessment of light flicker caused by sub and interharmonic frequencies," IEEE Trans. Power Del., vol. 18, no. 1, pp. 329–333, Jan. 2003.
- [24] A. Bertola, G. C. Lazaroiu, M. Roscia, D. Zaninelli, "A Matlab-Simulink Flickermeter Model for Power Quality Studies", IEEE International Conference on Harmonics and Quality of Power, pp. 734-738, 2004.
- [25] T. Ma, R.R. Nolan, J.M. Wikston, "The Measurement, Calculation and Reduction of Arc Furnace Flicker", First South African Power Quality Conference, Durban, Republic of South Africa, May 12-14, 1997.
- [26] IEEE STD 1453, "IEEE Recommended Practice for Measurement and Limits of Voltage Fluctuations and Associated Light Flicker on AC Power Systems", 1986.
- [27] Guide to Quality of Electrical Supply for Industrial Installation. Part 5: Flicker and Voltage Fluctuations. International Union for Electricity Applications, Paris, 1999.
- [28] J. Schlabbach, D. Blume, and T. Stephanblome. "Voltage Quality in Electrical Power Systems.", Number 36 in IEE Power and Energy Series, Institution of Electrical Engineers, London, 2001.
- [29] T. Keppler, N. R. Watson, J. Arrillaga, "computer modeling of flicker propagation", 14<sup>th</sup> PSCC, Sevilla, 24-28 June 2002.
- [30] "Flickermeter Functional and design specifications", IEC Standard 868, 1986.
- [31] "Flickermeter-Part0: Evaluation of flicker severity", IEC Standard 868, 1991.

## **Abstract**

Nowadays power systems are often, connected together and supplied from multi points to increase the reliability of whole system. However this matter is caused to propagate the flicker produced by different flicker sources, throw the whole system. Therefore the measured flicker level at the point of a linear load is a result of contribution from a number of different flicker sources. On the other hand the liberalization of the electricity markets has increased the need for performance assessment. In a mitigation process, it is essential to know which one of the flicker sources is the dominant one.

Up to now the works done in this field, are often contains only the radial networks which supplied from single side and the networks which supplied from two or more sides have not been under consideration.

This thesis at first, evaluated the methods for flicker measurement with the simulated model of IEC standard flicker meter in simulink- MATLAB. Then proposes a method to determine the flicker propagations and trace the flicker sources in a power system which supplied from two or more side, and describes how two or more flicker sources affect on a linear load and one of them is dominant. Also different simulation examples are represented and validation of proposed method is evaluated.

**Keywords:** *Power system*, Power quality, Flicker, Flicker meter, Flicker source, Dominant flicker source, V-I slope, Flicker power.



**Faculty of Electrical and Robotic Engineering  
Shahrood University of Technology**

**Detection of Flicker Source  
Direction in a power system**

**A Thesis**

**presented in partial fulfillment of the  
requirements for the master of science degree in  
power engineering**

**By:**

**Mohammadreza Mirzayi**

**Supervisor:**

**Dr. Ali Dastfan**

**Advisor:**

**Dr. Alireza Ahmadifard**

**September 2008**