

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО“

МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра „КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ І МАШИН“

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійних робіт з дисципліни

„КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ І МАШИН
ТА МЕХАТРОНИКИ СИСТЕМ.“

другого рівня вищої освіти ступенів «магістр», «спеціаліст»
галузі знань 13 „Механічна інженерія“
спеціальності 133 „Галузеве машинобудування“
спеціалізації „Технології комп’ютерного конструювання
верстатів, роботів та машин“.

Форма навчання: денна (шифр за ОПП: 1с).

„ РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРИВОДІВ“

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО“

МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра „КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ І МАШИН“

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійних робіт з дисципліни

„КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ І МАШИН
ТА МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ.“

другого рівня вищої освіти ступеню „магістр“
галузі знань 13 „Механічна інженерія“
спеціальності 133 „Галузеве машинобудування“
спеціалізації „Технології комп’ютерного конструювання
верстатів, роботів та машин“.

Форма навчання: денна (шифр за ОПП: 1с).

„РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРИВОДІВ“

Методичні вказівки рекомендовано кафедрою
Конструювання верстатів та машин
Протокол № _____ від _____

Завідувач кафедри
_____ В. Б. Струтинський

Київ 2017

УДК 681.516.2 / 3 : 621.9.06 (075.8)

Методичні вказівки до самостійних робіт з дисципліни „Конструювання верстатів і машин та мехатронних систем“ для другого рівня вищої освіти ступеню „магістр“ галузі знань 13 „Механічна інженерія“, спеціальності 133 „Галузеве машинобудування“, спеціалізації „Технології комп’ютерного конструювання верстатів, роботів та машин“./ Укл. ІІ Верба. – К.: ММІ НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського“, 2017. – 50 с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійних робіт з дисципліни
„КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ І МАШИН
ТА МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ.“

другого рівня вищої освіти ступеню «магістр»,
галузі знань 13 „Механічна інженерія“ спеціальності 133 „Галузеве машинобудування“
спеціалізації „Технології комп’ютерного конструювання верстатів, роботів та машин“
Форма навчання: денна (шифр за ОПІ: 1с).

„РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ“.

Методичні вказівки містять теоретичні відомості та приклади розв’язків типових задач з проектування автоматизованих приводів верстатів та технологічного обладнання, які забезпечують регульований прямолінійний рух у процесі обробки, транспортування чи маніпулювання. На основі графіків навантаження привода і робочого органу розраховують параметри та обирають електродвигун, відповідні перетворювачі та редуктори для регулювання його швидкості і положення. Подані варіанти індивідуальних завдань.

Укладач: Верба Ірина Іванівна, канд. техн. наук, доцент кафедри „Конструювання верстатів та машин“ ММІ НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського“

Рецензент: Скуратовський А.К., канд. техн. наук, доцент кафедри „Прикладна механіка“

Відповідальний редактор: Даниленко О.В., канд. техн. наук, доцент кафедри „Конструювання верстатів та машин“

Зміст

Вступ	4
Мета й задачі	5
Проектування приводів з лінійними двигунами.(основні теоретичні відомості).	5
Завдання 1.	14
Дані для індивідуального розрахунку	18
Завдання 2.	19
Дані для індивідуального розрахунку	24
Завдання 3.	25
Проектування механізму переміщення по осі X.	26
Проектування підйомного механізму (вісь Z).	30
Дані для індивідуального розрахунку.	35
Література	36
Додатки.	37
Додаток 1.	38
Додаток 2.	41
Додаток 3.	45
Додаток 4.	48
Додаток 5.	49

ВСТУП

Мехатронні системи належать до нового класу систем автоматичного керування, які відрізняються високим ступенем інтеграції керованого об'єкта з електронними та цифровими пристроями на алгоритмічному рівні та є основним типом вузлів сучасних верстатів та іншого технологічного обладнання. У верстатах мехатронні модулі можуть функціонально використовуватись як автоматизований електропривод (мотор-редуктори, мотор-шпинделі, електрошпинделі, лінійні вузли і т.д.) або засіб автоматизації технологічного процесу. Електромеханічна частина мехатронного модулю призначена для перетворення рухів ланок у потрібний рух РО і містить механічні ланки й передачі, робочий орган, електродвигун, сенсори, додаткові електротехнічні елементи (наприклад, гальмо, муфти). Електропривод є основною інновацією при вирішенні сучасних інженерних задач, які пов'язані з переміщеннями вузлів.

У машинах і механізмах широко використовують робочі органи, які здійснюють прямолінійні переміщення. У складних агрегатах виконавчі механізми здійснюють довільні просторові переміщення, однак криволінійні переміщення можуть складатися з простих прямолінійних рухів, що виконуються одночасно й узгоджено за різними координатами. Цим пояснюється підвищена увага до систем прямолінійного руху й керування ними. Необхідні комплектуючі для систем прямолінійного переміщення випускають вузькоспеціалізовані підприємства. На ринку з'явилися також готові модулі лінійного переміщення: приводні та для позиціонування.

До недавнього часу у верстатах та транспортних засобах використовували привод подач з електродвигунами обертового руху й механічними передачами, які перетворювали обертовий рух у прямолінійний. Останнім часом все ширше розповсюджуються приводи, в яких відсутня ланка перетворення обертового руху. Як приводні в них застосовують лінійні двигуни різного типу (синхронні, асинхронні, крокові, серводвигуни тощо).

МЕТА Й ЗАДАЧІ

Однією з задач дисципліни „Конструювання верстатів і машин та мехатронних систем“ є вивчення особливостей електроприводів мехатронних модулів, характеристик різних типів приводів та напрямків їхнього розвитку, обґрунтування вибору складових елементів електромеханічних приводів.

Студент повинен знати характеристики і особливості використання типових електромеханічних приводів мехатронних вузлів, зокрема, сервоприводів; основ їхнього вибору й проектування та конструктивної реалізації; загальних принципів вибору вихідних даних і розрахунку необхідних технічних характеристик складових елементів автоматизованих обертових та лінійних електромеханічних приводів, зокрема потужності електродвигунів. Він повинен уміти використовувати свої знання на практиці. Досвід застосування типових методик студент отримує при виконанні завдань, викладених у даному навчальному виданні.

ПРОЕКТУВАННЯ ПРИВОДІВ З ЛІНІЙНИМИ ДВИГУНАМИ.

(ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ).

Вибір лінійного електродвигуна визначається:

- необхідною максимальною та тривалою потужністю;
- бажаною швидкістю з прискоренням;
- доступним монтажним простором;
- бажаним або можливим розташуванням привода (одиначне, паралельне, з 2-ма первинними частинами тощо);
- необхідним типом охолодження.

У багатьох випадках вибір ЛД є інтерактивним процесом, бо, наприклад, у високодинамічних приводів сам тип двигуна через свою вагу впливає на потрібну потужність.

Послідовність проектування приводів з лінійними ЕД:

1. Визначення граничних умов:

- рухома маса з врахуванням ваги двигуна;
- сили тяжіння;

- тертя;
 - зусилля обробки;
- конфігурація привода.

2. Складання циклу навантаження:

- діаграма шлях руху/час або максимальне прискорення/час;
- діаграма зусилля обробки/час.

3. Розрахунок діаграми потужності двигуна у часі:

- визначення потрібної максимальної потужності;
- визначення потрібної тривалої потужності.

4. Вибір потрібних первинних частин за максимальною потужністю та за тривалою потужністю. Перевіряємо обране за умовою $V_{\max} > V_{\max \text{ об}}$ при $P = \max$. Якщо умова не виконується, обираємо більший двигун або двигун із іншою обмоткою.

5. Вибір вторинних частин згідно з типом первинної частини, шляхом переміщення й механічними граничними умовами.

6. Якщо граничні умови задовільнено, то обирають силову частину інвентора за тривалим струмом двигуна та піковим струмом.

7. Розрахунок потужності живлення згідно з параметрами двигуна й діаграмою $P_{\text{об}} = f(t)$.

Механічні граничні умови

Рухома маса m складається з маси рухомої частини двигуна (первинна або вторинна частина – згідно компоновки й конфігурації). Враховують деталі, які вбудовано (кожухи, кабелі тощо). Приблизно можна приймати для попередніх розрахунків вагу двигуна, який є придатним за типом.

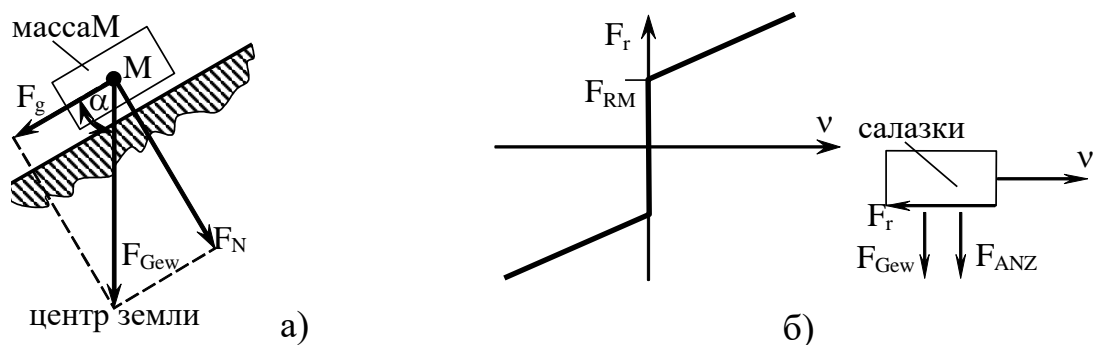


Рис. 1 Врахування сил тяжіння (а) й тертя (б).

Силу тяжіння враховують за умови руху двигуна нахиленою площиною. $F_g = g m \cos \alpha$, де $g = 9,8 \text{ м/сек}^2$. Якщо застосовано компенсацію ваги, то враховують, чи є вона повною й чи пов'язана з додатковими тертям і інертними масами. Тертя скеровано проти руху (проти швидкості V), містить постійний компонент $F_{тер-c}$ та $F_{тер-v}$, який є пропорційним швидкості:

$$F_{тер} = F_{тер-c} + F_{тер-v} = \mu_c (F_G + F_m) + \mu_v (F_G + F_m)$$

Оскільки ЛД можуть працювати з високими швидкостями, то сили тертя можуть мати досить високі значення.

Цикл навантаження (рис.2)містить дані по процесу руху (діаграми шлях/час, швидкість/час, прискорення/час) та навантаженням, які при цьому виникають. Сили інерції пропорційні прискоренню й рухомій масі, але скеровані протилежно до прискорення.

Діаграми шлях/час ($x(t)$) та швидкість/час ($v(t)$) можуть бути перераховані у діаграми прискорення/час ($a(t)$) :

$$a(t) = dv(t)/dt, a(t) = d^2x(t)/dt^2.$$

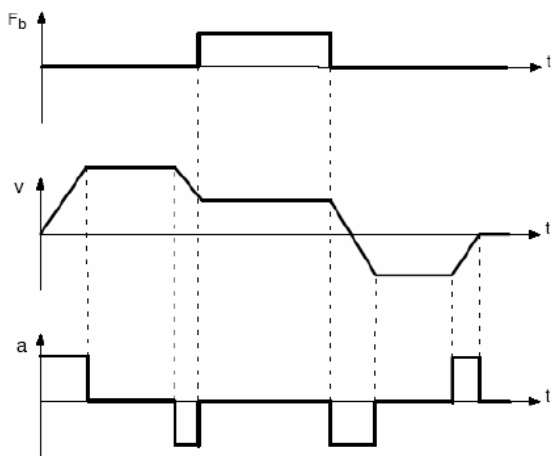


Рис. 2 Приклад циклу навантаження: діаграми зусилля обробки/час, швидкість/час, прискорення/час.

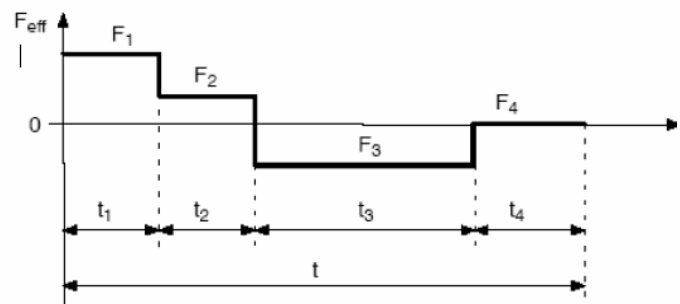


Рис. 3 Діаграма потужність двигуна/час.

Максимальну потужність ЛД (для ЛД це тягове зусилля) утворюють окремі сили у кожний момент часу (рис. 3). Важливу роль відіграє також тривала потужність двигуна F_{ef} , що залежить від нагріву двигуна, який є пропорційним

квадрату потужності ЕД. Тривалу потужність можна визначити через квадратне усереднення з діаграми потужність ЕД/час:

$$F_{\text{эф.}} = \sqrt{\frac{1}{t} \int_0^t F^2(t) dt} \leq F_{\text{ном.}}$$

Спрощений варіант розрахунку відповідно до діаграми рис. 3:

$$F_{\text{эф.}} = \sqrt{\frac{1}{t_y} (F_1^2 t_1 + F_2^2 t_2 + F_3^2 t_3 + \dots)}$$

Для забезпечення стандартної номінальної потужності двигуна необхідним є забезпечення рідинного охолодження з температурою рідини не більше 35°C. Якщо ЛД застосовують без охолодження, то його номінальну потужність у тривалому режимі зменшують на 50% порівняно з паспортною. Температура на корпусі первинної частини може досягати 120°C, що викликає нагрівання й деформації верстата.

Первинну частину ЛД обирають за потрібною максимальною та тривалою потужністю. Максимальна потужність двигуна $(F_{\text{max}})_{\text{де}} = 1,1F_{\text{max}}$, тобто має резерв регулювання у 10%. Тривала потужність двигуна $F_{\text{ном}}$ не повинна бути меншою за $F_{\text{эф.}}$, обраховану з циклу навантаження: $F_{\text{ном}} \geq F_{\text{эф.}}$. Якщо деякі граничні умови невідомі точно (зусилля обробки, тертя тощо), то планують більший резерв.

На вибір двигуна впливають і умови монтажу: ідентичну потужність можуть мати двигуни з довгою й вузькою первинною частиною або з короткою й широкою. Якщо потужність двигуна створюють кілька первинних частин, то їх потужності додаються одна до одної з врахуванням розподілу і потужностей між окремими двигунами (наприклад, через нерівномірний розподіл ваги). Необхідно врахувати й те, що навантаження за струмом у всіх 3-ох фазах синхронного ЕД не є рівномірним у всіх випадках. Тому номінальну потужність двигуна зменшують до $0,7 F_{\text{ном}}$ у наступних випадках:

- стан спокою протягом тривалого часу (наприклад, утримує вагу, зупинка на жорсткому упорі тощо);
- невеликі швидкості протягом тривалого часу;

- швидкості < 500 мм/хв.;
- дуже короткі циклічні рухи протягом тривалого часу;
- при переміщеннях, що є меншими за ширину полюсів.

Якщо швидкості в процесі руху перевищують рекомендовані для даного двигуна максимальні швидкості при максимальній потужності, то здійснюють перевірку за діаграмою потужність двигуна / швидкість (рис. 4) Позначено: 1 – зона динамічного обмеження зусиль; 2 – зона теплового обмеження зусиль.

Забезпечується за наступних умов: монтаж на алюмінієву охолоджувальну платформу товщиною 10 мм, поверхня якої у 4 рази більша за опорну поверхню первинної частини; температура довкілля не перевищує 40°C ; висота над рівнем моря менше за 1000 м.

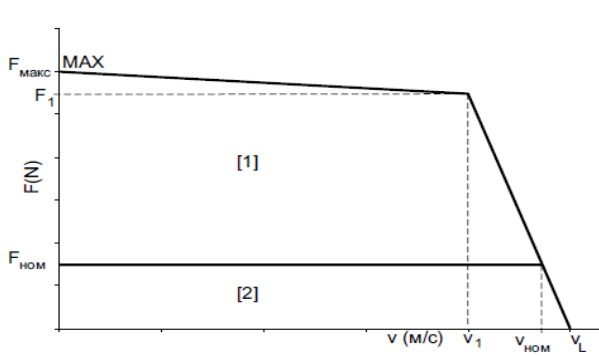


Рис. 4 Діаграма потужність двигуна / швидкість

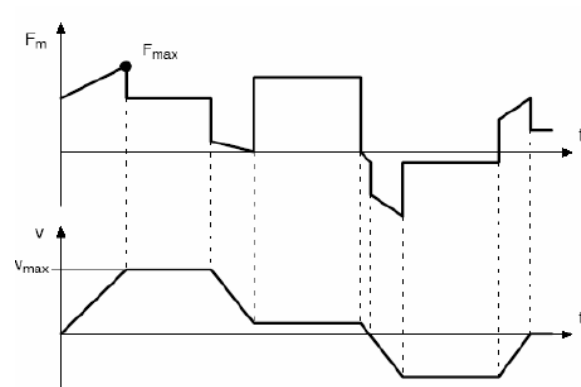


Рис. 6 Діаграма потужність двигуна / час та швидкість / час

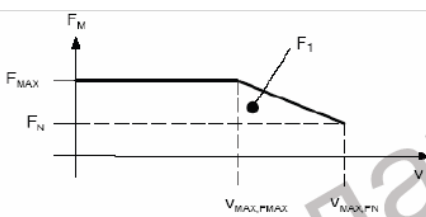


Рис. 5 Орієнтовна діаграма потужність двигуна / швидкість

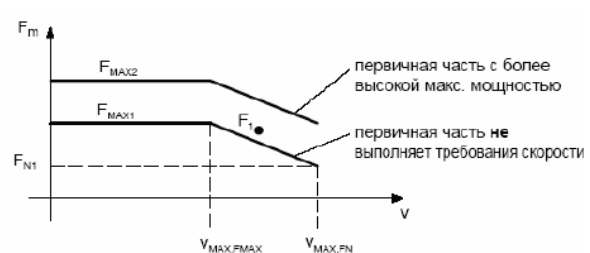


Рис. 7 Діаграми потужність двигуна / швидкість різних первинних частин

Діаграма додається до двигуна або може бути побудована з достатньою достовірністю за його технічними даними (рис. 5).

Діаграму порівнюють з діаграмами $F_{\text{ос}} = f(t)$ та $V = f(t)$ з циклу навантаження (рис. б) і визначають критичні моменти часу, в яких відбувається перевищення максимальної швидкості за максимальної потужності $V_{\text{maxFmax}} \cdot V_{\text{maxFmax}}$ – максимальна швидкість (м/ хв.), до якої привод при напрузі проміжного контуру у 600 В може розвинути максимальну потужність F_{max} . Відповідає точці перегину кривої 600 В на діаграмі потужність двигуна / швидкість.

Для цих критичних моментів часу перевіряють, чи не знаходиться потужність двигуна (F_1) нижче характеристики на діаграмі потужність двигуна /швидкість (рис.4 або 5).

Якщо обрана первинна частина не відповідає вимогам за потужністю/швидкістю, то можливими є наступні шляхи:

а) максимальну швидкість можна збільшити на 20% (пере регулювання), якщо відсутні вимоги високої точності (наприклад, прискорені переміщення без обробки). В цьому випадку струм двигуна не є чисто синусоподібним і потужність двигуна не є рівномірною;

б) для деяких первинних частин існує кілька варіантів обмотки: обмотки з меншою кількістю витків забезпечують більш високі швидкості за того самого типорозміру двигуна й тої самої потужності. Але недоліком є збільшення струму двигуна;

в) обрати первинну частину збільшеної максимальної потужності з метою забезпечення у верхньому діапазоні швидкостей достатні резерви за потужністю (рис.7).

Вторинну частину (нерухому) обирають згідно з обраною первинною частиною, бажаним шляхом переміщення й розташуванням привода. Вторинні частини повинні мати ту саму ширину магніта й ширину полюсів, що й обрана первинна частина (наприклад, для ЛД фірми SIEMENS первинній частині 1FN1072 або 1FN1076 відповідає вторинна 1FN1070). Довжина вторинної частини складається з довжини шляху переміщення й довжини первинної частини, а також конструктивних скосів. За точних розрахунків враховують можливий перекид вторинної частини (рис. 5). Якщо застосовано кілька первинних частин, то враховують, розташовані вони на паралельних напрямних вторинної частини чи

на єдиній напрямній. Відстань між первинними частинами на одній напрямній вторинної частини залежить від того, чи мають первинні частини різні перетворювачі з окремими вимірювальними системами (режими Gantry або Master/Slave) чи працюють електрично - паралельно, але від одного перетворювача. Кількість вторинних частин може бути довільною, а довжина вторинних частин різною. Іноді зручніше використовувати замість кількох довгих вторинних частин (сегментів) велику кількість коротких (зменшується сила протягування магнітів).

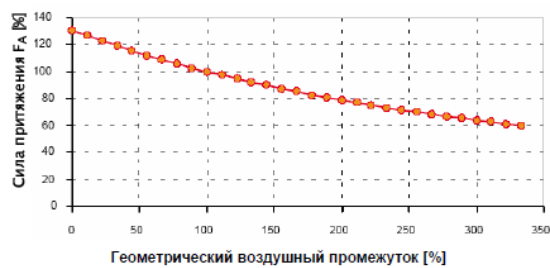
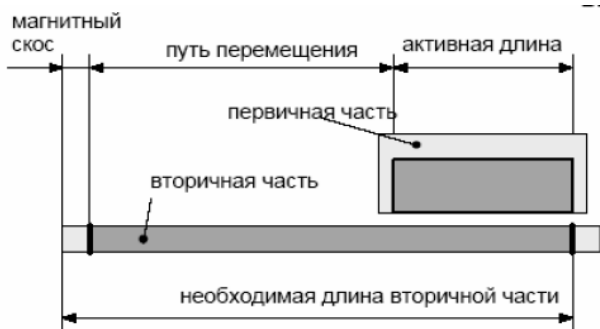


Рис. 9 Залежність сили притягування від повітряного проміжку (двигун серії 1FN3 050-...200...).

Рис. 8 Вибір довжини вторинної частини

Монтаж ЛД повинен забезпечувати нормативний повітряний проміжок (зазор) між первинною й вторинною частинами. Якщо зазор виходить за межі рекомендованого, то потужність ЛД, вказана у паспортних даних, не забезпечується: із зменшенням повітряного зазору зростає сила притягування між первинною й вторинною частинами (рис. 9) і, відповідно, зростає зусилля подачі (рис. 10).

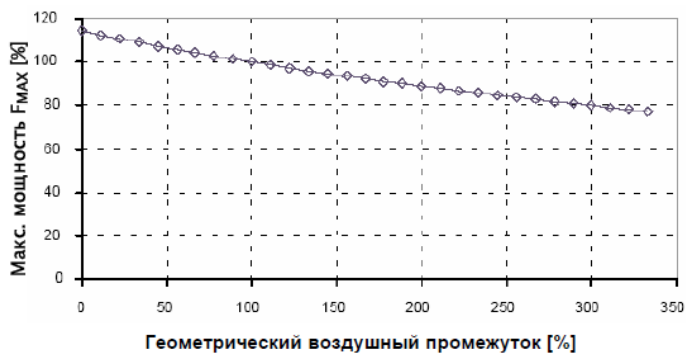


Рис.10 Залежність зусилля подачі від повітряного проміжку (двигун серії 1FN3 050-...200...).

Після вибору вторинних частин уточнюють рухому масу двигуна.

Електрична потужність живлення ЛД, яка споживається з мережі, визначається механічною потужністю, що віддається, й електричними втратами:

$$F = F_{\text{мех}} + F_{\text{ел}} = F_{\text{макс}} V_{\text{макс}} + 3R_p I^2, \text{ Вт}; I_{\text{эф}} = F_{\text{макс}} / K_F,$$

де $F_{\text{макс}}$ - потужність двигуна, Н; $V_{\text{макс}}$ - швидкість, м/с; K_F - стала потужності двигуна (параметр з каталогу), R_p - фазний опір первинної частини (параметр двигуна для максимальної робочої температури), Ом; $I_{\text{эф}}$ - фазовий струм, А.

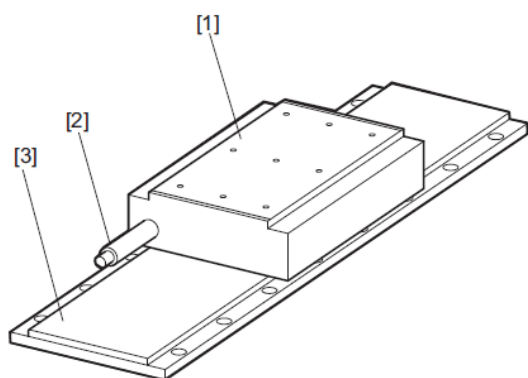


Рис. 11 Синхронний лінійний двигун SL2-Basic.

Позначено: 1 – первинна частина; 2 – елементи з’єднання (кабелі);

3 – вторинна частина із постійними магнітами.

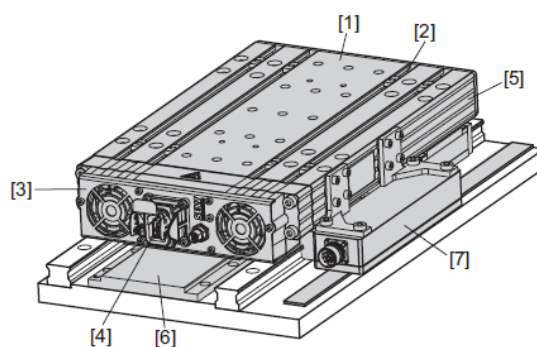


Рис. 12 Синхронний лінійний двигун SL2-Advance System та SL2-Power System.

Позначено: 1 – монтажно-охолоджувальна платформа (додаткове обладнання); 2 – система монтажних пазів; 3 – вентилятори примусового охолодження; 4 – штекерний з’єднувач; 5 – первинна частина, вбудована у платформу (не видно); 6 – вторинна частина; 7 – система вимірювання лінійних переміщень.

Sew Eurodrive випускає три типи лінійних двигунів SL2 (рис.11, рис.12):

- SL2-Basic – приводний агрегат та вторинна частина.
- SL2-Advance System – приводний агрегат з монтажно-охолоджувальною платформою та вторинна частина. Підготований до встановлення лінійних напрямних та датчика лінійних переміщень.

- SL2-Power System – приводний агрегат з монтажно-охолоджувальною платформою, вентиляторами примусового охолодження та вторинними частинами. Підготований до встановлення лінійних напрямних та датчика лінійних переміщень

ЗАВДАННЯ 1.

Розрахувати лінійний привод позиціонування, який переміщує масу $m = 50$ кг на відстань $x_{\max} = 260$ мм за час $t_1 = 0,21$ с і здійснює зворотній хід після зупинки тривалістю $t_2 = 0,18$ с. Рух супроводжується постійним тертям $F_{\text{тер}} = 100$ Н.

Обрати первинну і вторинну частини.

Розв'язок.

Переміщення не задане точно, лише кінцеві точки шляху і момент часу. Треба обрати профіль переміщення. Найпростіший робочий цикл має розгін з постійним прискоренням та гальмування з постійним уповільненням. Швидкість змінюється за законом трикутника. Такий характер переміщення забезпечує мінімальний час позиціонування. Умова: немає перевищення V_{\max} .

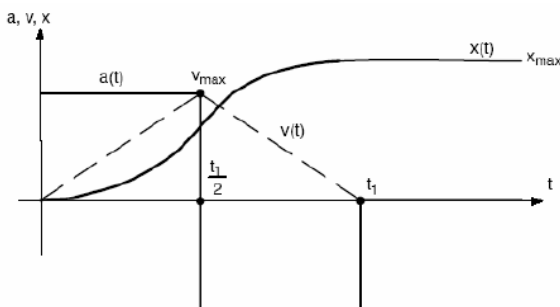


Рис. 11 Спрощене подання

переміщення, швидкості, яка змінюється за законом трикутника, і прискорення.

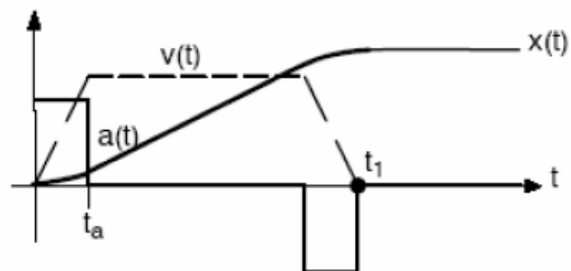


Рис. 12 Переміщення,

швидкість, яка змінюється за законом трапеції, і прискорення.

Задана кінцева точка x_{\max} та час t_1 дають можливість розрахувати потрібне прискорення та максимальну швидкість V_{\max} .

$$x_{\max} = 2 \left[\frac{a}{2} \left(\frac{t_1}{2} \right)^2 \right]; \quad V_{\max} = a \frac{t_1}{2} = \frac{2x_{\max}}{t_1}.$$

Обов'язкова умова: $V_{\max} > V_{\max \text{ доз}}$.

$$V_{\max} = \frac{2 \cdot 260 \cdot 10^{-3}}{0,21} = 2,47 \text{ м/с, тобто умова } V_{\max} > V_{\max \text{ доз}} \text{ не виконується, бо}$$

для двигунів серії 1FN1 (фірма Siemens) максимальна швидкість за пікової потужності становить $\approx 3,3$. Треба перевірити інший профіль переміщення.

Характеристика швидкості має форму трапеції. Переміщення змінюється за законом параболи з проміжною лінійною частиною. Час позиціонування збільшується, або, при заданому часі позиціонування, треба збільшити максимальне прискорення.

$$x_{\max} = 2 \left(\frac{a}{2} t_a^2 \right) + (t_1 - 2t_a) V_{\max}, \text{ де } t_a = \frac{V_{\max}}{a}, \text{ за обов'язкової умови: } V_{\max} t_1 > x_{\max}.$$

$$\text{Потрібне прискорення: } a = \frac{V_{\max}^2}{V_{\max} t_1 - x_{\max}}.$$

$$\text{Якщо } V_{\max} = 100 \frac{\text{м}}{\text{хв}} = 1,67 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \text{ то } a = 30,64 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; t_a = \frac{1,67}{30,64} = 0,054 \text{ с.}$$

Необхідна максимальна потужність:

$$F_{\max} = (m + m_1)a + F_{\text{мер}}, \text{ де } (m + m_1)a = F_A.$$

де m_1 – маса первинної частини.

На початку розрахунків вважаємо $m_1 = 0$, тобто $(m + m_1) = 50$.

$$F_{\max} = 50 \cdot 30,64 + 100 = 1632 \text{ Н.}$$

Можна обрати первинну частину 1FN1072: $F_{\max} = 1720$ Н. Мінімальний необхідний резерв за потужністю становить 10%. Якщо врахувати, масу двигуна, то ясно, що наявного резерву мало. Обираємо наступний за габаритами ЛД: 1FN1076, має $m_1 = 17,7$ кг $F_{\max \text{ доз}} = 3450$ Н, $F_{\text{ном. доз}} = 1580$ Н.

Розраховуємо необхідну максимальну потужність з врахуванням ЛД:

$$F_{\max} = (50 + 17,5) \cdot 30,64 + 100 = 2168,2 \text{ Н} < F_{\max \text{ доз}},$$

потужність є достатньою.

Альтернативним є двигун 1FN1122, який має меншу монтажну довжину та збільшений поперечний переріз:

$$F_{\max \text{ доз}} = 3250 \text{ Н, } m_{\text{доз}} = 23,2 \text{ кг, } F_{\text{ном. доз}} = 1475 \text{ Н.}$$

Перевіряємо температурно-припустиму тривалу потужність.

Умова: $F_{трив} < F_{ном.дв}$, (рис. 4).

Для цього розглянемо весь цикл навантаження разом із часом зупинки (рис.

13)

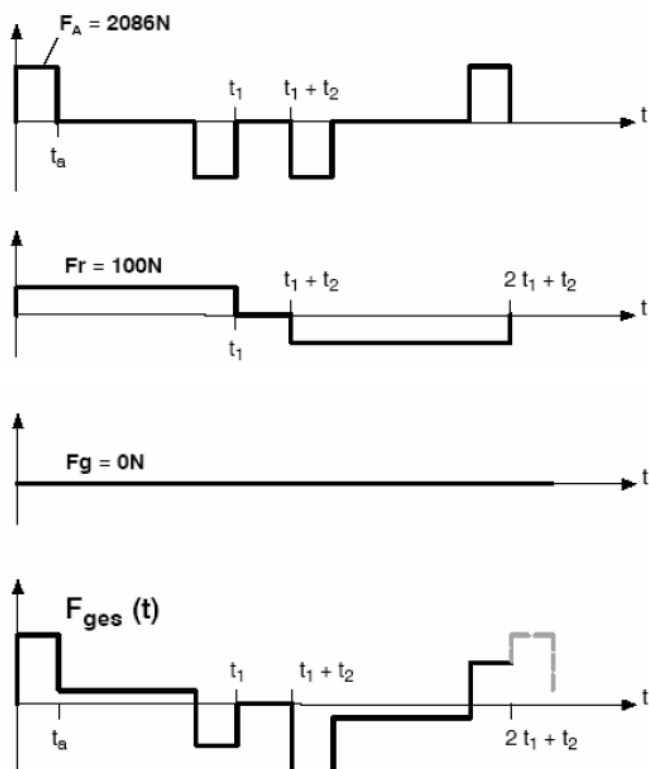


Рис. 13 Цикл навантаження. Позначено: F_A – сила, зумовлена прискоренням; F_r – сила тертя; F_g – сила, яка зумовлена вагою вузла, що рухається вертикально чи нахиленою площиною; F_{ges} – сумарна сила.

Розраховуємо тривалу потужність:

$$F_{трив.} = \sqrt{\frac{1}{2t_1 + t_2} [F_1^2 t_a + F_2^2 (t_1 - 2t_a) + F_3^2 \cdot t_a + F_4^2 \cdot t_2 + F_5^2 \cdot t_a + F_6 (t_1 - 2t_a) + F_7^2 t_a]} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2 \cdot 0,21 + 0,18} [2168,2^2 \cdot 0,054 + 100^2 (0,21 - 2 \cdot 0,054) + 1968,2^2 \cdot 0,054 + 0^2 \cdot 0,18 +$$

$$\sqrt{+ (-2168,2)^2 \cdot 0,054 + (-100)^2 \cdot 0,102 + 1968,2^2 \cdot 0,054} = 1255H$$

$$F_{трив.} < F_{ном.дв} = 1580 \text{ Н}$$

Обираємо первинну частину: тип 1FN1076, магнітно-активна довжина первинної частини 517,6 мм.

Обираємо вторинну частину згідно з обраною первинною: тип 1FN1070. Довжина сегментів 225,4 мм або 564 мм. Магнітний скос вторинних частин 9,4 мм.

Розрахуємо необхідну довжину без скося:

$$\ell_2 = 260 + 517,6 + 9,4 = 787 \text{ мм.}$$

Обираємо 2 вторинні частини:

- 1 частина з довжиною сегмента 225,4 мм (1FN1070-0AA00-0AA0);
- 1 частина з довжиною сегмента 564 мм (1FN1070-0AA00-1AA0).

Такі дві вторинні частини забезпечують довжину переміщення:

$$x_{\max} = (225,4 + 564) - 9,4 - 517,6 = 262,4 \text{ мм.}$$

Визначаємо потужність живлення. Пікова потужність живлення відповідає максимальним потужностям двигуна та швидкості.

Для двигуна 1FN1076: струм $I_{\max} = 28\text{A}$, $I_{\text{ном}} = 11,1\text{A}$. Стала потужності $K_F = 142\frac{\text{H}}{\text{A}}$, опір $R_p = 4,3\text{Ом}$, $V_{\max} = 95\frac{\text{M}}{\text{х6}}$.

$$P = P_{\text{мех}} + P_{\text{ел.}},$$

$$P_{\text{мех}} = F_{\max} \cdot V_{\max} = \frac{3450 \cdot 95}{60} = 5462,5 \text{ Вт.}$$

$$P_{\text{ел.}} = 3R_A I_{\text{эф.}}^2; \quad I_{\text{эф.}} = \frac{F_{\max}}{K_F} = \frac{3450}{142} = 24,3\text{A}; \quad P_{\text{ел.}} = 34,3 \cdot (24,3)^2 = 7617,3 \text{ Вт.}$$

Пікова потужність живлення (короткочасно):

$$P = 5462,5 + 7647,3 = 13109,8 \text{ Вт.}$$

За потужністю живлення можна обрати модуль живлення.

Дані для індивідуального розрахунку

№	m, кг	X _{max} , мм	t ₁ , с	t ₂ , с	F _{теп} , Н
1	100	350	0,52	0,2	124
2	30	540	1,0	1,0	70
3	70	420	0,32	0,15	110
4	120	250	0,4	0,3	105
5	25	390	0,16	0,1	70
6	85	310	0,36	0,23	90
7	105	600	1,13	0,37	80
8	157	470	1,29	0,4	135
9	200	700	1,35	0,31	150
10	60	290	0,41	0,25	115
11	40	400	0,43	0,65	80
12	80	500	0,82	0,35	110
13	90	570	0,63	0,5	130
14	165	800	1,54	2,0	140
15	180	380	0,71	1,4	65
16	210	600	0,8	0,6	38
17	25	1050	0,85	0,5	11
18	170	900	1,4	1,0	190
19	15	330	0,69	0,6	10
20	140	720	1,15	0,85	120
21	190	450	1,52	1,45	160
22	130	675	1,61	1,8	90

ЗАВДАННЯ 2.

На обробному центрі застосована компоновка з 3-ма ЛД, розташованими один на одному (від z всередині до x назовні). Двигуни, які розташовані нижче, рухають також і маси двигунів, що знаходяться вище за них.

Розрахувати двигуни X_1 та X_2 осі X, які виконані як Gantry, тобто кожний з ЛД має відповідно власну лінійну вимірнювальну систему й власний перетворювач.

Вихідні дані: подана діаграма швидкість/час, прискорення (уповільнення) не перевищує $2g$. В кінці цикла – зупинка тривалістю 80 мсек. Зусилля обробки становить $F_B=1000$ Н.

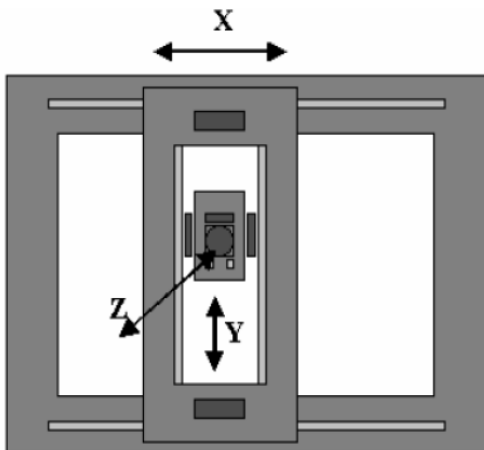


Рис.14 Компоновка обробного центру з 3-ма ЛД. Кольором позначено: механічна система; лінійні напрямні; ЛД.

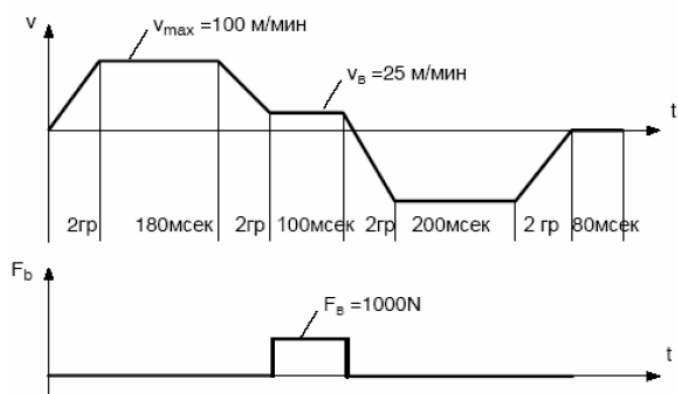


Рис.15 Діаграми швидкість / час та зусилля обробки / час.

Маса салазок Y разом з деталями двигуна складає $m_{YS} = 170$ кг. Вага рами, по якій рухаються салазки Y, $m_{YR} = 280$ кг.

Шлях переміщення за осями X та Y 630 мм. Тертя за віссю X – 300Н на сторону.

Розв'язок.

Маса первинної частини двигуна по осі Х поки що невідома.

Розподіл ваги в системі залежить від позиції салазок Y і не є симетричним: найгірший випадок відповідає розташуванню салазок Y на одному з кінців свого переміщення.

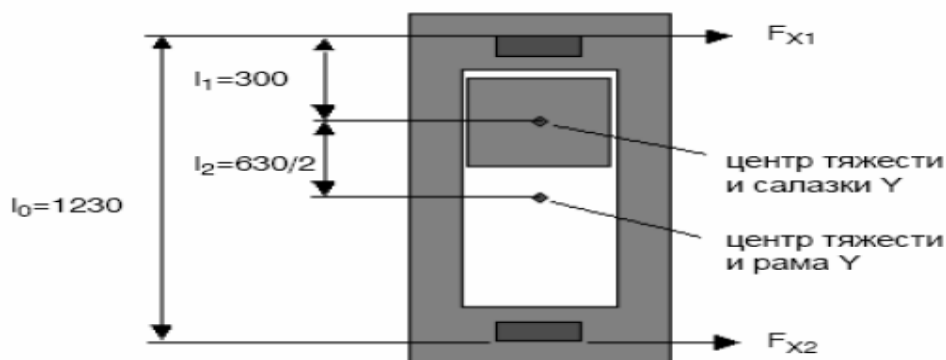


Рис. 16. Розрахункова схема.

В цьому положенні потужність F_{X1} двигуна X1 повинна прискорювати половину рами Y та більшу частину салазок Y. Двигун X1 в цьому випадку повинен прискорювати 269кг, а двигун X2 лише 181кг (маси первинних частин обох двигунів не враховані).

Прискорення $a=2g=19,62\text{м/с}^2$, у навантажувальному циклі не виникає зусилля обробки в режимах прискорення, тобто можна визначити потрібну пікову потужність безпосередньо за використання розподілу ваги.

Тягове зусилля за віссю X_1 :

$$F_{X1} = a \left[\frac{m_{YR}}{2} + \frac{l_0 - l_1}{l_0} m_{YS} \right] = 2 \cdot 9,81 \left[\frac{280}{2} + \frac{1280 - 30}{1280} \cdot 170 \right] = 6481,14 \text{ Н}.$$

За величиною F_{X1} обираємо попередньо лінійний двигун X₁

1FN1184 (фірма Siemens): $F_{\text{max}} = 7920 \text{ Н}$, $F_{\text{ном.}} = 3600 \text{ Н}$,

$K_F = 138 \text{ Н/А}$, $V_{\text{MAX, FMAX}} = 100 \text{ Н/ХВ}$, $m_{x1} = 44,5 \text{ кг}$, $R_A = 1,51 \text{ Ом}$ (при 120°).

Двигун X₁ приводить у рух масу:

$$\frac{m_{YR}}{2} + \frac{l_0 - l_1}{l_0} m_{YS} = \frac{280}{2} + \frac{1280 - 300}{1280} \cdot 170 = 270 \text{ кг},$$

а двигун X2 – масу $(280+170)-270=180 \text{ кг}$.

Ці значення не містять маси двигунів.

Обираємо попередньо первинну частину ЛД за величиною $F_{\max}=7920\text{Н}$ та уточнюємо максимальну потужність:

$$F_{\max 1} = 19,62(270 + 44,5) + 300 = 6533\text{Н}.$$

Теоретично було б достатньо двигуна 1FN1126, який має $F_{\max} = 6500\text{Н}$, але резерв регулювання буде недостатнім.

Перевіряємо максимальну швидкість двигуна. Двигун 1FN1184-5AF71 за швидкості 100 м/хв. розвиває пікову потужність $7920\text{Н} > F_{\max 1}$.
Перевіряємо тривалу потужність $F_{\text{трив}}$, яка складається із сили F_a , що викликана прискоренням, сили тертя $F_{\text{тер}}$ та сили обробки F_s . Розглянемо діаграму потужність/час.

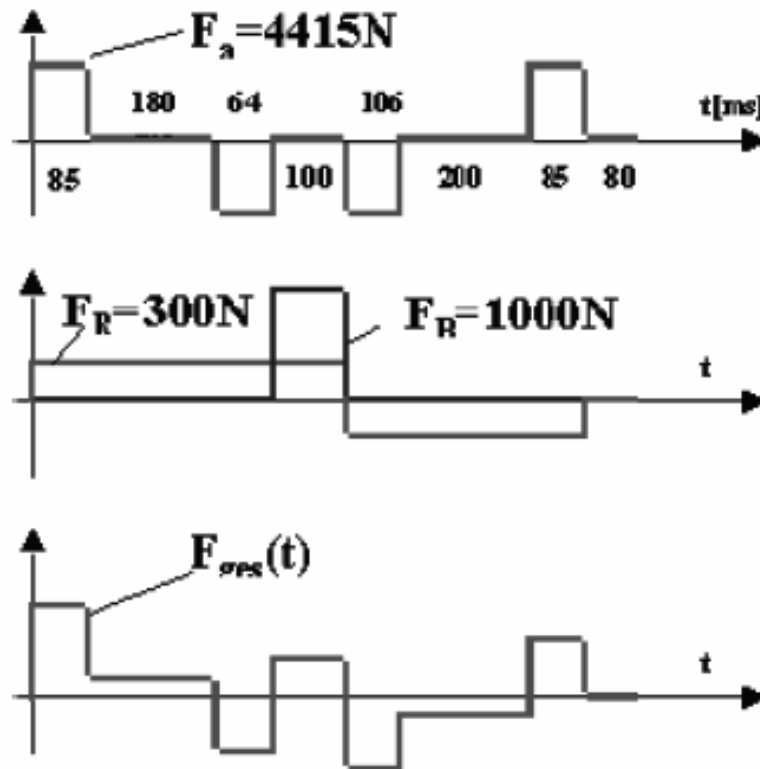


Рис. 17. Діаграма потужність/час.

Згідно спрощеної формули (для прямокутної діаграми):

$$F_{\text{трив}} = \sqrt{\frac{1}{t_u} \sum F_i^2 t_i}.$$

Визначимо складові F_i та t_i :

$$F_1 = \frac{1}{2}(m_{YR} + m_{YS}) \cdot a + F_{mp} = \frac{1}{2}(170 + 280) \cdot 19,82 + 300 = 4759,5 \text{ Н};$$

$$F_2 = F_{mp} = 300 \text{ Н}; \quad F_3 = F_1 - 2F_{mp} = 4159 \text{ Н}; \quad F_4 = F_{mp} + F_6 = 300 + 1000 = 1300 \text{ Н};$$

$$F_5 = F_1 \text{ Н}; \quad F_6 = F_{mp} = 300 \text{ Н}; \quad F_7 = F_3 ;$$

$$t_a = \frac{V_{\max}}{a} \text{ Н}; \quad t_1 = \frac{100}{60 \cdot 19,82} = 0,085 \text{ с}; \quad t_3 = \frac{(100 - 25)}{60 \cdot 19,82} = 0,063 \text{ с};$$

$$t_5 = \frac{(25 + 100)}{60 \cdot 19,82} = 0,106 \text{ с}; \quad t_7 = t_1 = 0,085 \text{ с};$$

$$t_y = 2 \cdot 0,085 + 0,18 + 0,064 + 0,1 + 0,106 + 0,2 + 0,08 = 0,9 \text{ с};$$

$$F_{\text{прив}} = \sqrt{\frac{1}{0,9} \left[4759,5^2 \cdot 0,085 + 300^2 \cdot 0,18 + (-4159,5)^2 \cdot 0,064 + 1300^2 \cdot 0,1 + (-4759,5)^2 \cdot 0,106 + (-300)^2 \cdot 0,2 + 4159,5^2 \cdot 0,085 \right]} = 2810,3 \text{ Н}$$

$F_{\text{прив}} < F_{\text{ном.дв}} = 3600 \text{ Н}$, тобто двигун придатний за тепловими характеристиками.

Пікова потужність відповідає максимальним показникам потужності і одночасно швидкості. Максимальна потужність живлення виникає за умови нерівномірного розподілу ваги. Втрати пропорційні квадрату потужності двигуна. Для двигуна $\times x_1$ та $\times x_2$ потужності живлення визначають окремо.

Максимальна потужність двигуна x_1 складає $F_{x_1} = 6533 \text{ Н}$, максимальна швидкість $100 \text{ м/хв.} = 1,67 \text{ м/с}$.

Механічна потужність, яку віддає привод:

$$P_{\text{мех1}} = F_{x_1} \cdot V_{\max} = 6533 \cdot 1,67 = 10910 \text{ Вт.}$$

Електричні втрати:

$$P_{\text{ел}} = 3R_A I_{\text{эф}}^2; \quad I_{\text{эф}} = \frac{F_{\text{ном.дв}}}{K_F} = \frac{6481,14}{138} = 46,96 \text{ А};$$

$$P_{\text{ел}} = 3 \cdot 1,51 \cdot (46,96)^2 = 9989,7 \text{ Вт.}$$

Пікова потужність:

$$P_1 = 10910 + 9989,7 = 20899,8 \text{ Вт.}$$

Для привода X_2 :

$$P_{\text{мех2}} = [(180 + 44,5) \cdot 19,62 + 300] \cdot \frac{100}{60} = 7856,8 \text{ Вт};$$

$$P_{el2} = 3 \cdot 1,51 \cdot \left(\frac{4704,7}{138} \right)^2 = 5267,5 \text{ Вт.}$$

Пікова потужність $P_2 = 13124,3 \text{ Вт.}$

Пікова потужність живлення всієї системи:

$$P = P_1 + P_2 = 34024,1 \text{ Вт.}$$

Обираємо вторинні частини. Тип – 1FN1180. Вони виготовляються з 2-ма монтажними довжинами: 216 мм та 504 мм.

Шлях переміщення 630 мм, активна довжина первинної частини 518 мм, скіс вторинних частин 12 мм.

Необхідна довжина вторинної частини без скосу:

$$\ell_2 = 630 + 518 + 12 = 1160 \text{ мм.}$$

Для кожного боку обираємо по 3 сегменти вторинної частини довжиною 216 мм та один сегмент довжиною 504 мм. Забезпечується довжина $216 \times 3 + 504 = 1152$ мм. Не вистачає 8 мм, які можна розподілити на обидва кінці переміщення і це не вплине на характеристику привода.

Кожен з двигунів може працювати з тривалим струмом у 26,1А та піковим 65,5А. У вказаному циклі використовується тривалий струм у 20,2 А та піковий 46,7А. Можна обрати силову частину 28А/56А на кожний двигун, а з силовою частиною 56А/112А можна збільшити потужність.

Дані для індивідуального розрахунку

№	V _{max} , М / ХВ	V _{min} , М / ХВ	V _B , М / ХВ	F _B , Н	F _{тер} , Н	t _{Vmax} , МС	t _{Vmin} , МС	t _B , МС	t _{зуп} , МС	m _{YS} , КГ	m _{YR} , КГ	X, ММ	Y, ММ
1.	110	160	20	1200	250	170	150	110	50	160	250	550	550
2.	150	150	26	1500	220	140	140	130	60	140	230	600	700
3.	125	140	30	1300	320	160	150	95	75	200	320	650	800
4.	90	130	20	1100	330	190	160	120	85	210	350	450	450
5.	85	150	25	1400	290	210	120	200	90	180	300	450	600
6.	105	105	35	1250	280	200	200	180	100	200	290	650	450
7.	140	140	20	900	340	150	150	150	95	220	330	850	500
8.	130	150	30	1600	270	175	145	140	110	160	290	700	500
9.	80	140	25	1150	310	220	130	115	40	190	310	700	700
10.	115	140	22	1000	260	195	170	160	70	150	260	650	550
11.	120	150	40	1280	310	165	145	125	54	155	200	300	500
12.	132	180	35	1350	320	180	132	110	85	195	260	450	450
13.	146	250	50	1125	280	125	110	75	45	185	255	350	600
14.	127	200	30	1220	295	155	120	80	40	135	195	550	850
15.	160	280	55	1700	350	170	125	100	60	145	190	500	300
16.	118	240	45	2000	380	185	160	130	55	180	350	500	750
17.	98	160	34	1800	340	205	170	155	65	190	340	650	900
18.	137	260	42	1300	350	210	175	120	45	175	290	340	340
19.	154	300	53	1480	275	215	145	145	50	210	370	400	700
20.	141	270	58	1560	410	190	190	150	75	165	330	500	650

ЗАВДАННЯ 3.

Розрахувати лінійний сервопривод швидкісного порталу завантажування (рис. 18) , який має лінійні двигуни приводу горизонтальної осі X та вертикальної осі Z.

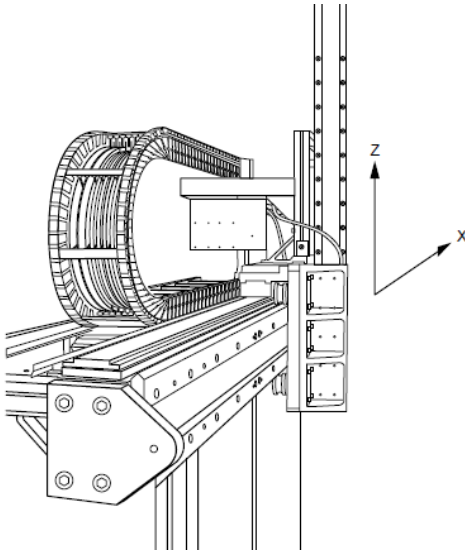


Рис. 18. Швидкісний портал завантажування.

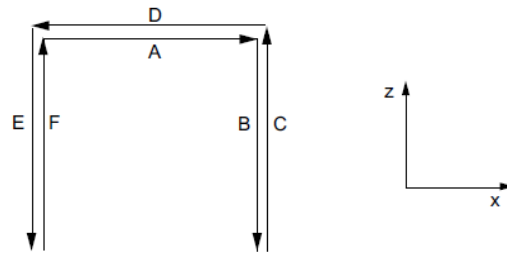


Рис. 19. Цикл переміщення.

Позначено рухи: А – вперед; В – вниз; С – вгору; D – назад; Е – вниз; F – вгору.

Вихідні дані:

Горизонтальна вісь X:

Маса $m_{x1} = 50$ кг (без маси двигуна вертикальної осі).

Максимальна швидкість $V_{\max} = 6$ м/с. Довжина ділянки переміщення

$$\ell_x = 2 \text{ м.}$$

Вертикальна вісь Z:

Маса $m_{z1} = 25$ кг. Максимальна швидкість $V_{\max} = 6$ м/с. Довжина ділянки

переміщення $\ell_z = 0,8$ м.

Цикл переміщення подано на рис. 17. Тривалість кожного з переміщень становить $\sim 0,5$ с. Коефіцієнт тертя $\mu = 0,01$.

Розв'язок:

Умова: час циклу мінімальний, тобто для вісі Z крива швидкості повинна бути трикутною, якщо при цьому $V_{\max} = 6 \text{ м/с}$. З врахуванням циклу переміщення побудуємо діаграми швидкостей та потужностей для кожної з осей – горизонтальної X та вертикальної Z.

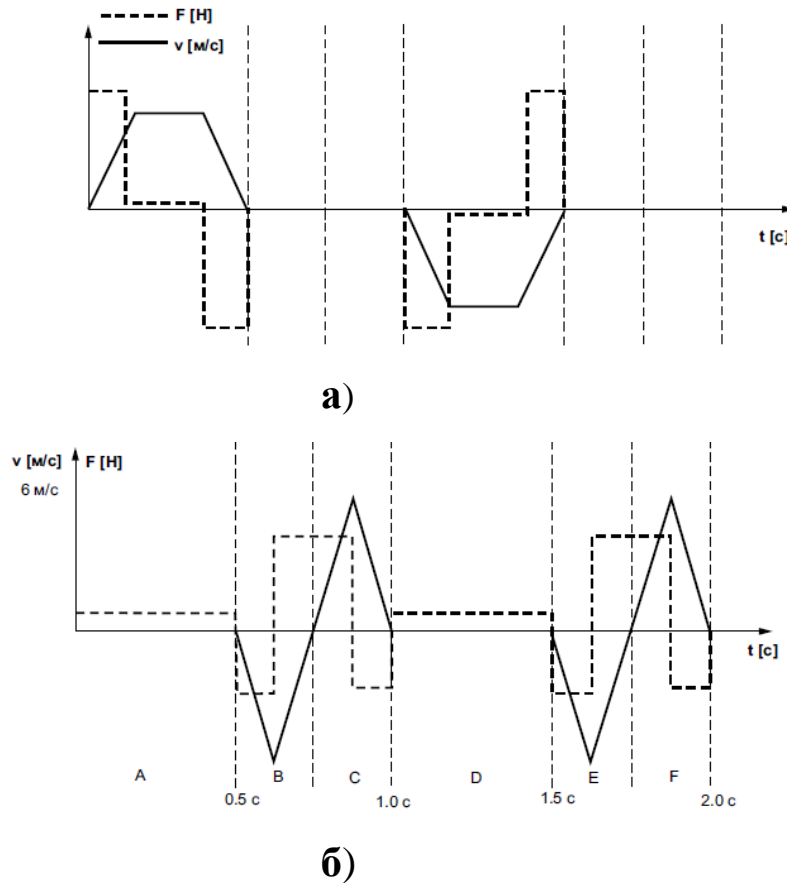


Рис. 20. Діаграма робочого циклу. Позначено: а) – вісь X; б) – вісь Z.

Проектування механізму переміщення по вісі X.

1. Розрахунок робочого циклу.

Машинний нуль – крайнє ліве положення, позитивний напрямок переміщення: вправо.

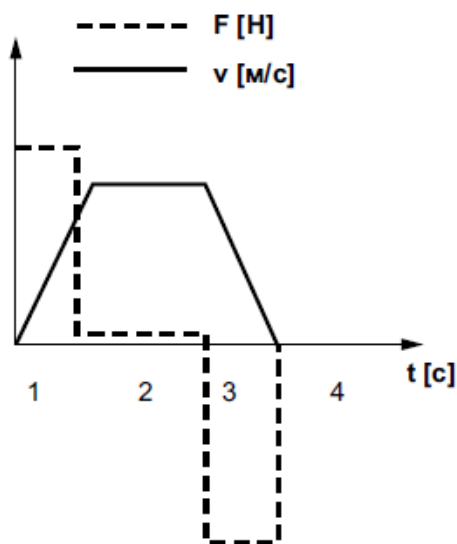


Рис. 21 Ділянки робочого циклу

З діаграми робочого циклу маємо: привод повинен проходити 2 м за 0,5с. Якщо швидкість змінюється за трикутником, то:

$$V_{\max} = \frac{2 \cdot \ell_x}{t} = \frac{2 \cdot 2}{0,5} = 8 \text{ м/с.}$$

$V_{\max} > V_{\max \text{ доз.}} = 6 \text{ м/с}$, тобто зміни швидкості можливі лише за законом трапеції. Прискорення можна вирахувати з умови: 1/3 прискорення, 1/3 постійна швидкість; 1/3 уповільнення. Прискорення вважаємо рівномірним.

$$a_{\max} = \frac{V_{\max}}{1/3t} = \frac{6}{1/3 \cdot 0,5} = 36 \text{ м/с}^2.$$

2. Оцінка типорозміру двигуна.

Спочатку треба спроектувати привод підйому, потім – привод переміщення. В цьому разі за масу привода підйому орієнтовно приймаємо загальне навантаження 60 кг. Тоді механізм переміщення буде мати масу (навантаження): $m_x = m_{x1} + 60 = 50 + 60 = 110 \text{ кг}$.

Потужність: $F_{\max} = m_x [a_{\max} + (g \sin \alpha)] \times 1,5 = 110 \cdot 36 \cdot 1,5 = 5940 \text{ Н}$,
 привод є вертикальним, тобто $(g \sin \alpha) = 0$, α – кут нахилу ділянки переміщення.

Обираємо двигун SL2-P-150ML-060 (Sew Eurodrive):

$F_1 = 6000 \text{ Н}$ – максимальне тягове зусилля;

$F_D = 17000 \text{ Н}$ – сила магнітного притягування;

$m_p = 36 \text{ кг}$ – маса первинної частини.

$$V_{\text{ном}} = 6,4 \text{ м/с.}$$

Обов'язкова умова: $F_{\text{max}} \leq F_1$. Маємо $5940\text{Н} < 6000\text{Н}$ – умова виконується.

3. Розрахунок сил на ділянках руху та перевірка використання у динамічному режимі.

У загальному випадку на привод діють робоче зусилля обробки, сила тертя, сила, що зумовлюється прискоренням у динамічному режимі.

Максимальна сила тертя:

$$F_{\text{тер}} = (F_G + F_D) \cdot \mu = [(m_x + m_p) \cdot g \cos \alpha + F_D] \cdot \mu = [(110 + 36)9,81 + 17000] \cdot 0,01 = 184,3 \text{ Н.}$$

Робоче зусилля F_z відсутнє: проектується привод завантаження.

Сила, зумовлена прискоренням у динамічному режимі:

$$F_a = (m_x + m_p) a_{\text{max}} = (110 + 36) \cdot 36 = 5256 \text{ Н.}$$

Для ділянок руху 1-4 отримаємо наступне:

Таблиця 1.

Ділянка	1	2	3	4
Відстань, Н	0,5	1	0,5	0
Час, с	0,167	0,167	0,167	0,5
Швидкість, м/с (наприкінці руху)	6	6	0	0
Прискорення, м/с ²	36	0	-36	0
Тягове зусилля, Н	$F_a + F_{\text{тер}}$ 5440,3	$F_{\text{тер}}$ 184,3	$-F_a + F_{\text{тер}}$ 5071,7	0

Максимальне тягове зусилля:

$$F_{\text{max}} = F_a + F_{\text{тер}} = 5256 + 184,3 = 5440,3 \text{ Н}$$

Умова $F_{\text{max}} < F_1$: $5440,3\text{Н} < 6000\text{Н}$. Умова виконується.

4. Розрахунок ефективного зусилля та середньої швидкості з метою перевірки його використання з умови нагрівання.

$$\text{Ефективне зусилля: } F_{\text{эф.}} = \sqrt{\frac{1}{t_y} (\sum F_i^2 \cdot t_i)}$$

$$F_{ef.} = \sqrt{\frac{1}{1} (5440,3^2 \cdot 0,167 + 184,3^2 \cdot 0,167 - 5071,7^2 \cdot 0,167)} = 3040,4 \text{ Н}$$

Умова: $F_{ef.} \leq F_{ном.}$ (рис.4).

$3040,4 \leq 3600$ – умова виконується тому, що точка знаходиться нижче граничної кривої, що відповідає нагріванню у режимі S1.

5. Вибір сервопідсилювача.

Для транспортних та підйомних пристроїв рекомендовано сервопідсилювачі серії MOVIDRIVE (Sew Eurodrive).

Сервопідсилювач MOVIDRIVE MDX61 (Sew Eurodrive) обираємо за швидкістю 6 м/с та зусиллю $F_{max} = 5440,3 \text{ Н}$. У даному випадку це MD×61B0300 при $F_{max} = 5600 \text{ Н}$ (дод. 2).

6. Вибір гальмівного резистора здійснюють за максимальною й середньою потужністю за ввімкнутого резистора, що є активним на ділянці 3.

Максимальна потужність гальмівного резистора на початку ділянки 3:

$$P_{max} = F_{max} \cdot V_{max} \cdot \eta = 5071,7 \cdot 6 \cdot 0,9 = 27,4 \text{ кВт} .$$

Середня потужність гальмування (ділянка 3, робочий цикл):

$$P = \frac{P_{max}}{2} = 13,7 \text{ кВт} .$$

Тривалість вмикання ПВ:

$$ПВ = \frac{t_3}{t_y} = \frac{0,167 \cdot 100}{1} = 17\% ,$$

t_3 - тривалість ділянки 3, t_y - тривалість циклу. Обираємо гальмівний резистор: BW012-50 (Sew Eurodrive).

7. Визначення параметрів вторинної частини.

Необхідна довжина вторинної частини:

$$l \geq l_x + l_1 + 2s_e = 2 + 0,72 = 2,72 , \text{ де } s_e - \text{ділянка скосу.}$$

З обох боків вторинної частини передбачено по 10мм для кінцевих вимикачів. У цій зоні привод додатково гальмується амортизатором-обмежувачем і перекриття первинної та вторинної частин стає неповним.

Вторинна частина SL2-S-150-512 має довжину 512 мм, а SL2-S-150-064 – 64 мм.

Можемо обрати 5 секцій по 512 мм та 3 секції по 64. Маємо загальну довжину вторинної частини:

$$5 \cdot 512 + 3 \cdot 64 = 2752 \text{ мм.}$$

8. Вибір додаткових компонентів.

Додаткові компоненти потрібні для повної приводної системи і ці компоненти не поставляє Sew Eurodrive.

До цих компонентів віднесено:

- датчик абсолютного відліку або інкрементний;
- лінійні напрямні;
- амортизатори-обмежувачі;
- кабелі двигуна й датчика;
- можливо, зовнішнє аварійне гальмо тощо.

Проектування підйомного механізму (вісь Z).

1. Розрахунок робочого циклу.

Нульова точка – граничне верхнє положення, позитивний напрямок переміщення: вгору.

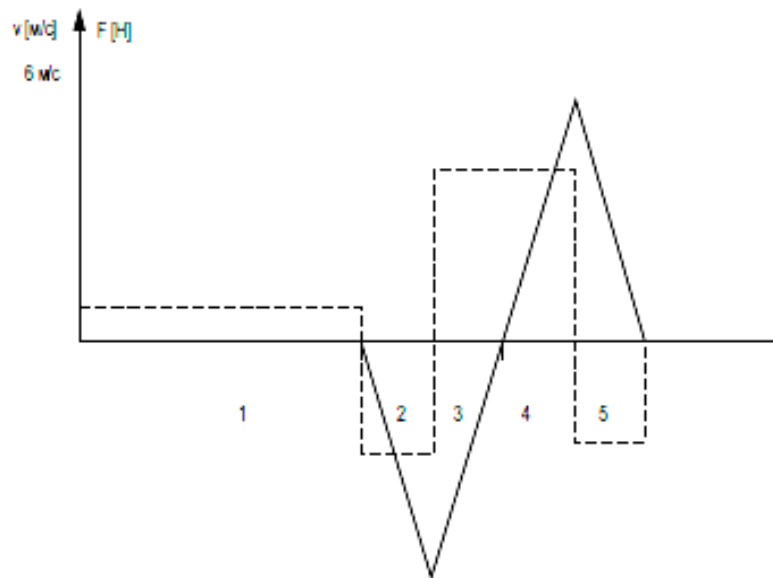


Рис. 22 Ділянки робочого циклу.

Ділянки робочого циклу 1, 2, 3, 4, 5. Закон змінювання швидкості трикутний. Необхідне прискорення за трикутного закону змінювання швидкості:

$$a_{\max} = \frac{V_{\max}^2}{2 \cdot \frac{1}{2}} = \frac{6}{0,8} = 45 \text{ м/с}^2, \quad t = \frac{V_{\max}}{a_{\max}} = \frac{6}{45} = 0,133 \text{ м/с}^2,$$

2. Оцінка типорозміру двигуна:

$$F_{\text{ном.}} \leq F_1,$$

$$F_{\text{ном.}} = m_z \left[a_{\max} + g \sin 90^\circ \right] \cdot 1,5,$$

m_z - маса однієї вісі, яка переміщується.

$$F_{\text{ном.}} = 25(45 + 9,81)1,5 = 2055 \text{ Н}.$$

Обираємо двигун SL2-P-100M-060 SEW Eurodrive. Технічні характеристики: $F_{\max} = 3970 \text{ Н}$ – максимальне тягове зусилля, $F_1 = 3000 \text{ Н}$, $V_1 = 6 \text{ м/с}$, $F_{\text{ном.}} = 1800 \text{ Н}$, $F_D = 8570 \text{ Н}$ - сила магнітного притягування, $m_p = 18,9 \text{ кг}$ – маса первинної частини.

3. Розраховуємо сили, перевіряємо можливість використання у динамічному режимі.

Сила тертя:

$$F_{\text{тер.}} = (F_G + F_D)\mu = \left[(m_z + m_p) \cdot g \cos 90^\circ + F_D \right] \cdot \mu = 8570 \cdot 0,1 = 85,7 \text{ Н}.$$

Робоче зусилля: $F_z = m_{\Sigma}a$; $a=g$.

$$F_z = (m_z + m_p + m_{\text{доод}})g = (25 + 18,9 + 5) \times 9,81 = 480 \text{ Н},$$

$m_{\text{доод}}$ - додаткова маса гальма підйомного механізму, кабелю тощо, приймаємо $m_{\text{доод}} = 5$ кг.

Прискорююча сила у динамічному режимі:

$$F_a = (m_z + m_p + m_{\text{доод}})a_{\text{max}} = (25 + 18,9 + 5) \cdot 45 = 2200 \text{ Н}.$$

Для ділянок руху 1-5 отримаємо наступне:

Таблиця 2.

Ділянка	1	2	3	4	5
Відстань, м	0	- 0,4	- 0,4	0,4	0,4
Час, с	0,5	0,133	0,133	0,133	0,133
Швидкість, м/с (наприкінці руху)	0	- 6	0	6	0
Прискорення, м/с ²	0	- 45	45	45	- 45
Тягове зусилля, Н	$F_z - F_{\text{мер.}}$ 394,3	$-F_a + F_z - F_{\text{мер.}}$ - 1805,7	$F_a + F_z - F_{\text{мер.}}$ 2594,3	$F_a + F_z + F_{\text{мер.}}$ 2765,7	$-F_a + F_z + F_{\text{мер.}}$ - 1634,3

Всі робочі точки знаходяться нижче кривої граничного зусилля у динамічному режимі.

Максимальне тягове зусилля:

$$F_{\text{max}} = F_a + F_z + F_{\text{мер.}} = 2200 + 480 + 85,7 = 2765,7 \text{ Н}.$$

Умова $F_{V_{\text{max}}} \leq F_1$ виконується: $2765,7 \text{ Н} < 3000 \text{ Н}$.

4. Розрахунок ефективного зусилля і середньої швидкості та перевірка стану двигуна щодо нагріву:

$$F_{\text{эф.}} = \sqrt{\frac{\sum F_i^2 t_i}{t_{\text{ц}}}}, \quad t_{\text{ц}} = 1 \text{ с},$$

$$F_{\text{эф.}} = \sqrt{\frac{1}{1} (394,3^2 \cdot 0,5) + 1805,7^2 \cdot 0,133 + 2594,3^2 \cdot 0,133 + 2765,7^2 \cdot 0,133 + 1634,3^2 \cdot 0,133} = 1667 \text{ Н}.$$

У всьому циклі $V_{\text{max}} < V_1$, тобто $V_{\text{сеп.}}$ також менше за $V_{\text{ном.}}$.

Умова $F_{\text{эф.}} \leq F_{\text{ном.}}$ виконується: $1667 \text{ Н} < 1800 \text{ Н}$.

Робоча точка лежить нижче граничної кривої з врахуванням нагрівання у режимі S_1 .

5. Вибір сервопідсилювача.

Для транспортних та підйомних пристроїв рекомендовано сервопідсилювачі серії MOVIDRIVE (Sew Eurodrive).

Обираємо за швидкістю та зусиллям $F_{\max} = 2765,7 \text{ Н}$. Згідно з даними для лінійних серводвигунів SL2 для сервопідсилювача MOVIDRIVE MDX61B0220 виконується умова $F_{\max} < F_{\text{табл.}} : 2765,7 \text{ Н} < 3700 \text{ Н}$.

Для механізмів підйому, які мають електричне утримування, треба перевірити, чи здатен сервопідсилювач тривало подавати та утримувати струм для створення зусилля. Це стосується і того випадку, коли привод стоїть, а весь струм тече через одну лінію інвентора (один модуль IGBT). Номінальний струм $I_{\text{ном.}} = 29,2 \text{ А}$, сервопідсилювача — $I_{\text{ном.с.}} = 46 \text{ А}$. Визначаємо припустиме

тривале зусилля $F_{\text{трив.}} = \frac{I_{\text{ном.с.}}}{\sqrt{2}} \cdot K_N$, де $K_N = \frac{F_{\text{ном.}}}{I_{\text{ном.}}} = \frac{1800}{29,2} = 61,6$.

$F_{\text{трив.}} > F_{\text{max1}}$, де F_{max1} - зусилля на ділянці 1 робочого циклу.

$$F_{\text{трив.}} = \frac{46}{\sqrt{2}} \cdot 61,6 = 2025 \text{ Н}, 2025 \text{ Н} > 394,3 \text{ Н}.$$

6. Обираємо резистор гальмування.

Резистор гальмування активний на ділянках 3 та 5. Визначаємо максимальну і середню потужності гальмування.

Робочий цикл, ділянка 3.

$$P_{\max 3} = F_{\max 3} \cdot V_{\max} \cdot \eta = 2594,3 \cdot 6 \cdot 0,9 = 14 \text{ кВт}.$$

$$P_{\text{ср.3}} = 0,5 P_{\max} = 0,5 \cdot 14 = 7 \text{ кВт}.$$

Тривалість вмикання 0,133 с.

Робочий цикл, ділянка 5.

$$P_{\max 5} = F_{\max} V_{\max} \eta = 1634,3 \cdot 6 \cdot 0,9 = 8,8 \text{ кВт}.$$

$$P_{\text{ср.5}} = 0,5 P_{\max} = 4,4 \text{ кВт}.$$

Тривалість вмикання 0,133 с.

Середня потужність на ділянках 3 та 5:

$$P_{сep.} = \frac{P_{сep.} \cdot t_3 + P_{сep.} \cdot t_5}{t_3 + t_5} = \frac{7 \cdot 0,133 + 4,4 \cdot 0,133}{0,266} = 5,7 \text{ кВт.}$$

Тривалість вмикання:

$$ПВ = \frac{t_3 + t_5}{t_u} = \frac{0,266}{1} = 27\%.$$

Обираємо за системним руководством MOVIDRIVE тормозний резистор BW018-035 (Sew Eurodrive).

7. Визначення параметрів вторинної частини:

$$l \geq l_z + l + 2s_e = 0,8 + 0,544 + 0,02 = 1,346 \text{ м.}$$

$s_e = 10$ мм – для кінцевих вимикачів з обох боків.

Довжину первинної частини характеризують наступне позначення: VS – дуже коротка, S- коротка, М – середня, ML – середньо- довга. Активна ширина може становити 25; 50; 100; 150; 200 або 250 мм і теж входить у позначення двигуна.

У нашому випадку первинна частина має середню довжину і активну ширину 100 мм. У зоні дії кінцевого вимикача привод додатково гальмується амортизатором-обмежувачем.

Обираємо 2 секції по 512 мм (SL2-S-100-512), 1 секцію 256 мм (SL2-S-100-256), 1 секція 128 мм (SL2-S-100-128).

$$2 \cdot 512 + 256 + 128 = 1408 > 1346.$$

8. Обираємо додаткові компоненти, які не поставляє компанія-виробник двигуна. Для компанії Sew Eurodrive це наступне:

- Датчик абсолютного відліку. Наприклад, Stegmann Lincoder – використовується система вимірювань, що відповідає системі вимірювання лінійних переміщень фірми SICK/ Stegmann.

- Лінійні напрямні. Можуть застосовуватися напрямні фірм THK, INA, HSK, Schneeberger, Hiwin (рекомендовані компанією Sew Eurodrive).

- Кабелі, корпусні деталі.

- Амортизатори-обмежувачі.

- Гальма.

Дані для індивідуального розрахунку.

3.1. Привод осі X					3.2. Привод осі Z				
№	m_x, кг	V_{max}, м/с	l_x, м	A,D, с	№	m_z, кг	V_{max}, м/с	l_z, м	B,C,E, F, с
1	60	1,0	2,5	0,6	1	30	1,0	1,0	0,6
2	70	3,0	2,8	0,7	2	35	3,0	0,75	0,55
3	80	6,0	1,8	0,45	3	40	6,0	0,9	0,65
4	90	1,0	1,25	0,4	4	45	1,0	0,6	0,7
5	40	6,0	3,0	0,8	5	20	6,0	1,1	0,75
6	55	3,0	3,2	0,9	6	28	3,0	0,85	0,5
7	75	1,0	2,1	0,65	7	38	1,0	1,25	0,85
8	65	3,0	2,6	0,75	8	32	3,0	1,5	1,0
9	85	6,0	1,6	0,55	9	43	6,0	0,55	0,4
10	95	3,0	2,2	1,0	10	50	3,0	1,35	0,9
11	25	2,5	2,0	0,8	11	25	2,5	0,5	0,45
12	30	3,5	2,5	0,75	12	29	3,5	0,7	0,58
13	35	4,0	3,5	0,95	13	34	4,0	0,65	0,8
14	45	4,5	1,5	0,85	14	56	4,5	0,5	0,95
15	50	5,5	3,0	0,55	15	36	5,5	0,8	1,1
16	60	5,0	2,75	0,7	16	48	5,0	0,95	0,82
17	70	1,5	2,4	0,65	17	52	1,5	1,1	0,53
18	80	2,0	1,9	0,9	18	42	2,0	2	0,64
19	90	4,0	1,75	0,8	19	54	4,0	1,2	0,88
20	100	5,0	1,65	0,5	20	24	5,0	1,3	0,93

Позначено: тривалість горизонтальних переміщень у циклі – А, D;
вертикальних – В, С, Е, F.

Коефіцієнт тертя – $\mu=0,01$.

Література

1. Молодцов В.В. Особенности конструирования приводов подач с линейными двигателями. // СТИН – 2006. – №9. – с .9-14.
2. Проектирование приводов: Практика приводной техники. [Электронный ресурс] –SEW-EURODRIVE, Изд. 11/2001,10523057/ RU – 155с. – пер. с нем. Режим доступа : www.sew-eurodrive.com
3. Сервоприводы: Практика приводной техники. [Электронный ресурс] – SEW-EURODRIVE, Изд. 09/2006,11322853/ RU – 141с. – пер. с нем. Режим доступа : www.sew-eurodrive.com
4. SIMODRIVE. Линейные электродвигатели 1FN1, 1FN3. Руководство по проектированию. [Электронный ресурс] –Выпуск 06/2002. Режим доступа:www.siemens.ua

ДОДАТКИ

Технічні параметри ЛД типу 1FN3 (Siemens).

Обозначение Заказной номер первичной части	Параметры двигателя						
	F_N (1) [N]	F_{MAX} [N]	F_A [N]	I_N (1) [A]	I_{MAX} [A]	$V_{MAX, FN}$ (2) [м/мин]	$V_{MAX, FMAX}$ (2) [м/мин]
1FN3 050-2WC00-0AA	200	550	1330	2,7	8,2	373	146
1FN3 100-1WC00-0AA□	200	490	1330	2,4	6,5	322	138
1FN3 100-2WC00-0AA□	450	1100	2650	5,1	13,5	297	131
1FN3 100-2WE00-0AA□	450	1100	2650	8,1	21,5	497	237
1FN3 100-3WC00-0AA□	675	1650	3980	7,2	19,1	277	120
1FN3 100-3WE00-0AA□	675	1650	3980	12,1	32,2	497	237
1FN3 100-4WC00-0AA□	900	2200	5310	10,1	27,0	297	131
1FN3 100-4WE00-0AA□	900	2200	5310	16,1	43,0	497	237
1FN3 100-5WC00-0AA□	1125	2750	6630	11,0	29,5	255	109
1FN3 150-1WC00-0AA□	820	820	1990	3,6	9,5	282	126
1FN3 150-1WE00-0AA□	820	820	1990	6,4	17,1	534	259
1FN3 150-2WC00-0AA□	675	1650	3980	7,2	19,1	282	126
1FN3 150-3WC00-0AA□	1015	2470	5970	10,7	28,6	282	126
1FN3 150-4WC00-0AA□	1350	3300	7960	14,3	38,2	282	126
1FN3 150-5WC00-0AA□	1690	4120	9950	17,9	47,7	282	126
1FN3 300-1WC00-0AA□	615	1720	3430	6,5	20	309	128
1FN3 300-2WB00-0AA□	1225	3450	6870	12,6	39,2	297	125
1FN3 300-2WC00-0AA□	1225	3450	6870	12,6	39,2	297	125
1FN3 300-2WG00-0AA□	1225	3450	6870	32,2	99,7	805	369
1FN3 300-3WC00-0AA□	1840	5170	10300	19,0	58,7	297	125
1FN3 300-3WG00-0AA□	1840	5170	10300	50,0	154,9	836	383
1FN3 300-4WB00-0AA□	2450	6900	13730	16,0	49,4	176	63
1FN3 300-4WC00-0AA□	2450	6900	13730	25,3	78,3	297	125
1FN3 450-2WA50-0AA□	1930	5180	10300	8,6	25,3	112	30
1FN3 450-2WC00-0AA□	1930	5180	10300	18,8	55,3	275	120
1FN3 450-2WE00-0AA□	1930	5180	10300	33,8	99,7	519	240
1FN3 450-3WB00-0AA□	2895	7760	15450	17,9	52,7	164	62
1FN3 450-3WB50-0AA□	2895	7760	15450	22,8	67,3	217	90
1FN3 450-3WC00-0AA□	2895	7760	15450	28,1	83,0	275	120
1FN3 450-3WE00-0AA□	2895	7760	15450	50,7	149,6	519	240
1FN3 450-4WB00-0AA□	3860	10350	20600	23,8	70,3	164	62
1FN3 450-4WB50-0AA□	3860	10350	20600	30,4	89,8	217	90
1FN3 450-4WC00-0AA□	3860	10350	20600	37,5	110,6	275	120
1FN3 450-4WE00-0AA□	3860	10350	20600	67,6	199,5	519	240
1FN3 600-3WB00-0AA□	3915	10350	20600	23,2	67,3	155	58
1FN3 600-3WC00-0AA□	3915	10350	20600	35,2	102,4	254	112
1FN3 600-4WA30-0AA□	5220	13800	27460	22,3	64,9	105	28

Заказной номер первичной части	F_N (1) [N]	F_{MAX} [N]	F_A [N]	I_N (1) [A]	I_{MAX} [A]	$V_{MAX,FN}$ (2) [м/мин]	$V_{MAX,FMAX}$ (2) [м/мин]
1FN3 600-4WB00-0AA□	5220	13800	27460	30,9	89,8	155	58
1FN3 600-4WB50-0AA□	5220	13800	27460	40,8	118,5	215	91
1FN3 600-4WC00-0AA□	5220	13800	27460	46,9	136,5	254	112
1FN3 900-2WB00-0AA□	4050	10350	20600	24,7	69,5	160	65
1FN3 900-2WC00-0AA□	4050	10350	20600	36,7	103,3	253	115
1FN3 900-4WB00-0AA□	8100	20700	41210	49,4	138,9	160	65
1FN3 900-4WB50-0AA□	8100	20700	41210	60,6	170,3	203	88
1FN3 900-4WC00-0AA□	8100	20700	41210	73,5	206,5	253	115

Обозначение Заказной номер первичной части	Двигатель			Первичная часть		Вторичная часть	
	$P_{V,N}$ (1) [Вт]	h_M (3) [мм]	b_M (3) [мм]	Длина [мм]	Вес (3) [кг]	Длина [мм]	Вес (3) [кг]
1FN3 050-2WC00-0AA□	310	48,5 / 63,4	67 / 76	255	2,4 / 2,9	120	0,4 / 0,5
1FN3 100-1WC00-0AA□	550	48,5 / 63,4	96 / 105	150	3,8 / 4,4	120	0,7 / 0,8
1FN3 100-2WC00-0AA□	550	48,5 / 63,4	96 / 105	255	3,8 / 4,4	120	0,7 / 0,8
1FN3 100-2WE00-0AA□	550	48,5 / 63,4	96 / 105	255	3,8 / 4,4	120	0,7 / 0,8
1FN3 100-3WC00-0AA□	820	48,5 / 63,4	96 / 105	360	5,4 / 6,2	120	0,7 / 0,8
1FN3 100-3WE00-0AA□	830	48,5 / 63,4	96 / 105	360	5,4 / 6,2	120	0,7 / 0,8
1FN3 100-4WC00-0AA□	1100	48,5 / 63,4	96 / 105	465	7,4 / 8,5	120	0,7 / 0,8
1FN3 100-4WE00-0AA□	1100	48,5 / 63,4	96 / 105	465	7,4 / 8,5	120	0,7 / 0,8
1FN3 100-5WC00-0AA□	1320	48,5 / 63,4	96 / 105	570	9,1 / 10,4	120	0,7 / 0,8
1FN3 150-1WC00-0AA□	370	50,5 / 65,4	126 / 135	150	5,3 / 6,0	120	1,2 / 1,3
1FN3 150-1WE00-0AA□	370	50,5 / 65,4	126 / 135	150	7,8 / 8,7	120	1,2 / 1,3
1FN3 150-2WC00-0AA□	730	50,5 / 65,4	126 / 135	255	5,3 / 6,0	120	1,2 / 1,3
1FN3 150-3WC00-0AA□	1100	50,5 / 65,4	126 / 135	360	7,8 / 8,7	120	1,2 / 1,3
1FN3 150-4WC00-0AA□	1470	50,5 / 65,4	126 / 135	465	10,2 / 11,4	120	1,2 / 1,3
1FN3 150-5WC00-0AA□	1830	50,5 / 65,4	126 / 135	570	12,8 / 14,2	120	1,2 / 1,3
1FN3 300-1WC00-0AA□	520	64,1 / 79	141 / 151	382	11,4 / 12,4	184	2,4 / 2,6
1FN3 300-2WB00-0AA□	990	64,1 / 79	141 / 151	382	11,4 / 12,4	184	2,4 / 2,6
1FN3 300-2WC00-0AA□	990	64,1 / 79	141 / 151	382	11,4 / 12,4	184	2,4 / 2,6
1FN3 300-2WG00-0AA□	930	64,1 / 79	141 / 151	382	11,4 / 12,4	184	2,4 / 2,6
1FN3 300-3WC00-0AA□	1500	64,1 / 79	141 / 151	543	17,0 / 18,4	184	2,4 / 2,6
1FN3 300-3WG00-0AA□	1370	64,1 / 79	141 / 151	543	17,0 / 18,4	184	2,4 / 2,6
1FN3 300-4WB00-0AA□	1990	64,1 / 79	141 / 151	704	22,2 / 24,0	184	2,4 / 2,6
1FN3 300-4WC00-0AA□	1990	64,1 / 79	141 / 151	704	22,2 / 24,0	184	2,4 / 2,6
1FN3 450-2WA50-0AA□	1530	66,1 / 81	188 / 197	382	15,9 / 17,1	184	3,8 / 4,0
1FN3 450-2WC00-0AA□	1470	66,1 / 81	188 / 197	382	15,9 / 17,1	184	3,8 / 4,0

1FN3 450-2WE00-0AA□	1370	66,1 / 81	188 / 197	382	15,9 / 17,1	184	3,8 / 4,0
1FN3 450-3WB00-0AA□	2250	66,1 / 81	188 / 197	543	22,6 / 24,3	184	3,8 / 4,0
1FN3 450-3WB50-0AA□	2230	66,1 / 81	188 / 197	543	22,6 / 24,3	184	3,8 / 4,0
1FN3 450-3WC00-0AA□	2200	66,1 / 81	188 / 197	543	22,6 / 24,3	184	3,8 / 4,0
1FN3 450-3WE00-0AA□	2060	66,1 / 81	188 / 197	543	22,6 / 24,3	184	3,8 / 4,0
1FN3 450-4WB00-0AA□	3000	66,1 / 81	188 / 197	704	30,9 / 33,1	184	3,8 / 4,0
1FN3 450-4WB50-0AA□	2980	66,1 / 81	188 / 197	704	30,9 / 33,1	184	3,8 / 4,0
1FN3 450-4WC00-0AA□	2940	66,1 / 81	188 / 197	704	30,9 / 33,1	184	3,8 / 4,0
1FN3 450-4WE00-0AA□	2740	66,1 / 81	188 / 197	704	30,9 / 33,1	184	3,8 / 4,0
1FN3 600-3WB00-0AA□	2630	64,1 / 86	248 / 257	543	31,5 / 33,4	184	4,6 / 5,0
1FN3 600-3WC00-0AA□	3000	64,1 / 86	248 / 257	543	31,5 / 33,4	184	4,6 / 5,0
1FN3 600-4WA30-0AA□	4230	64,1 / 86	248 / 257	704	40,8 / 43,3	184	4,6 / 5,0
1FN3 600-4WB00-0AA□	4000	64,1 / 86	248 / 257	704	40,8 / 43,3	184	4,6 / 5,0
1FN3 600-4WB50-0AA□	3810	64,1 / 86	248 / 257	704	40,8 / 43,3	184	4,6 / 5,0
1FN3 600-4WC00-0AA□	3510	64,1 / 86	248 / 257	704	40,8 / 43,3	184	4,6 / 5,0
1FN3 900-2WB00-0AA□	2940	66,1 / 88	342 / 351	382	28,2 / 29,7	184	7,5 / 7,9
1FN3 900-2WC00-0AA□	2670	66,1 / 88	342 / 351	382	28,2 / 29,7	184	7,5 / 7,9
1FN3 900-4WB00-0AA□	5890	66,1 / 88	342 / 351	704	56,2 / 58,9	184	7,5 / 7,9
1FN3 900-4WB50-0AA□	5830	66,1 / 88	342 / 351	704	56,2 / 58,9	184	7,5 / 7,9
1FN3 900-4WC00-0AA□	5340	66,1 / 88	342 / 351	704	56,2 / 58,9	184	7,5 / 7,9

- (1) – за умови рідинного охолодження й температури подачі рідини 35°C.
(2) – за напруги проміжногоконтра перетворювача 600 В.
(3) – для виконань без/з опційними прецизійними елементами охолодження первинної або вторинної частини.

Технічні параметри ЛД типу 1FN1 (Siemens).

Технические параметры	Единица	072-3□F7□	076-3□F7□
Параметры проектирования			
F_{MAX} I_{MAX} $V_{MAX,FMAX}$ $P_{EL,MAX}$ F_A	N A М/МИН Вт N	1720 14 96 7730 4600	3450 28 95 15560 8500
F_N I_N $V_{MAX, FN}$ $P_{V, N}$	N A М/МИН Вт	790 5,6 203 800	1580 11,1 201 1600
$K_{F, 0-}$ $K_{E, 1-}$ $K_{M, 20}$ $K_{M, 120}$	N/A V/м/сек N / \sqrt{W} N / \sqrt{W}	142 47	142 47
$R_{P, 20}$ $R_{P, 120}$ L_P $K_{AK, 20}$ $K_{AK, 120}$ $T_{P, MAX}$	Ω Ω мН N/м/сек N/м/сек $^{\circ}C$	8,5 49 120	4,3 25 120
m_P m_B τ_M	кг кг/м мм	10,1 13,3 28,2	17,5 13,3 28,2
$I_{P, AKT}$ $I_{P, AKT, H}$	мм мм	292 364	517,6 589,6

Техн. параметры	Единица	122-5□C71	122-5□F71	124-5□C71	124-5□F71	126-5□C71	126-5□F71
Параметры проектирования							
F_{MAX} I_{MAX} $V_{MAX,FMAX}$ $P_{EL,MAX}$ F_A	N A М/МИН Вт N	3250 22,4 72 12500 9000	3250 28 105 14300 9000	4850 37,5 85 19570 12000	4850 40,8 103 21160 12000	6500 44,8 72 24960 15000	6500 56 103 28100 15000
F_N I_N $V_{MAX,FN}$ $P_{V,N}$	N A М/МИН Вт	1475 8,9 165 1350	1475 11,1 215 1350	2200 15 185 2030	2200 16,2 212 2030	2950 17,7 163 2650	2950 22,1 215 2650
$K_{F,3-}$ $K_{E,1-}$ $K_{M,20}$ $K_{M,120}$	N/A V/м/s N / \sqrt{W} N / \sqrt{W}	166 55,3	133 44,3	148 49,3	135 45	166 55,3	133 44,3
$R_{P,20}$ $R_{P,120}$ L_P $K_{AK,20}$ $K_{AK,120}$ $T_{P,MAX}$	Ω Ω мН N/м/сек N/м/сек °C	5,71 52,8 120	3,66 33,8 120	3,01 27,9 120	2,57 23,6 120	2,85 26,8 120	1,8 18 120
m_P m_s τ_M	кг кг/М ММ	23,2 31,5 36	23,2 31,5 36	31,9 31,5 36	31,9 31,5 36	40,7 31,5 36	40,7 31,5 36
$I_{P,AKT}$ $I_{P,AKT,H}$	ММ ММ	374 453	374 453	518 597	518 597	662 741	662 741

Технические параметры	Единица	244-5□C71	244-5□F71	246-5□C71	246-5□D71	246-5□F71
Параметры проектирования						
F_{MAX} I_{MAX} $V_{MAX,FMAX}$ $P_{EL,MAX}$ F_A	N A М/МИН Вт N	10900 69,9 65 37800 23500	10900 90,8 100 43900 23500	14500 93,7 66 50000 30000	14500 112 89 55300 30000	14500 119,9 100 58300 30000
F_N I_N $V_{MAX,FN}$ $P_{V,N}$	N A М/МИН Вт	4950 28 150 4050	4950 36,3 203 4050	6600 37,7 151 5400	6600 45,1 186 5400	6600 48,3 203 5400
$K_{F,3-}$ $K_{E,1-}$ $K_{M,20}$ $K_{M,120}$	N/A V/м/сек N / \sqrt{W} N / \sqrt{W}	177 59	136 45,3	175 58,3	146 48,5	136 45,3
$R_{P,20}$ $R_{P,120}$ L_P $K_{AK,20}$ $K_{AK,120}$ $T_{P,MAX}$	Ω Ω мН N/м/сек N/м/сек °C	1,77 19,9 120	1,04 11,8 120	1,29 14,7 120	0,9 10,5 120	0,79 9 120
m_P m_s τ_M	кг кг/М ММ	60,1 55,1 36	60,1 55,1 36	76 55,1 36	76 55,1 36	76 55,1 36
$I_{P,AKT}$ $I_{P,AKT,H}$	ММ ММ	518 597	518 597	662 741	662 741	662 741

Технічні параметри ЛД типу SL2 Basic (Sew Eurodrive).

Тип двигателя	Усилие				Скорость		Сила тока			Сечение жил кабеля ¹⁾ [мм]	
	F _{макс} [Н]	F ₁ [Н]	F _{ном} [Н]	F _D [Н]	v ₁ [м/с]	v _{ном} [м/с]	I _{макс} [А]	I ₁ [А]	I _{ном} [А]		
SL2-025VS	330	240	125	750	3	3,2	3,0	2,0	0,95	3 x 1,5	
SL2-025VS	330	225	125	750	6	6,8	6,0	4,0	2,0	3 x 1,5	
SL2-025S	650	470	240	1450	1,5	1,6	3,0	1,95	0,9	3 x 1,5	
SL2-025S	650	460	240	1450	3	3,2	6,0	3,9	1,8	3 x 1,5	
SL2-050VS	650	500	280	1480	-	-	-	-	-	-	3 x 1,5
					3	3,4	6,0	4,4	2,2	3 x 1,5	
SL2-050S	1300	1000	560	2880	1	1,3	4,8	3,5	1,8	3 x 1,5	
					3	3,4	11,8	8,7	4,5	3 x 1,5	
					6	6,9	24,5	17,8	9,0	3 x 1,5	
SL2-050M	1950	1500	840	4300	1	1,1	5,9	4,4	2,2	3 x 1,5	
					3	3,3	18,0	12,8	6,5	3 x 1,5	
					6	6,4	33,0	24,6	12,6	3 x 1,5	
SL2-050ML	2600	2000	1120	5700	1	1,1	7,8	5,8	2,9	3 x 1,5	
					3	3,4	24,0	17,8	9,1	3 x 1,5	
					6	6,9	48,0	35,5	18,2	3 x 2,5	
SL2-100VS	1325	1000	600	2950	1	1,1	4,8	3,4	1,9	3 x 1,5	
					3	3,8	14,2	10,3	5,6	3 x 1,5	
					6	6,9	24,6	17,8	9,7	3 x 1,5	
SL2-100S	2650	2000	1200	5760	1	1,1	8,0	5,8	3,1	3 x 1,5	
					3	3,4	25,0	17,8	9,7	3 x 1,5	
					6	6,9	49,0	35,5	20	3 x 2,5	
SL2-100M	3970	3000	1800	8570	1	1,3	14,2	10,3	5,6	3 x 1,5	
					3	3,2	35,0	24,6	13,5	3 x 1,5	
					6	6,9	75,0	53,3	29,2	3 x 4,0	
SL2-100ML	5300	4000	2400	11380	1	1,1	16,0	11,5	6,3	3 x 1,5	
					3	3,4	49,0	35,5	19,5	3 x 2,5	
					6	7,0	100,0	74,4	40,7	3 x 6,0	

Тип двигателя	Усилие				Скорость		Сила тока			Сечение жил кабеля ¹⁾ [мм]
	F _{макс} [Н]	F ₁ [Н]	F _{ном} [Н]	F _D [Н]	v ₁ [м/с]	v _{ном} [м/с]	I _{макс} [А]	I ₁ [А]	I _{ном} [А]	
SL2-150VS	2000	1500	900	4420	1	1,1	6,1	4,4	1,9	3 x 1,5
					3	3,3	18,0	12,8	7,0	
					6	6,4	35,0	24,6	13,5	
SL2-150S	3900	3000	1800	8640	1	1,1	12,0	8,7	4,8	3 x 1,5
					3	3,2	33,5	24,5	13,5	
					6	6,4	67,0	49,0	27,0	
SL2-150M	5800	4500	2700	12860	1	1,1	18,0	13,1	7,2	3 x 1,5
					3	3,4	53,0	39,0	21,5	
					6	6,4	100,0	74,5	40,7	
SL2-150ML	7700	6000	3600	17000	1	1,1	24,0	17,4	9,4	3 x 1,5
					3	3,7	76,0	56,7	31,0	
					6	6,4	132,0	98,0	53,8	
SL2-200VS	2700	2000	1260	5900	1	1,1	8,1	5,7	3,3	3 x 1,5
					3	3,4	25,0	17,8	10,2	
					6	7,6	55,0	39,2	22,5	
SL2-200S	5200	4000	2520	11520	1	1,1	15,6	11,5	6,6	3 x 1,5
					3	3,4	48,2	35,5	20,4	
					6	7,2	101	74,4	42,7	
SL2-200M	7800	6000	3780	17150	1	1,1	23,4	17,2	9,9	3 x 1,5
					3	3,4	72,0	53,3	30,1	
					6	6,4	132,0	98,0	53,8	
SL2-200ML	10350	8000	5040	22780	1	1,1	30,6	22,7	13,0	3 x 1,5
					3	3,6	100,0	74,4	42,8	
					6	6,4	132,0	98,0	53,8	
SL2-250VS	3170	2400	1500	7370	1	1,2	10,0	7,3	4,1	3 x 1,5
					3	3,5	30,0	21,8	12,4	
					6	6,6	57,0	41,2	23,5	
SL2-250S	6300	4800	3000	14400	1	1,1	18,7	13,6	7,8	3 x 1,5
					3	3,3	57,0	41,2	23,5	
					6	6,6	113,0	82,4	47,0	
SL2-250M	9450	7200	4500	21430	1	1,1	30,0	21,8	12,4	3 x 1,5
					3	3,5	90,0	65,0	37,2	
					6	6,4	132,0	98,0	53,8	
SL2-250ML	12600	9600	6000	28450	1	1,1	37,0	27,2	15,5	3 x 1,5
					3	3,3	113,0	82,5	47,0	
					6	6,4	132,0	98,0	53,8	

Додаток 3.

Максимальні зусилля, що можуть бути розвинуті залежно від перетворювача MOVIDRIVE MDX61B, який приєднано.

Значення зусиль однакові для всіх двигунів SL2 всіх виконань (Basic, Advance System, Power System)

Клас швидкості 6 м/с.

Двигатель $V_{ном} = 6$ м/с	P [кВт] $I_{ном}$ [A] I_{max} [A]	• MOVIDRIVE® MDX61B_A...-5_3 (400/500-B) в режимах SERVO (P700)													
		0005	0008	0011	0014	0015	0022	0030	0040	0055	0075	0110	0150	0220	0300
		2	2,4	3,1	4	4	5,5	7	9,5	12,5	16	24	32	46	60
	Исполнение	F_{max} [H]													
SL2-P025VS	Basic			330											
SL2-050VS	Basic Advance Power				400	320	415	510	650						
SL2-050S	Basic Advance Power							675	840	1040	1280	1300			
SL2-050M	Basic Advance Power									1200	1470	1950			
SL2-050ML	Basic Advance Power										1450	2025	2600		
SL2-100VS	Basic Advance Power								850	1045	1300	1325			
SL2-100S	Basic Advance Power											2025	2600	2650	
SL2-100M	Basic Advance Power											2025	2765	3700	3970
SL2-100ML	Basic												2800	3750	4780
SL2-150VS	Basic									1220	1470	2000			
SL2-150S	Basic Advance Power											2350	2950	3900	
SL2-150M	Basic Advance Power												3150	4220	5290
SL2-150ML	Basic Advance Power														5600
SL2-200VS	Basic											1860	2390	2700	
SL2-200S	Basic													3760	4710
SL2-250VS	Basic											2150	2730	3170	
SL2-250S	Basic													4150	5180

Клас швидкості 3 м/с.

Двигатель V _{ном} = 3 м/с	P [кВт] I _{ном} [A] I _{пик} [A]	• MOVIDRIVE® MDX61B_A...-5_3 (400/500-B) в режимах SERVO (P700)															
		0005	0008	0011	0014	0015	0022	0030	0040	0055	0075	0110	0150	0220	0300	0370	0450
		2	2,4	3,1	4	4	5,5	7	9,5	12,5	16	24	32	46	60	73	89
	Исполнение	F _{макс} [H]															
SL2-P025VS	Basic	330															
SL2-P025S	Basic	650															
SL2-050VS	Basic Advance Power	460	537	650	650	650											
SL2-050S	Basic Advance Power			738	926	717	955	1175	1300								
SL2-050M	Basic Advance Power							1280	1640	1950							
SL2-050ML	Basic Advance Power							1290	1650	2090	2600						
SL2-100VS	Basic Advance Power						830	1020	1325								
SL2-100S	Basic Advance Power								1680	2090	2560	2650					
SL2-100M	Basic Advance Power									2455	2950	3970					
SL2-100ML	Basic Advance Power										2950	4050	5200	5300			
SL2-150VS	Basic						1065	1280	1650	2000							
SL2-150S	Basic Advance Power									2425	2950	3900					
SL2-150M	Basic Advance Power										3070	4200	5330	5800			
SL2-150ML	Basic Advance Power											4250	5400	7080	7700		
SL2-200VS	Basic								1650	2100	2610	2700					
SL2-200S	Basic										2920	4050	5200				
SL2-200M	Basic											4340	5490	7480	7800		
SL2-200ML	Basic												5680	7510	9430	10350	
SL2-250VS	Basic								2120	2610	3170						
SL2-250S	Basic											4310	5410	6300			
SL2-250M	Basic												5670	7560	9450		
SL2-250ML	Basic													8270	10340	12260	12600

Клас швидкості 1 м/с.

Двигатель $V_{ном} = 1$ м/с	P [кВт] $I_{ном}$ [A] I_{max} [A]	• MOVIDRIVE® MDX61B_A...-5_3 (400/500-B) в режимах SERVO (P700)											
		0005	0008	0011	0014	0015	0022	0030	0040	0055	0075	0110	0150
		2	2,4	3,1	4	4	5,5	7	9,5	12,5	16	24	32
	Исполнение	F_{max} [H]											
SL2-P025S	Basic	650											
SL2-050S	Basic Advance Power	1115	1300			1300							
SL2-050M	Basic Advance Power	1380	1620	1950	1950	1950							
SL2-050ML	Basic Advance Power	1453	1696	2120	2600	2070	2600						
SL2-100VS	Basic Advance Power	1140	1325	1325	1325	1325							
SL2-100S	Basic Advance Power	1467	1703	2118	2650	2060	2650						
SL2-100M	Basic Advance Power			1953	2412	1902	2475	3050	3970				
SL2-100ML	Basic Advance Power						3000	3710	4800	5300			
SL2-150VS	Basic	1380	1615	2000	2000	1970							
SL2-150S	Basic Advance Power		1800	2230	2785	2170	2880	3490	3900				
SL2-150M	Basic Advance Power						3100	3750	4830	5800			
SL2-150ML	Basic Advance Power							4330	5240	6330	7700		
SL2-200VS	Basic			2145	2670	2090	2700						
SL2-200S	Basic						3050	3710	4810	5200			
SL2-200M	Basic								5150	6450	7800		
SL2-200ML	Basic									6840	8390	10350	
SL2-250VS	Basic			2090	2600	2040	2670	3170					
SL2-250S	Basic							3890	5000	6300			
SL2-250M	Basic								5140	6370	7810	9450	
SL2-250ML	Basic									7020	8620	12300	12600

Гальмівні резистори серії BW (Sew Eurodrive).

Використання з перетворювачами на 400/500 В (МС 4 А...5...).

Тормозной резистор	BW018-015	BW018-035	BW018-075	BW915
Номер	821 684 3	821 685 1	821 686 X	821 260 0
Нагрузочная способность при				
100 % ПВ	1,5 кВт	3,5 кВт	7,5 кВт	16 кВт
50 % ПВ ¹⁾	2,5 кВт	5,9 кВт	12,7 кВт	27 кВт
25 % ПВ	4,5 кВт	10,5 кВт	22,5 кВт	45 кВт ²⁾
12 % ПВ	6,7 кВт	15,7 кВт	33,7 кВт	45 кВт ²⁾
6 % ПВ	11,4 кВт	26,6 кВт	37,5 кВт ²⁾	45 кВт ²⁾
Соблюдайте ограничение мощности преобразователя в генераторном режиме! (= 150 % рекомендуемой мощности двигателя → Технические данные)				
Значение сопротивления	R _{BW}	18 Ом ± 10 %		15 Ом ± 10 %
Ток отключения (в F16)	I _{откл}	4,0 А _{действ}	8,1 А _{действ}	14 А _{действ}
Конструкция	Резистор из стальной сетки			
Подключение	Керамические клеммы 2,5 мм ² (AWG12)			Шпильки M8
Степень защиты	IP20 (в подключенном состоянии)			
Температура окружающей среды t _{окр}	-20...+45 °C			
Тип охлаждения	Самоохлаждение			
Для MOVIDRIVE® MDX61B...-5_3	0150/0220; для 0370/0450 – 2 параллельно включенных			0220

*) – ПВ (тривалість вмикання) гальмівного резистора відносно тривалості цикла гальмування $T_d \leq 120$ с.

***) – теоретичне обмеження потужності, розраховане за напругою проміжної ланки й опору.

Drehstrommotoren DT56, DR63, DV250 / 280
Technische Daten DT56, DR63, DV250 / 280



13 Drehstrommotoren DT56, DR63, DV250 / 280

13.1 Technische Daten DT56, DR63, DV250 / 280

3000 1/min - S1

Motortyp	PN MN [kW] [Nm]	n _N [1/min]	I _N 380-415 V (400 V) [A]	cosφ	IE-Klasse	η75% η100% [%]	I _A /I _N	M _A /M _N M _H /M _N	J _{Mot} [10 ⁻⁴ kgm ²]		Z ₀ BG ⁴ BGE ⁵ [1/h]	M _{Bmax} [Nm]	m ¹ [kg]	
									2	3			2	3
DR63S2	0.18 0.63	2720		0.88	-	-	4.2	2.4 2.2	3.6	4.8	5000	1.6	6.2	8.0
DR63M2	0.25 0.9	2660		0.86	-	-	3.5		3.6	4.8	4500	2.4	6.2	8.0
DR63L2	0.37 1.3	2650		0.87	-	-	3.5		4.4	5.6	4000	3.2	6.7	8.5

- 1 для двигуна фланцевого виконання;
- 2 без гальма;
- 3 з гальмом;
- 4 для виконання із вбудованим гальмом BG;
- 5 для виконання із вбудованим гальмом BGE.

1500 1/min - S1

Motortyp	PN MN [kW] [Nm]	n _N [1/min]	I _N 380-415 V (400 V) [A]	cosφ	IE-Klasse	η75% η100% [%]	I _A /I _N	M _A /M _N M _H /M _N	J _{Mot} [10 ⁻⁴ kgm ²]		Z ₀ BG ⁴ BGE ⁵ [1/h]	M _{Bmax} [Nm]	m ¹ [kg]	
									2	3			2	3
DT56M4	0.09 0.66	1300		0.68	-	-	2.6	2.1 1.8	1.1	1.2	10000	0.8	mit Stir-radgetriebe R07, RF07, R07F	
DT56L4	0.12 0.88	1300	0.46 (0.42)	0.68	-	-	2.6	2.2 1.9	1.1	1.2	10000	1.2	etriebe W10, WF10, WA10, WAF10	
DR63S4	0.12 0.83	1380	0.39 (0.39)	0.69	-	-	3.3		3.6	4.8	10000	2.4	6.1	7.6
DR63M4	0.18 1.3	1320		0.78	-	-	2.9		3.6	4.8	10000	3.2	6.1	7.6
DR63L4	0.25 1.8	1300		0.81	-	-	2.8		4.4	5.6	10000	3.2	6.7	8.2
DV250M4	55 356	1475	106 (102)	0.83	IE1		6.0		6300	6600 6730 ⁶	200	600 1200 ⁶	448	
DV280S4	75 484	1480	142 (138)	0.83	IE1	93.1 93.3	7.2	3.2 2.2	8925	9225 9355 ⁶	- 150	600 1200 ⁶	520	600 610 ⁶
DV280M4	90 581	1480	173 (170)	0.81	IE1		7.1		8925	9225 9355 ⁶	100	600 1200 ⁶	520	

1. для двигуна фланцевого виконання;
2. без гальма;
3. з гальмом;
4. для виконання із вбудованим гальмом BG;
5. для виконання із вбудованим гальмом BGE
6. для дводискового гальма.

IE2-Motoren (Energiesparmotoren):
1500 1/min - S1

Motortyp	PN MN [kW] [Nm]	n _N [1/min]	I _N 380-415 V (400 V) [A]	cosφ	IE-Klasse	η75% η100% [%]	I _A /I _N	M _A /M _N M _H /M _N	J _{Mot} [10 ⁻⁴ kgm ²]		Z ₀ BG ⁴ BGE ⁵ [1/h]	M _{Bmax} [Nm]	m ¹ [kg]	
									2	3			2	3
DVE250M4	45 290	1480	88 (86)	0.81	IE2	93.2 93.4	7.1	3.3 2.5	6300	6600 6730 ⁶	-	300 600 ⁶	448	528 538 ⁶
DVE250M4	55 356	1475	106 (102)	0.83	IE2	94 93.7	6.0	2.7 2.0	6300	6600 6730 ⁶	-	600 1200 ⁶	520	600 610 ⁶
DVE280S4	75 484	1480	142 (137)	0.83	IE2	94.2 94.2	7.2	3.2 2.2	8925	9225 9355 ⁶	-	600 1200 ⁶	520	600 610 ⁶
DVE280M4	90 581	1480	171 (168)	0.81	IE2	94.6 94.5	7.1	3.3 2.2	8925	9225 9355 ⁶	-	600 1200 ⁶	520	600 610 ⁶

1. для двигуна фланцевого виконання;

2. без гальма;
3. з гальмом;
4. для виконання із вбудованим гальмом BG;
5. для виконання із вбудованим гальмом BGE
6. для дводискового гальма

1000 1/min - S1

Motortyp	PN [kW]	MN [Nm]	n _N [1/min]	I _N 380-415 V (400 V) [A]	cosφ	IE-Klasse	η75% η100% [%]	I _A /I _N	M _A /M _N M _H /M _N	J _{Mot} [10 ⁻⁴ kgm ²]		Z ₀ BG ⁴ BGE ⁵ [1/h]	M _{Bmax} [Nm]	m ¹ [kg]	
										2	3			2	3
DR63S6	0.09	0.95	900	0.42 (0.38)	0.64	-	-	2.2	1.8 1.6	5.4	6.6	20000	2.5	6.0	7.5
DR63M6	0.12	1.2	900	0.62 (0.58)	0.65	-	-	2.1	1.8 1.7	5.4	6.6	20000	3.2	6.0	7.5
DR63L6	0.18	2	870	0.81 (0.78)	0.70	-	-	2.2	1.6 1.5	6.8	8.0	20000	3.2	6.6	8.1
DV250M6	37	360	980	85 (82)	0.71	IE1	91.5 91.3	4.5	2.4 1.6	6300	6600 6730 ⁶	240	600 1200 ⁶	448	528 538 ⁶
DV280S6	45	436	985	105 (103)	0.68	IE1	92 92	4.9	2.6 1.8	8925	9225 9355 ⁶	- 180	600 1200 ⁶	520	600 610 ⁶

1. для двигуна фланцевого виконання;
2. без гальма;
3. з гальмом;
4. для виконання із вбудованим гальмом BG;
5. для виконання із вбудованим гальмом BGE
6. для дводискового гальма.