

## Estimation of Flicker Generating Feeders Index with Combined Sampling-Simulation Method

Peyman Nazarian<sup>1\*</sup>, Majid Moradlou<sup>2</sup>

1. Assistant Professor, System & Energy Research Center, Zanzan Branch, Islamic Azad University, Zanzan, Iran. \* *Corresponding Author*, [Pay\\_naz@iauz.ac.ir](mailto:Pay_naz@iauz.ac.ir)
2. Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Zanzan Branch, Islamic Azad University, Zanzan, Iran.

### Abstract

In this article, the background of the subject and the works done in the field of flicker simulation and tracking are mentioned first, and then the new combined simulation-sampling method to estimate flicker indicators is described. In the following, the computer program FSP, which was developed to analyze and track flicker caused by heavy industrial subscribers, based on the method of this article, is introduced. This software includes the needs of the Zanzan regional electric company in this field and by using the available hardware and data facilities and taking into account the existing limitations; it has the ability to study on flicker and estimate flicker indicators. In the following, using the data extracted from one of the 230 kV substations under the management of the Zanzan regional electricity company, flicker is calculated and studied in a typical network. Checking the Flicker indicators, in cases where it is not possible to actually cut off the feeders, is easily done by the FSP software, and it makes it possible to track flicker generating subscribers and estimate the flicker share of each of them.

**Introduction:** Flicker is a physiological phenomenon that is defined as a non-permanent sensory effect of a light source on the human eye, and this effect is caused by the change of flux or spectral distribution of the light source with time.

**Method:** The proposed method consists of two practical and theoretical parts, the practical part of which is the measurement of the required parameters of the network and the theoretical part, software calculations to determine the short-term and long-term flicker indicators, which will be obtained by simulating the behavior of the standard flicker meter.

**Results:** In this article, it was seen that checking the flicker indicators in situations where it is not possible to actually cut off the feeders, can be easily done by the designed software, and it gives the power companies the possibility to make a better decision to reject or accept the subscribers before signing the contract, or it makes it possible to track and identify the flicker generating subscribers.

**Discussion:** Due to the limitation in the sampling frequency, a measure has been taken to be more compatible with the flicker standard; in this way, an algorithm for performing linearization between the voltage samples obtained from the load flow has been used.

**Keywords:** Flicker index, Flicker short term index, Flicker long term index, Flicker tracking, Sampling.



## تخمین شاخص فیدرهای فلیکرزا با روش ترکیبی نمونه‌برداری - شبیه‌سازی

دوره چهارم، زمستان ۱۴۰۲  
شماره چهارم، صص: ۳۷-۴۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۳۰

پیمان نظریان<sup>۱\*</sup>، مجید مرادلو<sup>۲</sup>

۱- استادیار، مرکز تحقیقات انرژی و سیستم، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران. (نویسنده مسئول) [Pay\\_naz@iauz.ac.ir](mailto:Pay_naz@iauz.ac.ir)

۲- استادیار، گروه برق، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران. [Majid.moradloo@iauz.ac.ir](mailto:Majid.moradloo@iauz.ac.ir)

**چکیده:** در این مقاله ابتدا به پیشینه موضوع و کارهای انجام شده در زمینه شبیه‌سازی و ردیابی فلیکر اشاره و سپس روش جدید ترکیبی شبیه‌سازی- نمونه‌برداری جهت تخمین شاخص‌های فلیکر شرح داده می‌شود. در ادامه، برنامه کامپیوتری FSP که براساس روش این مقاله و به منظور تحلیل و ردیابی فلیکر ناشی از مشترکین صنعتی سنگین توسعه یافته است، معرفی می‌گردد. این نرم‌افزار دربرگیرنده نیازهای شرکت برق منطقه‌ای زنجان در این زمینه بوده و با استفاده از امکانات موجود سخت‌افزاری، داده‌ای و لحاظ نمودن محدودیت‌های موجود، قابلیت انجام مطالعه روی فلیکر و تخمین شاخص‌های فلیکر را دارد. در ادامه، با استفاده از داده‌های استخراج شده از یکی از پست‌های ۲۳۰ کیلوولت تحت مدیریت شرکت برق منطقه‌ای زنجان، فلیکر، در یک شبکه نوعی، مورد محاسبه و مطالعه قرار می‌گیرد. بررسی شاخص‌های فلیکر، در حالت‌هایی که امکان قطع فیدرها به صورت واقعی وجود ندارد، توسط نرم‌افزار FSP به سادگی صورت می‌پذیرد و امکان ردیابی مشترکین فلیکرزا و تخمین سهم فلیکر هریک از آن‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد.

**واژه‌های کلیدی:** شاخص فلیکر، شاخص کوتاه‌مدت فلیکر، شاخص بلندمدت فلیکر، ردیابی فلیکر، نمونه‌برداری.

## ۱. مقدمه

فلیکر یک پدیده فیزیولوژیکی است که به تأثیر حسی ناماندگار یک منبع نوری روی چشم انسان اطلاق می‌شود که در اثر تغییر شار یا توزیع طیفی منبع نوری با زمان ایجاد می‌شود. بر اساس این تعریف ملاحظه می‌شود که هر نوسان ولتاژی را نمی‌توان فلیکر نامید هر چند که باعث تغییر در شدت نور شود. فلیکر، یک ویژگی است که از پوش منحنی ولتاژ استخراج می‌شود. در واقع فلیکر، حداقل به سه مکانیزم اصلی زیر وابسته است:

الف- ویژگی‌های منبع نور

ب- پاسخ فرکانسی زنجیره چشم- مغز در یک جامعه آماری از انسان‌ها

ج- ثابت زمانی زنجیره چشم- مغز

از زمان الزام شرکت‌های برق منطقه‌ای جهت اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت برق، کلیه شرکت‌های برق منطقه‌ای از جمله شرکت برق منطقه‌ای زنجان اقدام به انعقاد قرارداد با شرکت‌های مورد تأیید توانیر نمودند که متعاقب آن وضعیت نسبی پارامترهای کیفیت برق و مشکلات اندازه‌گیری و همین‌طور محدودیت‌های مستتر، در عمل مشاهده شد. یکی از مواردی که در قرارداد برق زنجان بر عهده مشاور پروژه بود اندازه‌گیری فلیکر در برخی از پست‌ها و تعیین سهم هر یک از فیدرها در ایجاد فلیکر بود که پس از بررسی‌ها و مطالعات فراوان، مشاور پروژه، روش قطع تک فیدرها را ارائه نمود که این راهکار به جهت ایجاد خاموشی و نارضایتی‌های اجتماعی و همچنین کاهش درآمد فروش برق، از سوی شرکت برق منطقه‌ای زنجان رد شد.

جهت حل مشکل فوق‌الذکر، با لحاظ نمودن الزامات استاندارد کیفیت برق ایران و توجه به محدودیت‌های موجود، طراحی نرم‌افزار منطقه‌ای زنجان پیشنهاد و به تصویب رسید. این نرم‌افزار امکان دریافت اطلاعات توان‌های اکتیو و راکتیو شبکه با پیروی نمونه‌برداری ۱۰ میلی ثانیه را مطابق استاندارد دارد. این توان‌ها قبلاً توسط دستگاه ثبت بار استخراج می‌شوند. جهت اطمینان از کیفیت داده‌ها و پاک‌سازی احتمالی آن‌ها، می‌توان از برخی روش‌های مطالعه‌شده استفاده کرد [۱]. بخشی از نرم‌افزار، انجام پخش بار در فرکانس نامی، به منظور تبدیل منحنی توان- زمان به منحنی ولتاژ- زمان در شبکه مورد نظر، کاربر ترسیم دیاگرام تک‌خطی شبکه و ورود اطلاعات مربوط به عناصر مختلف شبکه را به- عهده دارد. جهت انجام پخش بار در شبکه‌های قدرت روش‌های متعددی ابداع شده‌اند. یک الگوریتم ساده نیز جهت پخش بار در شبکه‌های شعاعی استفاده شده است [۲]. بخش دیگری نیز شبیه‌سازی رفتار فلیکر متر را جهت محاسبه شاخص‌های کوتاه‌مدت  $P_{st}$  و بلندمدت فلیکر  $P_{lit}$  از روی پوش منحنی ولتاژ انجام می‌دهد. با این امکانات، کاربر با وارد کردن اطلاعات مورد نیاز می‌تواند به صورت نرم‌افزاری قطع و وصل فیدرها را شبیه‌سازی کرده و وضعیت شاخص‌های فلیکر را در حالات مختلف بررسی کند. با استفاده از این نرم‌افزار، امکان ردیابی و تعیین تخمینی سهم فلیکرزایی هر مشترک وجود دارد.

## ۲. مروری بر روش‌های تحلیل و ردیابی فلیکر

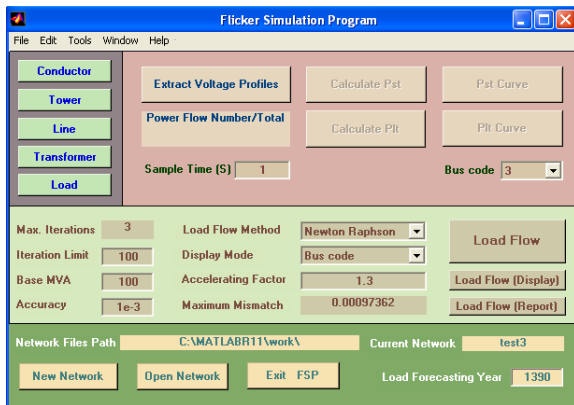
یکی از مسائل چالش برانگیز شرکت‌های برق شناسایی مشترکین فلیکرزا و تعیین سهم هر یک از آن‌هاست. روش‌های مختلفی تاکنون در استانداردها، مقالات و مجامع علمی و مهندسی ارائه و مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. از این رو جهت مشترکین متصل به یک نقطه مشترک، صرف استفاده از پارامتر ولتاژ، تعیین سهم هر یک از آن‌ها را به دنبال نخواهد داشت، لذا باید به روش‌های دیگری روی آورد.

در استاندارد کیفیت برق ایران، از روش ضرایب انتشار که روشی کاملاً تقریبی است در اتصال بیش از یک مشترک فلیکرزا استفاده می‌شود [۳]. ضعف روش مذکور این است که درجه آزادی استفاده از پارامترها خیلی زیاد و به ماهیت بارها مرتبط است و چون به صورت پیش‌فرض اطلاع دقیقی از پروفیل بارهای صنعتی وجود ندارد برای انتخاب پارامتر، اندازه‌گیری‌های زیادی نیاز است که خود یک پروژه جداگانه‌ای را می‌طلبد.

علاقه مشترکی جهت پیدا کردن منابع فلیکر از سوی شرکت‌های برق و مشترکین وجود دارد. یک روش که در [۴] بدان پرداخته شده است بر پایه نمونه‌گیری از ولتاژ و جریان است و جهت انتشار فلیکر را تعیین می‌کند. این روش در [۵] توسعه داده شده است. سنجش فلیکر ناشی از بارهای فلیکرزا در [۸-۶] بررسی شده است. [۹] تعیین جهت فلیکر را بر اساس روشی در حوزه فرکانس انجام می‌دهد و نهایتاً ترکیبی از روش حوزه فرکانس و هارمونیک‌های میانی در [۱۰] مطالعه شده است. روش دیگری نیز در مقالات روز استفاده شده است مبتنی بر توان فلیکر که سعی در تعیین جهت انتشار فلیکر دارد [۱۱]. این روش بر اساس تغییرات امیدانس بارهای فلیکرزا عمل می‌کند و لازمه آن دانستن مدل امیدانسی بارهای فلیکرزا است؛ مضاف بر اینکه اندازه‌گیری‌های زیادی برای تعیین مدل و همچنین استخراج پارامترهای الکتریکی محل اتصال باید صورت پذیرد.

مقالات دیگری نیز در خصوص شبیه‌سازی دستگاه فلیکر متر در محیط سیمولینک نرم‌افزار متلب وجود دارند که به صورت واسط بین خروجی سیمولینک و کاربر جهت محاسبه فلیکر استفاده می‌شوند. این کارها همگی وابسته به شبیه‌سازی حالت گذرای زمانی در محیط سیمولینک هستند و بعضاً در اعمال الگوریتم‌های آماری تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند [۱۲]. در [۱۳] از یک شبکه عصبی دولایه جهت ردیابی منبع فلیکر استفاده شده است. در بعضی مطالعات نیز از ویولت [۱۴] و تبدیل فوریه [۱۵] برای این موضوع استفاده شده است. روش دیگری نیز با تبدیل فوریه گسسته با درون‌یابی خطی سه‌طیفی صرفاً جهت تخمین پارامترهای فلیکر ولتاژ، استفاده شده است [۱۶].

در مقاله حاضر، به روش جدیدی به صورت ترکیبی از اندازه‌گیری و شبیه‌سازی رفتار فلیکر متر بدون استفاده از شبیه‌سازی زمانی در محیط سیمولینک اشاره می‌شود که با استفاده از آن می‌توان به تخمین شاخص-های فلیکر در نقاط مختلف شبکه برق پرداخت؛ بدین ترتیب که با اندازه-گیری توان‌های اکتیو و راکتیو بارهای متصله، می‌توان توسط نرم‌افزار



شکل ۱: پنجره اصلی نرم‌افزار تحلیل و ردیابی فلیکر (FSP)

قبل از اینکه کار با نرم‌افزار را شروع کنیم باید مرحله برداشت اطلاعات از شبکه موردنظر طی شده باشد. اگر فلیکر متر در دسترس باشد می‌توان شاخص‌های فلیکر شینه را برداشت کرد و در صورتی که به ردیابی مشترک فلیکر نیاز باشد به برداشت اطلاعات توان فیدرهای مربوطه اقدام کرد. اگر فلیکر متر در دسترس نباشد از همان ابتدا به برداشت داده‌های توان اقدام و سپس کار با نرم‌افزار دنبال می‌شود. اطلاعات اندازه‌گیری جهت مطالعه موردی این مقاله، از یکی از پست‌های ۲۳۰ کیلوولت شرکت برق منطقه‌ای زنجان برداشت شده است.

فلوچارت فرایند ردیابی فلیکر با استفاده از نرم‌افزار را می‌توان در شکل ۲ مشاهده نمود. مطابق شکل باید پریود نمونه‌برداری انجام شده توسط دستگاه ثبات در نرم‌افزار وارد شود. در صورتی که دستگاه ثبات قابلیت نمونه‌برداری با پریود ۱۰ میلی‌ثانیه را داشته باشد، محاسبات دقیقاً منطبق بر استاندارد صورت می‌پذیرد و در غیر این صورت، برنامه این امکان را فراهم نموده است که به‌طور تقریبی به محاسبه شاخص‌های فلیکر پرداخته شود؛ به این ترتیب که با خطی فرض کردن دو نمونه متوالی و تولید نمونه‌های مورد نیاز استاندارد به صورت نرم‌افزاری، به محاسبه شاخص‌های فلیکر اقدام می‌شود.

پس از طی مراحل مربوطه، جهت هر یک از شینه‌های موجود در دی‌گرام تک‌خطی ترسیم شده توسط کاربر، منحنی‌های شاخص‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت فلیکر در بازه زمانی نمونه‌برداری توسط نرم‌افزار نشان داده می‌شوند. در این مرحله کاربر می‌تواند با مقایسه شاخص‌ها با مقادیر مجاز تعریف شده در استاندارد، به خاتمه کار یا ادامه ردیابی تصمیم بگیرد. بدیهی است لازمه ادامه فرایند ردیابی به سطوح ولتاژی پایین‌تر، برداشت اطلاعات توانی مربوطه توسط دستگاه ثبات و ورود به نرم‌افزار بستگی دارد.

FSP که در پروژه تحقیقاتی منعقد شده با شرکت برق منطقه‌ای زنجان طراحی شده است، به قطع و وصل نرم‌افزاری بارهای موردنظر و محاسبه شاخص‌های فلیکر اقدام نمود. روش حاضر بر این فرض استوار است که تغییرات جزئی ولتاژ، تغییرات محسوسی در میزان درخواست بار ایجاد نخواهند کرد و در حالت عکس، خصوصاً در شبکه‌های فوق توزیع و انتقال، به دلیل بالا بودن توان اتصال کوتاه، بارهای فلیکرزای شبکه پایین دست موجود، قدرت ایجاد تغییرات محسوسی در ولتاژ شبکه بالادست را نخواهند داشت. این موضوع در بخش ۵-۳-۸ استاندارد کیفیت برق ایران جهت ارزیابی اولیه پذیرش مشترک نیز استفاده شده است. بنابراین، روش پیشنهادی مقاله حاضر، از دو بخش عملی و نظری تشکیل شده است که بخش عملی آن اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز از شبکه و بخش نظری آن، شامل محاسبات نرم‌افزاری جهت تعیین شاخص‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت فلیکر با شبیه‌سازی رفتار فلیکر متر استاندارد می‌باشد.

### ۳. شاخص‌های ارزیابی فلیکر

وقتی پریود اندازه‌گیری کوتاه‌مدت ۱۰ دقیقه فرض شود در این صورت با استفاده از خروجی به دست آمده از استاندارد کیفیت برق ایران، می‌توان شاخص کوتاه‌مدت فلیکر  $P_{st}$  را به صورت زیر محاسبه کرد:

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

که در رابطه (۱) داریم:

$$\begin{aligned} P_{50s} &= (P_{30} + P_{50} + P_{80})/3 \\ P_{10s} &= (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17})/5 \\ P_{3s} &= (P_{2.2} + P_3 + P_4)/3 \\ P_{1s} &= (P_{0.7} + P_1 + P_{1.5})/3 \end{aligned} \quad (2)$$

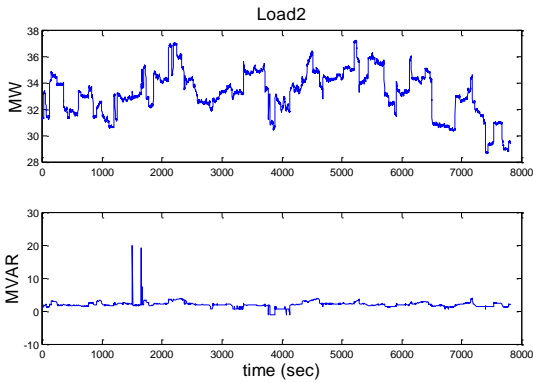
همچنین در رابطه (۲) عبارات  $P_{0.1}$ ,  $P_1$ ,  $P_3$ ,  $P_{10}$  و  $P_{50}$  به ترتیب بیانگر سطوح فلیکری هستند که برای ۰.۱، ۱، ۳، ۱۰ و ۵۰ درصد از زمان پریود مشاهده، از این مقدار تجاوز می‌کنند و بقیه نیز بدین منوال اند. شاخص دیگری که برای فلیکر تعریف می‌شود شاخص بلندمدت فلیکر  $P_{lt}$  است که زمان مشاهده آن به صورت مضربی از ۱۰ دقیقه است و بر اساس تغییرات بار تحت مطالعه انتخاب می‌شود؛ این زمان می‌تواند چند ساعت تا چند روز باشد. به‌طور معمول این شاخص را برای یک پریود زمانی ۲ ساعته محاسبه می‌کنند. فرمول محاسبه این شاخص بستگی به  $N$  مقدار شاخص کوتاه‌مدت اندازه‌گیری شده  $P_{sti}$  در طول زمان مشاهده دارد و از رابطه (۳) به دست می‌آید:

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

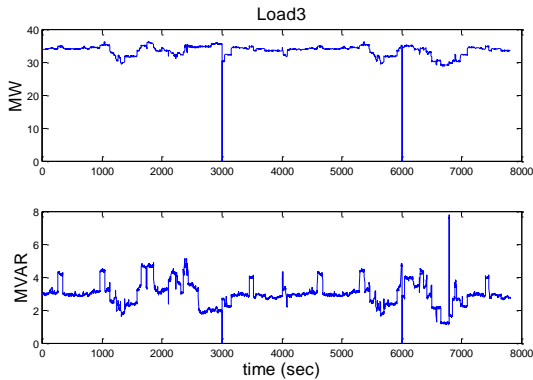
### ۴. مطالعه موردی با استفاده از نرم‌افزار FSP

شکل ۱ پنجره اصلی نرم‌افزار FSP را در محیط متلب نشان می‌دهد.

ولتاژ تبدیل می‌شود که این عمل با پخش بارهای متوالی در هر نمونه- برداری صورت می‌پذیرد. پس از اجرای این مرحله، دکمه Calculate Pst فعال و با فشردن آن شاخص‌های مربوطه محاسبه می‌شوند که متعاقب آن دکمه Pst Curve فعال و امکان رسم منحنی مربوطه را به کاربر می‌دهد.



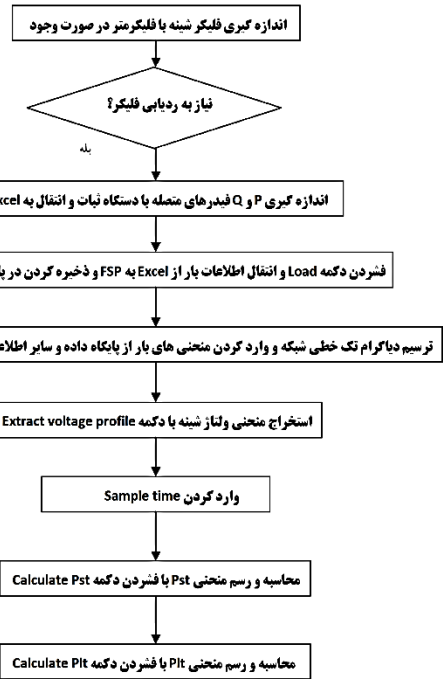
شکل ۴: پروفیل بار اکتیو و راکتیو Load2



شکل ۵: پروفیل بار اکتیو و راکتیو Load3

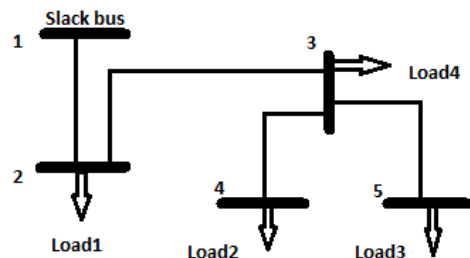
کد مربوط به باس‌ها را از روی خطوط ترسیم‌شده می‌توان استخراج کرد. به‌عنوان نمونه، زیر Line2 بر روی دیاگرام تک‌خطی در محیط ترسیم‌گر نرم‌افزار، 2---3 درج‌شده‌است از جهت فلش روی خط، می‌توان فهمید که این خط از باس ۲ به باس ۳ متصل شده‌است. بر این اساس با انتخاب Bus Code از منوی مربوط در صفحه اصلی، می‌توان منحنی‌های تغییر شاخص‌های فلیکر را در باس مربوطه مشاهده کرد. با اجرای مراحل فوق‌الذکر، منحنی‌های مربوط در باس‌های مختلف شبکه به‌دست می‌آیند. در اینجا برای نمونه منحنی‌های مربوط به باس شماره ۵ در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ آمده‌است.

ابتدا بدون حذف بار، به‌صورت نرم‌افزاری شاخص‌های فلیکر باس‌های مختلف را در شرایط موجود شبکه استخراج می‌کنیم که نتایج آن در شکل ۶ آمده‌است. حدود مجاز Pst و Plt نیز طبق استاندارد کیفیت برق ایران برای شبکه‌های فشارقوی و فوق فشارقوی، به‌ترتیب ۰/۸ و ۰/۱۶ می‌باشند. مشاهده می‌شود که در بازه‌های زمانی متعدد، محدوده‌های مجاز نقض شده‌اند.



شکل ۲: فلوجارت فرایند ردیابی فلیکر توسط نرم‌افزار

حال در مطالعه موردی، دیاگرام تک‌خطی شکل ۳ را در نظر بگیرید. بارهای Load2 و Load3 فلیکرزا و  $Load1 = 20+10j$  و  $Load4 = 10+5j$  بارهای توان ثابت می‌باشند. توان‌های اکتیو و راکتیو بارهای ۲ و ۳ با ولتاژ ۲۳۰ کیلوولت که توسط دستگاه ثبت استخراج شده‌اند به‌ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده‌اند.



شکل ۳: دیاگرام تک خطی شبکه تحت بررسی

اگر هدف صرفاً کشف مشترک فلیکرزا باشد، وجود تغییرات توان در مشخصه بار مذکور، آن‌را مشخص می‌کند ولی اگر میزان و نحوه تأثیر فلیکر در شبکه مدنظر باشد با ورود اطلاعات در نرم‌افزار می‌توان مورد را شبیه‌سازی کرد. ابتدا اطلاعات بار با استفاده از رابط ایجادشده در نرم‌افزار اکسل را وارد و سپس از داخل بخش بانک اطلاعاتی بار (دکمه Load در پنجره اصلی) به نرم‌افزار FSP منتقل می‌کنیم. پس از ذخیره اطلاعات بار در بانک اطلاعاتی مربوطه، دیاگرام تک-خطی شبکه ترسیم و ضمن وارد کردن سایر پارامترهای شبکه، بار مذکور نیز از بانک اطلاعاتی انتخاب و وارد می‌شود. در این مرحله با وارد کردن زمان نمونه‌برداری در محل موردنظر از پنجره اصلی نرم‌افزار، با فشردن دکمه Extract Voltage Profiles اطلاعات توانی واردشده، به پروفیل

بهتری منجر می شود؛ یعنی این دو بار همپوشانی کرده و در مجموع وضعیت بهتری ارائه می دهند؛ البته این موضوع به ماهیت بارها و توپولوژی و پارامترهای شبکه وابسته است. نکته دوم اینکه اگر مقادیر هریک از بارهای عادی Load1 و Load4 را کاهش دهیم وضعیت شاخص های فلیکر شبکه بهتر خواهد شد (منحنی های مربوطه جهت خلاصه سازی در اینجا آورده نشده اند). این موضوع بدان معنی است که بارهای عادی، حسب مقدار و موقعیتشان در شبکه می توانند در شاخص های فلیکر مؤثر باشند و در واقع حتی اگر خودشان فلیکرزا نباشند می توانند غیرمستقیم، اثر سایر بارهای فلیکرزا را تشدید کنند.

## ۵. مفروضات و محدودیت ها

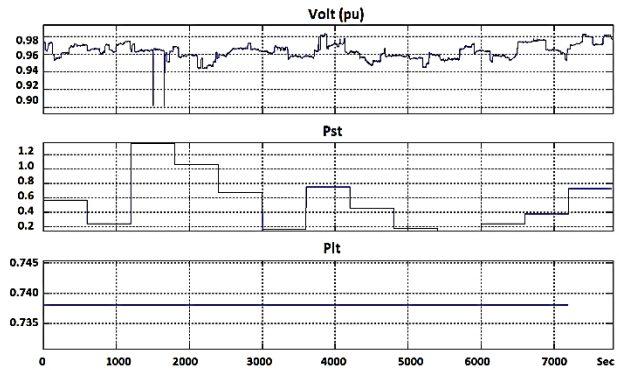
به دلیل محدودیت در فرکانس نمونه برداری، تمهیدی جهت تطابق بیشتر با استاندارد فلیکر اتخاذ شده است؛ بدین ترتیب که یک الگوریتم خطی - سازی بین نمونه های ولتاژ به دست آمده از پخش بار تا یک نمونه مانده به آخر و استفاده از نمونه - نگهدار جهت نمونه آخر، داده های مورد نیاز در استاندارد را تولید و در تحلیل مورد استفاده قرار می دهد. البته این روش نسبت به دستگاه فلیکرمتر مقداری تقریب خواهد داشت که در شرایط واقعی با توجه به محدودیت های گفته شده به عنوان تنها راه حل موجود می تواند استفاده شود.

نکته قابل تأمل دیگر اینکه در اندازه گیری های واقعی شاخص های فلیکر که توسط دستگاه فلیکرمتر انجام می شود آن است که اثر فلیکر ولتاژ شبکه بلا دست عملاً وارد محاسبات می شود و امکان تفکیک آن را از اثر بارهای سنگین مشکل تر می کند ولی در نرم افزار با ثابت فرض - نمودن ولتاژ تغذیه به سادگی بهبود می یابد.

نکته آخر اینکه استانداردهای فلیکر در خصوص تعیین شاخص های فلیکر رویکرد تصادفی دارند و با این رویکرد واقع بینانه رعایت بحث همزمانی اندازه گیری ها لزومی ندارد. این موضوع نیاز به به کارگیری همزمان چند دستگاه اندازه گیری را از بین می برد و موجب سهولت در تحلیل داده ها می شود. فقط باید دقت کرد که برای رعایت قانون بقای انرژی از  $n$  شاخه متصل به یک شینه، اطلاعات  $n-1$  شاخه استفاده شود. معمولاً می توان اطلاعات شاخه متصل به شینه بی نهایت را حذف و سایر شاخه ها را در محاسبات شبیه سازی وارد کرد.

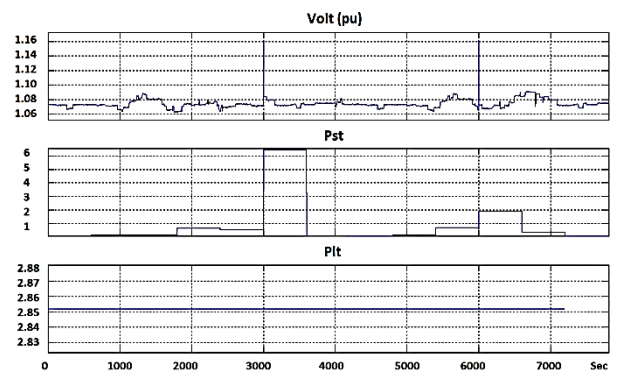
## ۶. نتیجه گیری

مقاله نشان داد که بررسی شاخص های فلیکر در حالت هایی که امکان قطع واقعی فیدرها وجود ندارد، توسط نرم افزار طراحی شده به سادگی صورت می پذیرد و امکان تصمیم گیری بهتر در رد یا قبول مشترکین قبل از عقد قرارداد را به شرکت های برق داده و یا اینکه ردیابی و شناسایی مشترکین فلیکرزا را امکان پذیر ساخت. شایان ذکر است که در حال حاضر به دلیل عدم وجود ابزارهای لازم برای تحلیل فلیکر، شرکت های برق عملاً از ورود به این مقوله اجتناب می کنند. لذا با استفاده از روش پیشنهادی مقاله و نرم افزار FSP، به راحتی می توانند خلأ های موجود در این زمینه را تا حدود زیادی پر کنند.



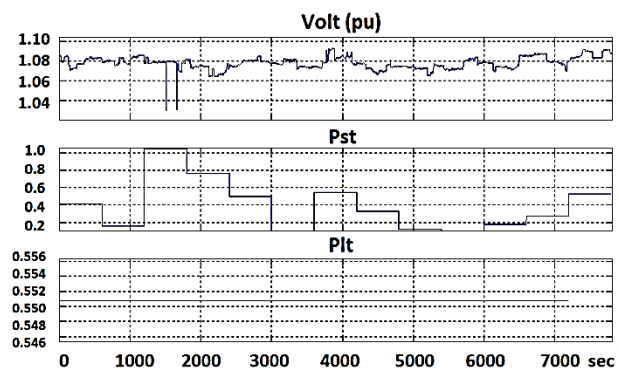
شکل ۶: نمودارهای باس ۵ در شرایط عادی شبکه

در این مرحله، بار Load2 را صفر کرده و Load3 را به همان شکل اولیه نگه می داریم. با اجرای دوباره مراحل، نتایج را می توان در شکل ۷ مشاهده کرد.



شکل ۷: نمودارهای باس ۵ با حذف بار Load2

این بار، Load3 را صفر کرده و Load2 را به شکل اولیه نگاه می داریم. با اجرای دوباره مراحل، نتایج را می توان در شکل ۸ مشاهده کرد.



شکل ۸: نمودارهای باس ۵ با حذف بار Load3

با مقایسه منحنی های به دست آمده در می یابیم که Load2 اگر به - تنهایی به شبکه وصل باشد، مقادیر شاخص های فلیکر در حد مجاز قرار می گیرند ولی اگر Load3 چه تنها و چه با دیگر بارها در شبکه باشد، شاخص ها غیر مجاز می شوند.

نکات جالبی نیز در این مثال به چشم می خورد. اول اینکه حضور هر دو بار فلیکرزا در شبکه نسبت به حضور تکی Load3 به شاخص های

## ۷. پژوهش‌های آتی

در مقاله حاضر، از فرضیات متعددی استفاده شده است که هر یک می‌توانند مسیری را برای پژوهش‌های بعدی ترسیم کنند. در این مقاله فرض شد که تغییرات جزئی ولتاژ، تغییرات محسوسی در میزان درخواست بار ایجاد نخواهد کرد. این موضوع می‌تواند جهت بارهای وابسته به دامنه ولتاژ نیز مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد. فرض دیگر این بود که در شبکه‌های فوق توزیع و انتقال، به دلیل بالا بودن توان اتصال کوتاه، بارهای فلیکرزای شبکه پایین دست موجود، قدرت ایجاد تغییرات محسوسی در ولتاژ شبکه بالادست را نخواهند داشت. لحاظ کردن این تغییرات جزئی در ولتاژ بالادست و تخمین شاخص‌های فلیکر با لحاظ این تغییرات نیز می‌تواند موضوع پژوهش تازه دیگری باشد.

## سپاسگزاری

در اینجا لازم است تا از زحمات دست‌اندرکاران شرکت برق منطقه‌ای زنجان به خاطر همکاری‌های بی‌دریغشان در تصویب، نظارت و پیاده‌سازی پروژه تحقیقاتی نرم‌افزار تحلیل و ردیابی فلیکر ناشی از مشترکین صنعتی سنگین، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

## References

- flicker propagation applied to arc furnaces,” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20, no. 3, pp. 2334-3442, July 2005.
- [11] P. Axelberg, *On Tracing Flicker Sources and Classification of Voltage Disturbances*, PhD thesis, Chalmers university of technology, 2007.
- [12] S.H. Cho, J.A. Jung, G. Jang, S.H. Kwon, M.H. Kang, “Development of matlab/simulink module for voltage flicker simulation in distribution power systems,” Journal of Electrical Engineering & Technology, vol. 3, no. 3, pp. 314-319, 2008.
- [13] H. Samet, M. Khosravi, T. Ghanbari, M. Tajdinian “A two-level neural network approach for flicker source location,” Computers & Electrical Engineering, vol. 92, pp. 107157, 2021.
- [14] H. Moghadam Banaem, M. Abbasi, B. Tousi, “A new method with minimum number of monitoring points for flicker source tracing by wavelet transform,” International Transactions on Electrical Energy Systems, p. e12057, 2019.
- [15] H. Givi, S. R. K. Hoseini, “An effective signature for detection of flicker sources in transmission networks using fast fourier transform,” 28th Iranian Conference on Electrical Engineering, IEEE, pp. 1-6, 2020.
- [16] Y. Li, Y. Gao, Y. Feng, Y. Cao, Y. Zhu, “Improved analytic energy operator and novel three-spectral line interpolation DFT method for parameter estimation of voltage flicker,” IEEE Transactions on Industrial Informatics, doi: 10.1109/TII.2023.3261885, pp. 1-9, 2023.
- [1] A. Shahnavaaz, M. Afzali, S. Rahimzadeh, “A new approach for data cleaning to improve quality of data warehouse,” Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems, vol. 1, no. 2, pp. 33-41, 2021. [Persian]
- [2] P. Nazarian, “Definition of bus priority vector to solve distribution load flow for radial networks using MATLAB,” Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems, vol. 2, no. 4, pp. 13-19, 2022. [Persian]
- [3] *Iran power industry standards- power quality, part four: voltage and frequency variations*, April 2002. [Persian]
- [4] P. G. V. Axelberg, M. H. J. Bollen, “An algorithm for determination the direction to a flicker source,” IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 21, no. 2, April 2006.
- [5] P. G. V. Axelberg, M. H. J. Bollen, I. Y.H. Gu, “Trace of flicker sources by using the quantity of flicker power,” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 23, no. 1, Jan. 2008.
- [6] O. Ozgun, A. Abur, “Flicker study using a novel arc furnace model,” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 17, no. 4, pp. 1158-1163, Oct. 2002.
- [7] J. J. Gutierrez, J. Ruiz, S. R. Gauna, “Linearity of the IEC flickermeter regarding amplitude variations of rectangular fluctuations,” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 22, no.1, pp. 729-731, Jan. 2007.
- [8] D. Gallo, C. Landi, N. Pasquino, “Design and calibration of an objective flickermeter,” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 55, no. 6, pp. 2118-2125, Dec. 2006.
- [9] C. Moreno, H. Duarte, J. Garcia, “Propagation of flicker in electric power networks due to wind energy conversions systems,” IEEE Transactions on Energy Conversions, vol. 17, no. 2, June 2002.
- [10] A. Hernandez, Julio G. Mayordomo, R. Asensi, L. F. Beites, “A method based on interharmonics for