



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

ابزار های محاسباتی آنلاین برای تشخیص خطای ماشین القایی

چکیده

مقاله حاضر به معرفی ابزار های محاسباتی مولفه های آنلاین را برای استاتور و روتور ماشین القایی می پردازد. چهار روش برای محاسبه مولفه های آنلاین توسعه یافته اند: اولین مورد، محاسبه مولفه منفی بردار مکان فعلی استاتور را با استفاده از تبدیل فوریر گسسته (DFI) به منظور تشخیص خطای استاتور انجام می دهد. دومین روش، تشخیص و شناسایی خطای روتور را با تبدیل فوریر بازگشتی (RFT) بر عهده دارد. این روش موجب بهبود دریافت سیگنال و افزایش تشخیص مولفه ها و اجزای نزدیک پایه می شود. سومین روش، امکان بهبود تشخیص خطای روتور را با طیفی از سیگنال تحلیلی می دهد. چهارمین و آخرین روش، تحلیل فرکانس توان آنی است که بدین ترتیب می توان یک سیگناتوری از خطای را حاصل کرد. این روش ها تشخیص بهتری دارند طوری که در آن ها هر خطا با استفاده از یک امضای منفرد همراه بوده و به این ترتیب تشخیص خطا ها بهبود می یابد. نتایج آزمایشی اعمال شده بر روی ماشین اسینکرون 5.5 کیلووات، این روش های محاسبه را تایید می کنند.

لغات کلیدی: محاسبه اجزای آنلاین، خطاها، ماشین القایی

1- مقدمه

طیف وسیعی از خطا ها می توانند در موتور های القایی طی عملیات طبیعی بروز یابند. چندین خطا، نظیر استاتور غیر متعادل، میله های روتور شکسته، خروج از مرکز روتور، در صورتی که پیشروی خطای تشخیص داده نشود، می تواند منجر به خرابی کامل ماشین شود. مهم ترین پارامتر های ماشین که اغلب بررسی و پایش می شوند شامل، جریان خط، جریان نشت و ارتعاش می باشند. جریان خط، ساده ترین پارامتری است که می تواند بررسی شود زیرا در یک محیط صنعتی، قابل دسترس ترین پارامتر بوده و در صورت لزوم می تواند از راه دور نیز کنترل شود و به این ترتیب نیاز به ابزار ساده ای دارد. در سال های اخیر، مطالعات زیادی بر روی پایش و نظارت تشخیص ماشین های الکتریکی صورت گرفته است. بسیاری از ابزار های محاسباتی برای تشخیص خطای ماشین های الکتریکی و مکان یابی خطا پیشنهاد شده اند. این ابزار ها در بر گیرنده اندازه گیری جریان و ولتاژ استاتور،

گشتاور ، تراکم جریان مغناطیسی خارجی و ارتعاش می باشند. محاسبه آنلاین خطای ماشین القایی نظیر میله های روتور شکسته و استاتور غیر متعادل را می توان با تحلیل جریان استاتور توسط فرکانس های طیفی یا زمانی به صورت هم زمان و یا جداگانه انجام داد. میله های شکسته روتور منجر به فرکانس لغزش جانبی حول فرکانس اصلی جریان استاتور می شوند در حالی که استاتور نامتعادل نظیر مدار های کوتاه پیچشی استاتور منجر به تغییراتی در سیستم جریان استاتور سه فازی و جریان متوالی منفی می شود. بسیاری از روش های تشخیصی برای موتور های القایی در مطالعات و منابع گذشته در خصوص تشخیص خطا های ماشین الکتریکی گزارش شده اند. از این روی، برخی محققان، پایش شرایط ماشین بر اساس خصوصیات متغیر های خارجی برای نمونه، با استفاده از سیگنال ها و ولتاژ های جریان، سرعت، گشتاور و قدرت و توان آنی، مطالعه کرده اند. این پارامتر ها قابل محاسبه بوده و اطلاعات بیشتر را می توان برای اهداف تشخیصی بازیابی کرد. رویکرد بردار پارک و نوسانات زاویه ای موتور بردار فضای جریان، به عنوان منبع جدید داده های تشخیصی برای خطا های موتور القایی روتور یا استاتور استفاده شده اند (2 و 1). این روش ها، به موقعیت اجزای هارمونیک خاص در جریان موتور بستگی دارد که برای انواع مختلف خطا ها، فرق می کند. استفاده از فاکتور توان لحظه ای، بسیار جالب است زیرا بر اساس نوسان گشتاور و جریان استاتور تغییر می کند (3). تشخیص دیفرانسیل بر اساس پایش چند متغیره برای ارزیابی شرایط روتور ماشین القایی است (4). محاسبه امیدانس منفی برای پایش خطای استاتور استفاده می شود (5). مزیت اصلی این روش، عدم وابستگی به لغزش است. توالی منفی جریان استاتور، یک شاخص مطمئن و پایا برای پایش آنلاین یا روی خط استاتور نامتعادل است (6). استفاده از ولتاژ خنثی خط برای تشخیص خطاهای استاتور و روتور پیشنهاد شده است (7). رویکرد یادگیری ماشین آماری مبتنی هوش مصنوعی (8)، شبکه های عصبی مصنوعی (9)، فرکانس زمانی برای طبقه بندی خطاهای موتور القایی (10) از این موارد هستند.

پیشرفت ها و روش های جدید در منابع، در خصوص محاسبه خطاها در ماشین های الکتریکی گزارش شده اند که در زیر به آن ها اشاره شده است: روش های دی مدولاسیون چند بعدی برای تشخیص خطاهای موتور های القایی (11)، تبدیل فازی چند جمله ای جریان برای تشخیص ماشین های الکتریکی سه فازی (12)، اجزای غیر متقارن و کانکور دیای جریان موتور القایی با روش استخراج الگو و تحلیل رادارای (13)، رویکرد مونته کارلو برای محاسبه مدت زمان حرارتی عایق مبدل (14)، رویکرد هوشمند توسط سیستم ایمنی برای تشخیص خطاهای

ماشین های القایی(15)، آنالیز مولفه های مستقل برای تشخیص خطا و تشخیص توربین(16)، تحلیل امضا برای تشخیص خطای گریز از مرکز ترکیبی(17).

الگوریتم FFT یکی از محبوب ترین الگوریتم های پردازش سیگنال در زمینه های تشخیص خطای روتور است. با این حال در شرایط واقعی، پیچیدگی $(N/2) \times \log(N)$ در FFT-radix 2 موجب وارد آمدن یک بار بر DSP می شود که در آن مقدار زیادی از داده ها باید برای تولید تفکیک پذیری بالا پردازش شوند(18). مسئله اصلی در رویکرد طیفی این است که هدف ما استفاده از سیستمی از تبدیل فوریر و اجزای مختلف آن به خصوص تبدیل فوریر سریع برای سیگنال های خطای ماشین که فرکانس های آن معلوم است می باشد. به این معنی که، باقی مانده فرکانس ها را بدون نیاز به آن ها محاسبه کرده و از این روی محاسبات غیر ضروری هستند.

در این مقاله، ما به بررسی کاربرد تبدیل های فوریر گسسته بر روی بردار جریان های سه فازی کمپلکس می پردازیم. به این ترتیب امکان انتخاب مناسب ترین روش برای محاسبه اجزای خطا با هزینه محاسباتی پایین تر وجود دارد. این کار با معرفی یک سیستم غیر متعادل سه فازی و آلودگی هارمونیک شروع می شود. فوریر تبدیل شده در سیستم سه فازی امکان تشخیص و محاسبه جریان غیر متعادل ناشی از سیستم منفی را می دهد. تبدیل فوریر بازگشتی، نشان دهنده باند های جانبی خطای میله شکسته را بدون حضور پایه است که در تفکیک پذیری مکانی پایین تر و یا در بار پایین، از این باند های جانبی جلوگیری می کند. هم چنین این روش در زمان واقعی استفاده می شود. روش طیف فازی امکان بررسی و مطالعه بهتر خطای میله شکسته را می دهد. به منظور این که این روش کم تر به آلودگی هارمونیک حساس باشد، ما یک روش فاز بندی سیگنال تحلیلی را پیشنهاد کردیم. طیف توان لحظه ای موجب تسهیل تشخیص در فرکانس های پایین هرتز می شود.

2. تحلیل ویژه بردار جریان استاتور

تحلیل طیفی جریان استاتور، یک ابزار تحلیل قوی است که می تواند نشان دهنده حضور فرکانس ها از جمله فرکانس های مربوط به خطا است.

2.1 سیستم سه فازی آلوده و غیر متعادل

سیستم متعادل جریان سه فازی نشان دهنده یک سیستم توالی مثبت است، بر عکس یک سیستم غیر متعادل از جریان سه فازی را می توان با ترکیبی از سیستم توالی مثبت، سیستم توالی منفی و سیستم هم قطبی نشان داد. در سیستمی که در آن بخش خنثی وجود ندارد، جریان در فاز m به شکل کلی نوشته می شود:

$$i_m(t) = \sum_{k \in \{-1, 1\}} \sum_{h=0}^n I_{6h+k} \sqrt{2} \cos \left((6h+k)\omega_s t + \varphi_{h,k} - k(m-1) \frac{2\pi}{3} \right) \quad (1)$$

که I_{6h+k} مقدار RMS پایه برای $(h=0)$ ، در شرایط هارمونیک $(h \neq 0)$ ، توالی مثبت $(h=1)$ برای توالی منفی $(h=-1)$ است.

توسعه معادله 1، بردار جریان استاتور را به صورت زیر است

$$\begin{aligned} \bar{i}_s = & I_1 \sqrt{2} e^{j(\omega_s t - \varphi_1)} + \sum_{h=1}^n I_{6h+1} \sqrt{2} e^{j((6h+1)\omega_s t - \varphi_{6h+1})} \\ & + I_{-1} \sqrt{2} e^{-j(\omega_s t - \varphi_{-1})} + \sum_{h=1}^n I_{6h-1} \sqrt{2} e^{-j((6h-1)\omega_s t - \varphi_{6h-1})} \end{aligned}$$

از معادله 2، بزرگی اجزای مختلف را می توان به صورت زیر تعریف کرد

$$\bar{I}_{6h+k} = I_{6h+k} e^{kj(6h+k) - \varphi(6h+k)} \quad (3)$$

بردار جریان استاتور به صورت زیر است

$$\bar{i}_s = \sum_{h=0}^{n1} \bar{I}_{6h+1} e^{j(6h+1)\omega_s t} + \sum_{h=0}^{n1} \bar{I}_{6h-1} e^{-j(6h-1)\omega_s t} \quad (4)$$

معادله بردار جریان استاتور (4)، شامل دو سیستم است که یکی توالی مثبت است:

$$\bar{i}_p = \sum_{h=0}^{n1} \bar{I}_{6h+1} e^{j(6h+1)\omega_s t} \quad (5)$$

و دیگر توالی منفی

$$\bar{i}_n = \sum_{h=0}^{n1} \bar{I}_{6h-1} e^{-j(6h-1)\omega_s t} \quad (6)$$

$$\bar{i}_s = \bar{i}_p + \bar{i}_n \quad (7)$$

در یک صفحه پیچیده، بردار جریان استاتور توالی مثبت، دارای شکل حلقوی است. طی زمان خطای غیر متعادل، جریان توالی منفی ظاهر شده و شکل مدور بردار جریان را به شکل بیضی در می آورد. طیف فاز جریان استاتور، امکان داشتن مولفه منفی جریان را نمی دهد. از سوی دیگر، تحلیل طیفی بردار فضای جریان استاتور، امکان تفکیک دو توالی را می دهد: یکی توالی مثبت که به صورت $[0 \quad f_{\max}]$ تعریف می شود دیگری توالی منفی که به صورت $[0 \quad -f_{\max}]$ تعریف می شود. تحلیل فوریر یک روش غیر پارامتری برای برآورد طیفی است. کاربرد آن برای تحلیل بردار جریان استاتور، اطلاعات بیشتری را در مورد محتوی طیفی می دهد.

2.2 تبدیل فوریر گسسته بردار جریان استاتور

تفکیک بردار جریان استاتور (4) معادله زیر را می دهد

$$[\bar{i}_s(n)] = \left[\bar{I}_1 e^{\frac{2\pi n f_s}{N}} + \sum_{h=1}^n \bar{I}_{6h+1} e^{\frac{2\pi n(6h+1)f_s}{N}} + \bar{I}_{-1} e^{\frac{2\pi n f_s}{N}} + \sum_{h=1}^n \bar{I}_{6h-1} e^{\frac{2\pi n(6h-1)f_s}{N}} \right] \quad (8)$$

تبدیل فوریر گسسته این بردار، در معادله 19 برای تعیین هارمونیک سری های فوریر ارزیابی می شود

$$\bar{I}(f_k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \bar{i}_s[n] \cdot e^{-j\frac{2\pi kn}{N}} \quad (9)$$

With:

$$W^{k \cdot n} = e^{-j\frac{2\pi kn}{N}} \quad (10)$$

به این ترتیب معادله زیر بدست می آید:

$$[\bar{I}](f_k) = \frac{1}{N} [W^{kn}] [\bar{i}_s(n)] \quad (11)$$

از خصوصیات DFT موارد زیر می باشد:

$$T = \frac{N}{f_e} \text{ زمان اکتساب}$$

ماکزیمم فرکانس سیگنال: $f_{\max} = \Delta f \cdot N/2$ بوده و فرکانس ان وی کوئست: $f_e = 2 \cdot f_{\max}$ است.

ضرب ماتریکس دوران $[W^{mk}]$ در بردار جریان امکان تفکیک توالی ها و دنباله های مثبت و منفی بردار جریان را

می دهد

$$[\bar{I}(f_k)]^t = [\dots, \bar{I}_1, \dots, \bar{I}_7, \dots, \bar{I}_{6h+1}, \dots, \bar{I}_{6h-1}, \dots, \bar{I}_5, \dots, \bar{I}_{-1}, \dots] \quad (12)$$

در معادله 12، $[\bar{I}(f_k)]$ برداری است که نشان دهنده K امین هارمونیک بردار جریان استاتور i_s ، در حوزه فرکانس است در حالی که بردار $[\bar{I}_s(n)]$ در (8)، N امین نمونه بردار جریان استاتور در حوزه زمانی است. محاسبه از طریق k dft امین مولفه فرکانس از N امین نمونه بردار جریان مستلزم ضرایب N^2 برای $k=n$ می باشد که یک محاسبه حجمی بسیار مهم است. بسیاری از عناصر ماتریکس دوران برابر هستند. تبدیل فوریر سریع، از این مزایا برای کاهش حجم محاسبه استفاده می کند. الگوریتم کولی-tu-کلید، رایج ترین الگوریتم در میان دیگر الگوریتم های FFT است.

کاهش عملیات N^2 به عملیات حسابی $(N/2)\log_2(N)$ ، مستلزم یک میلیون بار عملیات کمپلکس است در حالی که FFT، تنها نیازمند 4982 عملیات است که 200 برابر کم تر است. از این روی، الگوریتم FFT به طور گسترده ای برای تیمار فرکانس های سیگنال زمانی استفاده می شود. ماتریکس دوران $[W^{kn}]$ در معادله 13، دارای علامت مشابهی است: با $k = 1, \dots, N/2$ است که ماتریکس در یک دنباله مثبت تعریف می شود و $k = N/2, \dots, N$ ماتریکس در یک دنباله منفی تعریف می شود. به این ترتیب می توان فرمول را به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$[W^{kn}] = \begin{bmatrix} W_d^{nk} \\ W_i^{nk} \end{bmatrix} \quad (13)$$

ضرب ماتریکس دوران $[W^{mk}]$ در بردار جریان برای تفکیک هر دو دنباله منفی و مثبت در بردار جریان استفاده می شود

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_{f_1} \\ \vdots \\ \bar{I}_{f_s} \\ \vdots \\ \bar{I}_{(6\eta+1)f} \\ \vdots \\ \bar{I}_{(6\eta-1)f} \\ \vdots \\ \bar{I}_{-f_s} \\ \vdots \end{bmatrix} = \frac{1}{N} \begin{bmatrix} \sum_{h=0}^{n1} \bar{I}_{(6h+1)} W^{(1-(6h+1)f_s)n} + \sum_{h=0}^{n1} \bar{I}_{(6h-1)} W^{(1+(6h-1)f_s)n} \\ \vdots \\ \bar{I}_1 + \sum_{h=1}^{n1} W^{6hf_s n} + \bar{I}_1 W^{2f_s n} + \sum_{h=1}^{n1} \bar{I}_{(6h-1)} W^{6hf_s n} \\ \vdots \\ \bar{I}_{(6\eta+1)} + \sum_{h=0, h \neq \eta}^{n1} \bar{I}_{(6h+1)} W^{6(\eta-h)f_s n} + \sum_{h=0}^{n1} \bar{I}_{(6h-1)} W^{6(\eta+h)f_s n} \\ \vdots \\ \sum_{h=0}^{n1} \bar{I}_{(6h+1)} W^{(6(\eta-h)-2)f_s n} + \bar{I}_{(6\eta-1)} + \sum_{h=0, h \neq \eta}^{n1} \bar{I}_{(6h-1)} W^{(6(\eta+h)-2)f_s n} \\ \vdots \\ \bar{I}_1 W^{-2f_s n} + \sum_{h=1}^{n1} \bar{I}_{(6h+1)} W^{-(6h+2)f_s n} + \bar{I}_{-1} + \sum_{h=1}^{n1} \bar{I}_{(6h-1)} W^{(6h-2)f_s n} \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$[\bar{I}(f_k)]^t = [\dots, \bar{I}_1, \dots, \bar{I}_7, \dots, \bar{I}_{6h+1}, \dots, \bar{I}_{6h-1}, \dots, \bar{I}_5, \dots, \bar{I}_{-1}, \dots] \quad (15)$$

طیف ارایه شده در (15) نشان می دهد که محاسبه جریان توالی منفی \bar{I}_{-1} مستلزم محاسبه دنباله های مولفه های مثبت برای $k = 1, \dots, N/2$, $[I(f_{6h+1})]$ است که یک محاسبه طولانی و غیر ضروری است. برای اجتناب از مولفه های مستقیم، محاسبه FFT بردار فضای جریان توالی های منفی پیشنهاد می شود

$$\bar{i}_n = \frac{2}{3} (i_a(t) + a^2 \cdot i_b(t) + a \cdot i_c(t)) \quad (16)$$

تفکیک بردار جریان توالی منفی به صورت زیر است

$$[i_n(n)] = \left[\bar{I}_{-1} W^{-nf_s} + \sum_{h=1}^{n1} \bar{I}_{6h-1} W^{-n(6h-1)f_s} + \bar{I}_1 W^{nf} + \sum_{h=1}^{n1} \bar{I}_{6h+1} W^{n(6h+1)f_s} \right] \quad (17)$$

امکان محاسبه مولفه توالی منفی (I_{-1}) به طور مستقیم از بردار جریان وجود دارد. اگرچه در مورد قبلی، طیف کامل DFT در بر گیرنده فرکانس های کم تری بود، به خصوص فرکانس های کم تر از 50 هرتز، که نیازمند

زمان کسب 0.98 درصد برای تفکیک پذیری طیفی 1 هرتز است (1 معادل 49 دوره). یک دوره برای محاسبه مولفه توالی منفی کافی است. با این حال، می توان مدت زمان اندازه گیری را به یک دوره کاهش داد. از این روی تعداد نمونه ها به صورت زیر محاسبه می شوند

$$N = \frac{f_e}{f_s} \quad (18)$$

f_e فراوانی نمونه برداری و f_s فرکانس استاتور است.

تبدیل فوریر گسسته انجام شده توسط الگوریتم FFT مستلزم تعداد زیادی از عملیات پیچیده ضرب و جمع است. از این روی، محاسبه سیستمی همه فرکانس ها در سیگنال نشان دهنده یک حجم زیادی از محاسبات است. برای ساده سازی این روش، ما باید تنها توالی منفی غیر متعادل را استخراج کنیم.

2.3 تشخیص توسط تبدیل فوریر بازگشتی (RFT)

بسیاری از خطاها (مسائل مربوط به بار کوپلینگ موتور، میله روتور شکسته) موجب بروز نوساناتی در گشتاور و سرعت می شوند. این خطا ها با مدولاسیون بزرگی و فرکانس جریان استاتور تشخیص داده می شوند. این مدولاسیون با هارمونیک هایی در فرکانس های پایین حول فرکانس پایه همراه است. با توجه به بزرگی جریان پایه در برابر مولفه های جریان دیگر، حذف این مولفه در زمان واقعی موجب موارد زیر می شود (20)

بهبود دریافت سیگنال

بهبود تشخیص اجزای نزدیک پایه

تبدیل فوریر بازگشتی امکان تشخیص زمان واقعی بدون حضور پایه را می دهد

میانگین بازگشتی تبدیل فوریر، یک روش تکراری است که بزرگی و فاز هر هارمونیک را می دهد به شرط این که فرکانس مشخص باشد. روش تبدیل فوریر بازگشتی امکان اجرا را در زمان واقعی می دهد. با فرض این که هارمونیک پایه مد نظر باشد، معادله پایه را می توان به صورت زیر تعیین کرد

$$I_a = I_A \cos(\omega_0 m \Delta t) + I_B \sin(\omega_0 m \Delta t) \quad (19)$$

بزرگی I_A و I_B به طور بازگشتی با معادله 20 محاسبه می شود

$$I_A(m) = I_A(m-1) + \frac{2}{N} [I_a(m) - I_a(m - N_p)] \cos\left(\frac{2\pi m}{N_p}\right) \quad (20)$$

$$I_B(m) = I_B(m-1) + \frac{2}{N} [I_a(m) - I_a(m - N_p)] \cos\left(\frac{2\pi m}{N_p}\right) \quad (21)$$

N تعداد نمونه ها است.

بزرگی و فاز پایه به صورت زیر نشان داده می شود

$$I_a = \sqrt{I_A^2 + I_B^2} \quad (22)$$

$$\varphi_0 = \arctan \frac{I_A}{I_B} \quad (23)$$

برای حذف مولفه پایه، پهنای باند فرکانس باید به صورت زیر باشد

f_s فراوانی نمونه برداری و N تعداد نمونه هاست.

3- روش های فاز جریان استاتور

3.1 فازطیف

فاز طیف معمولاً در پردازش تصویر استفاده می شود که در آن فاز سیگنال تحلیل شده حاوی اطلاعات مناسب تری نسبت به بزرگی است. فاز طیف جریان استاتور، علایم تشخیص بسیار جالبی را فراهم می کند زیرا این علایم به تغییرات ناشی از شکست میله ها بسیار حساس بوده و امکان تشخیص زود هنگام خطای روتور را می دهد.

محاسبه فاز محدود به چهار ربع یک مربع واحد است که در آن تغییرات بین $-\pi$ و $+\pi$ ، در تبدیل فوریر (9) به

صورت زیر نوشته می شوند

$$F(k) = \mathcal{R}(F(k)) + j\mathcal{I}(F(k)) = F_{\text{Re}}(k) + jF_{\text{Im}}(k)$$

فاز تبدیل فوریر $F(K)$ به صورت زیر نشان داده می شود

$$\varphi(TF(k)) = \arctan\left(\frac{F_{\text{Im}}(k)}{F_{\text{Re}}(k)}\right) \quad (25)$$

3.2 فاز سیگنال تحلیلی

حساسیت فاز طیف تحت تاثیر جریان های هارمونیک قرار می گیرد. برای حل این مسئله، ما از فاز سیگنال تحلیلی استفاده می کنیم یعنی تبدیل هیلبرت را به بزرگی طیف جریان استاتور استفاده می کنیم.

فاز سیگنال تحلیلی بر اساس محاسبه فاز سیگنال تحلیلی بدست آمده توسط تبدیل مدول طیف جریان ماشین القای هیلبرت (21) بدست می آید. این بدین معنی است که به طور مستقیم بر روی مدول تبدیل فوریر کار می کنیم. تبدیل هیلبرت یک سیگنال، این سیگنال را در یک میدان نشان می دهد. به عبارت دیگر، تبدیل مدول هیلبرت فوریر، منجر به بیان سیگنال در حوزه فرکانس می شود.

تبدیل هیلبرت در حوزه زمانی با تغییر فازی مقدار $\pi/2$ همه شرایط تبدیل فوریر متناظر است. این موجب تغییر کوسینوس به سینوس و سینوس در کوسینوس منفی می شود.

تبدیل هیلبرت سیگنال $y(t)$ را می توان به صورت زیر نوشت

$$y(t) \xrightarrow{TH} \tilde{y}(t) = \tilde{y}_{Re}(t) + j\tilde{y}_{Im}(t)$$

که $\tilde{y}_{Im}(t)$ ، تبدیل سیگنال $\tilde{y}_{Re}(t)$ هیلبرت است. سیگنال $\tilde{y}(t)$ موسوم به سیگنال تحلیلی است.

مدولاسیون بزرگی $A(t)$ سیگنال زمانی $y(t)$ با استفاده از معادله زیر محاسبه می شود

$$A(t) = \sqrt{\tilde{y}_{Re}(t)^2 + \tilde{y}_{Im}(t)^2} \quad (26)$$

مدولاسیون فازی φ با معادله زیر محاسبه می شود

$$\varphi(t) = \arctan \frac{\tilde{y}_{Im}(t)}{\tilde{y}_{Re}(t)} \quad (27)$$

تشخیص خطا توسط تبدیل هیلبرت بر اساس محاسبه فاز سیگنال تحلیلی توسط تبدیل مدول طیف جریان، می باشد و فاز آن در این رابطه ممکن است مرتبط نباشد.

4. تحلیل فرکانس توان لحظه ای

توان لحظه ای یک فاز، حاصل ولتاژ ورودی در جریان استاتور است. در واقع، طیف توان لحظه ای حاوی مولفه های دیگر مکان یابی شده در نزدیکی فرکانس خطا است که با معادله زیر نشان داده می شود (21).

$$p_s(t) = p_{s0}(t) + \frac{mV_{LL}I_L}{2} \left[\cos \left((2\omega_s - \omega_f)t - \varphi - \frac{\pi}{6} \right) + \cos \left((2\omega_s + \omega_f)t - \varphi - \frac{\pi}{6} \right) + 2 \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{6} \right) \cos(\omega_f t) \right]$$

که

$$p_s(t) = p_{s0}(t) + \frac{mV_{LL}I_L}{2} \left[\cos \left((2\omega_s - \omega_f)t - \varphi - \frac{\pi}{6} \right) + \cos \left((2\omega_s + \omega_f)t - \varphi - \frac{\pi}{6} \right) + 2 \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{6} \right) \cos(\omega_f t) \right] \quad (28)$$

$$p_{s0}(t) = V_{LL}I_{LL} \left[\cos \left(2\omega_s t - \varphi - \frac{\pi}{6} \right) + \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{6} \right) \right] \quad (29)$$

و

در این معادله، $p_s(t)$ توان لحظه ای استاتور فاز M، شاخص مدولاسیون V_{LL} ، مقدار RMS ولتاژ بین فاز، I_L جریان خطی و ω_f پالس نوسان در رادیان است.

ω_s و φ به ترتیب نشان دهنده پالس جریان های ورودی در رادیان ها و زاویه بین جریان جذب شده توسط موتور و کشش است.

5- نتایج آزمایشی

روش آزمایش متشکل از لروی سومر موتور اسپنکرون سه فازی LS 132S, IP 55 کلاس F، دمای استاندارد 34 درجه بود. موتور توسط ترمز پودر بارگذاری می شود. ماکزیمم گشتاور در سرعت رتبه بندی شده حاصل می شود. تعیین اندازه ترمز برای انتشار پودر ماکزیمم 5 کیلووات استفاده می شود. پارامتر های موتور لوری سومر در آزمایشات زیر نشان داده شده است.

توان رتبه بندی شده 5.5 کیلووات

تعداد قطب ها 2

ولتاژ رتبه بندی شده 230

جریان رتبه بندی شده 11.4 امپر

فرکانس 50 هرتز

ضریب توان 0.84

سرعت 1 440 دور بر دقیقه

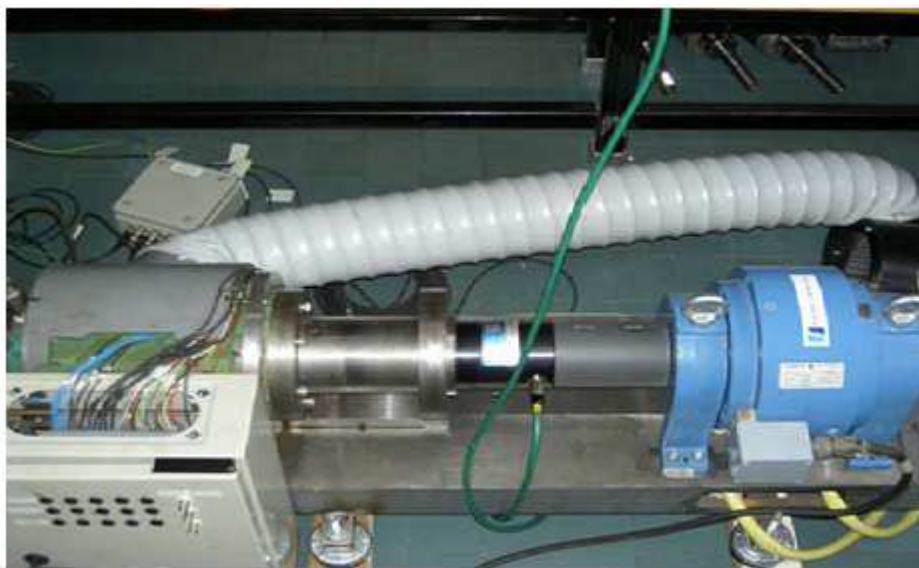
تعداد قسمت های استاتور 48

تعداد میله های روتور 28

برای خطای روتور، میله توسط میله دریل قفس سنجایی شکسته شده است(شکل 2). 5 درصد عدم تعادل توان برای شبیه سازی خطای استاتور متعادل شده با اتوترانسفورمر های متغیر بر فاز شبکه حاصل می شود(شکل 1). دریافت سیگنال های جریان بر روی آزمون بنچ انجام شده و نرخ نمونه برداری 10 کیلوهرتز است. تعداد نمونه ها در هر سیگنال در 10000 نمونه افزایش می یابد.

مدار کوتاه در سیم پیچ استاتور ایجاد یک عدم توازن جریان می کند و از این طریق یک مولفه طیفی منفی ایجاد می شود. بزرگی این مولفه، با افزایش شدت خطا افزایش می یابد. حضور خطای میله های شکسته در عین حال که خطای استاتور موجب ایجاد دو مولفه جانبی می شود، یک فرکانس $(1 - 2s)f_s$ در سمت چپ و $-(1 - 2s)f_s$ در سمت راست $-f_s$ قرار می گیرد(مولفه توالی منفی). محاسبه دو مولفه خطای $(1 - 2s)f_s$ و $-f_s$ می تواند منجر به بروز مسئله شود زیرا ما از fft برای محاسبه فرکانس استفاده می کنیم. با توجه به این که FFT فرکانس منفرد را محاسبه نمی کند ولی همه فرکانس های موجود در فرکانس نمونه برداری و سیگنال را بررسی می کند.

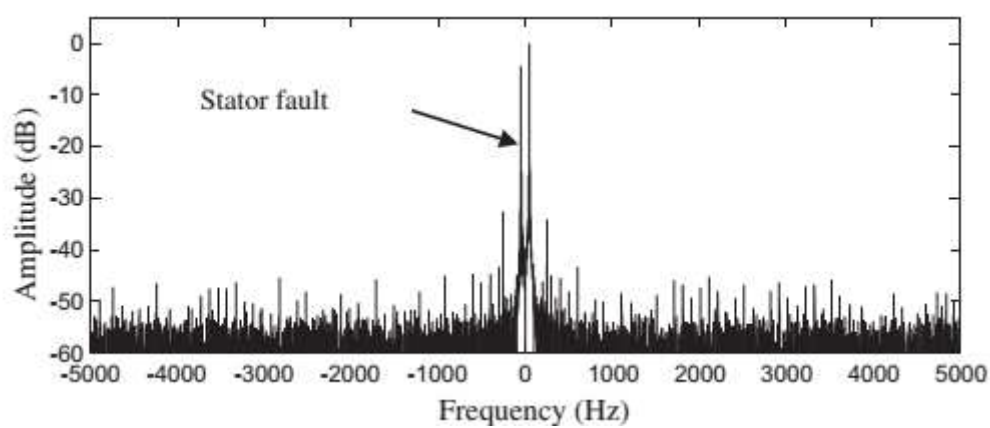
شکل 1: تست بنچ موتور القایی



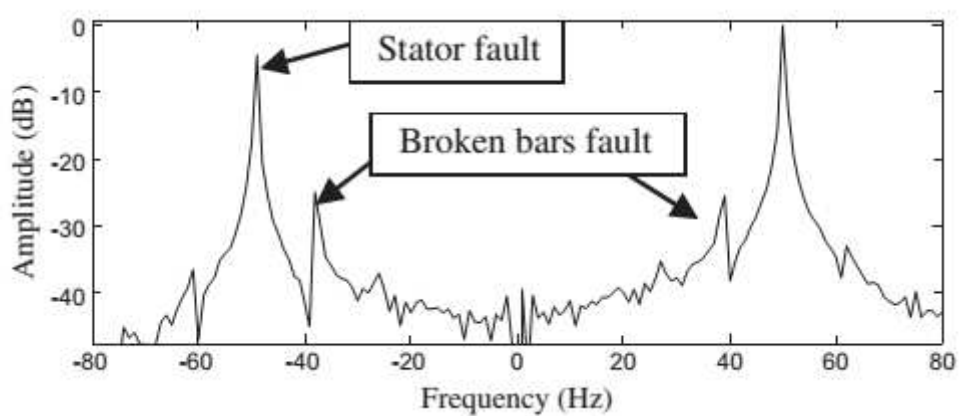
شکل 2: میله های شکسته روتور



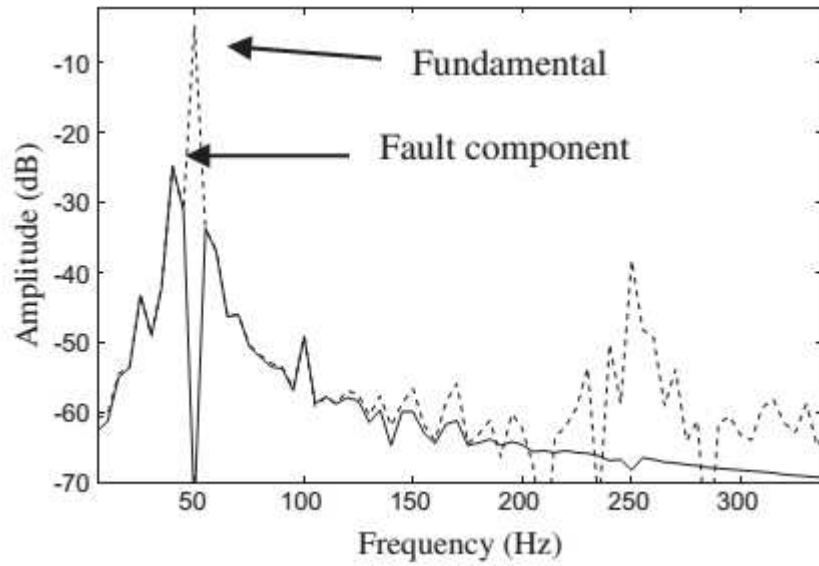
شکل 3: طیف بردار جریان استاتور



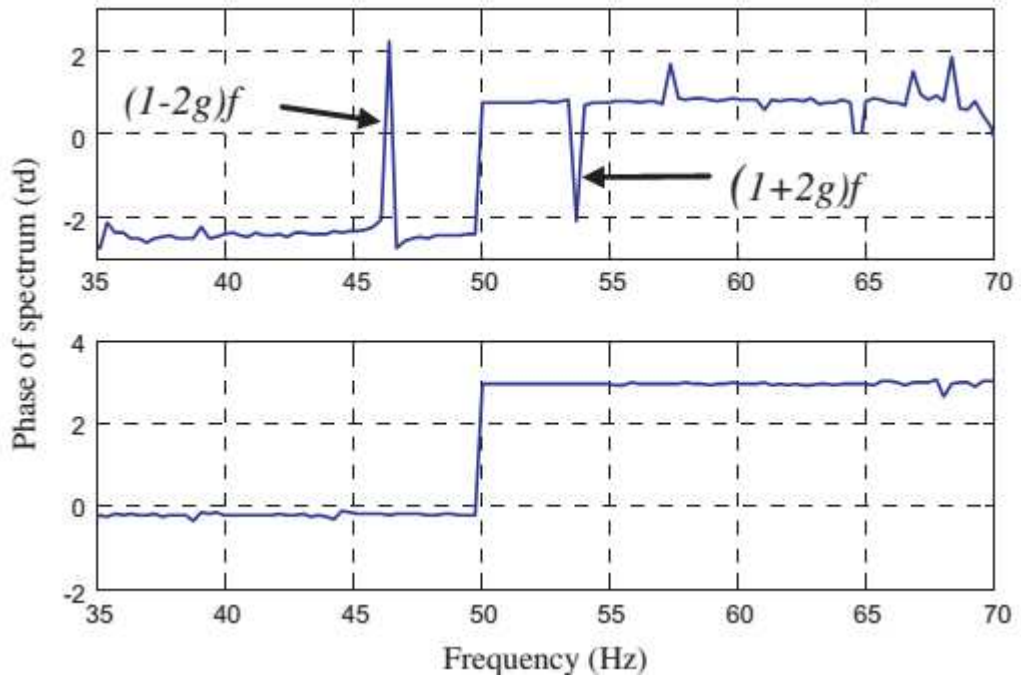
شکل 4: شماتیکی از طیف بردار جریان استاتور



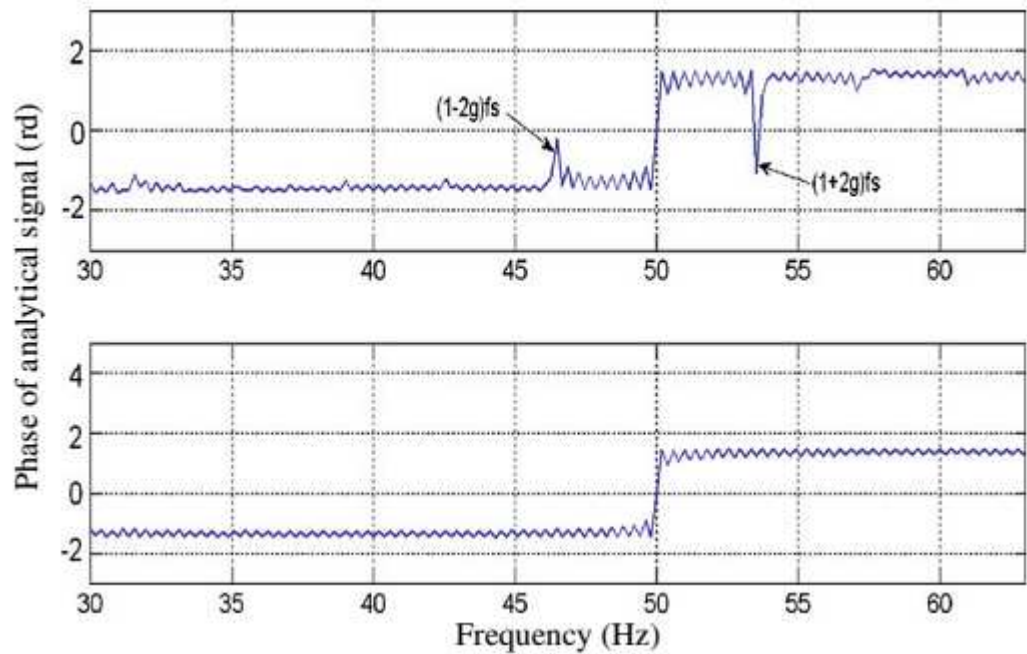
شکل 5: طیف جریان استاتور خطای روتور بدون پایه و با پایه



شکل 6: فاز طیف جریان، (بدون عرصه با اینورتر)، خطا (بالا)، سالم (پایین)



شکل 7: فاز سیگنال تحلیلی جریان موتور القایی

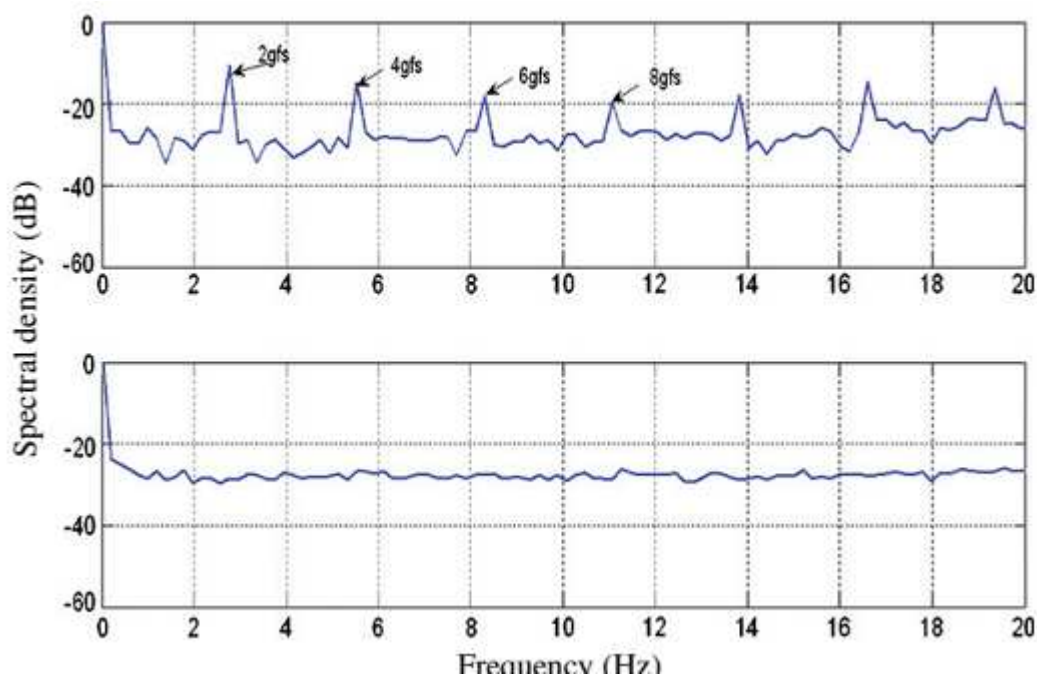


تبدیل فوریر سریع، امکان استفاده از فرکانس های هارمونیک پیش فرض $-f_s$ و $(1 - 2s)f$ را به دلیل تعداد بسیار زیاد فرکانس ها می دهد. بررسی این دو فرکانس خطا مستلزم محاسبه فرکانس غیر ضروری $f_e/2 - 2$ است. برای مثال با فرکانس نمونه برداری، $f_e = 10 \text{ kHz}$ به فرکانس های $10,000/2 - 2 = 4998$ می رسد. حتی اثر زوم قادر به حل این مسئله نیست زیرا محاسبات قبلا انجام شده اند.

هارمونیک هطای روتور در فرکانس $(1 - 2s)f$ نزدیک به مقدار پایه است طوری که مانع از ظهور هارمونیک خطای با بزرگی کم به خصوص برای تفکیک پذیری مکانی در بار پایین را می دهد به خصوص زمانی که پایه حذف شود در این صورت هارمونیک شفاف تر است. مزیت RTF، در تحقق آن در زمان واقعی نهفته است. شکل 5، خطای میله های شکسته را نشان می دهد. فرکانس نمونه برداری کسب سیگنال 10 کیلوهرتز است. تعداد نمونه ها 2000، پهنای فرکانس $2\Delta f = 10 \text{ Hz}$ است. با حذف مقدار پایه و استفاده از فیلتر پایین گذر 160 هرتز طیف های خطای واقع در باند فرکانس $[0 \ 150] \text{ Hz}$ قابل رویت هستند.

بر خلاف تحلیل طیفی، تفکیک فرکانسی بر تغییرات ناگهانی در فاز در 50 هرتز اثر نمی گذارد که تسهیل کننده شناسایی جهش فازی در فرکانس $(1 - 2g)f_s$ است (شکل 6). آشفتگی های ایجاد شده توسط اینورترها در فاز طیف جریان استاتور می تواند بر تشخیص خطا اثر بگذارد. روش های فاز تحلیل می تواند بر این مانع اثر بگذارد. شکل 7، فاز سیگنال تحلیلی جریان موتور القایی را با روتور سالم و میله شکسته نشان می دهد. این

شکل حضور جهش های فازی را در فرکانس های خطا $(1 \pm 2ks)fs$ به تصویر می کشد. لازم به ذکر است که ظهور خطای روتور موجب افزایش بزرگی جهش در فاز $\varphi_{TH}(f)$ است.



شکل 8: طیف توان لحظه ای، (معیوب) (بالا)، سالم (پایین)

شکل 8، حضور اجزای با فرکانس پایین را در میله شکسته روتور نشان می دهد. این مولفه های خطا نسبت به طیف جریان استاتور مشخص تر هستند و این منجر به تسهیل تشخیص خواهد شد. از این روی امکان افزایش و بهبود معنی دار در تشخیص خطا وجود دارد.

6. نتیجه گیری

روش RFT موجب بهبود دریافت سیگنال و بهبود تشخیص مولفه خطای نزدیک به پایه می شود. امکان تشخیص زمان واقعی را بدون وجود پایه می دهد. در توان لحظه ای، مولفه خای خطا نسبت به طیف جریان استاتور مشخص تر هستند و از این روی تشخیص آن ها ساده تر است. در فاز طیف جریان، تغییر ناگهانی رخ داده در 50 هرتز موجب تسهیل تشخیص جهش فاز می شود.

فاز سیگنال تحلیلی، موجب بهبود تشخیص با حضور خطاهای ایجاد شده با اینورترها در فاز جریان استاتور می شود.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی