

INDUSTRIAL DRIVE SOLUTIONS



RELIABLE
Performance You Can Trust



EFFICIENT
Maximize Every Watt



PRECISE
Control with Accuracy



راهنمای کاربردی کنترلر PID

راهنمای کاربری برای تنظیم و استفاده از کنترلر PID



Function Controller PID (PID)

فهرست مطالب

- ۱) معرفی کلی..... ۱
- ۲) کنترل PID در درایو چه زمانی استفاده می‌شود؟ ۱
- ۳) مفهوم تنظیم PID برای اپراتور ۱
- ۴) انتخاب مرجع و فیدبک ۲
- ۵) نمایش Reference و Feedback روی کیپد ۲
- ۶) پارامترهای مهم و اثر عملی هر کدام ۳
- ۷) روش راهاندازی مرحله به مرحله ۳
- ۸) نمودار اثر H51، H52 و H53 بر فرکانس خروجی ۴
- ۹) روش تنظیم T_i ، K_p و T_d ۵
- ۱۰) عیب‌یابی تنظیمات PID ۵
- ۱۱) تغییر موقت بین کنترل PID و کنترل عادی ۶
- ۱۲) روش تنظیم و آزمایش بای‌پس PID ۶
- ۱۳) نکات مهم هنگام استفاده ۷
- ۱۴) نکات ایمنی و محدودیت‌ها ۷
- ۱۵) مطالعه و راهاندازی سریع ۸

(۱) معرفی کلی

کنترلر PID برای زمانی استفاده می‌شود که هدف فقط تنظیم دستی سرعت موتور نیست؛ بلکه باید یک کمیت واقعی در ماشین مانند فشار، دبی، سطح مخزن، دما یا کشش روی مقدار مطلوب ثابت بماند. در این حالت، اپراتور مقدار هدف را تنظیم می‌کند و درایو مقدار واقعی را از سنسور یا ترانسمیتر می‌خواند. سپس فرکانس خروجی موتور را کم یا زیاد می‌کند تا مقدار واقعی به مقدار هدف نزدیک شود.

توجه: برای اپراتور، PID یعنی: مقدار هدف را درست انتخاب کن، سنسور Feedback را درست ببند، جهت Direct/Reverse را درست بگذار و سپس ضرایب را مرحله‌ای تنظیم کن تا سیستم بدون نوسان به هدف برسد.

(۲) کنترل PID در درایو چه زمانی استفاده می‌شود؟

در حالت عادی، فرکانس خروجی از یک مرجع اصلی مانند کی‌پد، ورودی آنالوگ یا ارتباطات دریافت می‌شود. در حالت چندمرحله‌ای، چند فرکانس ثابت از قبل تنظیم می‌شود و ورودی‌های دیجیتال مشخص می‌کنند که کدام فرکانس فعال باشد.

جدول (۱)

کاربرد	هدف اپراتور	نمونه Feedback
کنترل فشار پمپ	فشار لوله روی مقدار تنظیم‌شده ثابت بماند.	ترانسمیتر فشار 4-20 mA روی I1 یا 0-10 V روی V1
کنترل دبی	دبی خروجی حتی با تغییر مصرف ثابت بماند.	فلوترانسمیتر آنالوگ
کنترل سطح مخزن	سطح مخزن در محدوده مطلوب نگه داشته شود.	سنسور سطح آنالوگ
کنترل دما با فن یا پمپ	دما با تغییر سرعت موتور کنترل شود.	سنسور دما با خروجی آنالوگ
کنترل کشش ساده	سیگنال کشش نزدیک مقدار هدف بماند.	لودسل یا سنسور کشش با خروجی آنالوگ

اگر اپراتور فقط سرعت ثابت می‌خواهد، استفاده از PID لازم نیست. PID زمانی ارزش دارد که سرعت موتور باید بر اساس مقدار سنسور فرآیند به صورت خودکار تغییر کند.

(۳) مفهوم تنظیم PID برای اپراتور

جدول (۲)

عبارت	معنی ساده برای اپراتور	اثر روی فرکانس خروجی
Setpoint یا Reference	مقدار هدف، مثل فشار مطلوب یا سطح مطلوب	اگر با Feedback اختلاف داشته باشد، PID فرکانس را تغییر می‌دهد.
Feedback	مقدار واقعی خوانده‌شده از سنسور	نشان می‌دهد فرآیند واقعاً به هدف نزدیک شده یا نه.
Kp یا H51	قدرت واکنش اولیه	زیاد شود خروجی سریع‌تر تغییر می‌کند، ولی ممکن است نوسان کند.
Ti یا H52	قدرت اصلاح خطای باقی‌مانده	کم شود اثر انتگرال قوی‌تر می‌شود؛ زیاد کم باشد نوسان می‌دهد.
Td یا H53	اثر پیش‌بینی و کاهش جهش	در اغلب پمپ‌ها و سنسورهای نویزی روی صفر بماند.

۴) انتخاب مرجع و فیدبک

قبل از تنظیم ضرایب، ابتدا باید مشخص شود مقدار هدف از کجا وارد می‌شود و مقدار واقعی از کدام ورودی آنالوگ خوانده می‌شود. این مرحله مهم‌ترین بخش راه‌اندازی است.

جدول (3)

پارامتر	انتخاب	کاربرد برای اپراتور
H49	0: غیرفعال 1: فعال	برای فعال شدن کنترل PID، مقدار ۱ انتخاب شود.
H57	Keypad :0 Keypad Pot :1 V1 :2 I1 :3	منبع Reference یا مقدار هدف را مشخص می‌کند.
H50	I1 :0 V1 :1	ورودی سنسور Feedback را مشخص می‌کند.
H59	Direct :0 Reverse :1	جهت عملکرد را مشخص می‌کند. اگر با افزایش خطا سرعت باید زیاد شود، معمولاً Direct انتخاب می‌شود.
H55	حد بالای خروجی PID	بیشترین فرکانس مجاز موتور در کنترل PID.
H56	حد پایین خروجی PID	کمترین فرکانس مجاز موتور در کنترل PID.

توجه: برای پمپ فشار معمولاً اگر فشار کمتر از مقدار هدف شود، سرعت باید زیاد شود؛ بنابراین در اغلب موارد $H59=0$ مناسب است. اگر با فعال شدن PID خروجی به سمت اشتباه حرکت کرد، ابتدا H59 را بررسی کنید.

۵) نمایش Reference و Feedback روی کپد

در برنامه، دو صفحه نمایش مخصوص PID برای اپراتور در نظر گرفته شده است. صفحه rEF مقدار Reference یا همان مقدار هدف PID را نشان می‌دهد و صفحه FbK مقدار Feedback یا مقدار واقعی خوانده‌شده از سنسور را نمایش می‌دهد.

این دو صفحه فقط برای مشاهده هستند و برای تنظیم مستقیم پارامتر استفاده نمی‌شوند. وقتی اپراتور وارد صفحه rEF یا FbK شود، عدد با یک رقم اعشار نمایش داده می‌شود؛ بنابراین نمایش 25.0 یعنی مقدار داخلی PID برابر 25.0 واحد فرآیندی یا معادل مقیاس انتخاب‌شده است.

جدول (4)

صفحه نمایش	معنی برای اپراتور	کاربرد در راه اندازی
rEF	مقدار هدف PID یا Setpoint	بررسی کنید مقدار هدف از منبع انتخاب شده در H57 درست خوانده می شود.
FbK	مقدار واقعی سنسور یا Feedback	با تغییر فشار، دبی یا سطح، این مقدار باید منطقی و در جهت درست تغییر کند.
رفتن به صفحه ها	در حالت فعال بودن PID، از منوی مانیتور قابل مشاهده است.	قبل از تنظیم H51/H52/H53، حتماً rEF و FbK را کنترل کنید.

نکته مهم: اگر rEF درست، اما FbK تغییر نمی کند، مشکل معمولاً در سیم کشی سنسور، انتخاب H50 یا مقیاس ورودی آنالوگ است. اگر FbK تغییر می کند ولی خروجی PID در جهت اشتباه حرکت می کند، H59 را بررسی کنید.

۶) پارامترهای مهم و اثر عملی هر کدام

جدول (5)

پارامتر	نام کاربردی	اثر عملی	مقدار شروع پیشنهادی
H49	فعال سازی PID	وقتی ۱ باشد خروجی PID به عنوان فرمان سرعت استفاده می شود	۱
H50	انتخاب Feedback	مشخص می کند سنسور از I1 یا V1 خوانده شود	مطابق سنسور
H51	Kp یا بهره تناسبی	سرعت واکنش اولیه را تعیین می کند. زیاد بودن باعث نوسان می شود	۳۰۰
H52	Ti یا زمان انتگرال	خطای باقی مانده را حذف می کند. مقدار کمتر یعنی اصلاح قوی تر	۱۰
H53	Td یا زمان مشتق	برای کاهش Overshoot در سیستم های خاص است؛ در فیدبک نویزی معمولاً استفاده نشود	۰
H55	حداکثر خروجی	بالا ترین فرکانس مجاز خروجی PID	Hz 50.0
H56	حداقل خروجی	پایین ترین فرکانس مجاز خروجی PID	Hz 0.5
H57	منبع Reference	محل دریافت مقدار هدف را تعیین می کند	صفر یا مطابق کاربرد
H59	جهت عملکرد	Direct یا Reverse بودن کنترل را تعیین می کند	صفر برای بیشتر پمپ های فشار

واحد نمایش برخی پارامترها در منوی محصول ممکن است به صورت ضرب دار باشد؛ برای مثال H55=500 به معنی 50.0Hz است. مقدارهای پیشنهادی، نقطه شروع راه اندازی هستند و باید با ماشین واقعی تنظیم نهایی شوند.

۷) روش راه اندازی مرحله به مرحله

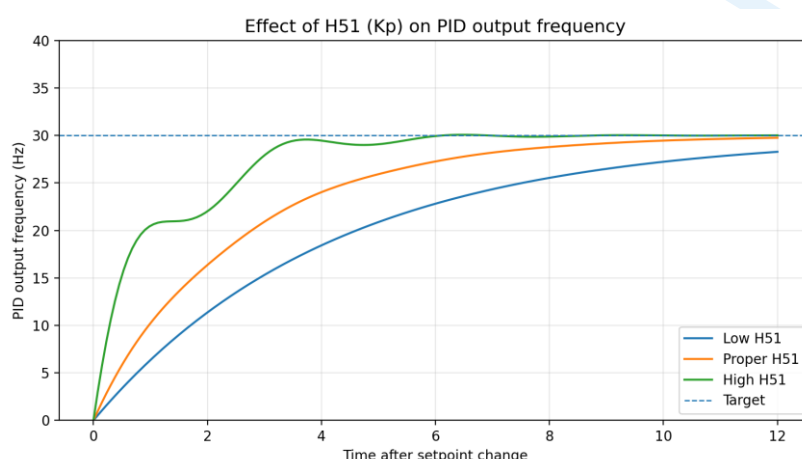
جدول (6)

مرحله	اقدام اپراتور	نتیجه مورد انتظار
۱	ابتدا موتور را در مد معمولی V/F یا مد کاری اصلی بدون PID تست کنید.	جهت چرخش، جریان و عملکرد موتور صحیح باشد.
۲	سنسور فرآیند را به I1 یا V1 وصل کنید و مقدار FbK را روی کیپد کنترل کنید.	با تغییر فشار/دبی/سطح، Feedback باید تغییر منطقی داشته باشد.
۳	H57 را بر اساس منبع مقدار هدف تنظیم کنید و rEF را مشاهده کنید.	Setpoint از منبع درست خوانده شود.

۴	H50 را مطابق ورودی سنسور Feedback تنظیم کنید.	Feedback از ورودی درست خوانده شود.
۵	H55 و H56 را برای محدود کردن سرعت موتور تنظیم کنید.	موتور از محدوده مجاز مکانیکی و فرآیندی خارج نشود.
۶	H51=300، H52=10 و H53=0 را به عنوان شروع قرار دهید.	سیستم با تنظیم محافظه کارانه شروع شود.
۷	H49 را روی ۱ قرار دهید و با بار واقعی تست کنید.	PID فعال شده و سرعت موتور بر اساس خطا تغییر کند.
۸	اگر حرکت در جهت اشتباه بود، H59 را تغییر دهید.	با کمتر شدن Feedback از هدف، خروجی در جهت صحیح تغییر کند.

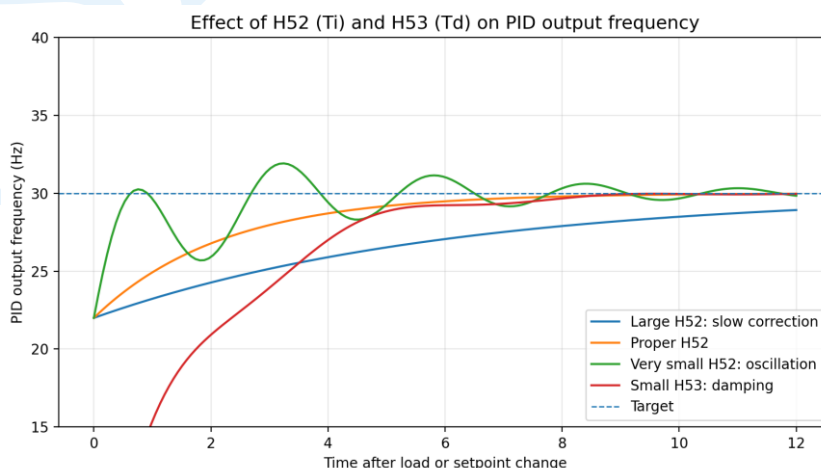
۸) نمودار اثر H51، H52 و H53 بر فرکانس خروجی

نمودارهای زیر مفهومی هستند و مقدار دقیق آن‌ها به ماشین، سنسور، بار، زمان شتاب و محدودیت‌های H55/H56 بستگی دارد. هدف نمودارها این است که اپراتور بداند با تغییر هر پارامتر، شکل تغییر فرکانس خروجی چگونه عوض می‌شود.



نمودار (1): اثر H51 یا Kp روی سرعت واکنش فرکانس خروجی PID

اگر H51 خیلی کم باشد، خروجی PID کند بالا می‌رود و فرآیند دیر به مقدار هدف می‌رسد. اگر H51 مناسب باشد، خروجی با سرعت قابل قبول و بدون نوسان زیاد به هدف نزدیک می‌شود. اگر H51 زیاد باشد، فرکانس خروجی ممکن است از مقدار لازم عبور کند و نوسان ایجاد شود.



نمودار (2): اثر H52 و H53 روی حذف خطا، نوسان و Overshoot

H52 بزرگ باعث اصلاح آرام و کند خطای باقی مانده می شود. H52 خیلی کوچک اثر انتگرال را شدید می کند و می تواند نوسان ایجاد کند. H53 در بعضی سیستم های کند می تواند Overshoot را کمتر کند، اما برای سنسورهای نویزی معمولاً بهتر است صفر بماند.

۹) روش تنظیم T_d و K_p ، T_i

تنظیم PID باید مرحله ای انجام شود. در بیشتر کاربردهای پمپ و فن، بهتر است ابتدا T_d را صفر نگه دارید و فقط K_p و T_i را تنظیم کنید.

جدول (7)

گام	اقدام تنظیمی	نشانه های تنظیم درست
۱	H53 را روی 0 قرار دهید.	حساسیت به نویز Feedback کم می شود.
۲	H52 را نسبتاً بزرگ نگه دارید؛ مثلاً 10 تا 30.	اثر انتگرال آرام است و سیستم کمتر نوسان می کند.
۳	H51 را آرام آرام افزایش دهید.	سیستم سریع تر به هدف نزدیک می شود.
۴	اگر خروجی یا فشار نوسان کرد، H51 را کم کنید.	نوسان کاهش پیدا کند.
۵	اگر مقدار واقعی به هدف نزدیک می شود اما خطا باقی می ماند، H52 را کمی کم کنید.	خطای باقی مانده آرام آرام حذف شود.
۶	اگر با کم کردن H52 نوسان ایجاد شد، H52 را دوباره افزایش دهید.	سیستم پایدار شود.
۷	فقط در سیستم های کند و بدون نویز، مقدار کوچک برای H53 تست شود.	Overshoot کمتر شود؛ اگر صدا یا نوسان زیاد شد، $H53=0$ شود.

قاعده ساده تنظیم: H51 سرعت واکنش را زیاد می کند، H52 خطای باقی مانده را حذف می کند، H53 معمولاً برای اپراتور ضروری نیست و در سنسورهای نویزی می تواند مشکل ساز شود

۱۰) عیب یابی تنظیمات PID

جدول (8)

مشاهده در زمان کار	علت محتمل	اقدام پیشنهادی
با فعال کردن PID، خروجی به سمت اشتباه می رود.	جهت عملکرد اشتباه است.	H59 را تغییر دهید و دوباره تست کنید.
فشار یا Feedback نوسان دارد.	H51 زیاد است یا H52 خیلی کوچک است.	H51 را کاهش دهید یا H52 را افزایش دهید.
سیستم خیلی کند به هدف می رسد.	H51 کم است یا H52 خیلی بزرگ است.	H51 را کمی افزایش دهید؛ در صورت باقی ماندن خطا H52 را کاهش دهید.
به هدف نزدیک می شود اما همیشه کمی خطا دارد.	اثر انتگرال ضعیف است.	H52 را مرحله ای کاهش دهید.
خروجی همیشه روی حد بالا مانده است.	Setpoint غیرواقعی، سنسور اشتباه یا محدوده H55/H56 درست نیست.	Reference، Feedback، جهت H59 و محدوده H55/H56 را بررسی کنید.
خروجی پایین تر از حد انتظار نمی آید.	حد پایین H56 یا حداقل فرکانس منبع فرمان محدودکننده است.	H56 و حداقل فرکانس های مربوط را بررسی کنید.

با اضافه کردن Td سیستم بدتر شد.	Feedback نویزی است یا H53 زیاد است.	H53 را به صفر برگردانید.
rEF درست است اما FbK ثابت می‌ماند.	سنسور، سیم‌کشی یا انتخاب H50 اشتباه است.	ورودی I1/V1، تغذیه سنسور و H50 را بررسی کنید.

(۱۱) تغییر موقت بین کنترل PID و کنترل عادی

این قابلیت برای زمانی است که کنترل خودکار فرآیند با PID فعال است، اما اپراتور یا سیستم فرمان می‌دهد که برای مدتی فرکانس موتور از مرجع عادی درایو دریافت شود. در این حالت، تنظیمات PID حذف نمی‌شوند و پس از برداشتن فرمان بای‌پس، کنترل خودکار دوباره برقرار می‌شود.

برای استفاده از این قابلیت، یکی از پارامترهای I20 تا I24 روی مقدار 21 قرار داده می‌شود. پایه دیجیتال متناظر، فرمان انتخاب بین کنترل PID و مرجع عادی فرکانس خواهد بود.

جدول (9)

ردیف	وضعیت یا تنظیم	عملکرد برای اپراتور
۱	H49=1	کنترل PID آماده است و در حالت عادی فرمان سرعت را تعیین می‌کند.
۲	یکی از I20 تا I24 برابر 21	پایه متناظر به فرمان تغییر بین PID و کنترل عادی اختصاص می‌یابد.
۳	پایه غیرفعال	فرکانس خروجی توسط PID و بر اساس Reference و Feedback تعیین می‌شود.
۴	پایه فعال	کنترل PID موقتاً کنار گذاشته می‌شود و فرکانس از منبع عادی انتخاب‌شده در Frq دریافت می‌شود.
۵	پایه دوباره غیرفعال	کنترل PID دوباره برقرار می‌شود و فرآیند بر اساس مقدار هدف و فیدبک کنترل خواهد شد.
۶	فرمان RUN/STOP	بدون تغییر باقی می‌ماند؛ این ورودی فرمان روشن یا خاموش کردن موتور نیست.

در زمان فعال بودن بای‌پس، مقدار سنسور ممکن است همچنان در صفحه FbK قابل مشاهده باشد، اما برای اصلاح فرکانس خروجی استفاده نمی‌شود. با غیرفعال شدن پایه، کنترل خودکار PID دوباره ادامه پیدا می‌کند.

(۱۲) روش تنظیم و آزمایش بای‌پس PID

جدول (10)

مرحله	اقدام اپراتور	نتیجه مورد انتظار
۱	ابتدا درایو را در حالت عادی و بدون PID آزمایش کنید و منبع فرکانس Frq را بررسی کنید.	موتور با مرجع عادی مورد نظر و در جهت صحیح کار کند.
۲	پارامتر H49 را روی 1 قرار دهید و عملکرد PID را کنترل کنید.	در حالت غیرفعال بودن پایه بای‌پس، سرعت موتور بر اساس Reference و Feedback تغییر کند.
۳	یکی از پارامترهای I20 تا I24 را روی 21 تنظیم کنید.	پایه دیجیتال متناظر برای بای‌پس PID آماده شود.
۴	پایه انتخاب‌شده را با کلید، رله یا خروجی کنترلی مناسب فعال و غیرفعال کنید.	در حالت فعال، مرجع عادی و در حالت غیرفعال، خروجی PID فرمان سرعت را تعیین کند.

مرحله	اقدام اپراتور	نتیجه مورد انتظار
۵	آزمایش را ابتدا با فرکانس پایین و شرایط ایمن انجام دهید.	تغییر سرعت، جهت و عملکرد فرآیند قابل کنترل و بدون وضعیت خطرناک باشد.
۶	مقدار مرجع عادی، حداقل و حداکثر فرکانس و زمان‌های شتاب و کاهش سرعت را بررسی کنید.	هنگام تغییر حالت، موتور از محدوده مجاز مکانیکی و فرآیندی خارج نشود.

۱۳) نکات مهم هنگام استفاده

- قبل از فعال کردن پایه بای‌پس، مقدار مرجع عادی انتخاب‌شده در Frq را کنترل کنید؛ این مقدار نباید ناخواسته صفر، بسیار کم یا حداکثر باشد.
- فعال شدن پایه بای‌پس باعث توقف موتور نمی‌شود و فقط روش تعیین فرکانس را تغییر می‌دهد.
- اگر فرکانس خروجی PID با مرجع عادی اختلاف زیادی داشته باشد، هنگام تغییر حالت افزایش یا کاهش محسوس سرعت طبیعی است.
- برای بازگشت خودکار به کنترل PID، پارامتر H49 باید روی 1 باقی بماند.
- این قابلیت جایگزین توقف اضطراری یا مدار ایمنی نیست. برای توقف اضطراری از تجهیزات و مدار ایمنی مستقل استفاده کنید.

توجه: در زمان راه‌اندازی، ابتدا مرجع عادی را روی مقدار ایمن تنظیم کنید؛ سپس پایه بای‌پس را آزمایش کنید. اگر با فعال یا غیرفعال شدن پایه، سرعت در جهت یا محدوده نامناسب تغییر کرد، تنظیمات H55، H56، Frq و زمان‌های شتاب و کاهش سرعت را بررسی کنید.

۱۴) نکات ایمنی و محدودیت‌ها

- قبل از فعال کردن PID، صحت سیم‌کشی سنسور و جهت تغییر Feedback را بررسی کنید؛
- برای پمپ، حداقل و حداکثر فرکانس را طوری تنظیم کنید که به پمپ، لوله، شیرها یا فرآیند آسیب وارد نشود؛
- اگر سنسور قطع شود یا مقدار غیرواقعی بدهد، PID ممکن است خروجی را به حد بالا یا پایین ببرد؛ برای کاربردهای حساس، حفاظت جداگانه لازم است؛
- در کاربردهای فشار، از شیر اطمینان و حفاظت مکانیکی مناسب استفاده شود؛ و

- تنظیم PID باید با بار واقعی و در شرایط ایمن انجام شود. از تغییر ناگهانی مقدارهای H52، H51، و H53 خودداری کنید.

۱۵ مطالعه و راه اندازی سریع

جدول (11)

ردیف	کار مورد نیاز	مقدار شروع پیشنهادی
۱	تست موتور بدون PID	موتور باید در مد عادی درست کار کند.
۲	انتخاب Feedback	H50=0 برای I1 یا H50=1 برای V1
۳	مشاهده FbK	با تغییر سنسور، مقدار FbK باید تغییر منطقی داشته باشد.
۴	انتخاب Reference	H57 مطابق منبع Setpoint
۵	مشاهده rEF	مقدار rEF باید همان هدف مورد انتظار باشد.
۶	تنظیم جهت	H59=0 برای بیشتر پمپهای فشار. در صورت حرکت اشتباه تغییر داده شود.
۷	تنظیم حد بالا	H55= حداکثر فرکانس مجاز، مثلاً ۵۰۰ برای Hz 50.0
۸	تنظیم حد پایین	H56= حداقل فرکانس مجاز، مثلاً ۵ برای Hz 0.5
۹	شروع ضرایب	H51=300، H52=10، H53=0
۱۰	فعال سازی PID	H49=1
۱۱	تنظیم بای پس PID	یکی از I20 تا I24 روی مقدار 21 قرار داده شود.
۱۲	آزمایش بای پس PID	پایه غیرفعال: کنترل PID؛ پایه فعال: مرجع عادی Frq
۱۳	اصلاح نهایی	نوسان: H51 کمتر یا H52 بیشتر کندی: H51 بیشتر یا H52 کمتر

توجه: قبل از تغییر ضرایب PID، همیشه rEF و FbK را از روی کپی کنترل کنید. اگر مقدار هدف یا فیدبک اشتباه باشد، تغییر H52، H51، و H53 مشکل اصلی را حل نمی کند.