



011021

## الگوریتم تخمین نمونه بعدی، جهت بکارگیری در تشخیص اشباع

### ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی

علی میری<sup>۱</sup> مهدی اخباری<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، ۲. استادیار گروه برق

دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه شاهد

واژه‌های کلیدی: الگوریتم تخمین نمونه بعدی، ترانسفورماتور جریان اشباع، الگوریتم‌های تشخیص اشباع

#### چکیده

در این مقاله الگوریتمی جهت تخمین نمونه‌های بعدی در سیگنالها ارائه می‌شود که می‌توان از قابلیت‌های آن، جهت استفاده در الگوریتم‌های تشخیص اشباع ترانسفورماتورهای جریان، بهره برد. جهت بهبود الگوریتم‌های ارائه شده در مطالعات گذشته، روش نوینی مبنی بر تحلیل انتگرال، مساحت نصف مثلثی و مشتق جهت تخمین نمونه‌های جلوتر سیگنال ثانویه CT در هر لحظه، پیشنهاد شده است. ویژگی مهم الگوریتم تخمین نمونه بعدی، قدرت تعقیب و انطباق با سیگنال مورد تحلیل می‌باشد که از این قابلیت آن نیز، جهت استفاده در شروط تشخیص اشباع استفاده می‌گردد.

#### ۱- مقدمه

شکی نیست که امروزه انرژی الکتریکی یکی از اساسی‌ترین و ضروری‌ترین ارکان صنایع بشمار می‌رود؛ بطوری که بدون این انرژی، کلیه اجزای یک واحد صنعتی متوقف خواهد شد. همین ارتباط تنگاتنگ موجب گردیده تا نیاز به یک سیستم مطمئن روز به روز بیشتر احساس شود. به همین دلیل تمام تلاش دست-اندرکاران این حرفه در جهت طراحی سیستم حفاظتی هر چه کارآمدتر قرار گرفته است. در این راه امکانات و وسایلی در اختیار مهندسين این فن قرار دارد که از جمله مهمترین آنها می‌توان به ترانسفورماتورهای جریان اشاره نمود.

از آنجاکه بکارگیری راه حل دوم از لحاظ دقت و بعد اقتصادی مناسب تر می باشد، سعی می گردد بر روی تکنیک های تشخیص اشباع که از پیش نیازهای بکارگیری الگوریتم های جبران سازی می باشد، تمرکز شود. از پیش نیازهای مهم جهت افزایش کارایی الگوریتم های جبران ساز، در اختیار داشتن اطلاعات دقیقی در مورد داده ها و بازه های سیگنال ثانویه CT می باشد. تشخیص دقیق بازه های مورد نظر از دو نظر، جهت اجرای صحیح الگوریتم جبران سازی حائز اهمیت می باشد:

۱- تشخیص صحیح بازه سالم سیگنال به معنی در اختیار گرفتن نمونه های صحیح، جهت استخراج ضرایب معادله تخمین جریان خطا می باشد [۱] و [۴].

۲- تشخیص صحیح بازه اشباع سیگنال ثانویه به معنی تعیین بازه صحیح جهت بازسازی سیگنال در ناحیه مورد نیاز می باشد.

لذا در این مقالات نیز تلاش ما نسبت به حصول روشهای تشخیص هرچه دقیق تر بازه های مربوطه می باشد.

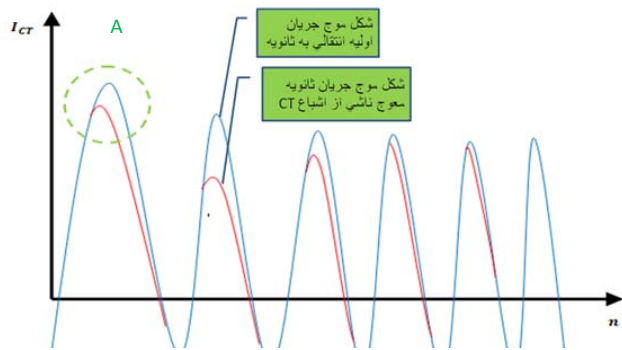
در اینجا منظور از بازه های مربوطه، همانطور که در شکل (۱) مشاهده می شود، دو ناحیه ای است که در یکی از آنها شکل موج دچار اعوجاج بوده (ناشی از اشباع CT) و در دیگری شکل موج سالم و بدون تغییر مانده است.

آنچه تا به حال در مطالعات گذشته استفاده شده است تنها استفاده از نمونه های واقعی در همان لحظه تحلیل، جهت تشخیص لحظه وقوع اشباع بوده است که در اینجا بطور دلخواه نمونه  $n$ ام فرض کرده ایم [۲] و [۳]. در این مقاله با ارائه روشی کاملاً جدید مبتنی بر انتگرال ناحیه ای و در نظر گرفتن رابطه بین نواحی در هر لحظه (شکل (۲))، امکان تخمین نمونه جلوتر از لحظه مورد مطالعه، فراهم شده است. تخمین نمونه های جلوتر سیگنال، امکان پردازش کارآمد و دقیق تر را برای الگوریتم تشخیص اشباع فراهم می آورد.

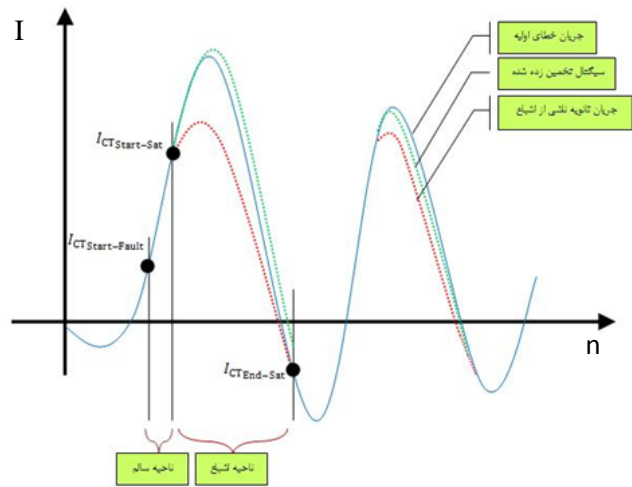
در سیستم های قدرت پیشرفته، بیشترین تأکید بر توانایی ترانسفورماتورهای جریان در تأمین جریان لازم برای رله های حفاظتی، انجام گرفته است. در واقع جهت مراقبت از شبکه این انتظار وجود دارد که تحت هر شرایطی، تصمیماتی که توسط وسایل حفاظتی اخذ می شود، مطمئن و بدون اشتباه بوده و این مهم بدست نمی آید مگر در صورت عملکرد صحیح ترانسفورماتورهای جریان. عملکرد صحیح ترانسفورماتورهای جریان بدین معنی می باشد که تحت هرگونه خطا، سیگنال اولیه (ورودی) را با حفظ تمام ویژگیها و خصوصیات آن، به خروجی خود انتقال دهند. وقتی تأثیر CT را بر رله های دیجیتال و یا هر وسیله حفاظتی دیگر بررسی می کنیم مسلماً پدیده اشباع مهمترین تأثیر منفی را در رفتار CT به خود اختصاص می دهد. زیرا هنگامی که CT اشباع می شود جریان خروجی آن دچار اعوجاج شده و شکل سینوسی خود را از دست می دهد. در این شرایط مقدار لحظه ای، مقدار مؤثر و دامنه هارمونیکهای موجود در جریان ثانویه با آنچه که از آن انتظار داریم کاملاً متفاوت بوده و این امر به معنای انتقال ناصحیح اطلاعات، در مورد وضعیت شبکه به سیستم های متصل به CT است. در این شرایط است که پایداری سیستم های حفاظتی به مخاطره خواهد افتاد. لذا تمامی مطالعات، در جهت انتقال کامل و سالم سیگنال اولیه به ثانویه یا تولید سیگنالی با حفظ کامل مشخصات سیگنال اولیه در ثانویه CT، برای تحویل به رله ها بوده است. این مهم از دو طریق امکان پذیر می باشد:

۱- جلوگیری از اشباع CT از طریق افزایش ابعاد هندسی هسته یا ایجاد شکاف فاصله هوایی که نتیجه آن یک انتقال طبیعی سیگنال اولیه به ثانویه خواهد بود.

۲- در صورت رخداد اشباع CT، استفاده از روش های آنالیز سیگنال و الگوریتم های جبران سازی جهت بازسازی و تخمین سیگنال اولیه با توجه به اطلاعات موجود در سیگنال ثانویه اعوجاج یافته [۱] و [۲].



شکل (۲) - نمایش نمونه جریان اولیه انتقالی به ثانویه به همراه جریان ثانویه معوج ناشی از اشباع CT



شکل (۱) - نمایش بازه های اشباع و سالم سیگنال ثانویه CT

از آنجاکه تحلیل ما در فضای گسسته و نمونه ای صورت می گیرد، با انتگرال گسسته (مساحت هندسی) روبرو خواهیم بود. همانطور که در شکل (۲) نیز مشاهده می شود، یک شکل موج سینوسی، در ناحیه صعود یا نزول خود دارای آهنگ تغییر مشخصی می باشد لذا می توان از این ویژگی استفاده کرده و از تخمین انتگرال ذوزنقه ای در هر ناحیه استفاده نماییم. چنانچه شرایط ذیل در مورد شکل موج برقرار باشد این مسأله نمود بیشتری پیدا خواهد کرد:

- ۱- شکل موج دارای نسبت دامنه به دوره کوچکی باشد. (جریان های خطا بطور ذاتی، دارای دامنه بزرگ و نرخ تغییر سریع در دوره خود می باشند).
- ۲- نمونه های ورودی یا همان نمونه های واقع بر محور افقی دارای فواصل کوچک نسبت بهم باشند. (فرکانس بالا)

در شکل (۳) مفهوم الگوریتم پیشنهادی، با بزرگنمایی بخش A از شکل (۲) و انتقال دستگاه مختصات به آن، برای یکی از شدیدترین حالت های اشباع، نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، تفاضل بین سطوح  $S_1$  تا  $S_4$ ، تحت نواحی تقریباً مثلثی با هاشور، نشان داده شده است.

قبل از رخداد اشباع، مقدار مساحت های هاشور زده شده با تقریب مناسبی، نزدیک به یکدیگر بوده و در صورت رخداد اشباع و پدید آمدن نقطه  $I_{CT\_sat}(n)$  تغییر قابل ملاحظه ای را در این رویه خواهیم داشت. البته قابل ذکر است که در هر نمونه برداری، تعداد مشخص و محدودی از نمونه های موجود انتخاب شده و مورد

## ۲- استفاده از نمونه های تخمین زده شده بعدی سیگنال، جهت تشخیص لحظه شروع و اتمام بازه اشباع مبتنی بر تحلیل انتگرال

همانطور که اشاره شد، جهت استفاده مطلوب از الگوریتم های جبران ساز و داشتن نتیجه ای قابل اتکا در خروجی آنها، قطعاً باید اطلاعات دقیقی از لحظه وقوع اشباع و اتمام آن را در هر دوره، در اختیارشان قرار داد. در این صورت است که الگوریتم، پردازش صحیحی جهت تخمین سیگنال سالم در نواحی مورد نظر خواهد داشت. در این مقاله با استفاده از انتگرال ناحیه ای و در نظر گرفتن رابطه بین نواحی (شکل (۲)) در هر لحظه، به تخمین نمونه های جلوتر پرداخته شده است. در واقع با این تکنیک امکان داشتن نمونه ای منطبق بر سیگنال سالم را حتی بعد از وقوع اشباع فراهم ساخته ایم و حتی می توانیم حداقل ۳ نمونه از سیگنال سالم را بعد از رخداد اشباع، داشته باشیم. این امر امکان مقایسه نمونه های سیگنال سالم را با نمونه های به اشباع رفته سیگنال بوجود می آورد که نتیجه آن امکان ایجاد تمایز کافی بین نمونه ها جهت تشخیص دقیق تر و سریعتر لحظه وقوع اشباع خواهد بود. چگونگی اجرای این تئوری در ادامه توضیح داده می شود.

مساحت‌های نشان داده شده در شکل (۳)، به ترتیب زیر قابل محاسبه می‌باشند:

$$S_1 = I_{CT(n-3)} * \frac{(n-3)-(n-4)}{2} \quad (۱)$$

$$S_2 = (I_{CT(n-3)} + I_{CT(n-2)}) * \frac{(n-2)-(n-3)}{2} \quad (۲)$$

$$S_3 = (I_{CT(n-2)} + I_{CT(n-1)}) * \frac{(n-1)-(n-2)}{2} \quad (۳)$$

$$S_4 = (I_{CT(n-1)} + I_{CT(n)}) * \frac{(n)-(n-1)}{2} \quad (۴)$$

که در این روابط داریم:

$n, n-1, \dots$  = نمونه‌های متوالی از جریان ثانویه

$S_k$ : مساحت دوزنقه محصور بین نمونه  $(n+k-5)$  و  $(n+k-4)$

$G_n$  = مساحت تفاضل بین نواحی  $S_n$  و  $S_{n+1}$

$I_{CT(n)}$  = مقدار جریان در نمونه  $n$  ام

برای تعیین نمونه بعدی مبنی بر تحلیل انتگرال به یکی از دو روش ذیل عمل می‌نماییم:

الف- استفاده از انتگرال مرتبه اول و مبتنی بر تساوی مثلثها

$$G_3 = G_2 \rightarrow (S_4 - S_3) = (S_3 - S_2)$$

$$\rightarrow \left\{ (I_{CT(n)} + I_{CT(n-1)}) * \frac{(n)-(n-1)}{2} \right\} -$$

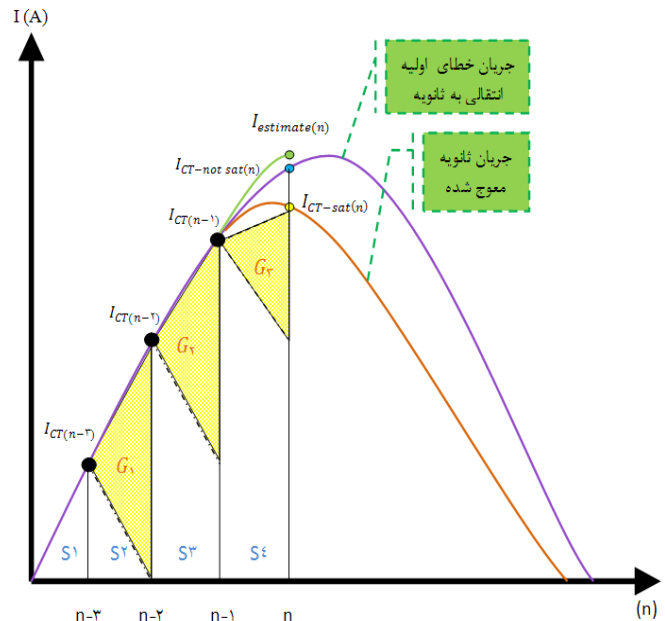
$$\left\{ (I_{CT(n-2)} + I_{CT(n-1)}) * \frac{(n-1)-(n-2)}{2} \right\}$$

$$= \left\{ (I_{CT(n-2)} + I_{CT(n-1)}) * \frac{(n-1)-(n-2)}{2} \right\}$$

$$\left\{ (I_{CT(n-3)} + I_{CT(n-2)}) * \frac{(n-2)-(n-3)}{2} \right\}$$

$$\rightarrow \boxed{I_{CT(n)} = (I_{CT(n-1)} + I_{CT(n-2)} - I_{CT(n-3)})} \quad (۵)$$

تحلیل قرار می‌گیرند و این فرآیند بطور پیوسته و رو به جلو تکرار می‌گردد.



شکل (۳)- نمایش تحلیل انتگرالی بر نمونه جریان اولیه انتقالی به ثانویه به

همراه جریان ثانویه معوج ناشی از اشباع CT

بطوریکه می‌توان تصور نمود پنجره متحرکی در طول مسیر شکل موج حرکت کرده و نمونه‌های قرار گرفته در داخل این پنجره نمونه‌گیری، مورد تحلیل واقع می‌شوند. از همین ویژگی می‌توان جهت تشخیص لحظه وقوع خطا، لحظه وقوع اشباع و لحظه اتمام اشباع که در واقع تعیین‌کننده محدوده‌های اجرای پروسه تخمین می‌باشند، استفاده کرد. برای تشخیص بازه اشباع در خروجی CT، دو مرحله زیر پیاده‌سازی می‌گردند:

۱- با مساوی قرار دادن تفاضل نواحی دوزنقه‌ای شکل یا همان سطوح مثلثی نشان داده شده در دوره‌های مختلف، امکان تخمین نمونه‌های جلوتر فراهم می‌شود.

۲- بعد از تخمین هر نمونه بعدی، شرط مقدار تغییر مساحت را ارزیابی کرده و در صورت تجاوز این اختلاف از مقدار مجاز تعریف‌شده، امکان تشخیص نقاط شکست و یا در واقع همان نقاط شروع و پایان اشباع، میسر می‌گردد.

در زیر روش بکار رفته جهت استخراج معادلات تخمین نمونه بعدی بر اساس مساحت نصف مثلثی نشان داده شده است. مساحت مثلثهای نشان داده در شکل (۴) را به ترتیب زیر تعریف می‌نماییم:

$$H_1 = [I_{CT(n-2)} - I_{CT(n-3)}] * \frac{(n-2) - (n-3)}{2} \quad (۷)$$

$$H_2 = [I_{CT(n-1)} - I_{CT(n-2)}] * \frac{(n-1) - (n-2)}{2} \quad (۸)$$

$$H_3 = [I_{CT(n)} - I_{CT(n-1)}] * \frac{(n) - (n-1)}{2} \quad (۹)$$

که در این روابط داریم:

$n, n-1, \dots$  = نمونه های متوالی از جریان ثانویه

$H_k$  = مساحت نصف مثلثی بین نمونه  $(n+k-4)$  و  $(n+k-3)$  ام

$I_{CT(n)}$  = جریان نمونه  $n$  ام

الف - انتگرال مرتبه اول مبتنی بر تساوی مساحت های نصف مثلثی و استدلال هندسی

$$H_2 = H_3$$

$$\rightarrow (I_{CT(n)} - I_{CT(n-1)}) = (I_{CT(n-1)} - I_{CT(n-2)})$$

$$\rightarrow \boxed{I_{CT(n)} = (2 * I_{CT(n-1)} - I_{CT(n-2)})} \quad (۱۰)$$

ب - انتگرال مرتبه اول مبتنی بر تساوی اختلاف مساحت های نصف مثلثی و استدلال هندسی

$$H_3 - H_2 = H_2 - H_1$$

$$\rightarrow \boxed{I_{CT(n)} = (3 * I_{CT(n-1)} - 3 * I_{CT(n-2)} + I_{CT(n-3)})} \quad (۱۱)$$

۴- بکارگیری معادلات استخراج شده در تعیین بازه اشباع و مقایسه دقت و حساسیت هر کدام

ب - استفاده از انتگرال مرتبه اول و مبتنی بر تساوی اختلاف مثلثها

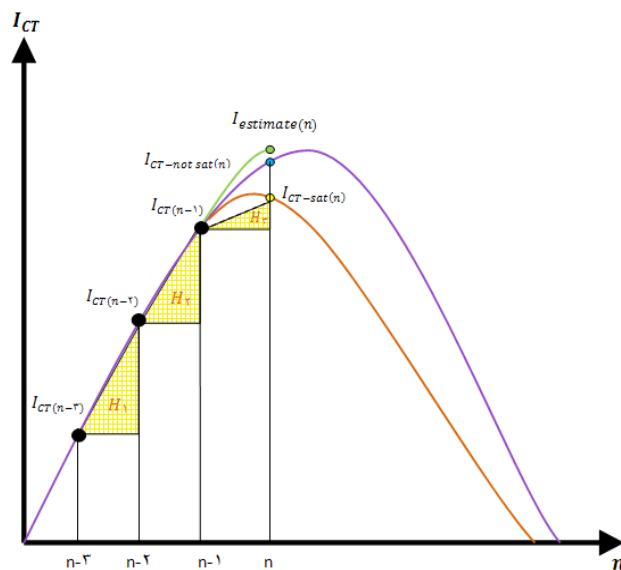
$$G_3 - G_2 = G_2 = G_1 \rightarrow$$

$$\{(S_4 - S_3) - (S_3 - S_2)\} = \{(S_3 - S_2) - (S_2 - S_1)\}$$

$$\rightarrow \boxed{I_{CT(n)} = (2 * I_{CT(n-1)} - 2 * I_{CT(n-3)} + I_{CT(n-4)})} \quad (۶)$$

۳- استفاده از نمونه های تخمین زده شده بعدی سیگنال، جهت تشخیص لحظه شروع و اتمام بازه اشباع مبنی بر استدلال هندسی و مساحت نصف مثلثی

همانطور که در شکل (۴) نیز مشاهده می شود علاوه بر حالت قبل، می توان بر اساس تغییر مساحت مثلثهای هاشور خورده نیز نمونه های بعدی را استخراج نمود. نکته قابل تأملی که در این روش نسبت به روش قبل وجود دارد این است که در هر مرحله از تحلیل الگوریتم و بکارگیری معادلات مربوطه، نیاز به دانستن نمونه های کمتری نسبت به معادلات استخراجی بر مبنای تحلیل انتگرال خواهیم داشت.



شکل (۴)- نمایش تحلیل نصف مثلثی بر روی نمونه جریان اولیه انتقالی به ثانویه به همراه جریان ثانویه معوج ناشی از اشباع CT

همانطور که از نمودارها مشاهده می شود با افزایش تعداد نمونه های مورد استفاده در هر معادله، شکل موجهای دقیق تری بدست می آید ولی در عوض حساسیت آن بیشتر شده و همچنین نیاز به دانستن و در اختیار داشتن تعداد داده های ورودی نیز بیشتر می گردد. در معادله (۱۰)، محاسبه نمونه بعدی ما تنها وابسته به دو نقطه، در معادله (۵) و (۱۱) وابسته به سه نقطه و در معادله (۶) وابسته به چهار نمونه قبل از خود می باشد. بدیهی است که معادلاتی که به تعداد نمونه کمتری وابسته می باشند، برای ناحیه های کوچکتر و با تعداد کمتر داده های سالم، مناسب تر بوده ولی از طرف دیگر دارای دقت پایین تری نسبت به معادلات مشابه خواهند بود.

اینکه استفاده از کدام معادله مناسب تر می باشد؛ بستگی به عوامل متعددی از جمله: مشخصات شبکه مورد مطالعه، فرکانس نمونه برداری، دقت مورد نیاز، نوع خطای رخ داده، نقطه وقوع اشباع و ... دارد که محقق باید با آزمایش حالات و نمونه های مختلف خطا، معادله مناسب مطالعه خود را انتخاب نماید.

### ۵- استخراج نمونه بعدی با استفاده از مشتق

بر پایه توضیحات قبل اقدام به تخمین نمونه بعدی با استفاده از مشتق سیگنال و انجام عملیات ریاضی می نمایم.

مشتق نواحی را به ترتیب مرتبه آنها طبق زیر تعریف می نمایم:

$$\Delta_{S_4}^1 = \frac{I_{CT}(n) - I_{CT}(n-1)}{T} \quad (12)$$

$$\Delta_{S_3}^1 = \frac{I_{CT}(n-1) - I_{CT}(n-2)}{T} \quad (13)$$

$$\Delta_{S_2}^1 = \frac{I_{CT}(n-2) - I_{CT}(n-3)}{T} \quad (14)$$

$$\Delta_{S_4}^2 = \frac{\Delta_{S_4}^1(n) - \Delta_{S_3}^1(n-1)}{T} \quad (15)$$

$$\Delta_{S_3}^2 = \frac{\Delta_{S_3}^1(n-1) - \Delta_{S_2}^1(n-2)}{T} \quad (16)$$

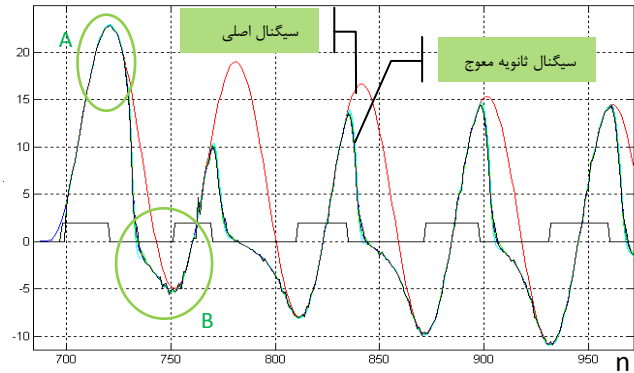
$$\Delta_{S_4}^3 = \frac{\Delta_{S_3}^2(n) - \Delta_{S_2}^2(n-1)}{T} \quad (17)$$

$$\Delta_{S_3}^3 = \frac{\Delta_{S_3}^2(n-1) - \Delta_{S_2}^2(n-2)}{T} \quad (18)$$

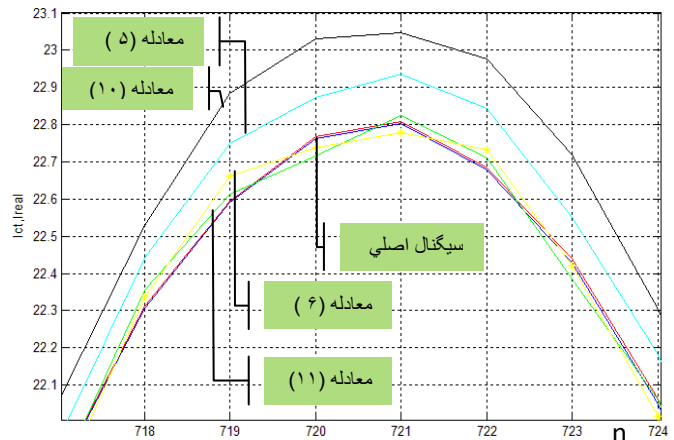
(T=1)

$\Delta_{S_k}^m$  = مشتق مرتبه m ام مربوط به ناحیه k ام متناظر در شکل (۲)

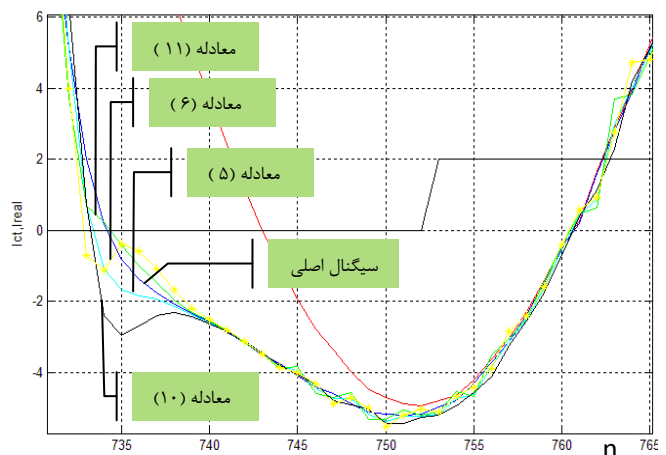
به منظور برآورد کارایی روش های ذکر شده در قسمتهای قبل، معادلات بدست آمده برای تخمین نمونه سالم بعدی، در نمونه ای از یک سیگنال CT اشباع شده بکار گرفته شده است. شکل (۵) سیگنال ثانویه CT اشباع شده را به همراه تخمین بدست آمده از روش های ارائه شده را نشان می دهد.



شکل (۵) - تخمین شکل موج ثانویه معوج، با استفاده از تحلیل انتگرال و استدلال هندسی

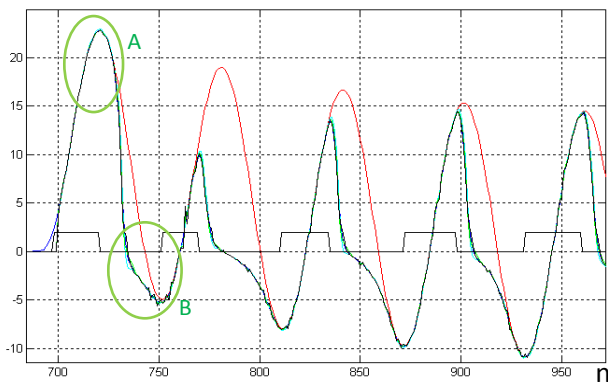


شکل (۶) - بزرگنمایی ناحیه A نشان داده شده در شکل (۵) جهت نمایش مقدار دقت تخمین چهار معادله استخراجی

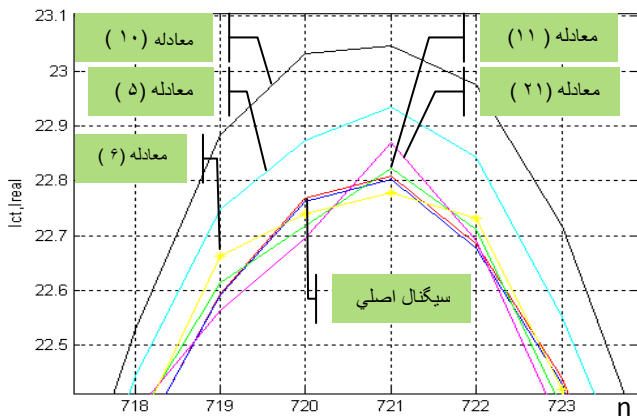


شکل (۷) - بزرگنمایی ناحیه B نشان داده شده در شکل (۵) جهت

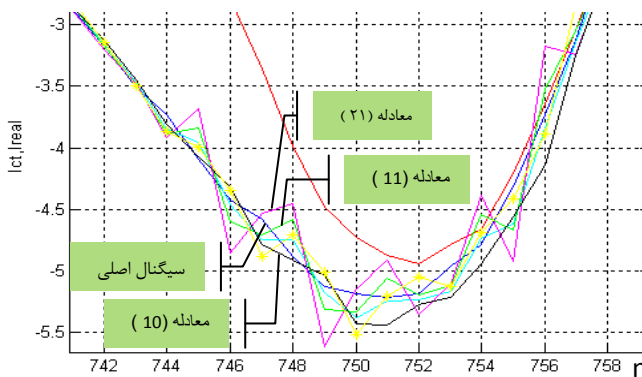
نمایش شدت حساسیت چهار معادله استخراجی



شکل (۸) تخمین شکل موج سالم با استفاده از تحلیل انتگرال، استدلال هندسی و مشتق



شکل (۹) - بزرگنمایی ناحیه A در شکل (۸) جهت نمایش دقت معادلات استخراجی



شکل (۱۰) - بزرگنمایی نواحی نشان داده شده در شکل (۸) جهت نمایش شدت حساسیت معادلات استخراجی از روش های مذکور

۵-۱- استخراج نمونه بعدی بر حسب مشتق مرتبه اول

$$\Delta_{S_4}^1 = \Delta_{S_3}^1$$

$$\frac{I_{CT(n)} - I_{CT(n-1)}}{T} = \frac{I_{CT(n-1)} - I_{CT(n-2)}}{T}$$

$$\rightarrow I_{CT(n)} = (2 * I_{CT(n-1)} - I_{CT(n-2)}) \quad (19)$$

۵-۲- استخراج نمونه بعدی بر حسب مشتق مرتبه دوم

$$\Delta_{S_4}^2 = \Delta_{S_3}^2 \quad (20)$$

$$\rightarrow I_{CT(n)} = (3 * I_{CT(n-1)} - 3 * I_{CT(n-2)} + I_{CT(n-3)})$$

۵-۳- استخراج نمونه بعدی بر حسب مشتق مرتبه سوم:

$$\Delta_{S_4}^3 = \Delta_{S_3}^3$$

$$\rightarrow I_{CT(n)} = (4 * I_{CT(n-1)} - 6 * I_{CT(n-2)} + 4 * I_{CT(n-3)} - I_{CT(n-4)}) \quad (21)$$

همانطور که مشاهده می شود استخراج نمونه بعدی با استفاده از مشتق مرتبه اول و دوم (معادلات (۱۹) و (۲۰)) با معادلات (۱۰) و (۱۱)، حاصله از روش نصف مثلثی و استدلال هندسی، یکی می باشند. اما نکته ای که از معادلات دریافت شده و تمایل ما را جهت استفاده از تحلیل انتگرال نسبت به مشتق ترغیب می نماید شامل موارد زیر می باشد:

- ۱- توانایی استخراج ۴ معادله از تحلیل مساحتها نسبت به مشابه آن در تحلیل مشتق که ۲ معادله می باشد. به نظر می رسد این مورد منتهی از ویژگی ذاتی تحلیل انتگرال می باشد.
- ۲- بالاتر بودن حجم محاسبات ریاضی بکار رفته (خصوصاً در مراتب بالا) در تئوری مشتق، جهت استخراج معادلات مربوطه.

۶- مقایسه نتایج معادله حاصل از مشتق با معادلات

استخراجی از روش تقریب مساحت ها

با توجه به معادلات بدست آمده از روش های انتگرالی و مشتق اقدام به مقایسه ویژگی های هر کدام مینماییم.

همانطور که در شکل های فوق نیز مشاهده می شود، دقت تمام معادلات استخراج شده از تحلیل انتگرال، مساحت نصف مثلثی و مشتق جهت کاربرد در شرط تشخیص ناحیه سالم، با دقت بسیار مناسبی عمل می کنند. همچنین برای مشاهده نتایج مربوط به

داد. زیرا در مورد کارایی الگوریتم های جبران ساز ریاضی، در اختیار داشتن بازه های دقیق و اطلاعات صحیح مربوط به هر ناحیه در تعیین دقت اجرای الگوریتم و خروجی آن بسیار مؤثر خواهد بود.

### مراجع

- [1] F.Li, Y.Li, and R.K Aggarwal "combined wavelet transform and regression technique for Secondary current compensation of current transformers", IEE, Vol. 149 No. 4, July 2002
- [۲]- حامد دشتی، مجید صنایع پسند، مهدی داور پناه، "روش های تشخیص اشباع ترانسفورماتور جریان در حفاظت دیفرانسیل باسبار"، بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۸۷.
- [3] Y. C. Kang, S. H. Ok, and S. H. Kang, "A CT saturation detection algorithm", IEEE Trans. On Power Del., Vol. 19, No. 1, pp. 78-85, Jun. 2004.
- [4] Y. C. Kang, U. J. Lim, S.H. Kang and P. A. Crossly, "Compensation of the distortion in the secondary current caused by saturation and remanence in a CT", IEEE Trans. Power Del., Vol. 19, No. 4, Oct. 2004.

فرضیات مطرح شده در بالا به ترتیب در شکل های (۹) و (۱۰) دقت انطباق و شدت حساسیت معادلات تخمین نمونه بعدی با استفاده از مراتب مختلف انتگرال و مشتق نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، معادله استخراجی از مشتق مرتبه سوم دقت بالاتر و رفتار حساس تری را نسبت به چهار معادله قبل از خود نشان می دهد.

### ۷- نتیجه گیری

این مقاله با پیشنهاد روش جدیدی مبتنی بر تحلیل انتگرالی، به تخمین نمونه های بعدی در سیگنال ثانویه ترانسفورماتور جریان پرداخته است. از همین قابلیت نیز جهت استفاده در معیار تشخیص نقطه شروع و اتمام بازه های اشباع در سیکل های متعدد یک سیگنال ثانویه معوج ناشی از CT به اشباع رفته، بهره گرفته شده است. جهت معیار سنجی روش های ارائه شده، نمونه ای از خروجی CT یک شبکه تحت اتصال کوتاه شبیه سازی شده، الگوریتم تشخیص اشباع به سیگنال ثانویه آن اعمال گشته و نتایج آن مورد تحلیل قرار گرفته است. با مقایسه نتایج دیده می شود که این معیار دقت مطلوبی را از خود نشان می دهد. این دقت بالا، ارزش خود را در هنگام استفاده و پیاده سازی در الگوریتم های جبران سازی خصوصاً الگوریتم های جبران ساز ریاضی نشان خواهد