

# تحلیل و بررسی امکان ادامه کار موتور القائی پس از بروز خطای دور به دور

وحید رشتچی  
استادیار  
دانشکده مهندسی برق، دانشگاه زنجان

ابوالقاسم راعی  
استادیار  
دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## چکیده

به دنبال تشخیص وقوع خطای دور به دور در استاتور موتور القائی، استراتژی حفاظتی معمولاً قطع کار موتور می‌باشد تا از گسترش خطا و توسعه صدمات وارده به موتور جلوگیری نماید. در این مقاله برای اولین بار، امکان ادامه کار موتور پس از وقوع خطای دور به دور مورد کنکاش قرار گرفته است. رفتار موتور از نظر جریان دوره‌های اتصال کوتاه شده، گشتاور، سرعت و تلفات حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج تجربی ارائه شده است. در این مقاله، تصویر واضحی را از علت اصلی گسترش خطا، که افزایش دما در دوره‌های اتصال کوتاه شده است، نشان می‌دهد. بصورت تحلیلی و تجربی نشان داده شده است که بسته به تعداد دوره‌های خطا، نقاط کار جدیدی که تابعی از سرعت و بار هستند وجود دارد که موتور می‌تواند بدون گسترش خطا در این نقاط جدید به کار خود ادامه دهد. نقاط کار جدید بسته به نوع کاربرد می‌توانند، حتی برای خطاهای بزرگ دور به دور نقاط مناسبی باشند. استفاده از این ایده می‌تواند در ساخت درایور موتور القائی، برای مصارفی که در آنها پس از وقوع خطا، ادامه کار موتور حتی در شرایط غیر نامی نسبت به توقف آن ترجیح دارد، سودمند واقع شود.

## کلمات کلیدی

موتور القائی، خطای دور به دور

## Analytical and Experimental Study for Possible Drive of an Induction Motor With Turn Faults

A. Raie  
Assistant Professor  
Electrical Engineering Department,  
Amirkabir University of Technology

V. Rashtchi  
Assistant Professor  
Electrical Engineering Department,  
Zanjan University

## Abstract

*After detection of turn faults in the stator of the induction motor, a common strategy is to stop the motor, to prevent the progress of fault and to avoid further damage to the motor.*

*In this paper, for the first time, the possibility of driving a faulty motor is considered. Torque, speed and thermal loss in winding for such a motor is studied. The experimental results which are presented in this paper provide a clear picture of the main cause of fault progress, which is shown in terms of temperature rise due to short turns current. It is shown analytically and experimentally that, there exist operating points for faulty motor. It is shown analytically faulty motors. These points are function of load, speed and the number of turns which are shorted, and at these points the fault does not expand.*

*The new operating points depend on the applicatio and can be suitable even for large faults. This idea could be beneficial in designing drivers, for applications in which sustain of motor operation, even at a non rated point, is preferred over stopping the motor operation.*

## Keywords

Induction motor, Turn to turn fault

## مقدمه

پس از وقوع خطای دور به دور در موتور القائی، جریان گردشی بزرگی با دامنه ای تا دو برابر جریان راه اندازی موتور در حلقه های اتصال کوتاه شده پدید آمده و نیز جریان فاز معیوب افزایش میابد. افزایش تلفات حرارتی ناشی از این تغییرات، باعث افزایش دمای کار موتور، فاز معیوب، کلاف معیوب و بصورت موضعی و با شدت بیشتر باعث افزایش دما در ناحیه دورهای اتصال کوتاه شده میشود. با افزایش بیش از حد دما و عدم کنترل این وضعیت، عایق سیم پیچها به تدریج از بین رفته و در نتیجه تعداد بیشتری از دورها بصورت اتصال کوتاه در خواهند آمد. ادامه گسترش خطای دور به دور میتواند منجر به خطای فاز به فاز یا فاز به زمین در استاتور موتور القائی شود. از آنرو که خطای استاتور حدود ۳۰٪-۴۰٪ کل خطاهای موتور را تشکیل میدهد [۱ و ۲]، و عامل اصلی آن نیز خطای دور به دور میباشد، روشهای بسیاری برای تشخیص این خطا در مراحل اولیه آن پیشنهاد شده است. استراتژی حفاظتی رایج نیز در قبال تشخیص این خطا قطع کار موتور میباشد.

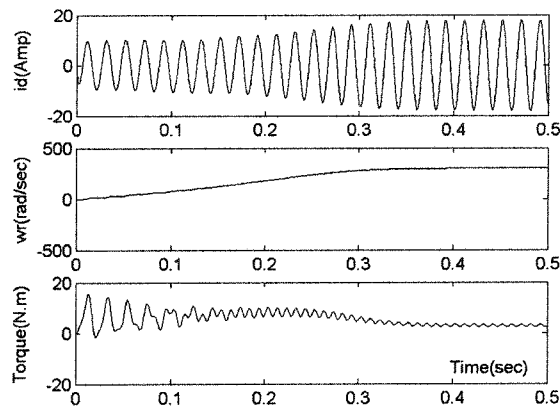
از آنجا که موتورهای القائی بطور وسیعی در سیستمهای صنعتی و تجاری بکار گرفته می شوند و در بسیاری از مصارف آن ادامه کار موتور ولو در شرایط غیر نامی مطلوبتر از قطع کار آن میباشد، در این مقاله امکان ادامه کار موتور پس از وقوع خطای دور به دور مورد تحقیق قرار گرفته است. در بخش ۲ این مقاله کیفیت رفتاری موتور از نظر گشتاور و سرعت پس از وقوع خطا مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین ارتباط میزان جریان دورهای اتصال کوتاه شده با سرعت و بار نشان داده می شود. در بخش ۳، تلفات حرارتی موتور پس از وقوع خطا مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش ۴، ضمن معرفی بستر آزمایشگاهی، نتایج حاصل از مطالعه تجربی دمای موتور ارائه شده است، که گویای نحوه گسترش خطا و نیز وجود نقاط کار مناسب پس از وقوع خطا میباشد. نهایتاً در بخش ۵، استراتژیهای پیش گیری از گسترش خطا برای ادامه کار موتوری که دچار خطای دور به دور شده است ارائه می شود.

## ۱- بررسی رفتار موتور و جریان حلقه های اتصال کوتاه

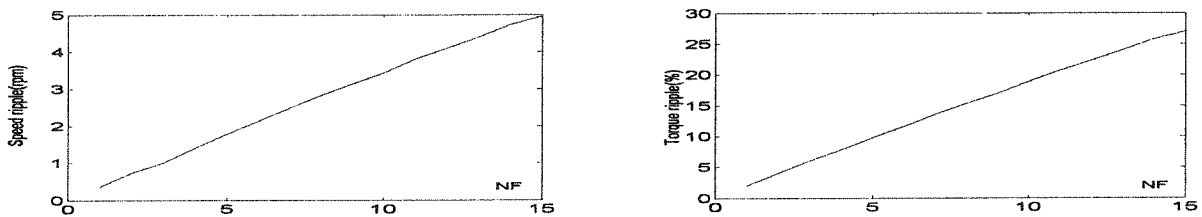
در این بخش با استفاده از شبیه سازی، تاثیر تعداد دورهای خطا بر عملکرد و رفتار موتور و نیز وابستگیهای جریان حلقه های اتصال کوتاه مورد بررسی قرار میگیرد. موتور شبیه سازی شده همان موتوری است که در نتایج تجربی این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است. برای شبیه سازی، از مدل و معادلات حالت موتور معیوب در حوزه زمان که در [۳] به تفصیل مورد بحث قرار گرفته اند، استفاده شده است. همچنین مقدار پارامترهای مدل در نقطه کار موتور، از روش ارائه شده در [۳] بدست آمده اند. نتایج شبیه سازی در شکلهای (۱)، (۲) و (۳) تنظیم شده اند. در این شکلها  $N_f$  تعداد دورهای خطا میباشد. شکل کلی تغییرات جریان حلقه های اتصال کوتاه شده، سرعت و گشتاور از شروع راه اندازی تا وضعیت پایدار در شکل (۱) و بعنوان نمونه برای ۱۰ دور خطا آمده است.

شکل (۲)، ماکزیمم دامنه نوسانات گشتاور و سرعت را در حالت پایدار و برحسب تعداد دورهای خطا و در بارهای مختلف نشان میدهد. از این شکل میتوان نتیجه گرفت که رفتار موتور با وجود خطای دور به دور، در کاربردهائی که در آنها کنترل گشتاور و کنترل دقیق سرعت مطرح نمیشاند کاملاً قابل قبول است.

امکان ادامه کار موتور پس از وقوع خطا، اگرچه از نظر رفتاری قابل قبول باشد، مشروط به امکان پیشگیری از گسترش خطا میباشد. عامل اصلی گسترش خطا جریان حلقه های اتصال کوتاه شده است که وابستگی آن به سایر پارامترها در شکل (۳) نشان داده شده است. از این شکل نتایج قابل استنتاج میشوند، که در تحلیل تلفات حرارتی موتور و روشهای پیشگیری از گسترش خطا، بکار خواهند رفت:

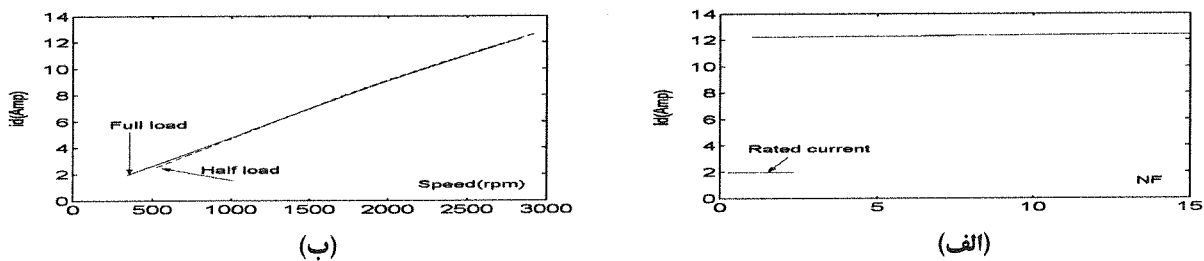


شکل (۱) منحنی‌های گشتاور، سرعت و جریان حلقه‌های اتصال کوتاه برای ۱۰ دور خطا.



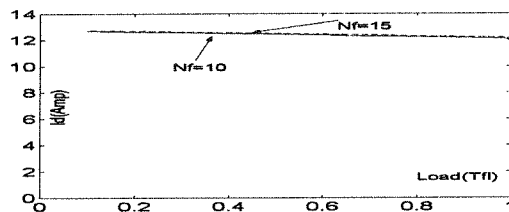
شکل (۲) ماکزیمم دامنه نوسانات گشتاور و سرعت بر حسب تعداد دورهای خطا.

- جریان حلقه‌های اتصال کوتاه شده، چندین برابر جریان نامی موتور می‌باشد (شکل ۳ - الف).
- جریان حلقه‌های اتصال کوتاه شده، تابعی از میزان خطا نمی‌باشد (شکل ۳ - الف).
- جریان حلقه‌های اتصال کوتاه شده، تابعی تقریباً خطی از سرعت موتور می‌باشد (شکل ۳ - ب).
- تغییرات بار تاثیر قابل گذشتی بر جریان حلقه‌های اتصال کوتاه شده دارد (شکل ۳ - ج).



(ب)

(الف)



(ج)

شکل (۳) جریان حلقه‌های اتصال کوتاه بر حسب تعداد دورهای خطا، سرعت و بار.

### ۳- بررسی تلفات حرارتی موتور با وجود خطای دور به دور

در این بخش میزان تلفات حرارتی اهمی سیم پیچها و ارتباط آن با تعداد دور خطا، سرعت و بار موتور، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. داده‌های مورد نیاز، از شبیه سازی موتور مورد مطالعه در این مقاله بدست آمده و در جدول ۱ ارائه شده‌اند. علائم بکار رفته در این جدول عبارتند از:

$N_f$  سرعت نامی

$T_{fl}$  بار نامی

$N_f$  تعداد دور خطا

$I_a, I_b, I_c$  جریان فازها

$I_d$  جریان حلقه‌های اتصال کوتاه شده

$P_{fc}$  تلفات کلافی که در آن خطا رخ داده

$P_d$  تلفات حلقه‌های اتصال کوتاه شده

$P_t$  تلفات حرارتی کل سیم پیچهای موتور

موتور جمعا ۱۲ کلاف دارد و خطا در فاز A شبیه‌سازی شده است.

جدول (۱) تلفات حرارتی موتور در شرایط مختلف.

	Speed	Load	$N_f$	$I_a$	$I_b$	$I_c$	$I_d$	$P_{fc}$	$P_d$	$P_t$
۱	$N_r$	$T_{fl}$	۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	-	۹/۰۰	۰	۱۰۸
۲	$N_r$	$T_{fl}$	۱	۲/۰۷	۲/۰۳	۲/۰۳	۱۲/۲۶	۱۳/۲۹	۳/۷۶	۱۱۶/۴
			۵	۲/۱۵	۲/۰۲	۲/۰۱	۱۲/۳۱	۲۸/۷۶	۱۸/۹۴	۱۳۳/۱
			۱۰	۲/۲۴	۲/۱۰	۱/۹۹	۱۲/۳۷	۴۸/۲۸	۳۸/۲۵	۱۵۷/۵
			۱۵	۲/۳۵	۲/۰۰	۱/۹۷	۱۲/۴۴	۶۸/۶۵	۵۸/۳۰	۱۷۶/۶
۳	$0.5*N_r$	$T_{fl}$	۱	۲/۰۱	۱/۹۷	۱/۹۶	۶/۳۷	۹/۹۶	۰/۹۸	۱۰۶/۷
			۵	۲/۰۴	۱/۹۸	۱/۹۵	۶/۲۹	۱۳/۷۸	۴/۹۴	۱۱۱/۴
			۱۰	۲/۱۱	۱/۹۸	۱/۹۴	۶/۳۱	۱۸/۸۵	۹/۹۵	۱۱۸/۱
			۱۵	۲/۱۹	۲/۰۰	۱/۹۳	۶/۳۳	۲۳/۹۹	۱۵/۰۰	۱۲۵/۹
۴	$N_r$	$0.75*T_{fl}$	۱	۱/۷۹	۱/۷۶	۱/۷۵	۱۲/۴۳	۱۰/۹۹	۳/۸۶	۸۸/۱
			۵	۱/۸۸	۱/۷۶	۱/۷۴	۱۲/۵۱	۲۷/۰۷	۱۹/۵۶	۱۰۶/۱
			۱۰	۲/۰۰	۱/۷۷	۱/۷۳	۱۲/۵۳	۴۷/۲۵	۳۹/۲۵	۱۲۹/۴
			۱۵	۲/۱۰	۱/۷۹	۱/۷۱	۱۲/۶۰	۶۷/۸۰	۵۹/۵۳	۱۵۲/۷
۵	$N_r$	$0.5*T_{fl}$	۱	۱/۵۷	۱/۵۵	۱/۵۴	۱۲/۶۵	۵/۸۸	۴/۰۰	۶۹/۰
			۵	۱/۶۶	۱/۵۷	۱/۵۳	۱۲/۶۹	۲۵/۹۷	۲۰/۱۲	۸۷/۸
			۱۰	۱/۷۸	۱/۶۳	۱/۵۲	۱۲/۷۳	۴۶/۳۳	۴۰/۰۰	۱۱۲/۹
			۱۵	۱/۹۰	۱/۶۴	۱/۵۱	۱۲/۷۶	۶۷/۸۲	۶۱/۰۵	۱۳۶/۹
۶	$0.5*N_r$	$0.75*T_{fl}$	۱	۱/۷۷	۱/۷۶	۱/۷۶	۶/۴۲	۸/۰۰	۱/۰۳	۸۴/۹
			۵	۱/۸۲	۱/۷۷	۱/۷۴	۶/۴۳	۱۲/۲۱	۵/۱۷	۹۰/۱
			۱۰	۱/۹۱	۱/۷۸	۱/۷۳	۶/۴۵	۱۷/۶۹	۱۰/۴۰	۹۷/۸
			۱۵	۱/۹۶	۱/۸۰	۱/۷۲	۶/۴۹	۲۲/۹۹	۱۵/۷۹	۱۰۴/۷

با استفاده از جدول (۱) نتایج زیر قابل حصول است:

- بخش ۱ جدول جریانها و مقادیر تلفات حرارتی ماکزیمم را برای موتور سالم نشان میدهد که مبنای مقایسه و استنتاجات بعدی است.

- بخش ۲ جدول نشان میدهد که جریان  $I_d$  در بار و سرعت نامی بیش از شش برابر جریان نامی میباشد. با افزایش تعداد دور خطا تلفات  $P_d$  افزایش یافته و برای ۱۵ دور به ۶۵۰٪ ماکزیمم تلفات یک کلاف سالم می‌رسد. همچنین تلفات  $P_{fc}$  تا ۷۶۰٪ و  $P_t$  تا ۱۶۳٪ در ۱۵ دور خطا نسبت به بخش ۱ جدول افزایش یافته‌اند. انتظار میرود که بدین ترتیب دمای کار موتور افزایش یابد، دمای کلاف معیوب افزایش بیشتری داشته باشد و دمای حلقه‌های اتصال کوتاه با شدت بمراتب بیشتری افزایش یافته و منجر به گسترش خطا شود.

- بخش ۳ جدول پارامترهای مورد مطالعه را برای بار نامی و ۵۰٪ سرعت نامی نشان میدهد. همانطور که از منحنی (۳ - ب) میتوانستیم نتیجه بگیریم، جریان  $I_h$  به حدود ۵۰٪ و  $P_h$  به ۲۵٪ مقادیر بخش ۲ جدول کاهش می‌یابد. وضعیت تلفات حرارتی یعنی  $P_h$ ،  $P_{fc}$  و  $P_t$  نسبت به بخش ۲ جدول بمراتب بهتر شده است. در همین جا میتوان نتیجه گرفت که برای موتور مورد بحث، کاهش سرعت به حدود یک ششم سرعت نامی، جریان  $I_h$  را به حدود جریان نامی رسانده و موتور میتواند با این سرعت و با هر باری بدون افزایش موضعی دما بطور مطمئن به کار خود ادامه دهد.

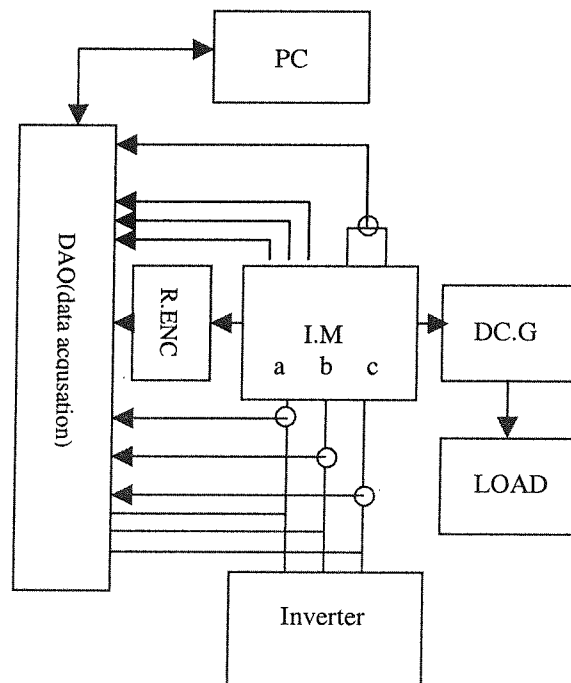
- بخشهای ۲ و ۴ و ۵ از جدول، پارامترها را برای دور نامی و بترتیب ۱۰۰٪، ۷۵٪ و ۵۰٪ بار نامی نشان میدهند. اگر چه تلفات  $P_h$  و  $P_{fc}$  با کاهش بار تغییر قابل ملاحظه‌ای ندارند ولی از آنجا که  $P_t$  با کاهش بار کاهش می‌یابد، میتوان نتیجه گرفت که در حالتی که  $P_t$  از حالت نامی کمتر میشود، دمای کل موتور کاهش یافته و شرایط بهتری برای تحمل خطا بوجود می‌آید.

- بخش ۶ جدول پارامترها را برای ۵۰٪ سرعت نامی و ۷۵٪ بار نامی نشان میدهد. این بخش نشان میدهد که کاهش توان سرعت و بار، میتواند شرایط بمراتب بهتری را برای تحمل خطا هم بصورت موضعی و هم بصورت کل فراهم نماید.

جمع‌بندی نتایج حاصل از مطالعه جدول عبارت است از آنکه، برای فراهم نمودن امکان ادامه کار موتور، میبایست بار یا سرعت و یا هر دو را کاهش داد. کاهش بار باعث کاهش تلفات حرارتی کل و در نتیجه کاهش دمای موتور میشود و بطور غیر مستقیم شرایط بهتری را برای کاهش موضعی دما فراهم میکند. کاهش سرعت باعث کاهش تلفات موضعی و تلفات کل بوده و بصورت موثرتری شرایط ادامه کار را فراهم میکند. همچنین قطعاً نقطه کار مطمئنی برای ادامه کار موتور وجود دارد که عبارت است از سرعتی که در آن  $I_h$  به جریان نامی میرسد.

## ۸- بررسی تجربی دمای موتور و حلقه های اتصال کوتاه

### ۸-۱- بستر آزمایشگاهی مورد استفاده



شکل (۸) بستر آزمایشگاهی مورد استفاده در انجام آزمایشها، (3 T1) سنسورهای دمای سه کلاف مجاور می‌باشند.

برای انجام آزمایش و بررسی‌های تجربی، از سیستم نشان داده شده در شکل (۴) استفاده شده است. در این سیستم امکان نمونه‌برداری از جریان فازها، ولتاژ خطوط و سرعت فراهم بوده و علاوه بر اینها میتوان با کمک سنسورهای دما که در داخل موتور جاسازی شده‌اند، دمای کلافی از یک فاز را که در آن خطای مصنوعی دور به دور ایجاد میشود و نیز دمای کلافهای

مجاور آنرا اندازه‌گیری نمود.

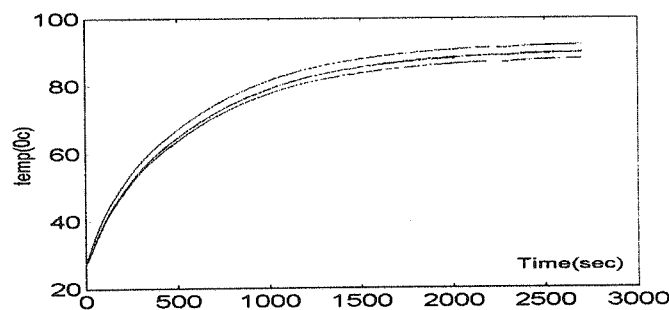
موتور القائی مورد آزمایش، موتوری دو قطبی با قدرت 1HP میباشد، که هر فاز آن از چهار کلاف متحد‌المركز ۹۰ دوری تشکیل شده و پارامترهای آن عبارتند از:

$$\begin{aligned} -V_{L-L} &= 380 \text{ volt}, I_{sr} = 2 \text{ A}, N_r = 2775 \text{ rpm} \\ -R_s &= 9 \text{ } \Omega, R'_r = 7.2 \text{ } \Omega \\ -X_{ls} &= 0.023 \text{ H}, X'_{lr} = 0.027 \text{ H}, X_{ms} = 0.337 \text{ H} \end{aligned}$$

برای ایجاد خطای مصنوعی دور به دور، یکی از فازهای این موتور به گونه‌ای خاص سیم پیچی شده و سر سیمهای لازم از این فاز به خارج آورده شده است. با استفاده از این سر سیمها میتوان خطاهای دور به دور را از ۱ تا ۲۱ دور به سادگی ایجاد نمود و جریان حلقه‌های اتصال کوتاه را اندازه‌گیری کرد.

نمونه‌برداری از ورودیها و خروجی‌های مورد نظر، بصورت ده بیتی و با فرکانس 4KHZ توسط کارت DAQ و توسط PC صورت می‌پذیرد.

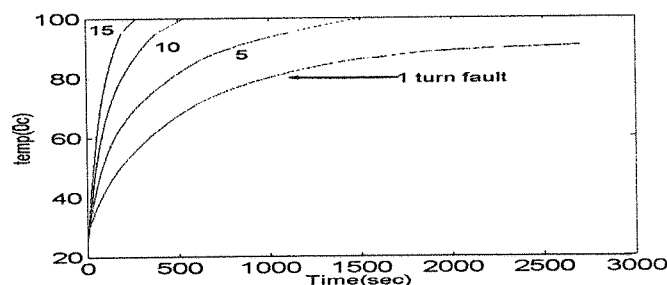
موتور دارای کلاس حرارتی B بوده که حداکثر دمای قابل تحمل آن ۱۳۰ درجه سانتیگراد میباشد. دمای کار موتور سالم برای سه کلاف مجاور و در سرعت و بار نامی، اندازه‌گیری شده و در شکل (۵) نشان داده شده است. این شکل تغییرات دما را بصورت تجربی، برای بخش ۱ جدول (۱) نشان میدهد. همانطور که ملاحظه میشود این دما حدود ۸۸ درجه سانتیگراد بوده و برای کلافهای مختلف بسته به موقعیت مکانی آنها در شیارها، تا حدود ۳ درجه تغییر میکند. برای آنکه موتور مورد آزمایش در حین آزمایشها دچار آسیب جدی نشود، در تمامی آزمایشها با رسیدن دمای سیم پیچها به ۹۵ درجه سانتیگراد، سیستم حفاظتی تعبیه شده عمل کرده و موتور متوقف میگردد. دمای ۹۵ درجه دمای قابل قبولی برای ادامه کار موتور میباشد.



شکل (۵) دمای کلافهای مختلف موتور سالم در بار و سرعت نامی.

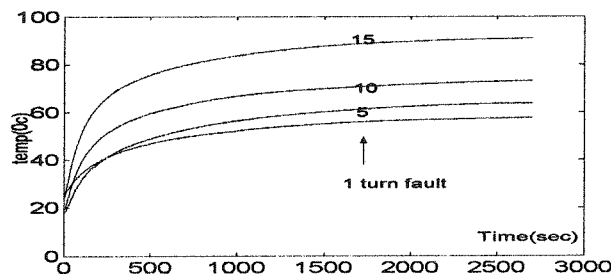
## ۲-۴- دمای موتور پس از وقوع خطای دور به دور

شکل (۶) تغییرات دمای اندازه‌گیری شده را برای حلقه‌های اتصال کوتاه، در بار و سرعت نامی و مقادیر ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ دور خطا نشان میدهد. پس از بروز یک دور خطا، دمای موضع خطا در حد ۳ درجه سانتیگراد افزایش یافته است، که قابل تحمل میباشد. این شکل در واقع تغییرات دما را بصورت تجربی برای بخش ۲ جدول (۱) نشان میدهد. همانطور که در بخش ۳ پیش‌بینی شده بود، دمای موضع خطا با افزایش تعداد دور با شیب بیشتر افزایش یافته و در ۱۵ دور خطا در کمتر از ۴ دقیقه به ۹۵ درجه رسیده است. شیبها نشان میدهد که امکان ادامه کار موتور بدون گسترش خطا برای ۵، ۱۰ و ۱۵ دور وجود ندارد.



شکل (۶) تغییرات دمای موضع خطا، در بار و سرعت نامی و با خطاهای مختلف.

شکل (۷) تغییرات دمای موضع خطا را برای ۵۰٪ سرعت نامی و ۷۵٪ بار نامی نشان میدهد، که مربوط به بخش ۶ جدول (۱) میباشد. همانطور که ملاحظه میشود امکان ادامه کار موتور حتی با ۱۵ دور خطا فراهم است و دمای موضع خطا از ۹۵ درجه تجاوز نمیکند.



شکل (۷) تغییرات دمای موضع خطا، در ۵۰٪ سرعت نامی و ۷۵٪ بار نامی و با خطاهای مختلف.

## ۵- نقاط کار ممکن برای موتوری که خطای دور به دور دارد

با توجه به مباحث مطرح شده در بخشهای ۲ و ۳ و ۴ به نتایج زیر میرسیم:

- برای موتوری که دچار خطای دور به دور شده است حتما نقاط کاری که در آن خطا گسترش نیابد وجود دارد.  
- نقطه کار ایمنی که به ازای هر باری و به ازای هر تعداد دور خطا وجود دارد، سرعتی است که در آن جریان حلقه‌های اتصال کوتاه شده یعنی جریان  $I_a$  به جریان نامی موتور میرسد. نحوه بدست آوردن جریان  $I_a$  در سرعت نامی، با انجام آزمایشی بر روی موتور سالم و با استفاده از شبیه‌سازی میسر است [۳]. از آنجا که جریان  $I_a$  با کاهش سرعت بطور خطی کاهش می‌یابد، تعیین سرعتی که در آن  $I_a$  برابر جریان نامی می‌باشد، برای هر موتوری میسر است.  
- سایر نقاط کار ممکن برای موتور معیوب، تابعی از سرعت، بار و تعداد حلقه‌های خطا می‌باشد. تشخیص خطای دور به دور و تعیین تعداد حلقه‌های خطا میسر است [۳] و بطور کلی می‌بایست سرعت، بار و یا هر دو را نسبت به مقادیر نامی کاهش داد تا به نقطه کار قابل قبول رسید.

برای نشان دادن نقاط کار قابل قبول، برای موتور مورد بحث این مقاله، با استفاده از بستر آزمایشگاهی، آزمایشهایی به شرح ذیل انجام شده و نتیجه آنها در شکل (۸) آمده است. در تمامی آزمایشها سقف ۹۵ درجه سانتیگراد، برای دمای موضع خطا و در حالت پایدار رعایت شده است:

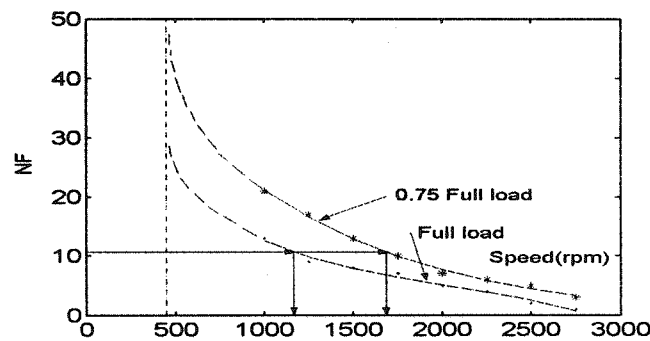
- برای بار نامی و سرعتهای ۱۰۰۰ دور در دقیقه تا سرعت نامی و باگامهای ۲۵۰ دور، تعداد دور مختلف خطا بین ۱ تا ۲۱ دور مورد آزمایش قرار گرفته و ماکزیمم تعداد دور مجاز برای هر سرعت تعیین شده است.  
- برای ۷۵٪ بار نامی آزمایش فوق تکرار شده است.

شکل (۸) میتواند محدوده مجاز سرعت و بار را برای مقادیر مختلف خطا نشان دهد. مثلا برای بار نامی و خطای ۱۱ دور و کمتر، محدوده سرعت صفر تا ۱۱۵۰ دور نقاط کار قابل قبول می‌باشند. و برای ۷۵٪ بار نامی و خطای ۱۱ دور و کمتر، محدوده سرعت صفر تا ۱۷۰۰ دور نقاط قابل قبول هستند. با تکمیل چنین نموداری به ازای سایر مقادیر بار موتور، میتوان تمامی نقاط کار ممکن را داشته، و برحسب نوع مصرف، از بین آنها نقطه کار مناسبتر را انتخاب نمود.  
چنین نموداری برای هر موتور، توسط سازنده قابل تهیه است و بنابر این ساخت درایوری که با تشخیص خطا و میزان آن، به نقطه کار ایمنی تغییر وضعیت دهد امکان پذیر بنظر میرسد.

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله بصورت تحلیلی و تجربی نشان داده شده است که پس از وقوع خطای دور به دور در موتور القائی، میتوان با تغییر نقطه کار، بدون آنکه خطا گسترش یابد به استفاده از آن ادامه داد. نقاط کار جدید، بسته به اندازه خطا، با کاهش سرعت، بار و یا هر دو نسبت به مقادیر نامی بدست می‌آیند. تعیین دوره‌های اتصال کوتاه شده میسر است [۳] و روش تعیین محدوده

نقاط کار جدید بر حسب میزان خطا، در این مقاله آمده است. نقاط کار جدید برای بسیاری از مصارف موتورهای القائی قابل قبول میباشند. مصارفی که در آنها، کنترل گشتاور و کنترل دقیق سرعت مطرح نبوده و ادامه کار موتور ولو در غیر شرائط نامی نسبت به توقف آن ترجیح داشته باشد. بعنوان نمونه، برای موتوری با 1HP و 2750 rpm نشان داده شده است که ۱۵٪ خطا در یک کلاف، با کاهش سرعت به ۵۰٪ سرعت نامی و کاهش بار به ۷۵٪ بار نامی، قابل تحمل است، و ماکزیمم نوسانات سرعت 5 rpm بیشتر نمیباشد.



شکل (۸) نقاط کار ممکن برای موتور در بار و تعداد دورهای مختلف خطا.

## مراجع

- [1] IEEE Committee Report, "Report on large motor reliability survey of industrial plants", part I, II, III, IEEE Tran on Industry Applications Vol IA-10(2) pp. 213-252, 1974
- [2] Austin H. Bonnett, George C. Soukup, "Cause and analysis of stator and rotor failures in three-phase squirrel-cage induction motors", IEEE Trans ON Industry Applications Vol 28 NO 4 July 1992
- [3] وحید رشتچی، ابوالقاسم راعی، "استفاده از الگوریتم ژنتیک، برای شناسایی و تعیین میزان خطای دور به دور در موتور القائی" نشریه علمی - پژوهشی امیرکبیر، سال چهاردهم، شماره ۵۳، زمستان ۱۳۸۱.