



INDUSTRIAL DRIVE SOLUTIONS



RELIABLE
Performance You Can Trust



EFFICIENT
Maximize Every Watt



PRECISE
Control with Accuracy



راهنمای فعال‌سازی و

استفاده از کنترل جریان شار

راهنمای کاربری برای درایو موتورهای القایی در حالت V/F

تقویت شده

Flux Current Control
(FCC)

فهرست مطالب

- ۱) معرفی کلی ۱
- ۲) FCC چیست و چه کاری انجام می‌دهد؟ ۱
- ۳) کاربردهای پیشنهادی ۱
- ۴) تفاوت FCC با حالت V/F معمولی ۲
- ۵) مقایسه نموداری مدهای FCC و V/F ۲
- ۶) شرط‌های اصلی قبل از استفاده ۴
- ۷) پارامترهای مهم و تاثیر هر کدام ۴
- ۸) انجام اتوتیونینگ موتور ۵
- ۸-۱) قبل از شروع اتوتیونینگ ۵
- ۸-۲) انتخاب روش اتوتیونینگ ۵
- ۹) فعال‌سازی مد FCC ۶
- ۱۰) رفتار درایو در حین کار ۶
- ۱۰-۱) محدوده سرعت پایین ۶
- ۱۰-۲) محدوده سرعت متوسط ۶
- ۱۰-۳) نزدیک فرکانس نامی ۷
- ۱۱) نکات تنظیم و بهره‌برداری ۷
- ۱۲) محدودیت‌ها و نکات ایمنی ۷
- ۱۳) مطالعه و راه‌اندازی سریع ۸

(۱) معرفی کلی

کنترل جریان شار یا FCC یک قابلیت کمکی در درایو موتور القایی است که برای بهبود عملکرد حالت V/F استفاده می‌شود. در حالت V/F معمولی، درایو با افزایش فرکانس، ولتاژ خروجی را طبق یک الگوی ثابت زیاد می‌کند. این روش ساده و قابل اعتماد است؛ اما در سرعت‌های پایین یا هنگام تغییر بار، ممکن است بخشی از ولتاژ موتور صرف افت داخلی سیم‌پیچ شود و گشتاور موتور کمتر از مقدار مورد انتظار باشد.

قابلیت FCC با اندازه‌گیری جریان و ولتاژ خروجی، وضعیت شار موتور را زیر نظر می‌گیرد و در صورت نیاز مقدار ولتاژ جبرانی را به خروجی اضافه می‌کند. نتیجه این کار، راه‌اندازی نرم‌تر، افت گشتاور کمتر، و پایداری بهتر جریان موتور در مقایسه با V/F ساده است.

توجه: FCC یک مد حلقه‌باز تقویت‌شده است؛ یعنی برای استفاده از آن به انکودر، سنسور سرعت یا فیدبک مکانیکی نیاز نیست.

(۲) FCC چیست و چه کاری انجام می‌دهد؟

در موتور القایی، تولید گشتاور مناسب به وجود میدان مغناطیسی کافی در موتور وابسته است. اگر شار موتور کم شود، موتور در برابر بار ضعیف‌تر عمل می‌کند و ممکن است در سرعت‌های پایین، هنگام شتاب‌گیری یا در زمان افزایش ناگهانی بار، جریان بالا برود ولی گشتاور کافی ایجاد نشود.

در FCC، درایو مقدار شار تخمینی موتور را با مقدار هدف مقایسه می‌کند. اگر شار از مقدار هدف کمتر باشد، درایو ولتاژ جبرانی را افزایش می‌دهد. اگر شار کافی باشد یا فضای ولتاژ خروجی محدود شود، مقدار جبران کاهش یافته یا ثابت نگه داشته می‌شود. این کار به صورت خودکار انجام می‌شود و اپراتور فقط باید پارامترهای اصلی موتور و راه‌اندازی را درست تنظیم کند.

(۳) کاربردهای پیشنهادی

مد FCC برای کاربردهایی مناسب است که سادگی و پایداری حالت V/F مورد نیاز است، اما اپراتور انتظار دارد موتور در سرعت‌های پایین و هنگام تغییر بار، گشتاور بهتری داشته باشد. این مد معمولاً برای بارهای عمومی صنعتی که نیاز به انکودر ندارند انتخاب مناسبی است.

جدول (۱)

کاربرد	دلیل مناسب بودن FCC	نکته راه اندازی
نوار نقاله سبک و متوسط	کاهش افت گشتاور در شروع حرکت و هنگام تغییر بار	زمان شتاب را خیلی کوتاه انتخاب نکنید.
فن و پمپ با راه اندازی سنگین	بهبود شروع حرکت نسبت به V/F ساده	در بارهای سبک، مقدار جبران شار را بیش از حد بالا نبرید.
میکسر و همزن	پایداری بهتر در تغییرات بار لحظه ای	جریان موتور در لحظه شروع و تغییر بار کنترل شود.
ماشین آلات عمومی	حفظ ساختار ساده V/F همراه با جبران افت گشتاور	قبل از بهره برداری، اتوتیونینگ انجام شود.

توجه: برای کاربردهایی که نگه داشتن دقیق سرعت، کنترل دقیق گشتاور یا عملکرد در سرعت صفر لازم است، از مدهای برداری سنسورلس یا کنترل دارای فیدبک استفاده شود.

(۴) تفاوت FCC با حالت V/F معمولی

جدول (۲)

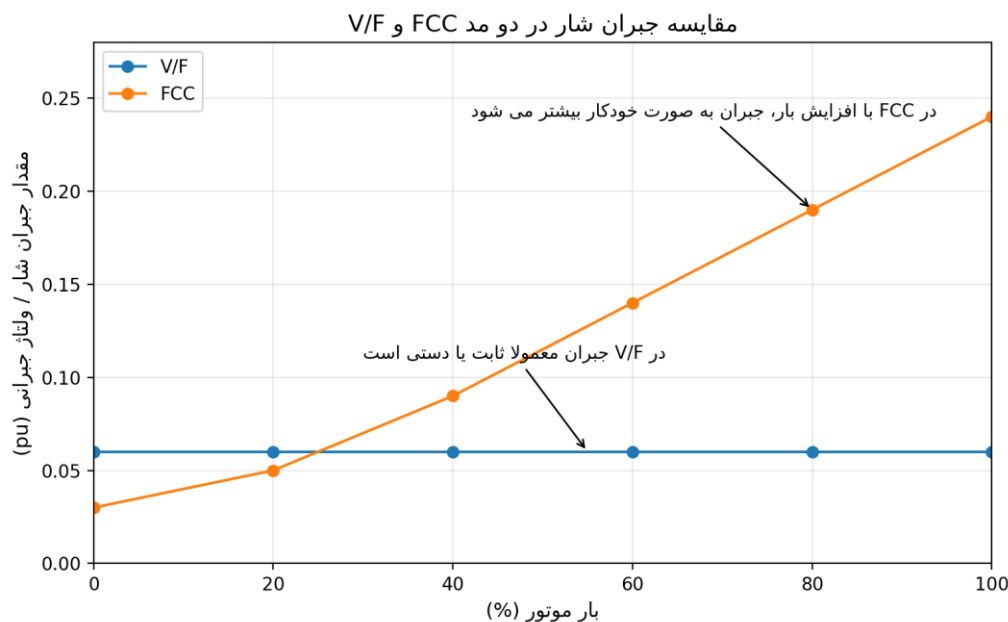
ویژگی	حالت V/F معمولی	حالت FCC
روش کنترل	ولتاژ خروجی فقط طبق فرکانس و منحنی V/F تعیین می شود.	ولتاژ پایه طبق V/F است، اما مقدار جبرانی نیز بر اساس شار موتور اضافه می شود.
عملکرد در سرعت پایین	ممکن است گشتاور افت کند و نیاز به Torque Boost دستی داشته باشد.	افت شار بهتر تشخیص داده شده و جبران ولتاژ به صورت خودکار اعمال می شود.
نیاز به تنظیم دستی	تنظیم Torque Boost و منحنی V/F اهمیت زیادی دارد.	تنظیم درست موتور و اتوتیونینگ اهمیت بیشتری دارد؛ جبران اصلی خودکار است.
پیچیدگی برای اپراتور	ساده ترین حالت راه اندازی	کمی دقیق تر از V/F ، ولی همچنان بدون انکودر و مناسب اپراتور صنعتی
دقت کنترل سرعت	وابسته به بار و فرکانس فرمان	مانند V/F ، کنترل سرعت دقیق حلقه بسته محسوب نمی شود.

بنابراین FCC را می توان یک V/F هوشمندتر دانست. این مد جایگزین کنترل برداری دقیق نیست، اما برای بسیاری از بارهای عمومی باعث کاهش ضعف گشتاور و بهبود کیفیت راه اندازی می شود.

(۵) مقایسه نموداری مدهای FCC و V/F

برای درک دیداری بهتر تفاوت دو مد، دو نمودار زیر اضافه شده اند. نمودار اول، رفتار جبران شار را مقایسه می کند و نمودار دوم، اختلاف روند ولتاژ خروجی را نشان می دهد.

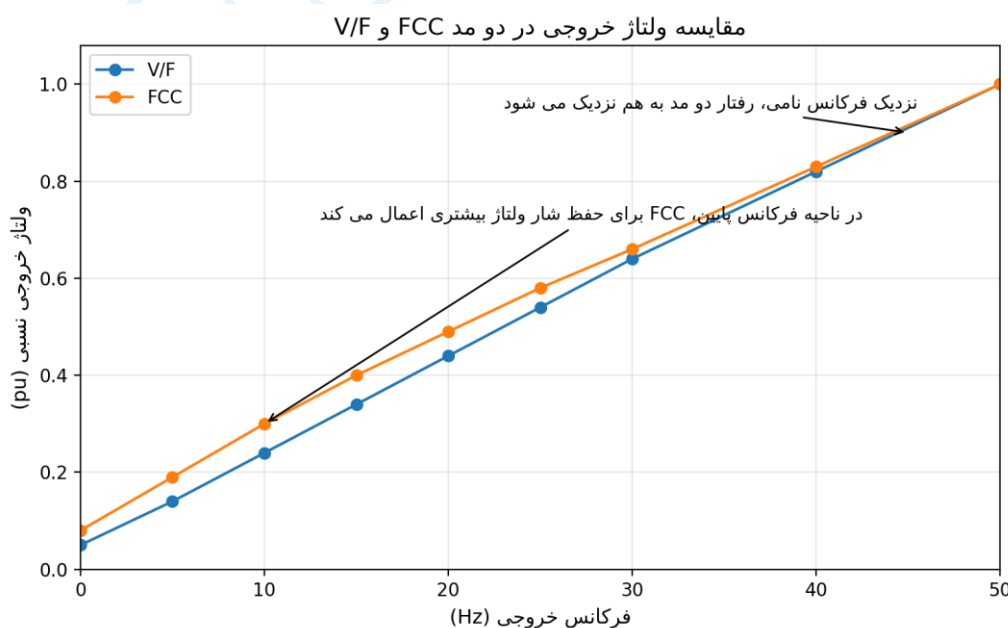
نمودار ۱ به صورت مفهومی نشان می دهد که مقدار جبران شار در دو مد چگونه رفتار می کند. در این نمودار، محور افقی بار موتور و محور عمودی سطح جبران شار یا ولتاژ جبرانی است. هدف از این نمودار، مقایسه روند عملکرد دو مد است، نه نمایش داده های آزمایشگاهی دقیق.



نمودار (۱): مقایسه مفهومی جریان شار در مدهای V/F و FCC

در نمودار جریان شار مشخص است که در مد V/F میزان جریان معمولاً ثابت یا وابسته به تنظیم دستی است؛ در نتیجه با تغییر بار، سیستم واکنش هوشمند محدودی دارد. اما در مد FCC با افزایش بار یا کاهش شار، درایو مقدار جریان را به صورت خودکار بیشتر می‌کند. همین موضوع یکی از دلایل بهبود گشتاور و کاهش افت عملکرد موتور در سرعت پایین است.

نمودار ۲ یک مقایسه مفهومی از رفتار ولتاژ خروجی را نشان می‌دهد. این نمودار برای درک بهتر عملکرد دو مد تهیه شده است و ماهیت آموزشی دارد؛ بنابراین مقادیر دقیق آن به تنظیمات درایو، ولتاژ ورودی، مشخصات موتور و میزان بار بستگی خواهد داشت.



نمودار (۲): مقایسه مفهومی ولتاژ خروجی در مدهای V/F و FCC

در نمودار ولتاژ خروجی مشاهده می‌شود که در مد V/F ولتاژ معمولاً فقط از الگوی از پیش تعیین شده ولتاژ به فرکانس پیروی می‌کند. در مقابل، در مد FCC همان الگوی پایه حفظ می‌شود، اما در ناحیه فرکانس‌های پایین و هنگام افت شار، درایو ولتاژ خروجی را کمی افزایش می‌دهد تا موتور بتواند شار و گشتاور مناسب‌تری حفظ کند. در نزدیکی فرکانس نامی، تفاوت دو مد کمتر می‌شود.

۶) شرط‌های اصلی قبل از استفاده

- نوع موتور باید موتور القایی سه‌فاز باشد. در تنظیمات درایو، پارامتر H28 باید روی موتور القایی سه‌فاز تنظیم شود؛
- پارامترهای نامی موتور شامل توان، جریان نامی، فرکانس نامی و ولتاژ نامی باید مطابق پلاک موتور وارد شود؛
- قبل از فعال‌سازی FCC، اتوتیونینگ موتور انجام شود تا مقدار مقاومت استاتور و سایر پارامترهای مورد نیاز درایو دقیق‌تر باشند؛
- در لحظه راه‌اندازی، موتور و بار مکانیکی باید آزادانه و بدون گیر مکانیکی حرکت کنند؛ و
- در فرکانس‌های بسیار پایین، انتظار گشتاور کامل یا کنترل دقیق مانند سروو وجود نداشته باشد.

۷) پارامترهای مهم و تأثیر هر کدام

جدول زیر مهم‌ترین پارامترهایی را نشان می‌دهد که در راه‌اندازی FCC برای اپراتور یا تکنسین برق اهمیت دارند. نام دقیق پارامترها باید مطابق منوی نهایی محصول بررسی شود، اما منطق کاربرد آنها در این راهنما ثابت است.

جدول (۳)

پارامتر	مقدار یا محدوده پیشنهادی	اثر در مد FCC
H28	موتور القایی سه‌فاز	شرط اصلی فعال شدن FCC برای موتور القایی سه‌فاز
H40	FCC=1	انتخاب مد کنترل جریان شار
H41	۱ یا ۲ مطابق نوع اتوتیونینگ	انتخاب روش شناسایی پارامترهای موتور
H30	توان نامی موتور	برای تطبیق درایو با اندازه موتور و محدوده جریان
H33	جریان نامی موتور	برای محدودیت جریان، حفاظت و محاسبات داخلی
H42	مقاومت استاتور حاصل از اتوتیونینگ یا ورود دستی	پارامتر مهم برای دقت تخمین شار و جبران افت ولتاژ
H48	معمولاً ۱۰۰٪؛ در صورت نیاز ۱۰۵٪ تا ۱۱۵٪	ضریب تقویت مرجع شار؛ افزایش زیاد آن می‌تواند جریان و صدا را بالا ببرد.
F22	فرکانس پایه موتور	پایه تنظیم منحنی ولتاژ به فرکانس
F39	ولتاژ خروجی نامی یا درصد ولتاژ	تعیین سطح ولتاژ پایه قبل از جبران FCC
ACC / dEC	متناسب با اینرسی بار	زمان کوتاه شتاب یا توقف می‌تواند باعث اضافه‌جریان یا نوسان شود.
توجه: برای شروع، مقدار H48 را روی ۱۰۰٪ قرار دهید. فقط در صورت کمبود گشتاور، آن را مرحله‌ای و با کنترل جریان موتور افزایش دهید.		

۸) انجام اتوتیونینگ موتور

اتوتیونینگ برای مد FCC بسیار مهم است؛ زیرا درایو برای تشخیص وضعیت شار موتور به پارامترهای الکتریکی موتور نیاز دارد. اگر مقدار مقاومت استاتور یا اطلاعات موتور اشتباه باشد، جبران ولتاژ ممکن است کم، زیاد یا ناپایدار شود.

۸-۱) قبل از شروع اتوتیونینگ

مطمئن شوید موتور مطابق پلاک به درایو متصل شده و اتصال ستاره یا مثلث درست است؛

توان و جریان نامی موتور را در پارامترهای مربوط وارد کنید؛

در صورت امکان، موتور را از بار مکانیکی جدا کنید تا تست بدون بار با دقت بیشتری انجام شود؛

اگر جدا کردن موتور از بار امکان ندارد، از روش اتوتیونینگ ایستا استفاده کنید و بعد از راه اندازی، عملکرد را با بار واقعی کنترل کنید؛ و

در زمان اتوتیونینگ به موتور دست نزنید و از آزاد بودن محور و ایمن بودن محیط اطمینان داشته باشید.

۸-۲) انتخاب روش اتوتیونینگ

جدول (۴)

مقدار H41	روش پیشنهادی استفاده	توضیح عملی برای اپراتور
۱	اتوتیونینگ ایستا یا بدون تست چرخشی کامل	زمانی استفاده شود که موتور به بار متصل است یا امکان چرخش آزاد وجود ندارد.
۲	اتوتیونینگ کامل تر با تست بدون بار	زمانی پیشنهاد می شود که موتور می تواند بدون بار و با ایمنی کامل بچرخد. برای بهترین نتیجه FCC این حالت ترجیح دارد.

پس از اتمام اتوتیونینگ، مقادیر شناسایی شده باید در حافظه درایو ذخیره شوند. اگر درایو خطای اتوتیونینگ نمایش داد، مد FCC را فعال نکنید و ابتدا علت خطا، اتصال موتور، جریان نامی و آزاد بودن محور را بررسی کنید.

توجه: در صورت تعویض موتور، تغییر اتصال ستاره/مثلث، تغییر کابل موتور یا تغییر محسوس شرایط مکانیکی، اتوتیونینگ دوباره انجام شود.

(۹) فعال سازی مد FCC

برای فعال سازی FCC، ابتدا موتور را در حالت توقف قرار دهید. سپس پارامترهای اصلی موتور و نتایج اتوتیونینگ را بررسی کنید و در نهایت مقدار پارامتر H_{40} را روی ۱ قرار دهید.

جدول (۵)

مرحله	عملیات	توضیح
۱	توقف کامل درایو	فعال سازی مد را در حالت توقف انجام دهید.
۲	بررسی نوع موتور	پارامتر H28 باید موتور القایی سه فاز باشد.
۳	بررسی اطلاعات پلاک موتور	توان، جریان، فرکانس و ولتاژ نامی مطابق پلاک وارد شود.
۴	اجرای اتوتیونینگ	روش H41 را انتخاب و اتوتیونینگ را کامل کنید.
۵	انتخاب مد FCC	پارامتر H40 را روی مقدار ۱ قرار دهید.
۶	راه اندازی آزمایشی	ابتدا بدون بار یا با بار سبک، در فرکانس پایین تا متوسط تست کنید.
توجه: پس از فعال سازی FCC، فرمان فرکانس، زمان شتاب، زمان توقف و جهت چرخش مانند مد V/F تنظیم می شود.		

(۱۰) رفتار درایو در حین کار

در مد FCC، درایو ابتدا ولتاژ پایه را از منحنی V/F محاسبه می کند. سپس با توجه به جریان و ولتاژ خروجی، شار موتور را تخمین می زند. اگر شار کمتر از مقدار هدف باشد، ولتاژ جبرانی افزایش می یابد تا افت گشتاور کاهش پیدا کند. این جبران به صورت پیوسته و محدود شده انجام می شود تا خروجی درایو از محدوده مجاز عبور نکند.

(۱-۱۰) محدوده سرعت پایین

در سرعت های خیلی پایین، دقت تخمین شار کمتر است و اثر مقاومت سیم پیچ موتور بیشتر دیده می شود. بنابراین درایو جبران را با احتیاط اعمال می کند. اگر بار راه اندازی سنگین است، زمان شتاب را افزایش دهید و مقدار جبران شار را مرحله ای تنظیم کنید.

(۲-۱۰) محدوده سرعت متوسط

در سرعت متوسط، مد FCC معمولاً بیشترین اثر مثبت را دارد. در این ناحیه، جبران ولتاژ باعث می شود موتور در برابر تغییر بار نرم تر و پایدارتر عمل کند.

۱۰-۳) نزدیک فرکانس نامی

در نزدیکی فرکانس نامی، فضای ولتاژ درایو محدودتر می‌شود. اگر ولتاژ شبکه پایین باشد یا بار سنگین باشد، امکان دارد درایو نتواند جبران بیشتری اعمال کند. در این شرایط افزایش بیش از حد H_{48} معمولاً کمکی نمی‌کند و فقط جریان یا دمای موتور را بالا می‌برد.

۱۱) نکات تنظیم و بهره‌برداری

جدول (۶)

مشاهده در زمان کار	اقدام پیشنهادی	توضیح
گشتاور شروع حرکت کم است.	H48 را ۵٪ افزایش دهید و دوباره تست کنید.	افزایش زیاد یکباره توصیه نمی‌شود.
جریان موتور در بی‌باری زیاد است.	H48 یا Torque Boost را کاهش دهید.	شار بیش از حد باعث جریان اضافی و گرم شدن موتور می‌شود.
صدای موتور در سرعت پایین زیاد است.	زمان شتاب را افزایش دهید و مقدار جبران را کاهش دهید.	در سرعت پایین، تنظیم تهاجمی می‌تواند نوسان ایجاد کند.
در شتاب‌گیری خطای اضافه‌جریان رخ می‌دهد.	شتاب را ملایم‌تر کنید و بار مکانیکی را بررسی کنید.	کمبود زمان شتاب یکی از علت‌های رایج است.
در سرعت بالا موتور ضعیف است.	ولتاژ ورودی، فرکانس پایه و ولتاژ نامی را بررسی کنید.	درایو ممکن است به محدودیت ولتاژ رسیده باشد.
توجه: تنظیم FCC باید با مشاهده جریان موتور انجام شود. معیار اصلی، راه‌اندازی نرم با کمترین جریان اضافی و بدون صدای غیرعادی است.		

۱۲) محدودیت‌ها و نکات ایمنی

- FCC برای نگه داشتن موتور در سرعت صفر طراحی نشده است. برای گشتاور نگهدارنده یا کنترل دقیق در سرعت صفر، باید از روش مناسب‌تری استفاده شود؛
- در بارهای بالابر، جرثقیل، آسانسور یا سیستم‌هایی که افت کنترل می‌تواند خطرناک باشد، استفاده از FCC بدون سیستم ایمنی مکانیکی و حفاظتی توصیه نمی‌شود؛
- اگر موتور بیش از حد گرم می‌شود، افزایش جبران شار را ادامه ندهید. ابتدا جریان نامی، تهویه، بار مکانیکی و اتوتیونینگ بررسی شود؛
- در کابل‌های بسیار بلند، فیلتر خروجی یا موتورهای قدیمی، ممکن است جریان اندازه‌گیری‌شده نویز بیشتری داشته باشد. در این موارد تنظیمات باید محافظه‌کارانه‌تر انتخاب شوند؛ و
- در صورت تغییر موتور یا تغییر اتصال موتور، پارامترهای قبلی قابل اعتماد نیستند و اتوتیونینگ باید دوباره اجرا شود.

۱۳) مطالعه و راه‌اندازی سریع

این بخش برای زمانی است که کاربر فقط به ترتیب سریع تنظیمات نیاز دارد. برای راه‌اندازی اولیه، رعایت همین موارد معمولاً کافی است؛ اما در صورت مشاهده جریان، صدا یا گرمای غیرعادی باید بخش‌های قبلی مطالعه شود.

جدول (۷)

ردیف	کار مورد نیاز	مقدار پیشنهادی
۱	انتخاب نوع موتور	H28 = موتور القایی سه‌فاز
۲	ورود اطلاعات پلاک موتور	توان، جریان، ولتاژ و فرکانس نامی مطابق پلاک
۳	انتخاب روش اتوتیونینگ	H41 = 2 اگر موتور بدون بار امکان چرخش دارد؛ در غیر این صورت H41 = 1
۴	اجرای اتوتیونینگ	تا پایان کامل تست و بدون قطع برق
۵	فعال‌سازی FCC	H40 = 1
۶	تنظیم جبران شار	H48 = 100% برای شروع
۷	اولین تست حرکت	فرکانس پایین، بار سبک، شتاب ملایم
۸	اصلاح نهایی	در صورت کمبود گشتاور، افزایش H48 به صورت ۵٪ مرحله‌ای

قاعده عملی: اگر موتور ضعیف است، جبران را کمی افزایش دهید؛ اگر جریان، صدا یا گرما زیاد است، جبران را کاهش دهید و اتوتیونینگ را بررسی کنید.

پس از پایان تنظیمات، چند بار استارت و استاپ با بار واقعی انجام دهید و مطمئن شوید جریان، صدا، دمای موتور و عملکرد مکانیکی در محدوده قابل قبول هستند. سپس مقادیر نهایی را در سوابق راه‌اندازی دستگاه ثبت کنید.