

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)

О. В. Суботін
А.Ф. Залятов

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

**Методичні вказівки до виконання курсової роботи з
дисципліни «Автоматизований електропривод»
для студентів 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка» першого бакалаврського рівня за ОПП
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

Затверджено
на засіданні методичної ради
кафедри АВП
Протокол № 9 від 19.05.2025 р.

Краматорськ-Тернопіль,
ДДМА
2025

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПРОЕКТУВАННЯ	6
2 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	8
2.1 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СУЕП ТИПУ ТП-Д.....	8
2.1.1 Розрахунок та вибір силового трансформатора.....	8
2.1.2 Розрахунок та вибір тиристорного перетворювача.....	11
2.1.3 Розрахунок параметрів силового ланцюга ТП-Д.....	12
2.1.4 Розрахунок і вибір реактора.....	13
2.1.5 Розрахунок регульовальних характеристик тиристорного перетворювач.....	14
2.2 СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	15
2.2.1 Функціональна схема електроприводу	15
2.2.2. Розрахунок та моделювання параметрів розімкнутої ЕМС ...	16
2.2.3. Розрахунок контуру струму	18
2.2.4. Розрахунок контуру швидкості	20
2.3 МОДЕЛЮВАННЯ СИНТЕЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	22
2.4 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ	24
3 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЗМІННОГО СТРУМУ	25
3.1 Розрахунок параметрів електроприводу змінного струму асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором	25
3.1.1 Вихідні дані для розрахунків	25
3.1.2 Розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна	26
3.2 Математична модель асинхронного двигуна з коротко замкненим ротором.....	31
3.2.1 Рівняння математичної моделі асинхронного електропривода	31
3.2.2 Структурна схема електропривода	32
3.2.3 Аналіз перехідних процесів електропривода.....	36
3.3 Вибір електрообладнання та проектування схеми підключення	40
3.4. Розробка електричної принципіальної схеми	45
4 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	55
4.1 Загальні вимоги	55
4.2 Вимоги до оформлення текстової частини.....	55
4.3 Вимоги до оформлення рисунків	57
4.4 Вимоги до оформлення таблиць.....	58
4.5 Вимоги до оформлення формул	59
4.6 Вимоги до оформлення переліків.....	60
4.7 Вимоги до оформлення посилань.....	61
4.8 Вимоги до оформлення переліку посилань.....	61

4.9 Вимоги до оформлення додатків.....	61
4.10 Вимоги до оформлення графічної частини курсової роботи та презентації.....	61
5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ	63
5.1 Етапи виконання та захисту.....	63
5.2 Права та обов'язки керівника курсової роботи, здобувача вищої освіти	64
5.3 Застереження щодо академічної доброчесності	64
5.4 Регламенти і процедури виявлення порушень вимог академічної доброчесності та наслідки такого виявлення	69
5.5 Критерії оцінювання курсової роботи	72
5.6 Порядок оскарження результатів оцінювання курсової роботи	75
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77
ДОДАТОК А. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ КУРСОВОЇ РОБОТИ	78
ДОДАТОК Б. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА	71
ДОДАТОК В. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ЗМІСТУ	80
ДОДАТОК Г. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ	81
ДОДАТОК Д. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ВІДОМОСТІ ДОКУМЕНТІВ	84
ДОДАТОК Е. ЗАЯВА ТА ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ НА ПЛАГІАТ.....	85

ВСТУП

Електропривод виконавчих механізмів у значній мірі визначає формування нових промислових технологій, у тому числі й енергозберігаючих. За останні роки у структурі електропривода відбулися революційні зміни, обумовлені істотними досягненнями в області силової електроніки, цифрової керуючої техніки і теорії керування електромеханічними перетворювачами енергії. Таким чином, потрібні спеціалісти з розробки систем автоматичного керування електроприводами виконавчих механізмів з урахуванням новітніх тенденцій.

Предметом дисципліни “Автоматизований електропривод” є вивчення аналогових та цифрових систем керування електроприводами, що дозволить студентам охопити практично весь спектр наявних у промисловості електроприводів у системах автоматизації технологічних процесів.

Мета викладання дисципліни – спираючись на принципи та методи, розроблені в цій дисципліні, сформувати здатності та вміння розробки і проектування систем управління електроприводом з застосуванням сучасних перетворювачів енергії.

Дисципліна “Автоматизований електропривод” (АЕП) відноситься до відноситься до обов’язкового циклу професійних дисциплін з напрямку 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

Завдання полягає у тому, що на основі вимог ОПП бакалавра за напрямом 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка» навчити майбутнього фахівця правильно вибирати, проектувати та налаштовувати системи управління електроприводами на базі сучасних перетворювачів енергії.

Мета дисципліни – освоєння сучасних принципів і методів проектування систем автоматичного управління (САК) електроприводом (ЕП) виконавчих механізмів верстатів і промислових роботів, їх статичних та динамічних режимів при забезпеченні вимог технологічних процесів, а також методів аналізу та розрахунків основних параметрів та компонентів систем автоматичного управління електроприводами.

Завдання дисципліни полягає у формуванні здатностей студентів:

Знати

- принципів схеми САК ЕП верстатів та роботів, а також функціональне призначення їх елементів;
- компоненти управління та перетворення енергії для АЕП;
- статичні та динамічні властивості САК ЕП верстатів і роботів;
- методи синтезу САК ЕП для отримання певної швидкодії та точності;
- методи проектування САК ЕП верстатів і роботів.

Вміти

- скласти структурну схему АЕП головного руху та приводу подач верстатів;

- виконувати розрахунки щодо вибору основних компонентів САК ЕП постійного та змінного струму;
- оцінювати роботу САК ЕП верстатів в статичних та динамічних режимах;
- виконувати синтез САК ЕП з оптимальною структурою та її моделювання за допомогою прикладного програмного забезпечення;
- проектувати схеми САК ЕП верстатів і роботів з заданими властивостями на базі сучасної елементної бази та мікропроцесорної техніки.

Опанувати навиками:

- роботи з довідково – нормативною та іншою технічною документацією і літературою, ISA85 та ДСТУ;
- планування, проведення досліджень та експериментів і математичної обробки отриманих результатів;
- формулювання загальних і часткових висновків за результатами досліджень.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПРОЕКТУВАННЯ

При виконанні цього розділу необхідно описати технологію роботи за даного вузла верстата і конкретизувати вимоги до автоматизованого електроприводу, провести огляд існуючих електроприводів, за допомогою яких можна вирішити поставлене завдання, зупинитися на двох-трьох варіантах і після ретельного аналізу їх особливостей вибрати найоптимальніший.

Залежно від призначення розрізняють приводи головного руху, подачі та допоміжні приводи [5,7].

Головний привід забезпечує безпосередньо процес різання (рис. 1.1).

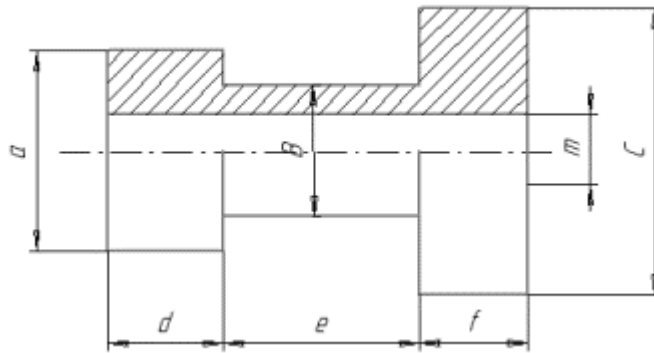


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі, що обробляється

Приводи подачі здійснюють переміщення заготовки або ріжучого інструменту в зоні різання.

Допоміжні приводи забезпечують допоміжні переміщення заготовок, деталей, ріжучого інструменту, обертання інструментальних механізмів, поворотних і похилих столів, рух палет, візків, перевантажувачів, подачу СОЖ та мастила, вентиляцію тощо.

Відповідно до призначення до кожного приводу пред'являються різні конкретні вимоги.

Головний привід (рис. 1.2) має регулюватися за постійної потужності ($P = \text{const}$), так як силове різання виконується при менших частотах обертання шпинделя, а чистова обробка з меншими зусиллями різання - при високих частотах. Аналіз технологічних режимів верстатів різних груп показує, що діапазон регулювання частот обертання шпинделя вбирається у $D=100$.

За наявності режиму орієнтації шпинделя діапазон розширюється до $D>1000$.

Однак необхідна потужність приводу при орієнтації незначна і істотно менше потужності різання. У механізмах головного руху (навіть там, де застосовуються регульовані електроприводи) у більшості верстатів мають дво-, триступінчасті коробки швидкостей.

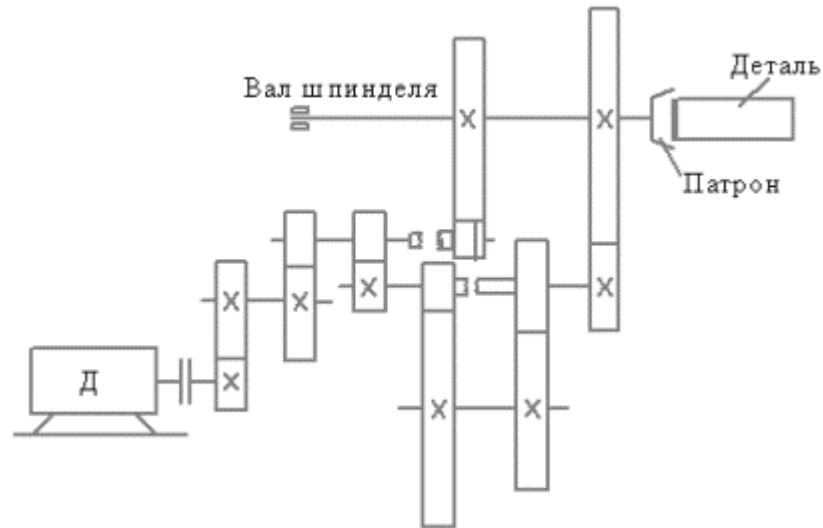


Рисунок 1.2 – Кінематика РЕП

Привід подач повинен регулюватися за постійного моменту ($M = \text{const}$) (рис. 1.3). У механізмах подач основне зусилля витрачається на подолання сил тертя під час переміщення вузла верстата. Приводи подач повинні забезпечувати надширокий діапазон регулювання ($D > 10000$), так як у верстатах з ЧПУ мінімальна подача визначається дискретністю управління та зворотного зв'язку.

Тільки під час відпрацювання приводом кожної дискрети можуть бути забезпечені висока точність та мала шорсткість при обробці. Крім того, приводи подач повинні мати високі швидкості швидкого ходу та високу швидкодію при розгоні - гальмуванні та при скиданні - накиданні навантаження.

На рис. 1.3 прийняті наступні позначення: Д – електродвигун, $d_{х.в}$ – діаметр ходового гвинта, G_d – вага деталі, $G_{ст}$ – вага столу, V_p – швидкість подачі, D_p – діаметр отвору, що розточується, $n_{шп}$ – частота обертання шпинделя.

Допоміжні приводи не беруть участь у процесі різання. У цих приводах не потрібно широкого діапазону регулювання ($D < 10$), не завжди повинно досягатися висока швидкодія, часто необхідні плавний розгін і гальмування.

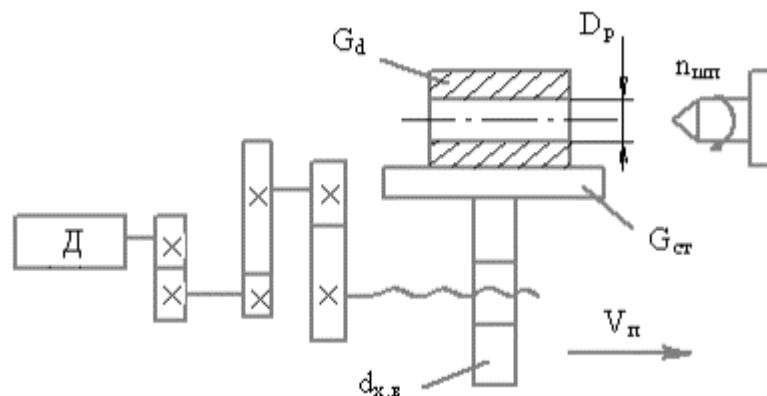


Рисунок 1.3 – Кінематика СЕП

2 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

2.1 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СУЕП ТИПУ ТП-Д

2.1.1 Розрахунок та вибір силового трансформатора

Зробимо розрахунок параметрів перетворювача електричної енергії, в якості якого застосуємо силовий трансформатор.

Вибір силового трансформатора обумовлюється, насамперед, обраною схемою тиристорного перетворювача та типом приводу. Для цього проекту вибрано реверсивний тип приводу. При потужності двигуна $P_{д.ном}$ понад 10 кВт застосуємо трифазний випрямляч за бруківкою (рисунку 2.1).

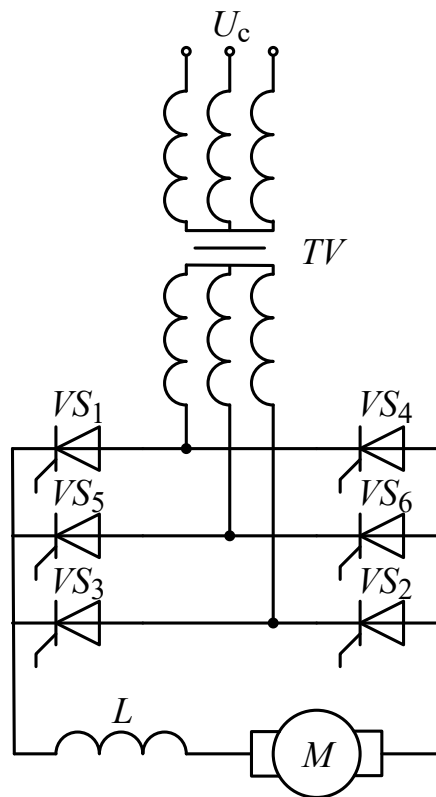


Рисунок 2.1 - Схема трифазна бруківка симетрична нереверсивного вентильного перетворювача:

M – електродвигун постійного струму; L – індуктивність;

$VS1 \dots VS6$ – тиристори; TV – трансформатор напруги;

U_c – мережна напруга

Вихідними даними для розрахунку силового трансформатора є: номінальна напруга мережі U_c , номінальний струм двигуна $I_{д.ном}$ і номінальна напруга двигуна $U_{д.ном}$. При цьому трансформатор розраховується, виходячи з умови, що на виході випрямляча, що живиться від трансформатора:

$$I_d = I_{д.ном}, \quad U_d = U_{д.ном}.$$

Трансформатор вибирають за розрахунковими значеннями типової потужності S_T та ЕРС фази вторинної обмотки $E_{2ф}$.

Знайдемо значення ЕРС фази $E_{2ф}$ вторинної обмотки трансформатора за такою формулою:

$$E_{2ф} = k_u \cdot k_c \cdot k_a \cdot k_n \cdot U_{д.ном},$$

де k_u - Розрахунковий коефіцієнт, що характеризує ЕРС $E_{2ф}/E_{d0}$ в ідеальному випрямлячі і дорівнює $k_u = 0,427$;

k_c - коефіцієнт запасу за напругою, що враховує можливе зниження напруги мережі на 10% від U_c та вибирається $k_c = 1,1$;

k_a - Коефіцієнт запасу враховує неповне відкривання тиристорів приймають $k_a = 1,05 \dots 1,1$;

k_n - коефіцієнт запасу по напрузі, що враховує падіння напруги в обмотках трансформатора, у вентилях і за рахунок перекриття анодів при комутації струму приймають $k_n = 1,05 \dots 1,1$.

Якщо результаті розрахунку $E_{2ф}$ виявиться, що виконується умова:

$$E_{2ф.расч} \leq U_c / \sqrt{3} \leq 1,4 E_{2ф.расч},$$

то при використанні трифазної мостової схеми випрямлення силовий трансформатор не потрібно, так як силовий міст підключається через струмообмежувальні реактори безпосередньо до трифазної мережі живлення.

$$E_{2ф.расч} \leq U_c / \sqrt{3} \leq 1,4 E_{2ф.расч}.$$

Умова не виконується. Потрібний розрахунок силового трансформатора. Типову потужність силового трансформатора знаходимо з виразу:

$$S_T = k_s \cdot k_c \cdot k_a \cdot k_i \cdot U_{д.ном} \cdot I_{д.ном} \cdot 10^{-3},$$

де k_s – коефіцієнт схеми, що характеризує співвідношення потужностей $S_T/(E_{d0} \cdot I_d)$ для ідеального випрямляча з навантаженням проти-ЕРС і дорівнює $k_s = 1,05$;

k_i - Коефіцієнт, що враховує відхилення форми анодного струму вентилів від прямокутної і дорівнює $k_i = 1,05 \dots 1,08$.

Значення струму вторинної обмотки визначається:

$$I_{2ф.расч} = k_I \cdot k_i \cdot I_{д.ном},$$

де k_I – коефіцієнт схеми, що характеризує відношення струмів $I_{2ф}/(I_d)$, в ідеальному випрямлячі і дорівнює $k_I = 0,817$.

$$I_{2\phi.\text{расч}} \cdot$$

За одержаним значенням розрахункової потужності вибираємо силовий трансформатор. При цьому мають бути дотримані такі умови:

$$\begin{aligned} S_T &\leq S_{T.\text{ном}}; \\ U_{1л.\text{ном}} &= U_c = 380 \text{ В}; \\ E_{2\phi.\text{ном}} &\geq E_{2\phi.\text{расч}}; \\ I_{2\phi.\text{ном}} &\geq I_{2\phi.\text{расч}}. \end{aligned}$$

Отримані дані дозволяють вибрати трансформатор типу ТС(З).

Наведемо технічні дані трансформатора ХХХ-ХХ:

- Номінальна потужність $S_{T.\text{ном}}$;
- Напруга мережної обмотки $U_c = 380 \text{ В}$;
- Напруга вентильної обмотки $U_{2\phi} = 230\text{-}250 \text{ В}$;
- Струм вентильної обмотки $I_{2\phi}$;
- Напруга перетворювача $U_{1\phi} = 380 \text{ В}$;
- Струм перетворювача $I_{2\phi}$;
- Втрата потужності при короткому замиканні $\Delta P_{к.з.}$;
- Напруга при короткому замиканні $U_{к.з.}\%$;

Розраховуємо також коефіцієнт трансформації k_T , необхідний наступних розрахунків:

$$k_T \approx \frac{U_c}{U_{2\phi}}.$$

Активний опір фази силового трансформатора, наведений до вторинної обмотки:

$$R_{\phi.T} = \frac{\Delta P_{к.з.}}{m_T I_{2\phi.\text{расч}}^2},$$

де $m_T = 3$ - Число фаз.

Опір навантаження силового трансформатора:

$$Z_{\phi.T} = \frac{U_{к.з.\%} U_{d.\text{ном}}}{100 I_{2\phi.\text{расч}}}.$$

Індуктивний опір фази силового трансформатора, наведений до вторинної обмотки:

$$X_{\phi.T} = \sqrt{Z_{\phi.T}^2 - R_{\phi.T}^2}.$$

Чинне значення струму первинної обмотки трансформатора визначаємо із залежності:

$$I_{1ф.расч} = \frac{I_{2ф.расч}}{k_T}.$$

Індуктивність фази вторинної обмотки:

$$L_{ф.т} = \frac{X_{ф.т}}{2\pi f},$$

де - Частота мережі живлення, $f = 50$ Гц.

Значення активного опору та індуктивності трансформатора, наведені до ланцюга випрямленого струму, знаходять за формулами:

$$\begin{aligned} R_{\Sigma T} &= nR_{ф.т}; \\ L_{\Sigma T} &= nL_{ф.т}, \end{aligned}$$

де - Число обмоток трансформатора, обтічних робочим струмом, $n = 2$.

2.1.2 Розрахунок та вибір тиристорного перетворювача

Розрахуємо параметри тиристорного перетворювача (ТП) з метою вибору для проектованої системи управління електроприводом.

Середній струм через вентиль:

$$I_{в.ср} = k_{з.і} \frac{I_{д.ном}}{T_T k_{охл.}},$$

де $k_{з.і}$ - Коефіцієнт запасу по струму, що враховує пусковий струм двигуна, $k_{з.і} = 4 \dots 5$ для двигунів серії 2П; m_T – число фаз силового трансформатора; $k_{охл.}$ - Коефіцієнт, що враховує інтенсивність охолодження силового вентиля. При природному охолодженні із стандартним радіатором $v = 0$ м/с – $k_{охл.} = 0,35$.

Номінальний струм тиристора $I_{тп.ном}$ має задовольняти умові:

$$I_{тп.ном} \geq I_{в.ср}.$$

Розрахункове значення максимальної зворотної напруги, що прикладається до вентиля:

$$U_{зв.р.} = k_{з.у} \sqrt{3} \sqrt{2} E_{2ф},$$

де $k_{з.у}$ – коефіцієнт запасу за напругою, що враховує можливі підвищення напруги мережі живлення та періодичні викиди, обумовлені процесами комутації вентилів ($k_{з.у} = 1,4 \dots 1,6$); $E_{2ф}$ - відповідно фазна ЕРС трансформатора ($E_{2ф} = U_{д.ном}$).

Розмір робочої напруги тиристора має задовольняти умові:

$$U_{обр.п} \geq U_{обр.расч.}$$

Клас тиристора, що характеризує величину робочої напруги, визначають розподілом $U_{тп.р}$ на 100.

З розрахованих параметрів виберемо тиристорний перетворювач типу вказати тип тиристорного перетворювача.

Технічні характеристики перетворювача найменування обраного тиристора серії Т:

- максимальний середній струм тиристора у відкритому стані I_a А;
- імпульсна зворотна напруга $U_{зв.п}$ В, що повторюється;

2.1.3 Розрахунок параметрів силового ланцюга ТП-Д

Опір ланцюга випрямленого струму знаходимо з:

$$R_{\Sigma} = 1,2(R_{я} + R_{д.п.}) + R_{щ} + R_{п}.$$

Опір щіткового контакту:

$$R_{щ} = \frac{2}{I_{д.ном}}.$$

Опір силового ланцюга перетворювача:

$$R_{п} = 2R_{ф.т} + R_{ср} + \frac{X_{ф.т} \cdot m_T}{2\pi},$$

де $R_{ф.т}$ і $X_{ф.т}$ - активне та індуктивне опору обмоток силового трансформатора на фазу.

Активний опір реактора, що згладжує:

$$R_{ср} = \frac{R_{ф.т}}{m_T}.$$

Індуктивність якоря та додаткових полюсів двигуна:

$$L_d = \frac{30}{\pi} \beta \frac{U_{d.\text{ном}}}{p I_{d.\text{ном}} n_{d.\text{ном}}},$$

де p - число пар полюсів двигуна, $p=1$ для некомпенсованого двигуна.
 $\beta = 0,5$.

2.1.4 Розрахунок і вибір реактора

Реактори, що згладжують, включаються послідовно з якорем двигуна і вибираються з умови згладжування пульсацій випрямленого струму до допустимого значення.

Розрахунок сумарної індуктивності ланцюга випрямленого струму системи ТП-Д із умови згладжування пульсацій провадиться за формулою:

$$L_{d.\text{необх}} \geq \frac{\sqrt{2} U_{d1m}}{m \omega_c I_{d.\text{min}}},$$

де $\omega_c = 314$ об/хв; $I_{d.\text{min}}$ - Мінімальний струм навантаження ТП, приймаємо рівним 4% від $I_{d.\text{ном}}$, $I_{d.\text{min}}$, А.

Чинне значення першої гармоніки випрямленої напруги визначається з кривих за відомим значенням E_{d0} при $\alpha = 0$ для відповідного числа пульсацій $m = 6$.

$$E_{d0} = \frac{E_{2\phi}}{k_u}$$
$$U_{d1m} = 0,26 \cdot E_{d0}$$

Необхідна величина індуктивності реактора, що згладжує:

$$L_{\text{ср}} = L_{d.\text{необх}} - L_d - L_{\Sigma T}$$

Реактор, що включається паралельно з якорем двигуна, вибирають виходячи з умови забезпечення безперервності струму двигуна у всьому діапазоні навантажень від $I_{d.\text{min}}$ до $I_{d.\text{ном}}$, зміни кута регулювання α від $\alpha = 90^\circ$ до $\alpha_{\text{min}} = 90^\circ$, а також обмеження пульсацій якірного струму на рівні $(0,03 \dots 0,05) I_{d.\text{ном}}$.

Вибираємо згладжуючий реактор типу СРОС вказати тип реактора з індуктивністю L , Гн та номінальним струмом I , А.

2.1.5 Розрахунок регулювальних характеристик тиристорного перетворювач

Регулювальну характеристику ТП розраховують для режиму безперервних струмів:

$$e_n = E_{п0} \cdot \cos \alpha = E_{d0} \cdot \cos \alpha,$$

де $E_{п0} = E_{d0}$ максимальне значення ЕРС при куті регулювання $\alpha = 0$.

$$E_{п0} = E_{d0} = 292,74 \text{ В.}$$

Закон зміни кута $\alpha(U_{уп})$ залежить від форми опорної напруги СІФУ. Найбільшого поширення набули СІФУ із синусоїдальною опорною напругою. Формування імпульсу керування для СІФУ представлено на рисунку 2.2.

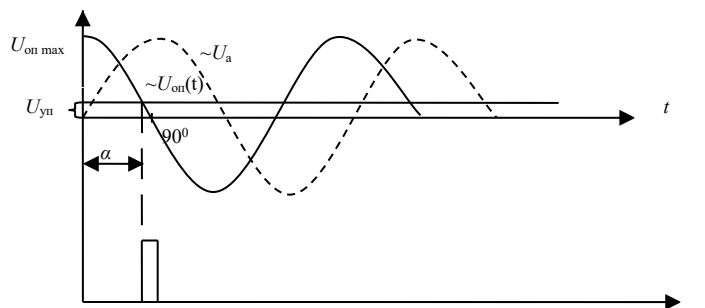


Рисунок 2.2 - Процес формування імпульсу керування для СІФУ

Крива опорної напруги розташована таким чином, щоб при $U_{уп} = 0$ кут $\alpha = 90^\circ$, $e_n = 0$. У реальних СІФУ зазначені співвідношення забезпечуються фазуванням $U_{оп}(t)$ щодо напруги на аноді U_a відповідного тиристора. Для реверсивного ТП $U_{уп}$ знакозмінне і, відповідно, робочою ділянкою є як позитивна, і негативна частина $U_{оп}(t)$. Для синусоїдального $U_{оп}(t)$:

$$\alpha(U_{уп}) = \arccos\left(\frac{U_{уп}}{U_{уп.max}}\right),$$

тогда

$$e_n = E_{n0} \cdot \cos \alpha(U_{уп}) = E_{n0} \cdot \cos \left[\arccos\left(\frac{U_{уп}}{U_{уп.max}}\right) \right].$$

У таблиці 2.1 наведено результати розрахунків регулювальних характеристик ТП (рисунок 2.3).

Таблиця 2.1 - Значення регулювальних характеристик ТП (приклад)

$U_{уп},$ В	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\alpha, ^\circ$	90	81	72	63	54	45	36	27	18	9	0
$k_{П}$	29,3										
$e_{П},$ В	0	46	90,6	133	172,2	207,1	236,9	260,9	278,4	289,1	292,7

Таким чином, для синусоїдального $U_{оп}(t)$ регулювальна характеристика має лінійний характер і $k_{п}$ не залежить від $U_{уп}$.

($k_{п} = E_{d0}/U_{уп.маx} = \text{const}$).

Загалом, СІФУ спільно з ТП як об'єкт управління у першому наближенні може бути представлена у вигляді інерційної ланки з постійною часу $T_{п} \approx 0,001$ с та передатною функцією:

$$W_{ТП}(p) = \frac{k_n}{T_n p + 1}$$

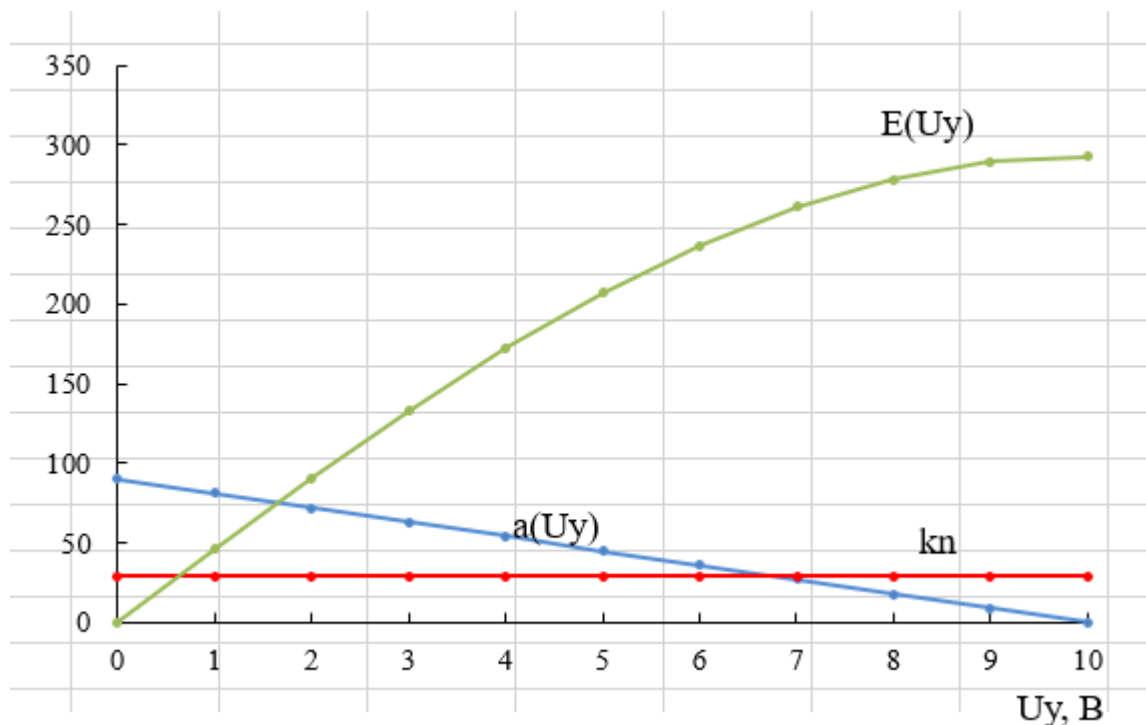


Рисунок 2.3 - Регулювальні характеристики тиристорного перетворювача

2.2 СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

2.2.1 Функціональна схема електроприводу

Розглянемо схему електроприводу (рис. 2.4) з підпорядкованим регулюванням, вихідною регульованою координатою якого є швидкість. Керуюча частина схеми і двох замкнутих контурів регулювання: струму

(моменту), що містить регулятор струму РС і датчик струму ДС, і швидкості, що містить регулятор швидкості РШ і датчик швидкості (тахогенератор) ТГ. Регулятори струму та швидкості у більшості схем електроприводу цього типу виконуються на базі операційних підсилювачів (ОП).

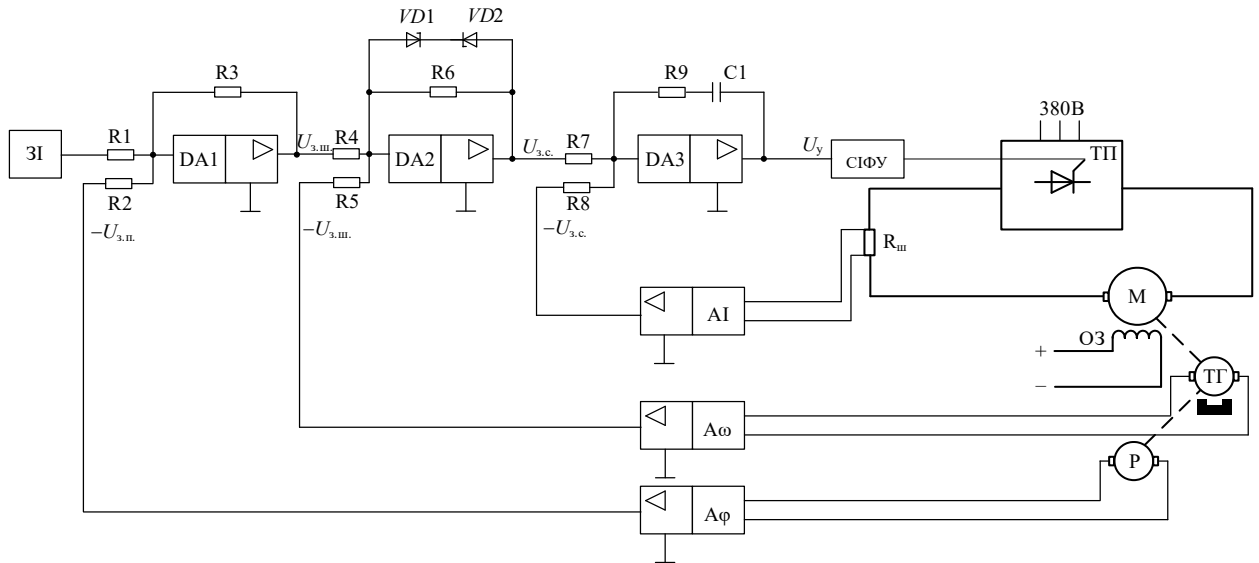


Рисунок 2.4 – Функціональна схема електропривода

2.2.2 Розрахунок та моделювання параметрів розімкнутої ЕМС

Розглянемо структурну схему розімкнутої ЕМС на рисунку 2.5.

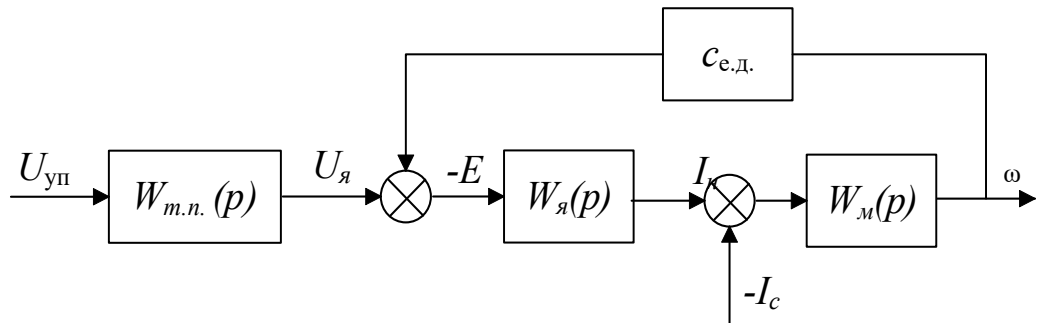


Рисунок 2.5 - Структурна схема розімкнутої ЕМС

Визначимо конструктивні постійні коефіцієнти двигуна:

$$c_{ед} = \frac{U_{д.ном} - I_{д.ном} \cdot R_{\Sigma}}{\omega_{д.ном}} [\text{Вс}],$$

де $\omega_{д.ном} = 2\pi n_{ном}/60 \text{ с}^{-1}$.

Коефіцієнт передачі механічної частини двигуна:

$$k_B = \frac{R_{\Sigma}}{c_{ед}}.$$

Коефіцієнт передачі якірного ланцюга:

$$k_{\text{я}} = \frac{1}{R_{\Sigma}}.$$

Постійна часу якірного ланцюга:

$$T_{\text{я}} = \frac{L_{\text{д}}}{R_{\Sigma}}.$$

Електромеханічна постійна часу:

$$T_{\text{эм}} = J_{\Sigma} \cdot \frac{R_{\Sigma}}{c_{\text{ед}}^2}.$$

Двигун у першому наближенні може бути представлений у вигляді інерційної ланки з передавальною функцією:

$$W_{\text{я}}(p) = \frac{k_{\text{я}}}{T_{\text{я}}p + 1}.$$

Механічна частина електроприводу у першому наближенні може бути представлена у вигляді передавальної функції:

$$W_{\text{м}}(p) = \frac{k_{\text{в}}}{T_{\text{эм}}p}.$$

За структурною схемою (рисунок 2.5) розімкненої системи ТП-Д у програмі Matlab/Simulink будуємо математичну модель електроприводу (рисунок 2.6) та проводимо аналіз його працездатності в режимах пуску та гальмування.

Отримали графік режиму пуску (рисунок 2.7), накидання навантаження та режиму гальмування (рисунок 2.8) моделі електроприводу. Бачимо, що перерегулювання за величиною менше 5% від значення сталого режиму, коливання складає 1 хвилю, час перехідного процесу 0,012 секунд. Модель за контуром струму оптимальна. Таку ж ситуацію маємо на графіці режиму гальмування.

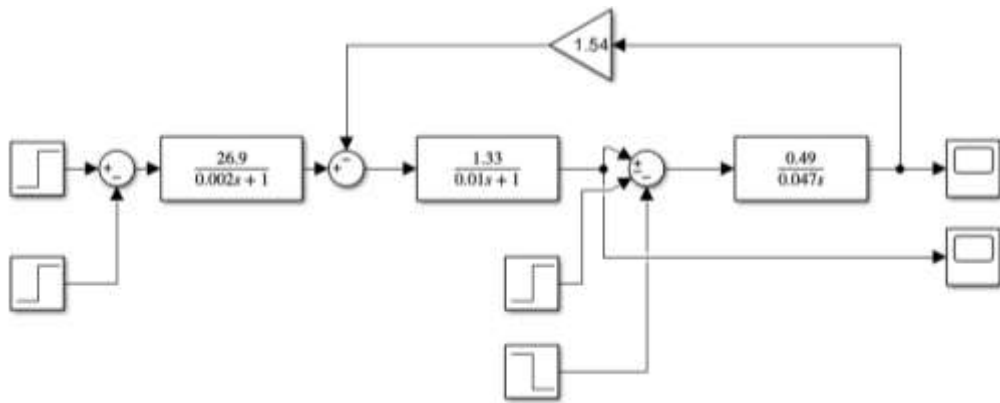


Рисунок 2.6 – Математична модель розімкнутої ЕМС

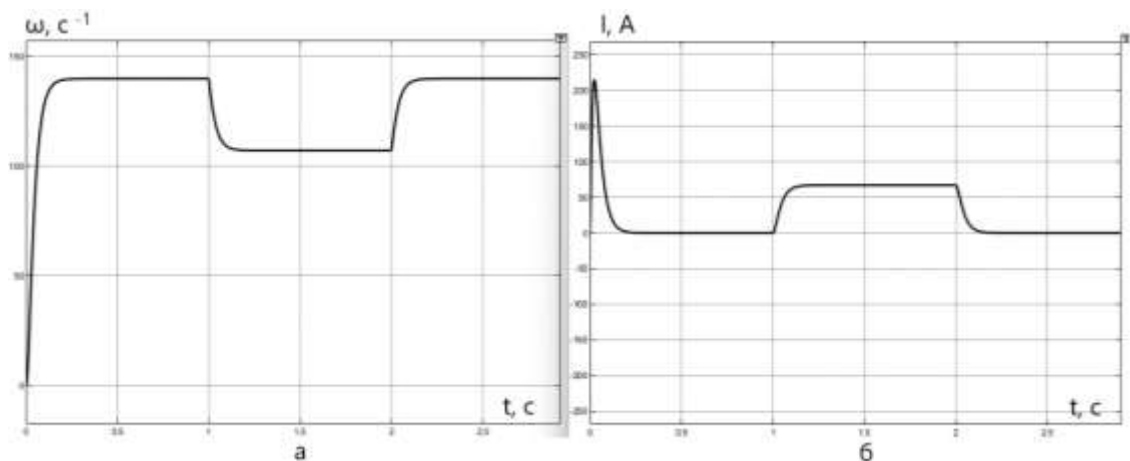


Рисунок 2.7 – Графіки режиму пуску електроприводу (а-швидкість, б-струм)

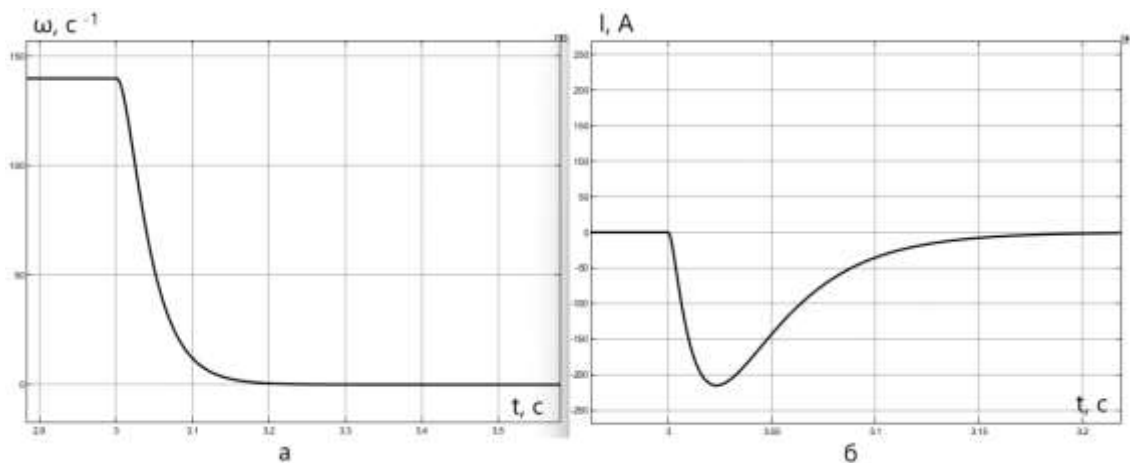


Рисунок 2.8 – Графік режиму гальмування (а-швидкість, б-струм)

2.2.3 Розрахунок контуру струму

Розрахункова схема контуру струму представлена на рисунку 2.9.

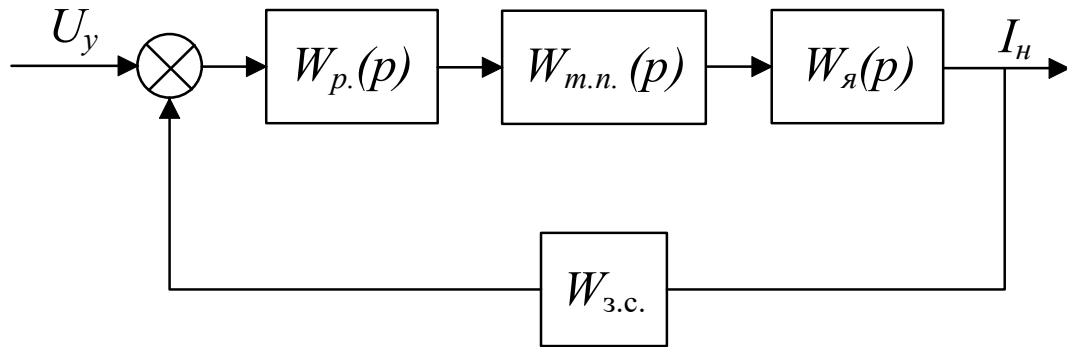


Рисунок 2.9 - Розрахункова схема контуру струму

Вибираємо датчик струму типу LEM LA 200-P (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 Технічні дані датчика

I, A	Точність, %	Діапазон, А	Ід.т., А	Раб. Частота, кГц	Напр. живлення, В	Потреб. струм, мА	Рд.т., кОм
200	$\pm 0,5$	0...300	10	100	12	16	26,76

Визначаємо коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом:

$$k_{д.т.} = \frac{U_B}{I_{max}}.$$

Бажана передатна функція розімкнутого контуру для налаштування на технічний оптимум:

$$W_{раз} = \frac{\frac{1}{k_{д.т.}}}{a_{п} T_{п} p (T_{п} p + 1)}; \\ a_{п} = 2,4.$$

Передатна функція об'єкта регулювання:

$$W_{о.р.т.} = \frac{k_{п}}{T_{п} p + 1} \cdot \frac{\frac{1}{R_{\Sigma T}}}{T_{я} p + 1}.$$

Розділивши передавальну функцію розімкнутого контуру струму на передавальну функцію об'єкта регулювання струму, отримуємо передатну функцію ПІ – регулятора:

$$W_{пи} = \frac{T_{я} p + 1}{T_{и} p},$$

де $T_{\text{и}}$ – постійна інтеграція часу.

$$T_{\text{и}} = \frac{k_{\text{д.т.}} \cdot k_{\text{п}}}{R_{\Sigma}} \cdot 2 \cdot T_{\text{п.}}$$

Визначимо параметри елементів принципової схеми контуру струму (рисунок 2.10).

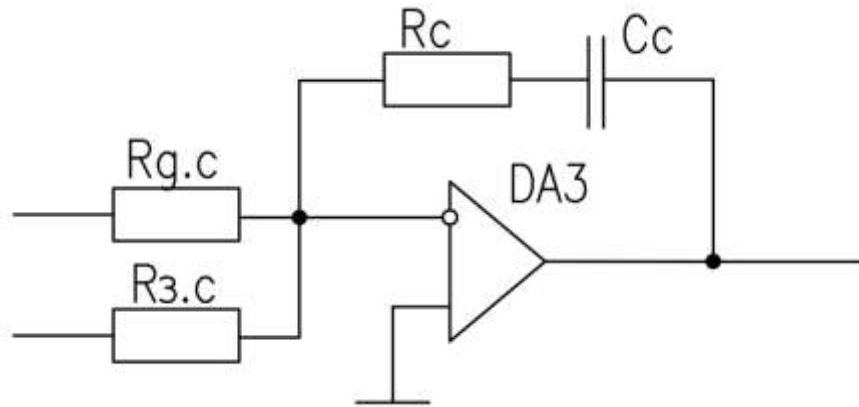


Рисунок 2.10 - Схема принципова електрична контуру струму

Розрахуємо параметри регулятора струму:

$$R_{\text{т}} = \frac{T_{\text{я}}}{C_{\text{т}}} \text{ кОм,}$$

где $C_{\text{т}} = 10^{-6} \text{ Ф}$

$$R_{\text{уп}} = \frac{T_{\text{и}}}{C_{\text{т}}}$$

$$U_{\text{д.т.}} = k_{\text{д.т.}} \cdot I_{\text{стоп}};$$

$$I_{\text{стоп}} = I_{\text{д.ном}};$$

$$R_{\text{д.т}} = R_{\text{уп}} \cdot \frac{U_{\text{д.т.}}}{U_{\text{уп}}}$$

2.2.4 Розрахунок контуру швидкості

Розрахункова схема контуру швидкості представлена малюнку 2.11.

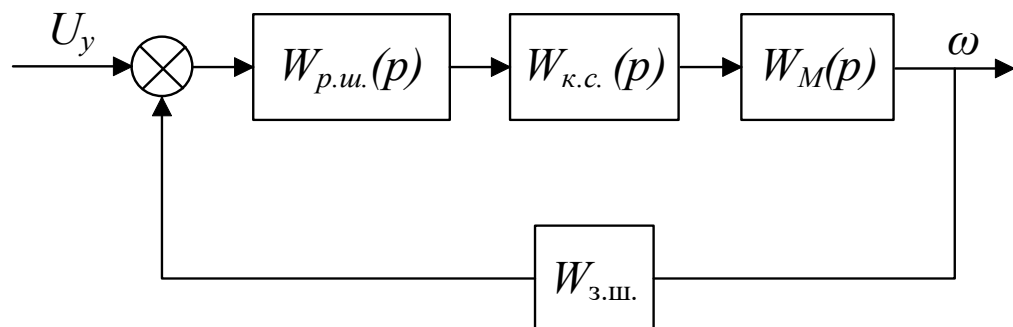


Рисунок 2.11 - Розрахункова схема контуру швидкості Передатна функція розімкнутого контуру

Передавальна функція об'єкта регулювання контуру струму:

$$W_{p.k.c.}(p) = W_{p.c.}(p) \cdot \frac{1/k_{o.t.}}{1 + 2T_{\Pi}p} \cdot \frac{R_{\Sigma T}}{c_{ед} T_{эм}p}$$

Виберіть бажану передатну функцію розімкнутого контуру при налаштуванні на модульний оптимум:

$$W_{раз.жел} = \frac{1/k_{o.c.}}{4T_{\Pi}p(1 + 2T_{\Pi}p)}.$$

Тоді передатна функція регулятора швидкості:

$$W_{p.c.} = \frac{W_{рас.жел.}}{\frac{1/k_{д.т.}}{1 + 2T_{\Pi}p} \cdot \frac{R_{\Sigma T}}{c_{ед} T_{эм}p}} = \frac{(1 + 2T_{\Pi}p)c_{ед} T_{эм}p k_{д.т.}}{4T_{\Pi}(1 + 2T_{\Pi}p)R_{я}k_{o.c.}} = \frac{T_{эм}c_{ед}k_{o.t.}}{4T_{\Pi}R_{я}k_{o.c.}} = k_{p.c.}.$$

Отриманої передавальної функції відповідає регулятор П-типу. Визначимо параметри елементів принципової схеми контуру швидкості (рисунок 2.12).

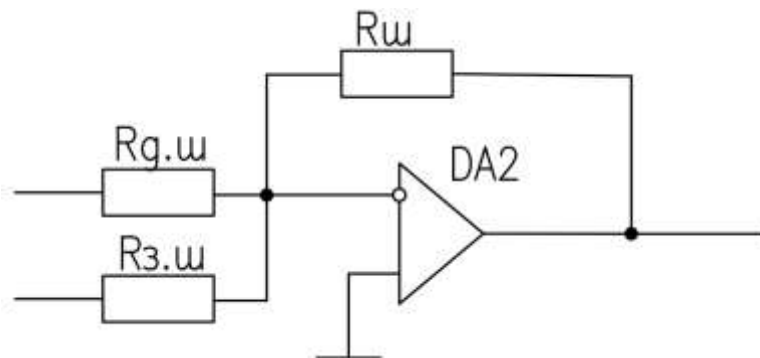


Рисунок 2.12 - Схема важлива електрична контуру швидкості

Вибираємо тахогенератор ТГ з такими технічними характеристиками: - Номінальна частота обертання -2200; - Напруга при номінальній частоті обертання -44 В. Коефіцієнт посилення зворотного зв'язку за швидкістю:

$$k_{o.c.} = \frac{U_{уп.max.}}{\omega_H}.$$

Коефіцієнт регулятора швидкості:

$$k_{p.c.} = \frac{T_{эм}c_{ед}k_{д.т.}}{4T_{\Pi}R_{я}k_{o.c.}}.$$

Задаємося значенням $R_c = 10 \text{ кОм}$

$$R_{з.с.} = \frac{R_c}{k_{р.с.}}$$

$$k_{т.г.} = \frac{U_{т.г.}}{\omega_0}$$

$$R_{о.с.} = R_{з.с.} \cdot \frac{E_{т.г. max}}{U_{уп}}$$

2.3 МОДЕЛЮВАННЯ СИНТЕЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Будуємо модель електроприводу (рис. 2.13), використовуючи розраховані коефіцієнти, для оптимізації моделі.

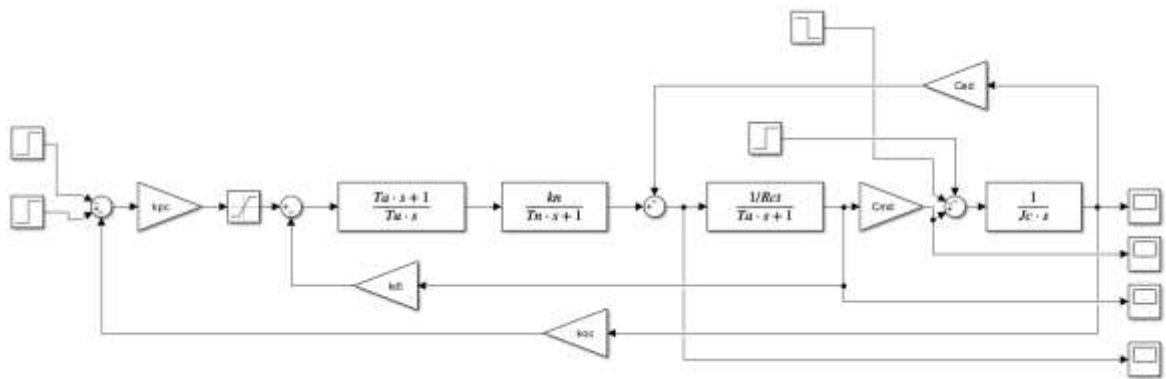


Рисунок 2.13 – Модель електроприводу

Графіки перехідних процесів отримані для слідкуючих режимів роботи:

- Швидкість обертання двигуна (рис. 2.14);
- Момент двигуна (рис. 2.15);
- Струм двигуна (рис. 2.16);
- Напруга двигуна (рис. 2.17).

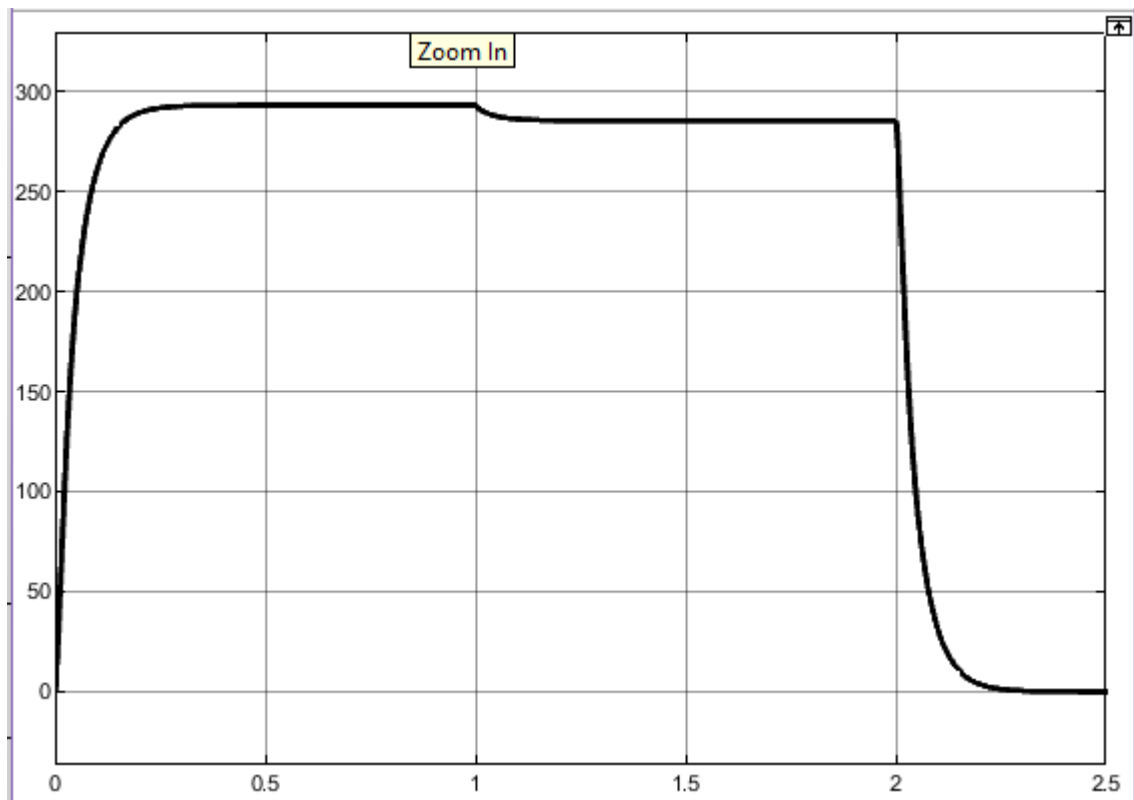


Рисунок 2.14 – Графік швидкості

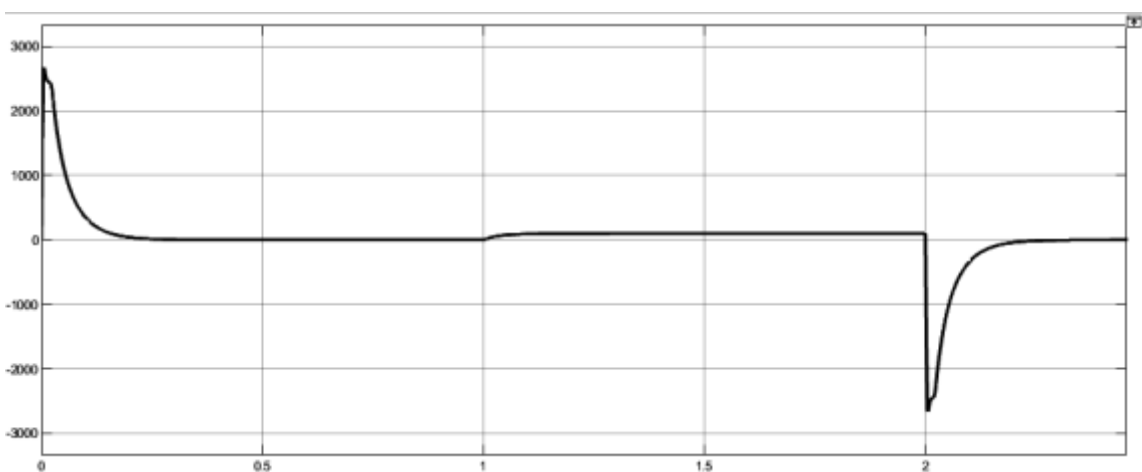


Рисунок 2.15 – Графік моменту сил

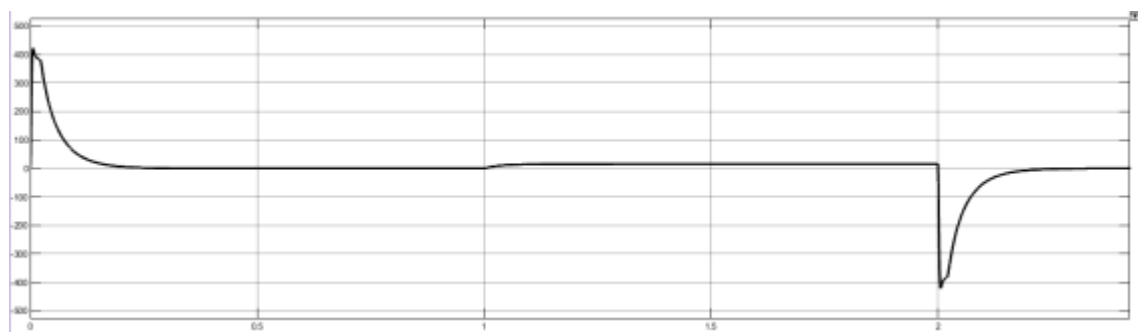


Рисунок 2.16 – Графік сили струму

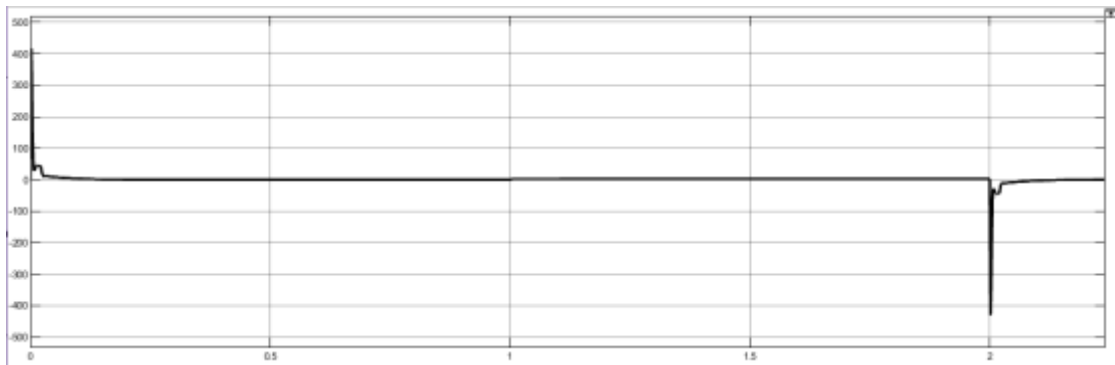


Рисунок 2.17 – Графік напруги

На 1-шій секунді додається навантаження на двигун у розмірі 100 Н*м. Навантаження додали для того, щоб дослідити поведінку графіків. Перерегулювання займає 0.15 секунд, без хвиль. У даному випадку модель оптимальна.

На 2 секундi вимикається живлення двигуна. На цій ділянці графіку досліджуємо гальмування електроприводу. Гальмування відбувається без хвиль, швидкодія менше 0.2 секунд. Модель оптимальна.

Побудуємо оновлену математичну модель електроприводу постійного струму, яка включає блок оберненого зв'язку (1/s) для інтеграції вихідного сигналу та регулятор для забезпечення двох номінальних гальмівних струмів (Рисунок 2.18).

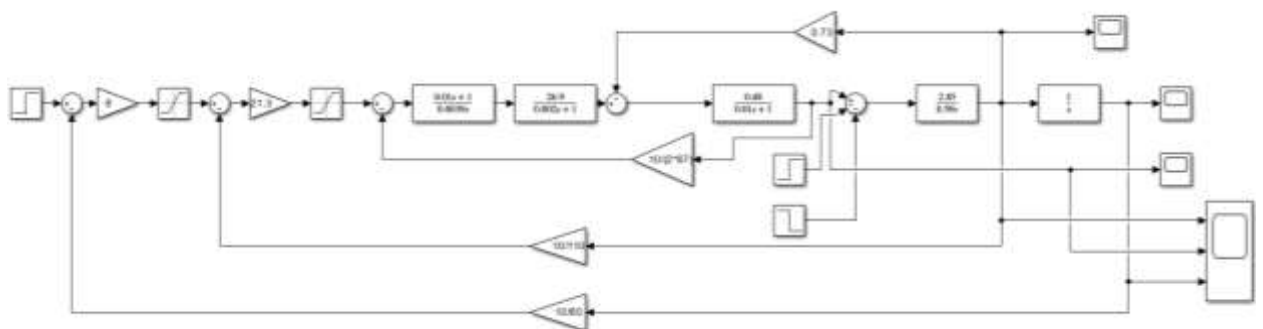


Рисунок 2.18 - Повна математична модель електроприводу

На рисунку 2.19 зображені графіки перехідних процесів отримані у результаті моделювання на яких ми бачимо зміни параметрів системи зокрема у моменти пуску, підключення-відключення навантаження та зупинки електроприводу.

Верхній графік (velocity) відображає зміну швидкості протягом часу. Він показує поступове збільшення швидкості до досягнення максимальної величини, після чого спостерігається її зниження.

Середній графік (current) демонструє зміну струму в системі, що характеризується різкими коливаннями, які вказують на гальмівний струм.

Нижній графік (position) відображає зміни положення у часі, поступове зростання досягнення необхідного положення.

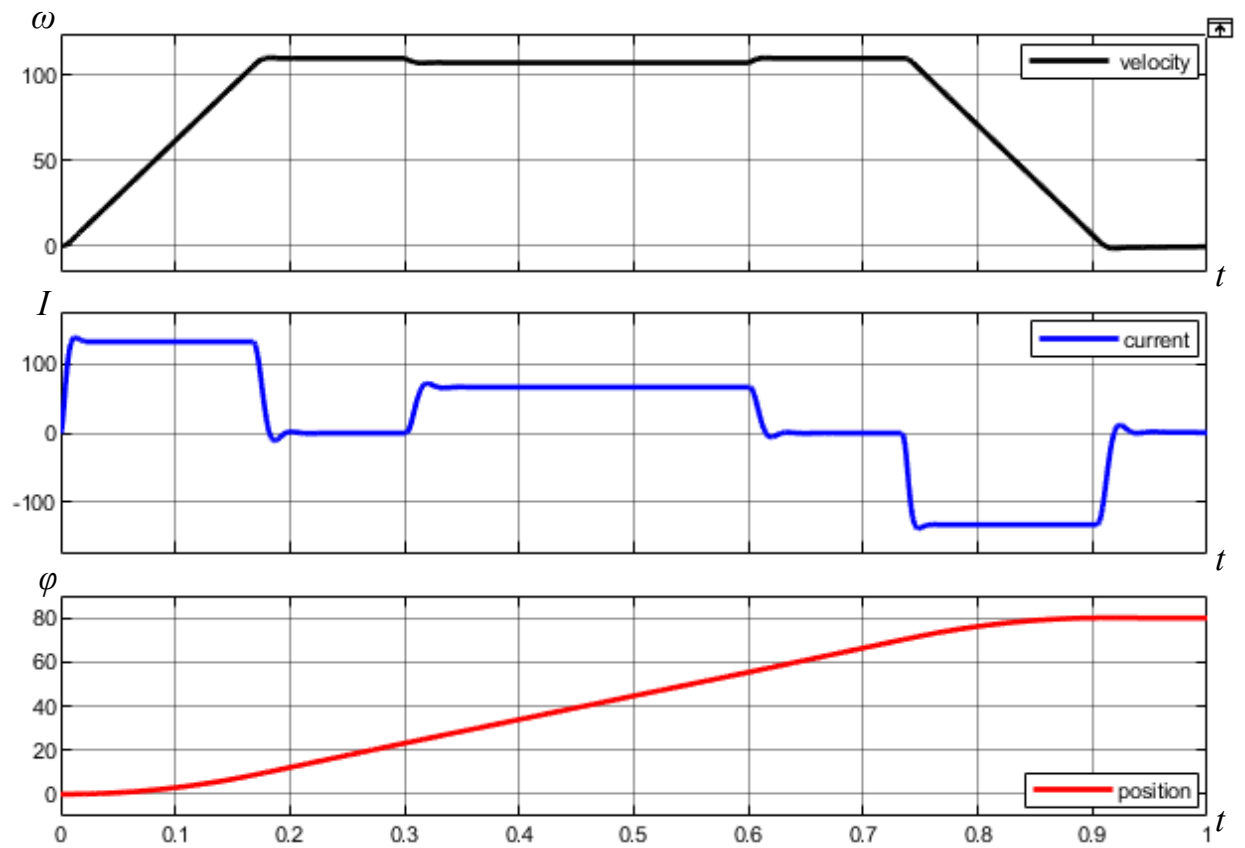


Рисунок 2.19 - Перехідні процеси системи електроприводу

2.4 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ

Приклад розробленої електричної схеми електропривода приведена у додатку А.

3 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЗМІННОГО СТРУМУ

3.1 Розрахунок параметрів електроприводу змінного струму асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

3.1.1 Вихідні дані для розрахунків

Системи керування електроприводів змінного струму будуються таким же чином, як і системи на основі двигунів постійного струму, за принципом «керуючий перетворювач - двигун» з зворотними зв'язками, які дозволяють безперервно контролювати керуючі координати електроприводу. Керованими перетворювачами є тиристорні перетворювачі частоти та напруги. Використання в системах керування електроприводів змінного струму і перетворювача частоти дозволяє створювати системи асинхронного чи синхронного електродвигунів. У якості перетворювачів частоти використовуються перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком, з автономними інверторами напруги (АІН), з автономними інверторами струму (АІС). Такі системи, побудовані за принципом підлеглого керування координат з векторним і частотно-струмовим керуванням, забезпечують високі діапазони регулювання швидкості в статичних режимах і високу швидкодію в динамічних.

Для розрахунків береться асинхронний двигун серії АІР з каталогу, паспортні дані заносяться до таблиці 3.1, як наведено нижче:

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики двигуна

Номінальна механічна потужність, P_n , кВт	30
Синхронна частота обертання, n_1 , об/хв	1000
Коефіцієнт корисної дії номінальний, ККД, η , %	90
Коефіцієнт потужності двигуна $\cos\varphi$	0.85
Номінальне ковзання S , %	2.5
Кратність максимального моменту $\lambda_1 = M_{\max} / M_H$	2.4
Кратність мінімального моменту $\lambda_2 = M_{\min} / M_H$	1.4
Кратність пускового моменту $K_{\text{ПМ}} = M_{\text{П}} / M_H$	1.6
Кратність пускового струму $K_{\text{ПС}} = I_{\text{П}} / I_H$	6.5
Момент інерції двигуна $J_{\text{ДВ}}$, кг м ²	0.61

Розрахунки проводяться за допомогою схеми заміщення, яка зображена на рисунку 3.1.

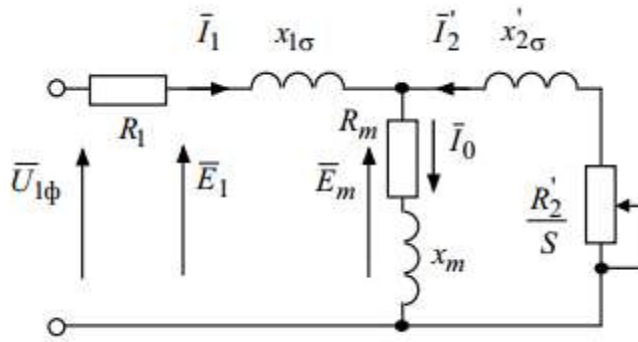


Рисунок 3.1 – Схема заміщення двигуна

3.1.2 Розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна

Насамперед необхідно визначити номінальний струм статорної обмотки та електромагнітний момент двигуна:

Номінальний струм статорної обмотки визначається за формулою:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot \eta_H \cdot \cos \phi_H}$$

Електромагнітний момент двигуна розраховується за формулою:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}$$

$$M_H = 9.55 \frac{P_H}{n_H}$$

$$n_H = n_1 (1 - S_H)$$

$$\omega_H = \omega_1 (1 - S_H)$$

$$\omega_H = \frac{n_H \cdot \pi}{30}$$

$$\omega_1 = \frac{n_1 \cdot \pi}{30}$$

Де $\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f = 314.159$ рад/с – синхронна частота обертання поля статора.

Розраховується критичне ковзання двигуна:

$$s_k = (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) \cdot s_H$$

Для розрахунку активних опорів статору та ротору визначимо механічні втрати, повні втрати, що складаються з постійних та змінних таким чином, що механічні втрати – половина від повних постійних, які, в свою чергу, є 1/3 повних втрат:

$$\Delta P_{MEX} = P_H \cdot \left(\frac{1}{\eta_H} - 1 \right) \cdot \frac{1}{6}$$

Так, активний опір статора розраховується за формулою:

$$R_S = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_H^2 \cdot (1 - s_H)}{c_1 \cdot \left(1 + \frac{c_1}{s_K} \right) \cdot k_{ПМ} \cdot (P_H + \Delta P_{MEX})}$$

Де $c_1 = 1 + L_{s\sigma} / L_m = 1,02 \dots 1,05$ - конструктивний коефіцієнт двигуну

Після розрахунку параметрів для схеми заміщення необхідно порівняти отримані індуктивності з коефіцієнтом та провести декілька ітерацій.

Опір ротору при цьому вираховується за формулою:

$$R_R = \frac{1}{3} \cdot \frac{(P_H + \Delta P_{MEX}) \cdot k_{ПМ}}{(1 - s_H) \cdot k_{ПТ}^2 \cdot I_H^2}$$

А індуктивність статора та ротора:

$$L_S \cong L_R = \frac{1}{2 \cdot p_n \cdot f_H} \cdot \frac{U_H / \sqrt{3}}{(\sqrt{1 - \cos \phi_H^2} - \cos \phi_H \cdot s_H / s_K)}$$

Далі визначається коефіцієнт, що характеризує співвідношення між активними опорами статорної та роторної обмоток, величина якого залежить від потужності двигуна:

$$\beta = \frac{R_S}{c_1 \cdot R_R}$$

Індуктивний опір ланцюга короткого замикання:

$$X_K = X_{S\sigma} + X_{R\sigma} = c_1 \cdot R_R \cdot \sqrt{\frac{1}{s_K^2} - \beta^2}$$

Індуктивність розсіювання статора та ротору, зважаючи увагу на те, що вони приблизно рівні за значенням:

$$L_{S\sigma} \cong L_{R\sigma} = \frac{X_K}{2 \cdot \omega_1}$$

Взаємоіндукція визначається за формулою:

$$L_M = L_S - L_{S\sigma}$$

Для наступних розрахунків та моделювання знаходяться коефіцієнти:

$$\text{Зв'язку статора } k_s = \frac{L_M}{L_S}$$

$$\text{Зв'язку ротора } k_R = \frac{L_M}{L_R}$$

$$\text{Розсіювання } \sigma = 1 - k_s \cdot k_R$$

Отримані розрахункові дані заносяться до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Приклад заповнення таблиці

I _H	M _H	s _K	ΔP_{MEX}	C ₁	R _S	R _R	L _S
59,582	293,82	0,1145	555,5556	1,0411	0,1371	0,1114	0,0405
β	X _K	L _{Sσ}	L _M	k _S	k _R	σ	
1,1816	1,0035	0,0016	0,0389	0,9605	0,9605	0,0774	

Розрахунок механічних характеристик асинхронного двигуна при частотному скалярному керуванні

Для визначення моменту двигуна та побудови механічних характеристик використовуються Т(Г)-образна схема заміщення, у якій намагнічуючий контур винесений на вхід системи без урахування падіння напруги на активному опорі та індуктивному опорі розсіювання статора.

Для розрахунку характеристик прийняті наступні позначення:

$$f_s^* = \frac{f_{SX}}{f_{SH}} \text{ - відносна частота напруги живлення статора;}$$

$$h = \frac{U_{SX}}{U_{SH}} \text{ - відносна напруга на статорі двигуна;}$$

$$S_X = \frac{\omega_{SX} - \omega}{\omega_{SX}} = 1 - \frac{\omega}{\omega_{SH} \cdot f_s^*} \text{ - ковзання при заданій частоті;}$$

Використовуючи схему заміщення асинхронного двигуна при частотному регулюванні, визначаємо струм фази ротора:

$$I_R = \frac{h \cdot U_{SH}}{\sqrt{(R_S + R_R / S_X)^2 + (f_s^* \cdot X_K)^2}}$$

Електромагнітна потужність трифазного двигуна при частотному регулюванні визначається наступним співвідношенням:

$$P_{\Sigma M} = 3 \cdot I_R^2 \cdot \frac{R_R}{S_X} = M_X \cdot \omega_{SX}$$

Підставляючи у вираз значення струму фази ротора, отримуємо рівняння статичної механічної характеристики при частотному регулюванні:

$$M_X = \frac{3 \cdot h^2 \cdot U_{SH}^2 \cdot R_R \cdot S_X}{f_S^* \cdot \omega_{SH} \cdot [(R_S \cdot S_X + R_R)^2 + (f_S^* \cdot X_K \cdot S_X)^2]};$$

Критичний момент механічних характеристик:

$$M_K = \frac{3 \cdot h^2 \cdot U_{SH}^2}{2 \cdot f_S^* \cdot \omega_{SH} \cdot [R_S \pm \sqrt{R_S^2 + (f_S^* \cdot X_K)^2}]};$$

В приведеному виразі знак плюс відноситься к рухомому режиму, а знак мінус к генераторному режиму роботи.

Визначається величина критичного моменту обраного двигуна. Величина критичного моменту двигуна при відносної частоті $f_S^* = 1$ та напрузі $h = 1$.

- для режиму двигуна:

$$M_{KД} = \frac{3 \cdot h^2 \cdot U_{SH}^2}{2 \cdot f_S^* \cdot \omega_{SH} \cdot [R_S + \sqrt{R_S^2 + (f_S^* \cdot X_K)^2}]}$$

- для режиму генератора:

$$M_{KГ} = \frac{3 \cdot h^2 \cdot U_{SH}^2}{2 \cdot f_S^* \cdot \omega_{SH} \cdot [R_S - \sqrt{R_S^2 + (f_S^* \cdot X_K)^2}]}$$

Нижче наведені рівняння для розрахунку швидкості ротора та моменту обертання двигуна:

$$\omega = \frac{\omega_{SH}}{p_{II}} \cdot (1 - S_X) = 104,7196 \cdot (1 - S_X);$$

$$M_X = \frac{3 \cdot h^2 \cdot U_{SH}^2 \cdot R_R \cdot S_X}{f_S^* \cdot \omega_{SH} \cdot [(R_S \cdot S_X + R_R)^2 + (f_S^* \cdot X_K \cdot S_X)^2]};$$

Використовуючи останні два вирази, будуюмо механічні характеристики асинхронного двигуна при частотному керуванні за законом $U_s/f_s = \text{const}$. З приведених характеристик видно, що при зниженні частоти зменшується величина критичного моменту та жорсткість характеристик. Для збереження постійності критичного моменту двигуна необхідно величину живлячої напруги на статорі знижати в меншій мірі, ніж частоту під час регулювання.

Для побудови механічних характеристик при постійному критичному моменту необхідно визначити відносні величини напруги на статорі двигуна під час змінення частоти нижче номінальної, використовуючи вираз для розрахунку критичного моменту:

$$h = \sqrt{\frac{2 \cdot M_K \cdot f_s^* \cdot \omega_{SH} \cdot [R_s + \sqrt{R_s^2 + (f_s^* \cdot X_K)^2}]}{3 \cdot U_{SH}^2}}$$

Розрахунки та побудови графіків проводяться у середовищі MathCad14, при використанні наведених нижче контрольних величин:

- 1) При $f_s^* = 0.2$ $h = 0.257$
- 2) При $f_s^* = 0.4$ $h = 0.442$
- 3) При $f_s^* = 0.6$ $h = 0.627$
- 4) При $f_s^* = 0.8$ $h = 0.814$

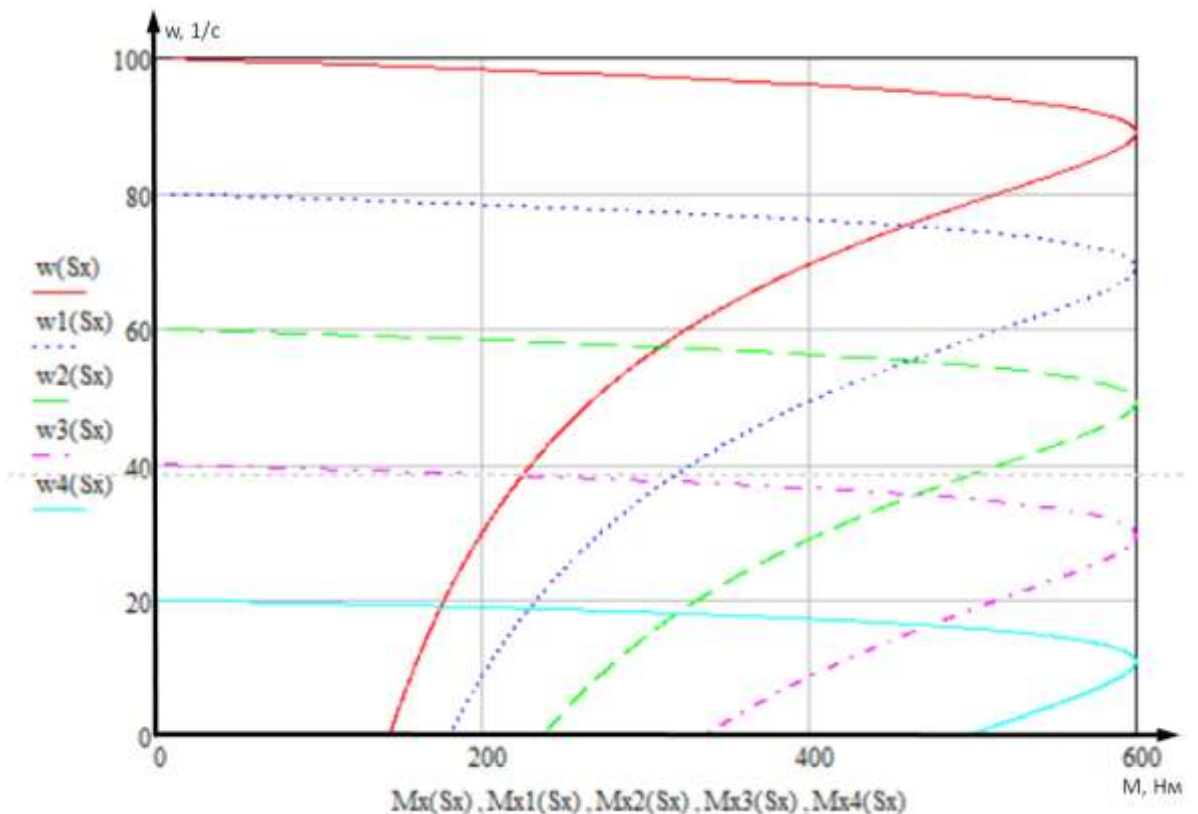


Рисунок 3.2 – Механічні характеристики двигуна

3.2 Математична модель асинхронного двигуна з коротко замкненим ротором

3.2.1 Рівняння математичної моделі асинхронного електропривода

Система рівнянь, що описує роботу асинхронного електродвигуна, наведена нижче:

$$\left. \begin{aligned} U_{1\alpha} &= R(T_1 p + 1)i_{1\alpha} - \frac{k_2}{T_2}\Psi_{2\alpha} - k_2 Z_p \omega \Psi_{2\beta}, \\ U_{1\beta} &= R(T_1 p + 1)i_{1\beta} - \frac{k_2}{T_2}\Psi_{2\beta} + k_2 Z_p \omega \Psi_{2\alpha}, \\ 0 &= -k_2 R_2' i_{1\alpha} + \frac{T_2 p + 1}{T_2}\Psi_{2\alpha} + Z_p \omega \Psi_{2\beta}, \\ 0 &= -k_2 R_2' i_{1\beta} + \frac{T_2 p + 1}{T_2}\Psi_{2\beta} - Z_p \omega \Psi_{2\alpha}, \\ \Psi_{1\alpha} &= L_1 i_{1\alpha} + L_{12} i_{2\alpha}', \Psi_{1\beta} = L_1 i_{1\beta} + L_{12} i_{2\beta}', \\ \Psi_{2\alpha} &= L_2 i_{2\alpha} + L_{12} i_{1\alpha}, \Psi_{2\beta} = L_2 i_{2\beta} + L_{12} i_{1\beta}, \\ M &= \frac{3}{2} k_2 Z_p (\Psi_{2\alpha} i_{1\beta} - \Psi_{2\beta} i_{1\alpha}), \\ M - M_c &= J p \omega. \end{aligned} \right\}$$

U_{1a}, U_{1b} – напруги статора в системі a/b;

i_{1a}, i_{1b} – струми статора в системі a/b;

R_1 – опір активне обмотки статора;

R_2' – опір активний обмотки ротора наведений;

T_1, T_2 – постійні часу електромагнітні статори та ротори;

k_2, Z_p – коефіцієнти;

p – кількість полюсів;

M – момент електродвигуна;

M_c – момент сил опору;

J – момент інерції двигуна;

ω – швидкість кутова двигуна;

Ψ_{2a}, Ψ_{2b} – потокозчеплення ротора;

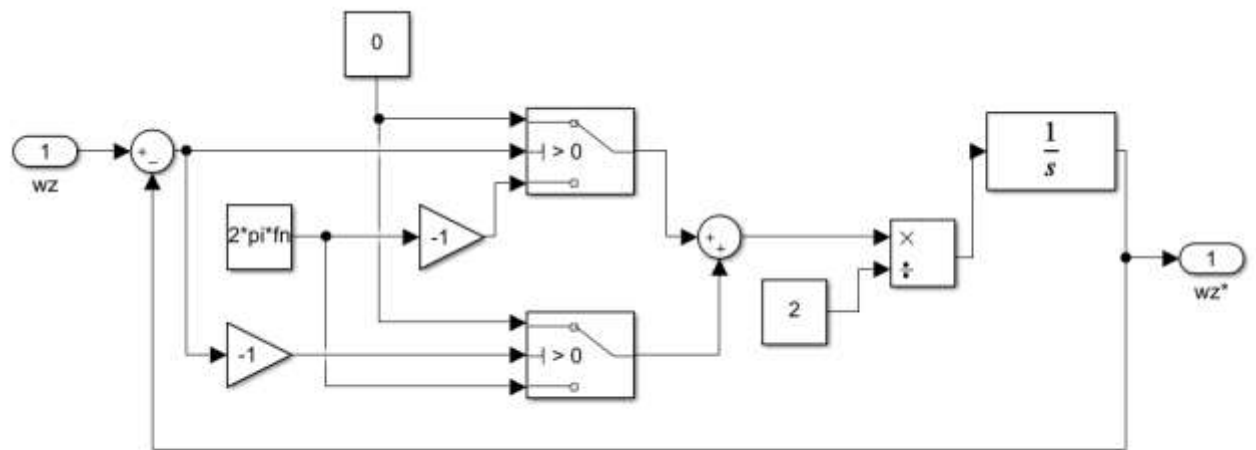
Ψ_{1a}, Ψ_{1b} – потокозчеплення статора;

L_1, L_2, L_m – індуктивності статора та ротора.

3.2.2 Структурна схема електропривода

Для дослідження роботи асинхронного електроприводу з пропорційним законом скалярного частотного управління необхідне живлення статорних обмоток за допомогою моделі перетворювача частот (малюнок). На модель ПЧ подаються сигнали на формування амплітуди та частоти напруги, що

Необхідно враховувати, що задання частоти на всі системи розімкненого частотного регулювання обов'язково потрібно проводити через модель задавання інтенсивності (ЗІ). Інакше реалізується прямий пуск від мережі з заданими показниками частоти та амплітуди напруги. Задача ЗІ – формування плавної зміни заданого сигналу при переході від одного рівня до іншого, створюючи лінійне наростання та спад сигналу з необхідним темпом. На рисунку 3.3 зображена математична модель ЗІ, що реалізована у пакеті pz MatLab SimuLink.



33

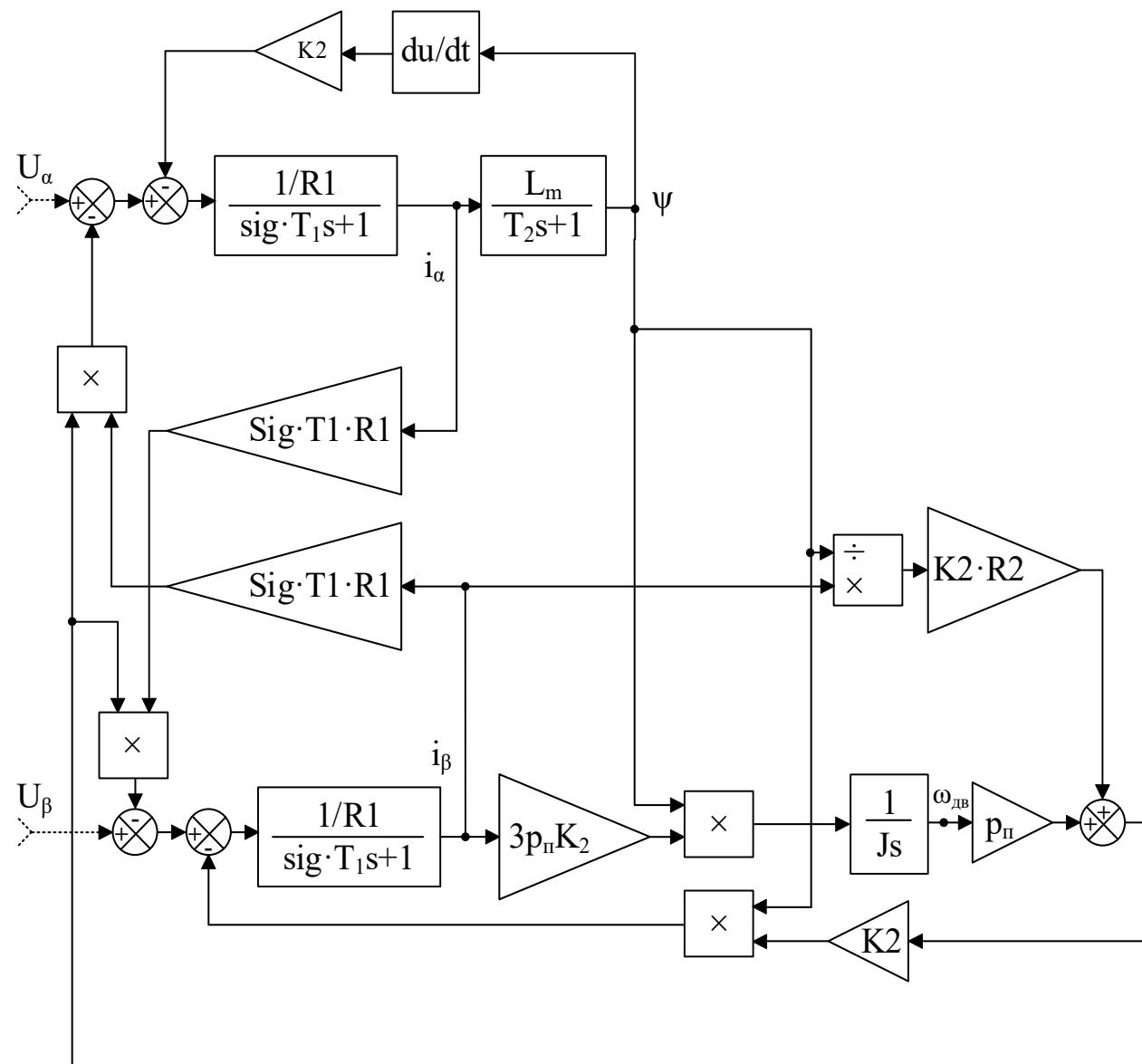
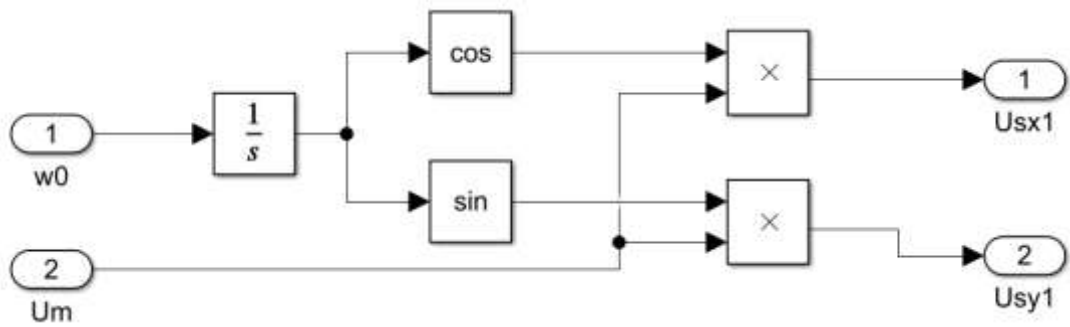


Рисунок 3.4 – Математична модель АД



В основі роботи запропонованого пристрою задавання інтенсивності лежить інтегратор, що формує лінійне наростання при спаданні ω_Z^* відхиленні вхідного сигналу від нуля. Постійність темпу забезпечується подачею постійного сигналу задання частоти в $\pm 314,159$ рад/с на інтегратор. Вибір знаку, що подається з сигналом забезпечується ключами керування, які в залежності від значення на виході суматора виділяють необхідність подальшого інтегрування. У момент часу, коли $\omega_Z^* = \omega_Z$ інтегрування припиняється та вихідна напруга залишається незмінною.

При зніманні з входу заданої напруги проходить процес лінійного зменшення вихідної напруги до нульового значення.

Повна модель розімкненої системи скалярного керування, що реалізована в MatLab SimuLink, приведена на малюнку. Елемент функціонального перетворювача реалізований у блоці 1-D Lookup Table, у якому закладена залежність з IR –компенсацією, яка наведена на малюнку 11. Блок Manual Switch дозволяє перемикатись між режимом прямого пуску від мережі та при роботі від ЗІ. Переключення відбувається подвійним натиском на блок. Результати моделювання оцінюються за допомогою осцилографів Scope, які підключаються до виводів моделі двигуна. Фіксований крок інтегрування моделі встановлюється не більшим 0.0001 у властивостях середі Simulink.

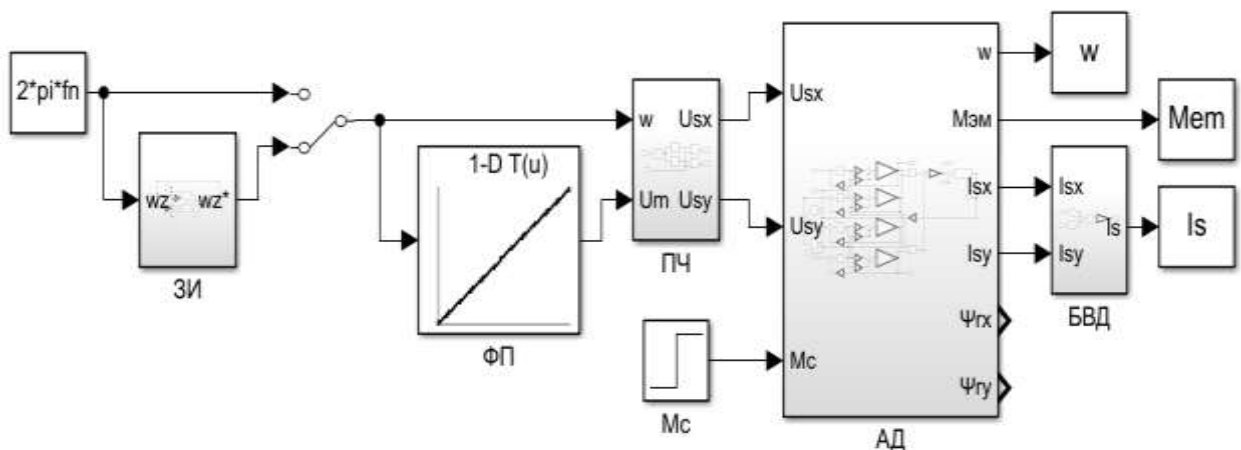


Рисунок 3.6 – Математична модель перетворююча частоти

Дані за струмом статора та потокозчепленням ротора, що розкладені по осям нерухомої системи координат є гармонічними коливаннями. Для оцінки зміни діючих значень цих параметрів необхідно виконати його масштабування:

$$i_s = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{i_{sx}^2 + i_{sy}^2}.$$

Для цього використовується блок виділення дійсного значення БВД, структурна схема якого наведена на рисунку 3.7.

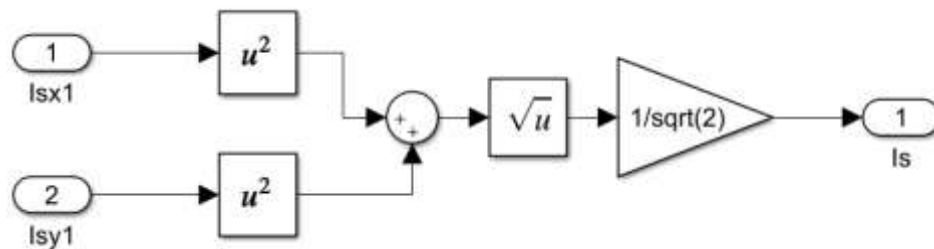


Рисунок 3.7 – Структурна схема БВД

3.2.3 Аналіз перехідних процесів електропривода

Структурна схема асинхронного привоу з векторним керуванням зі стабілізацією потокозчеплення ротора, зображена на рисунку 3.

Система стабілізації потокозчеплення, що містить у прямому каналі ланки:

$$W_{p.nm}(s), W_{pla}(s), k_n e^{-\tau s}, \frac{1}{\bar{R}_1}, \frac{L_m}{\sigma T_2 s + 1}, \frac{1}{T_2 s + 1},$$

Дана ПФ є двоконтурною. Контур струму внутрішній, а контур потокозчеплення зовнішній. Система автоматичного регулювання швидкості, що містить у прямому каналі ланки:

$$W_{pc}(s), W_{pm}(s), W_{pT\beta}(s), k_n e^{-\tau s}, \frac{1/R_1}{\sigma T_2 s + 1}, 3, \frac{L_m}{Js + 1}$$

$$W_{pl}(s) = \frac{\sigma T_1 s + 1}{\sigma T_1 s}$$

$$K_{pi} = \frac{1}{K_{пч} \cdot \frac{1}{R_1}}$$

ПФ складається з трьох контурів, де контур струму та контур моменту є внутрішніми, а контур швидкості зовнішнім.

Фізично датчиків потокозчеплення і моменту немає. Поточні значення потокозчеплення і моменту визначаються розрахунковим шляхом за моделлю двигуна. У цій структурній схемі завдання на швидкість формується задатчиком інтенсивності (ЗІ).

Значення номінального потокозчеплення визначається за формулою:

$$\psi_{\Pi} = \left(\frac{2 \cdot M_n \cdot R_2}{3 \cdot P \cdot (\omega_0 - \omega_n)} \right)^{0,5}$$

Синхронна кутова частота обертання:

$$\omega_0 = \frac{n_1 \cdot 6,28}{60}$$

Номінальна кутова частота обертання:

$$\omega_n = \frac{n_n \cdot 6,28}{60}$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_H = \frac{P_{2H}}{\omega_H}$$

Синтез регулятора контуру струму

Структурна схема контуру струму наведено на рисунку 3.9.

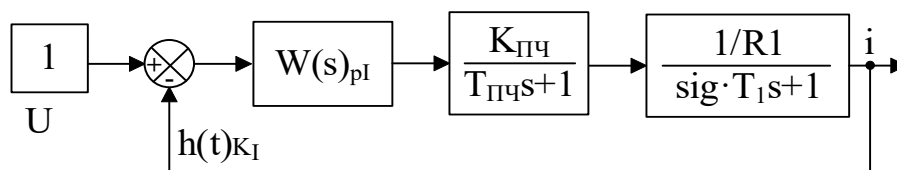


Рисунок 3.9 - Структурна схема контуру струму

Передавальна функція ПІ-регулятора струму:

$$W(p) = K_{pi} \cdot \frac{Sig \cdot T_1 \cdot s + 1}{2 \cdot T_{\Pi\text{ч}} \cdot s} = K_{pi} \cdot \left(\frac{Sig \cdot T_1}{2 \cdot T_{\Pi\text{ч}}} + \frac{1}{2 \cdot T_{\Pi\text{ч}} \cdot s} \right)$$

У зв'язку з тим, що контур струму внутрішній, його налаштовують на оптимум по модулю. Так як в даному контурі як незмінна його частина присутні дві послідовно включених аперіодичних ланки, слід використовувати ПІ регулятор (Рисунок 3.10).

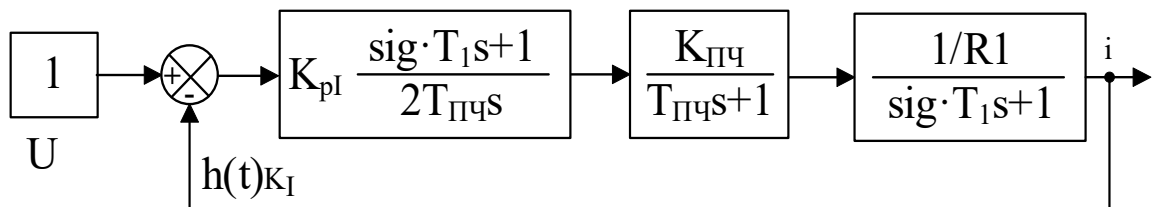


Рисунок 3.10 - Структурна схема контуру струму з регулятором

Постійна часу регулятора та динамічний коефіцієнт посилення визначимо за формулами:

$$K_{pi} = \frac{1}{K_{ПЧ} \cdot \frac{1}{R_1}}$$

На рисунку 3.11 зображено математичну модель контуру струму, налаштованого на оптимум по модулю.

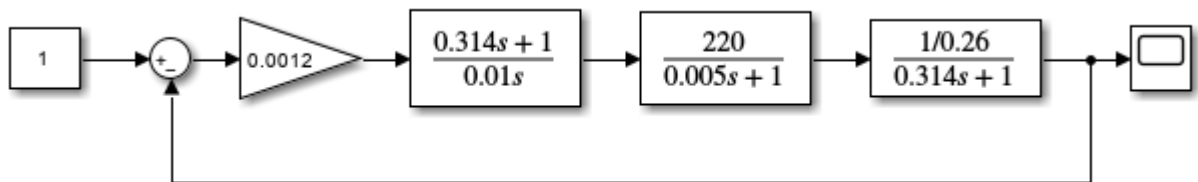


Рисунок 3.11 – Математична модель контуру струму

Для оцінки якості контуру на рисунку 3.12 зображена його перехідна функція.

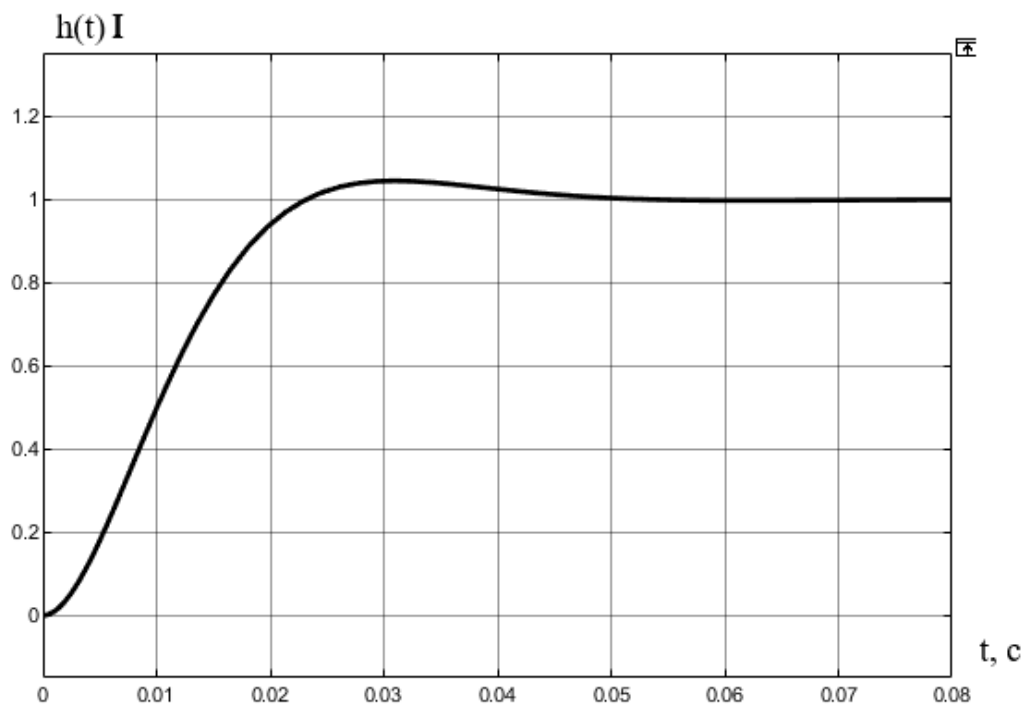


Рисунок 3.12 - Перехідна характеристика контуру струму

Аналіз перехідної функції контуру струму показує його точне налаштування на оптимум по модулю.

Синтез регулятора контуру стабілізації поточозчеплення ротора

Структурна схема контуру поточозчеплення із внутрішнім контуром струму представлена на рисунку 3.13. Зворотним зв'язком а8, а8 нехтуємо.

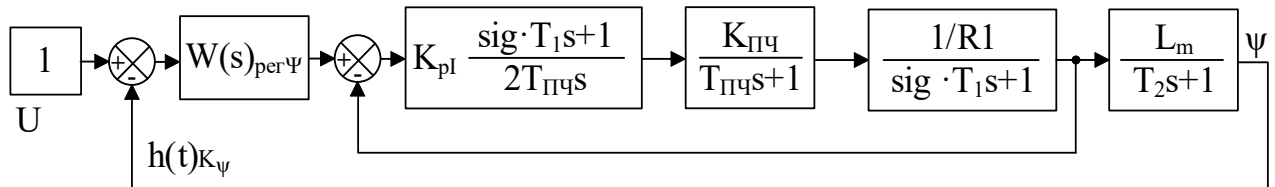


Рисунок 3.13 - Структурна схема контуру поточозчеплення

Відповідно до існуючих рекомендацій, налаштовувати контур стабілізації поточозчеплення необхідно на оптимум за модулем.

Варто відзначити, що внутрішній контур струму налаштований на оптимум за модулем, його передатна функція є аперіодичною ланкою другого порядку, яку можна замінити на аперіодичну ланку першого порядку з постійною часу, що дорівнює двом малим постійним часу контуру струму.

$$W_{т.екв} = \frac{1}{2 \cdot T_{пч} + 1}$$

Незмінна частина контуру поточозчеплення після прийнятих припущення є дві послідовно включених аперіодичних ланки першого порядку (Рисунок 3.14) Отже, необхідно використовувати пропорційно-інтегральний регулятор.

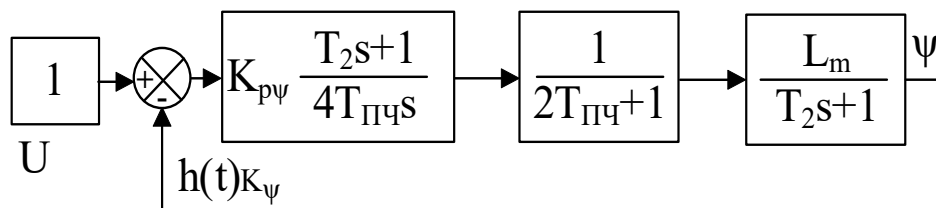


Рисунок 3.14 - Структурна схема спрощеного контуру поточозчеплення

Передавальна функція ПІ-регулятора поточозчеплення:

$$W(p) = K_{рψ} \cdot \frac{T_2 \cdot s + 1}{4 \cdot T_{пч} \cdot s} = K_{рψ} \cdot \left(\frac{T_2}{4 \cdot T_{пч}} + \frac{1}{4 \cdot T_{пч} \cdot s} \right)$$

динамічний коефіцієнт посилення:

$$K_{p\psi} = \frac{1}{L_m}$$

Для забезпечення наочності різниці характеристик спрощеного та реального контурів потокозчеплення їх структурні схеми зображені на рисунку 3.15.

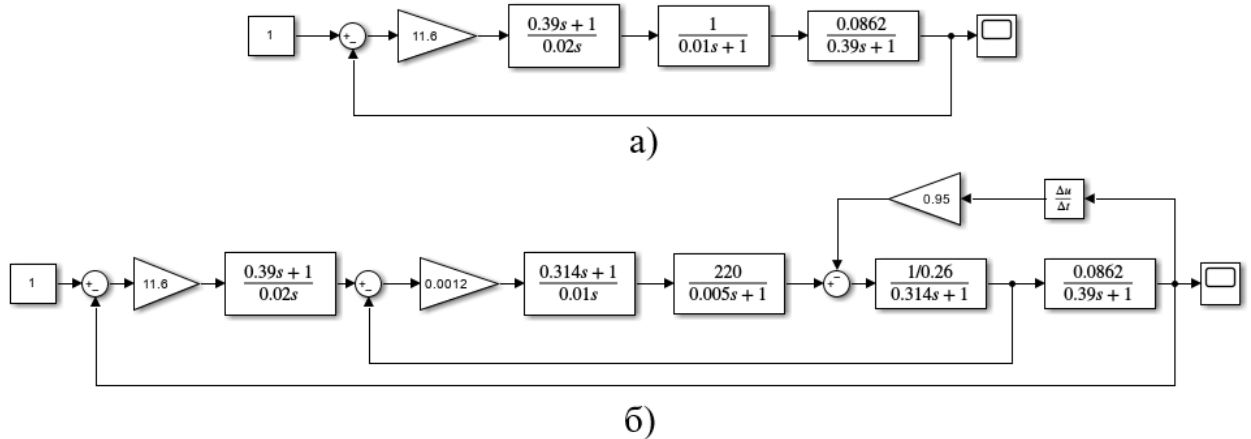


Рисунок 3.15 - Структурні схеми контурів потокозчеплення з розрахованими параметрами: а) спрощена; б) реальна

Перехідні функції контурів представлені на рисунку 3.16.

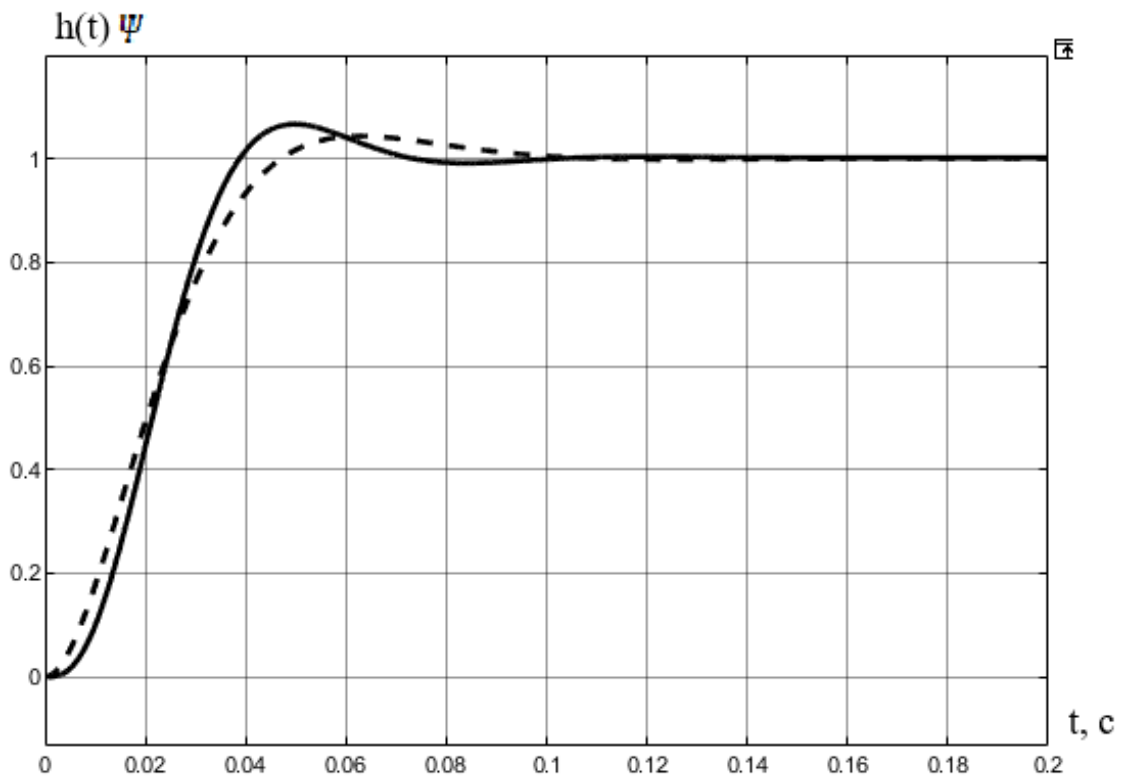


Рисунок 3.16 - Перехідні характеристики контуру потокозчеплення, суцільна лінія – реального, пунктирна – спрощеного

Аналіз цих характеристик показує, що перерегулювання і час першого узгодження характеристики реального контуру відрізняються від значень, характерних для ідеального налаштування на оптимум по модулю, але швидкодіючий і стійкий контур.

Синтез регулятора контуру моменту

Структурна схема реального контуру моменту, виділена із структурної схеми на рисунок 3.8 наведена на рисунку 3.17.

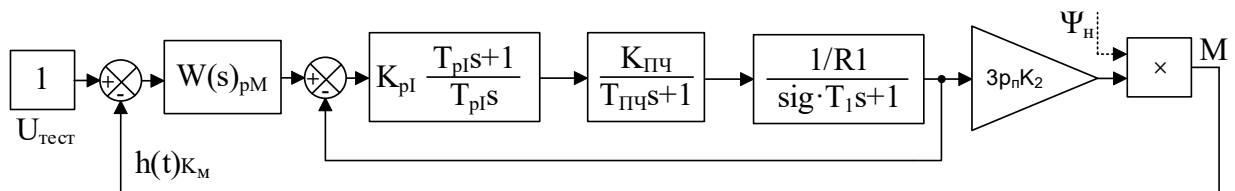


Рисунок 3.17 - Структурна схема реального контуру моменту

Контур моменту є внутрішнім по відношенню до зовнішнього контуру швидкості та зовнішнім по відношенню до контуру струму. Обираємо інтегральний регулятор для контуру моменту.

Передавальна функція регулятора контуру моменту має вигляд:

$$W(p) = \frac{1}{T_{pM}}$$

Постійна часу регулятора:

$$T_{pM} = 2 \cdot T_{пч} \cdot 3 \cdot p_n \cdot K_2 \cdot \psi_n,$$

На рисунку 3.18 зображено спрощений контур моменту, в якому контур струму представлений ланкою з передавальною функцією аперіодичного ланки першого порядку з постійним часом T_μ .

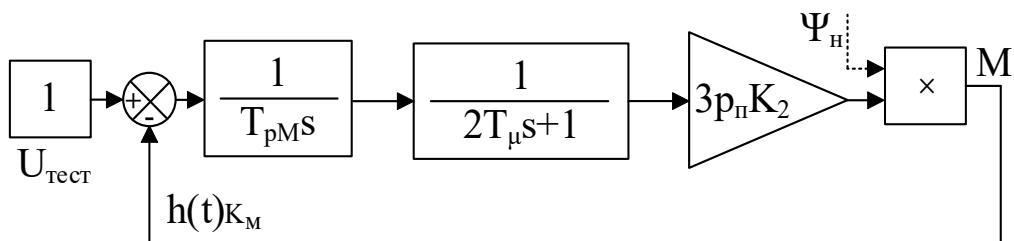


Рисунок 3.18 - Структурна схема спрощеного контуру моменту

Для спрощення аналізу на рисунку 3.19 представлені структурні схеми спрощеного та реального контурів моменту з розрахованими параметрами.

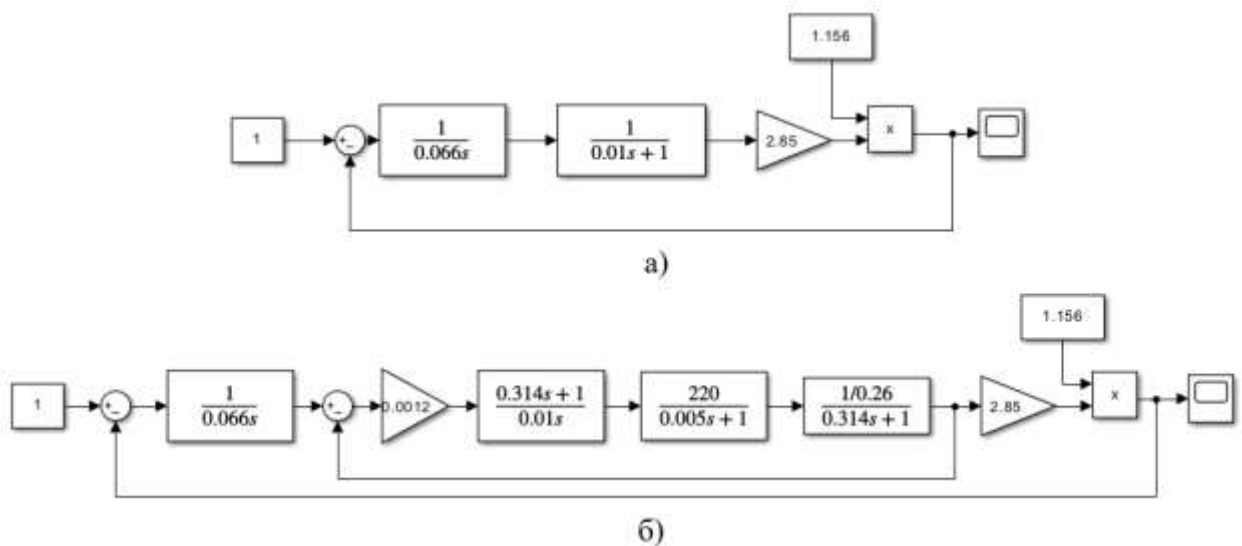


Рисунок 3.19 - Структурна схема контуру моменту з розрахованими параметрами а) спрощена; б) реальна

Для аналізу рівня відмінностей перехідних функцій спрощеного та реального контурів моменту вони представлені на рисунку 3.20.

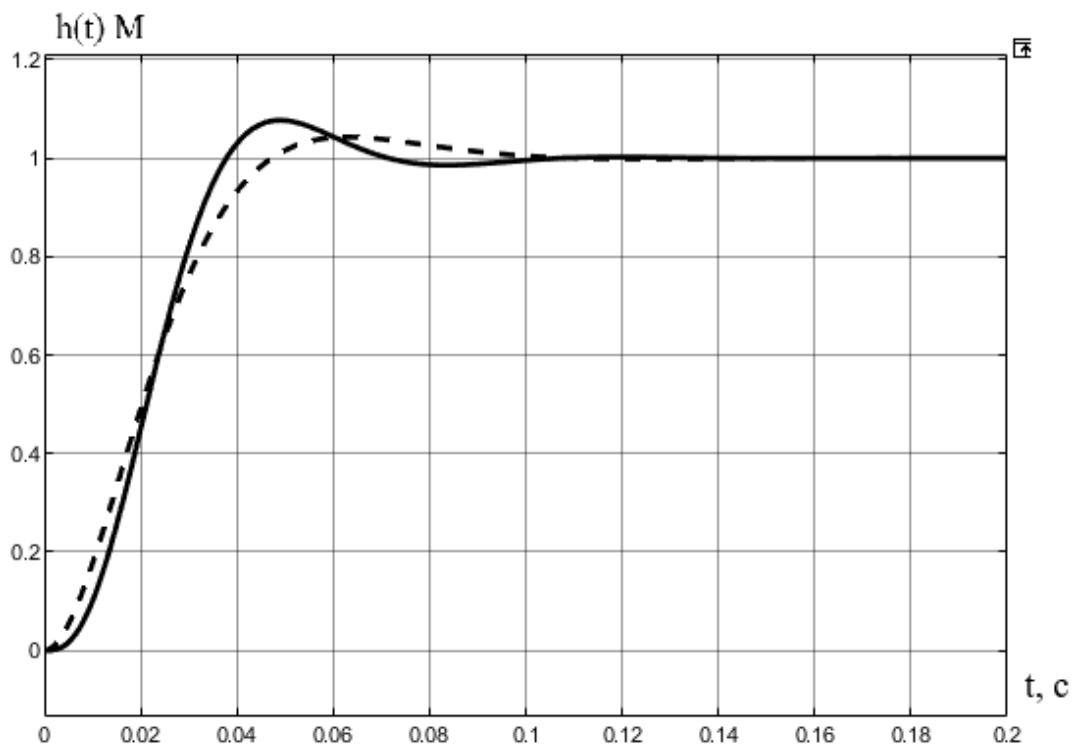


Рисунок 3.20 - Перехідні функції реального контуру моменту-суцільна лінія, і спрощено-штрихова лінія

Аналіз графіків перехідних функцій реального та спрощеного контурів моменту показує, що перехідна функція реального контуру моменту не відповідає перехідній функції ідеально налаштованого на оптимум за модулем контуру. Однак реальний контур моменту стійкий та швидкодіючий.

Синтез регулятора контуру швидкості

Структурна схема реального контуру швидкості при заміні контуру струму аперіодичним ланкою другого порядку наведено на рисунку 3.21.

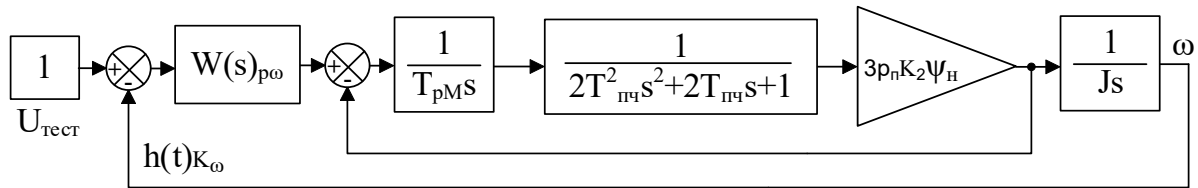


Рисунок 3.21 - Структурна схема реального контуру швидкості

Контур швидкості є зовнішнім контуром, тому його доцільно налаштовувати на симетричний оптимум. Це дозволяє при виникненні впливу, що обурює, по моменту виключити помилку по швидкості, тобто зробити її рівною нулю.

Внутрішній контур моменту замінюється на аперіодичну ланку першого порядку з постійної часу $T_{\mu 2} = 4T_{пч}$. У такому випадку об'єкт управління в контурі швидкості буде виглядати як послідовно з'єднані інтегральна та аперіодична ланка першого порядку. Структурна схема спрощеного контуру швидкості представлена на рисунку 3.22.

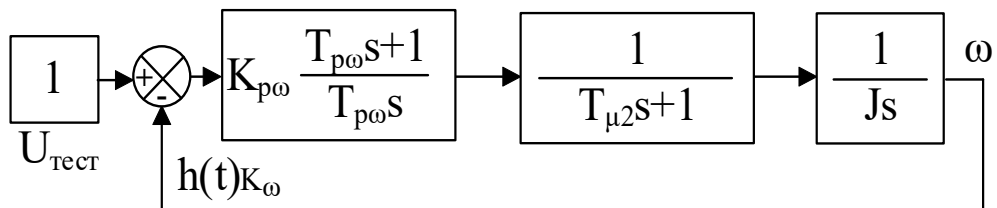


Рисунок 3.22 - Структурна схема спрощеного контуру швидкості

Як регулятор слід використовувати ПІ — регулятор.

Динамічний коефіцієнт посилення розраховується за формулою

$$K_{рег\omega} = \frac{J}{2 \cdot 4T_{пч} \cdot K_{д\omega}}$$

Постійна часу регулятора:

$$T_{рег\omega} = 4 \cdot (4 \cdot T_{пч})$$

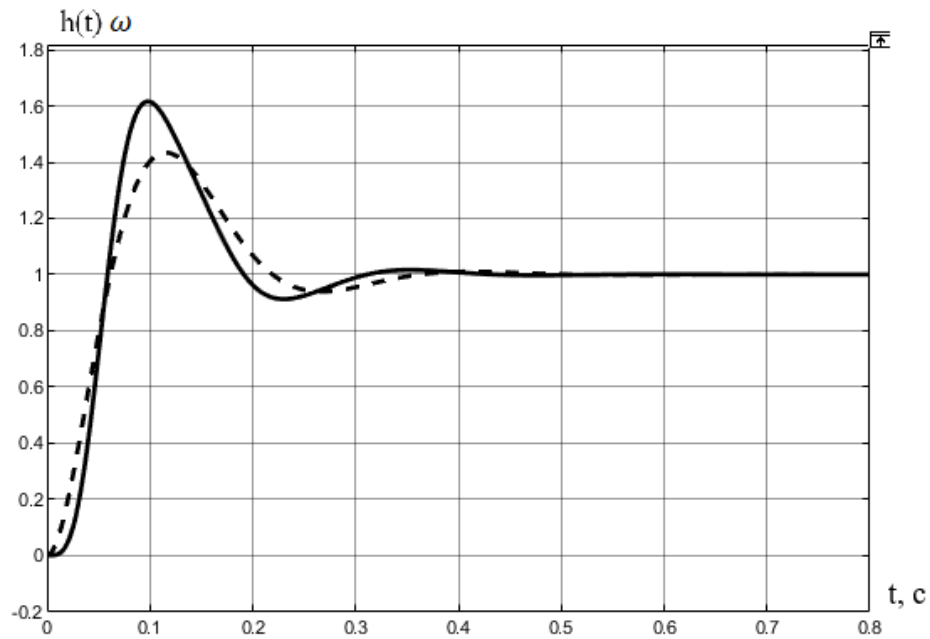


Рисунок 3.23 - Перехідна функція реального контуру швидкості – суцільна лінія, спрощеного контуру – штрихова

Модельовання загальної математичної моделі

Побудуємо повну математичну модель електроприводу в Matlab (рисунок 3.24).

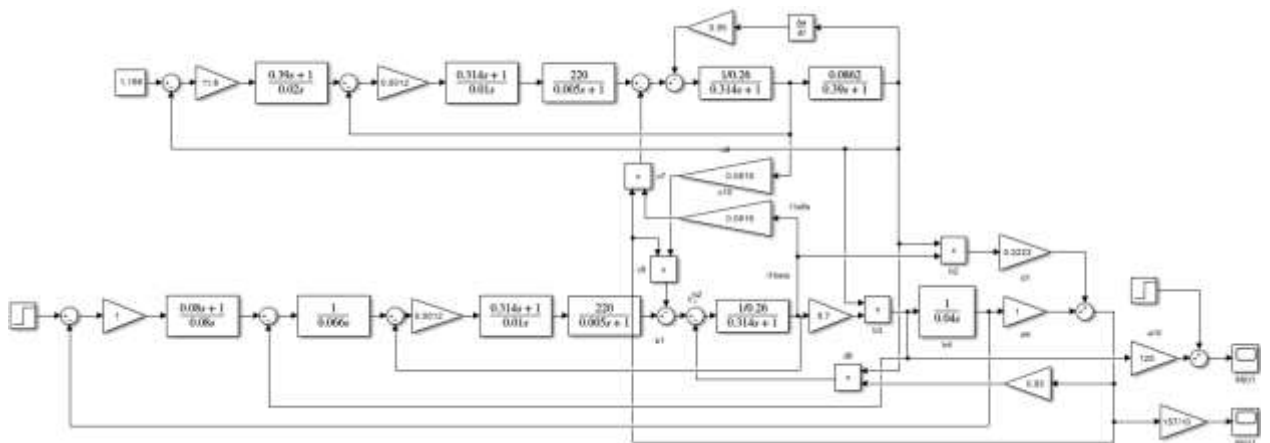


Рисунок 3.24 – Повна математична модель електроприводу

На лівому графіку представлено перехідний процес зміни моменту електроприводу під час запуску. Графік ілюструє поведінку моменту на етапах наростання та стабілізації.

На правому графіку показано перехідний процес зміни швидкості в системі. Він демонструє, як швидкість двигуна змінюється з урахуванням обмежень моменту та інших характеристик системи.

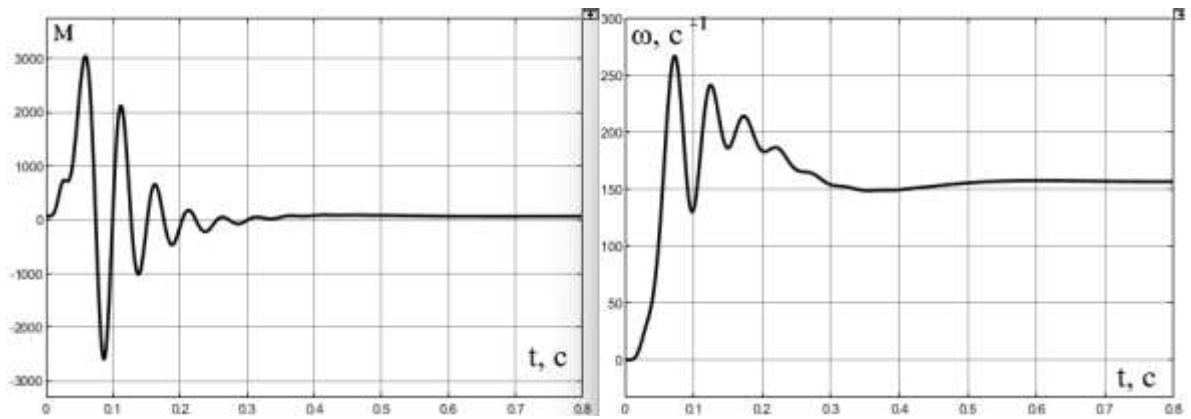


Рисунок 3.25 – Перехідні процеси в електроприводі змінного струму

Математична модель електроприводу із задатчиком інтенсивності

Через значні перерегулювання та коливання моменту і швидкості, що спостерігаються в системі електропривода (Рисунок 3.26), використаємо у схемі задатчик інтенсивності S-подібного типу (Рисунок 3.27). На схемі зображено модель задатчика інтенсивності, який обмежує темп зміни задавального сигналу швидкості. Це дозволяє уникнути різких змін струму і моменту в електроприводі, забезпечуючи більш плавну динаміку системи.

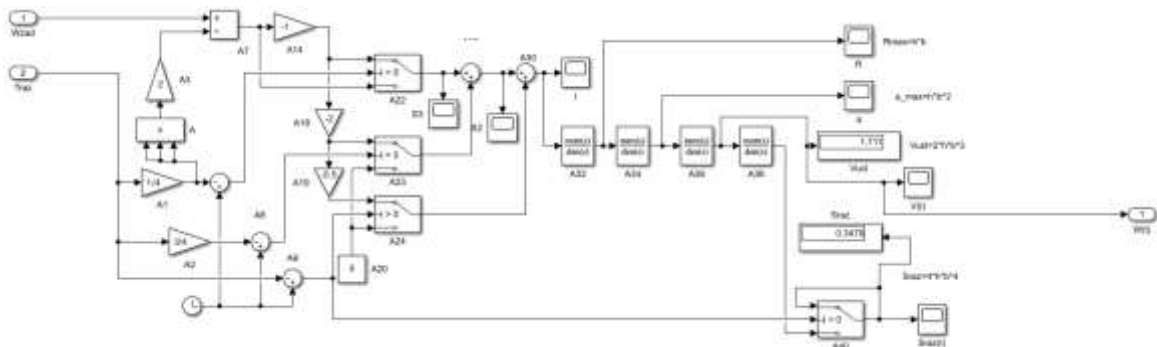


Рисунок 3.26 – Задатчик інтенсивності

Побудуємо оновлену математичну модель електроприводу змінного струму, яка включає задатчик інтенсивності (Рисунок 3.27).

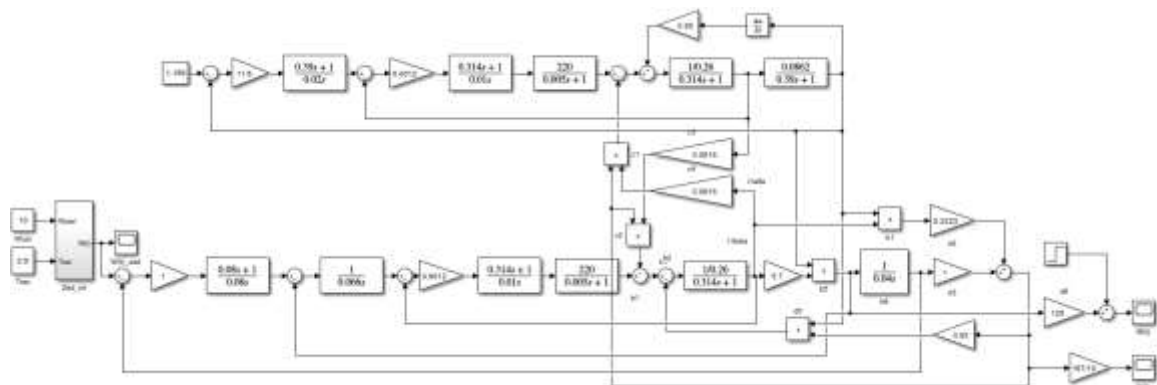


Рисунок 3.27 – Повна математична модель електроприводу з задатчиком інтенсивності

Лівий графік показує перехідний процес зміни моменту у системі з обмеженням сигналу, демонструючи зменшення пікових значень струму та моменту.

Правий графік ілюструє динаміку зміни швидкості, яка стає більш плавною завдяки обмеженню темпу сигналу задатчиком інтенсивності.

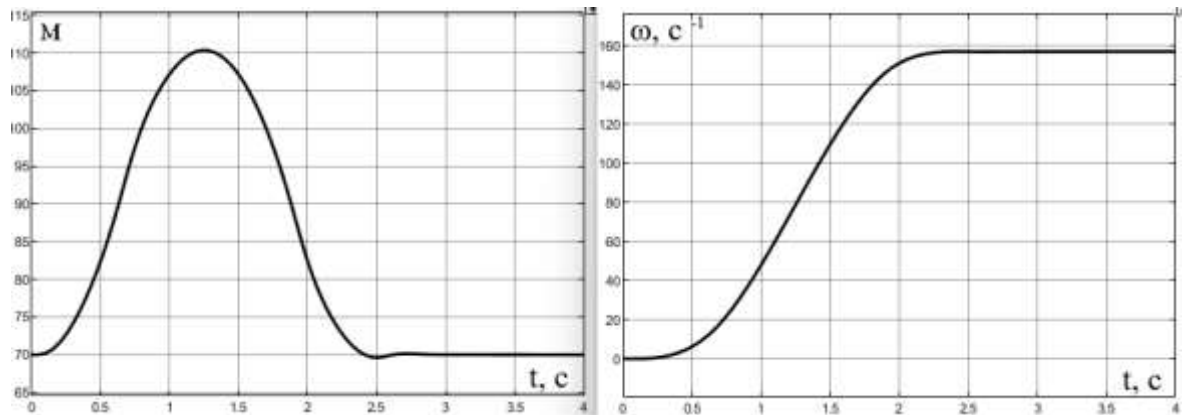


Рисунок 3.28 – Перехідні процеси моменту і швидкості в електроприводі з задатчиком інтенсивності

3.3 Вибір електрообладнання та проектування схеми підключення

Після вибору двигуна проводиться вибір перетворювача. Складність вибору перетворювача частоти для сумісної роботи з електродвигуном полягає в тому, що номінальні режими роботи електродвигуна (S1-S8) ґрунтовані на постійній часу нагріву двигуна, не прийнятна для перетворювачів, постійна часу нагрівання яких набагато менше.

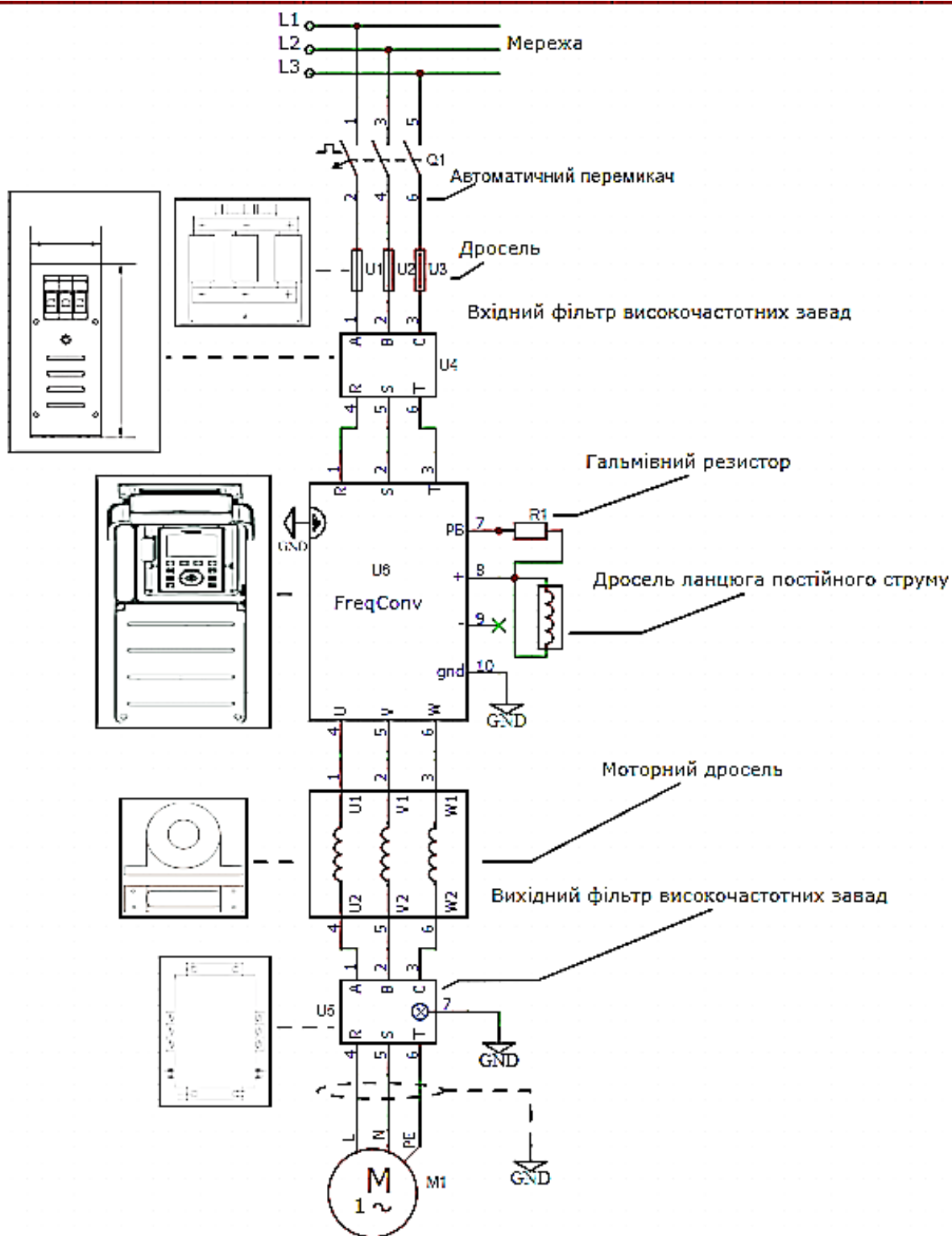


Рисунок 3.29 –Схема під'єднання ПЧ

Перетворювачі частоти спроектовані для тривалої роботи з номінальним струмом інвертора $I_{\text{ІНВ.Н}}$. Якщо номінальний струм протікає більше хвилини, то робоча температура блока досягає максимально допустимого значення, вище якого спрацьовує захист, що не дозволяє перенавантажувати перетворювач за струмом навіть короткочасно.

Тому перетворювачі частоти в системах електропривода, які мають короткочасні перенавантаження електродвигуна, зв'язані з періодичними

змiнами швидкостi чи технологiчними змiнами моменту навантаження, повиннi працювати з еквiвалентними за цикл роботи струмом, який не перевищує струм iнвертора:

$$I_{I.МАКС} > I_{дв.макс.}$$

За даним критерiєм обирається перетворювач частоти з каталогу, наведеному у додатках, технiчнi данi якого заносяться до таблицi 3.3.

Таблиця 3.3 – Параметри перетворювача частоти

Тип	Р _{дв} , кВт	I _{ВЫХ} , А	I _{нагр} , А	I _{макс} , А	I _{потр.} , А	Вага, кг
АТV630D22M3	30	76.0	64.3	92.6	101.9	28

Для захисту перетворювача частоти використовують автоматичнi перемикачi з часо-струмовою характеристикою «В» та швидкодiючi плавкi запобiжники.

Апарати категорiї В мають меншу чутливiсть, нiж категорiя А. Електромагнiтний розчiплювач у них спрацьовує при перевищеннi номiнального струму в два рази, а час спрацьовування складає 0.015 сек. Спрацьовування бiметалевої пластини в розчiплювачi з В-характеристикою при аналогiчному перевищеннi номiнала АВ займає 4-5 сек.

Апарати захисту вирiшують два основних завдання: запобiгання руйнуванню, плавленню, займанню iзоляцiї пiдвiдної електропроводки при надструмах, якi можуть виникнути при внутрiшнiх коротких замиканнях, а також, по можливостi, обмеження струмових навантажень у вхiдних ланцюгах напiвпровiдникових приладiв перетворювача. Такими вхiдними ланцюгами є випрямнi мости.

Автоматичнi перемикачi – захиснi апарати багатократного використання, встановлюються перед перетворювачем та забезпечують розрив ланцюга при монтажних роботах. Автоматичний перемикач обирається за наступною вимогою:

$$I_{ап.н} \geq 2.0 \cdot I_{пч}$$

Технiчнi данi обраного i вiдповiдного до визначених вимог промислового автоматичного перемикача наводяться у таблицю 3.4, приклад наведений нижче.

Таблиця 3.4 – Параметри автоматичного вимикача

Кiлькiсть полюсiв	Номiнальна напруга	Номiнальний струм	Максимальний струм комутацiї	Максимальна вимикаюча здатнiсть
3	400В, 50Гц	160А	16кА	18кА

Далі проводиться вибір гальмівного резистора. Гальмівні резистори є необхідними елементами систем з важкими режимами гальмування (зупинка важкого навантаження за короткий час) при наявності у складі перетворювача проміжного ланцюга постійного струму, як у нашому випадку. Для розрахунку приймаємо цикл роботи $T_{роб} = 60с$

Порядок проведення розрахунків для вибору гальмівного резистора наступний: наводяться графік швидкості та моменту у процесі гальмування, як наведено у прикладі на рисунку 3.30.

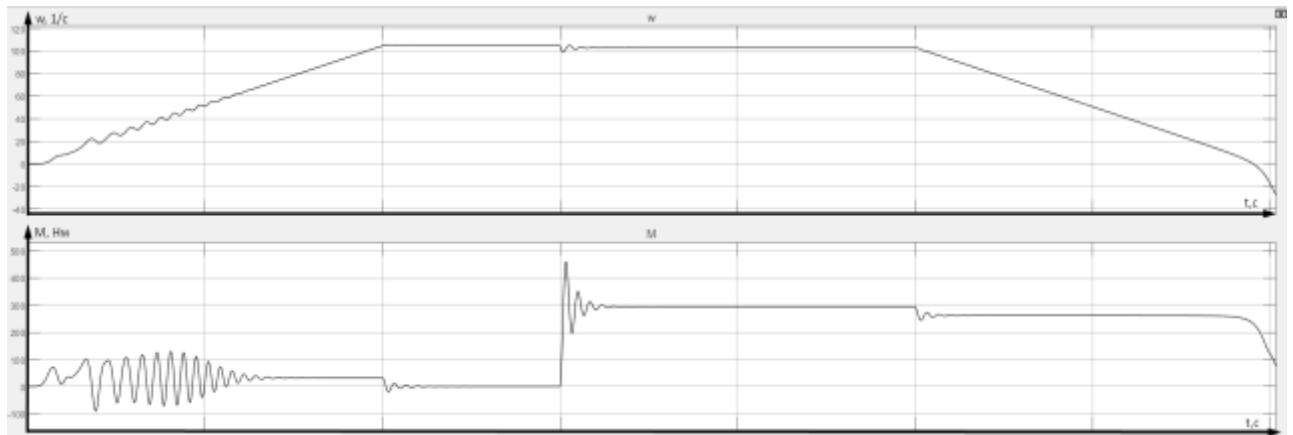


Рисунок 3.30 – Режим гальмування

З графіків визначається час гальмування $t_{г} = 1.8с$, максимальний момент при гальмуванні $M_{max.г} = 280 Нм$, номінальна швидкість $\omega_{ном} = 104.7 с^{-1}$.

Далі враховується час гальмування за формулою:

$$P_{max} = \frac{M_{max} \cdot (\omega_{нач} - \omega_{кін})}{t_{г}}$$

Електрична потужність гальмування визначається за формулою:

$$P_{ел.г.} = (P_{max} - k \cdot P_{ном}) \cdot (1 - h_p) \cdot P_{max}$$

Де $h_p = 1$ – коефіцієнт передачі без редуктора. $k = 0.08$ – допоміжний коефіцієнт, залежний від потужності двигуна.

Проводиться розрахунок допустимого опору резистора:

$$R_{max} = \frac{U_{ept}^2}{P_{ел.г.}}$$

Де $U_{ept} = 757 \pm 3\%(В)$ при $U_c = 380(В)$

Тривалість включення розраховується за формулою:

$$ТВ = \frac{t_r}{T_r} 100\%$$

Так, номінальний опір резистора:

$$R_{\text{т.ном.}} = P_{\text{ел.г.}} / f_k$$

Де f_k -коефіцієнт що залежить від ТВ за графіком

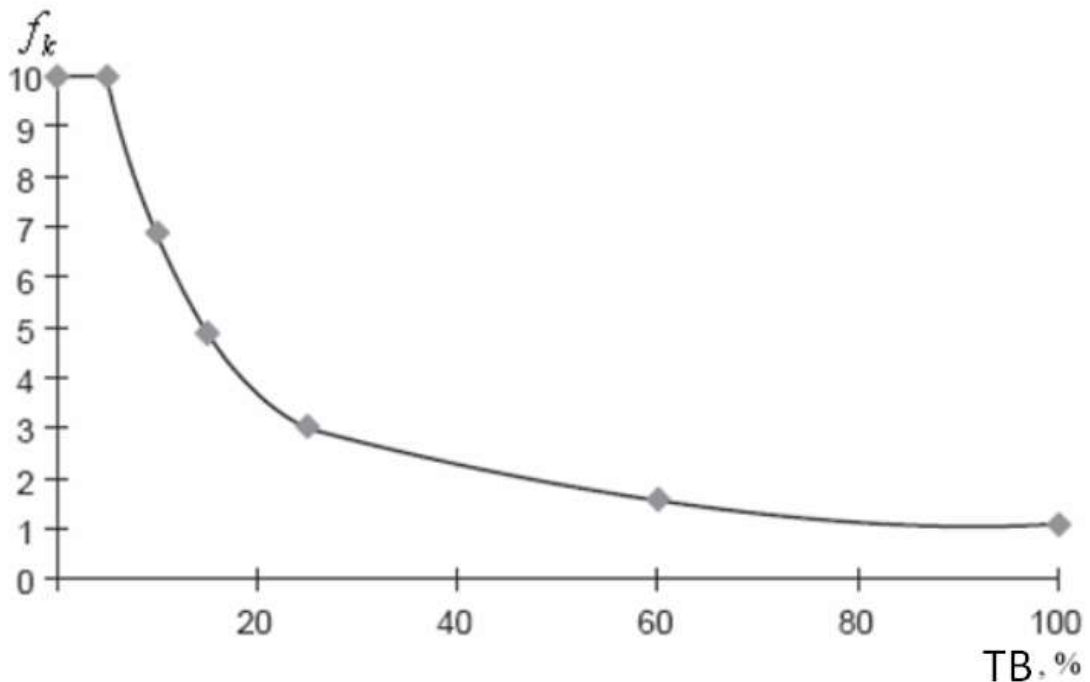


Рисунок 3.31 – Залежність коефіцієнта f_k від ТВ

Так, обирається гальмівний резистор з додатків з робочими параметрами:

$$R_H = 43 \text{ Ом}, P_p = 1.5 \text{ кВт.}$$

Вибір мережевого фільтру високочастотних завад проводиться за вхідним струмом, потужністю та частотою мережі. Фільтр обирається з каталогу, а його параметри заносяться до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Параметри фільтру

Тип	Струм ном, А	Струм втр., мА		Втрати потужност і, Вт	Маса, кг
FLD3100	100	0.5	27	36	5.5

Вихідний фільтр обирається аналогічно, параметри заносяться у таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Параметри вибраного

Тип	Струм ном, А	Індуктивність, мГн	Опір, мОм	Вхід кабелю, мм ²
FSC3100	100	0.7	0.7	35

Після вибору фільтрів проводиться вибір мережевих запобіжників. В даній схемі електропривода змінного струму запобіжники встановлені для захисту ланцюга керування. Вибираючи запобіжники для захисту ланцюга керування, будемо орієнтуватися на значення пускової потужності, живлючої обмотку магнітного пускача та її номінальної потужності в режимі утримання. При цьому слід зазначити, що в кожен момент часу (пуск, гальмування, реверс) працює лише одна контактна група, при захисті електродвигуна з частими пусками чи більшою тривалістю пускового періоду.

$$I_{\text{ном.м.з.}} \geq \frac{I_{\text{п}}}{(1.6:2.0)}$$

Після цього проводиться вибір мережевого дроселю. Мережевий дросель ланцюга змінного струму застосовується для придушення гармонік (гармонічних складових струмів і напруг) з боку мережі живлення, зводить до мінімуму додаткові тепловиділення, що виникають при роботі перетворювача, і ймовірність виникнення всіляких збоїв у роботі обладнання, що викликаються нестабільністю мережі.

Рекомендується встановлювати, якщо потужність мережі живлення в десятки разів перевищує потужність ЧП або за наявності в мережі живлення перешкод від потужніших пристроїв, продовжується термін служби конденсаторів проміжного контуру, надійність перетворювача збільшується в 5 – 7 разів. При використанні мережевого дроселя ланцюга змінного струму обмежується швидкість наростання струму, якщо перетворювач з будь-яких причин вийшов з ладу, при цьому встигає спрацювати вхідний автомат відключення живлення, і пошкодження виявляються мінімальними, і, як наслідок, більш дешевий ремонт.

Параметри обраного мережевого дроселю заносяться до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Параметри мережевого дроселю

Тип	Потужність ПЧ, кВт	Індукт, мГн	Струм, А	Втрати потужності, Вт	Довж, мм	Ширина, мм	Висота, мм	Маса, кг
INV4-0300	30	0.49	64А	88	180	1120	197	11

Вибір рубильників необхідно, у випадку, здійснювати, з наступних умов:

$$U_{НОМ} \geq U_{НОМ.МЕР}$$

$$I_{НОМ} \geq I_{прод.роз}$$

$$I_{відкл.доп} \geq I_{роб.т}$$

У зазначених вище співвідношеннях представлені такі позначення: $U_{НОМ}$ – номінальна напруга, яку розрахований рубильник; $U_{НОМ.мережі}$ – номінальна напруга мережі; $I_{НОМ}$ – номінальний струм контактів рубильника; $I_{прод.расч}$ - тривало допустимий струм провідника; $I_{відкл.доп}$ - гранично допустиме значення струму відключення; $I_{роб.т}$ – робочий струм ланцюга на момент початку розбіжності дугогасних контактів апарату. Вибираємо перемикач-роз'єднувач з центральним приводом важеля фірми АВВ типу OT100F3 з номінальною напругою 400В, номінальним робочим струмом 100А, тепловим струмом 115, січенням кабелю 10..70 мм² та масою 0.36 кг.

Іноді при установленні електроприводу можливе появлення проблем з електромагнітною сумісністю електронних приладів, що входять у систему. Наприклад, відкриті панелі контролю можуть створювати завади у сигнальних ланцюгах малої амплітуди сенсорів. У таких випадках допомагає включення тороїдального індуктора у кабелі ланцюгів контролів та сенсорів вирішує проблему. Моторний дросель обирається за номінальною потужністю двигуна.

Для живлення вибирається стандартний провід 95 мм², мідний, серії ВВГн, з допустимим струмом 350 А.

3.4. Розробка електричної принципіальної схеми

На рисунку 3.32 зображена схема електрична принципова електроприводу

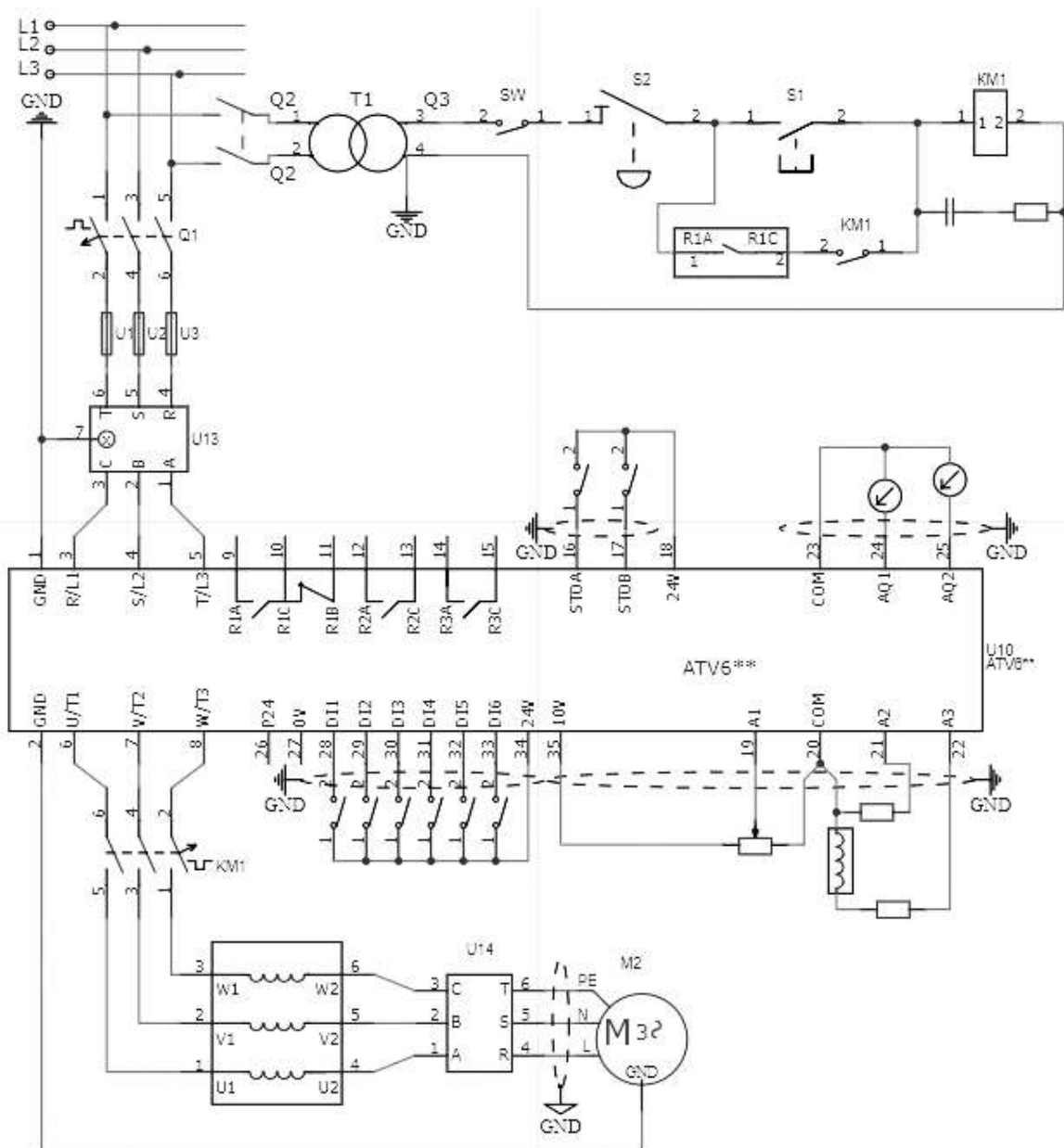


Рисунок 3.32 –Схема електрична принципова електроприводу

4 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

4.1 Загальні вимоги

Курсову роботу виконують державною мовою, науково-технічним стилем, який передбачає:

- формально-логічний спосіб викладення матеріалу, наявність міркувань, що сприяють доведенню істини, обґрунтуванню основних висновків дослідження;
- змістову завершеність, цілісність та зв'язність думок;
- цілеспрямованість, відсутність емоційного забарвлення наукового тексту;
- використання спеціальної термінології, з посиланням на авторитетні джерела (наукові статті, підручники, довідкові та нормативні видання тощо);
- виклад від третьої особи або від першої особи множини, надання переваги безіменній формі подачі інформації.

Пряме переписування в роботі матеріалів із літературних джерел неприпустиме. Представлення в роботі сканованих матеріалів неприпустиме.

4.2 Вимоги до оформлення текстової частини

Текст роботи розміщується на сторінці книжкової орієнтації, яка обмежується полями: лівим – 30 мм, правим – 10 мм, верхнім – 20 мм, нижнім – 20 мм. Для великих таблиць і рисунків допускається альбомна орієнтація сторінок, на яких вони розміщені. Текст роботи друкується шрифтом Times New Roman, кеглем 14 з міжрядковим інтервалом 1,5. При оформленні роботи не використовується підкреслений шрифт. Абзацний відступ має бути однаковим впродовж усього тексту і дорівнювати 1,25 мм.

Необхідно чітко дотримуватися структури роботи, яка докладно описана в попередньому розділі.

Сторінки звіту нумерують наскрізно, охоплюючи додатки. Нумери сторінок рукопису проставляють у верхньому полі аркуша праворуч, починаючи з третьої сторінки, дотримуючись наскрізної нумерації без пропусків і буквених доповнень. На сторінках (титульний лист) і (завдання) номер сторінки не ставиться. Листи «ЗМІСТ» та додатки включаються в наскрізну нумерацію сторінок.

Зміст містить найменування та номери початкових сторінок всіх розділів та підрозділів роботи. *Обов'язково формувати зміст автоматично засобами MS Word.*

Структурні елементи: «РЕФЕРАТ», «ЗМІСТ», «СКРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ», «ВСТУП», «ВИСНОВКИ», «ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ», — не нумерують, а їхні назви є заголовками структурних елементів.

Розділи повинні мати порядкові номери, позначені арабськими цифрами без крапки, наприклад:

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Кожен розділ слід починати з нової сторінки.

Інтервал до / після основного заголовка розділу та підрозділу одна пуста строчка. Підрозділи нумеруються арабськими цифрами в межах розділу. Номер складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, між якими ставлять крапку. Після номера підрозділу крапки не ставлять. Наприклад:

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис технологічного об'єкту автоматизації

Технологічним об'єктом автоматизації є дугова сталеплавильна піч, як складається з наступних

Підрозділи при необхідності розбивають на пункти, які нумеруються арабськими цифрами в межах підрозділу, тобто номер пункту складається з номера розділу, номера підрозділу та порядкового номера власне пункту. Всі цифри поділяються точками, в кінці крапка не ставиться. Наприклад, номер 3.2.1 слід розуміти як перший пункт другого підрозділу третього розділу. Пункти поділяються на підпункти, які нумеруються в межах пункту за правилами, аналогічним викладеним вище.

Найменування розділів записують у вигляді заголовків (посередині рядка) прописними буквами, найменування підрозділів - у вигляді заголовків (з абзацного відступу) малими літерами, крім першої великої. Перенесення слів в заголовках не допускаються. Абревіатури в заголовках не вживають, їх треба розшифровувати у тексті. Крапку в кінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох речень, їх розділяють крапкою.

У межах розділу новий підрозділ починають на тій сторінці, де закінчився попередній підрозділ. При цьому назву підрозділу не можна розмішувати в кінці однієї сторінки, а текст підрозділу розпочинати на наступній. Сторінки роботи бажано заповнювати текстом повністю. Виняток складають останні сторінки вступу, розділів, висновків, списку використаних джерел, наповненість яких не може скласти менше третини площі сторінки.

4.3 Вимоги до оформлення рисунків

Усі графічні матеріали звіту (ескізи, діаграми, графіки, схеми, фотографії, рисунки, креслення тощо) повинні мати однаковий підпис «Рисунок». Рисунок подають одразу після тексту, де вперше посилаються на нього, або якнайближче до нього на наступній сторінці, а за потреби — в додатках.

Рисунок та його назва повинна бути відділена від основного тексту пустою строчкою. Зображення та назву рисунка центрують без абзацного відступу. Наприклад:

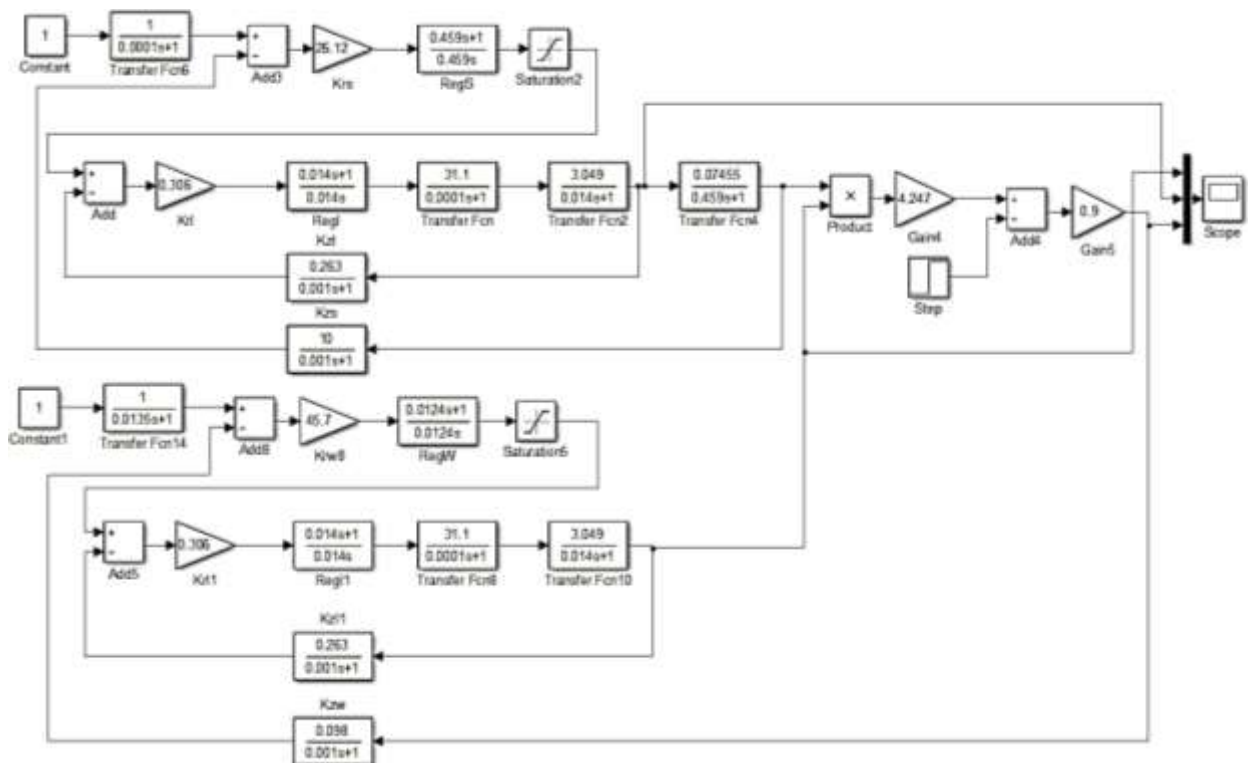


Рисунок 3.9 – Структурна схема математичної моделі.....

Якщо рисунки створені не автором звіту, подаючи їх у звіті, треба дотримуватися вимог чинного законодавства України про авторське право.

Рисунки нумерують в межах кожного розділу. Номер рисунка складається з номера розділу та порядкового номера рисунка в цьому розділі, які відокремлюють крапкою, наприклад, «Рисунок 3.2 – Назва рисунку» — другий рисунок третього розділу. Рисунки кожного додатка нумерують окремо. Номер рисунка додатка складається з позначки додатка та порядкового номера рисунка в додатку, відокремлених крапкою. Наприклад, «Рисунок В.1 – Назва рисунку», тобто перший рисунок додатка В.

Якщо розмір рисунка чи таблиці, що наводяться в тексті, не дозволяє розмістити їх на вільній площі безпосередньо в кінці сторінки, то на них здійснюється посилання, і на цій же сторінці продовжується текст. Сам

рисунок чи таблиця наводиться на початку наступної сторінки, при цьому таблицю чи рисунок необхідно розташовувати після завершення абзацу. Розділ чи підрозділ не може завершуватися рисунком чи таблицею. Після них обов'язково повинен бути наведений пояснювальний текст чи інша інформація.

4.4 Вимоги до оформлення таблиць

Цифровий матеріал оформляють у вигляді таблиць (табл. 1.1).

Таблицю слід розташовувати безпосередньо після тексту, в якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці.

Таблиці слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком таблиць, наведених у додатках.

Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад, таблиця 2.1 – перша таблиця другого розділу. Таблиця може мати назву, яку друкують малими літерами (крім першої великої) і вміщують над таблицею. Назва повинна бути стислою і відображати зміст таблиці [1]. Наприклад:

Таблиця 2.1 – Сигнали автоматизованої системи управління

Призначення сигналу	Тип сигналу		
	Аналоговий	Дискретний	
	AI	DI	DO
1	2	3	4
Вимірювальні перетворювачі			
Витрата води в трубопроводі	1		
Тиск води в трубопроводі	1		
Витрата глиняного шламу в трубопроводі	1		
Тиск глиняного шламу в трубопроводі	1		
Вага вапна в бункері	1		
Рівень в накопичувачі сушильного барабана	1		
MEO FRCA M2			

Продовження табл. 2.1.

1	2	3	4
FRCA M2 зачинити			1
FRCA M2 відчинити			1
Підтвердження включення рубильника		1	
FRCA M2 зачинено		1	
FRCA M2 відчинено		1	

4.5 Вимоги до оформлення формул

Формули повинні бути оформлені в програмі Equation Editor 2.0/3.0 (внутрішній редактор Microsoft Word). Формули і рівняння у звіті (за винятком формул і рівнянь, наведених у додатках) слід нумерувати порядковою нумерацією в межах розділу. Номер формули або рівняння складається з номера розділу і порядкового номера формули або рівняння, відокремлених крапкою, наприклад, формула (2.5) – п'ята формула другого розділу. Номер формули або рівняння зазначають на рівні формули або рівняння в дужках у крайньому правому положенні на рядку.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули чи рівняння, слід наводити безпосередньо під формулою у тій послідовності, в якій вони наведені у формулі чи рівнянні. Пояснення значення кожного символу та числового коефіцієнта слід давати з нового рядка.

Переносити формули чи рівняння на наступний рядок допускається тільки на знаках виконуваних операцій, причому знак операції на початку наступного рядка повторюють. При перенесенні формули або рівняння на знакові операції множення застосовують знак «×».

Формули, що йдуть одна за одною й не розділені текстом, відокремлюють комою.

Для зручності роботи з формулами та нумерацією формул можна використовувати таблиці з невидимими кордонами.

Формула, або рівняння центрується, правіше наводиться нумерація формули. Формули від основного тексту відділяються пустою строчкою. Наприклад:

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{\beta T_m p} (\Delta M - \Delta M_c), \quad (3.2)$$

де $\Delta\omega$ – прирощення кутової швидкості; ΔM – прирощення моменту;

ΔM_c – прирощення статичного моменту навантаження.

4.6 Вимоги до оформлення переліків

Переліки, за потреби, можуть бути наведені всередині пунктів або підпунктів. Перед переліком ставлять двокрапку.

Перед кожною позицією переліку слід ставити малу літеру української абетки з дужкою, або, не нумеруючи – дефіс (перший рівень деталізації).

Для подальшої деталізації переліку слід використовувати арабські цифри з дужкою (другий рівень деталізації).

Переліки першого рівня деталізації друкують малими літерами з абзацного відступу, другого рівня – з відступом відносно місця розташування переліків першого рівня.

Нижче наведено приклади перерахування.

Приклад № 1

Процес виробництва чавуну в доменній печі складається з наступних етапів:

- формування запасу шихтових матеріалів на бункерній естакаді;
- набір і подача шихти на колошник;
- завантаження шихтових матеріалів у доменну піч.

Приклад № 2

Причинами опускання матеріалів є:

- 1) горіння коксу перед фурмами та утворення в результаті цього вільного простору, в який надходить кокс, які перебувають вище осередків горіння;
- 2) зменшення обсягу матеріалів внаслідок розміщення дрібної фракції в порожнинах між великими шматками, подрібнення та стирання шматків;
- 3) перехід в нижній частині шахти, в распарі і заплічках твердих матеріалів в рідкий стан;
- 4) випуск з печі чавуну і шлаку.

Приклад № 3

Функція АСУ ТП повітрянагрівачів – оптимізація їх теплових режимів, що зводиться до вирішення трьох завдань:

а) визначення оптимальної тривалості складових циклу роботи повітрянагрівачів:

- 1) тривалості періоду нагрівання;
 - 2) тривалості періоду дуття;
- б) вибір оптимальних параметрів:
- 1) температури купола;
 - 2) витрати газу;
 - 3) закону їх зміни в період нагрівання повітрянагрівача [2].

4.7 Вимоги до оформлення посилань

Посилання в тексті записки на джерела слід вказувати порядковим номером за переліком посилань, виділеним двома квадратними дужками, наприклад: «... в роботах [1-3]»

При посиланнях на розділи, підрозділи, пункти, підпункти, ілюстрації, таблиці, формули, рівняння, додатки зазначають їх номери.

При посиланнях слід писати: «... в розділі 4 ...», «... дивись 2.1 ...», «... по 3.3.4 ...», «... відповідно до 2.3.4.1 ...», «... на рис.1.3 ...», або «... на рисунку 1.3 ...», «... в таблиці 3.2 ...», «... (див. табл.3.2) ...», «... за формулою (2.1)», «... в рівняннях (1.23) - (1.25) ...» , «... в додатку Б ...» [1].

4.8 Вимоги до оформлення переліку посилань

Список включає всі використовувані джерела, які слід розташовувати в порядку появи посилань у тексті записки. При посиланні в тексті на джерело інформації вказується його характер (монографія, стаття тощо) і порядковий номер у списку, укладений у квадратні дужки (наприклад, в статті [9]) посилання на креслення робляться в тексті із зазначенням номера креслення. Посилання в тексті представляють собою порядковий номер джерела, через кому – номер сторінки, на яку посилається автор, взяті в квадратні скобки, наприклад: [12, с.36]. При використанні цитати з певного джерела в тексті вказують автора і наводять уривок за правилами прямої мови також з обов'язковим посиланням на джерело.

Якщо текст не наводиться дослівно, а викладається власними словами, то обов'язково має бути збережений його зміст. Бібліографічні описи посилань у списку наводять відповідно до ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання».

4.9 Вимоги до оформлення додатків

У додатках розміщують офіційні, додаткові і розрахункові матеріали, допоміжні висновки тощо. Усі додатки повинні мати буквену нумерацію. Нумерація формул, таблиць і рисунків у кожному з додатків має бути самостійною.

4.10 Вимоги до оформлення графічної частини курсової роботи та презентації

Графічна частина оформлюється згідно з відповідними рекомендаціями [3].

Презентація – документ або комплект документів, призначений для подання чого-небудь (організації, проекту, продукту і т. п.) [3].

Мета презентації - донести до аудиторії повноцінну інформацію про об'єкт презентації в зручній формі.

Презентація націлена на візуалізацію доповіді при захисті курсової роботи. Виконується в електронній формі у вигляді слайдів, на яких слід розміщувати інформативні матеріали бакалаврської роботи, які повинні ілюструвати окремі тези виступу або результати, отримані в роботі. Презентація може бути підготовлена за допомогою будь-якої програми відкритого доступу, наприклад Microsoft PowerPoint, або іншої наявної ліцензійної програми. Допускається включати в презентацію разом зі статичними зображеннями відеоматеріали і анімацію за темою з обов'язковим посиланням на джерело інформації.

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

5.1 Етапи виконання та захисту

До основних етапів виконання курсової роботи належать.

1. Вибір напрямку дослідження.

Визначення актуальності обраної предметної області дослідження, визначення структури роботи й об'єкта дослідження.

Здобувач має право самостійно здійснювати вибір теми курсової роботи, виходячи із власного професійного інтересу, а також з огляду на актуальність питання (проблеми) для підприємства.

Здобувачу слід враховувати специфіку підприємства, його вимоги щодо збереження корпоративної таємниці, доступність технологічної та техніко-економічної інформації та інші специфічні умови та обмеження в наслідок бойових дій в країні.

2 Здійснення огляду джерел

Аналіз предметної області тематики курсової роботи виконується на основі огляду інформації, опублікованої в навчальній і науково-технічній літературі, в науково-технічних статтях, вебресурсах, інших доступних джерелах інформації.

3. Формулювання теми курсової роботи.

Неприпустимим є вибір однієї теми декількома здобувачами вищої освіти в межах однієї академічної групи. Можливим є виконання комплексних робіт в межах одного технологічного об'єкту. Формулювання теми курсової роботи має бути стислим та вказувати на головний результат дослідження. Теми робіт розглядаються і погоджуються на засіданні кафедри автоматизації виробничих процесів.

4. Виконання курсової роботи.

Після погодження та затвердження плану роботи здобувач вищої освіти починає написання роботи. Вимоги до структури й оформлення окремих розділів наведені в цих методичних рекомендаціях. У процесі написання окремих розділів здобувач вищої освіти подає їх керівнику на перевірку, виправляє та вносить доповнення у разі потреби, звітує керівнику про готовність роботи. Обговорення проблемних питань з викладачем – керівником здійснюється під час індивідуально-консультативних зустрічей з підготовки та захисту курсової роботи або на консультаціях викладача відповідно до затвердженого розкладу.

5 Подання роботи на перевірку.

Контроль виконання, подання на перевірку і представлення закінченої курсової роботи здійснюється керівником роботи.

Керівник курсової роботи надає здобувачу освіти свої зауваження, коментарі, рекомендації, на підставі яких він виправляє роботу.

Завершену, остаточно оформлену роботу, підписану здобувачем, керівником здобувач надає для проведення перевірки роботи на наявність плагіату у роботі.

5.2 Права та обов'язки керівника курсової роботи, здобувача вищої освіти

Керівництво та консультування курсовою роботою здійснюється з метою надання здобувачу вищої освіти необхідних консультацій, контролю термінів виконання та якості роботи.

Обов'язки керівника роботи є:

- пояснення основних вимог до курсової роботи;
- узгодження розроблення разом зі здобувачем вищої освіти предметного напрямку дослідження;
- надання консультацій з питань, що виникають у здобувача під час проведення дослідження;
- надання рекомендацій щодо завершального етапу підготовки та захисту курсової роботи.

Обов'язки здобувача освіти:

- ознайомитись із цими методичними рекомендаціями;
- проявляти ініціативність та сумлінність при виконанні курсової роботи;
- своєчасно відвідувати консультації керівника;
- дотримуватися термінів виконання роботи;
- дотримуватися вимог академічної доброчесності при виконанні та захисті курсової роботи.

Права здобувача освіти:

- отримувати консультації та організаційно-методичні консультації з приводу виконання курсової роботи;
- отримувати роз'яснення від керівника щодо вирішення задач курсової роботи, підготовки тексту, підготовки захисту роботи;
- отримувати поради від керівника щодо літературних джерел та інших інформаційних ресурсів, які можна використати при виконанні курсової роботи;
- вимагати дотримання умов об'єктивності та дотримання процедури оцінювання курсової роботи;
- оскаржувати оцінку керівника та комісії з захисту роботи в установленому порядку.

5.3 Застереження щодо академічної доброчесності

Як член студентської спільноти ДДМА здобувач має дотримуватися певних стандартів та академічної політики відповідно «Положення про академічну доброчесність науково-педагогічних, наукових, педагогічних працівників та здобувачів вищої освіти Донбаської державної машинобудівної академії» (<http://surl.li/laufq>):

- шахрайство та плагіат заборонені.

– методичні та інші матеріали, які отримані здобувачами в рамках процедур організації виконання роботи, захищені авторським правом, можуть бути використані лише тільки здобувачами освіти, яким призначено даний курс. зарахованих на курс для цілей, пов'язаних з цим курсом і не можуть поширюватися.

– спілкування з однокурсниками та викладачем має бути професійним та ввічливим.

– очікується, що здобувач освіти перевірятиме всі власні письмові повідомлення, включаючи поштові повідомлення, на коректність змісту та мови.

– Академія прагне підтримувати середовище, вільне від дискримінації або дискримінаційних домагань, спрямованих на будь-яку людину або групу в межах своєї спільноти – здобувачів вищої освіти, співробітників або відвідувачів.

Виконання роботи має здійснюватися з урахуванням **вимог щодо академічної доброчесності**. Відповідно до статті 42 Закону України «Про освіту»: «**Академічна доброчесність** – це сукупність етичних принципів та визначених законом правил, якими мають керуватися учасники освітнього процесу під час навчання, викладання та провадження наукової (творчої) діяльності з метою забезпечення довіри до результатів навчання та/або наукових (творчих) досягнень». Головним проявом академічної недоброчесності вважається академічний плагіат. **Академічний плагіат** – оприлюднення (частково або повністю) наукових (творчих) результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження (творчості) та/або відтворення опублікованих текстів (оприлюднених творів мистецтва) інших авторів без зазначення авторства, а саме:

а) відтворення в тексті роботи (повний текст роботи, з коментарями, примітками, бібліографією, переліком джерел та всіма додатками до основного тексту) без змін, з незначними змінами, або в перекладі тексту іншого автора (інших авторів), обсягом від речення і більше, без посилання на автора (авторів) відтвореного тексту;

б) відтворення в тексті роботи, повністю або частково, тексту іншого автора (інших авторів) через його перефразування чи довільний переказ без посилання на автора (авторів) відтвореного тексту;

в) відтворення в тексті роботи наведених в іншому джерелі цитат з третіх джерел без вказування, за яким саме безпосереднім джерелом наведена цитата.

г) відтворення в тексті роботи наведеної в іншому джерелі науково-технічної інформації (крім загальновідомої) без вказування на те, з якого джерела взята ця інформація.

д) перефразування тексту джерела у формі, що є близькою до оригінального тексту, або наведення узагальнення ідей, інтерпретацій чи висновків з певного джерела без посилання на це джерело;

е) подання як власних робіт, виконаних на замовлення іншими особами, у тому числі робіт, стосовно яких справжні автори надали згоду на таке використання.

Запобігання академічному плагіату у роботах, наукових та науково-методичних працях, публікаціях Учасників освітнього процесу полягає у здійсненні технічної перевірки за допомогою спеціалізованих програмних засобів, що використовуються в Академії, та експертної оцінки щодо відсутності/наявності академічного плагіату. Процедура та особливості здійснення автоматизованої перевірки робіт, наукових та науково-методичних праць, публікацій Учасників освітнього процесу наведено в Тимчасовому положенні «Про запобігання та виявлення академічного плагіату у навчальній та науково-дослідній роботі учасників освітнього процесу у ДДМА» та в «Порядку проведення перевірки робіт студентів на наявність запозичень з інших документів»

Рекомендації щодо запобігання академічному плагіату в роботі:

а) робота має виконуватися самостійно, без видання за власний результат чужих робіт і результатів;

б) будь-який текстовий фрагмент обсягом від речення і більше, відтворений в тексті роботи без змін, з незначними змінами, або в перекладі з іншого джерела, обов'язково має супроводжуватися посиланням на це джерело (у формі підрядкового посилання, наприклад як це зроблено щодо Закону «Про освіту» на попередній сторінці); винятки допускаються лише для стандартних текстових кліше, які не мають авторства та/чи є загальновживаними;

в) якщо перефразування чи довільний переказ в тексті роботи тексту іншого автора (інших авторів) займає більше одного абзацу, посилання (бібліографічне та/або текстуальне) на відповідний текст та/або його автора (авторів) має міститися щонайменше один раз у кожному абзаці роботи, крім абзаців, що повністю складаються з формул, а також нумерованих та маркованих списків (в останньому разі допускається подати одне посилання наприкінці списку);

г) якщо цитата з певного джерела наводиться за першоджерелом, в тексті роботи має бути наведено посилання на першоджерело; якщо цитата наводиться не за першоджерелом, в тексті роботи має бути наведено посилання на безпосереднє джерело цитування («цитується за XXXXXXXX») і посилання на відповідний пункт списку використаних джерел;

д) будь-яка наведена в тексті роботи науково-технічна інформація має супроводжуватися чітким вказуванням на джерело, з якого взята ця інформація із посиланням на відповідний пункт списку використаних джерел; винятки припускаються лише для загальновідомої інформації, визнаної всією спільнотою фахівців відповідного профілю; у разі використання у роботі тексту нормативно-правового акту достатньо зазначити його назву, дату ухвалення та, за наявності, дату ухвалення останніх змін до нього або нової редакції, а також посилання на відповідний пункт списку використаних джерел.

е) для підтвердження власних аргументів посиланням на авторитетне джерело або для критичного аналізу того чи іншого друкованого твору слід наводити цитати; науковий етикет потребує точно відтворювати цитований

текст, бо найменше скорочення наведеного витягу може спотворити зміст, закладений автором.

Правила цитування та посилання на використані джерела є такими:

1. При написанні здобувач повинен давати посилання на джерела, матеріали з яких наводяться у роботі. Такі посилання дають змогу відшукати документи та перевірити достовірність відомостей про цитування документа, дають необхідну інформацію щодо нього, допомагають з'ясувати його зміст, мову тексту, обсяг. Посилатися бажано на останні видання публікацій. На більш ранні видання можна посилатися лише в тих випадках, коли в них є матеріал, який не включено до останнього видання.

2. Якщо використовують відомості, матеріали з монографій, оглядових статей, інших джерел з великою кількістю сторінок, тоді в посиланні необхідно точно вказати номери сторінок, ілюстрацій, таблиць, формул з джерела, на яке дано посилання в роботі.

3. Посилання додаються одразу після закінчення цитати у квадратних дужках, де вказується порядковий номер джерела у списку літератури та відповідна сторінка джерела (наприклад: [12, с. 172]), або під текстом цієї сторінки у вигляді зноски, в якій вказують прізвище та ініціали автора, назву джерела, видавництво, рік видання та сторінку. При цьому враховувати наступне:

- текст цитати починається і закінчується лапками і наводиться в тій граматичній формі, в якій він поданий у джерелі, із збереженням особливостей авторського написання; наукові терміни, запропоновані іншими авторами, не виділяються лапками, за винятком тих, що викликали загальну полеміку – у цих випадках використовується вираз «так званий»;

- цитування повинно бути повним, без довільного скорочення авторського тексту та без перекирчуень думок автора;

- пропуск слів, речень, абзаців при цитуванні допускається без перекирчуення авторського тексту і позначається трьома крапками, вони ставляться у будь-якому місці цитати (на початку, всередині, наприкінці); якщо перед випущеним текстом або за ним стояв розділовий знак, то він не зберігається;

- кожна цитата обов'язково супроводжується посиланням на джерело;

- при непрямому цитуванні (переказі, викладі думок інших авторів своїми словами), що дає значну економію тексту, слід бути гранично точним у викладенні думок автора, коректним щодо оцінювання його результатів і давати відповідні посилання на джерело;

- якщо необхідно виявити ставлення автора роботи до окремих слів або думок з цитованого тексту, то після них у круглих дужках ставлять знак оклику або знак питання;

- коли автор роботи, наводячи цитату, виділяє в ній деякі слова, то робиться спеціальне застереження, тобто після тексту, який пояснює виділення, ставиться крапка, потім дефіс і вказуються ініціали автора дисертації, а весь текст застереження вміщується у круглі дужки. Варіантами

таких застережень є: (курсив наш. – М.Х.), (підкреслено мною. – М.Х.), (розбивка моя. – М.Х.).

До числа **порушень академічної доброчесності**, класифікованих законодавством України, що можуть трапитися при виконанні роботи, належать:

- Академічний плагіат – оприлюднення (частково або повністю) наукових результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження, та/або відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення авторства;

- Самоплагіат – оприлюднення (частково або повністю) власних раніше опублікованих наукових результатів як нових наукових результатів;

- Академічне шахрайство – будь-які дії учасників освітньо-наукового процесу, сутність яких полягає у наданні або отриманні будь-якої несанкціонованої допомоги або нечесної переваги у будь-якій формі академічної роботи;

- Фабрикація – вигадкування даних чи фактів, що використовуються в освітньому процесі або наукових дослідженнях;

- Фальсифікація результатів досліджень, посилань у власних публікаціях, будь-яких інших даних, у тому числі статистичних, що стосуються освітнього процесу та наукових досліджень;

- Списування – виконання письмових робіт із залученням зовнішніх джерел інформації, крім дозволених для використання, зокрема під час оцінювання результатів навчання;

- Обман – надання завідомо неправдивої інформації щодо власної освітньої (наукової, творчої) діяльності чи організації освітнього процесу; формами обману є, зокрема, академічний плагіат, самоплагіат, фабрикація, фальсифікація та списування;

- Хабарництво – надання (отримання) учасником освітнього процесу чи пропозиція щодо надання (отримання) коштів, майна чи послуг матеріального або нематеріального характеру з метою отримання неправомірної вигоди в освітньому процесі;

- Неправомірна вигода – грошові кошти або інше майно, переваги, пільги, послуги, нематеріальні активи, будь-які інші вигоди нематеріального чи не грошового характеру, що обіцяють, пропонують, надають або одержують без законних на те підстав;

- Необ'єктивне оцінювання – свідоме завищення або заниження оцінки результатів навчання здобувачів освіти.

Відповідальність за порушення академічної доброчесності під час здійснення освітньої та наукової діяльності покладається на Працівників та Здобувачів Академії.

Працівників та Здобувачів Академії несуть відповідальність за порушення академічної доброчесності відповідно до вимог законодавства України.

– За порушення норм академічної доброчесності Працівники Академії можуть бути притягнуті до відповідальності відповідно до нормативних і розпорядчих документів ДДМА та норм законодавства України;

– До Здобувачів Академії, у випадку порушення правил академічної доброчесності, в т.ч. встановлення факту плагіату, може бути застосовано такі види заходів впливу: – академічні (попередження; незарахування роботи; повторне проходження оцінювання; повторне проходження відповідного освітнього компонента освітньої (освітньо-наукової) програми); – дисциплінарні (догана, письмове попередження, відрахування з ДДМА) та ін.

5.4 Регламенти і процедури виявлення порушень вимог академічної доброчесності та наслідки такого виявлення

Основні норми і процедури дотримання академічної доброчесності викладено у «Положення про запобігання та виявлення академічного плагіату у ДДМА (тимчасове)» та «Порядок перевірки на плагіат». З положеннями відповідно можливо ознайомиться за посиланням (<http://surl.li/stzpv>) та (<http://surl.li/tpgzh>).

На першому етапі особа, яка відповідальна на кафедрі за перевірку роботи на наявність плагіату, проводить перевірку електронної версії документу на наявність ознак академічного плагіату за допомогою систем StrikePlagiarism.com (<http://strikeplagiarism.com>) (далі – Системи), використання яких регламентується відповідними угодами Академії. Система формує Звіт подібності, що містить інформацію, яка вказує на наявність текстових та інших запозичень зі знайдених джерел.

Така відповідальна особа не дає оцінку змісту наукової роботи, а виконує виключно технічну перевірку. Подальший аналіз Звіту подібності здійснює науковий керівник.

Інтерпретація показників Звіту подібності системи StrikePlagiarism.com та формування Звіту подібності:

У разі відповідності друкованої та електронної версій роботи Системний оператор проводить перевірку її електронної версії на можливу наявність у тексті робіт чужих опублікованих результатів (текстів) без належного посилання на авторів. За результатами перевірки роботи Антиплагіатною інтернет-системою Strikeplagiarism.com Системний Оператор отримує Звіт подібності, що містить інформацію, яка вказує на ймовірність неправомірних запозичень з інших джерел та інші характеристики, а саме:

- Коефіцієнт Подібності 1. Коефіцієнт Подібності № 1 – це значення (у відсотках), що визначає рівень запозичень, знайдених у певних джерелах (базах даних та Інтернеті), які складаються з фрагментів тексту, що містять щонайменше п'ять слів (довідково: у більшості мов загальновикористаними є фрази з п'яти і більше слів; перевищення встановленого значення Коефіцієнту Подібності № 1 не є ознакою наявності неправомірних запозичень, але вказує на необхідність додаткової перевірки тексту роботи).

- Коефіцієнт Подібності 2. Коефіцієнт Подібності № 2 – це значення (у відсотках), що визначає рівень запозичень, знайдених у певних джерелах (базах даних та Інтернеті), які складаються з фрагментів тексту, що містять щонайменше 25 слів. Інша довжина фрагменту, відмінна від 25 слів, може індивідуально визначатися вченою радою факультету (навчально-наукового інституту) на основі керівних принципів, прийнятих університетом, та рекомендацій, представників компанії StrikePlagiarism.com. (довідково: перевищення встановленого значення Коефіцієнту Подібності № 2 не є ознакою наявності неправомірних запозичень, але вказує на необхідність додаткової перевірки тексту роботи).

- Сигнал „Тривога!”. Сигнал „Тривога!” з являється, якщо є вірогідність прихованого запозичення. Сигнал „Тривога!” – це повідомлення, що вказує на наявність у тексті знаків одного алфавіту, замінених схожими знаками іншого алфавіту. Сигнал „Тривога!” привертає увагу Системного Оператора до можливої необґрунтованості використання зазначених символів, тобто на можливу спробу фальсифікувати результат перевірки з метою збільшення показників оригінальності роботи.

- При перевищенні допустимих значень Коефіцієнтів Подібності, а також при сигналі „Тривога!” робота підлягають перевірці фахівцем із тематики роботи.

Рекомендовані показники оригінальності за Коефіцієнтом Подібності № 1 становлять: – не більше 20% – оригінальна робота (позитивний висновок), – від 21% до 50% – задовільна оригінальність, – більше 50% – умовно оригінальна робота.

Якщо в Звіті Подібності коефіцієнт подібності № 2 перевищує 5% або наявний сигнал «Тривога!», то робота вважається умовно оригінальною (при будь-якому значенні Коефіцієнту № 1) і підлягає перевірці згідно з цим Порядком.

На підставі Звіту Подібності Системний Оператор готує Протокол контролю оригінальності роботи (Додаток Е).

При отриманні позитивного висновку про відсутність неправомірних запозичень у роботі (робота визнана оригінальною), Протокол надається завідувачу кафедри для проведення попереднього захисту роботи. Якщо за результатами перевірки курсової роботи робота оцінюється як задовільно оригінальна або умовно оригінальна, Системний Оператор протягом двох наступних робочих днів готує повний Звіт Подібності, який направляється науковому керівнику та завідувачу кафедри. Якщо робота класифікована як задовільно оригінальна, то в її тексті перевіряється наявність та правильне оформлення цитувань та посилань на першоджерела.

Висновок щодо можливості попереднього захисту задовільно оригінальної роботи приймають завідувач кафедри разом із науковим керівником роботи протягом трьох робочих днів із моменту отримання Звіту Подібності (Додаток Д). Висновок оформлюється у двох екземплярах. Один екземпляр Висновку видається студенту, другий залишається в документах кафедри.

Якщо прийнято рішення про неможливість допустити задовільно оригінальну роботу до попереднього захисту, студент має право протягом трьох робочих днів подати на кафедру доопрацьований текст роботи. Після належного оформлення проводиться попередній захист роботи.

Якщо робота визнана умовно оригінальною, то члени кафедри разом із науковим керівником роботи мають проаналізувати: – наявність у роботі великих фрагментів тексту, що ідентифіковані системою як подібні, – наявність детальної подібності роботи та джерела (джерел), розташованого в мережі Інтернет та/або базах даних, – можливість кваліфікувати особливості викладу тексту роботи як механічне переписування вже існуючого документа.

Висновок кафедри щодо можливості захисту умовно оригінальної роботи має бути зроблений протягом двох робочих днів із моменту отримання Звіту Подібності. Висновок кафедри оформлюється у двох екземплярах відповідно до форми, наведеної у Додатку Д. Один екземпляр Висновку видається студенту, другий залишається у документах кафедри.

Якщо прийнято рішення про неможливість допустити умовно оригінальну роботу до попереднього захисту, студенту дається п'ять робочих днів на корегування тексту роботи. Після отримання Системним Оператором оновленого варіанту роботи проводиться повторна перевірка відповідно до цього Порядку. Якщо за результатами повторної перевірки робота оцінюється як умовно оригінальна або неоригінальна, то ця робота не допускається до захисту в Екзаменаційній комісії та не завантажується до бази даних системи. Висновок кафедри про це повинен бути наданий студенту протягом двох робочих днів. Декану факультету подається витяг із протоколу засідання кафедри про недопуск курсової роботи до захисту. Студент підлягає відрахуванню з Академії як такий, що не виконав навчальний план.

Порядок подання апеляції та її розгляд проводиться відповідно «Положення про запобігання та виявлення академічного плагіату у ДДМА (тимчасове)» та «Порядок перевірки на плагіат». З положеннями відповідно можливо ознайомиться за посиланням (<http://surl.li/stzpv>) та (<http://surl.li/tpgzh>)

Порядок подання апеляції та її розгляд проводиться:

- У випадку незгоди з висновком щодо виявлення факту плагіату (компіляцій) у роботі, автор має право у триденний термін з моменту виявлення подати письмову апеляційну заяву на ім'я завідувача кафедрою.

- Для розгляду апеляційної заяви студента створюється апеляційна комісія, персональний склад якої формується розпорядженням завідувача кафедрою з найбільш досвідчених та авторитетних викладачів кафедри (загальний склад від 3 до 5 осіб). Секретарем комісії призначається працівник кафедри.

- Голова апеляційної комісії проводить засідання у тижневий термін з моменту виходу розпорядження завідувача кафедрою про створення апеляційної комісії. Про дату та час проведення засідання заявник попереджається щонайменше за два дні. Якщо заявник не з'являється на засідання апеляційної комісії, питання розглядається за його відсутності.

- У випадку необхідності отримання додаткової уточнюючої інформації, засідання апеляційної комісії може проводитись у кілька етапів з розривом не більше трьох робочих днів.

- Сумніви, що виникають у членів апеляційної комісії, трактуються на користь особи, робота якої розглядається апеляційною комісією.

- За результатами засідання апеляційна комісія формує висновки, які підписує голова апеляційної комісії, її члени та заявник, зазначаючи «З висновками апеляційної комісії погоджуюсь». Висновки апеляційної комісії щодо академічного плагіату (копіляцій) у творах студентів зберігаються на кафедрі.

5.5 Критерії оцінювання курсової роботи

Курсова робота є самостійним теоретико-прикладним дослідженням здобувача вищої освіти, що виконується ним на етапі здобуття повної вищої освіти, що засвідчує професійну зрілість випускника, виявити його загальнотеоретичну та спеціальну підготовку, уміння застосовувати здобуті знання для розв'язання конкретних практичних завдань і, відповідно, готовність до самостійної професійної діяльності.

При виставлянні підсумкової оцінки враховується попередні оцінки, виставлені керівником. Підсумкова оцінка може не збігатися з попередніми оцінками роботи.

Підсумкову оцінку курсової роботи комісія, з спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», яка враховує такі чинники:

1. Достатній теоретичний рівень розробки проблеми.
 2. Актуальність проведеного дослідження та впровадження системи автоматизації.
 3. Зв'язок теоретичних положень, розглянутих у роботі, із практикою.
 4. Наявність елементів самостійної творчості:
 - формулювання й обґрунтування власного підходу;
 - самостійність аналізу матеріалу;
 - повнота й системність пропозицій по розглянутій проблемній ситуації;
 - самостійний вибір і обґрунтування теоретичної бази досліджень;
 - самостійне формулювання висновків за результатами проведеного дослідження та практичної реалізації системи автоматизації.
 5. Використання оригінальних джерел аналітичного й статистичного характеру.
 6. Збалансована комбінація кількісних і якісних методів аналізу.
 7. Повнота розв'язку поставлених у роботі завдань.
 8. Грамотність і логічність у викладі матеріалу.
 9. Якість оформлення роботи.
- Комісія оцінює всі етапи захисту:
- презентацію результатів роботи;

- розуміння питань, що задаються членами комісії, і якість відповідей на запитання;
- уміння вести професійну дискусію;
- кваліфікацію й загальний рівень розуміння дослідженої проблеми, продемонстровані студентом у процесі захисту;
- загальний рівень культури спілкування з аудиторією.

Критерії оцінювання курсової роботи та її захисту наведені у табл. 5.1. Роботи, за якими визначено, що вони виконані без дотримання вимог академічної доброчесності, не оцінюються і до захисту не допускаються.

Таблиця 5.1 – Критерії оцінювання курсової роботи

Критерії оцінювання курсової роботи	Оцінка
Текст роботи свідчить про оволодіння навичками самостійного (під керівництвом викладача) проведення роботи: відбір і аналіз літератури, узагальнення і творче осмислення теоретичних основ вирішення проблеми, формулювання висновків. Всі завдання виконані, мета роботи досягнута. Методи дослідження відібрані і застосовані коректно. Сформульовані в роботі пропозиції обґрунтовані і достатні. Текст роботи викладений логічно, послідовно, науково-професійною державною мовою, з коректним використанням професійної термінології. Оформлення роботи цілком відповідає вимогам. Під час захисту роботи доповідь відображала усі її основні положення, висновки і рекомендації. Презентація під час доповіді повністю відповідала її змісту. Під час відповідей на питання здобувач показав повне володіння матеріалом роботи, аргументовано відстоював свої ідеї.	90-100 балів А «Відмінно»
Курсову роботу виконано на високому професійному рівні, вона містить усі необхідні елементи, має практичне значення. Всі завдання роботи виконані, мета досягнута. Висновки та пропозиції у роботі в цілому достатньо обґрунтовані й логічні. Технічні та програмні складові роботи відповідають сучасним вимогам. Доповідь на захисті стисла, логічна, проголошена вільно. Презентація доповіді повністю відповідає її змісту. При відповіді на запитання здобувач вищої освіти в цілому продемонстрував високий рівень володіння матеріалом, однак окремі відповіді не зміг чітко аргументувати.	81-89 балів В «Добре»
Тема роботи в цілому розкрита, але мають місце окремі недоліки непринципового характеру (неповнота теоретичного огляду літературних джерел, запропоновані програмні рішення є неоптимальними, допущені незначні помилки у формулюванні висновків). Текст роботи свідчить про оволодіння навичками самостійного (під керівництвом викладача) виконання курсової роботи: проаналізована предметна область, коректно реалізована сформульована	75-80 балів С «Добре»

Критерії оцінювання курсової роботи	Оцінка
задача автоматизації, причинно-наслідковий зв'язок між результатами аналізу, висновками і пропозиціями не порушений. На захисті доповідь логічна, проголошена вільно, але затягнута і містить несуттєві проміжні результати і подробиці. Презентація доповіді в цілому відповідає її змісту, але має недоліки оформлення. Відповіді здобувача на запитання членів комісії загалом вірні, але недостатньо конкретні та/або неповні.	
В цілому завдання роботи виконані й мета досягнута. Текст роботи викладений логічно, послідовно, науково-професійною державною мовою з коректним використанням професійної термінології. В оформленні роботи допущені незначні помилки. Згідно із змістом теми курсової роботи загалом розкрита, але є зауваження змістовного характеру (проаналізовано недостатньо джерел інформації, не в повному обсязі реалізовані поставлені задачі, недостатньо обґрунтовані запропоновані рішення; висновки і пропозиції не повністю відповідають завданням тощо). Здобувач освіти під час доповіді недостатньо розкрив усі суттєві положення роботи, презентація доповіді не повністю відповідає її змісту та/або має вади оформлення. Здобувач під час захисту не завжди міг відповісти на запитання по суті роботи, аргументувати свої відповіді.	61-74 бали D «Задовільно»
В основному завдання роботи виконані й мета досягнута. Текст роботи свідчить про помилки в оволодінні навичками самостійного (під керівництвом викладача) проведення роботи: аналіз предметної області недостатньо повний для вирішення поставлених завдань; при реалізації задач автоматизації проблеми допущені помилки. Запропоновані рішення щодо технічного та програмного забезпечення системи автоматизації недостатньо обґрунтовані, при їх реалізації допущені помилки. Доповідь під час захисту не була достатньо чіткою, побудована недостатньо логічно і послідовно та/або не повністю відображала всі суттєві результати, висновки і пропозиції. Презентація до доповіді оформлена зі значними недоліками, неповна або містить матеріал, який не ілюструє тези доповіді. Здобувач демонструє суттєві труднощі з аргументацією власних ідей, недостатньо володіє професійною термінологією, на значну кількість запитань не може дати відповідь.	55-60 балів E «Задовільно»
Текст роботи свідчить про значні прогалини в оволодінні навичками самостійного (під керівництвом викладача) виконання роботи: аналіз предметної області недостатньо повний для вирішення поставлених завдань; при постановці	35-55 балів FX «Незадовільно»

Критерії оцінювання курсової роботи	Оцінка
задач автоматизації проблеми та їхній реалізації допущені помилки. Сформульовані в роботі пропозиції щодо технічного та програмного забезпечення системи автоматизації є недостатньо обґрунтованими і неповними. Окремі завдання роботи виконані, але мета досягнута не повністю. Текст роботи викладений недостатньо логічно і послідовно, містить стилістичні помилки, використання професійної термінології не завжди коректне. В оформленні роботи є суттєві невідповідності вимогам. Оцінка рецензента негативна. Під час захисту здобувач освіти у доповіді не зміг розкрити результати аналізу, аргументувати висновки і пропозиції, погано знає матеріал роботи і погано володіє професійною термінологією. Презентація до доповіді оформлена зі значними недоліками, неповна або містить матеріал, який не ілюструє тези доповіді. Здобувач не зміг відповісти на переважну кількість запитань комісії.	
Текст роботи свідчить про значні прогалини в оволодінні навичками самостійного (під керівництвом викладача) проведення дослідницької роботи: відбір і аналіз літератури недостатньо повний для вирішення поставлених завдань, аналіз предметної області недостатньо повний для вирішення поставлених завдань; при постановці задач автоматизації проблеми та їхній реалізації допущені помилки. Сформульовані в роботі пропозиції щодо технічного та програмного забезпечення системи автоматизації є недостатньо обґрунтованими і неповними. Окремі завдання роботи виконані, але мета досягнута не повністю. Текст роботи викладений недостатньо логічно і послідовно, містить стилістичні помилки, використання професійної термінології не завжди коректне. Відсутні логічна побудова роботи, її системність та глибина дослідження. Оформлення роботи не відповідає вимогам Оцінки наукового керівника і рецензента негативні. Робота до захисту не допускається.	0-34 бали F «Незадовільно»

5.6 Порядок оскарження результатів оцінювання курсової роботи

У разі незгоди з оцінкою здобувач вищої освіти має право подати апеляцію відповідно п.5. «ПОЛОЖЕННЯ про екзаменаційні комісії Донбаської державної машинобудівної академії з атестації здобувачів вищої освіти» (<http://surl.li/tppze>). Апеляція подається особисто здобувачем вищої освіти на ім'я ректора в день проведення захисту випускної роботи або оголошення результатів письмового екзамену, але не пізніше ніж на наступний робочий день після оголошення результатів.

За дорученням ректора у разі надходження апеляції, розпорядженням першого проректора за його головуванням створюється комісія для розгляду апеляції. Апеляція розглядається апеляційною комісією не пізніше ніж на наступний робочий день після її подання. Висновки апеляційної комісії оформлюються відповідним протоколом. У разі встановлення апеляційною комісією порушень під час проведенні атестації, які вплинули на результати оцінювання, рішенням екзаменаційної комісії на підставі висновків комісії з розгляду апеляції здійснюється зміна оцінки.

У випадку незгоди з висновком щодо виявлення факту плагіату (компіляцій) у роботі відповідно п.8 «Положення Про запобігання та виявлення академічного плагіату у навчальній та науково-дослідній роботі учасників освітнього процесу у ДДМА» (<http://surl.li/stzpv>), автор має право у триденний термін з моменту виявлення подати письмову апеляційну заяву на ім'я завідувача кафедри.

Для розгляду апеляційної заяви студента створюється апеляційна комісія, персональний склад якої формується розпорядженням завідувача кафедри з найбільш досвідчених та авторитетних викладачів кафедри (загальний склад від 3 до 5 осіб). Секретарем комісії призначається працівник кафедри.

Голова апеляційної комісії проводить засідання у тижневий термін з моменту виходу розпорядження завідувача кафедри про створення апеляційної комісії. Про дату та час проведення засідання заявник попереджається щонайменше за два дні. Якщо заявник не з'являється на засідання апеляційної комісії, питання розглядається за його відсутності.

У випадку необхідності отримання додаткової уточнюючої інформації, засідання апеляційної комісії може проводитись у кілька етапів з розривом не більше трьох робочих днів.

Сумніви, що виникають у членів апеляційної комісії, трактуються на користь особи, робота якої розглядається апеляційною комісією.

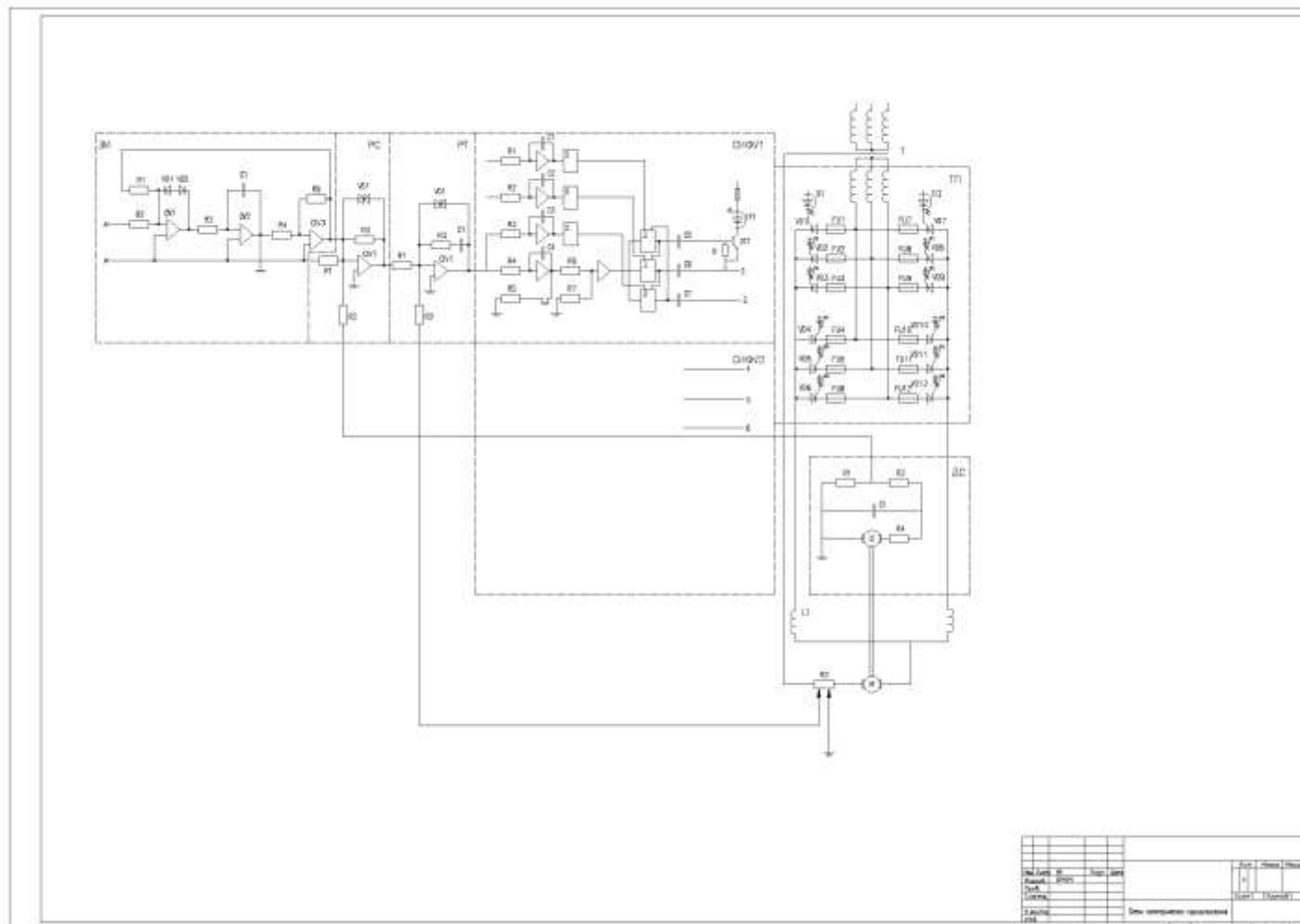
За результатами засідання апеляційна комісія формує висновки, які підписує голова апеляційної комісії, її члени та заявник, зазначаючи «З висновками апеляційної комісії погоджуюсь». Висновки апеляційної комісії щодо академічного плагіату (компіляцій) у творах студентів зберігаються на кафедрі.

Процедура розгляду апеляції проводиться відповідно «Положення про апеляційну комісію Донбаської державної машинобудівної академії» (<http://surl.li/tpqdk>)

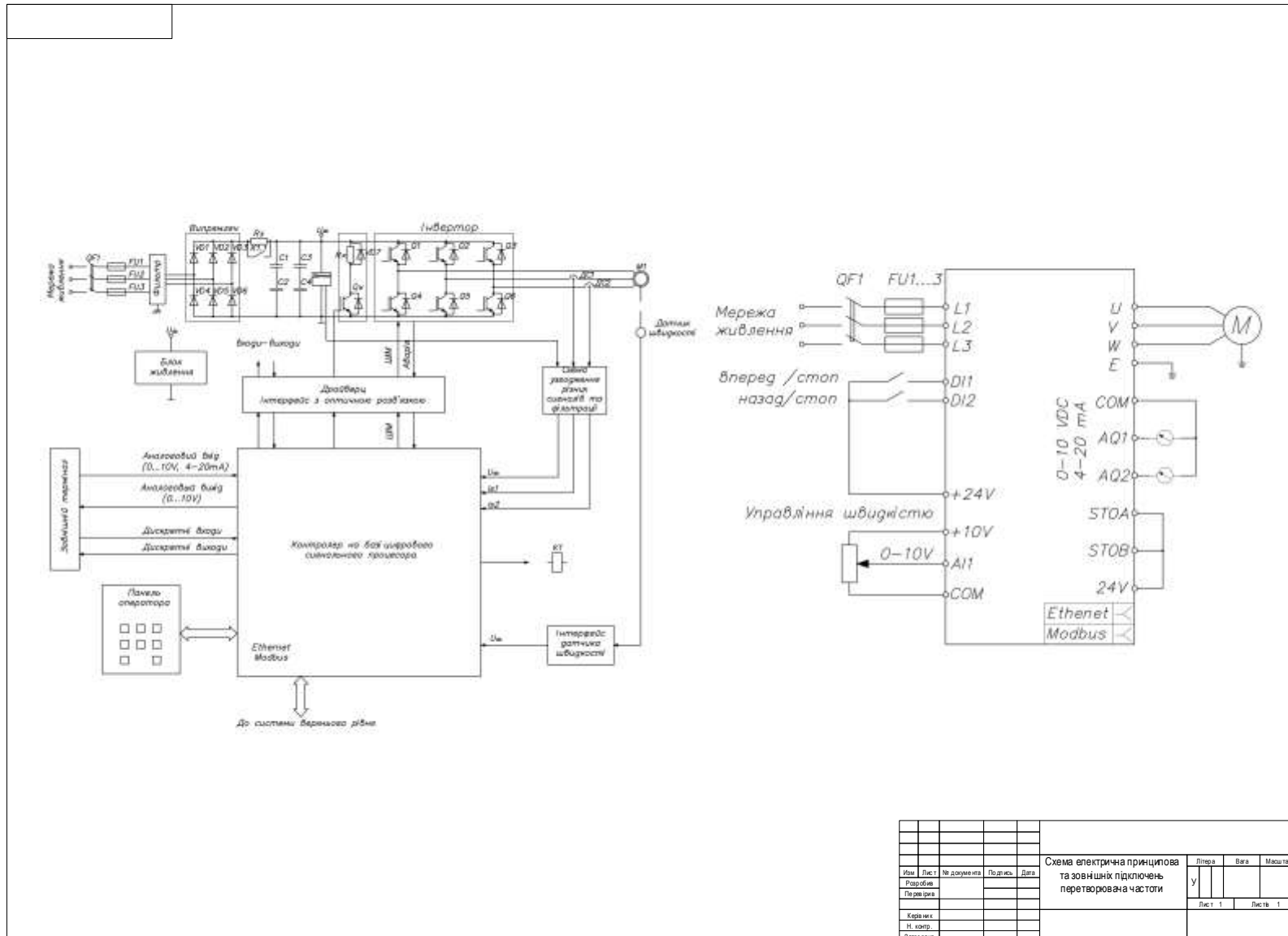
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Попович М.Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч.посібник / Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та ін. – К.: Либідь, 2005.- 680с.
2. Костинюк Л.Д. Моделювання електроприводів: Навч. Посібник /Л.Д. Костюк, В.І. Мороз, Я.С. Паранчук. – Львів: Видавництво національного університету «Львівській політехніка», 2004. -404с.
3. Єнікєєв О.Ф. Основи синтезу і проектування слідкуючих систем верстатів і промислових роботів : навчальний посібник / О. Ф. Єнікєєв, О. В. Суботін. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – 240 с.
4. Разживін О.В. Технічні засоби для проектування систем автоматизації: навчальний посібник / О.В. Разживін, О.В. Суботін. – Краматорськ: ЦТРІ «Друкарський дім», 2017. – 129с.
5. Конспект лекцій з курсу «Автоматизований електропривод» (для студентів спеціальності 151, 174) / О.В. Суботін. - Краматорськ: ДДМА, 2025. - 96с.
6. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Автоматизований електропривод" (для студентів спеціальності 151). Практикум з моделювання / Упоряд. О.В. Суботін. - Краматорськ: ДДМА, 2019 – 28с.
7. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Автоматизований електропривод" (для студентів спеціальності 151). Лабораторний практикум / Упоряд. О.В. Суботін. - Краматорськ: ДДМА, 2019 – 44 с.
8. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Автоматизований електропривод» для студентів спеціальності 151, 174 / О.В. Суботін, А.Ф. Залятов. - Краматорськ: ДДМА, 2025 – 84 с.
9. Бешта О.С., Балахонцев О.В., Бородай В.А. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві Дніпропетровськ: Національний гірничий університет , 2010. 224 с.
10. Ніколаєнко, А.М. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації]: навч. посіб. / А.М. Ніколаєнко, Н.О. Міняйло. – Запоріжжя: ЗДІА, 2011. – 444 с.
11. Синтез робототехнічних ситем в машинобудуванні: Підручник / Л. Є. Пелевін, К. І.Почка, О. М. Гаркавенко, Д. О. Міщук, І. В. Русан. – К.:ТОВ «НВП «Інтерсервіс»», 2016. –258 с.
12. Modelowanie komputerowe i obliczenia wspóczesnych uktadów automatyzacji [Text] / R. Tadeusiewicz, G. Piwniak, W. Tkaczow, W. Szaruda, K. Oprzędkiewicz. – Kraków, 2004. – 335 p.
13. Bishop. Robert H. The Mechatronics handbook / Robert H. Bishop. – Austin: The University of Texas at Austin. – 2002. – 1229 p.
14. Програма на ПЕОМ для розрахунків перехідних процесів в САК АЕП (розроблена на кафедрі АВП для студентів, вивчаючих дисципліну АЕП).

ДОДАТОК А
ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ КУРСОВОЇ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОД ПОСТІЙНОГО
СТРУМУ



ЕЛЕКТРОПРИВОД ЗМІННОГО СТРУМУ



ДОДАТОК Б. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

Міністерство освіти та науки України

Донбаська державна машинобудівна академія

Кафедра Автоматизації виробничих процесів

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни «Автоматизований електропривод»

тема «Назва теми»

Виконав:

ст. гр. АВПХХ-Х

Ххххххххх Х.Х.

Перевірив:

к.т.н., доцент

Ххххххххх Х.Х.

к.т.н., доцент

Ххххххххх Х.Х.

Краматорськ-Тернопіль, 202х

ДОДАТОК В. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ЗМІСТУ

ЗМІСТ

ВСТУП	X
1. Розрахунок та вибір трансформатору, розрахунок та вибір тиристорівх	XX
2. Статика САК РЕП	XX
3. Розрахунок динаміки РЕП (СЕП) - розрахунок ПП в РЕП (в СЕП)	xx
4. Розрахунок цифрового контуру швидкості для РЕП, контура положення – для СЕП	XX
ВИСНОВОКИ.....	XX
ВІДОМІСТЬ ДОКУМЕНТІВ	XX
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	

					КР 07.*****.001 ПЗ			
Ізм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ххххххх			Курсова робота з дисципліни АЕП	Літ.	Лист.	Листів
Перевір		Ххххххх					Х	XX
		Ххххххх				АВПхх-х		
Керів..		Ххххххх						
Затв.		Ххххххх						
					81			

ДОДАТОК Г. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ

Міністерство освіти та науки України
Донбаська державна машинобудівна академія
Кафедра автоматизації виробничих процесів

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ до курсової роботи

“Автоматизований електропривод”

студенту(ке) групи АВП ХХ-Х

спеціальності 174

XXXXXXXX X.X.

Тема курсової роботи: Назва теми

Спираючись на принципи та методи, розроблені в цій дисципліні, розробити та спроектувати систему управління електроприводом з застосуванням сучасних перетворювачів енергії.

Рекомендований вміст курсової роботи:

ВСТУП

1. Розрахунок та вибір трансформатору, розрахунок та вибір тиристорів
Розрахунок параметрів якріного ланцюга ЕП. Побудова регулювальних та вихідних характеристик. Вибір типу комплексного тиристорного перетворювача та його опис.
2. Статика САК РЕП
3. Розрахунок динаміки РЕП (СЕП) - розрахунок ПП в РЕП (в СЕП)
4. Розрахунок цифрового контуру швидкості для РЕП, контура положення – для СЕП

ВИСНОВОК

Зміст графічної частини курсової роботи

- 1 Функціональна схема автоматизації об'єкта.
- 2 Структурна схема АСУ ТП (об'єктом).
- 3 Електричні принципові схеми підключень засобів автоматизації.

Дата видачі завдання

xx.xx.20xx

Дата закінчення роботи

xx.xx.20xx

Керівник роботи

XXXXXXXX

Параметри двигунів постійного струму

№ вар.	Тип двигателя	P _{2ном} , кВт	U _я , В	n _{ном} , об/мин	КПД, %	I _я , А	L _я , мГн	J, кг*м ²	λ	m
1	2ПН90М	1	220	3000	72,5	5,27	78	0,003	2,2	5,2
2	2ПН100М	2	220	3000	79	10,8	52	0,004	1,8	5,4
3	2ПН132М	4	220	1500	79	21,65	22	0,033	1,9	6,15
4	2ПН132L	3	220	1000	75,5	15,62	18,1	0,048	2	5,85
5	2ПФ132М	4	440	1500	82,5	9,37	5,6	0,038	2	6,3
6	2ПН160М	13	220	2120	85,5	66,13	4,2	0,083	2,1	7,83
7	2ПН160L	11	440	1600	85,5	26,44	12,5	0,1	2,05	6,1
8	2ПО160М	6	220	1600	84,5	31	17,1	0,083	2,2	6,5
9	2ПО160L	10	440	2120	88,5	24,11	18	0,1	1,8	5,1
10	2ПФ160М	16	220	3150	87	80,15	4,3	0,06	1,75	6,05
11	2ПФ180М	15	220	1500	85,5	76,01	3,7	0,2	1,89	8,2
12	2ПФ180L	25	440	2200	89,5	59,5	4,4	0,23	1,9	5,23
13	2ПН200М	60	440	3150	90,5	145,44	2,6	0,25	1,96	6,5
14	2ПФ200М	22	220	1600	87,5	110,3	2,2	0,2	2,1	6,25
15	2ПФ200L	30	220	1500	88,5	148,3	1,2	0,3	2	5,3
16	2ПФ132М	4	440	1500	82,5	9,37	17,1	0,07	2,2	6,5
17	2ПН160М	13	220	2120	85,5	66,13	12	0,05	2,1	8,1
18	2ПН160L	11	440	1600	85,5	26,44	3,5	0,04	2,05	7,05
19	2ПФ180L	25	220	1600	87	115	2,5	0,23	2,1	4,8
20	2ПН160L	11	220	1800	85,5	54	12,5	0,1	2,1	6,1

Параметри двигунів змінного струму

№	Тип двигуна	Р, кВа	m_k , %	S_n , %	i_n	КПД %	cosα	Параметры схеми заміщення					J, кгм	t, с
								X_m	R_1	X_1	R_2	X_2		
Синхронна частота обертання 1500 ^{об} /мин														
1	4A80A4Y3	1,1	2,2	5,4	5,0	75,0	0,81	1,7	0,12	0,078	0,068	0,12	0,0032	0,04
2	4A80B4Y3	1,5	2,2	5,8	5,0	77,0	0,83	1,9	0,12	0,078	0,068	0,12	0,0031	0,04
3	4A90L4Y3	2,2	2,4	5,1	6,0	83,0	0,83	2,1	0,098	0,076	0,06	0,13	0,0056	0,04
4	4A112M4Y3	5,5	2,2	3,6	7,0	85,5	0,85	2,8	0,034	0,078	0,041	0,13	0,017	0,04
5	4A132M4Y3	11,0	3,0	2,8	7,5	87,5	0,87	3,2	0,043	0,085	0,032	0,13	0,028	0,05
6	4A160S4Y3	15,0	2,3	2,3	7,0	88,5	0,88	4,0	0,047	0,086	0,025	0,13	0,10	0,12
7	4A160M4Y3	18,5	2,3	2,2	7,0	89,5	0,88	4,3	0,042	0,085	0,024	0,13	0,13	0,13
8	4A180S4Y3	22,0	2,3	2,0	6,5	90,0	0,90	4,0	0,041	0,080	0,021	0,12	0,19	0,14
9	4A180M4Y3	30,0	2,3	1,9	6,5	91,0	0,89	3,9	0,034	0,088	0,018	0,12	0,23	0,15
10	4A200M4Y3	37,0	2,5	1,7	7,0	91,0	0,90	4,4	0,039	0,086	0,018	0,14	0,37	0,18
Синхронна частота обертання 1000 ^{об} /мин														
11	4A80B6Y3	1,1	2,2	8,0	4,0	74,0	0,74	1,6	0,12	0,11	0,11	0,11	0,0046	0,03
12	4A90L6Y3	1,5	2,2	6,4	4,5	75,0	0,74	1,8	0,11	0,11	0,088	0,088	0,0073	0,03
13	4A100L6Y3	2,2	2,2	5,1	5,0	81,0	0,73	1,9	0,09	0,11	0,067	0,067	0,013	0,04
14	4A132S6Y3	5,5	2,5	3,3	6,0	85,0	0,80	1,9	0,037	0,072	0,041	0,041	0,04	0,04
15	4A160S6Y3	11,0	2,0	2,7	6,0	84,0	0,86	3,0	0,073	0,11	0,030	0,030	0,14	0,18
16	4A160M6Y3	15,0	2,0	2,6	6,0	87,5	0,87	3,0	0,062	0,10	0,028	0,028	0,18	0,19
17	4A180M6Y3	18,5	2,0	2,4	6,0	88,0	0,87	2,9	0,056	0,11	0,026	0,026	0,22	0,1
18	4A200M6Y3	22,0	2,4	2,3	6,5	90,0	0,90	4,1	0,050	0,11	0,024	0,024	0,4	0,13
19	4A200L6Y3	30,0	2,4	2,1	6,5	90,5	0,90	3,7	0,046	0,12	0,022	0,022	0,45	0,12
20	4A225M6Y3	37,0	2,3	1,8	6,5	91,0	0,89	3,7	0,042	0,10	0,019	0,019	0,74	0,15

ДОДАТОК Е. ЗАЯВА ТА ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ НА ПЛАГІАТ

ЗАЯВА

щодо самостійності виконання курсової роботи (проекту),
Я, _____, студента __ курсу, групи АВП**-*, ФМ,
Донбаської державної машинобудівної академії, заявляю:

моя курсова робота на тему:

« _____

_____ .»

представлена для захисту у комісію, виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше дослідницьких робіт, кандидатських і докторських дисертацій мають відповідні посилання. Я ознайомлений(а) з діючим положенням ДДМА, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску письмової роботи до захисту та застосування дисциплінарних заходів.

Підписуючи цей документ, надаю згоду Власнику бази даних (кафедра АВП) на збір, обробку та використання моїх матеріалів курсової роботи з метою перевірки матеріалу в системі та зберіганні роботи в репозитарії кафедри (академії).

Підтверджую, що з Положенням «Протидія плагіату» кафедри ознайомлений.

Матеріали автора також можуть бути використані Власником або третіми особами з метою та на умовах, що визначені відповідно до ст. 32 Закону України «Про вищу освіту» та до Закону України «Про захист персональних даних».

Власник зобов'язується використовувати матеріали справедливо і законно відповідно до законодавства. У разі зміни мети обробки матеріалів Власник має повідомити про це суб'єкта і отримати згоду на обробку його матеріалів у відповідності зі зміненою метою.

Дата:

Підпис:

ЕКСПЕРТНИЙ ВИСНОВОК

про перевірку на наявність академічного плагіату у випускній курсовій роботі студента

Комісія з виявлення та запобігання академічного плагіату, перевіrivши
курсoву роботу студента _____
гр. АВПХХ-Х на тему:

« _____

_____»

прийшла до висновку:

*Рівень оригінальності твору станом на «____» _____ 202X р. є
задовільним (____)*

Зав. кафедри _____ ПІБ.

Відповідальна особа по кафедрі _____ ПІБ.

Керівник роботи _____ ПІБ