

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахункової роботи
**«Розрахунок показників надійності електропривода
та складання алгоритмів діагностики несправностей»**
з курсу "Надійність та діагностика"

для студентів спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 16.02.2023 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2023

Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи «Розрахунок показників надійності електропривода та складання алгоритмів діагностики несправностей» з курсу «Надійність та діагностика» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка» / уклад. В.М. Ковальов. – Харків: НТУ "ХПІ". – 47 с.

Укладач В.М. Ковальов

Рецензент І.В. Обруч

Кафедра автоматизованих електромеханічних систем

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
1.1 Основні положення теорії ймовірності	4
1.2 Основні показники надійності	8
1.3 Експлуатаційна інтенсивність відмов	9
2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ.....	11
2.1 Методичні вказівки до виконання розділу "Аналіз схеми електропривода"	11
2.2 Методичні вказівки до виконання розділу "Розрахунок показників надійності електропривода"	12
2.3 Методичні вказівки до виконання розділу "Діагностика несправностей електропривода"	16
Список літератури.....	17
Додаток А Варіанти схем електроприводів для виконання роботи.....	19
Додаток Б Базова інтенсивність відмов елементів електричних схем.....	29
Додаток В Приклад виконання розрахункової роботи.....	34

ВСТУП

Автоматизований електропривод (ЕП) є основною складовою у всіх галузях економіки. Надійність електроприводу визначається часом безвідмовної роботи протягом напрацювання на відмову, а діагностика визначає способи і методи пошуку несправності.

Мета розрахункової роботи (РР) з курсу “Надійність та діагностика” – систематизація та поглиблення теоретичних і практичних знань у студентів, розвиток їх аналітичного і творчого мислення, отримання практичних навичок з розрахунків надійності електроприводів та складання діагностичних алгоритмів для пошуку несправностей в електроприводах.

При виконанні РР студент самостійно приймає технічні рішення, відповідає за правильність розрахунків, використовуючи чинні методичні вказівки та конспект лекцій. Роль керівника полягає у поясненні окремих питань, що виникають у процесі виконання роботи. Керівник не перевіряє правильність розрахунків у процесі виконання РР.

Порядок перевірки й захисту РР полягає у наступному. Виконану РР студент здає керівникові для перевірки правильності розрахунків та прийнятих рішень. При відсутності помилок студент захищає РР перед керівником, тобто, розповідає принцип роботи схеми, порядок розрахунків і відповідає на запитання. Якщо РР містить суттєві помилки, то керівник повертає її студенту для виправлення.

Критерії оцінки, що виставляються студентам за виконання та захист РР, такі. Оцінка А (90-100): РР виконана у повному обсязі з правильними розрахунками і з описом принципу дії схеми; студент вільно відповідає на всі запитання та вільно орієнтується в схемі. Оцінка В (82-89): РР виконана не у повному обсязі з правильними розрахунками, мають місце неточності при описі схеми, відповіді студента на запитання не є повними. Оцінка С (74-81): РР виконана з незначними помилками в розрахунках, відповіді студента на запитання є неточними або мають загальний характер. Оцінка D (64-73): РР виконана з помилками в розрахунках, що були знайдені керівником у процесі її перевірки і виправлені студентом, відповіді студента на запитання є непевними або мають загальний характер. Оцінка Е (60-63): РР виконана з помилками в розрахунках, що були знайдені керівником у процесі її перевірки і виправлені студентом, студент непевно відповідає на запитання з принципу роботи електричної схеми.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Основні положення теорії ймовірності

Основою теорії ймовірності є поняття дискретної і безперервної випадкових величин, а також випадкової події. Випадкова дискретна величина при випробуваннях приймає одне і тільки одне можливе значення, наперед невідоме і залежне від випадкових заздалегідь невідомих причин. Безперервна випадкова величина при випробуваннях приймає будь-які значення в деякому кінцевому або нескінченному інтервалі на дійсній числовій осі, наприклад – на осі часу.

Випадковою називають подію, яка з'являється в процесі випробувань випадковим чином. Ймовірністю випадкової події називають число, до якого прямує частота появи випадкової події при необмеженій кількості випробувань. Якщо загальна кількість випробувань – n , а кількість випробувань, при яких наступила подія – m , то ймовірність випадкової події дорівнює $p = m/n$.

Для чисельної характеристики випадкових величин використовують поняття математичного очікування і дисперсії. Математичне очікування дискретної випадкової величини визначається формулою,

$$M(X) = \sum x_i / n, \quad (1.1)$$

де X – узагальнене позначення аналогових і дискретних випадкових величин,

x_i – числові значення дискретної випадкової величини,

n – загальна кількість числових значень дискретної випадкової величини.

Математичним очікуванням безперервної випадкової величини називають визначений інтеграл

$$M(X) = \int_a^b xf(x)dx, \quad (1.2)$$

де x – значення безперервної випадкової величини,

$f(x)$ – аналітичний вираз функції ймовірності появи безперервної випадкової величини, можливі значення якої лежать в інтервалі $[a;b]$.

Математичне очікування не дає повної інформації про випадкову величину, оскільки одному й тому самому значенню може відповідати певна

кількість випадкових величин. Для визначення діапазону розсіювання числових значень випадкових величин використовують дисперсію, яка характеризує міру розкиду числових значень випадкової величини відносно математичного очікування. Дисперсію для дискретної і для безперервної випадкових величин розраховують за формулами

$$D(X) = \sum_{i=1}^n x_i^2 p_i - M^2(X), \quad (1.3)$$

$$D(X) = \int_a^b x^2 f(x) dx - M^2(X). \quad (1.4)$$

Розмірність дисперсії дорівнює квадрату розмірності випадкової величини. Якщо необхідно, щоб оцінка розсіювання мала розмірність випадкової величини, розраховують середнє квадратичне відхилення за формулою $\sigma(x) = \sqrt{D(X)}$.

Надійність ЕП чисельно оцінюється ймовірністю його безвідмовної роботи впродовж певного часу експлуатації. Час безвідмовної роботи ЕП – це безперервна випадкова величина, математичне очікування якої визначається, так званими, законами розподілу ймовірності випадкової величини. Закон розподілу випадкової величини це аналітична залежність ймовірності випадкової величини від одного або двох аргументів.

Закон розподілу випадкової величини дозволяє для заданого аргументу (наприклад, часу) розрахувати ймовірність випадкової величини і навпаки: при заданій ймовірності випадкової величини розрахувати час її появи. Відомі декілька законів розподілу: експоненційний, нормальний, Вейбулла, біноміальний, Пуассона, Паскаля, логарифмічний та інші. Використання того чи іншого закону при тій чи іншій ситуації залежить від ряду факторів, які визначаються статистично.

Досвід експлуатації ЕП показав, що при аналізі надійності необхідно розглядати три етапи його експлуатації: 1) приробіток, 2) нормальна робота, 3) старіння. На етапі приробітку ймовірність безвідмовної роботи описується законом розподілу Вейбула, на етапі нормальної роботи – експоненційним законом, а на етапі старіння – нормальним. Для оцінки надійності ЕП за весь час експлуатації доцільно використовувати їх суперпозицію.

При експоненційному законі розподілу на етапі нормальної роботи ЕП відмови відбуваються в середньому з однаковим інтервалом часу і залежність ймовірності безвідмовної роботи визначається формулою

$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} - \frac{(\lambda t)^3}{3!} + \frac{(\lambda t)^4}{4!} \dots, \quad (1.5)$$

де λ – параметр експоненційного закону розподілу, який називають інтенсивністю відмов,

t – час роботи ЕП в годинах.

Величину обернену інтенсивності відмов називають напрацюванням на відмову, тобто, $T_B = 1/\lambda$. На практиці час експлуатації ЕП до капітального ремонту доцільно приймати на рівні трьох значень напрацювання на відмову.

Для ЕП початкова ймовірність безвідмовної роботи повинна бути в межах від 0,82 до 0,95. При ймовірності безвідмовної роботи $P(t)=0,82$ час напрацювання на відмову дорівнює $T=5000$ год.

Математичне очікування, дисперсія та середньоквадратичне відхилення для експоненційного закону розподілу визначаються за формулами

$$M(X) = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}; \quad D(X) = \int_0^{\infty} (t - \frac{1}{\lambda})^2 \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda^2}; \quad (1.6)$$

Таким чином, параметром експоненційного закону розподілу є показник ступеня λ , який називають інтенсивністю відмов, іноді його називають небезпекою відмов. Інтенсивність відмов визначають експериментально за формулою

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (1.7)$$

де $n(\Delta t)$ – кількість елементів, що відмовили за час роботи Δt ;

N – кількість елементів, що залишилися працездатними;

Δt – час роботи елементів.

Таким чином, інтенсивність відмов це відносна кількість появи несправних елементів на етапі нормальної роботи ЕП. Етапи приробітку і зносу характеризуються високою інтенсивністю відмов.

За величиною інтенсивності відмов розраховують час напрацювання на відмову за формулою $T=1/\lambda$, тобто, час, через який ймовірність безвідмовної роботи зменшується в « e » разів ($e \approx 2,718$).

1.2 Основні показники надійності

Згідно ДСТУ 2860–94 надійність це властивість об'єкта зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

Показники надійності згідно ДСТУ 2860–94: 1) безвідмовність – властивість об'єкта виконувати потрібні функції в певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи напрацювання; 2) довговічність – властивість об'єкта виконувати потрібні функції до переходу у граничний стан при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту; 3) збережуваність – властивість об'єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати потрібні функції, під час і після зберігання та транспортування; 4) ремонтпридатність – властивість об'єкта бути пристосованим до підтримання та відновлення стану, в якому він здатний виконувати потрібні функції за допомогою технічного обслуговування та ремонту; 5) термін служби – час збереження працездатності до капітального ремонту.

Необхідно зазначити, що термін гарантії не входить в показники надійності, оскільки під гарантією розуміють час, протягом якого виробник безкоштовно проводить ремонт. Для встановлення терміну гарантії необхідно розрахувати напрацювання на відмову.

Для ЕП розраховують, як правило, наступні показники надійності: 1) напрацювання на відмову, тобто, час роботи ЕП до першої відмови і між відмовами при подальшій експлуатації; 2) ймовірність безвідмовної роботи, яка чисельно описує ймовірне зниження рівня працездатності ЕП від одиниці до нуля протягом терміну експлуатації.

До функціональних параметрів ЕП відносять: діапазон регулювання швидкості, помилка стабілізації швидкості і показники якості перехідних процесів. Діапазоном регулювання швидкості називають відношення максимальної швидкості до мінімальної при номінальному навантаженні на валу. Похибкою регулювання називають величину зменшення швидкості при номінальному навантаженні відносно швидкості неробочого ходу. До показників якості перехідних процесів відноситься: час виходу на задану

швидкість, величину перевищення миттєвого значення заданої швидкості та кількість коливань.

Граничним називається стан ЕП, при якому: 1) подальша експлуатація ЕП недопустима або недоцільна; 2) відновлення працездатного стану ЕП неможливе або недоцільне.

1.3 Експлуатаційна інтенсивність відмов

Розрізняють базову інтенсивність відмов ЕП та експлуатаційну. Базова інтенсивність відмов елементів схеми ЕП наведена в [1] для номінального режиму роботи за функціональним параметром і для таких умов експлуатації: температура навколишнього середовища від -10°C до $^{\circ}\text{C} +40$, вологість повітря 75%, відсутність механічних впливів і інших чинників.

Експлуатаційна інтенсивність відмов ЕП залежить від режиму роботи і умов експлуатації та визначається за формулою

$$\lambda_{\text{ЕПе}} = \sum (\lambda_{i\text{б}} \cdot n_i \cdot K_{\kappa} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{з}}), \quad (1.8)$$

де $\lambda_{i\text{б}}$ – базова інтенсивність відмов елементів схеми ЕП;

n_i – кількість однотипних елементів в схемі;

K_{κ} – коефіцієнт впливу кліматичних факторів (температура, вологість, атмосферний тиск) при їх відхиленні від номінальних значень;

$K_{\text{м}}$ – коефіцієнт впливу механічних факторів (вібрації і ударів) при їх наявності;

$K_{\text{з}}$ – коефіцієнт впливу завантаження елемента за функціональним параметром.

Кліматичні фактори при експлуатації ЕП позначаються міждержавним стандартом ГОСТ 15150–69 співдружності незалежних держав. Наприклад, позначення УХЛ4 в технічному паспорті на ЕП означає: експлуатація в закритих приміщеннях з температурою навколишнього повітря від $+5$ до $+45^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря 75%, без впливу прямого сонячного випромінювання і дощу, без вмісту вибухонебезпечних газів, парів і струмопровідного пилу. Висота над рівнем моря не більше 1000 м.

При перевищеннях температури погіршується теплопередача, що викликає перегрівання елементів та інтенсивне старіння ізоляції. Окрім цього, теплопередача погіршується при наявності пилу і на висоті більше за 1000 м над рівнем моря (в горах і в літаках), оскільки повітря на висоті розріджене. Якщо температура середовища нижче $+5^{\circ}\text{C}$, то зменшуються коефіцієнти

підсилення транзисторів, що може призводити до відмов. Перевищення вологості викликає конденсацію вологи і корозію металевих елементів.

Коефіцієнти впливу кліматичних факторів на інтенсивність відмов в залежності від величин факторів наведені в таблицях 1.1 і 1.2.

Таблиця 1.1 - Коефіцієнти впливу кліматичних факторів на інтенсивність відмов

Вологість, %	Температура, °C	Коефіцієнти впливу
60-70	40-60	1,5
90-98	20-25	2
90-98	30-40	2,5

Таблиця 1.2 – Коефіцієнти впливу висоти над рівнем моря на інтенсивність відмов

Висота над рівнем моря, км	2-3	5-6	8-10
Коефіцієнти впливу	1,1	1,16	1,25

Механічні фактори при експлуатації ЕП позначаються міждержавним стандартом ГОСТ 17516–90. Наприклад, позначення М1 означає: допустима синусоїдальна вібрація в діапазоні 0,5-35 Гц, допустиме прискорення при ударах не більше 5g, де g – прискорення вільного падіння. За допустимим прискоренням відносно прискорення вільного падіння визначається допустима сила ударів за 2-м законом Ньютона $F=m \cdot 5g$, де m – маса елемента. Перевищення показників вібрації і ударів викликають механічні руйнування конструкції елементів, контактних з'єднань всередині елементів і т. ін.. Коефіцієнти впливу механічних факторів на інтенсивність відмов в залежності від величин факторів наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Коефіцієнти впливу механічних факторів на інтенсивність відмов

Умови експлуатації	Коефіцієнти впливу вібрації	Коефіцієнти впливу ударів	Коефіцієнти впливу результуючі
Заводські цехи	1,04	1,03	1,07
Морські суда	1,3	1,05	1,37
Автомобілі	1,35	1,08	1,46
Залізниця	1,4	1,1	1,54
Літаки	1,46	1,13	1,65

Інтенсивність відмов елементів при експлуатації ЕП залежить від коефіцієнтів завантаження за функціональним параметром: для резисторів – теплова потужність; конденсаторів – прикладена напруга; напівпровідникових елементів, електродвигунів і електричних апаратів – струм і напруга.

2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ

Студент виконує розрахункову роботу (РР) за варіантом, вказаним викладачем з додатку А. Вихідні дані для виконання РР: електрична принципова схема ЕП з таблицею переліку елементів. Кліматичні умови експлуатації електропривода для всіх варіантів однакові: УХЛ4 – експлуатація в закритих приміщеннях з температурою навколишнього повітря від +1 до +40⁰С, відносна вологість повітря 75%, без впливу прямого сонячного випромінювання і дощу, без вмісту вибухонебезпечних газів, парів і струмопровідного пилу. Механічні впливи (вібрація та удари) відсутні.

Для заданої схеми електропривода необхідно виконати такі завдання:

- 1) розрахувати напрацювання на відмову електропривода для ймовірності безвідмовної роботи $P(t)=0,85$;
- 2) визначити термін експлуатації електропривода до капітального ремонту або його заміни;
- 3) скласти алгоритм діагностики несправностей електропривода, якщо при запуску схеми двигун не обертається.

Розрахункова робота складається з таких розділів: 1. Аналіз схеми електропривода. 2. Розрахунок показників надійності електропривода. 3. Діагностика несправностей електропривода.

Розрахункова робота оформляється у вигляді пояснювальної записки на 7-8 аркушах білого паперу формату 210x297 мм графічним редактором Microsoft Word шрифтом 12, міжрядковий інтервал 1. Креслення виконуються графічним редактором, наприклад AutoCad, згідно з вимогами відповідних стандартів.

2.1 Методичні вказівки до виконання розділу "Аналіз схеми електропривода"

В розділі необхідно привести аналіз принципової електричної схеми електропривода в такому порядку. Для кожного елемента схеми (двигун, автоматичний вимикач, діоди, тиристори, транзистори, конденсатори,

резистори та інше) вказати його призначення в схемі, коротко описати будову, принцип дії, функціональний параметр та в чому полягає відмова елемента.

Номінальний струм якоря двигуна постійного струму розраховується за формулою

$$I_{aN} = \frac{P_N}{U_{aN} \eta_N}, \quad (2.1)$$

де P_N – номінальна потужність двигуна постійного струму, Вт;

U_{aN} – номінальна напруга якоря, В;

η_N – номінальний коефіцієнт корисної дії двигуна в РР приймається на рівні 0,85, хоча останній залежить від потужності двигуна.

Номінальний фазний струм асинхронного двигуна розраховується за формулою

$$I_{sN} = \frac{P_N}{\sqrt{3} U_N \eta_N \cos \varphi_N}, \quad (2.2)$$

де P_N – номінальна потужність асинхронного двигуна, Вт;

U_N – номінальна лінійна напруга, В;

η_N – номінальний коефіцієнт корисної дії двигуна,

$\cos \varphi_N$ – номінальний коефіцієнт потужності двигуна.

Номінальні коефіцієнт корисної дії і коефіцієнт потужності асинхронного двигуна також приймаються на рівні 0,85, хоча останні залежать від потужності двигуна.

2.2 Методичні вказівки до виконання розділу "Розрахунок показників надійності"

До показників надійності електропривода відносяться: 1) експлуатаційна інтенсивність відмов; 2) напрацювання на відмову; 3) ймовірність безвідмовної роботи.

Експлуатаційна інтенсивність відмов ЕП розраховується за формулою $\lambda_{ЕПe} = \sum \lambda_{ie}$, де λ_{ie} – експлуатаційні інтенсивності відмов окремих елементів схеми, методика розрахунку яких наведена нижче.

Експлуатаційна інтенсивність λ_{ep} відмов резисторів розраховується за формулою

$$\lambda_{ep} = K_n K_o K_m K_z \lambda_{op}, \quad (2.3)$$

де K_n – коефіцієнт впливу номінальної потужності резистора (табл. Б2),

K_o – коефіцієнт впливу величини опору резистора (табл. Б3),

K_m – коефіцієнт впливу точності величини опору резистора: $K_m=2$ при точності 0,5 %, $K_m = 1$ при точності 1, 2, 5, 10 %,

K_z – коефіцієнт впливу завантаження резистора за потужністю (табл. Б4),

λ_{br} – базова інтенсивність відмов резисторів, $\lambda_{br}=0,002 \cdot 10^{-6}$ 1/год.

Для вибору значення коефіцієнта впливу завантаження за потужністю з табл. Б4 попередньо розраховується коефіцієнт завантаження резистора за формулою $K_{zp}=P_p/P_N$, де P_p , P_N – розрахункова і номінальна потужності резистора. Результати розрахунку інтенсивності відмов резисторів слід оформляти у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку експлуатаційної інтенсивності відмов резисторів

Позначення на схемі	Точність, %	Номінальна потужність, мВт	Робочий струм, мА	Робоча потужність, мВт	Коефіцієнт завантаження за потужністю	Коефіцієнт впливу завантаження	Коефіцієнт впливу потужності резистора	Коефіцієнт впливу точності опору резистора	Коефіцієнт впливу значення опору резистора	Базова інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$ 1/год	Експлуатаційна інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$ 1/год

Експлуатаційна інтенсивність відмов конденсаторів визначається за формулою

$$\lambda_{ke} = K_z K_c \lambda_{kb}, \quad (2.4)$$

де K_z – коефіцієнт впливу завантаження конденсатора напругою відносно номінальної (табл. Б5);

K_c – коефіцієнт впливу величини ємності конденсатора (табл. Б6),

λ_{kb} – базова інтенсивність відмов конденсаторів: для слюдяних $\lambda_{kbc}=0,04 \cdot 10^{-6}$ 1/год; для керамічних $\lambda_{kbc}=0,008 \cdot 10^{-6}$ 1/год; для електролітичних $\lambda_{kbc}=0,173 \cdot 10^{-6}$ 1/год.

Для вибору значення коефіцієнта впливу завантаження за табл. Б5 попередньо розраховується коефіцієнт завантаження конденсатора напругою за формулою $K_{zk}=U_p/U_N$, де U_p , U_N – розрахункова і номінальна напруга

конденсатора. Результати розрахунку експлуатаційної інтенсивності відмов конденсаторів слід оформляти у вигляді таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Експлуатаційна інтенсивність відмов конденсаторів

Позначення на схемі	Тип конденсатора	керамічний	електролітичний	Номінальна ємність, мкФ	Номінальна напруга, В	Робоча напруга, В	Коефіцієнт завантаження напругою	Коефіцієнт впливу завантаження напругою	Коефіцієнт впливу величини ємності	Базова інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$ /год	Експлуатаційна інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$ /год

Експлуатаційна інтенсивність відмов електродвигунів, електричних апаратів та напівпровідникових елементів визначається за формулою

$$\lambda_{ei} = K_U K_I \lambda_{\delta i}, \quad (2.5)$$

де K_U – коефіцієнт впливу на інтенсивність відмов завантаження елементів робочою напругою відносно номінальної (табл. Б7),

K_I – коефіцієнт впливу на інтенсивність відмов завантаження елементів робочим струмом відносно номінального (табл. Б8),

$\lambda_{\delta i}$ – базова інтенсивність відмов для напівпровідникових елементів визначається за табл. Б1; для двигунів постійного струму $\lambda_{\delta nc\delta} = 9,36 \cdot 10^{-6}$ 1/год; для асинхронних двигунів $\lambda_{\delta ad\delta} = 5 \cdot 10^{-6}$ 1/год; для автоматичних вимикачів $\lambda_{\delta av\delta} = 0,5 \cdot 10^{-6}$ 1/год [1].

Для вибору значення коефіцієнта впливу завантаження попередньо розраховується коефіцієнт завантаження напругою за формулою $K_{3U} = U_p / U_N$, де U_p , U_N – розрахункова і номінальна напруга і за струмом за формулою $K_{3I} = I_p / I_N$, де I_p , I_N – розрахунковий і номінальний струм. Далі за табл. Б7-Б9 приймається значення коефіцієнта впливу. Результати розрахунку експлуатаційної інтенсивності відмов скласти у вигляді таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Експлуатаційна інтенсивність відмов електродвигунів, електричних апаратів та напівпровідникових елементів

Позначення на схемі	Номинальна напруга, В	Робоча напруга, В	Коефіцієнт завантаження напругою	Коефіцієнт впливу завантаження напругою	Номинальний струм, А	Робочий струм, А	Коефіцієнт завантаження струмом	Коефіцієнт впливу завантаження струмом	Базова інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$ /год	Експлуатаційна інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$ /год

Експлуатаційна інтенсивність відмов мікросхем визначається формулою

$$\lambda_{em} = K_i K_k \lambda_{m\bar{o}}, \quad (2.6)$$

де K_i – коефіцієнт впливу на інтенсивність відмов ступеня інтеграції мікросхеми;

K_k – коефіцієнт впливу на інтенсивність відмов типу корпусу мікросхеми: для металевого (герметичного) $K_k=1$; для пластмасового $K_k=5$;

$\lambda_{m\bar{o}}$ – базова інтенсивність відмов мікросхем: цифрових $\lambda_{m\bar{o}c}=0,023 \cdot 10^{-6}$ 1/год, аналогових $\lambda_{m\bar{o}a}=0,028 \cdot 10^{-6}$ 1/год.

Результати розрахунку експлуатаційної інтенсивності відмов оформляти у вигляді таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку експлуатаційної інтенсивності відмов мікросхем

Позначення на схемі	Тип корпусу	Коефіцієнт впливу типу корпусу на інтенсивність відмов	Ступінь інтеграції	Коефіцієнт впливу ступеня інтеграції на інтенсивність відмов	Базова інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$ /год	Експлуатаційна інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$ /год

Експлуатаційна інтенсивність відмов друкованої плати з урахуванням металізованих отворів (пайка в неметалізованих отворах відсутня) визначається за формулою

$$\lambda_n = \lambda_{\text{он}}N, \quad (2.7)$$

де $\lambda_{\text{он}}$ – базова інтенсивність відмов одного металізованого отвору в платі при паянні елементів, $\lambda_{\text{он}} = 0,000017 \cdot 10^{-6}$ 1/Год;

N – кількість металізованих отворів у платі.

Експлуатаційна інтенсивність відмов електропривода розраховується за формулою $\lambda_{\text{ЕП}} = \sum \lambda_i$, де λ_i – експлуатаційні інтенсивності відмов окремих елементів схеми.

З урахуванням результуючої експлуатаційної інтенсивності відмов ЕП будемо графік ймовірності безвідмовної роботи розрахований за формулою $P(t) = e^{-\lambda_{\text{ЕП}}t}$, приклад якого показаний на рис. 2.1.

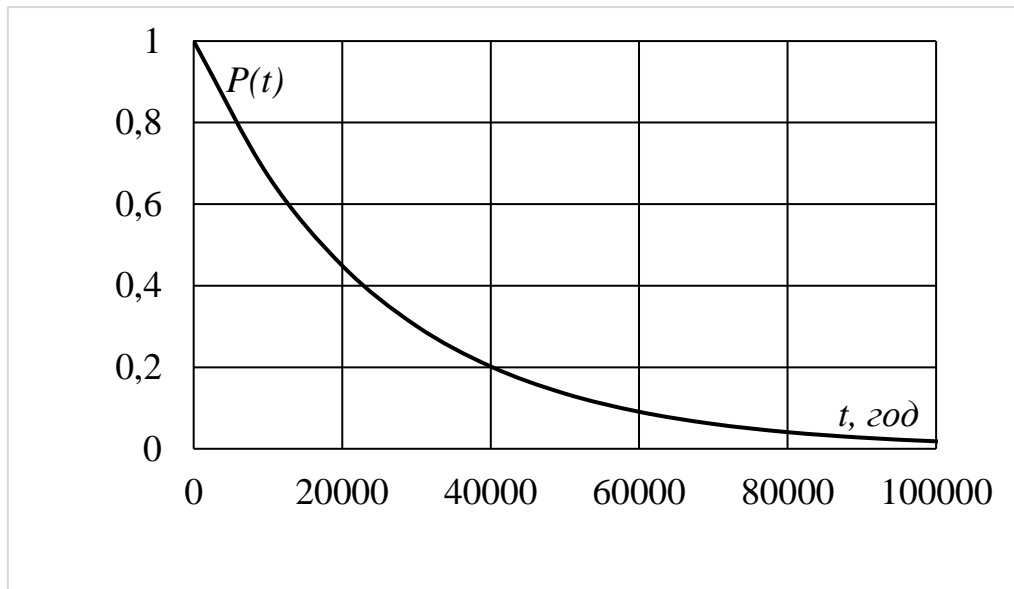


Рисунок 2.1 - Графік залежності ймовірності безвідмовної роботи електропривода

За графіком визначаємо час напрацювання на відмову для ймовірності безвідмовної роботи $P(t)=0,85$. Загальне напрацювання на відмову, при якому ймовірність безвідмовної роботи $P(t)=0,36$ зменшується в « e » разів ($e \approx 2,718$), розраховується за формулою $T_{0,36} = (\sum \lambda_{en})^{-1}$ роки. Термін роботи електропривода до капітального ремонту або заміни розраховується за формулою $T_{кр} = 3T_{0,36}$.

2.3 Методичні вказівки до виконання розділу "Діагностика несправностей електропривода".

Для виконання розділу необхідно скласти алгоритм діагностики несправностей електропривода, якщо при запуску схеми двигун не обертається. Для цього складається алгоритмічна таблиця, в якій вказують зовнішній прояв

несправності, ймовірні причини несправностей в схемах силової та керування, алгоритм діагностики. Приклад наведений в таблиці 2.5 для зовнішнього прояву "При ручному вмиканні автоматичного вимикача відбувається його миттєве відключення".

Таблиця 2.5 – Приклад табличного діагностичного алгоритму для визначення несправностей схеми

Зовнішній прояв несправності	Ймовірні причини несправності	Діагностика несправностей
При ручному вмиканні автоматичного вимикача відбувається його миттєве відключення.	1) коротке замикання; 2) пробій транзистора	Перевірити: 1) опір ізоляції; 2) опір транзисторів і діодів.

За даними таблиці 2.5 складається графічний алгоритм пошуку несправності, як показано на рис. 2.2.

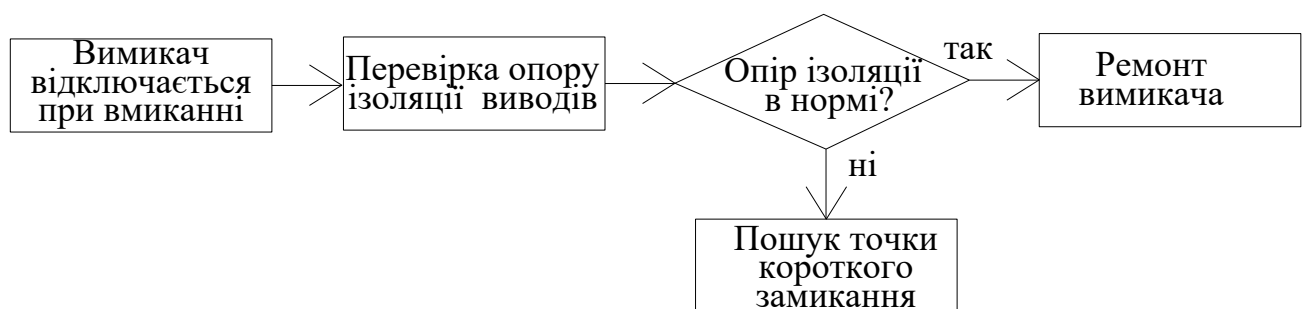


Рисунок 2.2 – Алгоритм пошуку несправності «При ручному вмиканні автоматичного вимикача відбувається його миттєве відключення»

Розрахункова робота закінчується висновками, в яких вказуються результати розрахунків.

Список використаних джерел

1. Лозинський О. Ю. Розрахунок надійності електроприводів / О. Ю. Лозинський, Я. Ю. Марущак, П. П. Костробій. – Львів: Вид-во ДУ «Львівська політехніка», 1996. – 234 с.
2. ДСТУ 2861-94. Аналіз надійності. Основні положення. – Київ: Держстандарт України, 1994. – 32 с.

2. Калкаманов С. А. Конспект лекцій з дисциплін «Технічна діагностика електромеханічних систем», / С. А. Калкаманов, А. В. Коваленко, В. М. Шавкун. – Харків: ХНУМГ, 2014. – 152 с.
3. Шавкун В. М. Сучасні технології діагностики електромехатронних систем: конспект лекцій. / В. М. Шавкун. – Харків: ХНУМГ, 2019. – 89 с.
4. Єсаулов С. М. Конспект лекцій з дисципліни «Діагностування електрообладнання транспортних засобів» / С. М. Єсаулов. – Харків: ХНАМГ, 2012. – 98 с.
5. Губаревич О.В. Надійність і діагностика електрообладнання: Підручник /О.В. Губаревич. – Сєвєродонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. – 248 с.
6. ДСТУ 2389-94. Технічна діагностика. Терміни і визначення. – Київ: Держстандарт України, 1994. – 26 с.
8. Кутін В.М. Діагностика електрообладнання: навчальний посібник /В. М.Кутін, М.О. Ілюхін, М.В. Кутіна. – Вінниця: ВНТУ, 2013. –161 с.

ДОДАТОК А
Варіанти схем електроприводів
Варіант №1

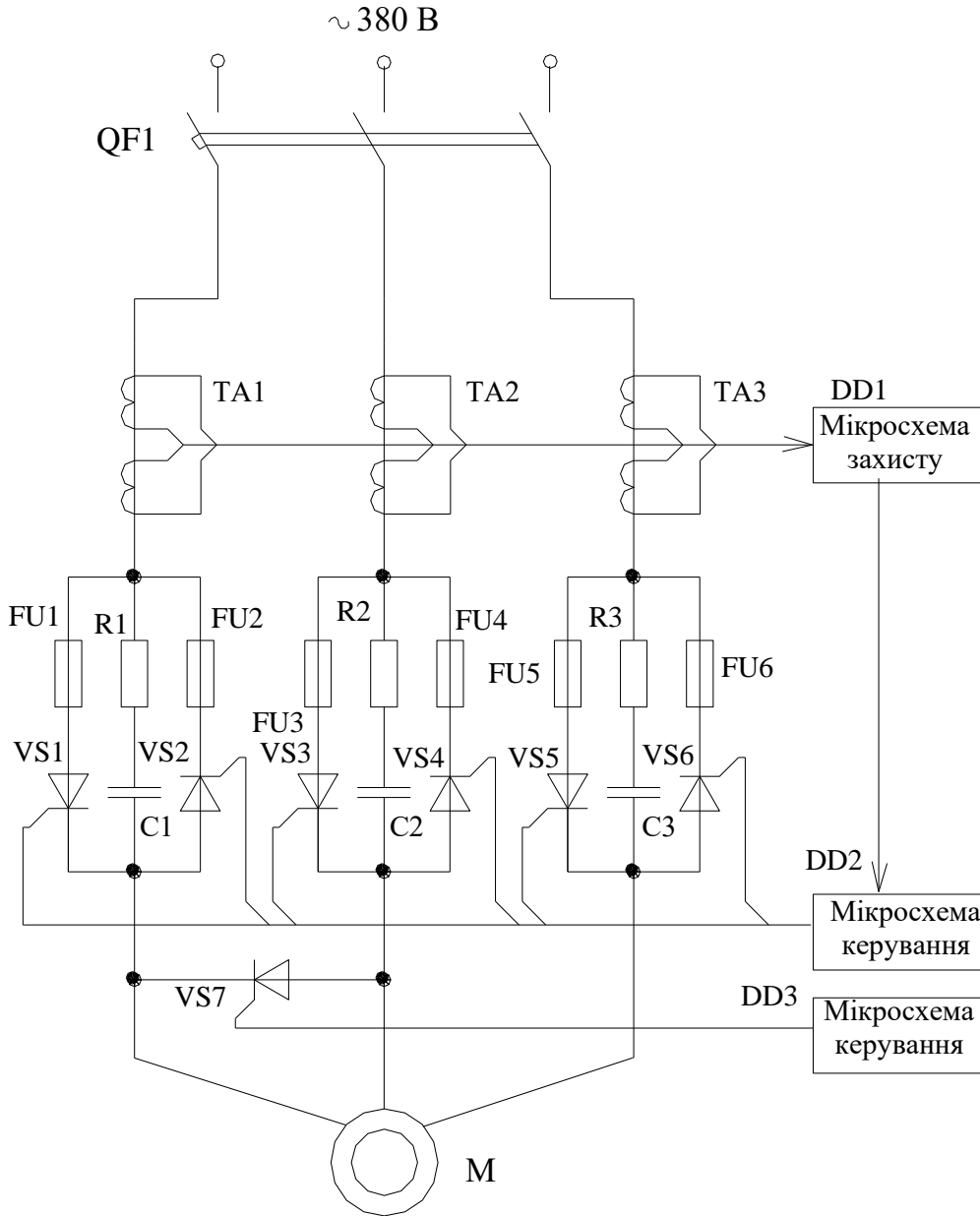


Рисунок А1.1 – Силова схема асинхронного електропривода з тиристорним регулятором напруги

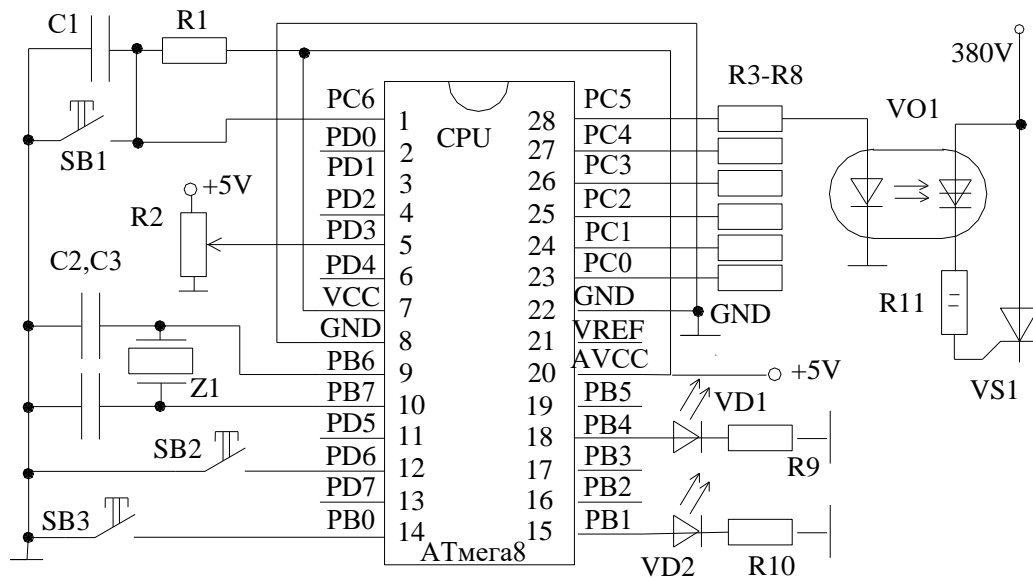


Рисунок А1.2 – Схема керування тиристорним регулятором напруги

Таблиця А1 – Перелік елементів схем

Позиція	Найменування	Кількість
QF1	Автоматичний вимикач А3713 600V 40А	1
M1	Двигун 4А250-6-12 20 кВт 380 В	1
R1-R3	Резистор С5-35-10-33 Ом ± 10 %	3
C1-C3	Конденсатор МБГЧ-0,25 мкФ ± 10% -500 В	3
ТА1-ТА3	Трансформатор струму ТС-25/5	3
VS1-VS7	Тиристор Т141-80-7	7
DD1-DD3	Мікросхема АТtiny2313	3
FU1-FU6	Запобіжник В588-100	6
CPU	Мікросхема АТмега8	1
R1	Резистор МЛТ-0,125-10 кОм ±10 %	1
R2	Змінний резистор СП2-0,125-1,6 кОм ±10 %	1
R3- R8	Резистор МЛТ-0,125-150 Ом ±10 %	6
R9, R10	Резистор МЛТ-0,125-170 Ом±10 %	1
R11	Резистор МЛТ-2-20 Ом±10 %	6
VD1,VD2	Світлодіод АЛ302Б	2
VO1- VO6	Тиристор оптронний ТО-1-7	6
C1	Конденсатор КМ6Б-1 мкФ-20 В	1
C2, C3	Конденсатор КМ6Б-0,33 мкФ-20 В	2
Z1	Кварцевий резонатор 1МГц	1

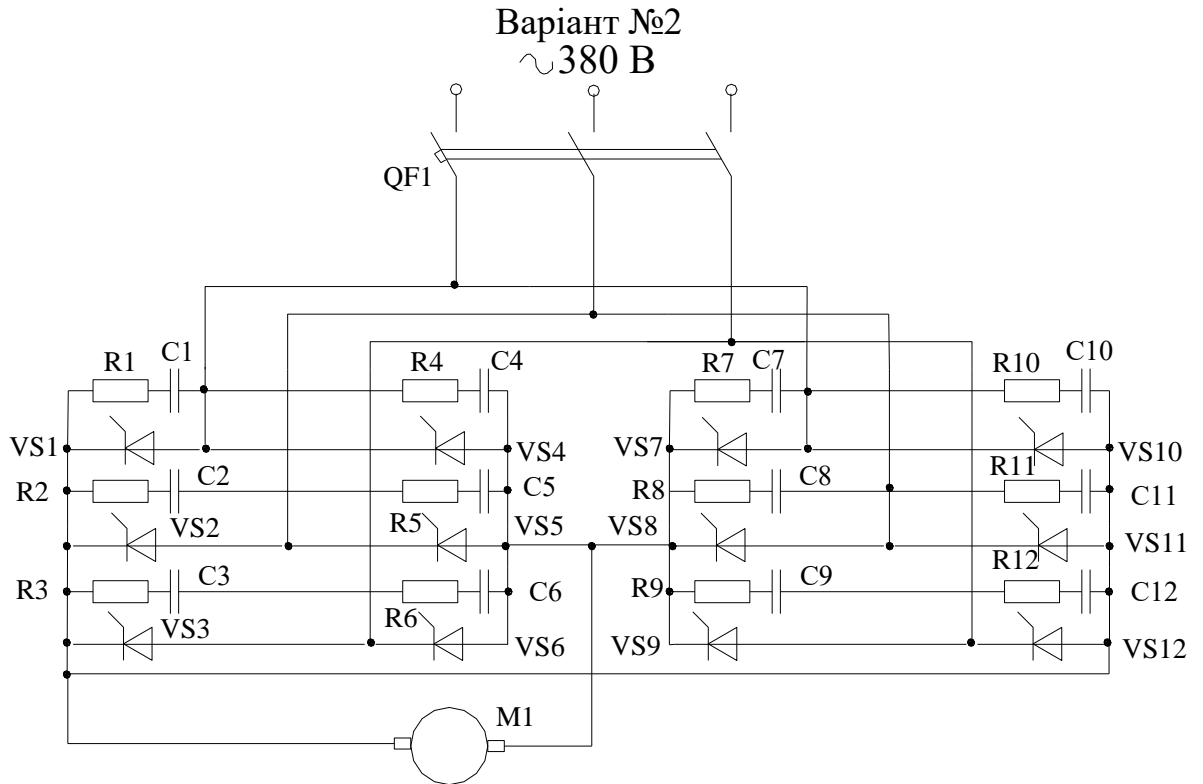


Рисунок А2.1 – Силова схема реверсивного тиристорного електроприводу постійного струму

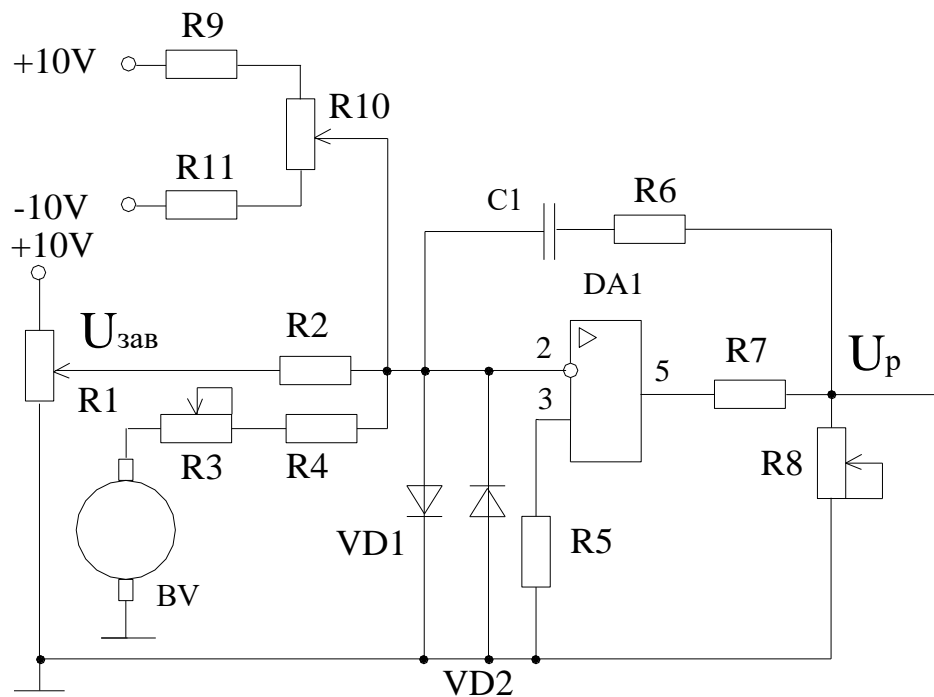


Рисунок А2.2 – Схема пропорційно-інтегрального регулятора швидкості

Таблиця А2 – Перелік елементів схеми

Позиція	Найменування	Кількість
QF1	Автоматичний вимикач ВА570Б 600V	1
M1	Двигун 4Ф250-6-12-30 кВт-440 В	1
R1-R3	Резистор С5-35-10-33 Ом ± 10 %	12
C1-C3	Конденсатор МБГЧ-0,25 мкФ ± 10% -500 В	12
VS1-VS12	Тиристор Т141-80-7	12
R1,R8,R10	Змінний резистор СП2-0,125-10 кОм± 10 %	3
R3	Змінний резистор СП2-0,125-33 кОм ± 10 %	1
R2,R4,R5,R7	Резистор МЛТ-0,125-2 кОм± 10 %	4
R9,R11	Резистор МЛТ-0,125-4,7 кОм± 10 %	2
R6	Резистор МЛТ-0,125-1 кОм± 10 %	1
C1	Конденсатор КМ6Б-1 мкФ ± 10% -20 В	1
DA1	Мікросхема К140УД14Б	1
VD1,VD2	Діод Д220Б	2
BV	Тахогенератор ТМГ30-1900 об/хв 110 В	1

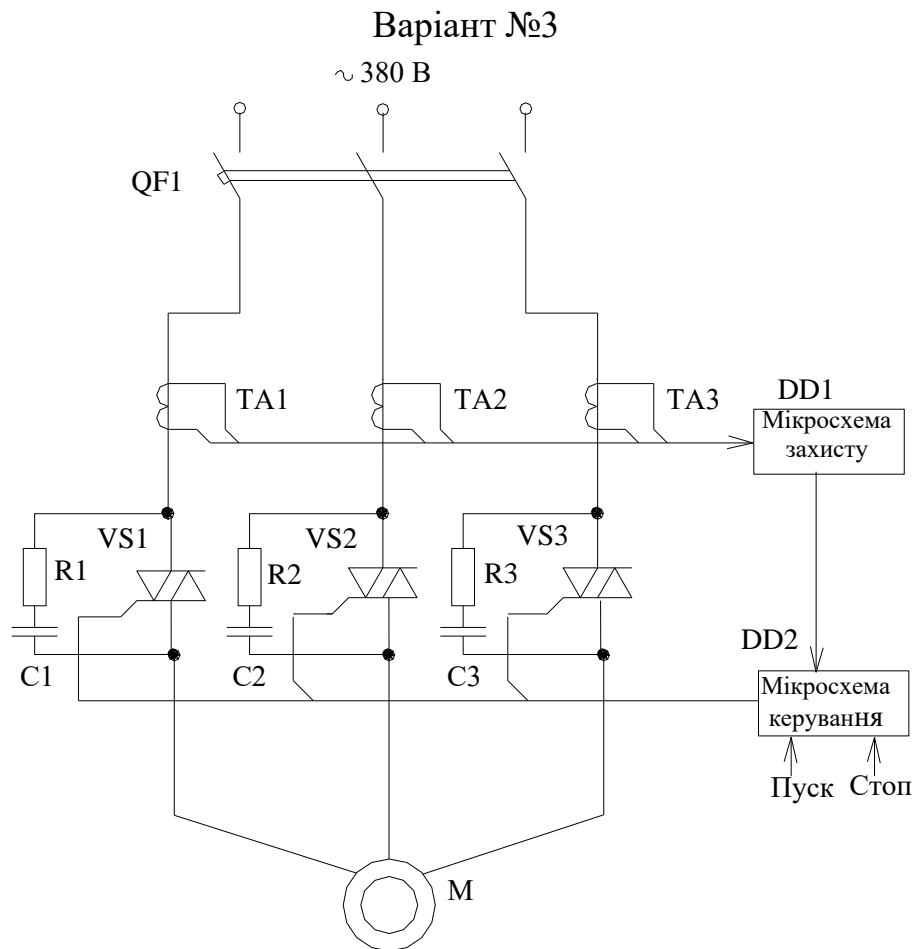


Рисунок А3.1 – Силова схема асинхронного симисторного електропривода

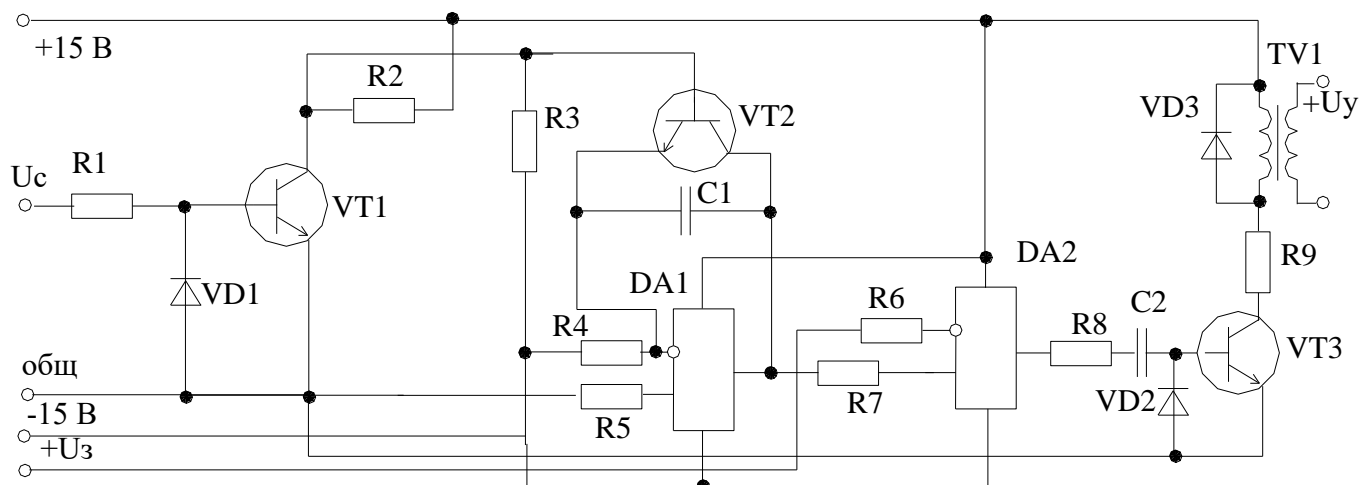


Рисунок А3.2 – Схема керування симистором

Таблиця А3– Перелік елементів схем

Позиція	Найменування	Кількість
QF1	Автоматичний вимикач А3713 600V 40А	1
M1	Двигун 4А250-6-12 7,6 кВт 380 В	1
R1-R3	Резистор С5-35-10-33 Ом ± 10 %	3
C1-C3	Конденсатор МБГЧ-0,25 мкФ ± 10% -500 В	3
ТА1-ТА3	Трансформатор струму ТС-25/5	3
VS1-VS3	Симистор ТС141-80-7	3
	Схема керування симистором	
R1-R3	Резистор МЛТ-0,125-1,6 кОм	3
R4-R8	Резистор МЛТ-0,125-10 кОм	5
R9	Резистор МЛТ-0,125-470 Ом	1
VD1-VD3	Діод Д220Б	3
VT1-VT3	Транзистор КТ315Г	3
DA1,DA2	Мікросхема 140УД8Б	3
TV1	Трансформатор імпульсний	1
C1, C2	Конденсатор КМ6Б-1 мкФ-20 В	2

Вариант №4

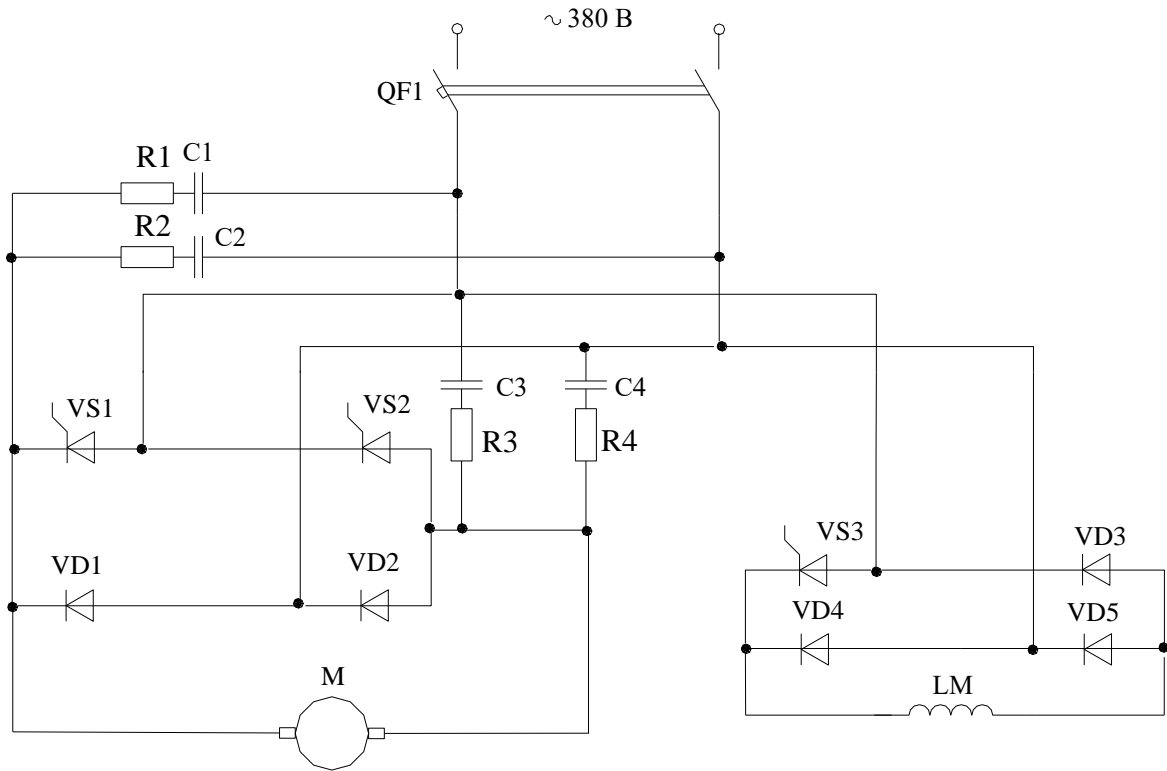


Рисунок А4.1 – Силовая схема нереверсивного тиристорного электропривода постоянного струму

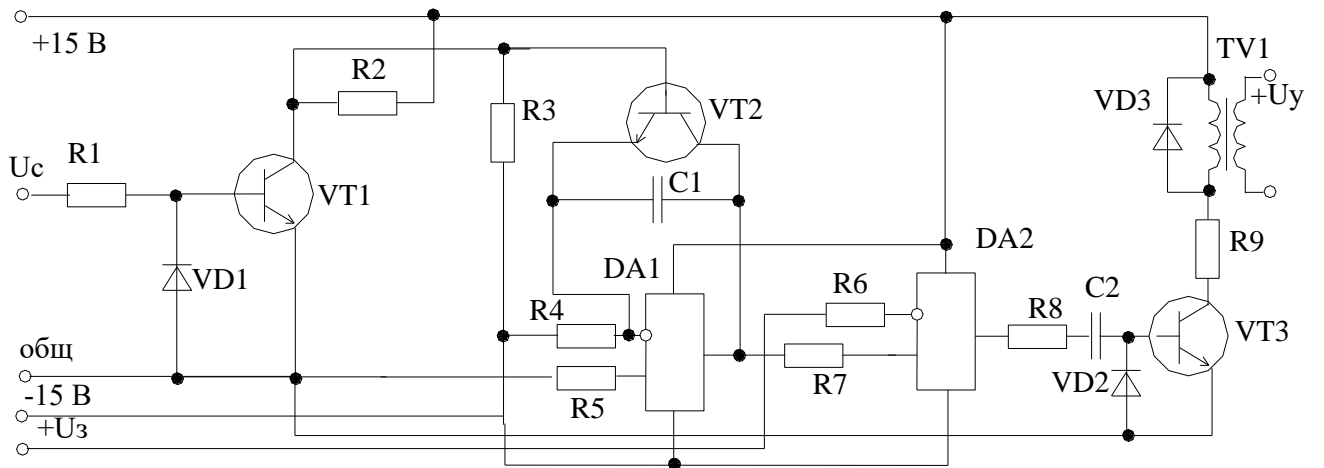


Рисунок А4.2 – Схема імпульсно-фазового керування тиристором

Таблиця А4– Перелік елементів схем

Позиція	Найменування	Кількість
QF1	Автоматичний вимикач АП50 400V 10А	1
M1	Двигун 4Ф150-6-12-5 кВт-220 В	1
R1-R4	Резистор С5-35-10-33 Ом ± 10 %	4
C1-C4	Конденсатор МБГЧ-0,25 мкФ ± 10% -500 В	4
VS1-VS2	Тиристор Т141-80-7	2
VS3	Тиристор Т142-20-7	2
VD1,VD2	Діод Д142-80-7	2
VD3-VD5	Діод Д242-10-7	3
L	Згладжувальний реактор	1
R1-R3	Резистор МЛТ-0,125-1,6 кОм	3
R4-R8	Резистор МЛТ-0,125-10 кОм	5
R9	Резистор МЛТ-0,125-470 Ом	1
VD1,VD2	Діод Д220Б	2
VT1-VT3	Транзистор КТ315Г	3
DA1,DA2	Мікросхема 140УД8Б	3
TV1	Трансформатор імпульсний	1
C1, C2	Конденсатор КМ6Б-1 мкФ-20 В	2

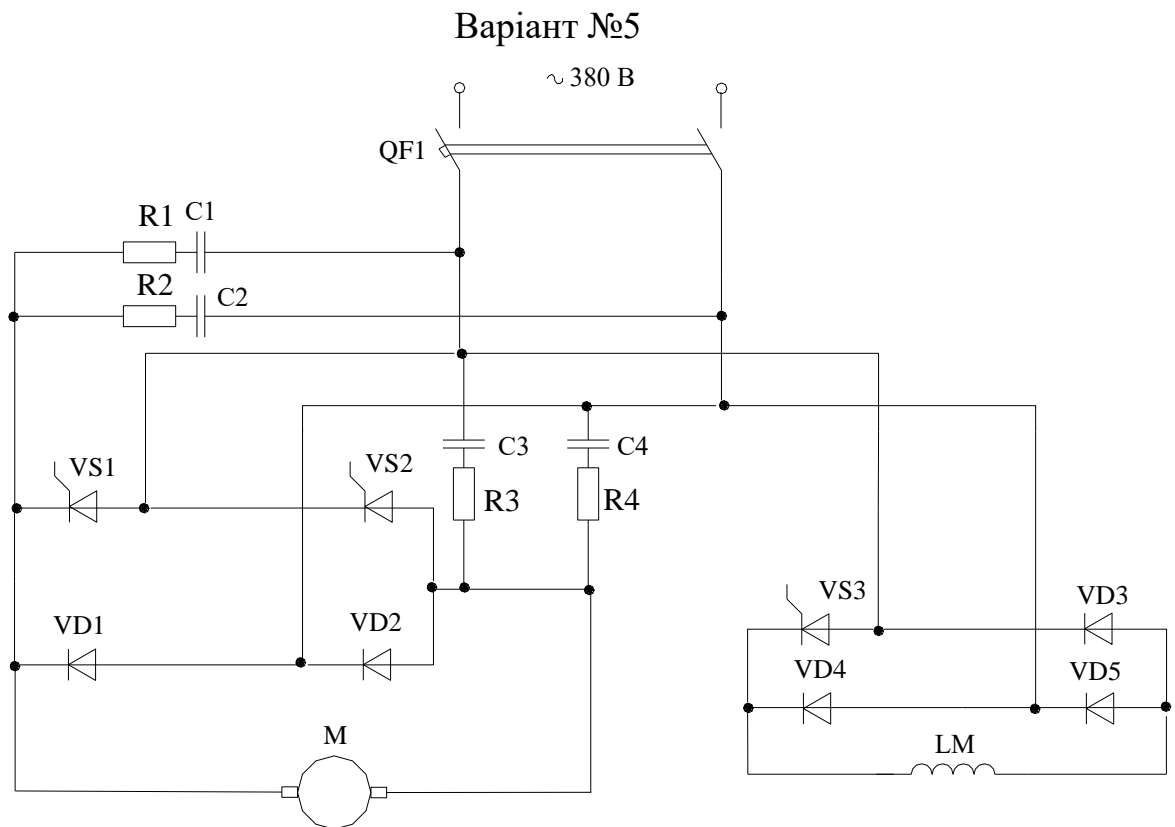


Рисунок А5.1 – Силова схема неперевсивного тиристорного електропривода постійного струму

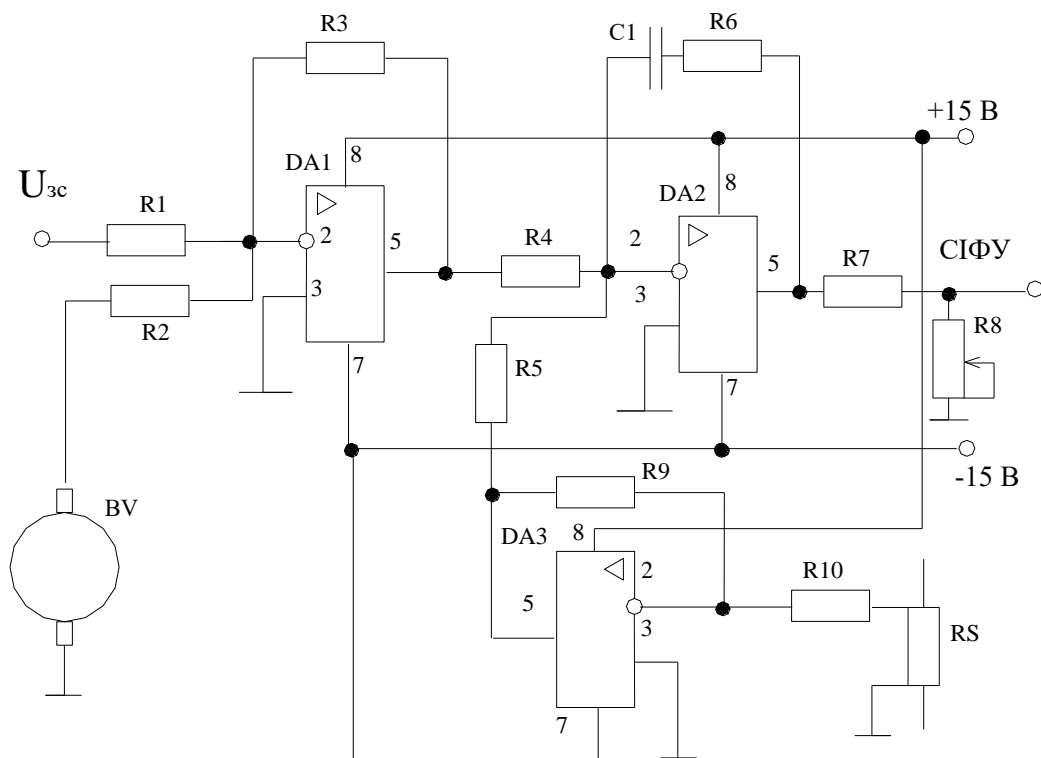


Рисунок А5.2 – Схема регуляторів швидкості і струму

Таблиця А5– Перелік елементів схем

Позиція	Найменування	Кількість
QF1	Автоматичний вимикач АП50Б 400V 25A	1
M1	Двигун 4ПФ-125-6-12 2 кВт 220 В	1
R1-R4	Резистор С5-35-10-33 Ом ± 10 %	4
C1-C4	Конденсатор МБГЧ-0,25 мкФ ± 10% -500 В	4
VS1, VS2	Модуль тиристорний МТТ2-40-7	1
VS3	Тиристор Т142-40-7	1
VD1, VD2	Модуль діодний МДД2-40-7	1
VD4-VD6	Діод Д112-10-7	2
R1, R4, R5	Резистор МЛТ-0,125-1,6 кОм	2
R7, R10	Резистор МЛТ-0,125-1 кОм	2
R9	Резистор МЛТ-0,125-100 кОм	1
R2	Резистор МЛТ-2-33 кОм	1
R3, R6	Резистор МЛТ-0,125-10 кОм	2
R8	Резистор змінний СП2-2-10 кОм	1
C1	Конденсатор КМ6Б-1 мкФ-20 В	1
DA1-DA3	Мікросхема 140УД8Б	3
RS	Шунт вимірювальний 20 А, 75 мВ	1
BV	Тахогенератор ТМГ30-1900 об/хв., 230 В	1

Вариант №6

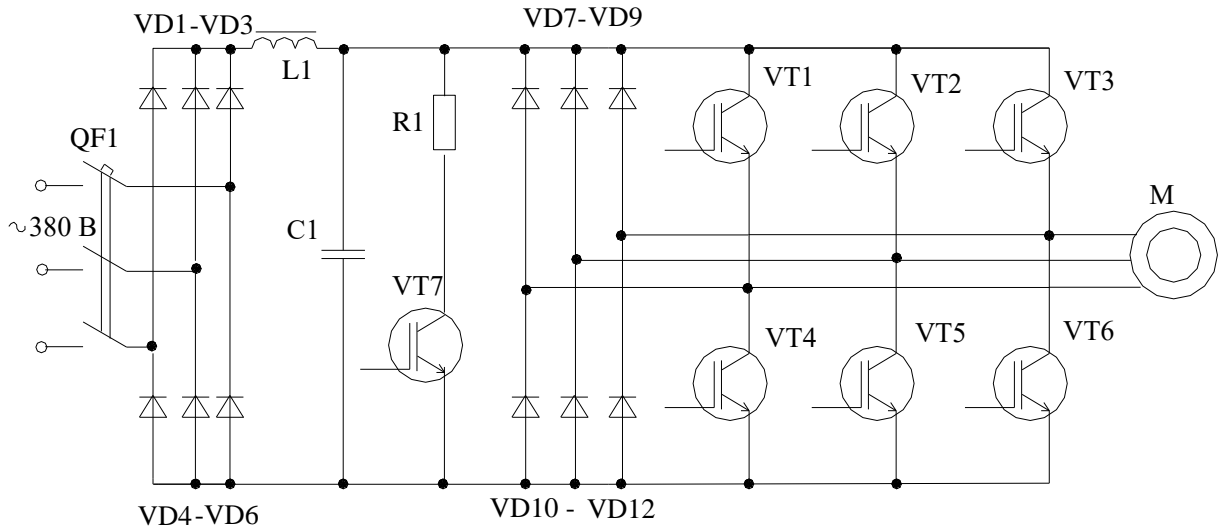


Рисунок А6.1 – Силовая схема асинхронного частотного электропривода

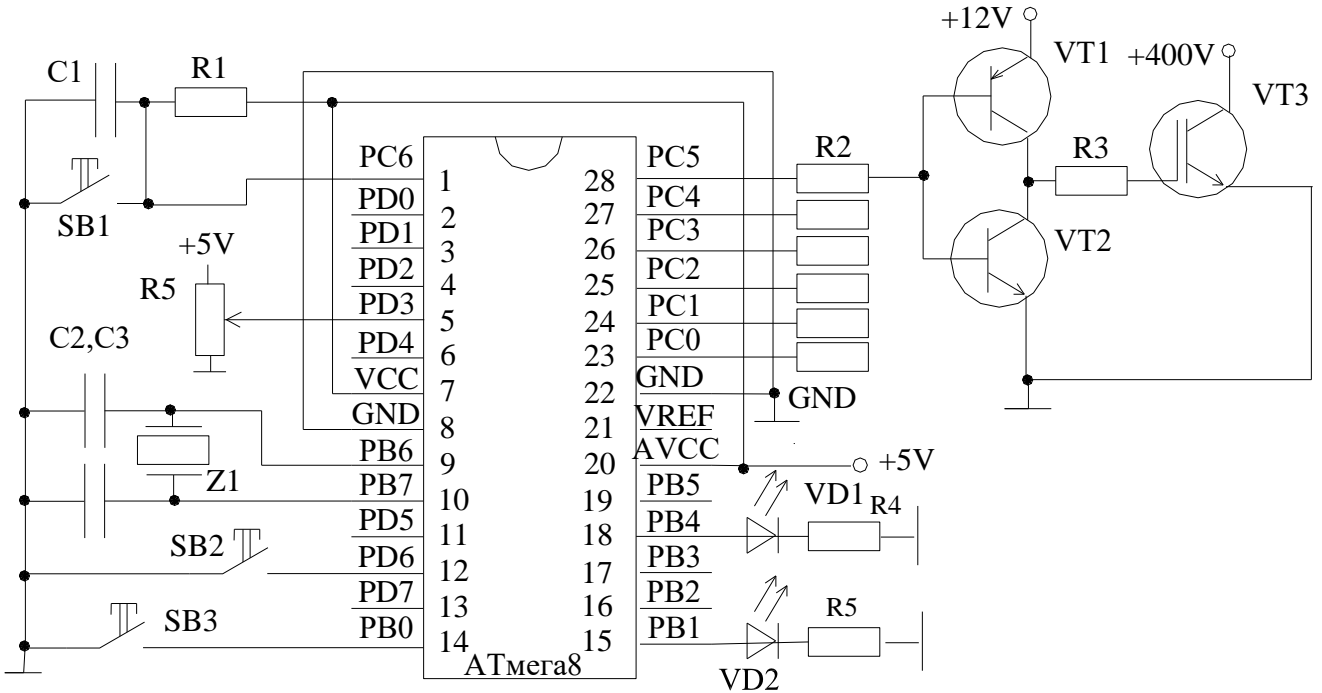


Рисунок А6.2 – Схема керування транзистором з ізольованим затвором автономного інвертора

Таблиця А6 – Перелік елементів схеми

Позиція	Найменування	Кількість
	Силова схема	
QF1	Автоматичний вимикач А3713 250V 120А	1
M1	Двигун 4А-150-6-12 20 кВт 220 В	1
C1	Конденсатор К56, 1000 мкФ ± 10% -500 В	1
VD1-VD6	Діод Д142-100-7	6
VD7- VD12	Діод Д142-40-7	6
VT1-VT6	Транзистор G75G134, 60 А, 600 В	6
VT7	Транзистор G75G134, 10 А, 700 В	1
R1	Резистор ПЕВ200-10 Ом ±10 %	1
	Схема керування	
CPU	Мікросхема АТmega8	1
R1	Резистор МЛТ-0,125-10 кОм ±10 %	1
R2- R5	Резистор МЛТ-0,125-150 Ом ±10 %	4
VT1	Транзистор КТ361Б, 100 мА, 50 В	1
VT2	Транзистор КТ315Д, 100 мА, 50 В	1
R2	Змінний резистор СП2-0,125-1,6 кОм±10 %	1
R3- R8	Резистор МЛТ-0,125-150 Ом±10 %	6
VD1,VD2	Світлодіод АЛ302Б, 20 мА	2
C1	Конденсатор КМ6Б-1 мкФ-20 В	1
C2, C3	Конденсатор КМ6Б-0,33 мкФ-20 В	2
SB1-SB3	Кнопка КЕ-021 0,1 А, 100 В	3
Z1	Кварцевий резонатор 1МГц	1

Варіант №7

Таблиця А7 – Перелік елементів схеми

Позиція	Найменування	Кількість
1	2	3
QF1	Автоматичний вимикач А3713 600V 80А	1
M1	Двигун 4ПФ-150-6-12 20 кВт 220 В	1
VT3	Транзистор G75G134, 120 А, 300 В	4
VD3,VD4	Діод Д112-10-4	8
C1	Конденсатор К50-6, 100 мкФ ± 10% -500 В	4
R9	Резистор ПЕВ200-10 Ом ±10 %	4
R8	Резистор МЛТ-0,25-150 Ом ±10 %	4
VT1	Транзистор КТ361Б, 100 мА, 50 В	4

Продовження таблиці А7

1	2	3
VT2	Транзистор КТ315Д, 100 мА, 50 В	4
R2- R5	Резистор МЛТ-0,25-150 Ом±10 %	4
VD1,VD2	Світлодіод АЛ302Б, 20 мА	2
R6,R7	Резистор МЛТ-0,25-150 Ом±10 %	4
CPU	Мікросхема АТmega8	1
R1	Резистор МЛТ-0,125-10 кОм ±10 %	1
R2	Змінний резистор СП2-0,125-1,6 кОм ±10	1
Z1	Кварцевий резонатор 1МГц	1
C1	Конденсатор КМ6Б-1 мкФ-20 В	1
C2, C3	Конденсатор КМ6Б-0,33 мкФ-20 В	2
SB1- SB3	Кнопка КЕ-021 0,1 А, 100 В	3

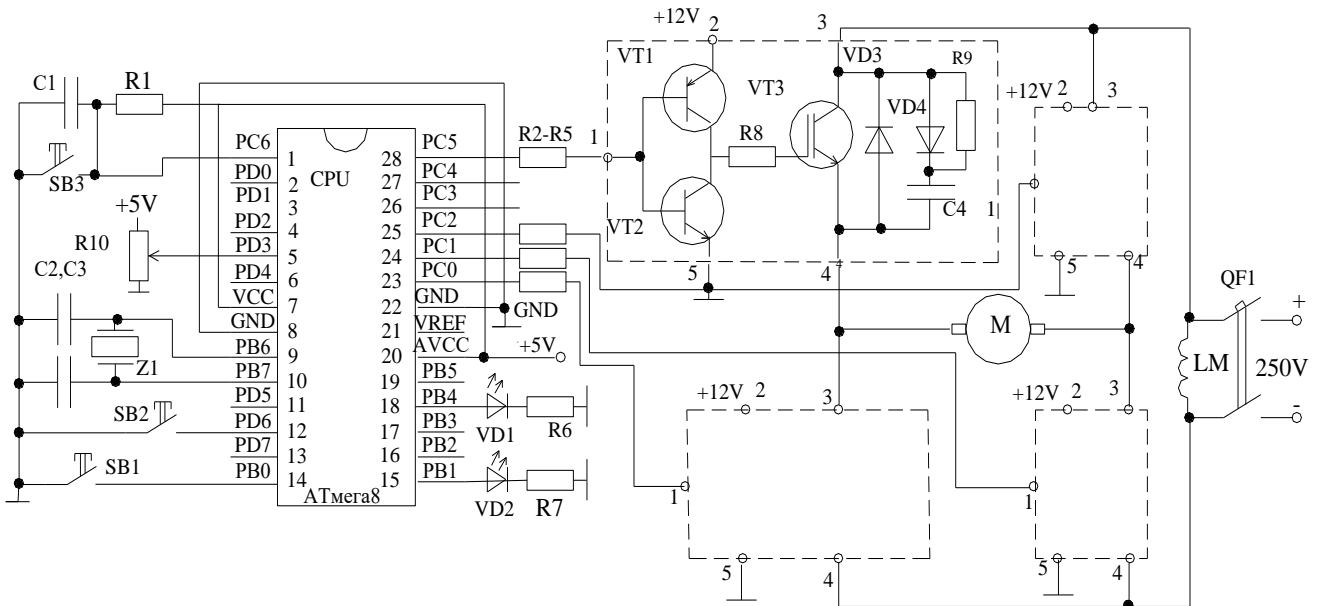


Рисунок А7.1 – Схема реверсивного транзисторного електропривода постійного струму

Варіант №8

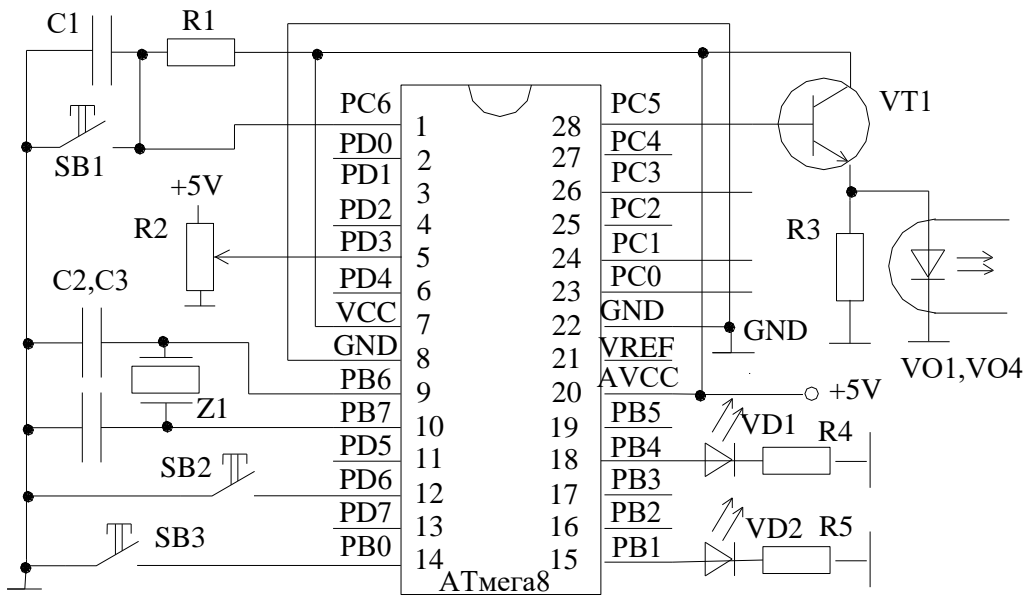
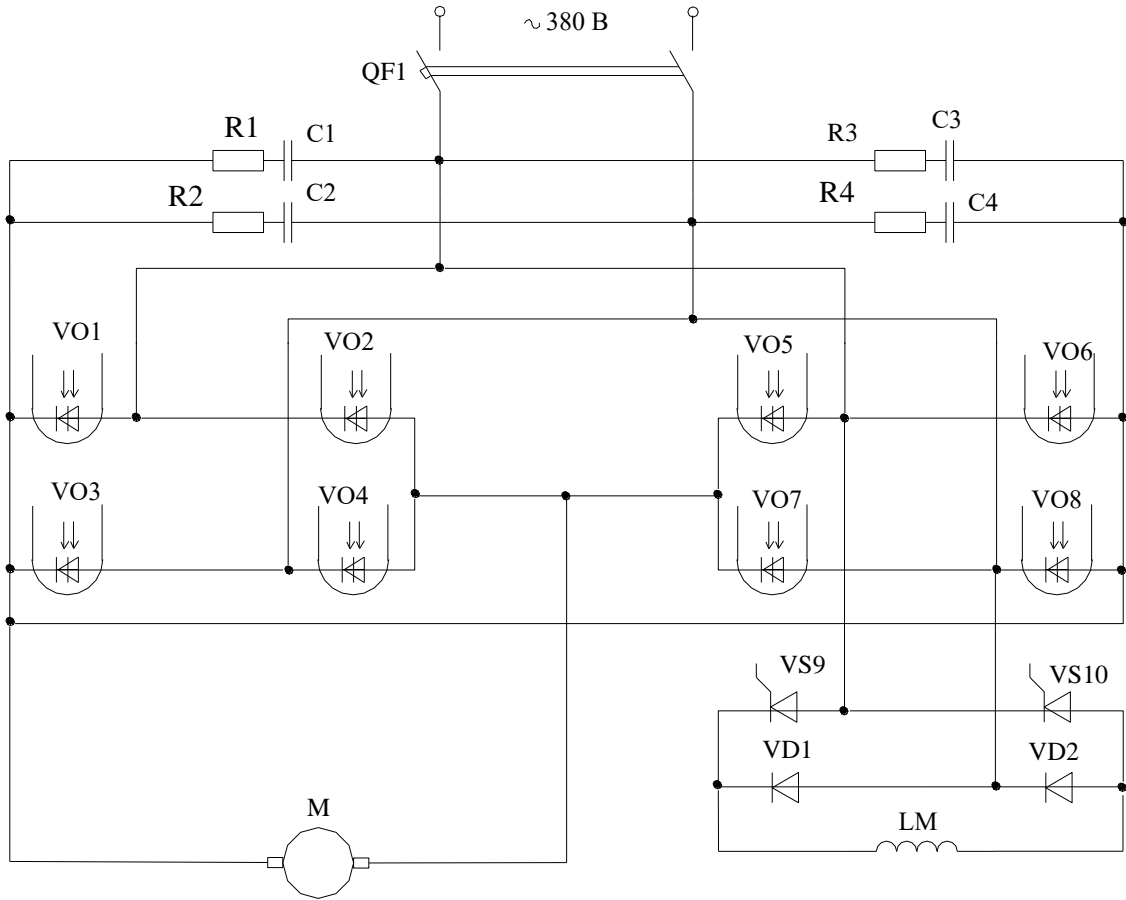


Рисунок А8 – Силова схема електропривода постійного струму та схема керування оптодіодом

Таблиця А8 – Перелік елементів схеми

Позиція	Найменування	Кількість
QF1	Автоматичний вимикач ВА 88-125, 400V	1
M1	Двигун 4ПФ-150-6-12 20 кВт 220 В	1
VO1,VO2	Модуль тиристорний МТТ02-80-5	4
VS9, VS10	Тиристор КУ202Н-10-4	1
VD2,VD3	Діод Д112-10-5	2
R1-R4	Резистор С5-35-10-33 Ом ± 10 %	4
C1-C4	Конденсатор МБГЧ-0,25 мкФ ± 10% -500 В	4
VT1	Транзистор КТ315Д, 100 мА, 50 В	4
VD1,VD2	Світлодіод АЛ302Б, 20 мА	2
R1	Резистор МЛТ-0,125-10 кОм ±10 %	1
R2	Змінний резистор СП2-0,125-1,6 кОм ±10	1
CPU	Мікросхема АТmega8	1
C1	Конденсатор КМ6Б-1 мкФ-20 В	1
C2, C3	Конденсатор КМ6Б-0,33 мкФ-20 В	2
SB1-SB3	Кнопка КЕ-021 0,1 А, 50 В	3
R3- R5	Резистор МЛТ-0,25-150 Ом±10 %	4
Z1	Кварцевий резонатор 1МГц	1

Варіант №9

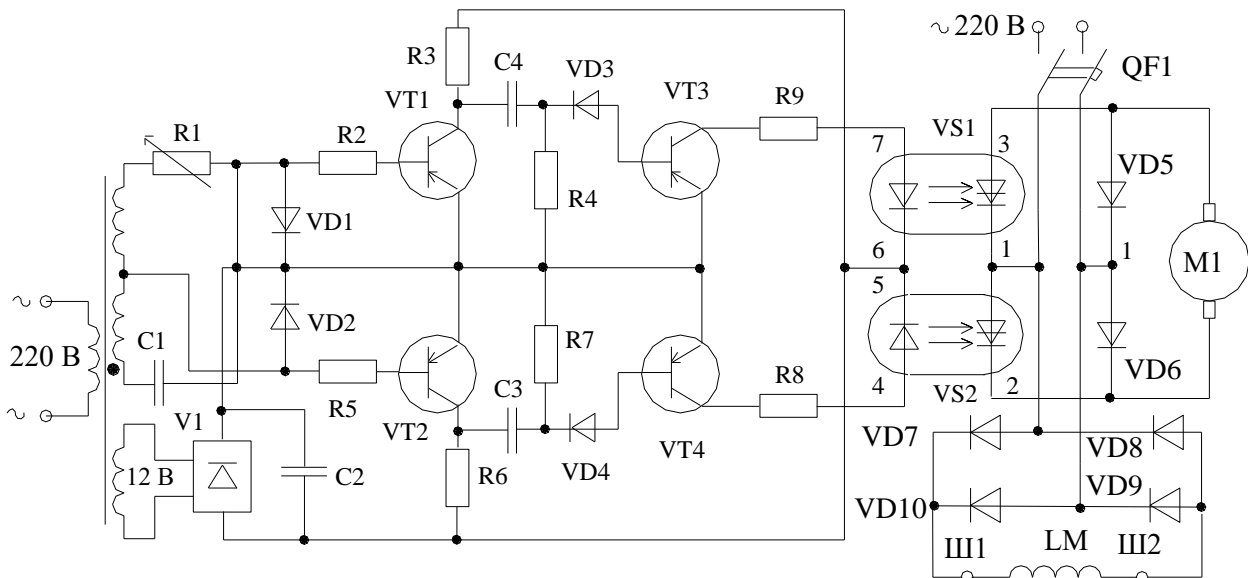


Рисунок А9 – Схема електропривода постійного струму

Таблиця А9 – Перелік елементів схеми

Позиція	Найменування	Кількість
QF1	Автоматичний вимикач АП50Б 400V 25A	1
M1	Двигун 4ПФ-125-6-12 5 кВт 220 В	1
VS1, VS2	Модуль тиристорний МТТ02-25-5	1
VD1 – VD4	Діод Д220Б,50 мА, 50 В	4
VD5,VD6	Діод Д112-25-5	2
VD7 –VD10	Діод Д231-2-5	4
R1	Змінний резистор СП2-0,125-1,6 кОм ±10	1
R2, R5	Резистор МЛТ-0,25-350 Ом±10 %	2
R3, R6	Резистор МЛТ-0,125-150 Ом±10 %	2
R4, R7	Резистор МЛТ-0,125-680 Ом±10 %	2
R8, R9	Резистор МЛТ-0,125-47 Ом±10 %	2
C1	Конденсатор КМ6Б-2 мкФ-20 В	1
C2, C3	Конденсатор КМ6Б-0,33 мкФ-20 В	2
T1	Трансформатор 220/25/12 В 20 ВА	1

Варіант №10

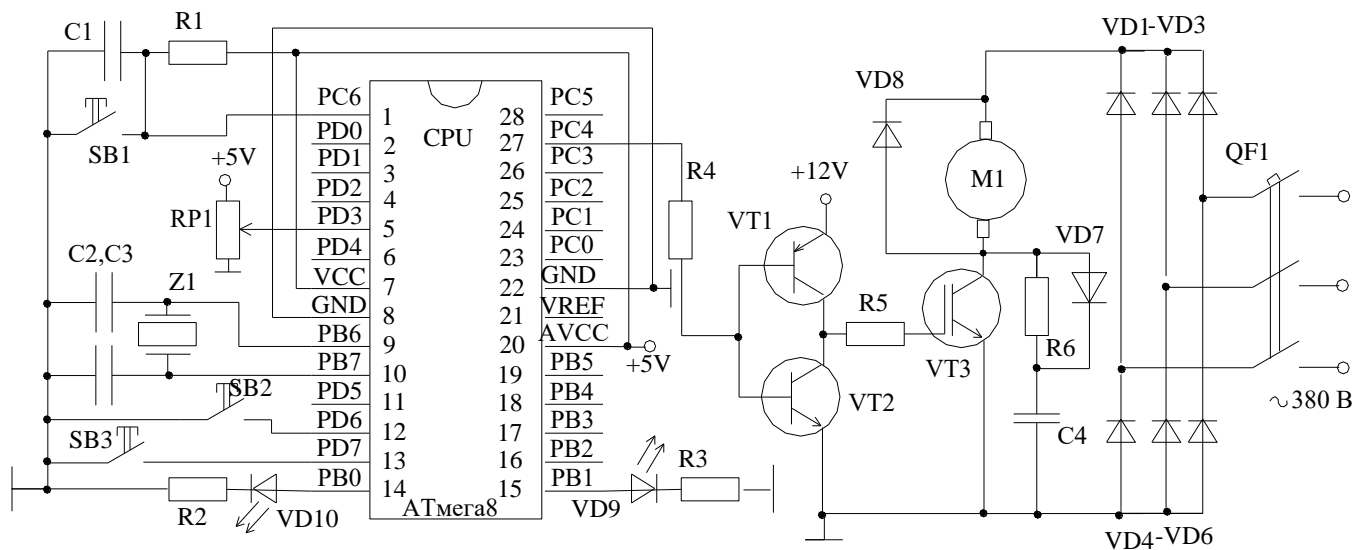


Рисунок А10 – Схема електропривода постійного струму

Таблиця А10 – Перелік елементів схеми

Позиція	Найменування	Кількість
QF1	Автоматичний вимикач А3713 600V 120А	1
M1	Двигун 4ПФ-150-6-12 20 кВт 220 В	1
VT3	Транзистор G75G134, 120 А, 300 В	1
VD1-VD6	Діод Д142-40-7	6
VD8	Діод Д112-20-7	1
VD7	Діод Д231-4 5А	1
VD9,VD10	Світлодіод АЛ302Б, 20 мА	2
VT1	Транзистор КТ361Б, 100 мА, 50 В	1
VT2	Транзистор КТ315Д, 100 мА, 50 В	1
R1	Резистор МЛТ-0,125-10 кОм ±10 %	1
RP1	Змінний резистор СП2-0,125-1,6 кОм ±10	1
R2-R5	Резистор МЛТ-0,125-150 Ом±10 %	4
CPU	Мікросхема АТmega8	1
Z1	Кварцевий резонатор 1МГц	1
C1	Конденсатор КМ6Б-1 мкФ-20 В	1
C2, C3	Конденсатор КМ6Б-0,33 мкФ-20 В	2
SB1-SB3	Кнопка КЕ-021 0,1 А, 100 В	3

ДОДАТОК Б

Таблиця Б1 – Базова інтенсивність відмов елементів електричних схем

Групи елементів	$\lambda_{\text{Б}}, \times 10^{-6} \text{ 1/год}$
1	2
1. Інтегральні мікросхеми	
Мікросхеми цифрові: - логічні, арифметичні, мікропроцесори, регістри та ін. - оперативні запам'ятовуючі пристрої (ОЗП) - постійні запам'ятовуючі пристрої (ПЗПУ, ППЗП, РПЗП)	0,023 0,030 0,018
Мікросхеми аналогові	0,023
Мікросхеми гібридні	0,025
Мікросхеми невідомої технології	0,1
2. Напівпровідникові прилади	
Стабілітрони	0,003
Діоди	0,04
Транзистори польові кремнієві	0,0096
Транзистори біполярні кремнієві	0,044
Тиристори	0,2
Транзистори біполярні великої потужності	0,18
3. Оптиелектронні напівпровідникові прилади	
Фотодіоди на основі кремнія	0,185
Фототранзистори	0,15
Фоторезистори	1,8
Світлодіоди, у тому числі інфрачервоного випромінювання	0,034
Оптопари діодні та транзисторні, резисторні	0,051
Оптопари тиристорні, мікросхеми оптиелектронні	0,19
4. Знакосинтезуючі індикатори	
Буквенно-цифрові дисплеї з діодною матрицею	0,42
Індикатори вакуумні люмінесцентні цифрові Індикатори рідинно-кристалічні цифрові багаторозрядні	0,83 0,69
5. Конденсатори	
Слюдяні Керамічні Бумажні та металобумажні Електролітичні	0,04 0,008 0,019 0,173
6. Резистори	
Резистори постійні непроволочні: - металодіелектричні, металізовані, композиційні Резистори змінні: - непроволочні - проволочні - терморезистори	0,002 0,034 0,179 0,183 0,007

Продовження таблиці Б1

1	2
7. Елементи комутаційні	
Перемикачі галетні	0,058
Тумблери	0,1
Кнопки, кнопочні перемикачі, мікроперемикачі	0,16
Перемикачі на базі герконів	0,045
Контакти магнітокеровані:	
- замикаючі	0,008
- перемикаючі	0,018
8. З'єднувачі (роз'єми)	
- низькочастотні прямокутні для друкованого монтажу	0,0041
- низькочастотні для об'ємного монтажу	0,0104
- роз'єми прямокутні для друкованого монтажу	0,00122
10. Інші елементи та компоненти	
Трансформатори:	
- для живлення	0,0035
- погоджувальні, імпульсні та інші	0,0019
Дроселі	0,033
Котушки індуктивності	0,01
Реле електромагнітні загального призначення	0,1
Кварцові резонатори в плоскому металевому корпусі	0,17
Запобіжники	0,011
Індикаторні електричні лампочки:	
- при змінній напрузі до 12 В	1,8
- при постійній напрузі до 12 В	5,4
- при змінній напрузі 200 ... 240 В	77,8
З'єднання:	
- ручна пайка без накрутки	0,0013
- ручна пайка з накруткою	0,0007
- пайка хвилею	0,0007
- обжимка (опресовування)	0,00012
- клемний блок (вузол)	0,062
Друкований монтаж	0,001
Кабелі, шнури, дроти монтажні на 1 метр довжини	0,00011
Дроти монтажні з гумовою ізоляцією на 1 метр довжини	0,037

Таблиця Б2 - Коефіцієнти впливу на інтенсивність відмов номінальної потужності резисторів

Потужність, Вт	0,125	0,25	0,5	1–2	5–10
Коефіцієнти впливу	0,7	0,8	0,9	1,5	4,5

Таблиця Б3 - Коефіцієнти впливу на інтенсивність відмов величини опору резисторів

Діапазон опорів	< 1 кОм	1 - 100 кОм	100 кОм - 1 МОм
Коефіцієнти впливу	1	0,7	2

Таблиця Б4 – Коефіцієнти впливу на інтенсивність відмов резисторів відносного завантаження струмом

Відносне завантаження	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Коефіцієнти відмов, $K_{за}$	0,35	0,4	0,45	0,5	0,57	0,64	0,81	1

Таблиця Б5 – Коефіцієнти впливу на інтенсивність відмов конденсаторів від завантаження напругою

Коефіцієнти завантаження напругою U_p/U_N	Коефіцієнти впливу залежно від типів конденсаторів		
	Керамічні типа КМ-5а, К10-50а	Оксидно-електролітичні типу К-50	Оксидно-напівпровідникові типу К-53
0,1	0,03	0,14	0,15
0,2	0,03	0,15	0,16
0,3	0,05	0,17	0,17
0,4	0,09	0,20	0,21
0,5	0,15	0,26	0,26
0,6	0,23	0,33	0,34
0,7	0,36	0,44	0,46
0,8	0,52	0,59	0,61
0,9	0,75	0,76	0,81
1	1,0	1,0	1,0

Таблиця Б6 – Коефіцієнти впливу на інтенсивність відмов величини ємності конденсаторів

Керамічні		Оксидно-електролітичні	
C , пф	K_c	C , мкф	K_c
< 100	0,7	< 1000	1
>100	0,9	> 1000	2

Таблиця Б7 – Коефіцієнти впливу на інтенсивність відмов діодів і тиристорів від завантаження напругою і струмом

Відносні коефіцієнти завантаження зворотною напругою U_p/U_N	Коефіцієнти впливу	Відносні коефіцієнти завантаження струмом I_p/I_N	Коефіцієнти впливу
0...0,5	0,7	0...0,5	0,8
0,6	0,7	0,2	0,85
0,7	0,75	0,4	0,86
0,8	0,8	0,6	0,9
0,9	0,9	0,8	0,92
1,0	1,0	1,0	1,0

Таблиця Б8 – Коефіцієнти впливу на інтенсивність відмов завантаження транзисторів напругою і струмом

Коефіцієнт завантаження напругою U_p/U_N	Коефіцієнт впливу	Коефіцієнт завантаження струмом I_p/I_N	Коефіцієнт впливу
0...0,5	0,5		
0,6	0,8	0,2	0,16
0,7	1,0	0,4	0,22
0,8	1,5	0,6	0,46
0,9	2,0	0,8	0,67
1,0	3,0	1,0	1,0

Таблиця Б9 – Коефіцієнти впливу завантаження напругою і струмом електродвигунів та електричних апаратів на інтенсивність відмов

Коефіцієнт завантаження напругою U_p/U_N	Коефіцієнт впливу	Коефіцієнт завантаження струмом I_p/I_N	Коефіцієнт впливу
0...0,5	0,5	0...0,5	0,1
0,6	0,6	0,6	0,16
0,7	0,7	0,7	0,22
0,8	0,8	0,8	0,46
0,9	0,9	0,9	0,67
1,0	1,0	1,0	1,0

Таблиця Б10 – Коефіцієнти впливу на інтенсивність відмов ступеня інтеграції мікросхем

Ступінь інтеграції	Кількість елементів в корпусі мікросхеми	Коефіцієнти впливу для цифрових	Коефіцієнти впливу для аналогових
I	1–10	0,6	0,6
II	11–100	0,8	1
III	101–1000	1	1,41
IV	1001–5000	1,8	
V	5001–10 000	2,5	

Таблиця Б11 – Каталог автоматичних вимикачів

ВА04-36-340010 160А 690АС 107545
АП50Б 2МТ 50А 10Ін 500АС/220DC 106917
ВА51-35М1-340010 100А 690АС 108310
ВА51-35М1-340010 63А 690АС 108327
ВА51-35М1-340010 80А 690АС 108307
АП50Б 2МТ 40А 10Ін 500АС/220DC 106914
ВА51-35М2-340010 200А 690АС 108359
ВА51-35М2-340010 250А 690АС 108360
ВА51-35М3-340010 320А 690АС 108390

ДОДАТОК В
Приклад виконання розрахункової роботи
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Інститут енергетики, електроніки та електромеханіки

Кафедра “Автоматизовані електромеханічні системи”

Спеціальність “141 – Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка”

РОЗРАХУНКОВА РОБОТА

**«Розрахунок показників надійності електропривода
та складання алгоритмів діагностики несправностей»
з курсу "Надійність та діагностика"**

Варіант №1

Виконав: студент групи Е-М322а

Андрій ВОРОНІН
(ім'я та прізвище)

Перевірив:
доц. каф. АЕМС, к.т.н.

Віктор КОВАЛЬОВ
(ім'я та прізвище)

Харків 2023

ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВУ РОБОТУ

Для заданої схеми електропривода необхідно: 1) визначити наробіток на відмову для ймовірності безвідмовної роботи $P(t)=0,85$; 2) визначити термін служби електропривода до капітального ремонту або його заміни; 3) скласти алгоритм діагностики несправностей електропривода, якщо при запуску схеми двигун не обертається. Вихідні дані для виконання: електрична принципова схема на рис.1.1 з переліком елементів в таблиці 1.1.

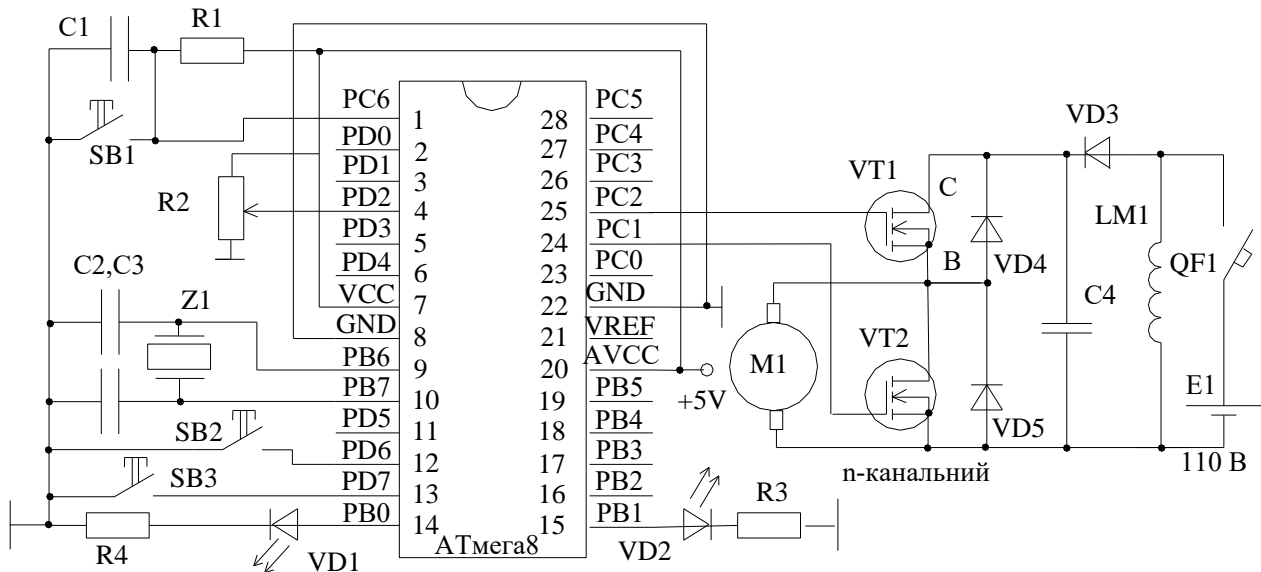


Рисунок 1.1 – Схема електроприводу

Таблиця 1.1 – Перелік елементів схеми

Позиція	Найменування	Кількість
QF1	Автоматичний вимикач ВА 88-125, 200V	1
M1	Двигун 4ПФ-150-6-12 10 кВт 110 В	1
VD3 –VD5	Діод Д142-80-3	3
VT1, VT2	Транзистор IRF1010EPBF, 110 В, 110А	2
C4	Конденсатор К50-6 10000 мкФ ± 10% -100	1
E1	Акумуляторна батарея 110 В	1
CPU	Мікросхема АТмега8	1
VD1,VD2	Світлодіод АЛ302Б, 20 мА	2
R3, R4	Резистор МЛТ-0,125-200 Ом±0,5 %	2
R2	Змінний резистор СП2-0,125-1 кОм ±10 %	1
R1	Резистор МЛТ-0,125-1 кОм ±10 %	1
C1	Конденсатор КМ6Б-1 мкФ-20 В	1
C2, C3	Конденсатор КМ6Б-0,33 мкФ-20 В	2
SB1-SB3	Кнопка КЕ-021 0,1 А, 50 В	3
Z1	Кварцевий резонатор 1МГц	1

1 АНАЛІЗ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Двигун постійного струму призначений для перетворення електроенергії акумулятора в механічну роботу. Рухома частина двигуна постійного струму називається якорем з укладеною в пазах обмоткою, виводи якої підключені до пластин колектора. На станині встановлені магнітні полюси з обмоткою збудження для створення магнітного поля. Функціональними параметрами двигуна є момент на валу та швидкість. Відмова двигуна полягає у відсутності обертання вала. Коефіцієнт завантаження двигуна за функціональним параметром приймаємо рівним одиниці.

Автоматичний вимикач призначений для ручного двигуна до акумулятора, для автоматичного захисту від коротких замикань та перевантаження двигуна. Захист від коротких замикань забезпечує електромагнітний розчіплювач, захист від перевантаження забезпечує тепловий розчіплювач. Функціональними параметрами вимикача є струм та напруга. Відмова вимикача полягає у відсутності можливості вмикання під напругу та вимикання, а також здатності автоматичного вимикання при аварійних режимах.

Схема електропривода складається з польових транзисторів VT1, VT2, діодів VD4, VD5 для забезпечення протікання струмів самоіндукції при вимиканні транзисторів. У рушійному режимі відбувається комутація транзистора VT1 за принципом широко-імпульсної модуляції (ШІМ), що забезпечує регулювання середньої напруги якорі двигуна. При вимиканні транзистора VT1 струм в індуктивності якоря не змінюється стрибком, а продовжує протікати через діод VD4, VD5. Таким чином, діод VD4 призначений для захисту транзистора VT1 від зворотної напруги при його вимиканні, діод VD5 призначений для протікання струму якоря при вимиканні VT2. При переході до гальмівного режиму транзистор VT1 закривається, а VT2 комутується за принципом ШІМ. При цьому двигун працює в режимі генератора, струм якоря міняє свій напрям і двигун створює гальмівний момент, пропорційний середньому струму якоря.

Діод VD3 призначений для запобігання заряду акумулятора при рекуперативних режимах двигуна захищаючи її від надмірних значень гальмівних струмів. Конденсатор C4 призначений для прийому електроенергії від двигуна при рекуперативних режимах.

Мікроконтролер призначений для керування транзисторами. Конденсатор C1 і резистор R1 формують початковий зкид мікроконтролера при

вмиканні під напругу. Кнопка SB1 формує сигнал зкиду мікроконтролера при збої в програмі. Кнопки SB2, SB3 керують пуском та зупинкою двигуна. Конденсатори C2 і C3 з кварцевим резонатором задають частоту тактового генератора для мікроконтролера. Світлодіоди VD1, VD2 сигналізують про режим роботи двигуна, резистори R2, R3 обмежують струм вихідних портів мікроконтролера.

2 РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Розрахунок показників надійності електропривода проводимо за методикою [1] та оформляємо у вигляді нижченаведених таблиць.

Таблиця 2.1 – Експлуатаційна інтенсивність відмов електродвигуна, електричних апаратів та напівпровідникових елементів

Позначення на схемі	Номинальна напруга, В	Робоча напруга, В	Коефіцієнт завантаження напругою	Коефіцієнт впливу завантаження напругою	Номинальний струм, А	Робочий струм, А	Коефіцієнт завантаження струмом	Коефіцієнт впливу завантаження струмом	Базова інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$ /год	Експлуатаційна інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$ /год
M1	110	110	1	1	107	107	1	1	9,36	9,36
QF1	200	110	0,55	0,5	125	107	0,85	0,67	0,5	0,33
VD3–VD5	200	110	0,55	0,7	80	80	1	1	0,04	0,084
VT1, VT2	110	110	1	1	110	107	0,97	0,97	0,0096	0,0279
SB1-SB3	5	5	1	1	0,05	0,05	1	1	0,16	0,48
Z1	5	5	1	1	0,05	0,05	1	1	0,17	0,17
VD1, VD2	5	5	1	1	0,02	0,02	1	1	0,034	0,068
Батарейка	110	110	1	1	110	107	0,97	0,97	5,7	5,3
Результуюча експлуатаційна інтенсивність відмов										16,03

Таблиця 2.2 – Експлуатаційна інтенсивність відмов резисторів

Позначення на схемі	Точність, %	Номинальна потужність, мВт	Робочий струм, мА	Робоча потужність, мВт	Коефіцієнт завантаження потужністю	Коефіцієнт впливу завантаження	Коефіцієнт впливу за потужністю (габарит)	Коефіцієнт впливу за точністю опору	Коефіцієнт впливу за величиною опору	Базова інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}/\text{год}$	Експлуатаційна інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}/\text{год}$
R1, 1к	10	125	5	25	0,2	0,4	0,7	1	1	0,002	0,0006
R2, 12к	10	125	5	25	0,2	0,4	0,7	1	1	0,002	0,0006
R3,R4, 200 Ом	0,	125	25	125	1	1	0,7	1	1	0,002	0,0014
Результуюча експлуатаційна інтенсивність відмов резисторів											0,0026

Таблиця 2.3 – Експлуатаційна інтенсивність відмов конденсаторів

Позначення на схемі	Тип конденсатора	керамічний	електролітичний	Номинальна ємність, мкФ	Номинальна напруга, В	Робоча напруга, В	Коефіцієнт завантаження напругою	Коефіцієнт впливу завантаження напруги	Коефіцієнт впливу величини ємності	Базова інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}/\text{год}$	Експлуатаційна інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}/\text{год}$
C4	K50-6	-	+	1000	110	110	1	1	2	0,173	0,346
C1	KM66	+	-	1	6	5	0,83	0,78	1	0,008	0,007
C3,C2	KM66	+	-	0,05	6	5	0,83	0,78	1	0,008	0,007
Результуюча інтенсивність відмов конденсаторів											0,36

Таблиця 2.4 – Експлуатаційна інтенсивність відмов мікросхем

Позначення на схемі	Тип корпусу	Коефіцієнт впливу типу корпусу	Ступінь інтеграції	Коефіцієнт впливу ступеня інтеграції	Базова інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}/\text{год}$	Експлуатаційна інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}/\text{год}$
CPU	пластмасовий	5	III	1	0,023	0,115
Результуюча експлуатаційна інтенсивність відмов						0,115

Таблиця 2.5 –Експлуатаційна інтенсивність відмов друкованої плати

Кількість металізованих отворів	Базова інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$ 1/год	Експлуатаційна інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$ 1/год
48	0,023	0,115

2.6 Розрахунок показників надійності електропривода

Результуюча експлуатаційна інтенсивність відмов електропривода дорівнює $\Sigma\lambda_{\text{еп}} = (16,03 + 0,0026 + 0,36 + 0,115 + 0,000816) \cdot 10^{-6} = 16,5 \cdot 10^{-6}$ 1/год.

З урахуванням експлуатаційної інтенсивності відмов будуюмо графік ймовірності безвідмовної роботи електропривода розрахований за формулою $P(t) = e^{-\lambda t}$ і показаний на рис. 2.1.

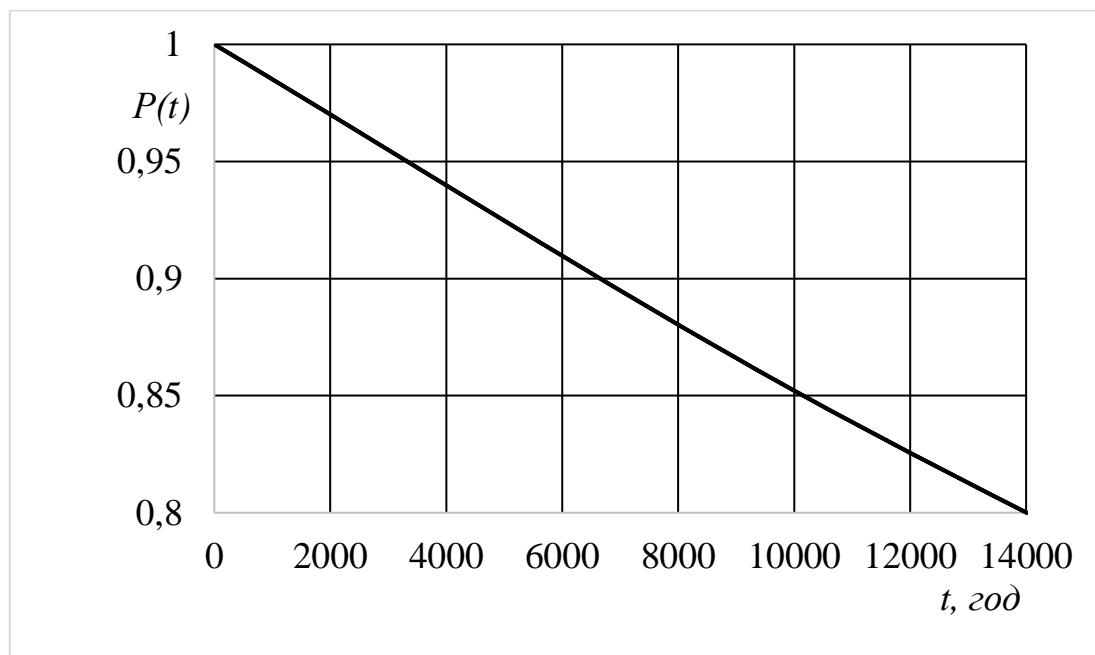


Рисунок 2.1 - Графік залежності ймовірності безвідмовної роботи електропривода.

За графіком для заданої ймовірності безвідмовної роботи $P(t) = 0,85$ визначаємо час напрацювання на відмову $T_{0,85} = 10000$ год. Загальне напрацювання на відмову, при якому ймовірність безвідмовної роботи дорівнює $P(t) = 0,36$ розраховується за формулою $T_{0,36} = (\Sigma\lambda_{\text{еп}})^{-1} = 60575$ год = 6,9 роки. Термін служби електропривода до капітального ремонту або його заміни розраховується за формулою $T_{\text{кр}} = 3T_{0,36} = 20,7$ роки.

3 ДІАГНОСТИКА НЕСПРАВНОСТЕЙ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Можливі несправності електроприводу, ймовірні причини несправностей та їх діагностика наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Діагностичний алгоритм визначення несправностей схеми

Зовнішній прояв несправності	Причини несправності	Діагностика несправностей
При запуску схеми двигун не обертається	1) несправний блок живлення; 2) обрив транзистора; 3) мікроконтролер	Поміряти напругу: живлення МК; обмотки якоря; напругу транзистора
Двигун гуде і не обертається	1) обрив обмотки збудження; 2) заклинення підшипників або робочого механізму	1) поміряти напругу на виводах обмотки збудження; 2) перевірити вільне обертання вала
При ручному вмиканні вимикача відбувається його миттєве відключення.	1) коротке замикання; 2) пробій транзисторів.	Перевірити: 1) опір ізоляції; 2) опір транзисторів і діодів.

Графічні алгоритми пошуків несправностей показані на рис.3.1 і рис.3.2.

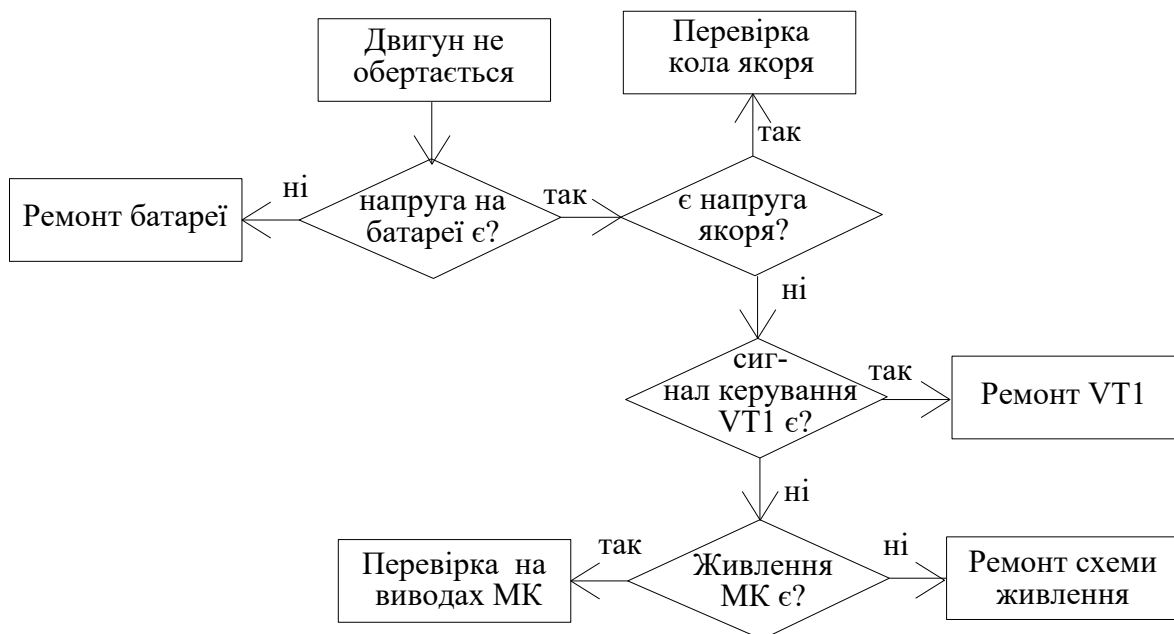


Рисунок 3.1 – Алгоритм пошуку несправності «При запуску схеми двигун не обертається»

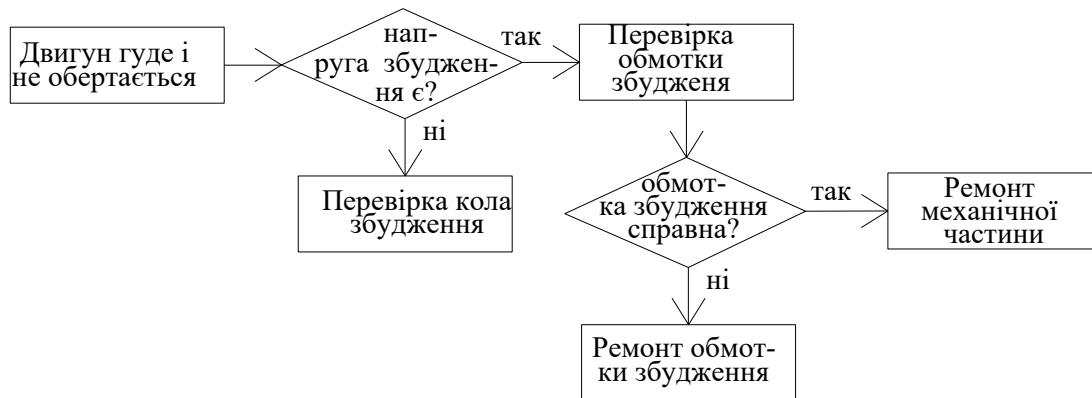


Рисунок 3.2 – Алгоритм пошуку несправності «Двигун гуде і не обертається»

ВИСНОВКИ

В результаті виконання розрахункової роботи отримані такі показники надійності: 1) напрацювання на відмову для нормативної ймовірності безвідмовної роботи $P(t)=0,85$ дорівнює $T_{0,85}=10000$ год., 2) термін служби електропривода 60575 год, або 6,9 роки.

Складені алгоритми діагностики характерних несправностей у формі таблиці та у формі графічного алгоритму.

Список використаних джерел

1. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи «Розрахунок показників надійності електропривода та складання алгоритмів діагностики несправностей» з курсу «Надійність та діагностика» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка» / уклад. В.М. Ковальов. – Харків: НТУ "ХП". – 47 с.
2. Лозинський О. Ю. Розрахунок надійності електроприводів / О. Ю. Лозинський, Я. Ю. Марущак, П. П. Костробій. – Львів: Вид-во ДУ «Львівська політехніка», 1996. – 234 с.

Навчальне видання

Методичні вказівки

до виконання розрахункової роботи «Розрахунок показників надійності електропривода та складання алгоритмів діагностики несправностей» з курсу «Надійність та діагностика»

для студентів спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка»

Укладач КОВАЛЬОВ Віктор Миколайович

Відповідальний за випуск завідувач кафедри Воробйов Б.В.
Роботу рекомендував до друку Мілих В.І.
Комп'ютерна верстка Алексеева І.А.
Редактор Єфремова М.П.

План 2023 р., поз. 100

Підп. до друку 14.03.2023 р.
Гарнітура Times New Roman.

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
