

**Інформація про інтегратора
V2.10.0-pre0-5839-g6cb44daad3**

Contents

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Інформація про степер | 1 |
| 1.1 | Робота крокового двигуна | 1 |
| 1.2 | Вибір блоку живлення для крокового двигуна | 3 |
| 1.3 | Резонанс | 4 |
| 1.4 | Мікрокрокове керування | 4 |
| 1.5 | Відкритий та замкнутий цикл | 5 |
| 2 | Кроковий таймінг | 7 |
| 3 | Найкращі методи електропроводки | 14 |
| 3.1 | Електричний шум | 14 |
| 3.2 | Земля, земля та спільне | 14 |
| 3.3 | Вибір та використання дроту | 14 |
| 3.3.1 | Однопровідний дріт | 15 |
| 3.3.2 | Екранований дріт | 15 |
| 3.4 | Напруга мережі змінного струму | 16 |
| 3.5 | Блоки живлення | 16 |
| 3.5.1 | Заземлення змінного струму | 16 |
| 3.5.2 | Загальний DC | 17 |
| 3.6 | Живлення постійного струму | 17 |
| 3.7 | Сигнальні дроти та лінії керування | 17 |
| 3.8 | Драйвери крокових або серводвигунів | 18 |
| 3.9 | Частотні приводи | 18 |
| 3.10 | Маршрутизація провідників | 18 |
| 3.10.1 | Прокладання рухомих проводів | 18 |
| 3.10.2 | Прокладання стаціонарних проводів | 19 |
| 3.11 | Механічний шум | 19 |
| 3.11.1 | Апаратне усунення дребезгу | 19 |
| 3.11.2 | Виправлення помилок у програмному забезпеченні | 19 |
| 3.12 | Документація | 20 |
| 3.12.1 | Документація апаратного забезпечення | 20 |
| 3.12.2 | Схеми підключення | 20 |
| 3.12.3 | Ідентифікація проводки | 20 |

Chapter 1

Інформація про степер

1.1 Робота крокового двигуна

Крокові двигуни працюють шляхом послідовного включення та вимкнення декількох котушок, що оточують ротор, таким чином, що вал магнітно змушується обертатися дискретними кроками. Кроки 0,9 - 1,8 градуса є досить поширеними, що дає 400 - 200 кроків на повний оберт вала.

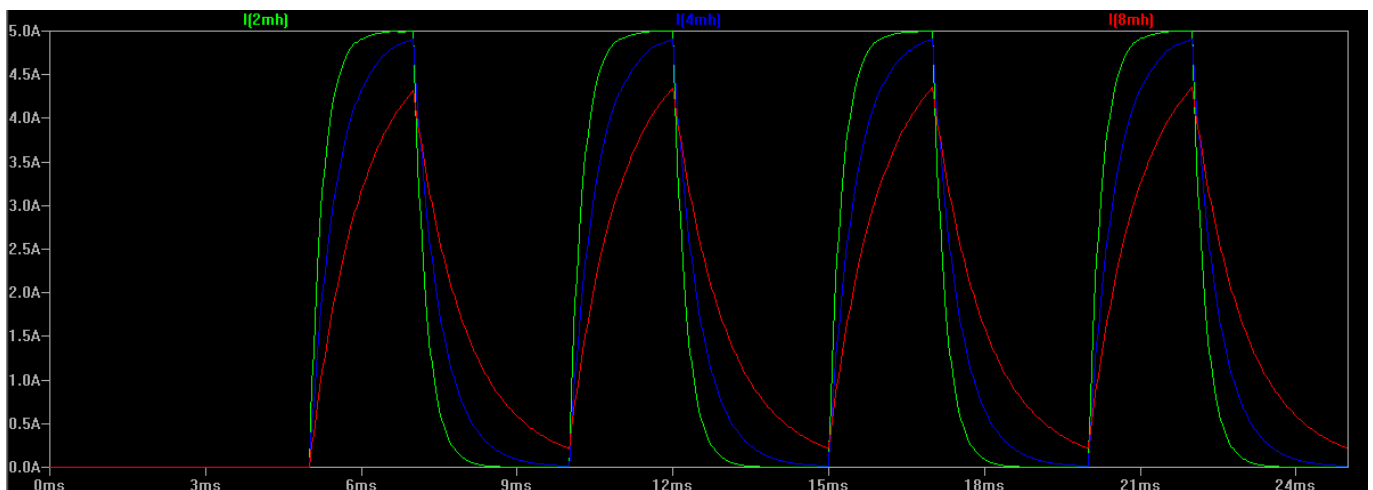
Як і в реальному житті, ніщо не може перейти з одного стану в інший без жодної затримки. У випадку крокового двигуна струм, що проходить через кожен котушку, а отже, і магнітне поле, яке притягує ротор до кожного кроку обертання, потребує певного часу, щоб почати діяти. Це пов'язано з тим, що котушка має індуктивність (виражається в генрі, скорочено літерою Н), яка має природну тенденцію чинити опір потоку швидкозмінного струму. Більша індуктивність котушки призводить до повільнішої зміни струму і, отже, до повільнішої швидкості розширення і стискання магнітного поля.

Максимальний крутний момент, який може досягти кроковий двигун, досягається, коли двигун знаходиться в нерухомому стані з однією обмоткою під напругою. Цей показник може бути вказаний в технічних характеристиках крокового двигуна як «утримуючий крутний момент». У міру збільшення частоти включення та вимкнення кожної котушки для індукції обертання вала, час, протягом якого кожна котушка може чинити повний магнітний вплив на ротор, скорочується, що призводить до зменшення загального крутного моменту. Ця залежність між швидкістю та крутним моментом є в основному обернено пропорційною.

У наведеному нижче прикладі показано час заряджання трьох котушок при зміні прикладеної напруги від 0 В до 40 В. Хоча всі три котушки можуть легко досягти повного обмеження струму в 5 ампер (А), час, необхідний для цього, для кожної котушки різний. Котушка 4 мілігенрі (мГн) (синя крива) досягає повного струму вдвічі довше, ніж котушка 2 мГн (зелена крива), а котушка 8 мГн (червона крива) — ще вдвічі довше:

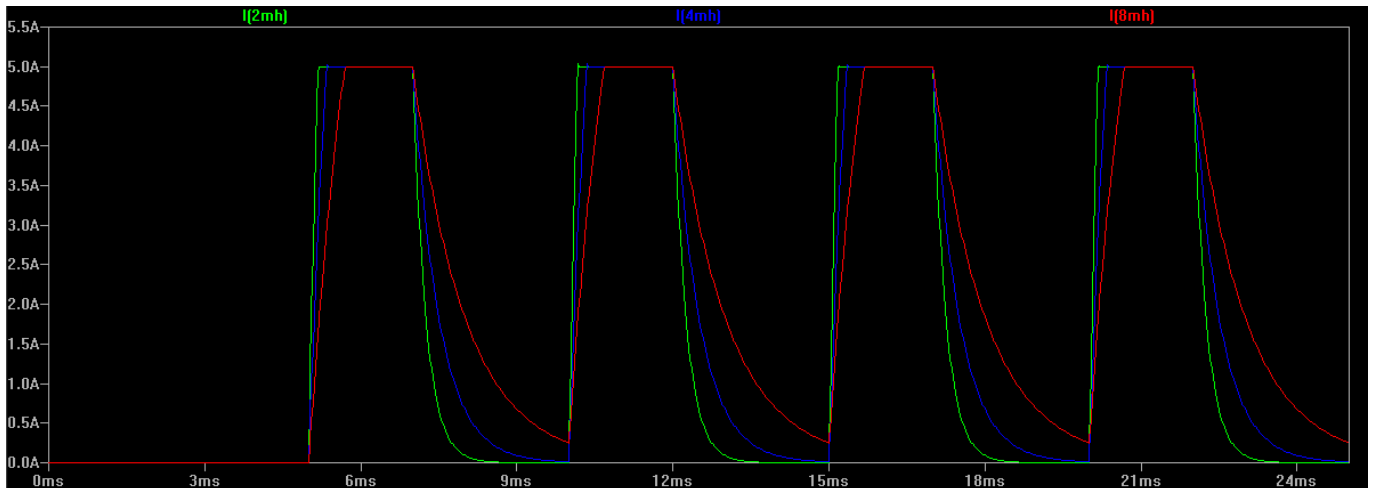


Якщо швидкість, з якою ступінчасті зміни застосовуються до котушок, значно менша за час наростання, легко побачити, що обмотка має менше часу для досягнення повного магнітного притягання до ротора, і, отже, максимальний крутний момент обмежується. У наведеному нижче прикладі котушка 2 мГн може досягти повного обмеження 5 А до зняття ступінчастої напруги, але котушки 4 мГн і 8 мГн не можуть цього зробити:



Загальноприйнятий спосіб підвищення швидкості двигуна при збереженні крутного моменту полягає у збільшенні швидкості, з якою магнітне поле котушок двигуна може розширюватися і стискатися. Найпростіший спосіб досягти цього — збільшити напругу живлення, щоб змусити струм у кожній обмотці набагато швидше зростати і падати. Більш швидкий час намагнічування означає більш швидкі крокові частоти при одночасному підвищенні крутного моменту на високих швидкостях, що, очевидно, є бажаним у системі CNC.

Використовуючи той самий приклад, що й вище, але збільшуючи ступінчасту напругу до 80 В, можна побачити, що всі три котушки тепер можуть досить легко досягти максимуму 5 А:



Однак необхідне ретельне управління більш високою напругою живлення, оскільки більш висока напруга збільшить струм, що протікає в кожній котушці, з відповідним підвищенням температури обмотки. Надмірне підвищення температури в обмотці призведе до перегріву і виходу з ладу двигуна.

У більшості систем CNC на основі крокових двигунів напруга живлення крокового драйвера на кілька порядків перевищує напругу самого двигуна. Типовий кроковий двигун NEMA23 може мати номінальну потужність лише кілька вольт, проте джерело живлення та драйвер можуть працювати при напрузі 48 В постійного струму або більше.

Майже всі сучасні драйвери крокових двигунів, що представлені сьогодні на ринку, є драйверами постійного струму. Тобто струм, що подається на кожен обмотку, є фіксованим незалежно від величини напруги, що подається. Більшість драйверів досягають цього шляхом контролю струму, що проходить через обмотки двигуна, і швидкого вмикання та вимикання виходів з дуже високою частотою для підтримки цього струму. Залежно від використовуваних драйверів, навіть можна почути цей високочастотний свист у самих двигунах, коли вони не працюють. Оскільки напруга швидко вмикається і вимикається для підтримки струму обмотки на приблизно фіксованому значенні, ці типи драйверів також відомі як «чопперні приводи».

1.2 Вибір блоку живлення для крокового двигуна

Хоча більш висока напруга безпосередньо пов'язана з більшою швидкістю і крутним моментом, очевидно, що існує межа, за якою підвищення напруги живлення вже не є вигідним. Першим обмеженням максимальної напруги живлення, ймовірно, є те, що може витримати сам кроковий драйвер. Це значення повинно бути вказано в технічному паспорті крокового драйвера, і перевищення цієї напруги призведе до руйнування драйвера. В ідеалі напруга живлення повинна бути обрана з запасом, що не перевищує цю максимальну межу напруги приблизно на 10%. Наприклад, якщо кроковий драйвер має номінальне значення V_{\max} 80 В постійного струму, максимальна напруга живлення повинна бути обмежена 72 В постійного струму.

Як згадувалося вище, надмірна напруга живлення двигуна також призводить до надмірного нагрівання обмоток двигуна, що може призвести до виходу двигуна з ладу через перегрів. Загальноприйнятним рівнянням для визначення максимальної напруги, що запобігає надмірному нагріванню, є витяг квадратного кореня з індуктивності обмотки, вказаної в технічних характеристиках двигуна (вираженої в мілльгенрі), і множення його на 32. Наприклад, вибір крокового двигуна з індуктивністю котушки 4 мГн призведе до максимальної напруги живлення $32 \times \text{SQRT}(4) = 64$ В постійного струму.

Багато технічних характеристик крокових двигунів також містять криві швидкості/крутного моменту, які часто будуються з використанням різних напруг живлення. Вивчаючи графіки, можна визначити,

що збільшення напруги живлення в два рази не призведе до відповідного поліпшення швидкості/крутного моменту в тій же мірі. Якщо від роботи крокового двигуна при 64 В постійного струму можна отримати мало користі, це може допомогти звузити коло можливих джерел живлення до 32 В постійного струму, що також допоможе мінімізувати надмірне нагрівання обмоток двигуна.

Іншим фактором, який слід враховувати, є номінальний струм джерела живлення. Він базується на номінальному струмі обмотки двигуна та на тому, чи обмотки двигуна з'єднані послідовно чи паралельно, що має бути вказано в технічних характеристиках двигуна. Хорошим практичним правилом є вибір номінального струму джерела живлення, що становить $2/3$ від номінального фазного струму крокового двигуна, якщо обмотки з'єднані паралельно, або $1/3$ від номінального струму, якщо з'єднані послідовно. Таким чином, для крокового двигуна з номінальним струмом 4 А, підключеного паралельно, джерело живлення повинно мати номінальний струм не менше 2,7 А, або 1,3 А, якщо двигун підключений послідовно. Загальний номінальний струм всієї системи дорівнює сумі всіх потреб у струмі крокових двигунів.

1.3 Резонанс

Резонанс двигуна виникає, коли швидкість, з якою кроки застосовуються до обмоток, відповідає власній частоті самого двигуна. Застосування кроків протягом тривалого періоду часу з такою швидкістю призводить до різкого падіння крутного моменту, і двигун може зупинитися або навіть обертатися в довільних напрямках. Деякі технічні характеристики крокових двигунів містять графіки залежності крутного моменту від швидкості, на яких видно спад, де ймовірно виникнення резонансу. Слід зазначити, що цей резонансний пік, наведений у технічних характеристиках, стосується лише самого двигуна — як тільки двигун з'єднується з іншими компонентами (тобто встановлюється в системі CNC), резонансна частота може змінитися або навіть з'явитися кілька нових резонансів.

Існує кілька методів, що допомагають контролювати ефекти резонансу, всі з різним ступенем складності, ефективності та побічних ефектів:

- Мікрокрокування може допомогти зменшити резонанс за допомогою менших змін струму між кожним кроком. Ці менші зміни кроку спричиняють менше дзвінчання в двигуні та обмотках, а отже, менше збудження в точці резонансу.
- Забезпечення того, щоб двигун ніколи не працював на певній частоті протягом тривалого періоду, є дуже простим методом зменшення резонансу, постійним прискоренням або сповільненням протягом резонансного піку.
- Збільшення інерційного навантаження призведе до зменшення небажаних резонансів за рахунок деякого крутного моменту та потенційно певної точності. Можна використовувати еластомерні кріплення двигуна, муфти валів або кріплення підшипників.
- Більш досконалі приводи крокових двигунів можуть мати можливість перемикатися між режимами крокування таким чином, щоб резонансний пік регулювався при певних швидкостях роботи. Існують також інші системи, що створюють електричне навантаження на обмотки, яке має ефект, подібний до механічного демпфірування, описаного вище.

1.4 Мікрокрокове керування

Кроковий двигун, що працює з послідовним повним збудженням кожної обмотки, працює в режимі повного кроку. Тобто максимальна роздільна здатність обертання, можлива для цього двигуна, дорівнює кількості повних кроків, на які двигун розрахований (наприклад, 200 кроків на оберт для двигуна 1,8 градуса/крок). Коли кожна обмотка отримує напругу, ротор робить повний оберт від одного фіксатора до наступного.

Додаткову роздільну здатність обертання від крокового двигуна можна отримати за допомогою мікрокрокування, при якому струм, що подається на кожен обмотку, може бути «нарощений» дискретними проміжними кроками. Це змушує ротор поступово переходити через кожен фіксацію обертання, а не робити повний стрибок від одного кроку до наступного.

Мікрокрокування зазвичай виконується в кратному 2 (4x, 8x, 16x, 32x тощо). Наприклад, привід, налаштований на 4x мікрокрокування, розділить кожен крок на чотири дискретні рівні струму в обмотках двигуна, що забезпечить покращення роздільної здатності обертання в чотири рази. Це, очевидно, означає, що для типового інтерфейсу керування кроком/напрямком потрібно буде генерувати в чотири рази більше імпульсів кроку, щоб двигун рухався на таку саму відстань, якби він працював у повнокроковому режимі. Щоб двигун обертася з тією самою швидкістю, швидкість, з якою імпульси повинні подаватися на привід, також повинна бути в чотири рази вищою.

При низьких обертах мікрокрокування фактично забезпечує дещо вищий крутний момент, ніж при повному крокуванні. Це пов'язано з меншими змінами струму між проміжними кроками, що призводить до менших втрат енергії на збудження природних резонансів у двигуні. Однак із збільшенням обертів крутний момент має тенденцію до зниження з такою ж швидкістю, як і при повному крокуванні.

Однак подальше збільшення ступеня мікрокрокування зрештою призведе до деяких реальних обмежень. Генерація імпульсів кроку, особливо при використанні паралельного порту, обмежена за частотою. Це неминуче обмежить максимальну швидкість, з якою привід може виконувати крокування. При високих ступенях мікрокрокування це призведе до неприйнятно низької швидкості обертання двигуна.

Надмірно високі швидкості мікрокрокування не дають реальної користі, якщо отримана точність занадто мала, щоб бути механічно корисною. Двигун з кроком 1,8 градуса, що працює з 16-кратним мікрокрокуванням, теоретично здатний досягати 0,1125 градуса на крок. У поєднанні з ходовим гвинтом 20 TPI це повинно забезпечити роздільну здатність позиціонування 0,000016 дюйма або 0,0004 мм. Насправді досягти такого високого рівня контролю надзвичайно складно. Всі компоненти системи CNC мають допуски і протидіючі сили (люфт в ходових гвинтах, згинання в порталах, биття в шпинделі і ріжучому інструменті, статичне тертя в самому кроковому двигуні, похибка крокового фіксатора тощо), які роблять таку малу роздільну здатність абсолютно безглуздою. На практиці мікрокрокування зі швидкістю, що перевищує 4x або 8x, на верстаті з CNC, оснащеному ходовими гвинтами, не має особливого сенсу. У деяких випадках може бути навіть вигідніше працювати з меншими ступенями мікрокрокування або навіть повними кроками і керувати кроковим двигуном за допомогою редуктора, щоб отримати необхідну роздільну здатність і крутний момент.

1.5 Відкритий та замкнутий цикл

У найпростіших системах CNC, що використовують крокові двигуни, головний комп'ютер та/або кроковий драйвер не отримують від двигуна зворотного зв'язку про те, що він досяг бажаного результату після отримання команди на початок крокування. Програмне забезпечення, драйвер та кінцевий користувач припускають, що двигун працював правильно і вісь перемістилася в очікуване нове положення. Система, що працює таким чином, вважається такою, що працює в «відкритому циклі», де пристрій на кінці ланцюга сигналу (кроковий двигун) не надає пристрою на початку ланцюга (комп'ютеру) жодних вказівок про те, що ціль була досягнута.

Подальше вдосконалення базового крокового двигуна полягає в роботі системи в «замкнутому контурі». Це досягається шляхом оснащення крокового двигуна обертовим еncoderом, позиційний сигнал якого повертається назад до пристрою, розташованого вище в сигнальному ланцюзі. Таким чином, фактичне положення двигунів можна постійно порівнювати з очікуваним положенням, а параметри приводу коригувати в режимі реального часу, щоб двигун не відставав. Це дозволяє системам з кроковим двигуном із замкнутим контуром досягати кращих показників швидкості та крутного моменту, ніж системи з розімкнутим контуром, оскільки система постійно компенсує будь-які відхилення в роботі крокового двигуна при змінних навантаженнях.

Базові системи, що працюють таким чином, можуть закрити лише контур між двигуном і драйвером, залишаючи програмне забезпечення на хост-комп'ютері поза контуром. Програмне забезпечення видає імпульси кроку/напрямку на нижній драйвер, як це зазвичай відбувається при роботі в режимі відкритого контуру. У таких ситуаціях драйвери зазвичай мають вихід сигналу тривоги, який сигналізує програмному забезпеченню про необхідність зупинки, коли навантаження на кроковий двигун стає занадто великим, щоб драйвер міг його компенсувати без втрати кроків.

Більш досконалі реалізації роботи в замкнутому контурі передають сигнал енкодера назад на головний комп'ютер, але вимагають встановлення набагато більш потужного апаратного та програмного забезпечення для управління зворотним зв'язком енкодера, розрахунком і передачею компенсації приводу.

Chapter 2

Кроковий таймінг

Ця сторінка призначена для синхронізації кроків та напрямків крокових приводів.

Будь ласка, додайте до цього списку, використовуючи формат майстра `stepconf` та в наносекундах, щоб він був однорідним.

Деякі плати мають відомі проблеми, див. сторінку усунення несправностей обладнання

Якщо ви не впевнені в часових параметрах приводу, почніть з високих значень, наприклад 10000 для кожного, і проведіть тестування. Пам'ятайте, що обробка сигналу та оптоізоляція можуть збільшити вимоги до часових параметрів. Ось чому вам потрібно знати часові параметри плати драйвера, а не тільки мікросхеми перетворювача кроків, яка в ній міститься.

Також зверніть увагу, що деякі контролери спрацьовують на спаді фронту, а деякі — на підйомі. Це має значення, оскільки це змінить синхронізацію і буде важко відстежити. Переконайтеся, що LinuxCNC відповідає очікуванням контролера.

Примітка 1. Якщо перед назвою стоїть зірочка, значення не підтверджено. Якщо ви можете підтвердити значення, будь ласка, зробіть це...

Вказаний час наведено в наносекундах (нс). Помножте мікросекунди (мкс) на 1000, щоб отримати наносекунди (нс)

| Виробник | Модель | Час кроку | Кроковий простір | Утримання напрямку | Налаштування напрямку | Кроки | Специфікація |
|----------------------|---|-----------|------------------|--------------------|-----------------------|----------------|---|
| Китайські сині дошки | Плата контролера крокового двигуна з CNC TB6560 | 150000 | 150000 | 150000 | 150000 | Падаючий фронт | https://hyu68.com/-cp8.htm |
| Gecko | 201 | 500 | 4000 | 20000 | 1000 | Падаючий фронт | https://www.geckodrive.com/support/motor-control-manuals/stepper-drives/g201-rev-16.html |

| Виробник | Модель | Час кроку | Кроковий простір | Утримання напрямку | Налаштування напрямку | Вироби | Специфікація |
|----------|--------|-----------|------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|---|
| Gecko | 202 | 500 | 4500 | 20000 | 1000 | Падаючий фронт | https://www.geckodrive.com/support/motor-control-manuals/stepper-drives/-g202-rev-15.html |
| Gecko | 203v | 1000 | 2000 | 200 | 200 | Зростаючий край | https://www.geckodrive.com/support/motor-control-manuals/stepper-drives/-g203v-rev-7.html |
| Gecko | 201x | 500 | 3000 | 20000 | 1000 | Падаючий фронт | https://www.geckodrive.com/support/motor-control-manuals/stepper-drives/-g201-rev-16.html |
| Gecko | 212 | 500 | 4000 | 20000 | 1000 | Падаючий фронт | https://www.geckodrive.com/support/motor-control-manuals/stepper-drives/-g212-rev-15.html |
| Gecko | 213v | 2000 | 1000 | 200 | 200 | Зростаючий край | https://www.geckodrive.com/support/motor-control-manuals/stepper-drives/-g213v-rev-7.html |

| Виробник | Модель | Час кроку | Кроковий простір | Утримання напрямку | Налаштування напрямку | Вироби | Специфікація |
|---------------------------|-------------------|-----------|------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|---|
| Gecko | 320 | 3500 | 500 | 200 | 200 | Зростаючий край | https://www.geckodrive.com/support/motor-control-manuals/dc-servo-drives/g320-rev-7.html |
| Gecko | 320x | 1000 | 2500 | 200 | 200 | Зростаючий край | https://www.geckodrive.com/support/motor-control-manuals/dc-servo-drives/g320x-rev-10.html |
| Гранітні пристрої | Еволюція VSD-E/XE | 125 | 125 | 125 | 125 | Зростаючий край | https://granitedevices.fi/assets/files/vsd-e_160_manual.pdf |
| Гранітні пристрої | VSD-E/XE DualDC | 150 | 1850 | 150 | 800 | Зростаючий край | https://granitedevices.fi/assets/files/vsd-e_160_dualdc_manual.pdf |
| JVL | SMD41 | 500 | 500 | 2500 | 2500 | Зростаючий край | https://www.jvl.dk/files/pdf/lb043gb.pdf |
| JVL | SMD42 | 500 | 500 | 2500 | 2500 | Зростаючий край | https://www.jvl.dk/files/pdf/lb043gb.pdf |
| Відкритий код Linestepper | RULMS1 | 30000 | 100000 | 4000 | 4000 | Зростаючий край | https://www.piclist.com/techref/io/stepper/linistep/index.htm |
| Відкритий код Linestepper | THB6064 | 2300 | 2300 | 4600 | 1000 | Зростаючий край | https://www.piclist.com/techref/io/stepper/THB6064/index.htm |

| Виробник | Модель | Час кроку | Кроковий простір | Утримання напрямку | Налаштування напрямку | Варіанти | Специфікація |
|------------------------------|--|-----------|------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|---|
| *Керування рухами | MSD542 | >1500 | 2000 | 2000 | 2000 | Зростаючий край | https://www.motioncontrol.com/c2/uploads/msd542%20datasheet.pdf |
| Паркер | OEM750 | 200 | 300 | 0 | 200000 | Зростаючий край | https://www.compumotor.com/manuals/OEM750/OEM750_Entire_Rev_B.pdf |
| ST | L297 | ? | 500 | 4000 | 1000 | Зростаючий край | https://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/1334.pdf |
| Ксилотекс | XS-3525/8S-3 | 2000 | 1000 | 200 | 200 | Зростаючий край | https://www.xylotex.com/XS3525V202.pdf |
| Ксилотекс | XS-3525/8S-4 | 1000 | 1000 | 200 | 200 | Зростаючий край | https://www.xylotex.com/XS3525V400.pdf |
| Лін Інжиніринг | Сільверпак 17D/DE | 20000 | 20000 | 200 | 200 | Зростаючий край | https://www.linengineering.com/site/products/pdf/SilverPak17D_DE-manual.pdf |
| Хобі ЧПК | Професійна дошка для подрібнення | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | ? | https://www.hobbycnc.com/products/hobbycnc-pro-chopper-driver-board-kits/ |
| *Виїзд | 2,5-амперний драйвер крокового двигуна | 200 | 1000 | 1000 | ? | ? | https://www.routoutcnc.com/2-5ampdriver.pdf |
| *Інтелектуальна система руху | IM483 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | Зростаючий край | https://www.imshome.com/im483.html |
| Давай | 4030 | 5000 | 5000 | 20000 | 20000 | ? | https://www.kelinginc.net/ |
| Давай | 6852 | 1750 | 1750 | 10000 | 10000 | Зростаючий край | https://www.kelinginc.net/kL-6852.pdf |
| Шерлайн | 8760 | 1000 | 6000 | 24000 | 24000 | ? | https://www.sherline.com/ |
| Бурхард Левецц | Step3S | 6000 | 15000 | ? | 5000 | ? | https://www.lewetz.de/download/ibstep3se.pdf |
| Комп'ютер Parker | Зета 4 | 200 | 200 | ?(200) | ?(200) | Зростаючий край | https://www.compumotor.com/manuals/ZETA-ZETA_Rev_A_Entire.pdf |

| Виробник | Модель | Час кроку | Кроковий простір | Утримання напрямку | Налаштування напрямку | Варіанти | Специфікація |
|------------------|-----------------------------|-----------|------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|---|
| www.cncdrive.com | Кривавий | 1000 | 2500 | 1000 | 1000 | ? | https://www.cncdrive.com/content/-dugong.htm |
| www.cncdrive.com | DC2S-08020 | 1000 | 2500 | 1000 | 1000 | ? | https://cncdrive.com/-DG2S_08020.html |
| Вантай Моторс | DQ542MA | 5050 | 5050 | 500 | 500 | ? | https://www.wantmotor.com/ProductsView.asp?id=257& |
| Лідшайн США | Цифровий DM422 40 В 2,2 А | 7500 | 7500 | 20000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshineusa.com/-UploadFile/-Down/-DM422m.pdf |
| Лідшайн США | Цифровий DM556 50V 5.6A | 2500 | 2500 | 10000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshineusa.com/-UploadFile/-Down/-DM556m.pdf |
| Лідшайн США | Цифровий DM856 80 В 7,0 А | 2500 | 2500 | 10000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshineusa.com/-UploadFile/-Down/-DM856m.pdf |
| Лідшайн США | Цифровий DM870 80 В 7,0 А | 2500 | 2500 | 10000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshineusa.com/-UploadFile/-Down/-DM870m.pdf |
| Лідшайн США | Цифровий DM1182 150VAC 8.2A | 2500 | 2500 | 10000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshine.com/-UploadFile/-Down/-DM1182m.pdf |
| Лідшайн США | Цифровий EM402 40V 2.2A | 10000 | 2500 | 10000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshine.com/-UploadFile/-Down/-EM402d_P.pdf |
| Лідшайн США | Цифровий EM503 50V 4.2A | 2500 | 2500 | 10000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshine.com/-UploadFile/-Down/-EM503d_P.pdf |
| Лідшайн США | Цифровий EM705 70 В 7,0 А | 2500 | 2500 | 10000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshine.com/-UploadFile/-Down/-EM705d_P.pdf |
| Лідшайн США | Цифровий EM806 80V 8.2A | 2500 | 2500 | 10000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshine.com/-UploadFile/-Down/-EM806d_P.pdf |
| Лідшайн США | Аналоговий M415B 40V 1.5A | 1500 | 1500 | 8000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshineusa.com/-UploadFile/-Down/-M415Bm.pdf |
| Лідшайн США | Аналоговий M542 50V 4.2A | 1500 | 1500 | 8000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshineusa.com/-UploadFile/-Down/-M542V2m.pdf |
| Лідшайн США | Аналоговий M752 75V 5.2A | 1500 | 1500 | 8000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshineusa.com/-UploadFile/-Down/-M752m.pdf |

| Виробник | Модель | Час кроку | Кроковий простір | Утримання напрямку | Налаштування напрямку | Вироби | Специфікація |
|---------------|---|-----------|------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|---|
| Лідшайн США | Аналоговий M880A 80V 7.8A | 1500 | 1500 | 8000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshineusa.com/UploadFile/Down/M880Am.pdf |
| Лідшайн США | Аналоговий M860H 80VAC 7.2A | 1500 | 1500 | 8000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshineusa.com/UploadFile/Down/MA860Hm.pdf |
| Лідшайн США | Щітковий сервопривід DCS303 30V 15A | 2500 | 2500 | 10000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshineusa.com/UploadFile/Down/DCS303m.pdf |
| Лідшайн США | Щітковий сервопривід DCS810 80V 20A | 2500 | 2500 | 10000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshineusa.com/UploadFile/Down/DCS810V1m.pdf |
| Лідшайн США | Щітковий сервопривід DCS810S 80V 20A | 1000 | 1000 | 7000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshineusa.com/UploadFile/Down/DCS810Sm.pdf |
| Лідшайн США | Безщітковий сервопривід ACS306 30V 15A | 2500 | 2500 | 10000 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshine.com/UploadFile/Down/ACS306hm.pdf |
| Лідшайн США | Безщітковий сервопривід ACS606 60V 15A | 850 | 850 | 6700 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshineusa.com/UploadFile/Down/ACS606m.pdf |
| Лідшайн США | Безщітковий сервопривід ACS806 80V 20A | 850 | 850 | 6700 | 5000 | Зростаючий край | https://leadshineusa.com/UploadFile/Down/ACS806m.pdf |
| StepperOnline | Цифровий DM860T версії 1.0 80 В змінного струму/110 В постійного струму 7,2 А | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 | Зростаючий край | https://www.omc-stepperonline.com/download/DM860T.pdf |
| StepperOnline | Цифровий DM860T версії 3.0 80 В змінного струму/110 В постійного струму 7,2 А | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 | Зростаючий край | https://www.omc-stepperonline.com/download/DM860T_V3.0.pdf |

| Виробник | Модель | Час кроку | Кроковий простір | Утримання напрямку | Налаштування напрямку | Висота | Специфікація |
|----------|--|-----------|------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|---|
| Голодний | Носій драйвера крокового двигуна A4988 | 1000 | 1000 | 200 | 200 | Зростаючий край | https://www.pololu.com/catalog/product/1182/ |
| Голодний | DRV8825 Носій драйвера крокового двигуна | 1900 | 1900 | 650 | 650 | Зростаючий край | https://www.pololu.com/catalog/product/2132/ |
| cnc4you | | 2000 | 8000 | 5000 | 5000 | Зростаючий край | https://cnc4you.co.uk/resources/CW5045.pdf |

Chapter 3

Найкращі методи електропроводки

3.1 Електричний шум

Електричні перешкоди в системі викликаються електромагнітними перешкодами (ЕМІ), коли сигнали, що з'являються в одній електричній ланцюзі, створюють перешкоди в сусідній ланцюзі через електромагнітну індукцію, електростатичне з'єднання або провідність. ЕМІ може спричиняти проблеми в щоденній роботі верстата з CNC і проявлятися різними способами, такими як помилкове спрацьовування кінцевих вимикачів, передчасне переривання операцій зондування інструменту, пошкодження послідовного каналу передачі даних до VFD або нестабільна робота систем управління CNC та програмного забезпечення.

Коли струм проходить через провідник, створюється магнітне поле. Зі збільшенням струму магнітне поле посилюється, а потім знову зникає, коли струм перестає протікати. Якщо це змінне магнітне поле перетинає інший провідник, воно може індукувати в ньому небажану напругу, яка проявляється у вигляді шуму.

Існує кілька методів, які можна застосувати для мінімізації впливу ЕМІ в будь-якій електричній системі. Найефективнішим з них, очевидно, є запобігання виникненню шуму. На практиці метод контролю впливу ЕМІ зазвичай полягає в застосуванні заходів, що запобігають забрудненню бажаних сигналів в системі CNC шумом.

3.2 Земля, земля та спільне

При використанні таких термінів, як «земля», «заземлення» та «спільний», може виникнути плутанина. У деяких випадках вони можуть використовуватися для опису одного й того самого поняття, а саме точки в електричній системі, до якої відносяться всі напруги. У цій статті терміни «земля» та «заземлення» відносяться до точки, в якій вхідне мережеве живлення заземлюється тоді як «спільний» — це зворотний або негативний вивід на джерелі постійного струму. У деяких випадках допускається заземлення загального виводу на джерелі постійного струму, тим самим надаючи негативному виводу на цьому джерелі той самий потенціал, що і вхідному заземленню змінного струму, але для цілей цього обговорення терміни «земля» і «загальний» повинні бути чітко розмежовані, щоб уникнути плутанини.

3.3 Вибір та використання дроту

Провід буває різних типів, розмірів і конфігурацій. Перебрати всі доступні типи проводів — завдання надзвичайно складне, але для цілей цієї статті необхідно розглянути лише типи проводів,

які зазвичай використовуються при підключенні контролера ЧПУ. Крім того, спосіб використання проводу може мати певний вплив на систему в цілому. Нижче наведено кілька порад, які можуть виявитися корисними.

3.3.1 Однопровідний дріт

Провід буває двох типів: з суцільним провідником і багатожильний. Провід з суцільним сердечником зазвичай дешевший за багатожильний, але більш схильний до руйнування, якщо використовується в умовах, де передбачається багаторазове згинання. На щастя, поширеність багатожильного проводу на ринку означає, що його використання слід заохочувати, де це можливо.

Проводи повинні бути закінчені таким чином, щоб всі жили провідника були акуратно і надійно розміщені в з'єднувальному роз'ємі. Це можна зробити, скрутивши жили перед вставкою в закінчення або використовуючи обтискну клему, таку як лопатка або шнурок. Слід подбати про те, щоб жодна жила проводу не виходила за межі закінчення, щоб запобігти випадковому короткому замиканню з сусідніми закінченнями.

Якщо використовуєте обтискну муфту на оголеному дроті, уникайте паяння жил перед обтисканням. Обтискання наконечника на паяному дроті може призвести до того, що наконечник з часом розхитається, оскільки паяні жили втрачають свою стисливість після нанесення обтиску. З тієї ж причини паяний дріт не слід встановлювати в клемній коробці, де гвинт при затягуванні вгризається безпосередньо в дріт.

Під час зачищення дроту для підключення знімайте лише мінімальну кількість ізоляції, необхідну для того, щоб підключення було повністю закрито після завершення роботи. Занадто сильне зачищення ізоляції призведе до оголення частини дроту, що може спричинити коротке замикання.

Також слід враховувати схему, для якої призначений провід; напруга, при якій працює схема, та сила струму, що протікає по ній, впливають на вибір проводу, який буде використовуватися. Тонка ізоляція на шматку переробленого кабелю Ethernet CAT5 недостатня, щоб витримати напругу, яка може з'явитися на вихідних клеммах частотно-регульованого приводу, а площа поперечно-го перерізу провідника недостатня, щоб пропускати струм силою в кілька ампер без перегріву та потенційної небезпеки виникнення пожежі. І навпаки, хоча цілком допустимо підключати ланцюг кінцевого вимикача за допомогою кабелю площею 2,5 кв. мм, це створює зайвий об'єм у джгуті проводів. Зверніться до документації виробника та місцевих норм електромонтажу для отримання інформації про мінімальні рекомендовані розміри дротів для живлення та управління.

3.3.2 Екранований дріт

Існує два типи екранованого дроту. Один має голу дротяну оплетку, яка оточує дріт всередині, а інший має металеву фольгу, яка оточує дріт всередині. Тип екранованого дроту, який ви оберете, буде залежати від рівня шуму, з яким ви намагаєтесь боротися.

Екранований дріт фольгою Провід з фольговим екраном має тонкий алюмінієвий або мідний фольговий шар, який зазвичай прикріплений до пластикової плівки, що оточує провід. Закритий провід зазвичай покритий на 100%. Приєднання фольги до землі може бути складним, особливо якщо фольга виготовлена з алюмінію або ламінована на пластикову основу. З цієї причини зазвичай всередині кабелю знаходиться оголений металевий багатожильний провід, який контактує з фольгою по всій довжині кабелю. Він називається дренажним проводом і використовується для підключення до землі.

Плетений екранований дріт Плетений екранований провід має плетену мідну оплетку, яка оточує провід. Він більш об'ємний, ніж фольга, і не забезпечує 100% покриття, але є більш гнучким, ніж типи з фольговим екрануванням. Покриття зазвичай становить від 70% до 95% залежно від щільності плетіння. Незважаючи на менший рівень покриття плетеного екрану, його ефективність вища, ніж у фольгового екрану, завдяки більшій об'ємності плетіння та кращим провідним властивостям міді порівняно з алюмінієм.

У дуже шумних середовищах можна застосувати додатковий підхід до двох вищезазначених методів екранування, при якому одночасно використовуються екранування плетінкою та фольгою. Окремі дроти в багатожильному кабелі також можуть бути екрановані разом із загальним екраном, що накладається на всю оболонку кабелю.

3.4 Напруга мережі змінного струму

Вхідний змінний струм, що живить систему CNC, може підхоплювати і передавати шум в блоки живлення та інше обладнання. Наприклад, якщо вхідне живлення також використовується для живлення великих двигунів, на лінії, що живить компоненти CNC, можуть виникати електричні перешкоди. Хоча більшість сучасних електронних пристроїв мають вбудовані фільтри мережі, що допомагають мінімізувати чутливість до перешкод, що передаються по мережі, індивідуальний та модульний характер системи CNC може означати, що використовувані компоненти походять з різних джерел з різним ступенем вбудованої стійкості до перешкод.

Вбудовані фільтри можуть бути встановлені на вхідному електроживленні, що живить систему CNC, щоб допомогти зменшити будь-які індуковані шуми. Запуск системи CNC від окремого електроживлення, відокремленого від великих джерел електричних шумів, також може допомогти мінімізувати будь-які потенційні джерела перешкод, що передаються по електромережі.

Note

Майте на увазі, що в багатьох країнах встановлення та зміну мережевих кіл можуть виконувати лише ліцензовані електрики.

3.5 Блоки живлення

3.5.1 Заземлення змінного струму

Типова верстат з CNC може мати кілька різних блоків живлення (PSU), встановлених в системі. Будь-який пристрій, що живиться від вхідної мережі, призначений для заземлення, повинен бути належним чином і постійно підключений до заземлення мережі. В ідеалі це слід зробити в одній і тій же точці системи, якою може бути різьбовий стрижень або болт, мідна/латунна заземлювальна планка або велика металева монтажна пластина всередині корпусу управління.

Поширеність високочастотних імпульсних блоків живлення, що використовуються в системах CNC, збільшує ймовірність передачі радіочастотних перешкод від них до сусідніх схем. Багато з цих блоків живлення мають металевий корпус, який, якщо підключити до заземлення мережі, допоможе екранувати передачу високочастотних електромагнітних перешкод на інші електричні компоненти.

З точки зору безпеки важливо, щоб ці з'єднання заземлення мережі також були механічно міцними і не могли від'єднатися, а провід, що використовується, мав площу поперечного перерізу, достатню для пропускання передбачуваного струму короткого замикання у разі виникнення короткого замикання на землю. Також обов'язково, щоб заземлення мережі ніколи не використовувалася як провідник струму для інших компонентів системи. Заземлення повинно використовуватися тільки для однієї мети: заземлення з метою безпеки.

Також зверніть увагу, що колір оболонки, яка використовується для заземлення, може бути визначений нормами електромонтажу вашої країни, а проходження інших, не пов'язаних з цим сигналів по дротах такого ж кольору може бути заборонено.

3.5.2 Загальний DC

Спільне використання джерела живлення постійного струму певною мірою залежить від електричних вимог до роботи системи CNC. Наприклад, драйвер крокового двигуна, що працює з живленням двигуна 24 В постійного струму та логічним живленням 5 В, може мати оптично ізольовані лінії вхідного сигналу, які забезпечують повне електричне розділення вхідних та вихідних схем драйвера з метою безпеки та захисту від перешкод. У цьому випадку об'єднання загальних виводів живлення крокового двигуна та логічного управління може мати згубний вплив на роботу системи.

Як правило, найбільш доцільно тримати загальні частини різних блоків живлення постійного струму, що використовуються в системі CNC, окремо одна від одної та окремо від заземлення мережі змінного струму, якщо немає конкретної необхідності з'єднувати їх між собою. У більшості випадків загальні точки потужних секцій системи CNC (наприклад, драйвери крокових або сервомоторів, шпindelні двигуни тощо) будуть відокремлені від загальних точок електрочутливих секцій CNC (плати інтерфейсу управління, кінцеві вимикачі, схеми інструментальних датчиків тощо) для запобігання перехресному забрудненню двох систем.

Якщо необхідно з'єднати кілька спільних точок різних блоків живлення або підключити спільну точку блоку живлення до заземлення мережі змінного струму, це слід робити тільки в одній точці і якомога ближче до спільної клеми блоків живлення.

У верстатах з CNC, де драйвери обладнання та схеми інтерфейсу попередньо зібрані, рішення про те, які загальні виводи постійного струму куди підключаються, зазвичай не приймає кінцевий користувач.

3.6 Живлення постійного струму

У ситуаціях, коли ланцюг постійного струму працює з відключеною загальною точкою від заземлення мережі (тобто джерело живлення є «плаваючим»), може бути корисним використовувати для живлення постійного струму скручені пари проводів, причому кожна пара проводів у ланцюзі (наприклад, позитивний і негативний виводи) фізично скручена разом у вигляді спіралі. Скручування проводу дозволяє обом провідникам якомога тісніше ділити між собою «простір». Будь-які електромагнітні перешкоди, що проходять через них, будуть в значній мірі скасовані, оскільки обидва провідники отримають однаковий рівень електромагнітних перешкод. Для додаткового захисту використовуйте скручений провід, який розміщений в екранованій оболонці з екраном, підключеним до заземлення мережі.

Однак слід зауважити, що скручені пари проводів менш ефективні в боротьбі з ефектами ЕМІ, якщо один з двох проводів підключений до заземлення мережі, оскільки провідник із потенціалом заземлення менш схильний до впливу ЕМІ, ніж незаземлений провідник. У таких випадках скручування проводів має менший вплив на загальну стійкість до перешкод, і екранований кабель буде більш ефективним у зменшенні сприйняття перешкод.

3.7 Сигнальні дроти та лінії керування

Проводи, які використовуються для передачі логічних сигналів до і від різних периферійних пристроїв в CNC (наприклад, входи контролера крокового двигуна, кінцеві вимикачі осей тощо), найбільш схильні до перешкод. Причиною цього є низький рівень напруги, що використовується для передачі інформації. Коли спрацьовує кінцевий вимикач або вимикач початкового положення, або зонд інструменту встановив або розірвав контакт, цей сигнал використовується для позначення того, що подія відбулася. Зазвичай це робиться за допомогою вхідних контактів на інтерфейсній платі комп'ютера або паралельному порту, які, залежно від програми, можуть сигналізувати за допомогою напруги всього 3,3 В. Очевидно, що імпульс шуму 2 В може порушити достовірність сигналу, якщо корисний діапазон становить лише 0-3,3 В.

Якщо можливо, ізолюйте спільну точку блоку живлення, що живить логічні периферійні пристрої, від решти системи. Наприклад, ізоляція загального виводу низьковольтного блоку живлення від загального виводу блоку живлення крокового двигуна зменшить ймовірність того, що великі струми, що протікають у зворотній лінії крокового двигуна, забруднять загальний вивід низьковольтного блоку живлення.

Якщо контролер використовує диференціальну сигналізацію, для передачі сигналу використовуйте скручені пари. Екранований кабель є кращим вибором, коли лінії управління є односторонніми, або якщо відстані великі, або проходять через електрично несприятливі середовища. При заземленні екрану кабелю підключіть його до заземлення мережі.

Якщо контролер та інтерфейсні пристрої можуть витримувати більш високі сигнали управління, розгляньте можливість зміни вимог до електропроводки та джерела живлення, щоб використовувати більш високу напругу для передачі сигналів (наприклад, 12 В або 24 В). Той самий 2-вольтовий стрибок електромагнітних перешкод, який може пошкодити сигнал кінцевого вимикача 3,3 В, буде набагато менш імовірним джерелом проблем для кінцевого вимикача, що працює з сигналом 24 В.

3.8 Драйвери крокових або серводвигунів

Металевий корпус драйвера повинен бути підключений до місцевої мережі заземлення в системі CNC. На деяких корпусах драйверів вказано конкретний вивід як точку заземлення, і в цьому випадку ця точка повинна бути підключена до заземлення за допомогою спеціального дроту.

Проводка керування та живлення має бути максимально розділена. Прокладайте вхідні сигнальні дроти подалі від вихідних ліній джерела живлення та приводу двигуна.

Рекомендується прокласти як вхідні дроти драйвера, так і вихідні дроти двигуна в екранованому кабелі з екраном, підключеним до заземлення мережі. Екран на вхідних лініях допомагає зменшити кількість перешкод, які вони можуть приймати, а екран на вихідних лініях зменшує кількість шуму, який вони можуть випромінювати.

3.9 Частотні приводи

Якщо це можливо, частотно-регульований привід (VFD) слід встановлювати в окремому корпусі або шафі, щоб зменшити ризик випромінювання шуму в сусідні електропроводки. Якщо корпус VFD металевий, його необхідно заземлити відповідно до рекомендацій, наведених у документації виробника.

Оскільки VFD є електронним комутаційним пристроєм високої потужності та високої частоти, вихідний сигнал схильний до електромагнітних перешкод, тому рекомендується підключати вихід VFD до підключеного двигуна за допомогою екранованого кабелю, екран якого підключений до заземлення мережі.

3.10 Маршрутизація провідників

3.10.1 Прокладання рухомих проводів

Будь-який провід, який буде переміщатися під час нормальної роботи CNC, відноситься до цієї категорії. Наприклад, проводи, що проходять від крокових драйверів через систему управління кабелями (тягові ланцюги) і потім до крокових двигунів, встановлених на рухомому порталі. Кабелі та проводи, що працюють в таких умовах, повинні мати підвищену гнучкість. Це виключає

використання проводів і кабелів з суцільним сердечником, оскільки постійне згинання призведе до втоми і, в кінцевому підсумку, до виходу з ладу провідників.

Якщо кабелі прокладаються в кабельному каналі/носії, закріпіть їх на обох кінцях кабельного каналу. В іншому випадку може статися заїдання, що призведе до передчасного зносу кабелю. Також слід подбати про те, щоб запобігти механічному тертя провідників об інші частини машини.

У кабель-трасі/носії дотримуйтеся ідеї нейтральної осі. Прокладайте дріт якомога ближче до нейтральної осі. Переконайтеся, що дріт не натягується в ситуації з найдовшою нейтральною оссю.

3.10.2 Прокладання стаціонарних проводів

Як зазначалося раніше, прокладення різних типів сигнальних кабелів (високовольтних і низьковольтних) поблизу один від одного може посилити електромагнітні перешкоди. Проводки слід розміщувати на максимально можливій відстані одна від одної. Якщо дві проводки перетинаються, кут перетину повинен бути якомога ближчим до 90 градусів.

Уникайте довгих петель надлишкового дроту на будь-яких периферійних пристроях - вони є чудовими антенами для прийому або передачі шуму. По можливості прокладайте дроти поблизу великих заземлених конструкцій. Якщо корпус контролера має велику металеву задню пластину, яка заземлена, закріпіть всю контрольну проводку якомога ближче до цієї поверхні під час прокладання проводки між двома точками.

3.11 Механічний шум

Дуже мало механічних перемикачів (наприклад, кінцевий вимикач осі або вхід датчика інструменту) закриваються або відкриваються ідеально під час роботи. Найчастіше контакти перемикача фізично відскакують один від одного кілька разів протягом дуже короткого проміжку часу під час роботи. Це може бути інтерпретовано контролером верстата як кілька операцій одного і того ж сигналу, коли насправді очікувалося лише одне чітке змінення стану. Іноді це не має значення, але в багатьох випадках бажано забезпечити, щоб будь-яка зміна стану була якомога «чистішою» і не заважала роботі машини. Це досягається за допомогою дебаунсінгу.

Дебаунсінг досягається шляхом дозволу зміни стану механічного перемикача, яка реєструється контролером тільки через певний проміжок часу, щоб дати можливість відскоку контактів перемикача вщухнути. Зазвичай достатньо затримки в 5-15 мілісекунд. Це можна зробити за допомогою додавання деякого обладнання до сигнальної схеми або в програмному забезпеченні LinuxCNC.

3.11.1 Апаратне усунення дребезгу

Існує кілька схем для реалізації дебаунсінгу перемикачів і контактів реле за допомогою апаратного забезпечення, від додавання одного конденсатора між сигнальною і загальною лініями до спеціальних інтегральних схем дебаунсінгу, таких як MC14490 або MAX6818. Кілька схем апаратного дебаунсінгу можна знайти за посиланням нижче:

<https://electrosome.com/switch-debouncing/>

3.11.2 Виправлення помилок у програмному забезпеченні

Рівень абстракції апаратного забезпечення (HAL) LinuxCNC включає компонент дебаунс. Цей компонент має один вхідний і один вихідний контакт. Його завдання полягає в моніторингу вхідного сигналу і відправці вихідного сигналу після активації вхідного сигналу протягом запрограмованого

періоду затримки. Більш детальну інформацію про компонент дебаунс можна знайти на наступній сторінці:

[debounce\(9\)](#)

3.12 Документація

Важливість документування встановленої електропроводки та компонентів не можна переоцінити. Якщо користувач захоче модифікувати систему CNC в майбутньому або якщо виникнуть проблеми, які потребують виправлення, то повна і стисла документація щодо електропроводки та обладнання може заощадити багато годин роздумів і розчарувань.

3.12.1 Документація апаратного забезпечення

Як мінімум, обов'язково зберігайте всю документацію, пов'язану з встановленим обладнанням, у безпечному місці. Крокові контролери, роз'ємні плати, блоки живлення, частотні перетворювачі, інтерфейси та контролери, серво- та крокові драйвери, а також будь-які пов'язані налаштування пристроїв є критично важливими компонентами системи, і їх документація повинна бути під рукою для зручного використання.

3.12.2 Схеми підключення

Під час підключення верстата з CNC обов'язково складіть схему, до якої можна буде звернутися пізніше. Схема не повинна бути надто акуратною, але вона повинна бути зрозумілою, щоб її можна було легко інтерпретувати пізніше, в ідеалі будь-якою особою, яка може потребувати обслуговування обладнання. Включіть такі деталі, як кольори використовуваних проводів, номери контактів, номери деталей та будь-які інші примітки, які допоможуть пояснити конкретні деталі, які не відразу помітні при першому погляді на схему.

3.12.3 Ідентифікація проводки

Приділіть час, щоб ідентифікувати кожен провід у системі. Коли пучок проводів закріплений кабельною стяжкою, може бути дуже складно розібратися, який провід куди підключається. Позначте проводи двигуна за допомогою з'єднання або осі, з якими вони пов'язані, або ідентифікуйте кожен сигнальний провід, щоб було легко визначити, що робить цей сигнал. Також буде корисно перенести цю інформацію на схеми підключення.