

НАЛАШТУВАННЯ ІНВЕРТОРА СЕРІЇ GT ДЛЯ ШПИНДЕЛІВ ТА АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ 50 HZ

Повний практичний посібник з комутації обмоток (зірка / трикутник), підготовки силової мережі, програмування параметрів перетворювача частоти, вибору кривої V/F, захисту від перегріву та автоналаштування векторного режиму.

- **Обладнання:** перетворювачі частоти серії GT (однофазні 1~220V та трифазні 3~380V)
- **Сумісність:** трифазні асинхронні двигуни та шпинделі 50 Hz (2, 4, 6, 8 полюсів; потужність 0.4–11.0 kW)
- **Керування:** скалярний закон V/F (P0.00 = 0) та безсенсорне векторне керування SVC (P0.00 = 1)

ЗМІСТ ІНСТРУКЦІЇ

Запобіжні заходи: комутація обмоток (Зірка / Трикутник) та охолодження

Етап I: Підготовка до програмування (БЕЗ навантаження)

Етап II: Програмування параметрів інвертора (БЕЗ навантаження)

- Крок 1: Скидання до заводських налаштувань (P0.17 = 1) та що не скидається
- Крок 2: Встановлення частотної бази 50 Hz (P0.03–P0.06)
- Крок 3: Встановлення типу навантаження (P2.00) та номінальної потужності (P2.01)
- Крок 4: Введення паспортних характеристик двигуна 50 Hz (P2.02–P2.05)
- Крок 5: Крива V/F, підйом крутного моменту та частота ШІМ
- Крок 6: Розгін, гальмування та режими зупинки
- Крок 7: Налаштування функцій захисту двигуна (Група Pb)
- Крок 8: Вибір схеми керування (Пульт / Клеми / Реверс / ЧПУ)

Етап III: Силове підключення, клемна коробка (БРНО) та заземлення

Етап IV: Перший безпечний пробний пуск двигуна

Етап V: Автоналаштування характеристик двигуна (Група P2)

- Статичне автоналаштування двигуна (P0.16 = 2, вал з'єднаний із навантаженням)
- Динамічне автоналаштування двигуна (P0.16 = 1, холостий хід)

Етап VI: Специфіка роботи двигуна вище номінальної частоти (50–100 Hz)

Етап VII: Готові типові конфігурації для двигунів 50 Hz

Етап VIII: Діагностика типових несправностей і помилок

Запобіжні заходи: комутація обмоток (Зірка / Трикутник) та охолодження

КРИТИЧНО ВАЖЛИВО: ВІДПОВІДНІСТЬ НАПРУГИ МЕРЕЖІ ТА СХЕМИ З'ЄДНАННЯ ОБМОТОК

Більшість трифазних асинхронних двигунів загальнопромислового стандарту потужністю до 4.0 kW мають обмотки з паспортним маркуванням **220/380 V (Δ / Y)**. Це означає, що кожна окрема обмотка статора розрахована на напругу **220 V**:

- **При підключенні до однофазного інвертора GT (вхід 1~220V, вихід 3~220V між фазами U-V-W):** обмотки двигуна необхідно обов'язково комутувати за схемою **«Трикутник» (Δ)**. Якщо залишити двигун у заводській «Зірці» (Y), до кожної обмотки замість 220 V буде прикладено лише 127 V ($220 / \sqrt{3}$). Як наслідок, вихідна потужність та крутний момент двигуна **впадуть у 3 рази**, двигун не зможе запуститися під навантаженням і почне сильно гудіти з перевантаженням за струмом.
- **При підключенні до трифазного інвертора GT (вхід 3~380V, вихід 3~380V між фазами U-V-W):** двигун 220/380 V необхідно комутувати за схемою **«Зірка» (Y)**. Помилкове ввімкнення двигуна «трикутником» під напругу 380 V призведе до подачі подвійної напруги на фазу обмотку, миттєвого магнітного насичення статора та теплового пробоя ізоляції обмоток за лічені секунди!

ОБМЕЖЕННЯ САМОВЕНТИЛЯЦІЇ НА НИЗЬКИХ ШВИДКОСТЯХ (НИЖЧЕ 20 Hz)

Стандартні асинхронні електродвигуни 50 Hz оснащені вентилятором (крильчаткою), жорстко закріпленим на задньому кінці вала ротора. Продуктивність охолодження крильчатки зменшується **пропорційно кубу швидкості** обертання вала ($Q \propto n^3$):

- На частотах **нижче 20.00 Hz** ефективність обдуву радіаторних ребер статора різко падає.
- Якщо двигун тривалий час працює під навантаженням на частотах 5–15 Hz без примусового охолодження, перегрів обмоток неминучий навіть за нормального струму статора!
- Для тривалої низькообертової роботи (подачі верстатів, приводи шнеків, намотувальні верстати) обов'язково встановлюйте **вузол незалежної примусової вентиляції** («наїзник» з окремим живленням 220 V).

Етап I: Підготовка до програмування (БЕЗ навантаження)

Перед першим поданням живлення на частотний перетворювач забезпечте безпеку механічної частини та виконайте перевірку електропостачання.

1.1. Ізоляція силового виходу або механічне розчеплення:

- Для максимальної безпеки від'єднайте кабель від вихідних клем інвертора (**U, V, W**) або зніміть приводні паси/муфту між валом двигуна і виконавчим механізмом.
- Первинне введення параметрів частотної бази та напруги виконується без навантаження на валу, щоб уникнути неконтрольованого обертання при помилковому введенні типу керування чи коду команди пуску.

1.2. Перевірка мережі живлення та заземлення:

- Перевірте мультиметром напругу живильної лінії:
 - Для однофазних інверторів (клеми R, T): **220–240 V AC $\pm 15\%$** .
 - Для трифазних інверторів (клеми R, S, T): міжфазна напруга **380–400 V AC $\pm 15\%$** .
- Обов'язково підключіть провідник захисного заземлення до клем **PE** інвертора та до корпусу двигуна. Опір контуру заземлення повинен становити **< 10 Ω** .

Етап II: Програмування параметрів інвертора (БЕЗ навантаження)

Послідовно виконайте наведені нижче 8 кроків для налаштування інвертора під асинхронний двигун або шпindel 50 Hz. Чітко дотримуйтесь порядку введення параметрів, щоб уникнути випадкового скидання налаштувань двигуна.

Крок 1: Скидання до заводських налаштувань (P0.17 = 1) та що не скидається

Подайте мережеву напругу на клеми інвертора. Перед початком програмування рекомендується скинути перетворювач до базового заводського стану для очищення невідомих уставок попередніх запусків.

Порядок скидання:

1. Натисніть клавішу **PRG/ESC** — на дисплеї відобразиться **P0**.
2. Натисніть **DATA/ENT** — на дисплеї відобразиться **P0.00**.
3. Клавішами **▲** / **▼** перейдіть до параметра **P0.17** та натисніть **DATA/ENT**.
4. Змініть значення з **0** на **1** та підтвердіть клавішею **DATA/ENT**.
5. Інвертор відновить стандартні параметри за замовчуванням (значення автоматично повернуться в 0).

ЩО САМЕ НЕ СКИДАЄТЬСЯ КОМАНДОЮ P0.17 = 1

Параметр **P0.17 = 1** відновлює більшість функцій інвертора (джерела завдань, рампи розгону/гальмування, входи/виходи), проте **не скидає** наступні системні дані:

- **Параметри електродвигуна (Група P2):** значення номінальної потужності P2.01, напруги P2.04, струму P2.05 та розраховані опори обмоток (P2.06–P2.10) зберігаються в енергонезалежній пам'яті. Повне оновлення групи P2 відбувається лише при зміні параметра **P2.01**.
- **Журнал аварійних відключень:** історія останніх несправностей та збережені параметри на момент аварії не стираються командою P0.17 = 1 (для очищення історії використовується команда **P0.17 = 2**).
- **Пароль користувача (P7.00):** якщо було встановлено пароль захисту, скидання не виконається, доки не буде введено правильний ключ доступу.

Крок 2: Встановлення частотної бази 50 Hz (P0.03–P0.06)

Встановіть діапазон регулювання частоти. Інвертор перевіряє логічну умову **P0.03** ≥ **P0.04** ≥ **P0.05** , тому завжди починайте введення з параметра P0.03.

Код	Назва параметра	Встановити	Пояснення та обґрунтування для 50 Hz
P0.03	Максимальна вихідна частота	50.00 Hz (до 60–100 Hz опційно)	Верхня межа вихідної частоти інвертора. Для стандартного промислового двигуна — 50.00 Hz . Якщо технологічний процес вимагає перевищення швидкості (ослаблення поля), допускається встановлення до 60.00–100.00 Hz (див. Етап VI).
P0.04	Верхня межа робочої частоти	50.00 Hz	Максимальна робоча частота за сигналом завдання (потенціометр / аналоговий вхід). Встановлюється рівною або меншою за P0.03.
P0.05	Нижня межа робочої частоти	15.00 Hz (або 5.00 Hz з обдувом)	Критичний захист від перегріву! Для стандартного двигуна з крильчаткою на валу робота нижче 15.00–20.00 Hz під навантаженням веде до швидкого перегріву. При наявності незалежного вентилятора допускається зниження до 5.00 Hz (або 0.50 Hz у режимі SVC).
P0.06	Опорна цифрова частота	50.00 Hz	Початкова уставка заданої частоти при запуску з цифрової клавіатури інвертора.

Крок 3: Встановлення типу навантаження (P2.00) та номінальної потужності (P2.01)

Цей крок визначає базову математичну модель перетворювача частоти та перевантажувальні межі струму.

Код	Назва параметра	Встановити	Пояснення та вимоги
P2.00	Тип навантаження інвертора	0 (Модель G)	• 0: Модель G (Constant Torque): Постійний крутний момент. Перевантаження 150% протягом 60 s. Застосовується для шпинделів верстатів, токарних/фрезерних верстатів, конвеєрів, пилорам та підйомних механізмів. • 1: Модель P (Variable Torque): Змінний крутний момент для відцентрових насосів та вентиляторів (перевантаження 120% протягом 60 s).
P2.01	Номінальна потужність двигуна	Значення з шильдика (kW)	Номінальна паспортна потужність двигуна в кіловатах (наприклад, 1.5 kW, 2.2 kW, 3.0 kW, 4.0 kW тощо). Вводиться строго до введення параметрів P2.02–P2.05!

УВАГА: ЗМІНА ПАРАМЕТРА P2.01 СКИДАЄ НАЛАШТУВАННЯ ДВИГУНА!

Параметр **P2.01** є кореневим індикатором типорозміру двигуна в мікропрограмі інвертора GT.

Будь-яка зміна або повторне підтвердження P2.01 автоматично ініціалізує та перезаписує внутрішні константи обмоток P2.06–P2.10 типовими табличними значеннями для даної потужності, а також скидає струм P2.05 до розрахункового!

Правильна послідовність: спочатку виставляєте **P2.00 = 0** та вводите потужність **P2.01**, і лише потім переходите до Кроку 4 (введення P2.02–P2.05).

Крок 4: Введення паспортних характеристик двигуна 50 Hz (P2.02–P2.05)

Знайдіть металевий шильдик на корпусі двигуна і перенесіть точні параметри в інвертор:

Код	Назва параметра	Встановити	Пояснення та обґрунтування для 50 Hz
P2.02	Номінальна базова частота	50.00 Hz	Базова точка характеристики V/F (частота перегину f_b). На цій частоті інвертор видає повну номінальну напругу P2.04. Для промислових двигунів строго 50.00 Hz (для імпортованих 60 Hz машин вводиться 60.00 Hz).
P2.03	Номінальна швидкість обертання	Значення з шильдика (типово 1400–1460 або 2850–2950 грт)	Фактичні оберти ротора під номінальним навантаженням (з урахуванням асинхронного ковзання s): • 2-полюсні двигуни ($p = 1$): синхронна швидкість 3000 грт, номінальна на шильдику: 2850–2950 грт . • 4-полюсні двигуни ($p = 2$): синхронна швидкість 1500 грт, номінальна на шильдику: 1400–1460 грт (найбільш поширені). • 6-полюсні двигуни ($p = 3$): синхронна швидкість 1000 грт, номінальна на шильдику: 920–960 грт . • 8-полюсні двигуни ($p = 4$): синхронна швидкість 750 грт, номінальна на шильдику: 700–720 грт . <i>Вводьте саме паспортне значення (наприклад, 1420), а не синхронні 1500! Це необхідно інвертору для точної компенсації ковзання.</i>
P2.04	Номінальна напруга двигуна	220 V / 380 V (залежно від схеми)	Напруга відповідно до обраної схеми з'єднання в клемній коробці (БРНО): • Якщо інвертор однофазний (GT 1~220V) і двигун підключено трикутником (Δ) → встановіть 220 V . • Якщо інвертор трифазний (GT 3~380V) і двигун підключено зіркою (Y) → встановіть 380 V .
P2.05	Номінальний струм двигуна	Значення з шильдика (A)	Паспортний номінальний струм для обраної напруги. Наприклад, для двигуна 1.5 kW на шильдику вказано: 220/380V — 6.1/3.5A : • При підключенні Δ (220 V) введіть 6.1 A . • При підключенні Y (380 V) введіть 3.5 A .

Крок 5: Крива V/F, підйом крутного моменту та частота ШІМ

Налаштування закону співвідношення напруги і частоти та оптимізація силового ключа IGBT під низькочастотний двигун.

Код	Назва параметра	Встановити	Пояснення та обґрунтування для 50 Hz
P0.00	Режим керування швидкістю	0	• 0: Скалярне керування V/F: простий універсальний режим, стійкий до неточних констант двигуна. Рекомендується для першого запуску та при паралельному підключенні двох двигунів. • 1: Векторне керування SVC (Sensorless Vector Control): забезпечує повний номінальний крутний момент (до 150%) вже від 0.5–1 Hz і компенсацію ковзання під навантаженням. Векторне керування SVC активується ТІЛЬКИ після автоналаштування!
P4.00	Форма характеристики V/F	0 (Пряма лінійна)	0: Лінійна характеристика постійного моменту ($V/f = \text{const}$). Забезпечує стабільний магнітний потік у діапазоні регулювання від нижньої межі до 50.00 Hz.
P4.01	Підйом моменту (Torque Boost)	1.5% ~ 3.0% (заводське типово 2.0%)	Компенсація омичного падіння напруги на активному опорі статора на низьких частотах (до 15–20 Hz): • Для двигунів 50 Hz потрібен підйом 1.5% ~ 3.0% (для двигунів понад 5.5 kW достатньо 1.0% ~ 2.0%). • Якщо пуск відбувається під важким механічним навантаженням, збільште до 3.0% ~ 4.0%. Якщо двигун сильно гуде або гріється на холостому ході — знизьте до 1.0% ~ 1.5%.
P4.02	Частота зрізу підйому моменту	25.00 ~ 50.00 Hz	Частота, вище якої додаткова компенсація напруги плавно сходить нанівець, повертаючись до чистого лінійного співвідношення.
P0.14	Несуча частота ШІМ (Carrier Frequency)	2.0 ~ 4.0 kHz	Важлива відмінність від шпинделів 400 Hz! Для двигунів 50 Hz оптимальною є несуча частота 2.0 ~ 4.0 kHz : • Товсті пластини електротехнічної сталі статора 50 Hz мають вищі вихрові втрати при високому ШІМ. • Частота понад 6–8 kHz створює значні ємнісні струми витоку в довгому кабелі, перегріває IGBT-модуль інвертора та прискорює електрокорозійне руйнування підшипників двигуна. • Підвищувати до 6.0 kHz варто лише у випадках, коли критично необхідно усунути чутний акустичний писк двигуна у житлових/лабораторних приміщеннях.
P0.15	Автоматичне регулювання напруги (AVR)	1 (Увімкнено)	1: Стабілізує напругу живлення двигуна при просіданнях або стрибках вхідної мережі 220 V / 380 V.

Крок 6: Розгін, гальмування та режими зупинки

Час розгону і гальмування для приводів 50 Hz залежить від моменту інерції механізму (шків, патрони верстатів, редуктори).

Код	Назва параметра	Встановити	Пояснення та рекомендації
P0.11	Час розгону (Acceleration Time 1)	3.0 ~ 10.0 s	Час виходу від 0.00 Hz до максимальної частоти P0.03. Для легких приводів без навантаження (свердильні верстати) достатньо 2.0–3.0 s. Для масивних шпинделів, важких дисків пилок або токарних патронів встановлюйте 5.0–10.0 s для запобігання перевантаженню за струмом (помилка OC).
P0.12	Час уповільнення (Deceleration Time 1)	3.0 ~ 10.0 s	Час примусового гальмування двигуна до зупинки. За наявності великої інерції надто швидке гальмування перетворює двигун на генератор і викликає спрацювання захисту від перенапруги на шині DC (помилка OV). При потребі динамічного гальмування (1–2 s) необхідно підключити зовнішній гальмівний резистор (клеми + і PB).
P1.06	Режим зупинки	0 або 1	• 0: Зупинка з уповільненням (Decelerate to stop): інвертор контролює темп гальмування за часом P0.12. • 1: Зупинка самовибіром (Coast to stop): при натисканні STOP інвертор миттєво вимикає вихідні транзистори, і вал зупиняється виключно під дією сил природного тертя. Рекомендується для високоінерційних вентиляторів, дискових пилок або млинів, щоб повністю виключити перенапругу (OV).

Крок 7: Налаштування функцій захисту двигуна (Група Pb)

Комплексний захист від перегріву, обриву фаз та механічного блокування вала.

Код	Назва параметра	Встановити	Призначення та особливості для 50 Hz
Pb.01	Захист від обриву вихідної фази (SPO)	1 (Увімкнено)	1: Активує виявлення обриву будь-якого з силових провідників U, V, W. Захищає двигун від небезпечного двофазного режиму (перегрів і згоряння обмоток).
Pb.02	Тип теплового перевантаження (OL1)	1 або 2	Критично важливий вибір: • 1: Звичайний двигун із самовентиляцією (Standard motor): мікропроцесор автоматично зменшує допустимий поріг тривалого струму при роботі нижче номінальної частоти 50 Hz, враховуючи ослаблення штатної крильчатки! • 2: Двигун із примусовим незалежним охолодженням: поріг захисту за струмом залишається 100% на будь-якій робочій частоті.
Pb.03	Коефіцієнт захисту від перевантаження	100.0%	100.0% відповідає паспортному струму, введеному в параметр P2.05. Якщо двигун експлуатується у важкому теплому середовищі (t > 40°C), коефіцієнт можна знизити до 90.0%.
Pb.08	Поріг автообмеження струму (OC)	120.0% ~ 150.0%	Рівень струму, при досягненні якого інвертор автоматично уповільнює розгін або тимчасово знижує частоту, не допускаючи аварійного спрацювання за надструмом (помилка OC) при різкому врізанні інструменту.
Pb.09	Швидкість зниження частоти при обмеженні	10.00 Hz/s	Швидкість скидання вихідної частоти для швидкого розвантаження двигуна при загрозі перевантаження.
Pb.10	Дія автообмеження струму	0 (Постійно)	0: Обмеження активне на всіх стадіях (під час прискорення, гальмування та на сталій робочій швидкості).
Pb.11	Реакція на перевантаження за моментом (OL3)	2 (Аварія OL3)	2: Аварійна зупинка при заклинюванні механізму, захищає редуктори, паси та підшипники вузла від механічного руйнування.

Крок 8: Вибір схеми керування (Пульт / Клеми / Реверс / ЧПУ)

Оберіть необхідний режим запуску та регулювання швидкості:

Режим експлуатації	P0.01 (Пуск / Стоп)	P0.07 (Частота)	Комутація та логіка сигналів
Варіант А: Пульт інвертора	0 (Кнопки RUN/STOP)	0 (Потенціометр) або 1 (Клавіші ▲/▼)	Повністю автономне ручне керування з панелі перетворювача. Для роботи потенціометра джампер J1 встановлюється в положення 1-2.
Варіант Б: Двودротова схема з реверсом (Тумблер Вперед / Назад)	1 (Клемне керування)	0 (Потенціометр) або 2 (Вхід AI2)	Трипозиційний перемикач (Вперед — Стоп — Назад): - Контакт «Вперед» підключається між клемми S1 і COM (параметр P5.01 = 1). - Контакт «Назад» підключається між клемми S2 і COM (параметр P5.02 = 2). - Двودрововий режим активний за замовчуванням (параметр P5.10 = 0).
Варіант В: Керування від системи ЧПУ / ПЛК	1 (Клема S1)	2 (Аналоговий вхід AI2)	- Релейний сигнал запуску контролера ЧПУ підключається до S1 і COM. - Сигнал швидкості 0–10 V подається на клеми AI2 (+) та GND (-). - Перемикач J16 встановлюється в положення напруги «V».

Етап III: Силове підключення, клемна коробка (БРНО) та заземлення

Правильна комутація мідних перемичок у коробці виводів двигуна (БРНО) є головною запорукою розвитку паспортного крутного моменту та запобігання аваріям.

ПРАВИЛО ЗНЕСТРУМЛЕННЯ

1. Вимкніть ввідний автомат живлення інвертора.
2. Зачекайте щонайменше **5–10 хвилин** до повного згасання світлодіодного індикатора **CHARGE**. Переконайтеся мультиметром, що напруга на шині DC (клеми + і -) опустилася нижче 36 V, перш ніж виконувати підключення проводів.

3.1. Схеми комутації перемичок у клемній коробці двигуна:

Всередині коробки розміщено 6 силових шпильок: верхній ряд **W2 - U2 - V2** та нижній ряд **U1 - V1 - W1**.

- **Схема «Трикутник» (Δ) — для напруги 220 V (вихід однофазного інвертора GT-xxxG-2):**

Встановіть три паралельні вертикальні перемички:

- Перемичка 1: між контактами **U1 та W2**
- Перемичка 2: між контактами **V1 та U2**
- Перемичка 3: між контактами **W1 та V2**

Три фазні дроти кабелю від клем інвертора **U, V, W** підключаються до контактів U1, V1, W1 відповідно.

- **Схема «Зірка» (Y) — для напруги 380 V (вихід трифазного інвертора GT-xxxG-4):**

Встановіть дві перемички горизонтально в один ряд, об'єднавши всі три контакти верхнього ряду:

- Об'єднайте контакти **W2 — U2 — V2** між собою горизонтальними пластинами.
- Три фазні дроти кабелю від клем інвертора **U, V, W** підключаються до контактів нижнього ряду U1, V1, W1.

3.2. Вимоги до силового кабелю та заземлення:

- Використовуйте гнучкий мідний кабель (бажано екранований TRVV або RVVP). Орієнтовні перерізи живлення двигуна:
 - До 1.5 kW: **4 × 1.5 mm²**
 - 2.2 – 4.0 kW: **4 × 2.5 mm²**
 - 5.5 – 7.5 kW: **4 × 4.0 mm²**
- Четверта жила обов'язково з'єднує гвинт заземлення корпусу двигуна **PE** з клемою заземлення інвертора **PE**.
- Екран силового кабелю заземлюється з одного боку — на клему PE в шафі інвертора (створення замкнутого екрана без паразитної петлі заземлення).

Етап IV: Перший безпечний пробний пуск двигуна

Після завершення монтажу проводів та перевірки надійності затяжки клем виконайте пробний запуск двигуна.

Порядок виконання першого пуску:

1. Подайте напругу живлення на перетворювач частоти.
2. Виставте на дисплеї безпечну початкову уставку частоти: **15.00–20.00 Hz**.
3. Натисніть кнопку **RUN** на пульті інвертора. Двигун почне плавно розганятися протягом встановленого часу розгону P0.11.
4. **Перевірте напрямок обертання:** якщо вал обертається у зворотний бік, натисніть **STOP**, дочекайтеся повної зупинки, повністю знеструмте інвертор і поміняйте місцями будь-які два проводи між вихідними клемми: наприклад, **U та V**.
5. Клавішею **SHIFT** перемкніть екран у режим відображення вихідного струму. Струм холостого ходу двигуна 50 Hz на частоті 50 Hz становить типово **30% ~ 50%** від номінального паспортного струму. Якщо струм перевищує 70–80% від P2.05 на холостому ході — негайно зупиніть привід та перевірте правильність схеми перемичок у БРНО (зірка / трикутник) та уставку параметра P4.01 (підйом моменту).
6. Плавно підвищуйте частоту від 20.00 Hz до номінальних 50.00 Hz. Хід двигуна повинен бути рівномірним, без вібрацій та незвичного шуму.
7. Натисніть кнопку **STOP/RST** та переконайтеся у плавному гальмуванні приводу.

Етап V: Автоналаштування характеристик двигуна (Група P2)

Автоналаштування (Motor Autotuning) забезпечує автоматичне прецизійне вимірювання внутрішніх параметрів схеми заміщення двигуна: активного опору статора R_1 , ротора R_2 , індуктивності розсіювання L_σ , взаємної індуктивності L_m та струму холостого ходу I_0 . Ці параметри критично необхідні для високоточного безсенсорного векторного керування (SVC, P0.00 = 1).

Статичне автоналаштування двигуна (P0.16 = 2, вал з'єднаний із навантаженням)

Виконується без обертання вала ротора. Застосовується, коли двигун уже механічно підключений до верстата, редуктора чи насоса, і розчеплення вала є трудомістким або неможливим.

Порядок дій:

1. Перевірте правильність введення паспортних характеристик двигуна **P2.01–P2.05**.
2. Увійдіть у меню параметрів, виберіть **P0.16**, встановіть значення **2** та натисніть **DATA/ENT**.
3. На дисплеї з'являється індикація **-TUN-**.
4. Натисніть кнопку **RUN** на пульті інвертора.
5. Засвітиться індикатор **RUN/TUNE**, на дисплеї з'явиться **TUN-0**. Інвертор подає випробувальні імпульси струму в обмотки (чутно характерний писк ШІМ, вал не рухається). Процес триває приблизно 20–30 s.
6. Після завершення на екрані з'явиться **-END-**. Інвертор автоматично розрахує та запише значення в параметри **P2.06** (опір статора), **P2.07** (опір ротора) та **P2.08** (індуктивність розсіювання).

РУЧНЕ ВВЕДЕННЯ СТРУМУ ХОЛОСТОГО ХОДУ (P2.10)

При лише статичному автоналаштуванні інвертор не може автоматично виміряти струм холостого ходу **P2.10**. Для активації векторного режиму SVC (**P0.00 = 1**) введіть параметр P2.10 вручну:

- Запустіть двигун без навантаження на частоті 50.00 Hz у скалярному режимі V/F (**P0.00 = 0**).
- Кнопкою **SHIFT** подивіться виміряний струм холостого ходу на дисплеї і введіть це число в **P2.10** (типово 30–45% від номінального струму P2.05).

Динамічне автоналаштування двигуна (P0.16 = 1, холостий хід)

Забезпечує максимальну точність векторної моделі за рахунок розгону двигуна на холостому ході до повної номінальної швидкості. Вимагає повного механічного від'єднання вала від навантаження (зняті ремені, демонтована муфта)!

Порядок дій:

1. Переконайтеся, що вал двигуна повністю вільний, шпонка закріплена або знята.
2. Перевірте, що час розгону і гальмування (P0.11, P0.12) встановлено не менше 5.0 s.
3. У параметрі P0.16 виставте значення 1 та натисніть DATA/ENT (на табло з'являється -TUN-).
4. Натисніть кнопку RUN.
5. Фаза 1 (TUN-0): вал нерухомий, інвертор вимірює опори R_1 , R_2 та індуктивність L_σ (близько 15–20 s).
6. Фаза 2 (TUN-1): інвертор плавно розганяє двигун до 50.00 Hz, вимірює взаємну індуктивність L_m (P2.09) і струм холостого ходу I_0 (P2.10), після чого плавно зупиняє двигун.
7. Після відображення -END- векторна модель повністю готова.
8. Увімкнення векторного режиму: встановіть параметр P0.00 = 1 (Sensorless Vector Control). Двигун отримає високий пусковий крутний момент (до 150%) та точну стабілізацію обертів при коливаннях навантаження.

Етап VI: Специфіка роботи двигуна вище номінальної частоти (50–100 Hz)

У багатьох верстатах (фрезерні по дереву, шліфувальні верстати, циркулярні пили) виникає потреба підняти частоту обертання стандартного двигуна 50 Hz вище номінальної (до 60, 75 або 100 Hz). Розглянемо фізичні особливості та обмеження цього режиму:

РЕЖИМ ОСЛАБЛЕННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ (FIELD WEAKENING)

Інвертор не може видати напругу вище вхідної мережевої (220 V або 380 V). При збільшенні частоти вище базової точки **P2.02 = 50.00 Hz** вихідна напруга залишається постійною на рівні 100%:

- Співвідношення V/f починає падати зі зростанням частоти. Магнітний потік статора послаблюється.
- **Потужність залишається постійною ($P = \text{const}$):** двигун переходить із зони постійного моменту в зону постійної потужності.
- **Крутний момент падає обернено пропорційно частоті:** на частоті 75 Hz крутний момент становить приблизно $50 / 75 = 67\%$ від номінального, а на частоті 100 Hz — лише $50 / 100 = 50\%$ від номінального.
- Максимальний критичний момент перекидання двигуна падає ще швидше — пропорційно квадрату частоти ($50 / f^2$), тому при частоті понад 75 Hz здатність протистояти ударним перевантаженням суттєво знижується.

МЕХАНІЧНІ ТА АКУСТИЧНІ ОБМЕЖЕННЯ

- **Підшипники:** більшість загальнопромислових двигунів (наприклад, серій AIP, 4AM тощо) мають стандартні підшипники та балансування, розраховані максимум на 3000–3600 rpm. Якщо 2-полюсний двигун (3000 rpm на 50 Hz) розігнати до 100 Hz, його швидкість складе **6000 rpm**, що призведе до руйнування сепараторів підшипників та сильної вібрації ротора.
- **Безпечні межі:**
 - 4-полюсні двигуни (1500 rpm): безпечно розганяти до **75–100 Hz** (швидкість ротора до 2200–2900 rpm, що не перевищує граничних швидкостей стандартних підшипників серії 62xx/63xx).
 - 2-полюсні двигуни (3000 rpm): не рекомендується перевищувати **60.00 Hz** (3600 rpm) без спеціальних прецизійних підшипників та балансування ротора.
- **Аеродинамічний шум крильчатки:** на швидкості вище номінальної штатна крильчатка створює надмірний аеродинамічний свист та споживає відчутну частку корисної потужності двигуна.

Етап VII: Готові типові конфігурації для двигунів 50 Hz

Зведена таблиця орієнтовних налаштувань інвертора серії GT для трьох найбільш поширених прикладів використання електродвигунів 50 Hz:

Код	Параметр	Пресет 1: Двигун 1.5 kW 1500 rpm на інверторі 1~220V	Пресет 2: Двигун 3.0 kW 3000 rpm на інверторі 3~380V	Пресет 3: Двигун 2.2 kW з примусовим обдувом (5–50 Hz)
P0.00	Режим керування	0 (V/F) або 1 (SVC)	0 (V/F) або 1 (SVC)	1 (SVC — векторний)
P0.03	Максимальна частота	50.00 Hz	50.00 Hz (або 60 Hz)	50.00 Hz
P0.04	Верхня межа частоти	50.00 Hz	50.00 Hz	50.00 Hz
P0.05	Нижня межа частоти	15.00 Hz (самовентиляція)	20.00 Hz (самовентиляція)	5.00 Hz (примусовий обдув)
P0.11	Час розгону (ACC)	3.0 ~ 5.0 s	5.0 ~ 8.0 s	3.0 s
P0.12	Час гальмування (DEC)	3.0 ~ 5.0 s	6.0 ~ 10.0 s	3.0 s
P0.14	Частота ШІМ	2.0 ~ 4.0 kHz	2.0 ~ 3.0 kHz	4.0 kHz
P2.00	Тип навантаження	0 (Тип G — постійний момент)	0 (Тип G — постійний момент)	0 (Тип G — постійний момент)
P2.01	Номінальна потужність	1.5 kW	3.0 kW	2.2 kW
P2.02	Базова частота	50.00 Hz	50.00 Hz	50.00 Hz
P2.03	Номінальні оберти	1420 rpm (4 полюси)	2880 rpm (2 полюси)	1430 rpm (4 полюси)
P2.04	Номінальна напруга	220 V (Схема Δ)	380 V (Схема Y)	220 V (Δ) або 380 V (Y)
P2.05	Номінальний струм	~6.2 A (за шильдиком Δ)	~6.8 A (за шильдиком Y)	За шильдиком під схему
P4.01	Підйом моменту	2.0% ~ 2.5%	1.5% ~ 2.0%	2.0% (або режим SVC)
Pb.01	Захист від обриву фази	1 (Увімкнено)	1 (Увімкнено)	1 (Увімкнено)
Pb.02	Тепловий захист (OL1)	1 (Самовентиляція)	1 (Самовентиляція)	2 (Примусовий обдув)

Етап VIII: Діагностика типових несправностей і помилок

Симптом / Код аварії	Найбільш імовірна причина	Практичний спосіб усунення
Двигун гуде, не набирає обертів під навантаженням (інвертор 220V)	Помилкова комутація обмоток: двигун залишився підключеним у «Зірку» (Y 380V) при живленні від виходу 3~220V. Крутний момент впав утричі.	Відкрийте клемну коробку (БРНО) двигуна і переставте мідні перемички у положення «Трикутник» (Δ 220V) — три паралельні вертикальні перемички між U1-W2, V1-U2, W1-V2.
Сильний нагрів двигуна на низьких частотах (< 20 Hz)	Недостатній потік охолоджувального повітря від штатної крильчатки, жорстко з'єднаної з валом ротора.	1. Підніміть нижню межу робочої частоти P0.05 до 15.00–20.00 Hz. 2. Для роботи на частотах 5–15 Hz встановіть незалежний вентилятор примусового охолодження («наїзник»). 3. Перевірте, що параметр Pb.02 встановлено в 1 (захист двигуна з самовентиляцією).
OC (Overcurrent) Надструм при розгоні або роботі	1. Занадто короткий час розгону P0.11 для масивного навантаження. 2. Завищений підйом крутного моменту P4.01 (насичення заліза). 3. Механічне заклинювання або перекіс вала.	1. Збільште час розгону P0.11 з 3 s до 6–10 s. 2. Знизьте параметр P4.01 до 1.5% ~ 2.0%. 3. Перевірте вільне обертання вала вручну при знеструмленому приводі.
OV (Overvoltage) Перенапруга на шині DC при гальмуванні	Генераторний режим двигуна під час швидкого скидання обертів маховика чи важкого патрона.	1. Збільште час гальмування P0.12 до 8–15 s. 2. Активуйте зупинку самовибігом: параметр P1.06 = 1. 3. Для швидкого гальмування підключіть гальмівний резистор до клем (+) та PB.
SPO (Output Phase Loss) Втрата вихідної фази U, V, W	Порушення контакту в кабелі або послаблення затяжки гвинтів клемника інвертора / БРНО.	Знеструмте інвертор та перевірте затяжку силових гвинтів на клемах U, V, W перетворювача та на шпильках у клемній коробці двигуна.
OL1 (Motor Overload) Теплове перевантаження електродвигуна	1. Тривалий струм навантаження перевищує номінальний струм P2.05. 2. Занижений параметр P2.05 відносно реального струму двигуна.	1. Звірте струм у параметрі P2.05 з паспортним шильдиком для обраної схеми з'єднання. 2. Зменшіть механічне навантаження або глибину різання верстата.
Високочастотний акустичний писк у двигуні	Резонанс пластин статора на низькій заводській частоті ШІМ.	Збільште параметр P0.14 з 2.0 kHz до 4.0 ~ 6.0 kHz (не перевищуйте 6.0 kHz для запобігання надмірному нагріванню радіатора інвертора).