



INDUSTRIAL DRIVE SOLUTIONS

HiPower
VSES



RELIABLE
Performance You Can Trust



EFFICIENT
Maximize Every Watt



PRECISE
Control with Accuracy



**راهنمای فعال‌سازی و استفاده از کنترل
سنسورلس موتور PMSM برای درایو
موتور آهن‌ربایی دائم بدون انکودر**



Sensorless Control

Guide of PMSM Motor

فهرست مطالب

- ۱) معرفی کلی ۱
- ۲) کنترل سنسورلس PMSM چیست و چه کاری انجام می‌دهد؟ ۱
- ۳) کاربردهای پیشنهادی ۱
- ۴) تفاوت کنترل سنسورلس PMSM با کنترل معمولی ۲
- ۵) شرط‌های اصلی قبل از استفاده ۳
- ۶) پارامترهای مهم و اثر هر کدام ۳
- ۷) انجام اتوتیونینگ موتور ۵
- ۸) نکات تنظیم و بهره‌برداری ۵
- ۹) محدودیت‌ها و نکات ایمنی ۷
- ۱۰) عیب‌یابی سریع ۷
- ۱۱) مطالعه و راه‌اندازی سریع ۸

(۱) معرفی کلی

کنترل سنسورلس موتور PMSM روشی است که در آن درایو بدون انکودر یا سنسور سرعت، موتور آهنربایی دائم را کنترل می‌کند. در این روش، درایو با اندازه‌گیری جریان و ولتاژ خروجی، وضعیت موتور را تخمین می‌زند و سپس فرمان مناسب برای چرخش نرم و پایدار موتور را اعمال می‌کند.

برای اپراتور، نکته مهم این است که کیفیت عملکرد این مد به ورود صحیح اطلاعات موتور، انجام اتوتیونینگ، تنظیم مناسب جریان راه‌اندازی و انتخاب زمان شتاب مناسب وابسته است. اگر این موارد درست تنظیم شوند، موتور با صدای کمتر، جریان مناسب‌تر و انتقال نرم‌تر از راه‌اندازی اولیه به کنترل سنسورلس منتقل می‌گردد.

نکته: کنترل سنسورلس PMSM برای راه‌اندازی عمومی موتور بدون انکودر طراحی شده است. این روش جایگزین سروو کنترل دقیق در سرعت صفر یا کاربردهای ایمنی حساس نیست.

(۲) کنترل سنسورلس PMSM چیست و چه کاری انجام می‌دهد؟

در موتور آهنربایی دائم، موقعیت میدان موتور برای کنترل صحیح اهمیت دارد. در کنترل دارای انکودر، این موقعیت از سنسور خوانده می‌شود. در کنترل سنسورلس، درایو این موقعیت را از روی رفتار الکتریکی موتور تشخیص می‌دهد. در زمان شروع حرکت، چون موتور هنوز سرعت کافی ندارد، درایو ابتدا موتور را به صورت کنترل‌شده و حلقه‌باز راه‌اندازی می‌کند. پس از رسیدن موتور به محدوده مناسب، درایو به کنترل سنسورلس حلقه‌بسته منتقل می‌شود. از این لحظه، سرعت تخمینی موتور برای کنترل دقیق‌تر استفاده می‌شود.

(۳) کاربردهای پیشنهادی

مد سنسورلس PMSM برای کاربردهایی مناسب است که موتور آهنربایی دائم بدون انکودر استفاده می‌شود و هدف، راه‌اندازی نرم، کنترل سرعت مناسب و کاهش قطعات جانبی است. جدول زیر نمونه کاربردها را نشان می‌دهد.

جدول (۱)

محل استفاده	دلیل مناسب بودن	نکته راه‌اندازی
فن و پمپ با موتور PMSM	کاهش نیاز به انکودر و راه‌اندازی نرم	ابتدا با سرعت پایین و بار سبک تست شود.
کمپرسور و بلوئر سبک	کنترل سرعت بهتر از راه‌اندازی ساده	زمان شتاب خیلی کوتاه انتخاب نشود.
نوار نقاله سبک	کنترل مناسب سرعت در بارهای معمولی	جهت چرخش و جریان موتور بررسی شود.
ماشین‌آلات عمومی	کاهش سیم‌کشی و سنسور مکانیکی	قبل از بهره‌برداری، اتوتیونینگ انجام شود.

برای کاربردهایی که نیاز به نگهداشتن بار در سرعت صفر، کنترل موقعیت، دقت بسیار بالا یا ایمنی مکانیکی ویژه دارند، استفاده از انکودر، ترمز مکانیکی یا روش کنترلی مناسب‌تر توصیه می‌شود.

(۴) تفاوت کنترل سنسورلس PMSM با کنترل معمولی

در کنترل معمولی یا حلقه‌باز، درایو بدون شناخت دقیق از موقعیت واقعی موتور، فرمان چرخش را طبق برنامه داخلی اعمال می‌کند. این روش برای شروع حرکت ساده مفید است، اما در برابر تغییر بار یا سرعت پایین، محدودیت بیشتری دارد.

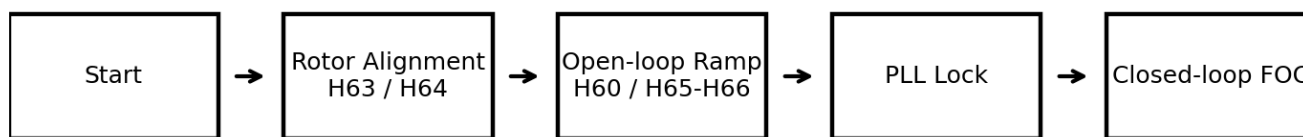
در کنترل سنسورلس حلقه بسته، درایو پس از راه‌اندازی اولیه، وضعیت موتور را تخمین می‌زند و کنترل را بر اساس سرعت و زاویه تخمینی ادامه می‌دهد. به همین دلیل، در محدوده کاری مناسب، عملکرد نرم‌تر و پایداری نسبت به کنترل ساده دارد.

جدول (۲)

ویژگی	حلقه‌باز یا راه‌اندازی ساده	کنترل سنسورلس PMSM
نیاز به انکودر	ندارد	ندارد
کیفیت کنترل پس از شروع حرکت	وابسته به تنظیم اولیه و بار	بهتر، با استفاده از تخمین داخلی
عملکرد در سرعت خیلی پایین	محدود	محدود، اما نرم‌تر در محدوده قابل تخمین
حساسیت به پارامتر موتور	متوسط	زیاد؛ ورود اطلاعات صحیح ضروری است

مقایسه نموداری رفتار راه‌اندازی و تنظیمات

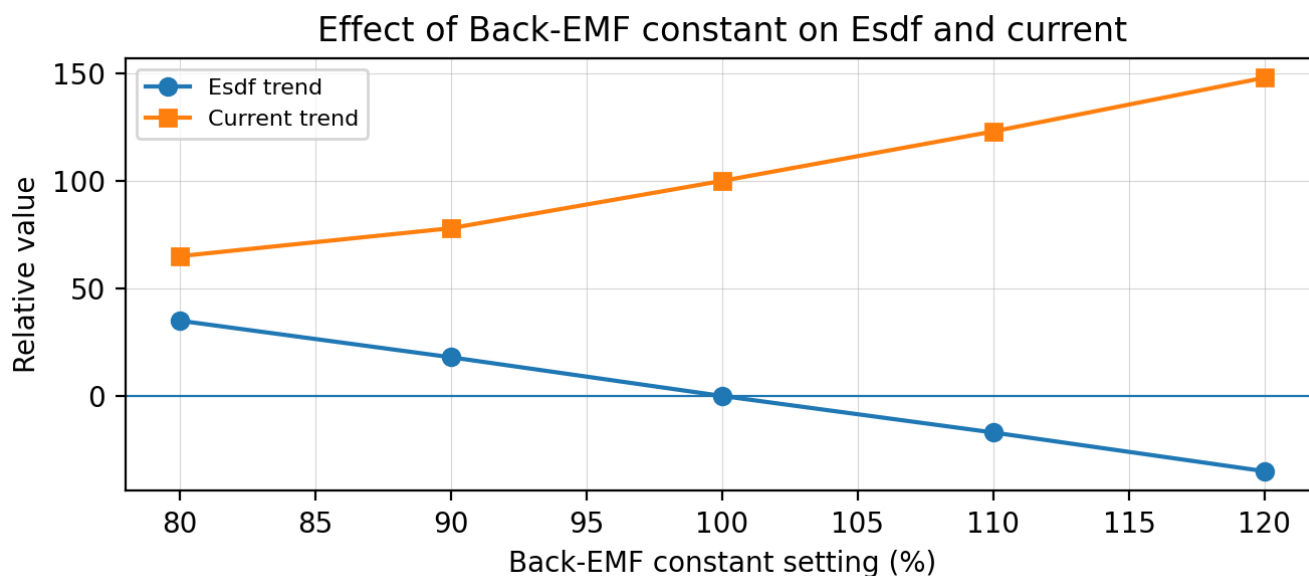
نمودارهای زیر برای درک مفهومی رفتار درایو اضافه شده‌اند. در این نسخه از نمودارهای خواناتر نسخه قبلی استفاده شده است تا اثر پارامترها روی راه‌اندازی، جریان، نقطه انتقال و صدای موتور واضح‌تر دیده شود. این نمودارها آموزشی هستند و مقدار دقیق آن‌ها به موتور و بار واقعی بستگی دارد.



PMSM sensorless startup sequence

نمودار (۱): ترتیب مفهومی راه‌اندازی سنسورلس PMSM

در این نمودار، درایو ابتدا در حالت توقف قرار دارد، سپس اتوتیونینگ و تست اولیه انجام می‌شود. پس از راه‌اندازی حلقه‌باز و رسیدن به محدوده مناسب، کنترل به حالت سنسورلس حلقه‌بسته منتقل می‌شود.



نمودار (۲): اثر تنظیم ثابت ولتاژ موتور روی جریان و کیفیت شروع حرکت

اگر ثابت ولتاژ موتور خیلی پایین یا خیلی بالا تنظیم شود، موتور ممکن است با جریان غیرطبیعی، صدای بیشتر یا شروع حرکت نامناسب کار کند. مقدار مناسب معمولاً با جریان بی‌باری طبیعی، صدای کمتر و شروع حرکت نرم‌تر شناخته می‌شود.

(۵) شرط‌های اصلی قبل از استفاده

- نوع موتور باید موتور آهنربایی دائم باشد و پارامتر $H28$ مطابق آن تنظیم شود ($H28=0$).
- قبل از فعال‌سازی نهایی، اتوتیونینگ انجام شود تا مقاومت و اندوکتانس موتور دقیق‌تر در درایو ثبت شود.
- موتور و بار مکانیکی در زمان تست اولیه نباید گیر مکانیکی داشته باشند.
- در اولین راه‌اندازی، سرعت و بار باید کم انتخاب شوند و جریان موتور کنترل شود.
- در کاربردهای دارای اینرسی زیاد یا بار سنگین، زمان شتاب نباید خیلی کوتاه تنظیم شود.

(۶) پارامترهای مهم و اثر هر کدام

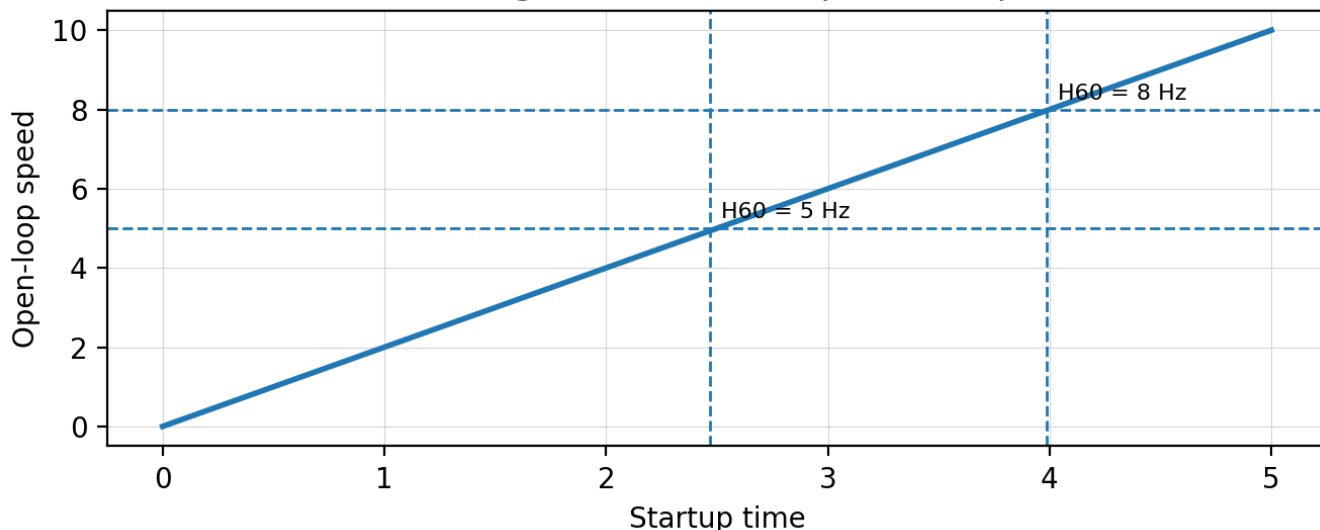
جدول (۳) مهم‌ترین پارامترهایی را نشان می‌دهد که در راه‌اندازی سنسورلس PMSM برای اپراتور اهمیت دارند. مقدار دقیق هر پارامتر باید بر اساس موتور، بار و نسخه نرم‌افزار درایو انتخاب شود.

جدول (۳)

پارامتر	مقدار یا محدوده پیشنهادی	اثر در راه اندازی و کارکرد
H28=2	PMSM	انتخاب نوع موتور آهنربایی دائم
H30	طبق پلاک موتور	مبنای توان و ظرفیت موتور
H31	طبق پلاک موتور	تعداد قطبها و تبدیل سرعت
H33	طبق پلاک موتور	محدودیت جریان و حفاظت موتور
H41=1	طبق روش اتوتیونینگ	شناسایی مقاومت و اندوکتانس موتور
H39	0-15 KHZ	فرکانس سوئیچینگ؛ روی صدا و تلفات اثر دارد
H60	1-600 هرتز	حداکثر فرکانس راه اندازی حلقه باز
H61	۰.۱-۳۰	ضریب تناسبی حلقه جریان؛ مقدار زیاد می تواند صدا و نوسان ایجاد کند
H62	۰.۱-۳۰	ضریب انتگرالی حلقه جریان؛ مقدار زیاد می تواند باعث اضافه جریان شود
H63	۰.۱-۹۰ ثانیه	زمان هم راست سازی اولیه قبل از حرکت- متناسب با اینرسی بار
H64	۰.۱-76 آمپر	جریان هم راست سازی اولیه- متناسب با اینرسی بار
H65	۰.۱-76 آمپر	حداقل جریان راه اندازی حلقه باز- متناسب با اینرسی بار
H66	۰.۱-76 آمپر	حداکثر جریان راه اندازی حلقه باز- متناسب با اینرسی بار
dEC / ACC	متناسب با اینرسی بار	نرمی شتاب و توقف موتور

نکته: H60 مربوط به حداکثر فرکانس راه اندازی حلقه باز است. ثابت ولتاژ موتور یک تنظیم جداگانه است و نباید با H60 اشتباه گرفته شود.

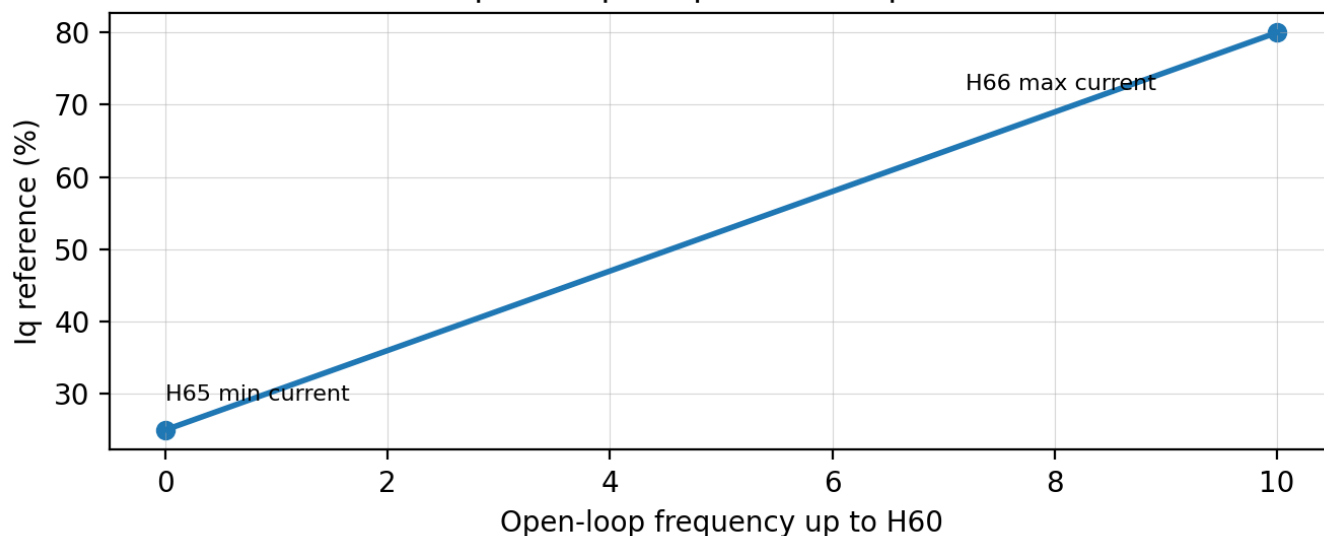
H60 changes the closed-loop transfer point



نمودار (۳): اثر H60 روی نقطه انتقال از حلقه باز به کنترل سنسورلس

افزایش H60 باعث می شود موتور مدت بیشتری در راه اندازی حلقه باز بماند و انتقال به کنترل سنسورلس در سرعت بالاتری انجام شود. مقدار خیلی کم ممکن است باعث انتقال زود هنگام و ناپایداری شود؛ مقدار خیلی زیاد نیز زمان راه اندازی را طولانی تر می کند.

Open-loop torque current profile



نمودار (۴): اثر H66 و H65 روی جریان راه اندازی حلقه باز

(۷) انجام اتوتیونینگ موتور

اتوتیونینگ برای کنترل سنسورلس PMSM بسیار مهم است؛ زیرا درایو برای کنترل صحیح موتور به مقدار مقاومت و اندوکتانس موتور نیاز دارد. اگر این اطلاعات اشتباه باشند، موتور ممکن است با لرزش، جریان زیاد یا ورود نامطمئن به حلقه بسته کار کند. برای انجام اتوتیونینگ موتورهای PMSM حتماً بایستی $H41=1$ (روش استاتیک) تنظیم گردد.

نتیجه مورد انتظار از اتوتیونینگ: پس از پایان اتوتیونینگ، درایو باید بتواند پارامترهای اصلی موتور را ذخیره کند. در موتور PMSM، اندازه گیری مقاومت و اندوکتانس نقش مهمی در دقت کنترل جریان و کیفیت شروع حرکت دارد.

جدول (۴)

نتیجه	وضعیت قابل قبول	اقدام در صورت مشکل
مقاومت موتور (H42)	مقدار غیر صفر و منطقی	اتصال کابل و توان موتور بررسی شود.
اندوکتانس موتور (H44)	مقدار پایدار و منطقی	اتوتیونینگ تکرار و جریان تست بررسی شود.
جریان تست	بدون خطای اضافه جریان	زمان شتاب، کابل و موتور بررسی شود.

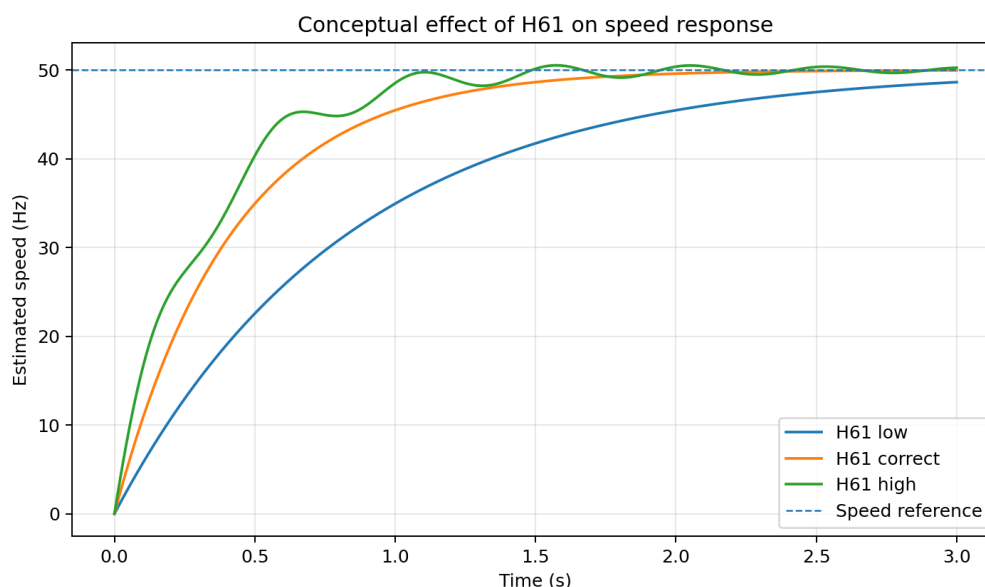
(۸) نکات تنظیم و بهره برداری

جدول (۵)

مشاهده در زمان کار	اقدام پیشنهادی	توضیحات تکمیلی
موتور در شروع حرکت ضعیف است	H65 یا H66 کمی افزایش یابد	افزایش یکباره توصیه نمی شود.
صدای موتور در شروع زیاد است	H62/H61 یا H66/H65 کاهش یابد	تنظیم تهاجمی باعث نوسان جریان می شود.
در شتاب گیری خطای اضافه جریان رخ می دهد	ACC افزایش یابد و بار مکانیکی بررسی شود	زمان شتاب کم یکی از علت های رایج است.
ورود به سنسورلس ناپایدار است	H60 بررسی شود	موتور باید به سرعت مناسب برای تخمین برسد.

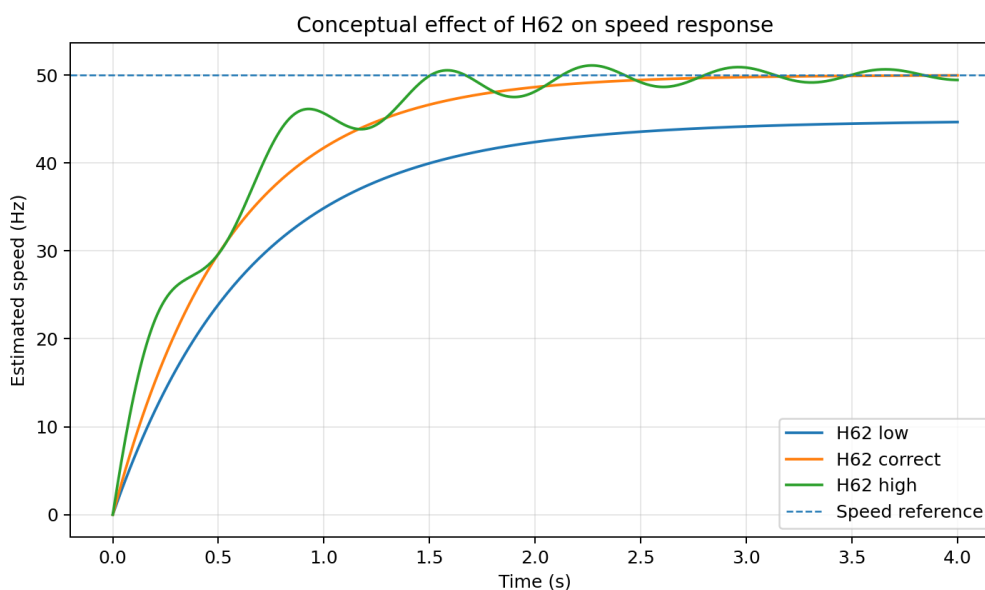
افزایش ضرایب H61 و H62 پاسخ جریان را سریع تر می کند، اما اگر بیش از حد زیاد باشند، صدای موتور، نوسان جریان و احتمال خطای اضافه جریان افزایش می یابد.

برای درک بهتر اثر تنظیم ضرایب حلقه جریان، دو نمودار مفهومی زیر رفتار سرعت را در سه حالت کم، مناسب و زیاد نشان می دهند. این نمودارها آموزشی هستند و مقدار دقیق آن ها به نوع موتور، مقدار بار و سایر تنظیمات درایو وابسته است.



نمودار (۵): اثر پارامتر H61 بر پاسخ سرعت

اگر مقدار پارامتر H61 کم باشد، موتور به فرمان سرعت، کندتر پاسخ می دهد و رسیدن به سرعت مرجع بیشتر طول می کشد. اگر مقدار آن مناسب باشد، پاسخ سرعت نرم و بدون نوسان خواهد بود. در صورت زیاد بودن این پارامتر، پاسخ اولیه تند می شود اما احتمال لرزش یا نوسان سرعت افزایش پیدا می کند.



نمودار (۶): اثر پارامتر H62 بر پاسخ سرعت

اگر مقدار پارامتر H62 خیلی کم باشد، درایو ممکن است با تأخیر بیشتری خطای سرعت را اصلاح کند و سرعت واقعی کمی پایین تر از مقدار مرجع بماند. اگر مقدار آن مناسب باشد، موتور با پایداری خوب به سرعت مرجع می‌رسد. اگر مقدار این پارامتر بیش از حد زیاد شود، سرعت می‌تواند دچار موج‌دار شدن یا نوسان گردد.

۹) محدودیت‌ها و نکات ایمنی

- کنترل سنسورلس PMSM برای نگهداشتن دقیق موتور در سرعت صفر طراحی نشده است؛
- برای بارهای آویزان، بالابر، جرثقیل یا کاربردهای ایمنی حساس، ترمز مکانیکی و حفاظت مستقل الزامی است؛
- در سرعت بسیار پایین، دقت تخمین کمتر است و نباید انتظار رفتار سروو وجود داشته باشد؛
- اگر موتور بیش از حد گرم می‌شود، افزایش جریان راه‌اندازی را ادامه ندهید و ابتدا پارامترهای موتور و بار مکانیکی را بررسی کنید؛
- در صورت تغییر موتور، کابل موتور، اتصال موتور یا توان درایو، اتوتیونینگ باید دوباره بررسی شود؛ و
- در اولین تست، اپراتور باید آماده توقف اضطراری باشد.

۱۰) عیب‌یابی سریع

جدول (۶)

نشانه	علت احتمالی	راهکار
موتور حرکت نمی‌کند.	جریان راه‌اندازی کم، بار گیر کرده یا جهت نامناسب	H66/H65 و بار مکانیکی بررسی شود.
جریان راه‌اندازی زیاد است.	جریان حلقه‌باز زیاد یا زمان شتاب کم	H66/H65 کاهش و ACC افزایش یابد.
موتور صدا یا لرزش دارد.	ضرایب جریان یا ثابت ولتاژ نامناسب	H62/H61 و ثابت ولتاژ موتور بررسی شود.
درایو وارد حلقه‌بسته نمی‌شود.	عدم کفایت سرعت راه‌اندازی یا عدم تخمین پایدار	H60، H65 و H66 مرحله‌ای اصلاح شوند.
خطای اضافه‌جریان رخ می‌دهد.	بار سنگین، شتاب کم یا تنظیم تهاجمی	ACC افزایش، بار بررسی و ضرایب کاهش یابد.
سرعت نمایش داده‌شده ناپایدار است.	تخمین سرعت ضعیف یا پارامتر موتور اشتباه	اتوتیونینگ و اطلاعات پلاک بررسی شود.

۱۱) مطالعه و راه‌اندازی سریع

این بخش برای زمانی است که کاربر فقط به ترتیب سریع تنظیمات نیاز دارد. در صورت مشاهده جریان، صدا، لرزش یا گرمای غیرعادی، بخش‌های قبلی باید مطالعه شود.

جدول (۷)

ردیف	کار مورد نیاز	مقدار پیشنهادی
۱	انتخاب نوع موتور	H28 = 2
۲	ورود اطلاعات پلاک موتور	H30، H31 و H33 طبق پلاک موتور
۳	اجرای اتوتیونینگ استاتیک	H41=1 مطابق روش تست و تا پایان کامل
۴	تنظیم فرکانس آستانه حلقه‌باز به حلقه بسته	H60 متناسب با موتور و بار
۵	تنظیم هم‌راستاسازی اولیه	H63 و H64 با مقدار محافظه کارانه
۶	تنظیم جریان شروع حرکت	H65 و H66 ابتدا کم و سپس مرحله‌ای
۷	تنظیم حلقه جریان	H61 و H62 با مقدار پیش‌فرض شروع شود
۸	اولین تست حرکت	سرعت پایین، بار سبک، شتاب ملایم
۹	اصلاح نهایی	بر اساس جریان، صدا و کیفیت شروع حرکت
قاعده عملی: اگر موتور ضعیف شروع می‌کند، جریان راه‌اندازی را کمی افزایش دهید؛ اگر جریان، صدا یا گرما زیاد است، تنظیمات 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.