

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Кафедра авіоніки

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

_____ Ю.В. Грищенко
(підпис) (ПІБ)

“ _____ ” _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 173 «АВІОНІКА»

Тема: Система контролю роботи авіагоризонту регіонального літака

Виконавець: _____ Вансовський Олексій Дмитрович
(підпис) (прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: _____ к.т.н., доцент Лужбін Віктор Миколайович
(підпис) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Нормоконтролер: _____ Левківський Василь Васильович
(підпис) (прізвище, ім'я, по батькові)

Київ 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіоніки

Напрямок (спеціальність) 173 «Авіоніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ю.В. Грищенко

“__” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Вансовського Олексія Дмитровича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Система контролю роботи авіагоризонту регіонального літака» затверджена наказом ректора від 14 березня 2024 р. № 385/ст
2. Термін виконання роботи: з 13 травня 2024 р. по 16 червня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: Система призначена для контролю сигналів працездатності авіагоризонтів (АГ) регіонального літака. Використати вихідні сигнали авіагоризонтів по крену і тангажу. Електричну схему виконати на ІМС.
4. Зміст пояснювальної записки: Питання надійності і вірогідності контролю кутів крену і тангажу, функціональна і принципіальна схеми системи контролю (СК), схема алгоритму роботи системи, розрахунок надійності, технічне обслуговування.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: Функціональна схема СК-АГ; принципова електрична схема системи; блок-схема реалізованих алгоритмів.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Сучасний стан та проблеми контролю кренів і тангажу повітряного судна (ПС)		
2	Загальні відомості про блок контролю крену БКК-18 і його роботу		
3	Методи підвищення надійності і вірогідності результатів контролю крену і тангажу		
4	Розробка функціональної схеми системи контролю авіагоризонту (СК-АГ)		
5	Розробка блок-схеми алгоритму		
6	Розробка і розрахунок вторинного джерела живлення		
7	Розробка принципової електричної схеми		
8	Розрахунок надійності		
9	Порядок технічного обслуговування блоку СК-АГ		
10	Перевірка на плагіат та отримання рецензії на кваліфікаційну роботу		
11	Оформлення та друк пояснювальної записки		
12	Підготовка презентації та доповіді		

7. Дата видачі завдання: “08” травня 2024 р.

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Лужбін В.М.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Вансовський Олексій Дмитрович
(підпис випускника) (ПІБ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи «Система контролю роботи авіагоризонту регіонального літака»: сторінок, рисунок, таблиць, використаних джерел.

АВІАГОРИЗОНТ, КОНТРОЛЬ, КРЕН, ТАНГАЖ, МІКРОКОНТРОЛЕР, АЛГОРИТМ.

Об'єкт дослідження – точність та достовірність інформації, що видає АГ про просторове положення літака, предмет дослідження – контроль працездатності АГ.

Мета кваліфікаційної роботи – розроблення системи контролю АГ з додатковими функціями в порівнянні з встановленим блоком БКК-18.

1. Контроль трьох АГ по крену і тангажу: сигналізація про відмовлення одного АГ при відмінності його показань від двох інших.

2. Безперервний самоконтроль справності системи протягом усього польоту.

3. Контроль напруги живлення пристрою і видачі сигналізації про її порушення.

Метод дослідження – розробка схемних рішень запропонованої системи контролю АГ побудованих на елементах цифрової мікроелектроніки, написання алгоритму роботи.

Доведено, що при використанні цієї системи виконується надійний контроль роботи системи авіагоризонтів. В схемі системи використовується сучасні цифрові технології.

Розроблена система може використовуватися для контролю АГ на літаку Ан-140.

Приблизні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – наявність програмованого контролера дозволяє поліпшити існуючі функції і дає змогу використовувати додаткові функції (отримання інформації щодо працездатності елементів схеми та інші).

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ПРИЗНАЧЕННЯ І РОБОТА БЛОКУ КОНТРОЛЮ КРЕНІВ БКК-18, СИГНАЛІЗАТОРА ПОРУШЕННЯ ЖИВЛЕННЯ СПЖ-1 ТА МЕТОДИ ЇХ УДОСКОНАЛЕННЯ	10
РОЗДІЛ 2. ОПИС РОБОТИ СК-АГ ЗА ФУНКЦІОНАЛЬНОЮ ТА ПРИНЦИПОВОЮ СХЕМАМИ	21
РОЗДІЛ 3 БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ РОБОТИ СК-АГ	29
РОЗДІЛ 4. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТИПУ МІКРОКОНТРОЛЕРА ATmega8A В ЯКОСТІ БАЗОВОГО ЕЛЕМЕНТА ДЛЯ СК-АГ	38
РОЗДІЛ 5. ВИБІР ВТОРИННОГО ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СК-АГ	56

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АГ	-	авіагоризонт
АЦП	-	аналого-цифровий перетворювач
БКК	-	блок контролю кренів
ВДЖ	-	вторинне джерело живлення
ЕМП	-	електромагнітне поле
ЗПС		злітно-посадкова смуга
МК	-	мікроконтролер
ПЕ	-	пороговий елемент
ПК-АГ	-	пристрій контролю авіагоризонтів
ПНП	-	пілотажно-навігаційний прилад
САК	-	система автоматичного керування
СКТ	-	синусно-косинусний трансформатор
СПЖ	-	сигналізатор порушення живлення
ЦАП	-	цифро-аналоговий перетворювач

ВСТУП

Літак Ан-140 розроблявся як заміна застарілим літакам Ан-24 і Як-40. За своєю конструкцією літак Ан-140 є двомоторний високоплан. Літак має трьохстійкові шасі підвищеної прохідності з пневматиками низького тиску. Конструкція Ан-140 включає допоміжну силову установку, розташовану в хвостовій частині фюзеляжу і забезпечує автономну експлуатацію літака на необладнаних аеродромах.

До основних особливостей літака Ан-140 можна віднести:

- використання в умовах високогір'я, спекотного і холодного клімату, на невеликих аеродромах, включаючи обладнаними короткими злітно-посадковими смугами (ЗПС) з невисокою міцністю покриття (включаючи ґрунтові);
- забезпечення високого рівня комфорту за рахунок низького рівня шуму і вібрації в салоні, сучасного інтер'єру, оптимального кроку і розміщення крісел, прекрасної вентиляції та освітлення, які відповідають сучасним міжнародним стандартам і вимогам;
- найвищу у своєму класі місткість багажно-вантажних приміщень, у тому числі для ручної поклажі;
- високу гнучкість компонування інтер'єру стосовно до вимог замовників;
- високу паливну ефективність;
- високу експлуатаційну технологічність, ресурс і надійність;
- стратегію експлуатації «за станом»;
- низький рівень витрат на технічне обслуговування і експлуатацію.

Однак на літаку Ан-140 встановлений БКК-18, який має свої недоліки. Він контролює працездатність АГ і АГрез. тільки по кутам крену, а при порушенні працездатності по каналу тангажу виявити непрацездатний АГ і АГрез. можна тільки порівнявши показники багатьох приладів (інші АГ, варіометр, висотомір). Але на це може піти забагато часу у випадках коли рішення потрібно приймати за долю секунд. До того ж це рішення суб'єктивне і у нього не має функції самоконтролю під час роботи, тому казати про сто відсоткову довіру недостатньо.

Для контролю напруги живлення блоку БКК-18 служить сигналізатор порушення живлення СПЖ-1, який при порушенні живлення видає сигналізацію «АГ- немає контролю» тим самим дає пілотам інформацію, що БКК не працює.

Але блок СПЖ-1 час від часу виходить з ладу і це призводить до хибного загоряння сигнального табло при працездатному БКК-18. Крім того, при пошуку відмову, під час технічного обслуговування, для того щоб вирішити який блок відмовив, БКК-18 чи СПЖ-1, знадобиться додатковий час.

Тому метою цій роботи, є розроблення нової системи контролю АГ СК-АГ, яка би виключила вищевказані недоліки блоку БКК-18, а саме:

- контроль АГ і АГрез. по крену і тангажу: сигналізація про відмову одного АГ при відмінності його показань від показань другого АГ і АГрез.;
- сигналізація про необхідність порівняти показання двох робочих АГ при відмові АГрез. і неузгодженості показань працюючих АГ і АГрез.;
- безупинний самоконтроль справності блоку протягом усього польоту;
- контроль напруги живлення і видачі сигналізації про її порушення.

Все це передбачається виконати застосовуючи цифрові технології, які мають ряд переваг:

- на вході любого цифрового пристрою у якості приймача подвійних сигналів використовується тригер. Тригер – елемент, який може знаходитися лише у одному з двох станів (сигнал логічного нуля та сигнал логічної одиниці). Проміжний стан виключений. Цей підхід підвищує надійність роботи цифрових схем. Дякуючи тригерному ефекту такі явища, як тепловий шум, дрейф нуля та електромагнітні перешкоди не впливають на якість передачі цифрового сигналу доки рівень сигналу перешкоди не перевищить поріг. До того ж при передачі цифрового сигналу відсутнє поступове погіршення якості зі збільшення дальності передачі, що притаманне аналоговим засобам передачі інформації;

- гнучкість системи за рахунок зміни програми та ін.

РОЗДІЛ 1

ПРИЗНАЧЕННЯ І РОБОТА БЛОКУ КОНТРОЛЮ КРЕНІВ БКК-18, СИГНАЛІЗАТОРА ПОРУШЕННЯ ЖИВЛЕННЯ СПЖ-1 ТА МЕТОДИ ЇХ УДОСКОНАЛЕННЯ

1.1. Блок кренів БКК-18

Блок контролю кренів БКК-18 призначений для контролю справності каналів крену основних і резервного АГ з видачою сигналізації про відмову відповідного АГ[1].

Робота блоку контролю кренів БКК-18 на літаку Ан-140 (рис. 1.1, рис. 1.2).

На літаку встановлено авіагоризонти: два основних АГК розташовані на лівій і правій приладових дошках відповідно, і один резервний АГР.

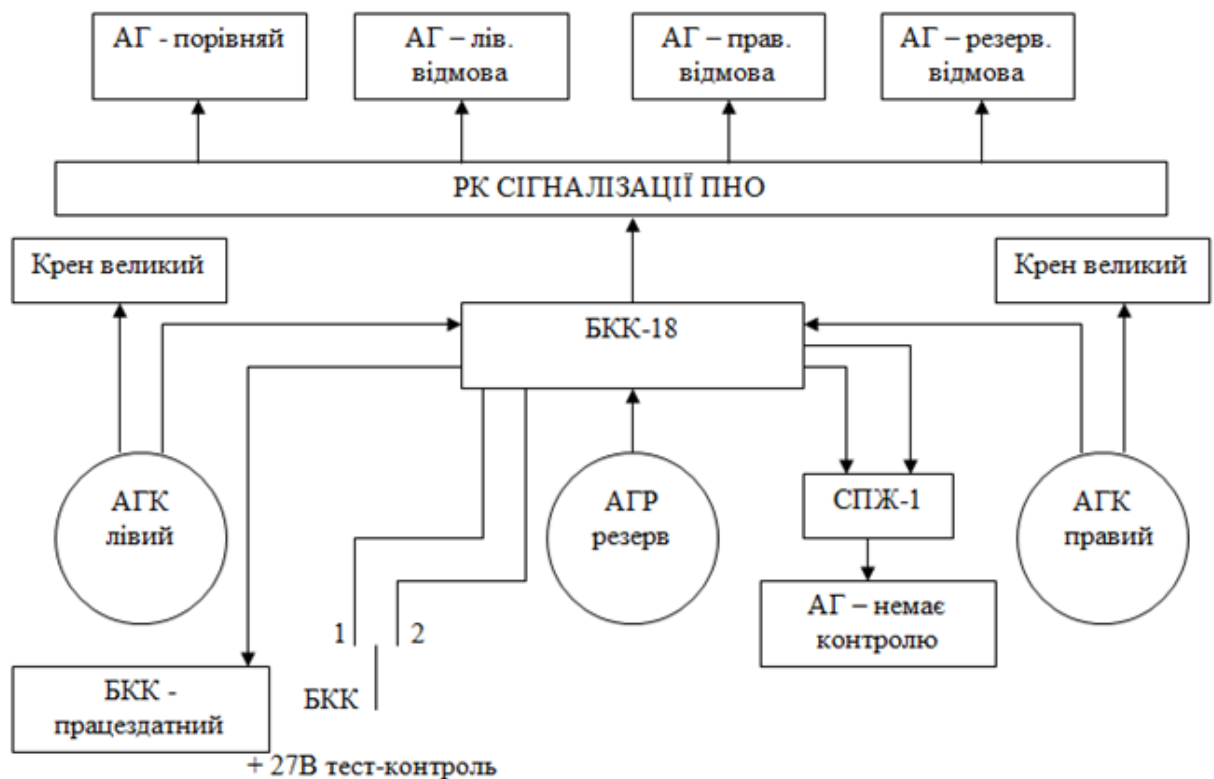


Рис. 1.1 Функціональна схема взаємозв'язків блоку БКК-18 на літаку Ан-140

Логічна схема порівняння БКК складається з двох ідентичних одночасно працюючих підканалов. Відмова будь-якого з них не призводить до втрати працездатності БКК.

При відміні сигналу крену одного з порівнюваних АГ від сигналів крену двох інших на величину $(7 \pm 2)^\circ$ БКК формує сигнал відмови даного АГ.

Відмова лівого АГ сигналізується загорянням табло "АГ ЛЕВ - ВІДМОВА" на лівій панелі приладів дошки, відмова правого АГ – загорянням табло "АГ ПРАВ - ВІДМОВА" на правій панелі приладової дошки, відмова АГР – загорянням табло "АГ РЕЗЕРВ - ВІДМОВА" на верхньому пульті.

Після відмови одного АГ БКК продовжує порівняння каналів крену двох, що залишилися справними АГ і при розбіжності їхніх показань на величину $(7 \pm 2)^\circ$ видає сигнал для включення табло "АГ Порівняв" на лівій і правій панелях приладової дошки, а також сигнал на відключення САУ.

Нормалізація вхідних сигналів при роботі від датчиків змінного струму здійснюється однаково для усіх каналів за допомогою тракту [2]:

підсилювач змінного струму (u_{\sim}) – фазочуттєвий випрямляч (ФЧВ) – підсилювач постійного струму ($u_{=}$).

З допомогою підстроювальних резисторів (R_1, R_2, R_3), змінюючих коефіцієнт передачі підсилювача змінного струму u_{\sim} , а отже, всього тракту, на вході порівняльного пристрою для усіх трьох каналів забезпечуються однакові залежності $U_{\text{вх}}=f(\gamma)$, де γ – кут крену.

На виході пристрою формується дійсний сигнал, який є середнім значенням сигналів U_1, U_2, U_3 .

Порогові елементи ПЕ1, ПЕ2, ПЕ3 фіксують відміну напруги каналу що відмовив (напруга на вході порівняльного пристрою) від значення дійсного сигналу U_{γ} (напруга на виході порівняльного пристрою) на величину яка задана $U\Delta\gamma$.

Інформація про відмову АГ і з виходу ПЕ через підсилювач потужності ПП, працюючий у ключовому режимі, надходить у цепі індикації.

Зняття інформації про відмову при умовах що нормальна робота АГ і АГ резерв. відновлена, здійснюється на землі при подачі сигналу «ОБНУЛІННЯ» як від тумблера «ОБНУЛІННЯ», так і автоматично після закінчення команди «ТЕСТ КОНТРОЛЬ».

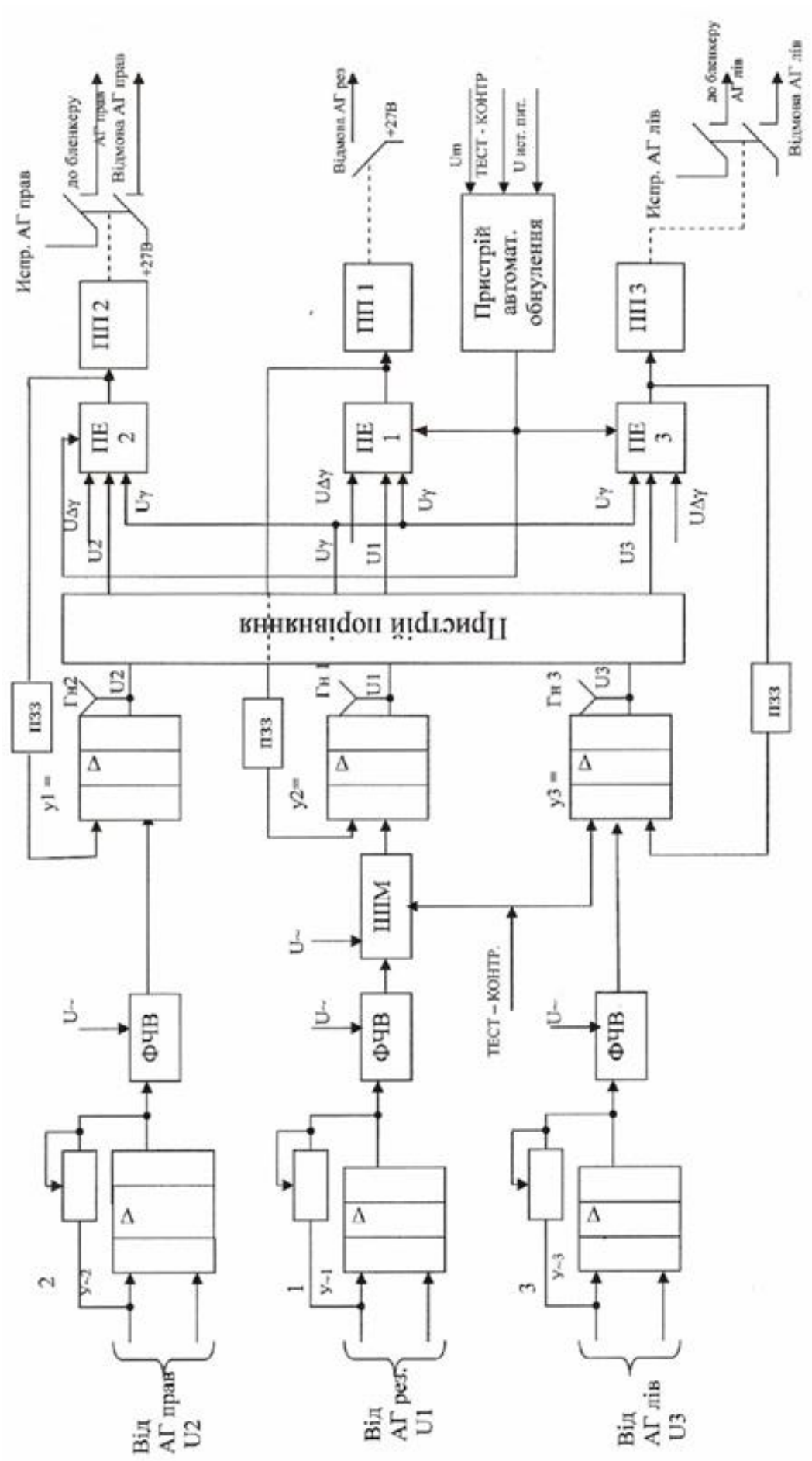


Рис.1.2 Функціональна схема БКК-18

Основні технічні дані блоку БКК-18.

1. Електроживлення:

- джерело змінного струму напругою $36_{-3,6}^{+1,8}$ В частотою 400 + 20 Гц;
- джерело постійного струму напругою $+27_{-3,0}^{+2,4}$ В;

2. Споживані блоком струми:

- від джерела змінного струму 36 В 400 Гц не більш 0,1 А;
- від джерела постійного струму +27 В не більш 0,65 А.

3. Час готовності блоку не більш 5 с після включення напруги електроживлення.

4. Діапазон робочих кутів крену: $0 \div + (45^\circ + \Delta\gamma)$, де $\Delta\gamma$ – поріг розбіжності авіагоризонтів; при кутах крену більш $+ (45^\circ + \Delta\gamma)$, блок не видає ніякої сигналізації о розходженні авіагоризонтів.

5. Поріг спрацьовування блоку при розходженні між показниками АГ що відмовив і середнім значенням показань справних АГ складає $- +7^\circ + 2^\circ (5^\circ \div 9^\circ)$.

6. Блок видає сигналізацію про відмова АГ якщо розходження вхідних сигналів, перевищуючого поріг спрацьовування, буде $1 + 0,5$ с і більш.

7. Маса блоку не перевищує 2,3 кг, а маса рами – 1,5 кг.

Авіагоризонти (АГ) призначені для забезпечення пілотів інформацією про просторове положення літака по кутах крену і тангажа щодо площини істинного горизонту [1].

Всі АГ є автономними приладами і мають єдиний вид індикації - "вид з літака на землю".

В якості основних АГ використовуються АГК-77, які поряд з основними функціями додатково забезпечують пілотів в режимі директорного управління командами по крену і тангажу, формованими САУ.

Крім того, основні АГ формують сигнали про досягнення літаком граничного значення кута крену $(15 + 1,5)^\circ$ - на зльоті та посадці і $(32 + 2)^\circ$ - у маршрутному польоті.

При досягненні літаком граничного значення кута крену АГК видає сигнал для включення табло "КРЕН ВЕЛИК" на лівій і правій панелях приладової дошки.

Перемикання порогів спрацьовування сигналізації граничних кренів здійснюється в АГК автоматично при надходженні сигналу від радіовисотоміру А-037 № 1 про досягнення літаком висоти 200 м. При відмові радіовисотомір № 1 зазначений сигнал надходить від радіовисотомір № 2.

Лівий і правий АГК передають сигнали крену і тангажа в САУ для формування режиму стабілізації літака, сигнали крену в курсову систему для забезпечення роботи горизонтальної корекції гіроагрегатів і в БКК для контролю крену (рис 1.1). Крім того, сигнали крену і тангажа від лівого АГК надходять в бортовий реєстратор, а від правого АГК - в РЛК "Буран" для стабілізації антени і в систему вимірювання палива ТИС-140.

В якості резервного АГ використовується АГР-74.

Відмова АГ сигналізується випаданням сигнального прапорця "АГ" на лицьовій панелі відмовившиго приладу і загорянням світлосигнального табло "АГ ЛЕВ - ВІДМОВА" на лівій панелі приладової дошки, "АГ ПРАВ - ВІДМОВА" - на правій панелі, "АГ РЕЗЕРВ - ВІДМОВА" - на верхньому пульті.

Живлення АГ здійснюється:

а) змінним трифазним струмом напругою 36 В частотою 400 Гц:

- Лівого АГ - від аварійних шин лівого РУ 115/200 В через три трансформатора 115/36 В;

- Правого АГ - від шин ПТ2 правого РУ 115/200 В через три трансформатора 115/36 В;

- АГР - від перетворювача струму ПТС-25М, підключеного до АВШ1 лівого РУ 27 В і до LU2 правого РУ 27 В через вимикач "АГР".

б) постійним струмом напругою 27 В:

- Лівого АГ – від АВШ1 лівого РУ 27 В через вимикач "АГ № 1";

- Правого АГ – від Ш2 правого РУ 27 В через вимикач "АГ № 2".

При переході на аварійне електроживлення (від акумуляторів) працюють тільки АГР і лівий АГ.

1.2. Сигналізатор порушення живлення СПЖ-1.

СПЖ-1 призначений для видачі сигналу при порушенні живлення БКК-18.

Робота сигналізатору порушення живлення СПЖ-1 на літаку Ан-140 [3].

Сигнал надходить при зниженні живлення нижче допустового чи при обриву фази змінного струму $36_{-3,6}^{+1,8}$ В 400 + 20 Гц, а також при зниженні напруги, обриву в мережі постійного струму $+27_{-3,0}^{+2,4}$ В.

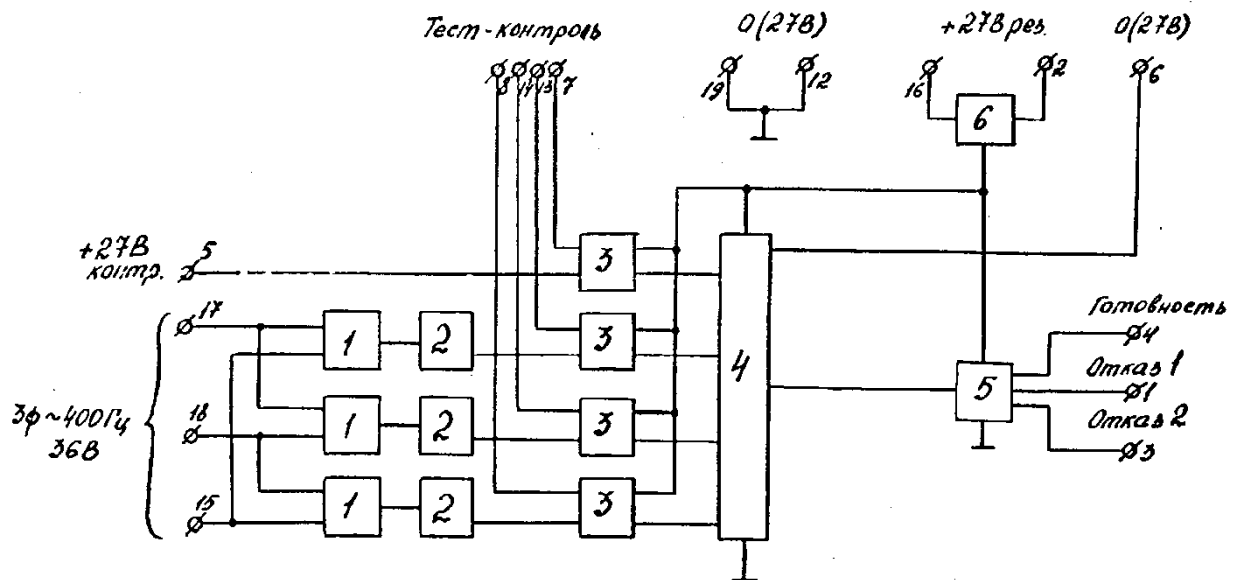


Рис. 1.3 Блок – схема СПЖ-1

Схема блоку (рис. 1.3) складається з трьох трансформаторів (1), включених в ланцюги змінного струму 36 В 400 Гц що контролюються. К виходу трансформаторів підключені два напівперіодні випрямлячі (2), які навантажені на порогові елементи (3), їх виходи підключені к схемі об'єднання сигналів (4), працюючий на транзисторний вихід (5), де формуються вихідні сигнали «ВІДМОВА 1», «ВІДМОВА 2» та «ГОТОВНІСТЬ».

Ланцюг постійного струму 27 В, що контролюється, підключається безпосередньо до порогового елементу (3). На входи порогових елементів подаються також сигнали «ТЕСТ-КОНТРОЛЬ». Для забезпечення безперервного живлення напруга поступає на блок через діодну збірку (6) від двох джерел постійного струму 27 В.

Основні технічні дані СПЖ-1:

1. Електроживлення від джерела постійного струму напругою $+27_{-3,0}^{+2,4}$ В.
2. Споживаний струм не перевищує 400 мА.
3. Поріг спрацювання блоку при зниженні напруги живлення ланцюгів що контролюють:
 - по змінному струму – $27 + 3$ В;
 - по постійному струму – $15 + 3$ В.
3. Блок видає сигнал «ВІДМОВА 1» та «ВІДМОВА 2» у випадках обриву фази змінного струму і обриву ланцюга постійного струму.
4. Блок видає сигнали «ВІДМОВА 1» та «ВІДМОВА 2» при подачі команди «ТЕСТ-КОНТРОЛЬ».
5. Максимальне значення струму навантаження по виходу «ВІДМОВА 1» та «ГОТОВНІСТЬ» повинні бути не більш 300 мА, а по виходу «ВІДМОВА 2» не більш 100 мА.
6. Затримка спрацювання блоку не повинна перевищувати 1 с.
7. При відновленні напруги блок знімає сигнал «ВІДМОВА 1», «ВІДМОВА 2» та видає сигнал «ГОТОВНІСТЬ».

1.3. Методи удосконалення БКК-18 і СПЖ-1 та підвищення надійності схеми.

Методи підвищення надійності приладів і датчиків можна розділити на три групи:

1. Конструктивно-технологічні методи, що направляються на поліпшення якості окремих елементів приладу (чи системи), а також відрізняючі режими їхньої роботи.
2. Методи технічної діагностики, зв'язані з застосуванням системи автоматичного чи напівавтоматичного контролю справності приладів і датчиків у процесі їхньої експлуатації.
3. Структурні методи, за допомогою яких може бути обрана найбільш раціональна структура приладу (чи системи), яка по можливості послабляє чи виключає вплив відмов окремих елементів на погрішність вихідного сигналу.

Усі ці методи не виключають, а взаємно доповнюють один одного, і одночасне їхнє використання веде до створення найбільш надійних пристроїв.

Методи удосконалення блоку БКК-18:

- контроль кутів тангажу трьох АГ з видачею сигналізації у випадку розходження їх показань;
- контроль сигналізації порушення живлення у самому блоці;
- здійснення вищеназваних методів та контроль крену за допомогою цифрової техніки.

Методи підвищення надійності блоку:

- безупинний самоконтроль працездатності блоку протягом усього польоту;
- введення цифрової обробки інформації, як більш точній у порівнянні з обробкою інформації приладами, що здійснюють аналіз і порівняння аналогових величин.

На літаку Ан-140 сигнали, пропорційні кутам крену та тангажу, знімаються з синусно - косинусних трансформаторів (СКТ) – датчиків, які встановлені на осях карданного підвісу гіроскопу і надходить в блок БКК-18, в систему автоматичного керування (САК) – з лівого та правого АГК, в бортовий пристрій реєстрації (БПР) – з лівого АГК, на гіростабілізацію антени радіолокатора та в паливну вимірювальну систему – з правого АГК. Крім того, сигнали, пропорційні кутам крену, йдуть в курсову систему з лівого та правого АГК [1].

Вимірювальна інформація у виді електричних сигналів знімається з синусно - косинусних трансформаторів АГК - лівий, АГК - правий і АГрез, після демодуляції і перетворення в цифровий вид, обробляється мікропроцесором, який формує достовірне значення вимірювального кута крену і тангажу

$$U_{\gamma} = \frac{U_{\gamma 1} + U_{\gamma 2} + U_{\gamma 3}}{3}, \quad U_{\theta} = \frac{U_{\theta 1} + U_{\theta 2} + U_{\theta 3}}{3},$$

Сигнали U_{γ} і U_{θ} є середнім значенням із сигналів $U_{\gamma 1}$, $U_{\gamma 2}$, $U_{\gamma 3}$, $U_{\theta 1}$, $U_{\theta 2}$, $U_{\theta 3}$ в програмі, закладеної в мікропроцесор, де реалізується алгоритм вагового осереднення сигналів пропорційних куту крену (тангажу), що надходять від кожного датчика кута крену (тангажу) й порівняння результату осереднення з кожним сигналом окремо. У випадку розбіжності напруги каналу, що відмовив, від

значення достовірного сигналу на задану величину $U_{\Delta\gamma}$, $U_{\Delta\theta}$ видається інформація про відмовлення того чи іншого авіагоризонту.

Наведемо приклади інцидентів за участю літаків Ан-140 і Ту-154М за останні кілька років, узятих з щомісячних бюлетенів Міждержавного авіаційного комітету, пов'язаних з відмовами блоку БКК-18, які могли спричинити авіаційні події:

18.12.2005р. Ан-140-100 4К-AZ48. Катастрофа літака сталася внаслідок нештатної роботи бортової системи індикації крену і тангажа (авіагоризонти) на етапі зльоту і початкового набору висоти, що в умовах нічного польоту в складних метеоумовах призвело до втрати контролю просторового положення з боку членів екіпажу і переходу літака в спадну спіраль з подальшим зіткненням з водною поверхнею.

Нештатна робота системи індикації просторового положення літака висловилася:

- в неспрацьовуванні сигналізації лівого авіагоризонту (відсутність світлової сигналізації на табло «АГ ЛЕВ ВІДМОВА» і ознак відмови на лицьовій частині приладу) при знаходженні резервного авіагоризонту в імовірно в не орієнтованому стані (не змінні нульові показання крену, причину якого комісії встановити не вдалося, так як АГ резервний не був знайдений на місці авіаційної події і не досліджений), що не дозволило екіпажу виявити фактично не орієнтований стан АГК лівого і АГР. При цьому неспрацьовання сигналізації непрацездатного стану лівого авіагоризонту і відсутність змін показань по крену і тангажу було викликано відмовою в системі його механізму орієнтації;

- в спрацьованні сигналізації світлового табло про відмову справного правого авіагоризонту, пов'язаного зі штатною роботою блоку контролю кренів при відмінності його свідчень від значень крену лівого і резервного авіагоризонтів на величину більш порогового значення, що виключило для екіпажу можливість визначення просторового положення ПС у польоті по крену і тангажу в складних метеоумовах (суцільна хмарність і наявність бовтанки). У сформованій ситуації, через малої висоти польоту і відсутності візуальних умов, екіпажу не вдалося стабілізувати літак у польоті по крену і тангажу.

- технічний стан лівого авіагоризонту і непрацездатність системи його вбудованого контролю, а також робота загальної літакової системи контролю авіагоризонтів по крену і електроживленню не могли забезпечувати безпечну експлуатацію ПС і безпосередньо вплинули на катастрофічний результат польоту, так як комісія в ході розслідування встановила контрафактність лівого АГК-77- 15 та фальсифікацію року випуску блоків контролю крену БКК-18 і сигналізатора порушення живлення СПЖ-1, встановлених на даному ПС у бік завищення («омолодження»), відповідно на 20 років і на 6 років.

11.09.2006р. Ту-154М RA-85813. У наборі висоти, в процесі першого розвороту, відбулося випадання індикатор відмови авіагоризонтів лівого і правого льотчиків і загорілося табло «Відмова МГВ контр». Після інциденту, в процесі пошуку несправності було виявлено зниження живлячої напруги між фазами АС і ВС в РК 36В правої до 10,5В. Причиною зниження напруги стало попадання рідини в роз'єм Ш14 КС-2. Попадання рідини викликало підгар і корозію, що призвело до утворення «паразитного кола» між ніжками всередині роз'єму. Дана ситуація призвела до помилкової налаштуванні порогів спрацьовування блоку БКК-18 перед вильотом. Зміна напруги настройки БКК-18, а також різна швидкість відпрацювання слідкуючих систем крену на ПКП лівого і правого пілотів у зв'язку з різними умовами напруги живлення привели до спрацьовування БКК-18 з випаданням індикатор АГ на обох ПКП та загорання табло «Відмова МГВ контр» при першому ж розвороті літака.

Висновок

В даному розділі описано призначення, склад та функціонування блоку контролю кренів та сигналізатора порушення живлення.

Як видно з наведених відомостей, відмови БКК-18 на різних літаках мають значне місце і впливають на безпеку польоту літака. Це робить розробку даного аналога доцільною та економічно вигідною, тому що, підвищення надійності дозволить авіакомпаніям економити кошти на повторному обслуговуванні літаків і відсутності затримки рейсів.

Для підвищення надійності замість блоку СПЖ-1 пропоную використовувати сигналізатор порушення живлення на мікропроцесорі вмонтованим в програму роботи системи контролю авіагоризонтів СК-АГ.

Величина напруги змінного та постійного струму перетворюється у цифрову форму і зрівнюється з еталонним значенням струму в мікропроцесорі за допомогою розробленого алгоритму. В разі відхилення значення, чи обриву ланцюгів живлення, видається команда на включення сигналізації «АГ – немає контролю».

РОЗДІЛ 2

ОПИС РОБОТИ СК-АГ ЗА ФУНКЦІОНАЛЬНОЮ ТА ПРИНЦИПОВОЮ СХЕМАМИ

2.1. Принцип роботи СК-АГ за функціональною схемою

Електричні сигнали змінного струму, пропорційні куту крену (тангажу), надходять з ротора СКТ кожного з датчиків (АГлів., АГправ., АГрез.) кута крену (тангажу), через аналоговий ключ (АК) на вхід аналогового пристрою (рис. 2.1).

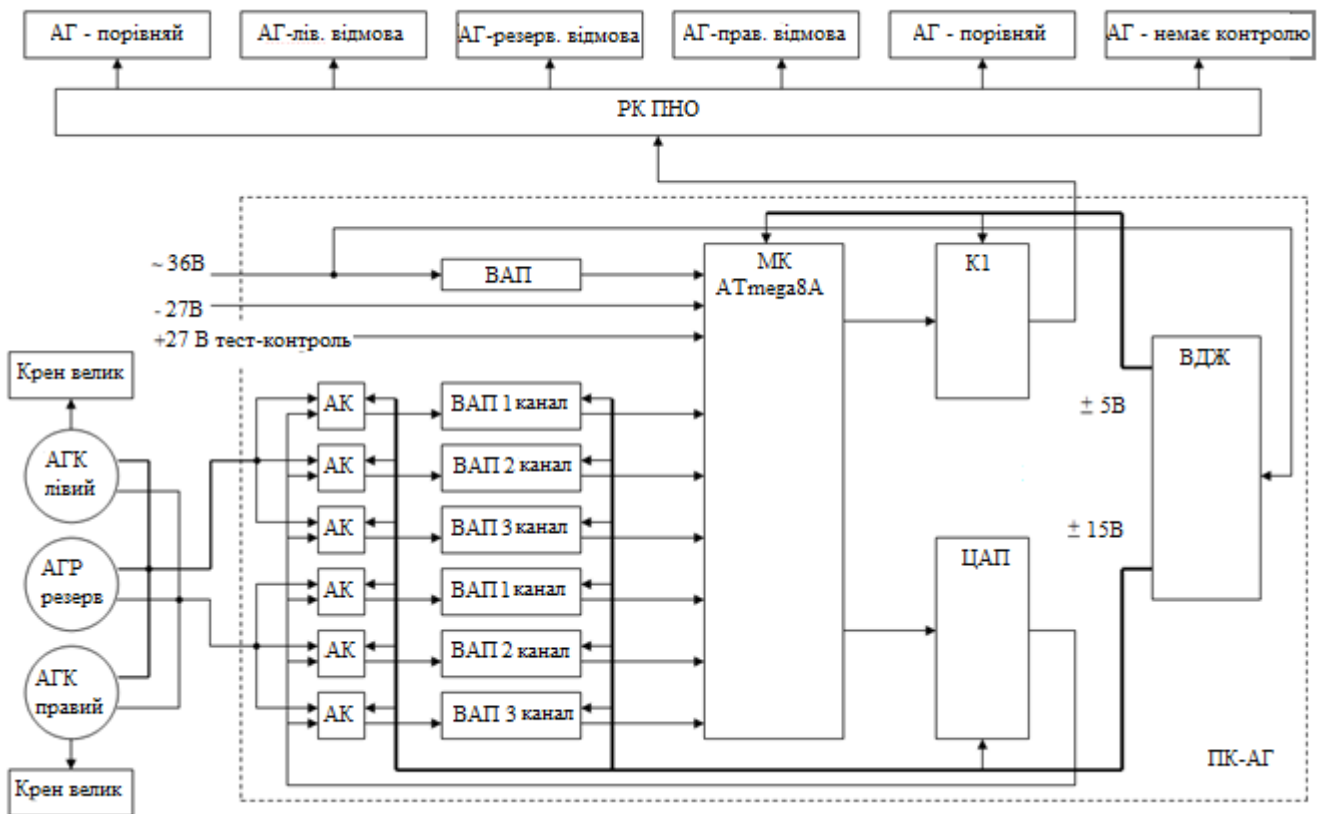


Рис. 2.1 Функціональна схема роботи пристрою ПК-АГ

Вхідні аналогові пристрої (ВАП) зібрані на трьох операційних підсилювачах, які призначені для випрямлення (детектування) сигналу змінного струму, його масштабування для наступної подачі на вхід мікроконтролера, сформованого на основі однокристального восьмирозрядного мікроконтролера серії «AVR ATmega8A» [4].

Саме цей мікроконтролер обраний виходячи з таких міркувань:

- Простота і легкість у використанні.
- Знижене енергоспоживання:

- наявність декількох режимів зниженого енергоспоживання;
- наявність детектора зниженої напруги живлення (Brown-Out Detector-BOD).
- Великий вибір інструментів розробки, включаючи безоплатну середовище проектування Atmel Studio.
- Збільшення продуктивності:
 - FLASH-пам'ять програми обсягом в 8 Кбайт (число циклів стирання / запису не менше 10 000);
 - оперативна пам'ять (статичне ОЗУ) об'ємом 1 Кбайт;
 - пам'ять даних на основі ЕСППЗУ (EEPROM) обсягом 512 байт (число циклів стирання / запису не менше 100 000);
 - тактова частота 16 МГц.
- Оптимізовано для програмування на мовах високого рівня з мінімальним розміром коду.
- Розширений набір периферії:
 - два 8-бітних таймера / лічильника;
 - один 16-бітний таймер / лічильник;
 - сторожовий таймер;
 - багатоканальний 10-бітний АЦП послідовного наближення;
 - послідовний синхронний інтерфейс SPI;
 - послідовний двопровідний інтерфейс TWI (повний аналог інтерфейсу I2C);
 - повнодуплексний універсальний синхронний / асинхронний приймач-передавач (USART);
- Доступ до портів введення / виводу за один такт забезпечує роботу в масштабі реального часу.

Мікроконтролер служить для перетворення аналогового сигналу кутів крену (тангажу) і значень напруги живлення у цифрову форму. Обробку цифрової інформації, для визначення справності датчиків кута крену та тангажу (за результатами порівняння показань $U_{\gamma 1}$, $U_{\gamma 2}$, $U_{\gamma 3}$ та $U_{\nu 1}$, $U_{\nu 2}$, $U_{\nu 3}$ зі значеннями $U_{\gamma \text{ср}}$ та $U_{\nu \text{ср}}$, отриманих методом вагового осереднення), формування світлової сигналізації відповідно до блок-схеми алгоритму. Порівняння значень напруги змінного та

постійного току з еталонним значенням згідно блок-схеми алгоритму, і у разі відхилення, видачу команди на включення попереджуючої сигналізації. Блок-схеми алгоритмів надані в наступному розділі пояснювальної записки.

Для підсилення по потужності керуючих сигналів, світової сигналізації, використовується ключ-інвертор зібраний на інтегральній мікросхемі серії 531 МЛ1.

У випадку відмови датчиків кута крену (тангажу) по сигналу мікроконтролера видається сигнал на випадіння червоного бленкеру «АГ» на включення відповідного сигнального табло («АГ–лів. відмова», «АГ–прав. відмова», «АГ–рез. відмова» чи «АГ–порівняй»).

Якщо відбудеться зниження напруги живлення нижче припустимого значення мікроконтролер видає сигнал на загоряння табло «АГ – немає контролю».

Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), зібраний на ІМС К 572ПА1, служить для перетворення цифрового сигналу тест – контролю в аналоговий (сформований в мікроконтролеру при подачі сигналу «Тест - контроль», та при самоконтролю) і подачі на вхід пристрою ПК-АГ для перевірки його працездатності, як на землі при технічному обслуговуванні, так і у процесі роботи.

Аналоговий ключ (АК) призначений для переключання на вхід ВАП поточних сигналів з датчиків кута крену (тангажу) на сигнал тест-контролю з мікропроцесора.

Вбудоване джерело живлення (ВДЖ) – служить для живлення електронних елементів схеми.

2.2. Принцип функціонування СК-АГ за принциповою схемою

Розглянемо роботу одного з каналів введення аналогового сигналу крену змінного струму (рис. 2.2). Вхідний аналоговий пристрій зібраний на трьох операційних підсилювачах типу 140 УД7 (DA7, DA8, DA9). На DA7 та DA8 виконується нормалізація сигналу, для того щоб на вході МК вхідні сигнали крену змінювалися з однаковою крутістю в залежності від поточного кута крену [5].

Резистори R20 та R21 служать для зменшення похибки за рахунок вхідних струмів DA7 та DA8.

Ісхем-контроль	III ерех 5
Ісхем-контроль	III ерех 24
Ізражєв амплітуды ВК-АГ	III нум 30
Фаза С	III ерех 9
+ 27 В	III ерех 2
Керн АГ-1	
«27В» СКТ	III нум 32
Ср. мовна	III ерех 48
«соз» СКТ	III нум 55
Ісхем АГ-1	
«27В» СКТ	III ерех 22
Ср. мовна	III ерех 23
«соз» СКТ	III ерех 11
Вісвоєд АГ-1	III нум 49
Керн АГ-2	
«27В» СКТ	III ерех 31
Ср. мовна	III ерех 47
«соз» СКТ	III нум 51
Ісхем АГ-2	
«27В» СКТ	III ерех 28
Ср. мовна	III ерех 19
«соз» СКТ	III ерех 12
Вісвоєд АГ-2	III нум 39
Керн АГ-вс	
«27В» СКТ	III ерех 39
Ср. мовна	III ерех 10
«соз» СКТ	III ерех 37
Ісхем АГ-вс	
«27В» СКТ	III ерех 33
Ср. мовна	III ерех 34
«соз» СКТ	III ерех 13
Вісвоєд АГ-3	III нум 51
- 27 В	III нум 3
- 27 В	III ерех 1
Зональний елементації	III нум 2
Фаза С	III нум 7
Фаза С	III нум 6
Фаза С	III нум 8
+ 27 В	III нум 4
АГ – норійєд	III ерех 18
АГ – норійєд	III нум 20
АГ мінус-контроль	III ерех 44

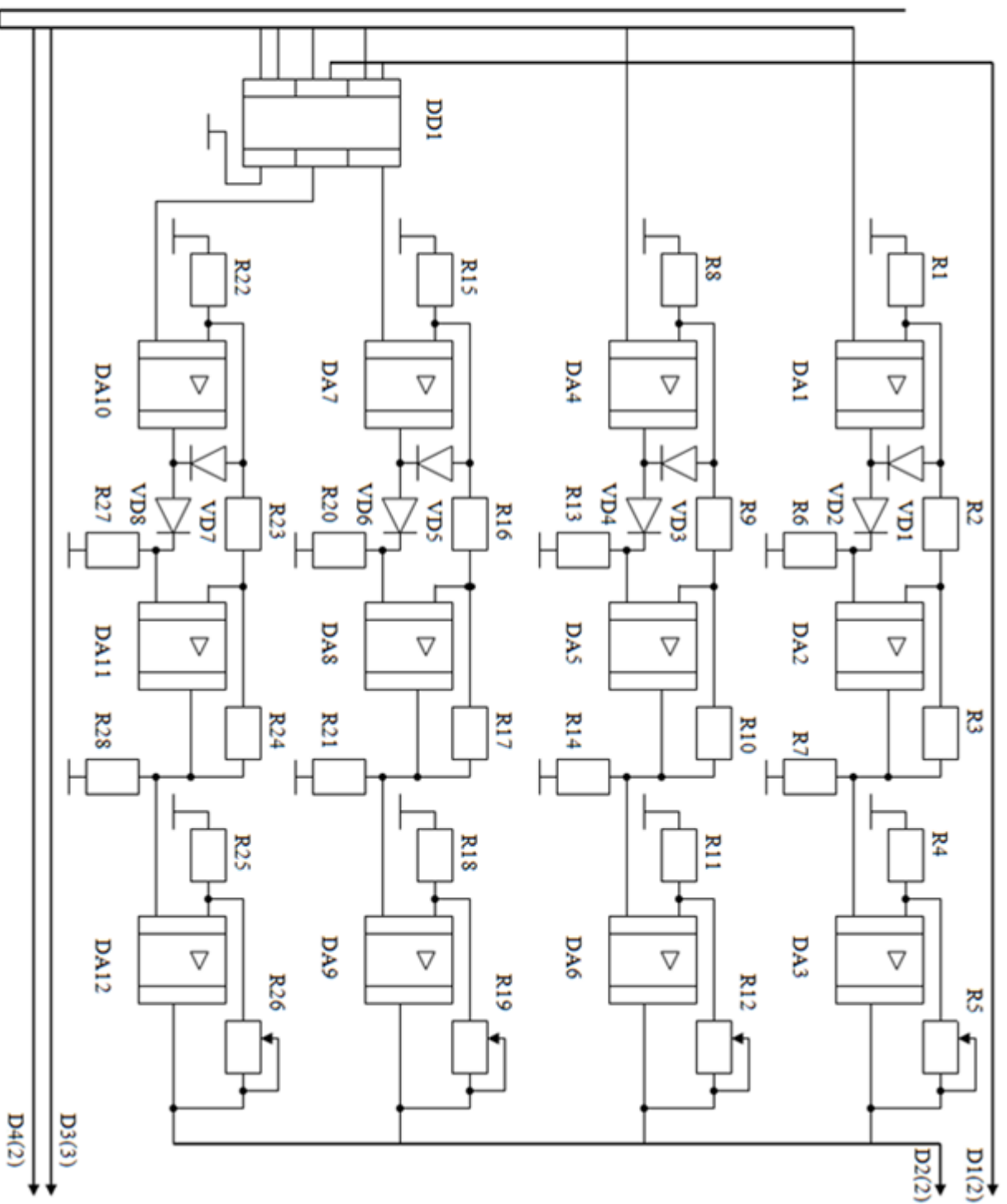
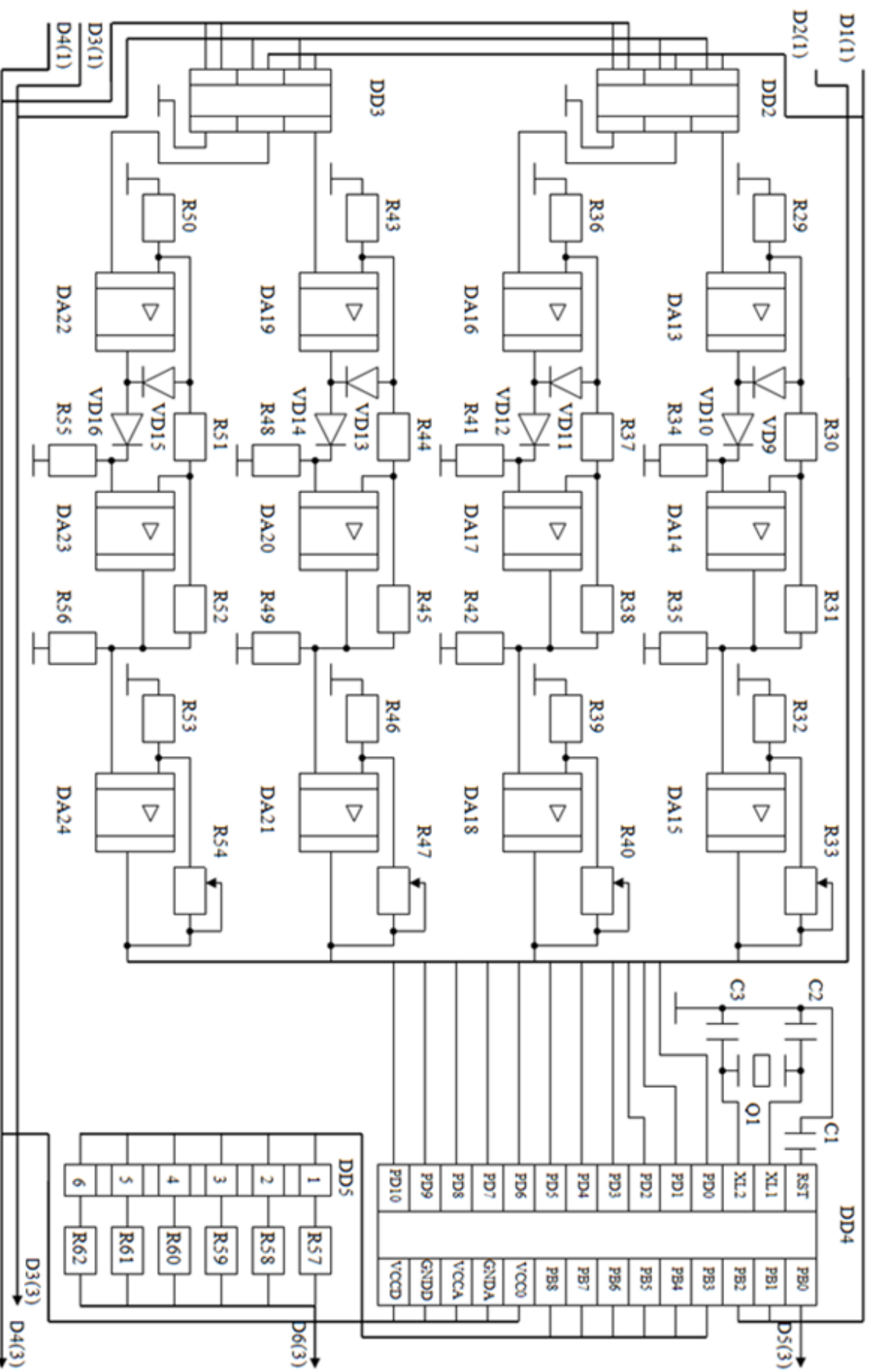
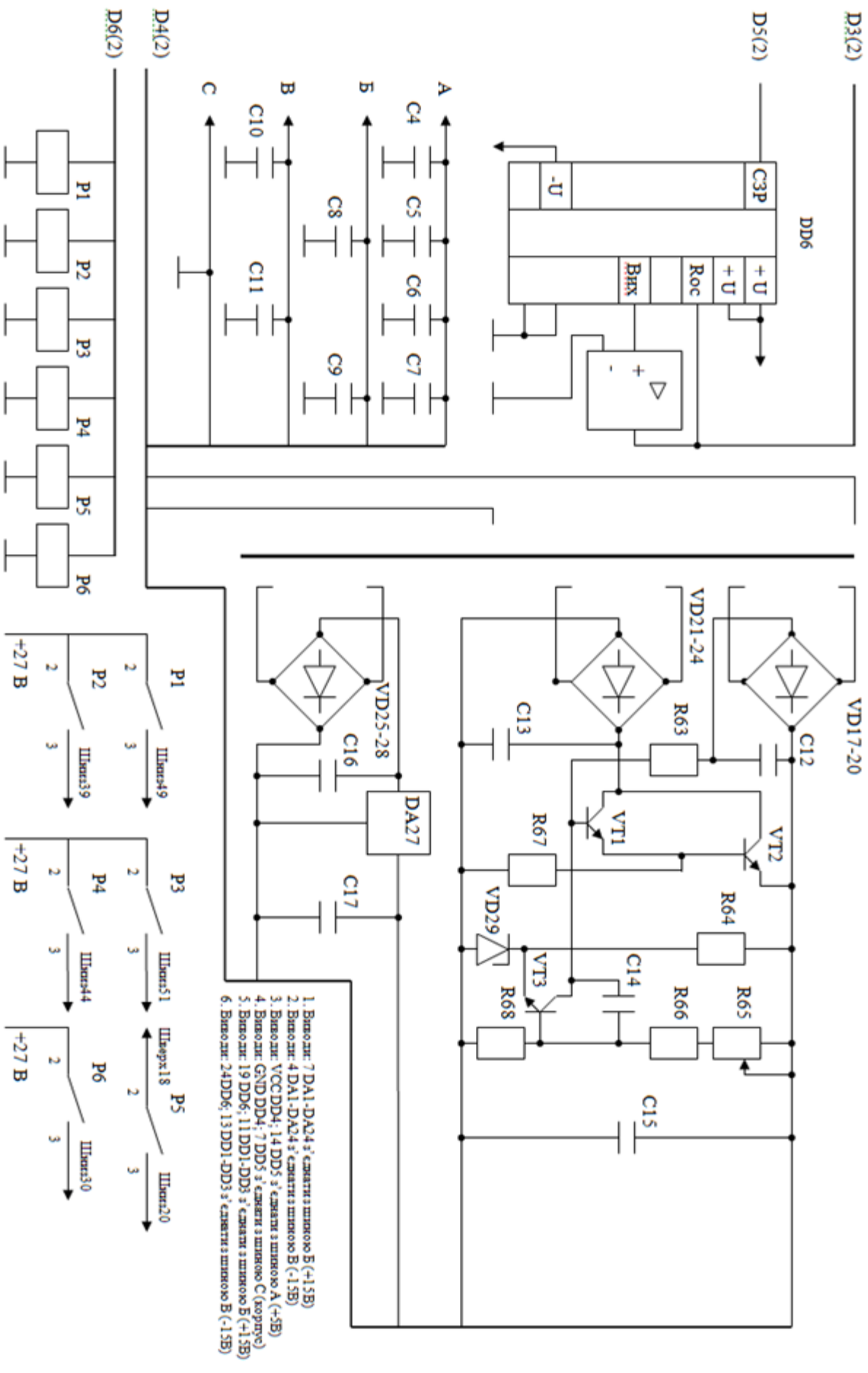


Рис. 2.2 Принципова схема роботи пристрою ПК-АГ

Продовження рис. 2.2



Закінчення рис. 2.2



DA9 робить масштабування сигналу. Ланцюжок R18 та R19 виконує роль зворотного зв'язку DA9. Вибираючи значення R19, виконуємо підстроювання схеми під відповідний вихід датчика кута крену.

Робота пристрою введення аналогової інформації (виконаних на ОП DA10 – DA24) аналогічна вищерозглянутому каналу. ВАП на DA7 – DA15 для каналу крену. ВАП на DA16 – DA24 для каналу тангажу.

Робота ОП DA1 – DA6 аналогічна попереднім схемам, з тією різницею, що вхідний сигнал для цих ОП, це змінна напруга 36 В для сигналізації порушення живлення.

Вхідні аналогові сигнали (крену, тангажу, сигналізації порушення живлення ~ 36 В, + 27 В, сигнал тест-контролю) поступають на аналогові входи PD0 – PD10 МК. У МК ці сигнали обробляються згідно з алгоритмом, який надано у наступному розділі.

Елементи Q1, C2, C3 у сполученні з внутрішніми елементами МК DD4 утворюють задаючий генератор контролера. Ємність C1 призначена для скидання системи у початковий стан після включення живлення.

Для видачі світлової сигналізації використовуємо виходи PB3 – PB8 (DD4). Щоб посилити по потужності ці сигнали подаємо їх на 6 інверторів DD5. Які дають сигнал на спрацювання відповідного реле.

Реле P1 – «Відмова АГ – лів.»; P2 – «Відмова АГ – прав.»; P3 – «Відмова МГВ – резерв.»; P4 – «АГ – немає контролю»; P5 – «АГ – порівняй»; P6 – «Працевдатність БК-АГ».

З виходу PB1 – PB2 DD4 надходять керуючі сигнали на аналогові ключі DD1 – DD3, які переключають відповідний канал з сигналу кутів крену (тангажу), на тестові сигнали з МК DD4[6].

Схема, яка зібрана на елементах: діоди VD17 – VD20, VD21 – VD24, стабілітрон VD29, транзистори VT1 – VT3, резистори R63 – R68, конденсатори C12 – C15, призначена для живлення мікросхем постійною напругою 15 В.

Схема з елементами: діоди VD25 – VD28, мікросхема DA27 та конденсатори C16, C17, призначена для живлення мікросхем постійною напругою 5 В.

Висновок

В даному розділі було розглянуто принцип роботи СК-АГ за функціональною та принциповою схемою. Для розробки функціональної схеми був проведений комплексний аналіз загального принципу роботи проектованої системи. При цьому була проведена розбивка окремих блоків на функціональні ділянки; було вивчено призначення, особливості роботи і розглянута конструкція окремих елементів. Елементи кожної функціональної ділянки були поділені на групи по виконанню функцій і конструктивним особливостям. Функціональна схема повинна відображати загальний принцип функціонування розроблюваної системи, логіку її роботи.

Для розробки принципової схеми був проведений комплексний аналіз функціональної схеми проектованої системи. При цьому був проведений аналіз функціональних ділянок схеми і уточнені конструктивні, електричні параметри окремих вузлів. Було вирішено, що пристрій складатиметься з таких елементів, як: вхідні аналогові пристрої, мікроконтролер, ключ-інвертор, цифро-аналоговий перетворювач, аналоговий ключ, вбудоване джерело живлення. Більш детально вони будуть описані в наступних розділах роботи.

РОЗДІЛ 3

БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ РОБОТИ СК-АГ

.Загальний алгоритм

В даному розділі буде розглянуто алгоритм роботи СК-АГ, який складається з наступних підпрограм (рис. 3.1):

- Підпрограма сигналізатора порушення живлення,
- Підпрограма введення кутів крену і тангажу,
- Підпрограма усереднення показань кутів крену і тангажу,
- Підпрограма контролю авіагоризонтів,
- Підпрограма індикації відмов АГ, підпрограма тест-контролю;

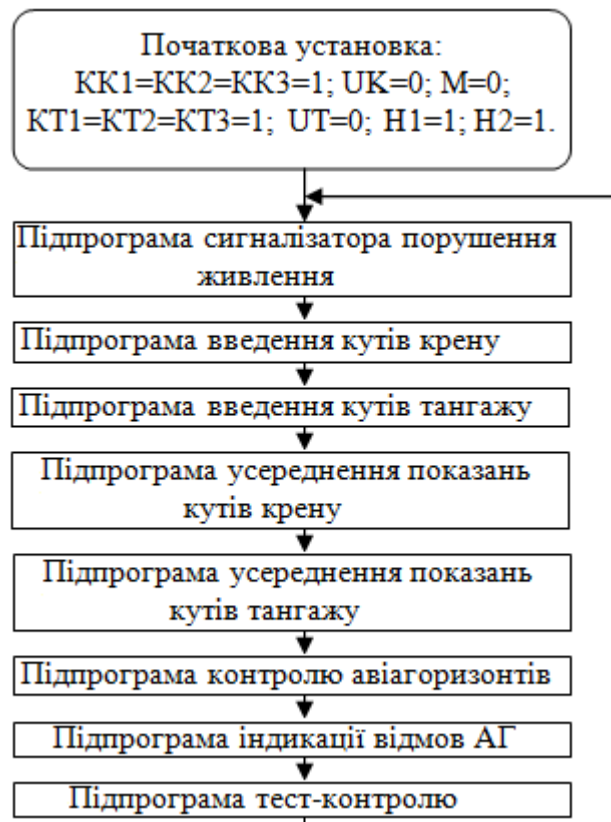


Рис. 3.1. Загальний алгоритм роботи СК-АГ

3.2. Підпрограма сигналізатора порушення живлення

Після операції початкової установки ($KK1=1$; $KK2=1$; $KK3=1$; $KT1=1$; $KT2=1$; $KT3=1$; $M=0$; $UK=0$; $UT=0$; $H1=1$; $H2=1$) система перевіряє напругу живлення блоку. Спочатку МК опитує порт джерела живлення змінного струму (рис. 3.2). Якщо він

дорівнює 1, то значення напруги зчитується вхідним портом. Зчитане значення порівнюється з еталонним значенням напруги і при знаходженні напруги в полі допуску МК переходить до перевірки напруги постійного струму. Коли значення напруги не відповідає нормі чи прапор джерела живлення змінного струму дорівнює 0 видається сигналізація «АГ – немає контролю». Аналогічно проводиться перевірка джерела живлення постійного струму. Якщо значення напруги знаходяться в межах норми система переходить до підпрограми введення кутів крену та тангажу.

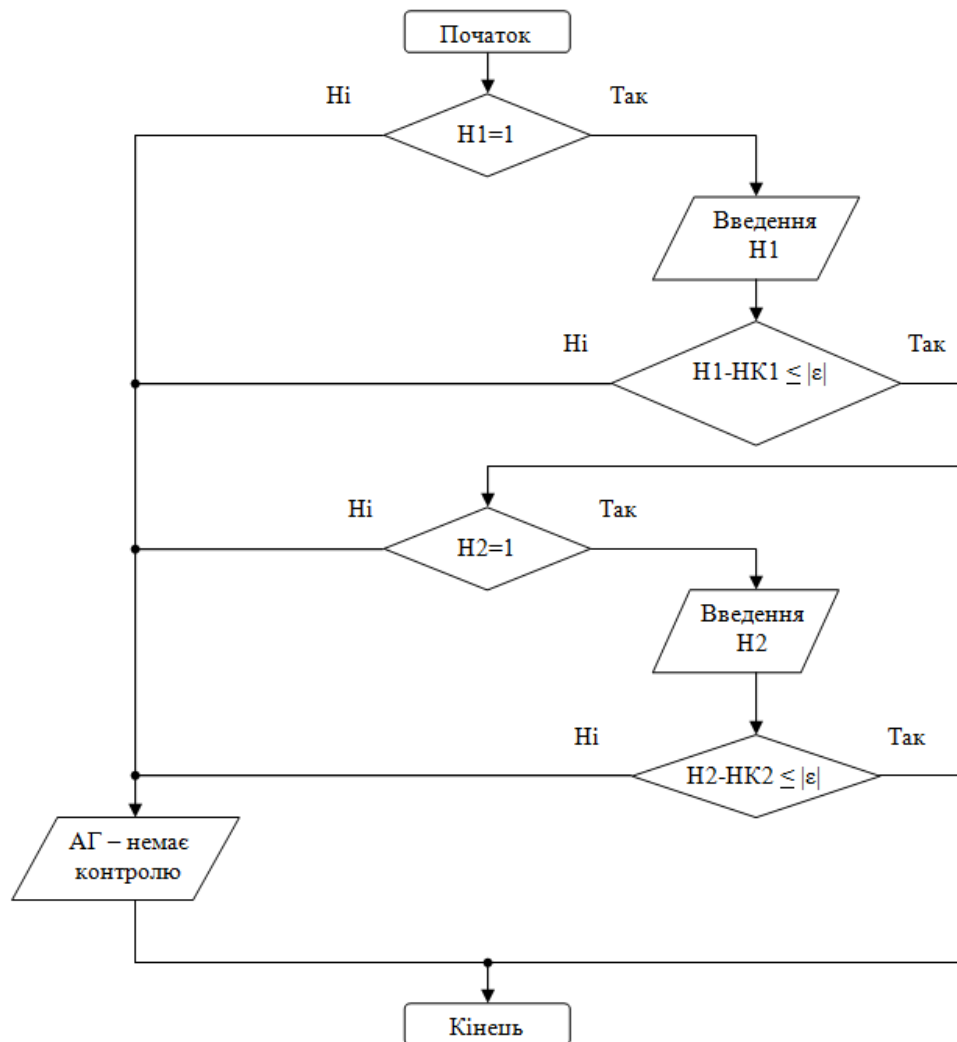


Рис. 3.2. Підпрограма сигналізатора порушення живлення

3.3. Підпрограма введення кутів крену та тангажу

Спочатку МК опитує датчик кута крену (тангажу), якщо прапор датчика дорівнює 1, то контролер зчитує значення з нього на відповідний вхід АЦП МК. Далі це значення запам'ятовується мікроконтролером. Якщо не вдалося зчитати

значення, йде опитування наступного датчика кута крену (тангажу). Після опитування усіх датчиків МК переходить до їх обробки (рис. 3.3).

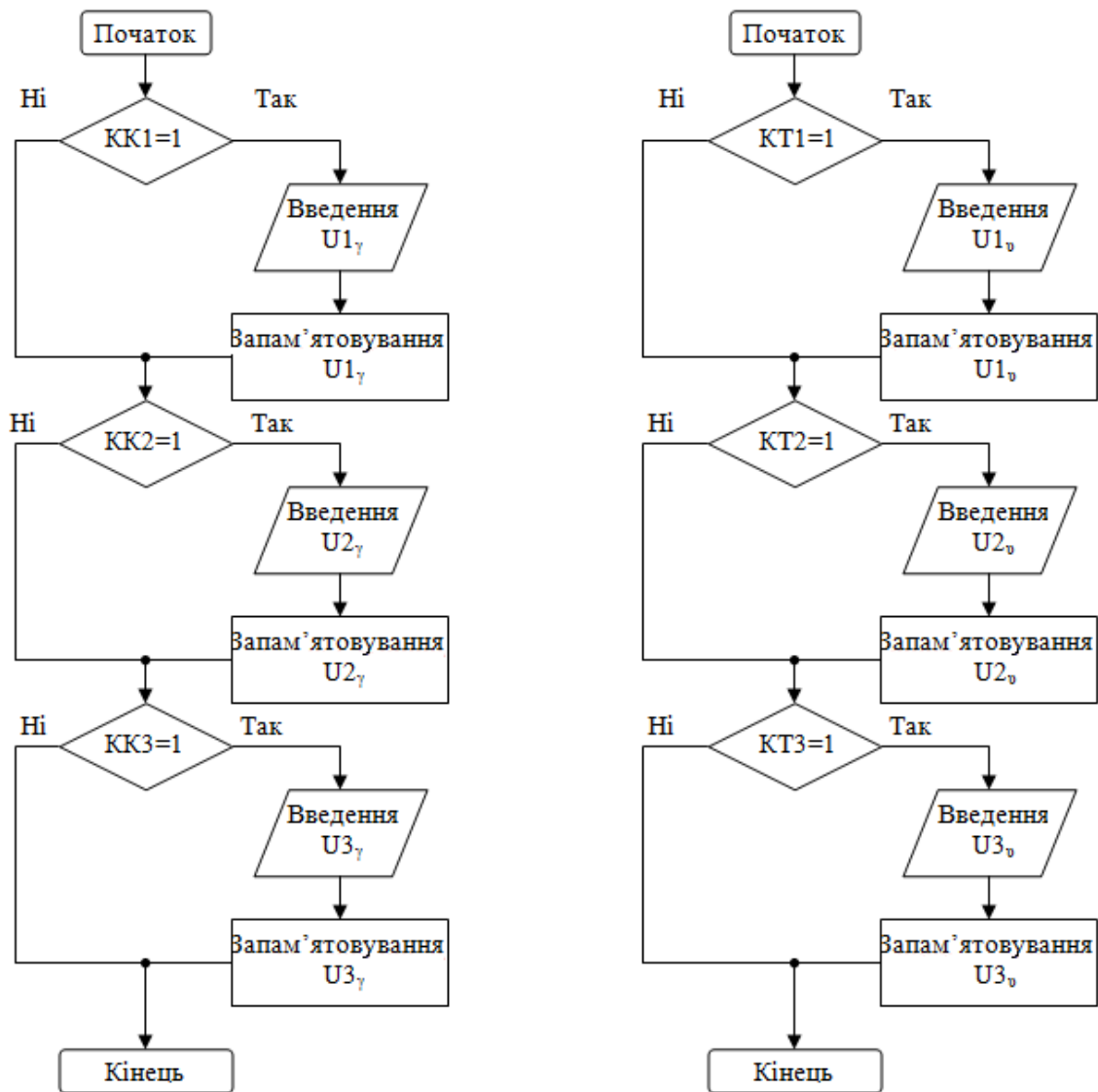


Рис. 3.3. Підпрограма введення кутів крену (зліва) та тангажу (справа)

3.4. Підпрограми усереднення результатів вимірів кутів крену

На першому етапі сумарне значення кутів крену та значення кількості АГ що відмовили дорівнюється нулю. Потім перевіряється стан входів кута крену. При працездатному стані входів до сумарного значення кутів крену, яке дорівнює нулю, додається значення кута крену з першого АГ. Далі при працездатному стані входу другого АГ до значення кута крену першого АГ додається значення кута крену другого АГ. Так саме і з АГрезерв. Потім сумарне значення кутів крену ділимо на три і отримуємо середнє значення кута крену. Якщо стан входів якогось з АГ

непрацездатний, то його значення не підсумовуються з іншими, а до значення кількості відмовивши АГ додається одиниця. Таким чином, середнє значення кута крену буде дорівнювати сумі значень кутів крену з двох АГ поділене на два.

Алгоритм підпрограми усереднення результатів вимірів кутів тангажу працює аналогічно (рис. 3.4).

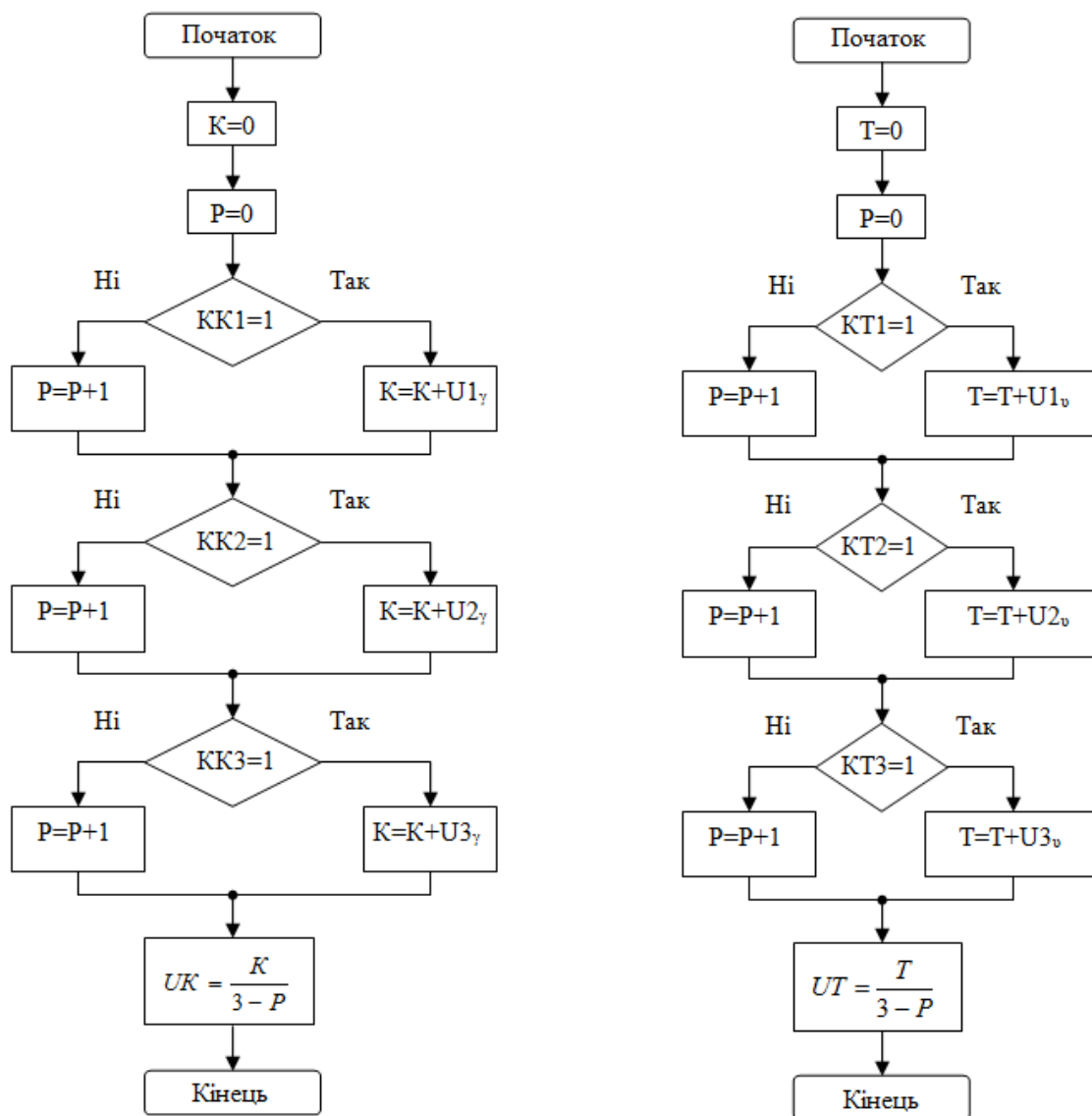


Рис. 3.4 Підпрограма усереднення результатів виміру кутів крену (зліва) і тангажу (справа)

3.5. Підпрограма контролю авіагоризонтів

Визначивши середнє значення кутів крену (тангажу) МК виконує контроль функціонування датчиків, шляхом порівняння значення відповідного датчика кута крену (тангажу) з середнім значенням. Якщо значення датчика перевищує граничне ($\Delta K_i > \epsilon$; $\Delta T_i > \epsilon$), система скидає прапор датчика в 0, тим самим переводє його у

розряд, що відмовив. Визначивши несправні датчики, система переходить до індикації датчиків, які відмовили. Випадають червоні бленкери «АГ» авіагоризонтів і загоряються відповідні сигнальні табло (рис. 3.5).

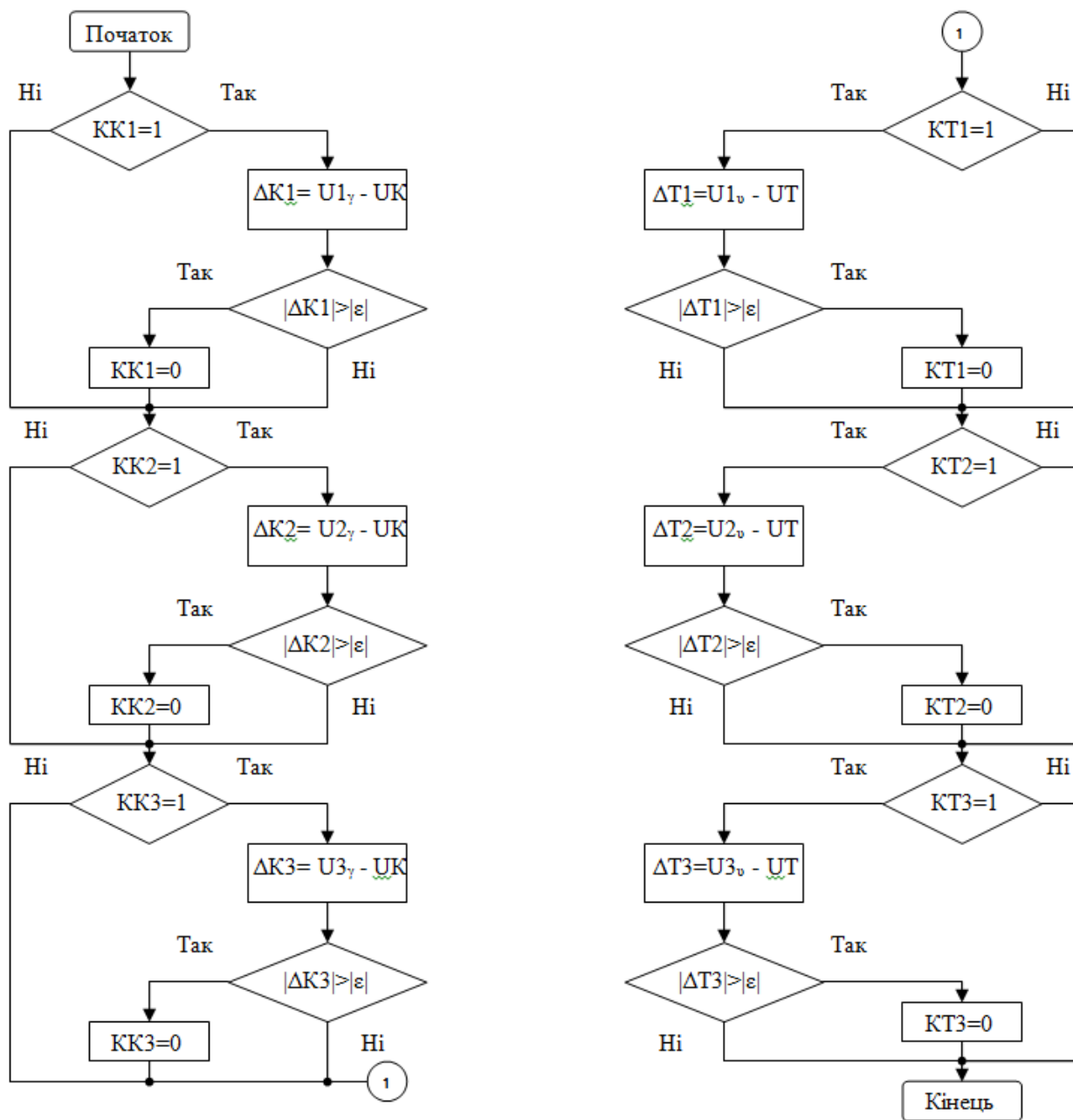


Рис. 3.5. Підпрограма контролю авіагоризонтів

3.6. Підпрограма індикації відмов авіагоризонтів

Спочатку МК перевіряє стан входів кута крену (тангажу), якщо прапор датчика дорівнює 1, то далі перевіряється наступний датчик. Якщо ж ні, загоряється відповідне табло “АГ ЛІВ - відмова” або “АГ РЕЗЕРВ - відмова” або “АГ ПРАВ - відмова”. Після відмови одного з каналів крену (тангажу) МК продовжує порівнювати сигнали справних каналів з еталонним значенням. При розходженні

сигналів каналів, що залишилися МК видає сигнал на загорання табло “АГ – порівняй”, інформуючи пілота про необхідність визначення відмовившиго каналу, порівнянням показань авіагоризонтів, пілотажних приборів ДА-30, ППП. У випадку відмови двох каналів крену (тангажу) контроль за справністю авіагоризонтів МК не проводить (рис. 3.6) [7].

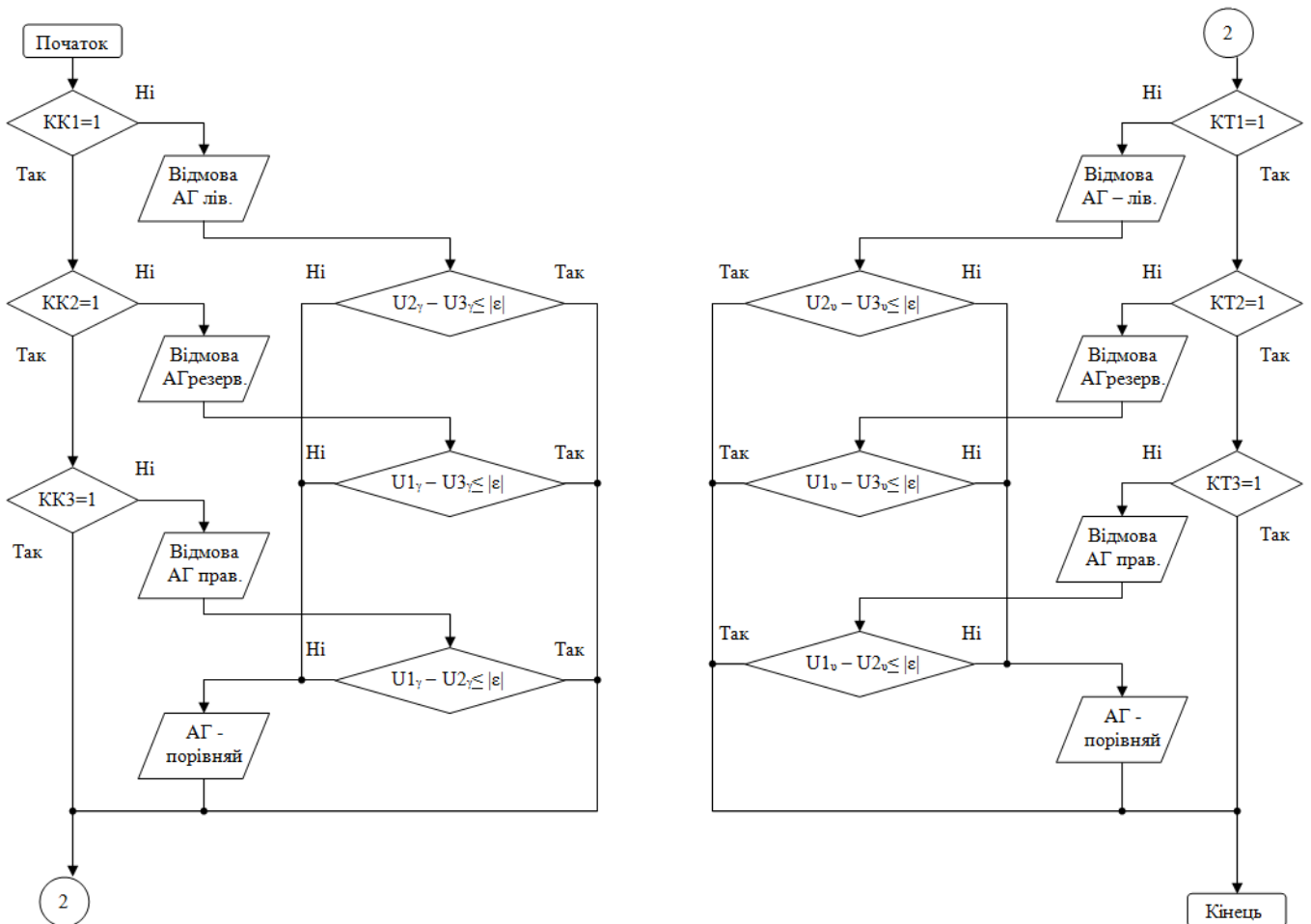
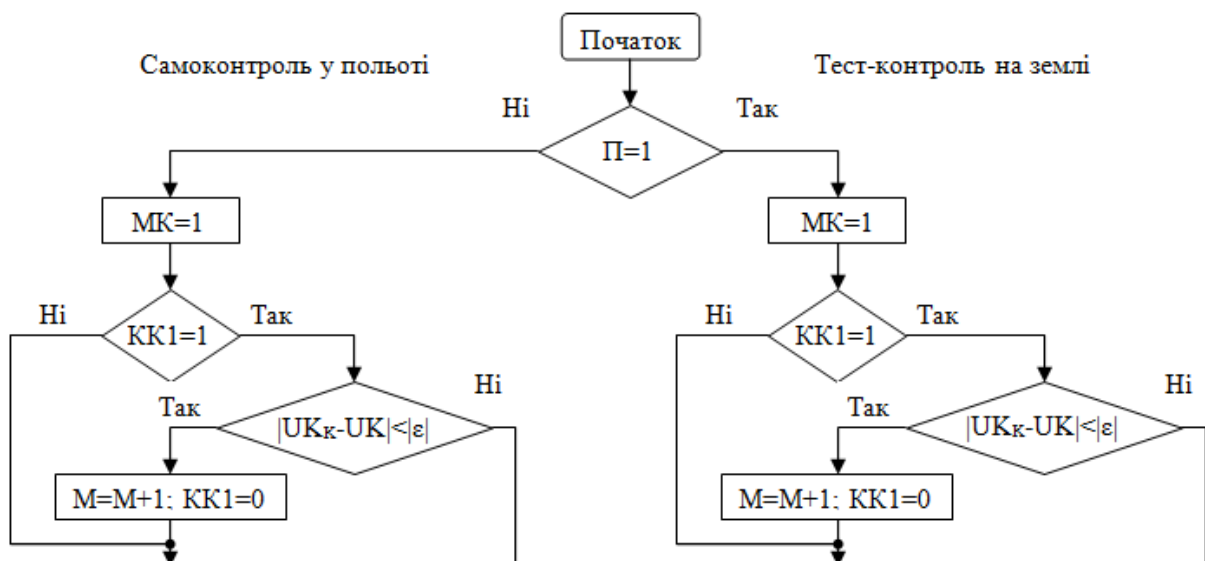


Рис. 3.6. Підпрограма індикації відмов авіагоризонтів

3.7. Підпрограма тест-контролю

По перше перевіряється положення вимикача тест-контролю: якщо він вимкнений на виході одиниця, в протилежному випадку на виході нуль і йде самоконтроль блоку. Далі видається тестовий сигнал МК на вхідні ланцюги блоку. Перевіряється показник стану входів кута крену першого АГ. При працездатнім стані входу з контрольного значення кута крену віднімається середнє значення, у випадку коли отримане значення буде менше допуску, то до кількості працездатних АГ додається одиниця, а показник стану входів кута крену переходить в нуль. В

іншому разі блок не працює і загоряється табло «АГ – немає контролю». Аналогічно працює алгоритм і при перевірці двох останніх АГ по каналу крену і так само при перевірці АГ по каналу тангажу. Ця частина алгоритму однакова, як для самоконтролю у польоті так і при тест-контролі на землі. Єдина відміна при тест-контролі на землі, коли усі канали працюють ще йде перевірка сигнальних табло. Тому при $M=6$ загоряється табло: «АГ – лів. відмова»; «АГ – резерв. відмова»; «АГ – прав. відмова»; «АГ - порівняй» (на приладовій дошці) і табло «СК-АГ працює» на пульті перед польотною підготовкою. Після самоконтролю в польоті при працюючих АГ ніякі табло не загоряються. Після закінчення самоконтролю і тест-контролю тестовий сигнал знімається (рис. 3.7).



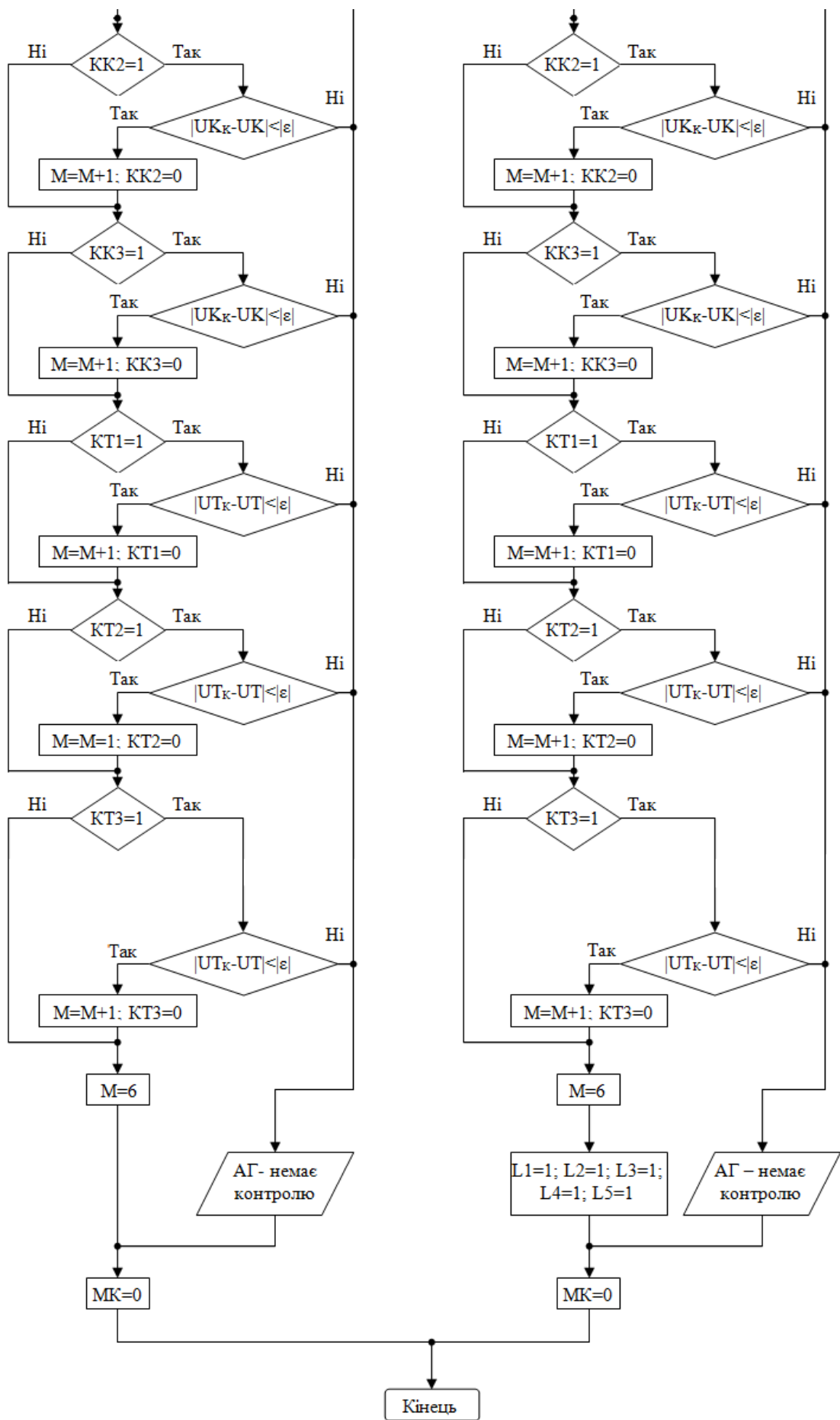


Рис. 3.7. Підпрограма тест-контролю

Умовні позначення для блок-схеми алгоритмів зображеної на рис. 3.7 мають наступні значення: КК – показник стану входів кута крену; КТ – показник стану входів кута тангажу; Н – показник стану входів напруги живлення; М – кількість працездатних АГ; Т – сумарне значення кутів тангажу; К – сумарне значення кутів крену; Р – кількість АГ що відмовили; НК – контрольне значення напруги, що видає МК; П – показник стану вмикача «Тест-контроль»; МК – видача тестового сигналу від МК; УК – середнє значення кутів крену; УТ – середнє значення кутів тангажу; U_{γ} – значення кутів крену; U_{ν} – значення кутів тангажу; U_{K_K} – контрольні значення крену; U_{T_K} – контрольні значення тангажу; L1 – видача сигналу на табло «АГ – лів відмова»; L2 - видача сигналу на табло «МГВ – резерв відмова»; L3 - видача сигналу на табло «АГ – прав відмова»; L4 - видача сигналу на табло «АГ - порівняй»; L5 - видача сигналу на табло «БК-АГ працездатний».

Висновок

В даному розділі було розглянуто принцип роботи СК-АГ за певним алгоритмом, який відповідав тій чи іншій частині його роботи. Створення алгоритму для вирішення завдань будь-якого типу, його подання виконавцю у зручній для нього формі - це творчий акт. Алгоритм може бути представлений різними способами: мовою блок-схем; мовою програмування. Вибір і розробка алгоритму і чисельного методу розв'язання задачі мають найважливіше значення для успішної роботи над пристроєм. Ретельно пророблений алгоритм рішення задачі - необхідна умова ефективної роботи з складання алгоритму.

РОЗДІЛ 4

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТИПУ МІКРОКОНТРОЛЕРА ATmega8A В ЯКОСТІ БАЗОВОГО ЕЛЕМЕНТА ДЛЯ СК-АГ

4.1. Загальні відомості про МК ATmega8A

Мікроконтролери швидко та, імовірно назавжди, міцно завоювали місце в нашому світі. Складно зараз уявити будь-який пристрій, що не використовує мікроконтролери. Мікрохвильові печі, годинники, DVD-плеєри, керуючі ланцюги літаків і космічних кораблів і багато інше: всі вони містять мікроконтролери різної складності виконання [9].

Мікроконтролери є потужними засобами автоматизації та мініатюризації. Поєднуючи в собі потужність аналогових пристроїв, а в більшості випадків і перевершуючи їх, вони надають в наше розпорядження величезну продуктивність, і найголовніше, компактність.

На сучасному ринку присутня безліч фірм і компаній, що випускають мікроконтролери - від мініатюрних, з обмеженим набором периферії, що коштують менше долара, до промислових, з величезним набором вбудованих пристроїв, великою швидкодією, і стоять тисячі доларів. В даний час на ринку представлені мікроконтролери таких фірм, як АКМ Semiconductor, Advanced Micro Devices (AMD), Alliance Semiconductor, Austin Semiconductor Inc. (ASI), Atmel, Catalyst Semiconductor Inc. (CSI), Cypress Semiconductor, Eon Silicon Devices, Fairchild Semiconductor, Fujitsu Microelectronics, Hitachi Semiconductor, Holtek, Hyundai, Intel, Integrated Silicon Solution Inc. (ISSI), Macronix (MX), Microchip, Micron Technology, Mitsubishi, Mosel Vitelic, Motorola, NexFlash, National Semiconductor, Philips Semiconductor, Ramtron, Rohm, Samsung, Seiko Instruments, Siemens, Silicon Storage Technology (SST), SGS-Thomson (ST), Summit Microelectronics Inc.

Для розробки своїй системи вибємо мікроконтролер фірми Atmel ATmega8A. Він поєднує в собі швидкодію, великий обсяг пам'яті і достатній набір периферії при відносно низькій ціні.

Основні особливості мікроконтролера:

- можливість обчислень зі швидкістю до 16 MIPS / 16 МГц;
- FLASH-пам'ять програм обсягом 8 Кбайт (число циклів стирання/запису не менше 10000);
- пам'ять даних на основі статичного ОЗП (SRAM) обсягом 1 Кбайт;
- пам'ять даних на основі EEPROM об'ємом 512 байт (число циклів стирання / запису не менше 100000);
- можливість захисту від читання і модифікації пам'яті програм і даних (в EEPROM);
- програмування в паралельному (з використанням програматора) або в послідовному (безпосередньо в системі через послідовний SPI-інтерфейс) режимах;
- різні способи синхронізації: вбудований RC-генератор, зовнішній сигнал синхронізації або зовнішній резонатор;
- наявність декількох режимів зниженого енергоспоживання.
- напруга живлення: 2,7 – 5,5 В.
- струм споживання у активному режимі: при 4 МГц, 3 В: 3,6 мА;
- струм споживання в режимі низького споживання: при 4 МГц, 3 В: 0,5 мА;
- струм споживання в сплячому режимі: при 4 МГц, 3 В: 1,0 мА.

Основними характеристиками центрального процесора мікроконтролера є:

- повністю статична архітектура;
- АЛУ підключено безпосередньо до регістрів загального призначення;
- більшість команд виконується за один машинний цикл;
- багаторівнева система переривань;
- наявність програмного стека.

Основними характеристиками підсистеми вводу/виводу є:

- програмне конфігурування і вибір портів введення/виводу;
- кожен вивід може бути запрограмований як вхідний або як вихідний незалежно від інших;
- вхідні буфери з тригером Шмітта на всіх виходах;

- можливість підключення до всіх входів внутрішніх підтягаючих резисторів (опір резисторів становить 35 ... 120 кОм);

Мікроконтролер ATmega8A володіє досить розвинутою периферією:

- 8-розрядний таймер / лічильник з переддільником (таймер T0);
- 16-розрядний таймер / лічильник з переддільником (таймер T1);
- 8-розрядний таймер / лічильник з можливістю роботи в асинхронному режимі (таймер T2);
- сторожовий таймер (WDT);
- одноканальний 8-розрядний генератор сигналу з ШИМ;
- аналоговий компаратор;
- 10-розрядний АЦП (6 каналів);
- повнодуплексний універсальний асинхронний приймач (UART);
- послідовний синхронний інтерфейс SPI.

Мікроконтролери AVR сімейства Mega є 8 розрядними мікроконтролерами з RISC- архітектурою. Вони мають пам'ять програм (FLASH), яка електрично стирається і даних (EEPROM), а також різні периферійні пристрої. Слід зазначити, що мікроконтролери сімейства Mega мають самий багатий набір периферійних пристроїв у порівнянні з мікроконтролерами інших сімейств. Більше того, склад цих пристроїв від моделі до моделі практично не змінюється, а змінюються лише їх функціональні можливості. До пристроїв, присутніх не у всіх моделях сімейства, відносяться АЦП, модуль двухпроводного інтерфейсу TWI (Two Wire Interface, аналог шини I2C), а також модуль інтерфейсу JTAG.

4.2. Організація пам'яті

У мікроконтролерах AVR сімейства Mega реалізована Гарвардська архітектура, у відповідності з якою розділені не тільки адресні простори пам'яті програм і пам'яті даних, але також і шини доступу до них. Способи адресації і доступу до цих областей пам'яті також різні. Така структура дозволяє центральному процесору працювати одночасно як з пам'яттю програм, так і з пам'яттю даних, що

істотно збільшує продуктивність. Кожна з областей пам'яті даних (ОЗУ і EEPROM) також розташована в своєму адресному просторі (рис. 4.1) [10].

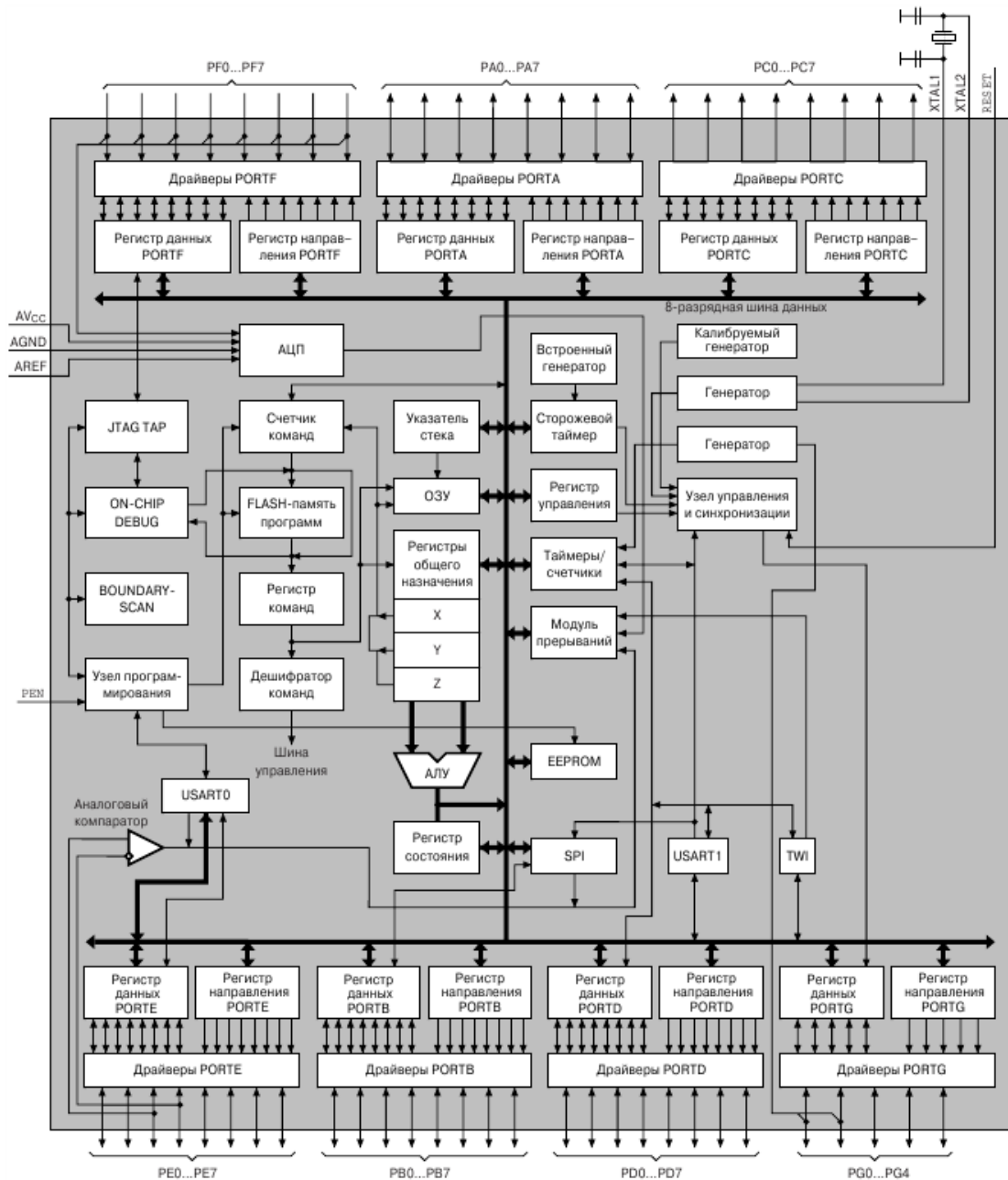


Рис. 4.1. Структурна схема мікроконтролер АТmega8А

4.2.1. Пам'ять програм

Пам'ять програм призначена для зберігання команд, управляючих функціонуванням мікроконтролера. Пам'ять програм також часто використовується для зберігання таблиць констант, не змінних під час роботи програми.

Пам'ять програм являє собою ППЗУ (FLASH-ПЗУ), яка електрично стирається. У зв'язку з тим що довжина всіх команд кратна одному слову (16 біт),

пам'ять програм має 16-разрядну організацію. Відповідно, обсяг пам'яті мікроконтролерів сімейства становить від 4К (4*1024) до 64К (64*1024) 16-разрядних слів. Логічно пам'ять програм розділена на дві нерівні частини - область прикладної програми і область завантажувача. В останній може розташовуватися спеціальна програма (завантажувач), що дозволяє мікроконтролеру самостійно управляти завантаженням і розвантаженням прикладних програм.

4.2.2. Пам'ять даних

Пам'ять даних мікроконтролерів сімейства Mega розділена на три частини: реєстрова пам'ять, оперативна пам'ять (статичне ОЗУ) і енергонезалежне ЕСППЗУ (EEPROM).

Реєстрова пам'ять включає 32 реєстри загального призначення (РЗП), об'єднаних у файл, і службові реєстри введення/виводу (РВВ).

В обох областях реєстрів введення/виводу розташовуються різні службові реєстри (реєстр управління мікроконтролером, реєстр стану і т. п.), А також реєстри управління периферійними пристроями, що входять до складу мікроконтролера.

Для зберігання змінних програм крім реєстрів загального призначення також може використовуватися статичне ОЗУ об'ємом 1 Кбайт. Ряд мікроконтролерів сімейства, крім того, мають можливість підключення зовнішнього статичного ОЗУ об'ємом до 64 Кбайт. Для довготривалого зберігання різної інформації, яка може змінюватися в процесі функціонування готової системи (калібрувальні константи, серійні номери, ключі і т. п.).

В мікроконтролерах сімейства може використовуватися EEPROM-пам'ять. Її обсяг становить 512 байт. Ця пам'ять розташована в окремо адресному просторі, а доступ до неї здійснюється за допомогою певних реєстрів введення/виводу:

- реєстр адреси - в цей реєстр завантажується адреса комірки, до якої буде проводитися звернення. Реєстр адреси доступний як для запису, так і для читання;

- реєстр даних - при записи в цей реєстр завантажуються дані, які повинні бути поміщені в EEPROM, а при читанні в цей реєстр поміщаються дані, лічені з EEPROM.

- реєстр управління - цей реєстр використовується для управління доступом до EEPROM.

4.3. Лічильник команд

Лічильник команд являє собою реєстр, в якому міститься адреса наступної виконуваної команди. Напрямку з програми він недоступний. Розмір лічильника команд залежить від обсягу наявної пам'яті програм і складає 12 розрядів для ATmega8A.

При нормальному виконанні програми вміст лічильника команд автоматично збільшується на 1 або на 2 (залежно від виконуваної команди) в кожному машинному циклі. Цей порядок порушується при виконанні команд переходу, виклику і повернення з підпрограм, а також при виникненні переривань.

Після включення живлення, а також після скидання мікроконтролера в лічильник програм автоматично завантажується стартова адреса або початкова адреса сектора завантажувача. Як правило, за цією адресою розташовується команда безумовного переходу до ініціалізацій частини програми.

При виникненні переривання в лічильник команд завантажується адреса відповідного вектору переривання. Якщо переривання використовуються в програмі, за адресами векторів переривань повинні розміщуватися команди переходу до підпрограм обробки переривань.

4.4. Стек

У всіх мікроконтролерах сімейства Mega стек реалізований програмно. Він розміщується в пам'яті даних, і його глибина визначається тільки розміром вільної області пам'яті програм.

Так як після подачі напруги живлення (або після скидання) в регістрах міститься нульове значення, на самому початку програми показчик стека необхідно проініціалізувати, записавши в нього значення верхнього адреси пам'яті даних.

При виклику підпрограм адреса команди, розташованої за командою виклику, зберігається в стек. Значення показчика стека при цьому зменшується на 2, так як для зберігання лічильника команд потрібно 2 байти. При поверненні з підпрограми цю адресу вилучають із стека і завантажуються в лічильник команд. Значення показчика стека відповідно збільшується на 2. Те саме відбувається і під час переривання. При генерації переривання адреса наступної команди зберігається в стек, а при поверненні з підпрограми обробки переривання він відновлюється з стека.

У всіх моделях мікроконтролерів сімейства Mega стек доступне програмне. Для роботи зі стеком в наборі команд є дві команди: команда занесення в стек (PUSH) та команда вилучення з стека (POP) .

4.5. Тактовий генератор

Спрощений пристрій синхронізації мікроконтролерів сімейства Mega представлено на рис. 4.2.

Як видно з рисунка, на основі системного тактового сигналу формуються додаткові сигнали, використовувані для тактирування різних модулів і блоків мікроконтролера:

- clk_{CPU} - тактовий сигнал центрального процесора, використовуються для тактирування блоків мікроконтролера, що відповідають за роботу з ядром мікроконтролера (регістровий файл, пам'ять даних і т. п.). При виключенні цього сигналу ЦПУ зупиняється, всі обчислення припиняються;

- $clk_{I/O}$ - тактовий сигнал підсистеми вводу/виводу, використовуються більшістю периферійних пристроїв, таких як таймери/лічильники та інтерфейсні модулі. Цей сигнал використовується також підсистемою зовнішніх переривань, однак ряд зовнішніх переривань можуть генеруватися і при його відсутності;

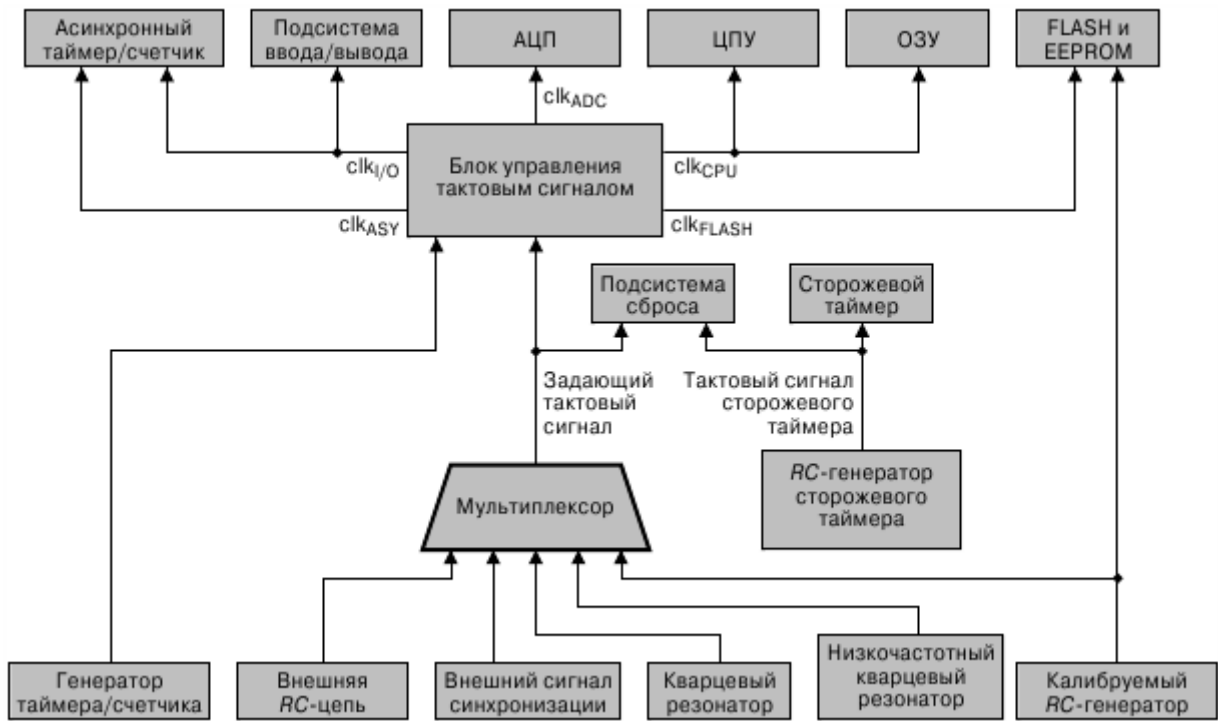


Рис. 4.2. Пристрій синхронізації

- clk_{FLASH} - тактовий сигнал для управління FLASH-пам'яттю програм. Як правило, цей сигнал формується одночасно з тактовим сигналом центрального процесора;
- clk_{ASY} - тактовий сигнал асинхронного таймера/лічильника. Тактирування здійснюється безпосередньо від зовнішнього кварцового резонатора (32768 Гц). Наявність цього сигналу дозволяє використовувати відповідний таймер/лічильник як годинник реального часу навіть при знаходженні мікроконтролера в «сплячому» режимі;
- clk_{ADC} - тактовий сигнал модуля АЦП. Наявність цього тактового сигналу дозволяє здійснювати перетворення при зупиненому ЦПУ і підсистемі вводу / виводу. При цьому значно зменшується рівень перешкод, що генеруються мікроконтролером, точність перетворення збільшується.

4.6. Режими зниженого енергоспоживання

Мікроконтролер підтримує 5 режимів зниженого енергоспоживання. Режими відрізняються числом периферійних пристроїв мікроконтролера, що функціонують в «сплячому» режимі і ступенем зменшення енергоспоживання:

- Idle (режим сплячий)

У режимі Idle припиняється формування тактових сигналів clk_{CPU} і clk_{FLASH} . При цьому ЦПУ мікроконтролера зупиняється, а всі інші периферійні пристрої (інтерфейсні модулі, таймери/лічильники, аналоговий компаратор, АЦП, сторожовий таймер), а також підсистема переривань продовжують функціонувати. Тому вихід з режиму Idle можливий як по зовнішньому, так і за внутрішнім перериванням. Якщо дозволена робота АЦП, то перетворення почне виконуватися відразу ж після переходу в цей «сплячий» режим.

Основною перевагою режиму Idle є швидка реакція на події, що призводять до «пробудження» мікроконтролера. Іншими словами, виконання програми починається відразу ж після переходу з режиму Idle в робочий режим.

ADC Noise Reduction (режим зниження шумів АЦП).

Даний режим є тільки в моделях, що містять у своєму складі модуль АЦП. У цьому режимі припиняє роботу ЦПУ мікроконтролера і підсистема вводу/виводу (відключаються тактові сигнали clk_{CPU} , clk_{FLASH} і $clk_{I/O}$), а АЦП, підсистема обробки зовнішніх переривань, сторожовий таймер і блок порівняння адреси модуля TWI продовжують функціонувати. За рахунок цього зменшуються перешкоди на входах АЦП, що викликаються роботою системи введення/виводу мікроконтролера, що, в свою чергу, дозволяє підвищити точність перетворення. Якщо АЦП включений, перетворення починається відразу ж після переходу в цей «сплячий» режим. Оскільки тактовий сигнал підсистеми вводу/виводу $clk_{I/O}$ в цьому режимі не формується, повернення мікроконтролера в робочий режим може відбутися тільки в результаті скидання (апаратного, від сторожового таймера, від схеми BOD) або в результаті генерації наступних переривань:

- переривання за збігом адреси від інтерфейсу TWI;
- зовнішнього переривання (що виявляється асинхронно);
- переривання від EEPROM-пам'яті і SPM-переривань;
- переривання від АЦП.

- Power Down (режим мікроспоживання)

У режимі Power Down відключаються всі внутрішні тактові сигнали, відповідно припиняється функціонування всіх систем мікроконтролера, що працюють у синхронному режимі.

Єдиними вузлами, що продовжують працювати в цьому режимі, є асинхронні модулі мікроконтролера: сторожовий таймер (якщо він включений), підсистема обробки зовнішніх переривань і блок порівняння адреси модуля TWI. Відповідно вихід з режиму Power Down можливий або в результаті скидання (апаратного, від сторожового таймера, від схеми BOD) або в результаті генерації переривань:

- переривання за збігом адреси від інтерфейсу TWI;
- зовнішнього переривання (що виявляється асинхронно).

Оскільки тактовий генератор мікроконтролера в режимі Power Down зупиняється, між настанням події, що приводить до «пробудження» мікроконтролера і початком його роботи проходить деякі час, протягом якого тактовий генератор мікроконтролера виходить на робочий режим. Ця затримка визначається тими ж конфігураційними осередками, які визначають затримку скидання мікроконтролера .

Також слід пам'ятати, що для виходу мікроконтролера з режиму Power Down в результаті зовнішнього переривання, що генерується по низького рівня на вході, тривалість активного сигналу повинна бути не менше двох періодів сигналу тактового генератора сторожового таймера (≥ 2 мкс при $V_{CC} = 5$ В). Причому, якщо сигнал, що викликав «пробудження» мікроконтролера, зникне раніше, ніж мікроконтролер перейде в робочий режим, обробник відповідного переривання викликаний не буде.

- Power Save (економічний режим)

Цей режим ідентичний режиму Power Down, за одним винятком: якщо таймер/лічильник мікроконтролера, що підтримує роботу в асинхронному режимі, налаштований для роботи в цьому режимі, то він буде працювати під час «сну» мікроконтролера. Тому вихід з режиму Power Save можливий не тільки в результаті подій, перерахованих при розгляді режиму Power Down, але й по перериваннях від таймера /лічильника. Зрозуміло, ці переривання повинні бути дозволені.

- Standby (режим очікування)

Цей режим доступний тільки при використанні генератора із зовнішнім резонатором в якості джерела тактового сигналу. Режим Standby повністю ідентичний режиму Power Down, за винятком того що тактовий генератор продовжує функціонувати. Завдяки цьому перехід мікроконтролера в робочий режим відбувається набагато швидше - за 6 машинних циклів.

4.7. Скидання

Реініціалізація, або так зване «скидання», переводить мікроконтролер в певний стійкий стан. Скидання може бути викликаний наступними подіями:

- включення напруги живлення мікроконтролера;
- подача сигналу низького рівня на висновок RESET (апаратний скидання);
- таймаут сторожового таймера;
- падіння напруги живлення нижче заданої величини;
- скидання по інтерфейсу JTAG.

4.8. Переривання

Переривання припиняє нормальний хід програми для виконання пріоритетного завдання, обумовленою внутрішнім або зовнішнім подією мікроконтролера. При виникненні переривання мікроконтролер зберігає в стеку вміст лічильника команд і завантажує в нього адресу відповідного вектору переривання. За цією адресою, як правило, знаходиться команда безумовного переходу до підпрограми обробки переривання. Останньою командою підпрограми обробки переривання повинна бути команда RETI, яка забезпечує повернення в основну програму і відновлення попередньо збереженого лічильника команд.

4.9. Порти введення/виводу

Кожен порт мікроконтролерів складається з певного числа виходів, через які мікроконтролер може здійснювати прийом і передачу цифрових сигналів. Завдання

напрямку передачі даних через будь-який контакт вводу/виводу може бути вироблено програмно в будь-який момент часу.

Вихідні буфери всіх портів, маючи симетричні навантажувальні характеристики, забезпечують високу навантажувальну здатність при будь-якому рівні сигналу. Навантажувальної здатності достатньо для безпосереднього управління світлодіодними індикаторами [9].

Відмінною особливістю портів мікроконтролерів сімейства Mega (як і всіх мікроконтролерів AVR) при використанні їх як цифрових портів введення/виводу загального призначення є реалізація істинної функціональності виду «читання/модифікація/запис». Завдяки цьому можна виконувати операції над будь-яким виходом (за допомогою команд SBI і CBI), не впливаючи на інші виходи порту. Це відноситься до зміни режиму роботи контакту введення / виводу, до зміни стану вихідного буфера (для виходів) і до зміни стану внутрішнього підтягуючого резистора (для входів).

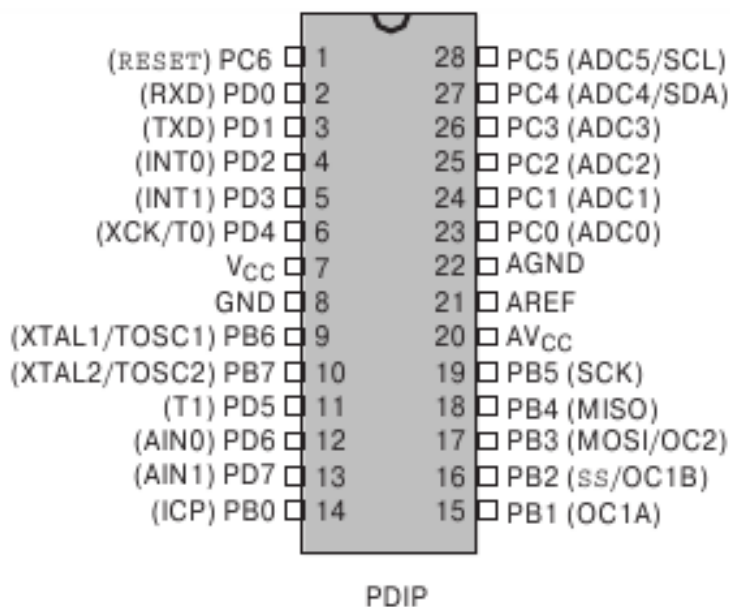


Рис. 4.3. Розташування виходів моделі ATmega8A

Мікроконтролери різних моделей сімейства мають різну кількість портів і відповідно контактів введення/виводу:

- ATmega8A має три порти введення/виводу: порт В (8-разрядний), порт С (7-разрядний) і порт D (8-разрядний). Всього контактів вводу/виводу 23;

В таблиці використані наступні позначення: І – вхід, О – вихід, Р – вивід живлення.

Таблиця 4.1

Позначення	Номер виводу	Тип виводу	Описання
	DIP		
PB0 (ICP)	14	I/O	B0 (Вхід захвату таймера/лічильника T1 (режим Capture))
PB1 (OC1A)	15	I/O	B1 (Вихід А таймера/лічильника T1 (режим Compare, PWM))
PB2 (SS/OC1B)	16	I/O	B2 (Вибір Slave-пристрою в канал SPI/ Вихід В таймера/лічильника T1 (режим Compare, PWM))
PB3 (MOSI/OC2)	17	I/O	B3 (Вихід (Master) або вхід (Slave) даних каналу SPI/Вихід таймера/лічильника T2 (режим Compare, PWM))
PB4 (MISO)	18	I/O	B4 (Вхід (Master) або вихід (Slave) даних каналу SPI)
PB5 (SCK)	19	I/O	B5 (Вихід (Master) або вхід (Slave) тактового сигналу SPI)
PB6 (XTAL1/TOSC1)	9	I/O	B6 (Вхід тактового генератора/Вивід для підключення резонатора до таймера/лічильника T2)
PB7 (XTAL2/TOSC2)	10	I/O	B7 (Вихід тактового генератора/Вивід для підключення резонатора до таймера/лічильника T2)
PC0 (ADC0)	23	I/O	C0 (Вхід АЦП)
PC1 (ADC1)	24	I/O	C1 (Вхід АЦП)
PC2 (ADC2)	25	I/O	C2 (Вхід АЦП)
PC3 (ADC3)	26	I/O	C3 (Вхід АЦП)
PC4 (ADC4/SDA)	27	I/O	C4 (Вхід АЦП/Лінія даних модуля TWI)
PC5 (ADC5/SCL)	28	I/O	C5 (Вхід АЦП/Тактовий сигнал модуля TWI)
PC6 (RESET)	1	I/O	C6 (Вхід скидання)
PD0 (RXD)	2	I/O	D0 (Вхід USART)
PD1 (TXD)	3	I/O	D1 (Вихід USART)
PD2 (INT0)	4	I/O	D2 (Вхід зовнішнього переривання)
PD3 (INT1)	5	I/O	D3 (Вхід зовнішнього переривання)
PD4 (T0/XCK)	6	I/O	D4 (Вхід зовнішнього тактового сигналу таймера / лічильника T0 / Вхід / вихід зовнішнього тактового сигналу USART)
PD5 (T1)	11	I/O	D5 (Вхід зовнішнього тактового сигналу таймера / лічильника T1)
PD6 (AIN0)	12	I/O	D6 (Позитивний вхід компаратора)
PD7 (AIN1)	13	I/O	D7 (Негативний вхід компаратора)

Продовження таблиці 4.1			
AREF	21	P	Вхід опорної напруги для АЦП
AGND	22	P	Аналоговий загальний вивід
AV _{CC}	20	P	Вивід джерела живлення АЦП
GND	8	P	Загальний вивід
V _{CC}	7	P	Вивід джерела живлення

4.9.1. Регістри портів введення/виводу

Звернення до портів здійснюється через регістри введення/виводу. Під кожен порт в адресному просторі введення/виводу зарезервовано по 3 адреси, за якими розміщені наступні регістри: регістр даних порту PORTx, регістр напрями даних DDRx і регістр виходів портів PINx. Дійсні назви регістрів виходять підстановкою назви порту замість символу «x», відповідно регістри порту А називаються PORTA, DDRA, PINA, порту В - PORTB, DDRB, PINB і т. д. Оскільки за допомогою регістрів PINx здійснюється доступ до фізичних значень сигналів на виходах порту, вони доступні тільки для читання, тоді як інші два регістри доступні і для читання, і для запису.

4.10. Таймер – лічильники

За своїм призначенням таймер - лічильники поділяються на дві категорії. До першої категорії відносяться таймер загальне призначення. До другій категорії - сторожовий таймер. Сторожовий таймер служить для автоматичного перезапуску МК у випадка «зависання» його програми.

Таймери загального призначення використовуються для формування різних інтервалів часу та прямокутних імпульсів заданої частоти. Крім того, вони можуть працювати у режимі лічильника і підраховувати тактові імпульси заданої частоти, таким чином вони виміряють тривалість зовнішніх сигналів, а також при необхідності підраховують кількість любих зовнішніх імпульсів.

4.11. Аналоговий компаратор

Модуль аналогового компаратора входить до складу всіх без виключення мікроконтролерів сімейства Mega. Будучи включеним, компаратор дозволяє

порівнювати значення напруг, присутніх на двох виходах мікроконтролера. Результатом порівняння є логічне значення, яке може бути прочитане з програми. По результату порівняння може бути згенеровано переривання, а також здійснене захоплення стану таймера/лічильника T1. Остання функція дозволяє, зокрема, вимірювати тривалості аналогових сигналів [10].

4.12. Аналого-цифровий перетворювач

Модуль 10-розрядного АЦП послідовного наближення входить до складу моделей ATmega8A. Основні параметри цього АЦП наступні:

- абсолютна похибка: ± 2 МЗР;
- інтегральна не лінійність: ± 0.5 МЗР;
- швидкодія: до 15 тис. вибірок/сек.

На вході модуля АЦП всіх моделей є 8-канальний аналоговий мультиплексор, що надає в розпорядження користувача 8 каналів з несиметричними входами. Мікроконтролер ATmega8A має тільки 6 каналів перетворення. Крім того, у ATmega8A два канали (ADC4 і ADC5) є 8-розрядними.

Як джерело опорного напруги для АЦП може використовуватися як напруга живлення мікроконтролера, так і внутрішній або зовнішній джерело опорного напруги.

У процесі роботи АЦП може функціонувати в двох режимах:

- режим одиночного перетворення, коли запуск кожного перетворення ініціюється користувачем;
- режим безперервного перетворення, коли запуск перетворень виконується безперервно через певні інтервали часу.

Так як АЦП є ключовим компонентом схеми, важливу роль в перетворенні аналогового сигналу в цифровий, відіграє саме точність АЦП. Точність АЦП залежить від наступних параметрів: розрядності АЦП, інтегральної не лінійності, помилки зсуву і коефіцієнта передачі, тактової частоти, температурний коефіцієнт, точність опорного живлення та інші.

Розрядність АЦП характеризує кількість дискретних значень, які перетворювач може видати на виході. У довічних АЦП вимірюється в бітах - розрядність двійкового АЦП 10 біт: $2^{10} = 1024$ рівнів квантування (0 ... 1023). Похибки, які діють на АЦП (інтегральної не лінійності, помилки зсуву і коефіцієнта передачі) вимірюються в одиницях МЗР - молодшого значущого розряду. Вплив цих похибок можна вирахувати наступним чином: для 10-бітного двійкового АЦП похибка в 2 МЗР (я взяв саме 2 МЗР, як абсолютну похибку, яка саме включає в себе всі інші) становить $2/1024$ від повного діапазону сигналу, тобто 0,1953 %. Цю похибку можливо ще зменшити, далі я розповім як саме.

Перш за все, для мінімізації похибки самого АЦП необхідно правильно вибрати тактову частоту перетворення. З цією ж метою на вході АЦП рекомендується встановлювати фільтр низьких частот. Крім того, при розробці конструкції і топології друкованої плати слід дотримуватися загальних правил проектування цифро-аналогових пристроїв:

- на друкованій платі необхідно передбачити область суцільний металізації під аналогову «землю». Аналогова частина мікроконтролера і аналогова частина всього пристрою повинні розташовуватися над цією областю. Аналогова і цифрова «землі» повинні з'єднуватися один з одним в єдиній точці друкованої плати;
- провідники, по яких поширюються аналогові сигнали, повинні бути якомога коротшим і розташовуватися над аналоговою «землею». Крім того, вони повинні бути розміщені якомога далі від швидкодіючих цифрових ланцюгів;
- якщо будь-які виводи АЦП використовуються як цифрові виходи, вони не повинні перемикатися під час перетворення.

Для зведення до мінімуму електромагнітних перешкод, що наводяться ядром процесора, у всіх розглянутих мікроконтролерах є додатковий «сплячий» режим - ADC Noise Reduction (режим зниження шумів АЦП). У цьому режимі з усіх периферійних пристроїв функціонують тільки АЦП і сторожовий таймер. Для тієї ж мети (але з меншим ефектом) може бути використаний режим Idle. Для використання АЦП в кожному із зазначених режимів необхідно переконатися, що

АЦП включено і не зайняте перетворенням, потім переключити АЦП в режим одиночного перетворення і дозволити переривання від АЦП, після чого перевести мікроконтролер в режим ADC Noise Reduction (або режим Idle).

Відразу ж після зупинки процесора почнеться цикл перетворення.

При завершенні перетворення буде згенеровано переривання від АЦП, яке переведе мікроконтролер в робочий режим, і почнеться виконання підпрограми обробки цього переривання.

Зараз я розрахую похибку порогів спрацювання БКК-18. Похибку АЦП я прирівняв до похибки порогів спрацювання БКК-18. Початкове значення напруги постійного струму на гніздах ГН1-ГН6 відносно гнізда ГН7 становить 10.5 В. При цьому максимальна різниця між напругою будь-якої пари гнізд ГН1, ГН2, ГН3, ГН4, ГН5, ГН6 не повинна перевищувати 0.2 В. Тоді похибка становить $0.2/10.5$ від повного діапазону, тобто 1.9048% [2].

Порівняємо одержані результати. Похибка АЦП - 0.1953 %, похибка БКК-18 - 1.9048 %. Можна зробити висновок, що розробка аналогового пристрою, БКК-18, є доцільною й допоможе підвищити точність вимірювання.

4.13. Універсальний синхронний/асинхронний приймач

Усі без винятку мікроконтролери сімейства Mega мають в своєму складі модулі або універсального асинхронного (UART), або універсального синхронно/асинхронного (USART) приймача. Більш того, в деяких моделях є по два таких модуля.

Зауважимо, що модулі USART при роботі в асинхронному режимі сумісні з модулями UART як по розташуванню розрядів керуючих регістрів, так і по функціонуванню. Невеликі відмінності є тільки в роботі схеми буферизації блоку приймача модулів і в назві (але не в призначенні) деяких розрядів керуючих регістрів.

Всі модулі прийомо-передатчиків забезпечують повнодуплексний обмін по послідовному каналу, при цьому швидкість передачі даних може варіюватися в досить широких межах. У модулях UART посилка може бути 8 або 9 розрядної, а в

модулях USART її довжина може становити від 5 до 9 розрядів. Ще однією особливістю модулів USART є наявність схем формування та контролю парності.

Модулі USART / UART, реалізовані в мікроконтролерах сімейства, можуть виявляти такі позаштатні ситуації:

- переповнення;
- помилка кадрування;
- невірний старт-біт.

Для зменшення ймовірності збоїв в модулях також реалізована така корисна функція, як фільтрація перешкод. Для взаємодії з програмою в модулях передбачені 3 переривання, запит на генерацію яких формується при настанні таких подій: «передача завершена», «регістр даних передавача порожній» і «прийом завершений».

Як звичайно, виходи мікроконтролера, використовувані модулями USART / UART, є лініями портів введення / виводу загального призначення.

4.14. Послідовний периферійний інтерфейс SPI

Послідовний периферійний інтерфейс SPI (Serial Peripheral Interface), реалізований у всіх мікроконтролерах сімейства Mega, має подвійне призначення. По-перше, з його допомогою може здійснюватися обмін даними між мікроконтролером і різними периферійними пристроями, такими, як цифрові потенціометри, ЦАП / АЦП, FLASH-ПЗУ та ін. За допомогою цього інтерфейсу також може вироблятися обмін даними між декількома мікроконтролерами AVR. Крім того, через інтерфейс SPI може бути здійснено програмування мікроконтролера.

При обміні даними по інтерфейсу SPI мікроконтролер AVR може працювати як ведучий (режим «Master») або як відомий (режим «Slave»). При цьому користувач може задавати швидкість передачі (сім програмованих значень) і формат передачі (від молодшого розряду до старшого або навпаки).

Додатковою можливістю підсистеми SPI є «пробудження» мікроконтролера з режиму Idle при вступі даних [11].

4.15. Послідовний двохпровідний інтерфейс

Модуль двохпровідного послідовного інтерфейсу (Two-wire Serial Interface, TWI) входить до складу мікроконтролера ATmega8A. Даний інтерфейс є повним аналогом базової версії інтерфейсу I2C фірми «Philips». Інтерфейс TWI дозволяє об'єднати разом до 128 різних пристроїв за допомогою двобічної шини, що складається всього з двох ліній: лінії тактового сигналу (SCL) і лінії даних (SDA). Єдиними додатковими елементами для реалізації шини є два резистора, що підтягують, по одному на кожну лінію.

Висновок

В даному розділі було розглянуто архітектуру використаного мікроконтролера та опис основних можливостей. На сьогоднішній день існує більше 200 модифікацій мікроконтролерів, які випускаються двома десятками компаній, і велика кількість мікроконтролерів інших типів. Популярністю у розробників користуються 8-бітові мікроконтролери PIC фірми Microchip Technology і AVR фірми Atmel, шістнадцяти бітні MSP430 фірми TI, а також ARM, архітектуру яких розробляє фірма ARM і продає ліцензії іншим фірмам для їх виробництва.

При проектуванні мікроконтролерів доводиться дотримувати баланс між розмірами і вартістю з одного боку та гнучкістю і продуктивністю з іншого. Для різних додатків оптимальне співвідношення цих та інших параметрів може розрізнятися дуже сильно. Тому існує величезна кількість типів мікроконтролерів, які відрізняються архітектурою процесорного модуля, розміром і типом вбудованої пам'яті, набором периферійних пристроїв, типом корпусу і т. д.

РОЗДІЛ 5

ВИБІР ВТОРИННОГО ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СК-АГ

5.1. Проектування вторинного джерела живлення

Технічне завдання на проектування вторинного джерела живлення (далі – ВДЖ): $U_{\text{сер}}=36$ (В); $f_{\text{сер}}=400$ (Гц); $a_{\text{сер}}=0,1$; $b_{\text{сер}}=0,1$; $U_{\text{н1}}=5$ (В); $U_{\text{н2}}=+15$ (В); $U_{\text{н3}}= - 15$ (В); $I'_{\text{нmin}}=0,8$ (А); $K_{\text{ст}} \geq 500$; $I_{\text{н1}}=5$ (А); $I_{\text{н2}}=0,5$ (А); $I_{\text{н3}}=0,5$ (А); $I'_{\text{нmax}}=1,2$ (А); $D_{\alpha} = \pm 36$.

Позначення:

$$U_{\text{сmax}}=U_{\text{с}}*(1+\alpha); U_{\text{сmin}}=U_{\text{с}}*(1-b);$$

$$I'_{\text{нmax}}=\frac{I_{\text{н max}}}{I_{\text{н}}}; I'_{\text{нmin}}=\frac{I_{\text{н min}}}{I_{\text{н}}}; D_{\alpha}=20\lg*\frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{ном}}};$$

5.2. Вибір і обґрунтування структурної схеми

Вибір структурної схеми проведемо на основі даних літератури, виходячи з вимог технічного завдання. З огляду на то, що вихідна напруга змінюється в межах $U_{\text{вих}}=5 - 15$ (В), то можна використовувати схему з регулятором, включеним у ланцюг вторинної обмотки трансформатора. Враховуючи невелику вихідну потужність, і високий коефіцієнт стабілізації, ($P_{\text{вих}}=40$ (Вт), $K_{\text{ст}}=500$) доцільно використовувати транзисторні стабілізатори компенсаційного типу. Вони займають проміжне, місце між параметричними і тиристорними стабілізаторами (по складності і потужності) [13].

Для поліпшення умов фільтрації випрямленої напруги доцільно використовувати мостову схему випрямляча змінної напруги. Така схема дозволяє виключити відвід від середини обмотки, (що спрощує конструкцію трансформатора) і в два рази підвищує частоту пульсацій випрямленої напруги.

Останній фактор дозволяє зменшити габарити фільтра. З огляду на те, що стабілізатор працює в безупинному режимі, і здійснює стабілізацію і фільтрацію

напруги, то питання про необхідність додаткової фільтрації зважується в залежності від необхідного коефіцієнта випрямленої напруги.

На відміну від параметричних, компенсаційні стабілізатори забезпечують необхідну стабільність на навантаженні за допомогою негативного зворотного зв'язку, що впливає на регулюючий елемент. Отже, компенсаційні стабілізатори представляють замкнуті безупинні системи автоматичного регулювання, що забезпечує істотно кращі характеристики вихідної напруги таких пристроїв у порівнянні з ключовими стабілізаторами і параметричними стабілізаторами.

5.3. Розрахунок функціональної схеми компенсаторного стабілізатора

У залежності від схеми включення регулюючого елемента компенсаційні стабілізатори поділяються на послідовні і рівнобіжні. До складу компенсаційного стабілізатора будь-якого типу входять наступні основні функціональні вузли: регулюючий елемент, пристрій порівняння, підсилювач постійного струму.

Розрахунок і вибір елементів схеми проводимо відповідно методики викладеній в [14].

Регулюючий елемент виконується, як правило, на складених транзисторах для зменшення вхідного струму керування при заданому струмі регулювання. У необхідних випадках використовують рівнобіжне включення декількох транзисторів для збільшення регульованого струму.

Визначимо потужності на навантаженнях:

$$P_{21}=I_1*U_1=5*5=25 \text{ (Вт)};$$

$$P_{22} =I_1*U_1=0,5*15=7,5 \text{ (Вт)};$$

$$P_{23}=I_3*U_3=0,5*15=7,5 \text{ (Вт)}.$$

Отже, при такому рівні потужності можна використовувати транзисторний стабілізатор, або в дискретному виконанні, або на основі інтегральних мікросхем.

Визначимо припустимий коефіцієнт пульсацій по формулі:

$$K_{п1}=\frac{U_{\approx n}}{U_{н2}}=\frac{3*10^{-3}}{5}*100\%=0,06(\%)$$

$$K_{п2}=\frac{U_{\approx n}}{U_{н2}}=\frac{3*10^{-2}}{5}*100\%=0,02(\%)$$

Типове значення коефіцієнта пульсацій мостового випрямляча працюючого на ємність, складає $K_{п0}=10\%$ (величина пульсацій на ємності фільтра).

Визначимо необхідне значення коефіцієнта фільтрації:

$$K_{\phi 1} = \frac{K_{n0}}{K_{n1}} = \frac{10\%}{0,06\%} \approx 170\% \leq K_{cm} = 500$$

$$K_{\phi 2} = \frac{K_{n0}}{K_{n2}} = \frac{10\%}{0,02\%} = 500\% \leq K_{cm} = 500$$

Тому що необхідний $K_{\phi \max} = K_{\phi 2} = K_{cm}$, то додаткової фільтрації не потрібно, роль фільтра буде виконувати сам компенсаційний стабілізатор. Тому що вихідна напруга стабілізаторів мала, то, задаючи $\eta = 50\%$ визначимо потужність на виході випрямляча:

$$P_{20} = \frac{P_{21} + P_{22} + P_{23}}{\eta} = \frac{25 + 7,5 + 7,5}{0,5} = 80 \text{ (Вт)}$$

З огляду на то, що у випрямлячі використана мостова схема, то орієнтоване значення потужності трансформатора складе:

$$P_{tr} = P_{вих} * 1,2 = P_{20} * 1,2 = 80 * 1,2 = 96 \text{ (Вт)}.$$

Крім того, відповідно до вимоги технічного завдання, необхідно передбачити захист від підвищення струму в навантаженні при виникненні короткого замикання. Цей захист реалізується за рахунок введення в стабілізатор додаткових пристроїв порівняння і виконавчого елемента захисту. На підставі вищевикладеного складемо функціональну схему убудованого джерела живлення (рис 5.1).

На функціональній схемі введені наступні скорочені позначення:

- U_1-U_3 – схема захисту по струму;
- $C1-C3$ – компенсаційні стабілізатори;
- $\Phi 1-\Phi 6$ – фільтри;
- $V1-V3$ – мостові випрямлячі;
- VT – трансформатор.

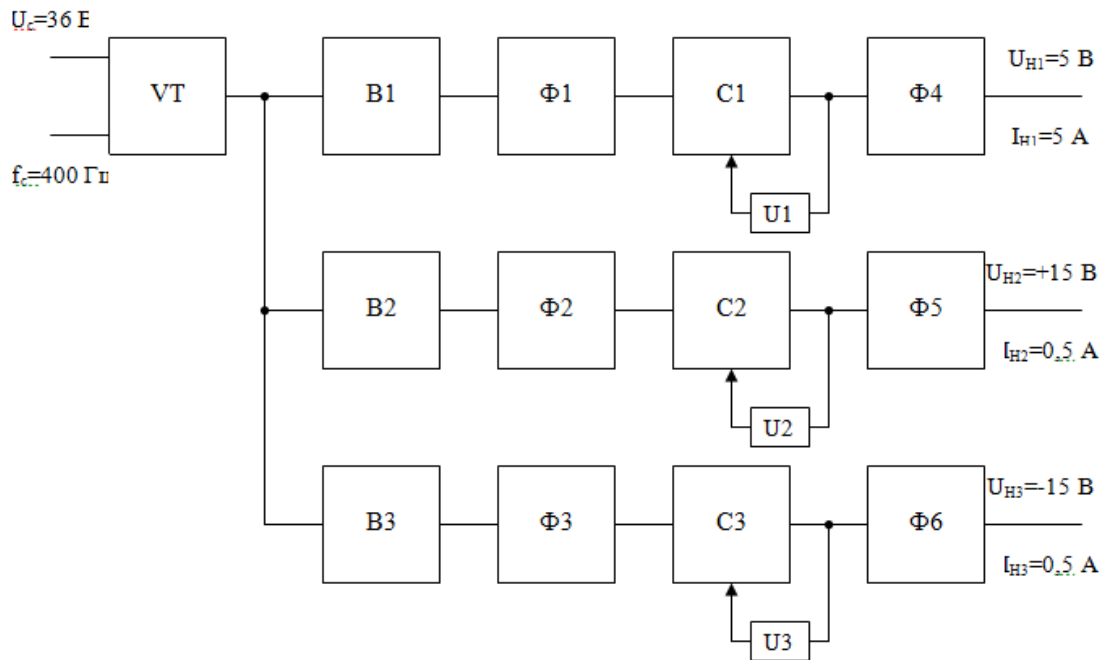


Рис. 5.1. Функціональна схема вторинного джерела живлення

5.4. Вибір і розрахунок принципової схеми випрямляча і стабілізатора на $U_1=5$ (В).

В даний час електронною промисловістю налагоджений випуск інтегральних стабілізаторів на базі мікросхем з фіксованою вихідною напругою. У таких стабілізаторах істотно спрощена принципова схема, знижені масово габаритні показники при досить прийнятних якісних показниках. Одним із прикладів є мікросхема типу 142 ЕН5А, що має наступні параметри [15]:

- вихідна напруга $U_H=5$ (В) $=U_{H1}$;
- точність установки $\Delta U_H=\pm 2$ (%);
- максимальний струм навантаження $I_{Hmax}=8$ (А) $>I_{H1}=5$ (А);
- максимальна вхідна напруга $U_{вхmax}=15$ (В);
- нестабільність по напрузі $K_{стU}=0,05$ (%);
- нестабільність по струму при значенні струму від 0 до I_{Hmax} $K_{стI}=1,0$ (%);
- відносний температурний коефіцієнт напруги $\alpha_H=0,02\%$ $^{\circ}C^{-1}$;
- мінімальне спадання напруги на стабілізаторі $U_{вихmin}=2,5$ (В);
- максимальний струм споживання мікросхемою $I_{max}=10$ (мА).

Розглянемо величину напруги пульсації:

$$U_{\text{п}} = K_{\text{стт}} = U_{\text{вих}} = \frac{0,05\% * 5}{100\%} = 0,0025 < 0,003 \text{ (В)} = U_{\text{нзад}}$$

Отже, для джерела з $U_{\text{н}} = 5 \text{ (В)}$ можна використовувати інтегральний стабілізатор.

Інтегральні стабілізатори з фіксованою вихідною напругою містять убудований захист від перевантаження по струму і тепловому захисті від перевищення максимально припустимої температури кристала ($t_{\text{тех доп}} + 175^{\circ}\text{C}$), це відповідно, значно підвищує надійність мікросхеми. Величина струму захисту визначається граничною величиною потужності розсіювання мікросхеми і залежить від спадання напруги на регульованому транзисторі.

Для подальшого розрахунку приведемо схему включення інтегрального стабілізатора з фіксованим виходом рис. 5.2.

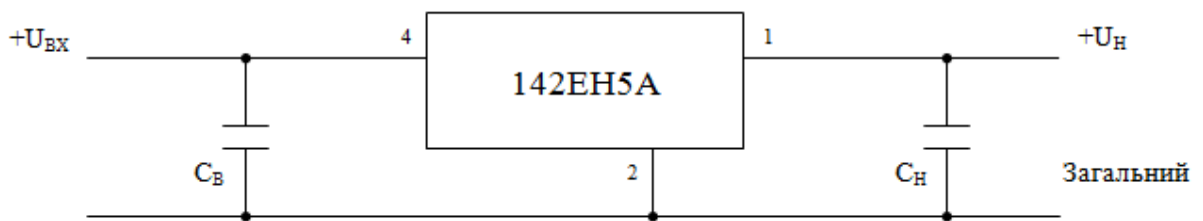


Рис. 5.2. Типова схема включення інтегрального стабілізатора напруги з фіксованим виходом

Номінальна і максимальна напруга на вході:

$$U_{\text{вхном}} = \frac{U_{\text{вхmin}}}{1-b} = \frac{7,5}{1-0,1} = 8,33 \text{ (В)}$$

$$U_{\text{вхmax}} = U_{\text{вхном}} * (1-\alpha) = 8,33 * (1+0,1) = 9,16 \text{ (В)}$$

Максимальна напруга на регулюючому транзисторі:

$$U_{\text{кеmax}} = U_{\text{вхmax}} - U_0 = 9,16 - 5 = 4,16 \text{ (В)}$$

Потужність, що розсіюється на регулюючому транзисторі при $I_{\text{нmax}}$:

$$P_{\text{розстmax}} = I_{\text{нmax}} * U_{\text{кеmax}} = 6 * 4,16 = 25 \text{ (Вт)}.$$

Допустима потужність $P_{\text{розсдоп}} = 10 \text{ (Вт)}$

$$P_{\text{розстmax}} > P_{\text{розсдоп}} = 10 \text{ (Вт)}.$$

Тому, необхідна установка інтегрального стабілізатора на охолодний радіатор.

Напруга холостого ходу випрямляча з урахуванням ($\Delta U_{\text{в}} = 2 \text{ В}$).

$$U_{0\text{хх}} = U_{\text{вхmax}} + \Delta U_{\text{в}} = 9,16 + 2 = 11,16 \text{ (В)}.$$

Потужність випрямляча:

$$P_{0\max} = U_{0\text{хх}\max} * (I_0 - \Delta I_0), \text{ де } \Delta I_0 = 10 \text{ (мА)} - \text{ струм, споживаний ІС.}$$

$$P_{0\max} = 11,6 * (6 + 0,01) = 67,1 \text{ (Вт).}$$

Вихідна напруга випрямляча при номінальній напрузі в мережі:

$$U_{0\text{хх}} = \frac{U_{0\text{хх}\max}}{1 + a} = \frac{11,16}{1 + 0,1} = 10,15 \text{ (В).}$$

Виходячи з вищевикладеного, вибираємо мостову схему випрямляча, що має збільшену частоту пульсації вихідної напруги і краще використовує вихідний трансформатор.

Орієнтовно задамося розрахунковими коефіцієнтами: $V=0,9$ і $D=2,3$ для випрямляча, що працює на ємність [16].

Середнє значення струму через вентиль:

$$I_a = \frac{I_0}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ (А).}$$

Величина зворотної напруги на вентилях:

$$U_{\text{обр}\max} = 1,41 * V * U_{\text{ср}} = 1,41 * 0,9 * 10,15 = 12,9 \text{ (В)}$$

Тому що величина $U_{\text{обр}\max}$ мала, то вентиль вибираємо по величині прямого струму.

Для забезпечення малих теплових втрат у вентилях використовують германійові діоди типу Д305 з параметрами:

$$I_{\text{ср}} = 10 \text{ А; } \Delta U_{\text{н}} = 0,35 - 0,9 \text{ В; } I_{\text{пр}} = 10 \text{ (А).}$$

При $I_{\text{пр}} = 3 \text{ (А)}$, $\Delta U_{\text{пр}} = 0,7 \text{ (В)}$. Прямий опір вентилів:

$$r_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{3 * I_a} = \frac{0,7}{3 * 3} = 0,08 \text{ (Ом).}$$

Активний опір фази трансформатора:

$$r_{\text{тр}} = k_r * \frac{U_{\text{ср}}}{I_{\text{ср}} * f_{\text{ср}} * B} * \sqrt[4]{\frac{S * f_{\text{ср}} * B}{U_{\text{ср}} * I_{\text{ср}}}} = 3,5 * \frac{10,15}{6 * 400 * 1,2} * \sqrt[4]{\frac{1 * 400 * 1,2}{10,15 * 6}} = 0,02 \text{ (Ом)},$$

де $k_r = 3,5$ – коефіцієнт, що залежить від схеми, $S = 1$ – число стрижнів броньової конструкції магнітопроводу, $B = 1,2 \text{ (Тл)}$ – робоча індукція для сталі марки Е316 на частоті $f_{\text{ср}} = 400 \text{ Гц}$, $U_{\text{ср}} = U_{0\text{хх}}$, $I_{\text{ср}} = I_{\text{н}\max}$.

Активний опір фази випрямляча: $r_{\text{ф}} = r_{\text{тр}} + 2 * r_{\text{пр}} = 0,02 + 2 * 0,08 = 0,18 \text{ (Ом)}$.

Спадання напруги у фазі випрямляча: $\Delta U_B = r_\phi * I_o = 0,18 * 6 = 1,1$ (В) – величина близька до попередньо заданої.

Знайдемо величину розрахункового коефіцієнта А:

$$A = \frac{n * r_\phi}{2} - \frac{I_{сер}}{U_{сер}} = \frac{8,5 * 0,18}{2} - \frac{6}{10,15} = 0,17;$$

Визначимо орієнтовану величину кута відсічення:

$$\Theta = \sqrt[3]{3 * A} = \sqrt[3]{3 * 0,17} = 0,83 \text{ рад} = 49^\circ.$$

Точне значення менше отриманого. Складемо програму для розрахунку точного значення:

$$A(\Theta) = \text{tg } \Theta - \Theta$$

Перетворимо отримане вираження до виду зручному для розрахунку Θ :

$$\Theta = \text{tg } \Theta - A(\Theta) \Rightarrow \text{tg } \Theta = \text{tg} * (\text{tg } \Theta - A(\Theta)), A(\Theta) = 0,24: \Theta_{\text{неч}} = 51^\circ;$$

Одержимо величину $\Theta = 46,4^\circ$

Знаючи Θ знайдемо значення розрахункових коефіцієнтів $B(\Theta) = 1,0$; $D(\Theta) = 2,1$ – отримані значення близькі до попередньо прийнятих $H(\Theta) = 380^\circ$.

Визначимо умовну потужність для першого джерела U_{H1} :

$$S_{\text{тр}} = \frac{\sqrt{2}}{2} * B * D * P_{сер} = \frac{\sqrt{2}}{2} * 1 * 2,1 * 67 = 99,5 \text{ (Вт)}.$$

Обчислимо величину ємності фільтра (для забезпечення необхідного коефіцієнта пульсацій):

$$C = \frac{100 * H}{K_u * r * 8} = \frac{100 * 380}{10 * 0,26 * 8} = 1600 \text{ (мкФ)}.$$

Схема каналу стабілізації напруги $U_H = 5$ (В) представлена на рис. 5.3.

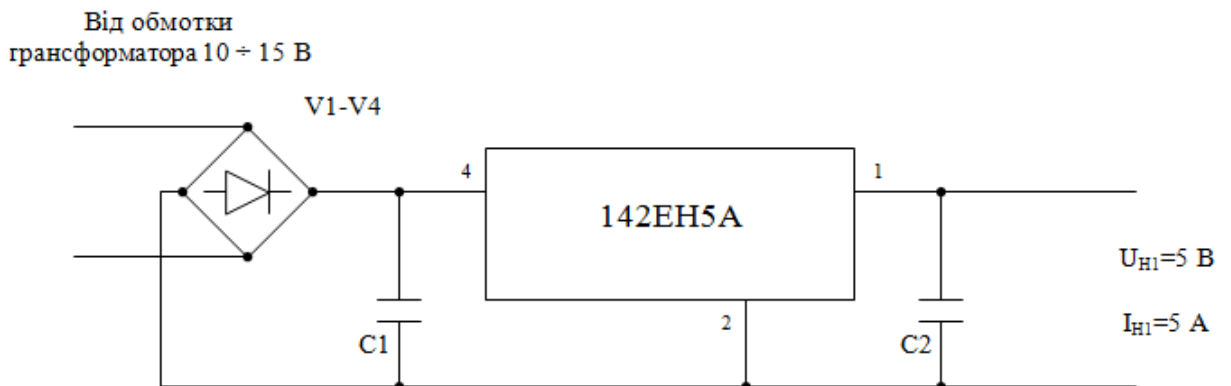


Рис. 5.3. Принципова схема каналу $U_H = 5$ (В)

На схемі позначені:

- V1-V4 – діодна зборка Д305;
- C1 – конденсатор К50-6 ($C_{\text{НОМ}}=2000$ мкФ);
- C2 – конденсатор К50-6 ($C_{\text{НОМ}}=10$ мкФ).

5.5. Розрахунок джерела живлення на напругу $U_n=15$ (В)

На підставі вищевикладеного розділу, вибір і обґрунтування структурної схеми ВДЖ, як джерела живлення $U_n=15$ (В), виберемо схему компенсаційного стабілізатора на основі дискретних елементів [17].

Вихідні дані для розрахунку:

$$U_{\text{сєр}}=36 \text{ (В)}; \quad f_{\text{сєр}}=400 \text{ (Гц)}; \quad a_{\text{сєр}}=b_{\text{сєр}}=0,1; \quad U_{\text{п}}=15 \text{ (В)}; \quad I_{\text{нНОМ}}=0,5 \text{ (А)};$$
$$I_{\text{нМАХ}}=I'_{\text{нМАХ}} * I_{\text{нНОМ}} = 1,2 * 0,5 = 0,6 \text{ (А)}; \quad I_{\text{нМІН}}=I'_{\text{нМІН}} * I_{\text{нНОМ}} = 0,8 * 0,5 = 0,4 \text{ (А)}; \quad U_{\text{н}\approx} = 3 \text{ (мВ)};$$
$$U_{\text{нГ}} = 0,2 \text{ (В)}.$$

Обираємо як регулюючий елемент транзистори типу КТ871А с параметрами:

$$I_{\text{кМАХ}}=3 \text{ (А)}; \quad U_{\text{кєМАХ}}=25 \text{ (В)}; \quad P_{\text{кМАХ}}=14 \text{ (Вт)}; \quad h_{21\text{єМІН}}= 25; \quad I_{\text{кб}}=0,4 \text{ (мА)}.$$

При заданому струмі навантаження $I_{\text{нМАХ}}=0,6$ (А) приймаємо напругу насичення транзистора $U_{\text{кєНАС}}=3$ (В), а максимальний рівень пульсацій вхідної напруги $U_{\text{п}\sim}=0,15$ (В).

Визначаємо вхідну напругу живлення:

$$U_{\text{нМАХ}} = \frac{(U_{\text{кєНАС}} + U_{\text{н}\approx} + U_n + \Delta U_n) * (1 + a)}{(1 - b)} = \frac{(3 + 0,15 + 15 + 1) * (1 + 0,1)}{(1 - 0,1)} = 23,4 \text{ (В)}$$

$$U_n = \frac{U_{\text{нМАХ}}}{(1 + a)} = \frac{23,4}{(1 + 0,1)} = 21,3 \text{ (В)}$$

$$U_{\text{нМІН}} = U_n * (1 - b) = 21,3 * (1 - 0,1) = 19,1 \text{ (В)}$$

Напруга холостого ходу при $\Delta U_{\text{В}}=2$ (В):

$$U_{0\text{ХХМАХ}}=U_{\text{ВХМАХ}} + \Delta U_{\text{В}}=23,4+2,0=26,4 \text{ (В)}.$$

Потужність випрямляча:

$$P_{0\text{МАХ}}=U_{0\text{ХХМАХ}} * (I_0 + \Delta I) = 26,4 * (0,5 + 0,01) = 13,5 \text{ (Вт)}.$$

Вхідна напруга при номінальній напрузі мережі:

$$U_{0\text{ХХ}} = \frac{U_{0\text{ХХМАХ}}}{(1 + a)} = \frac{26,4}{(1 + 0,1)} = 24 \text{ (В)}.$$

Вибираємо схему мостового випрямляча. Задамося орієнтованими параметрами: $B=0,9$ і $D=2,3$ для випрямлення при роботі на ємність.

Середнє значення струму через вентиль:

$$I_a = \frac{I_0}{2} = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ (А)}.$$

Середня величина зворотної напруги на вентилі:

$$U_{звор\max} = 1,41 * B * U_{сер} = 1,41 * 0,9 * 24 = 30,5 \text{ (В)}.$$

Тому що $U_{звор} < 50$ (В), то обираємо вентилі по величині прямого струму. Для спрощення конструкції обираємо діодну зборку з параметрами: тип – К542НД1.

$U_{звор} = 50$ (В); $I_{пр} = 0,5$ (А); $U_{пр} = 1,2$ (В); $I_{звор} = 0,1$ (мА); $t = 1,0$ (мкс); схема – бруківка.

Прямий опір вентилів:

$$r_{np} = \frac{U_{np}}{3 * I_{np}} = \frac{1,2}{3 * 0,5} = 0,8 \text{ (Ом)}.$$

Активний опір фази вентиля:

$$r_{\phi} = 2 * r_{np} + r_{тр} = 2 * 0,8 + 2 = 3,6 \text{ (Ом)}.$$

Падіння напруги у фазі випрямляча:

$$\Delta U_{в} = r_{\phi} * I_a = 3,6 * 0,25 = 1 \text{ (В)};$$

Отримане значення близьке до раніше обраному.

Знайдемо розрахунковий коефіцієнт А:

$$A = \frac{\pi * r_{\phi} * I_{ср}}{2 * U_{ср}} = \frac{3,14 * 3,6 * 0,25}{2 * 2,4} = 0,06.$$

Орієнтоване значення кута помилки:

$$\Theta = \sqrt[3]{3 * A} = 0,58 \text{ рад} = 47,5^{\circ}.$$

Використовуємо значення Θ і знайдемо значення розрахункових коефіцієнтів:

$$D(\Theta) = 2,2; B(\Theta) = 0,95; H(\Theta) = 300.$$

Визначимо сталу потужність для другого джерела:

$$S_{mp2} = \frac{B * D * P_{ср}}{\sqrt{2}} = \frac{0,95 * 2,2 * 24 * 0,5}{1,41} = 17,7 \text{ (Вт)}.$$

З огляду на те, що $S_{тр2} = S_{тр3}$, одержимо сумарну настановну потужність трансформатора:

$$S_{\text{тр}\Sigma} = S_{\text{тр}1} + S_{\text{тр}2} + S_{\text{тр}3} = 99,5 + 17,7 + 17,7 = 135 \text{ (Вт)}.$$

Ємність на вході стабілізатора:

$$C = \frac{100 * H}{K_{\text{н}} * r * 8} = \frac{100 * 300}{10 * 3,6 * 8} = 41 \text{ (мкФ)}. \text{ Покладемо, } C = 50 \text{ (мкФ)}.$$

Перейдемо до розрахунку стабілізатора. Вибираємо остаточно, як регулюючий елемент VT2 транзистор КТ817Б з параметрами:

$$I_{\text{kmax}} = 3 \text{ (А)}; I_{\text{kб}} = 0,15 \text{ (мА)}; U_{\text{кеmax}} = 40 \text{ (В)}; P_{\text{kmax}} = 14 \text{ (Вт)}; h_{21e\text{min}} = 25; h_{11e2} = 85.$$

При заданому рівні струму $I_{\text{k}} = 0,6 \text{ (А)}$, покладемо $U_{\text{кеmax}} = 2 \text{ (В)}$, а $U_{\text{н}} = 0,25 \text{ (В)}$ (10% від вихідної напруги випрямляча) [16].

Уточнимо максимальну величину потужності розсіювання на колекторі транзистора:

$$P_{\text{Tmax}} = (U_{\text{нmax}} - U_{\text{н}} - \Delta U_{\text{н}}) \cdot I_{\text{max}} = (23,4 - 15 - 1) \cdot 0,6 = 4,44 \text{ (Вт)};$$

По вхідних і вихідних характеристиках транзистора КТ817В визначаємо:

$$U_{\text{еб2}} = 0,8 \text{ В}; \Delta U_{\text{еб2}} = 0,04 \text{ В}; \Delta U_{\text{ке}} = 6 \text{ (В)};$$

$$\mu_{\text{T2}} = \frac{\Delta U_{\text{ке}}}{\Delta U_{\text{еб}}} = \frac{6}{0,04} = 150; \eta_{\text{e2}} = \frac{\Delta U_{\text{еб1}}}{I_{\text{kб2}} - I_{\text{kб1}}} = \frac{0,1}{1,5 * 10^{-3} - 0,3 * 10^{-3}} = 85 \text{ (Ом)}.$$

Максимальне значення колекторного струму для транзистора VT1:

$$I_{\text{k1}} = \frac{I_{\text{нmax}}}{h_{21e2\text{min}}} = \frac{0,6}{25} = 0,024 \text{ (А)}.$$

Напруга колектор-емітер у момент включення: $U_{\text{кэ1}} = E_{\text{нmax}} = 23,6 \text{ (В)}$.

Потужність розсіювання на колекторі транзистора VT1:

$$P_{\text{k1}} = \frac{P_{\text{mmax}}}{h_{21e2\text{min}}} = \frac{4,44}{25} = 0,18 \text{ (Вт)};$$

Як транзистор VT1 використовуємо транзистор типу КТ603Б з параметрами:

$$I_{\text{k1max}} = 0,024 \text{ (мА)}; U_{\text{ке1max}} = 30 \text{ (В)}; P_{\text{kmax}} = 0,4 \text{ (Вт)} \text{ (} t = 20^{\circ}\text{C)}; U_{\text{кепас}} = 0,25 \text{ (В)};$$

$$P_{\text{kmax}} = 0,28 \text{ (Вт)} \text{ (} t = 60^{\circ}\text{C)}; h_{21e1\text{min}} = 60; U_{\text{еб1}} = 0,7 \text{ (В)}; h_{11e1} = 300 \text{ (Ом)}; I_{\text{kб1}} = 0,03 \text{ (мА)};$$

$$\mu_{\text{T1}} = 600; \Delta U_{\text{еб1}} = 0,1 \text{ (В)}.$$

Струм бази транзистора VT1:

$$I_{\text{б1}} = \frac{I_{\text{k}}}{h_{21e1\text{min}}} = \frac{0,024}{60} = 0,4 \text{ (мА)}.$$

Приймаємо схему складеного транзистора без допоміжного джерела живлення. Мінімальна напруга на регульованому елементі:

$$U_{кэпес} = U_{кэпес1} + U_{эб2} = 0,25 + 0,8 = 1,05 \text{ (В)}.$$

Знайдемо еквівалентні параметри складеного транзистора:

$$\mu_{T22} = \frac{\mu_{T1} * \mu_{T2}}{\mu_{T1} + \mu_{T2}} = \frac{150 * 600}{150 + 600} = 120;$$

$$h_{11e} = h_{11e1} + h_{11e2} * h_{21e1min} = 300 + 85 * 60 = 5,3 \text{ (кОм)}.$$

Максимальне значення напруги $U_{вих,y}$, В;

$$U_{вих,y} = U_{п} + U_{\Deltaп} + U_{еб1} + U_{еб2} = 15 + 1 + 0,7 + 0,8 = 17,5 \text{ (В)}.$$

Проведемо розрахунок ланцюга зворотного зв'язку. Виберемо стабілітрон типу Д818Б з параметрами: $U_{ст.min} = 7,65 \text{ (В)}$; $U_{ст.max} = 9 \text{ (В)}$; $I_{ст.min} = 3 \text{ (мА)}$; $I_{ст.max} = 33 \text{ (мА)}$; $r_{диф} = 18 \text{ (Ом)}$; $\alpha_{п} = -1,8 \text{ (мВ/с)}$ [15].

Прийmemo напругу $E_{доп}$ рівною:

$$E_{доп} = 0,4 * (U_{п} + \Delta U_{п}) = 0,4 * (15 + 1) = 6,4 \text{ (В)}.$$

Тоді, $U_{\Sigma} = E_{доп} + U_{п} + \Delta U_{п} = 6,4 + 15 + 1 = 22,4 > U_{вих,y}$.

Як керуючий транзистор VT3, виберемо транзистор типу КТ 312Б з параметрами: $U_{кэ3max} = 35 \text{ (В)}$; $I_{ст.min} = 30 \text{ (мА)}$; $\alpha_{т3} = 2 \text{ (мВ/с)}$; $h_{21E3min} = 25$; $U_{бэ3} = 0,8 \text{ (В)}$; $r_{е3} = 50 \text{ (Ом)}$; $r_{еб3} = 1 \text{ (кОм)}$; $h_{11E3} = 1 \text{ (кОм)}$; $\mu_{т3} = 1000$.

Покладемо, колекторний струм транзистора VT3:

$$I_{к3} = 2,8 \text{ мА} > I_{Б1} = I_{вих,y} = 0,4 \text{ (мА)}.$$

і обчислимо величини опорів резисторів:

$$R_1 = \frac{E_n + U_n + \Delta U_n - U_{вих,y}}{I_{к3} + I_{вих,y}} = \frac{6,4 + 15 + 1 - 17,5}{2,8 * 10^{-3} + 0,4 * 10^{-3}} = 1,53 \text{ (кОм)}.$$

Приймаємо: $R_1 = 1,5 \text{ (кОм)}$.

$$R_3 = \frac{U_n - \Delta U_n - U_{ст.max}}{I_{ст.min} - I_{к3}} = \frac{15 - 1 - 9}{3 * 10^{-3} - 2,8 * 10^{-3}} = 25 \text{ (кОм)}.$$

Приймаємо: $R_3 = 24 \text{ (кОм)}$.

Обчислимо струм бази транзистора VT3:

$$I_{Б3} = \frac{I_{к3}}{h_{21E3min}} = \frac{2,8 * 10^{-3}}{25} = 0,1 \text{ (мА)}.$$

Задаймося струмом дільника. $I_{д\ddot{u}л}=10 \cdot I_B=10 \cdot 0,1=1$ (мА) і визначимо номінали базового дільника.

$$R_5 = \frac{U_{cm.min} + U_{\text{БЗ3}}}{I_{\text{д\ddot{u}л}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_n}{U_n}\right)} = \frac{7,65 + 0,8}{10^{-3} \cdot \left(1 + \frac{1}{15}\right)} = 7,9 \text{ (кОм)}.$$

Покладемо $R_5=7,5$ (кОм).

$$R_4 = \frac{U_n - \Delta U_n - U_{cm.max} - U_{\text{БЗ3}}}{U_{cm.max} + U_{\text{БЗ3}}} \cdot R_5 = \frac{15 - 1 - 9 - 0,8}{9 + 0,8} \cdot 7,5 = 3,2 \text{ (кОм)}.$$

Приймаємо $R_4=3$ (кОм).

Визначимо величину резистора R_p :

$$R_p \geq \frac{U_n}{I_{\text{д\ddot{u}л}}} - R_4 - R_5 = \frac{15}{10^{-3}} - 3000 - 7500 = 4,5 \text{ (кОм)}.$$

Покладемо $R_p=4,7$ (кОм).

Визначимо еквівалентний опір навантаження керуючого каскаду:

$$R_n = \frac{U_{\text{в\ddot{u}х,y}}}{I_{\text{в\ddot{u}х,y}}} = \frac{17,5}{0,4} = 43,75 \text{ (кОм)}.$$

Опір у ланцюзі колектора VT3 (еквівалентне значення):

$$R_k = \frac{R_1 \cdot R_n}{R_1 + R_n} = \frac{15 \cdot 10^{-3} \cdot 43,75 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 10^{-3} + 43,75 \cdot 10^3} = 1,45 \text{ (кОм)}.$$

Коефіцієнт підсилення по напрузі керуючого транзистора VT3:

$$K_u = \frac{U_{cm.mh}}{U_n} \cdot \frac{h_{21\text{БЗ3min}} \cdot R_k}{h_{11\text{БЗ3}} + h_{21\text{БЗ3min}} \cdot (r_3 + r_{\text{д\ddot{u}ф}})} = \frac{7,65}{15} \cdot \frac{25 \cdot 1,45 \cdot 10^3}{10^3 + 25 \cdot (50 + 18)} = 6,85.$$

Для підвищення стійкості роботи стабілізатора виберемо $C_{зз}=1$ (мкФ).

Ємнісний опір на частоті пульсації складає ($f=m \cdot f_c=250=100$ Гц)

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_{oc}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}} = 16 \text{ (кОм)}.$$

Це опір, що утворить негативний зворотний зв'язок по змінній напрузі, зменшить коефіцієнт передачі $R_{п}$ ланцюга зворотного зв'язку на частоті 100 (Гц) не більш, ніж у 2 рази, тобто $K_{п-}=3,5$.

Визначимо значення коефіцієнта стабілізації:

$$K_{cm} = K_n \cdot \mu_{T22} \cdot \frac{U_{11}}{U_n} = 0,85 \cdot 120 \cdot \frac{15}{21,3} = 578 \text{ } K_{cm.зад} = 500.$$

Обчислимо величину амплітуди змінної складової (пульсації) на виході.

$$U_{n\approx} = \frac{U_{n\approx}}{K_{n\approx} * \mu_{T22}} = \frac{0,25}{3,5 * 120} = 0,6 \text{ мВ} < U_{п.зад} = 3 \text{ (мВ)}.$$

Знайдемо величину $\Delta E_{\text{доп}}$:

$$\Delta E_{\text{доп}} = \delta U_{\text{доп}} * K_u = 0,05 * 5,85 = 0,35 \text{ (В)}.$$

Визначимо величину температурної нестабільності вихідної напруги стабілізатора при $\alpha_{п}=1,8 \text{ (мВ/}^\circ\text{C)}$, $\alpha_{нт}=-2 \text{ (мВ/}^\circ\text{C)}$, $\alpha_{нд}=-1 \text{ (мВ/}^\circ\text{C)}$; - температурні коефіцієнти стабілітрона, транзистора і дільника відповідно R_p, R₄, R₅. Тоді:

$$\delta U_{нт+} = \frac{U_n + \Delta U_n}{U_{сн.мін}} * (\pm \alpha_n \pm \alpha_{нт} \pm \alpha_{нд}) * (T_{с.макс} - T_c).$$

Покладемо: $T_{смакс}=60^\circ\text{C}$ і $T_{смін}=10^\circ\text{C}$, $T_c=20^\circ\text{C}$, тоді:

$$\delta U_{нт+} = \frac{15+1}{7,65} * (1,8 - 2 - 1) * (60 - 20) = -0,1 \text{ В} < \delta U_{нт.зад} = 0,2 \text{ (В)}.$$

Визначимо величину резистора (опору) R₂:

$$R_2 = \frac{U_n - \Delta U_{н1}}{I_{кб02}} = \frac{15-1}{0,15 * 10^{-3}} = 93 \text{ (кОм)}.$$

Покладемо R₂=95 (кОм).

Зневажаючи втратами в схемі управління, визначимо величини номінального і мінімального КПД [16].

$$\eta_n = \frac{U_n}{U_n} = \frac{15}{21,3} = 0,7 = 70(\%)$$

$$\eta_{\text{мін}} = \frac{U_n - \Delta U_n}{U_{н.макс}} = \frac{15-1}{23,4} = 0,6 = 60(\%)$$

Розрахунок схеми для джерела $U_{н3} = -15 \text{ (В)}$, аналогічний вищевикладеному, при цьому, з огляду на зворотну полярність живлення, використовуємо транзистори зворотної провідності: VT1 – КТ562; VT2 – КТ816Б; VT3 – КТ361.

При цьому полярність включення елементів VD1 – VD8 також змінюємо на зворотну.

Принципова схема каналу $U_{н2}=15 \text{ (В)}$ зазначена на рис. 5.4.

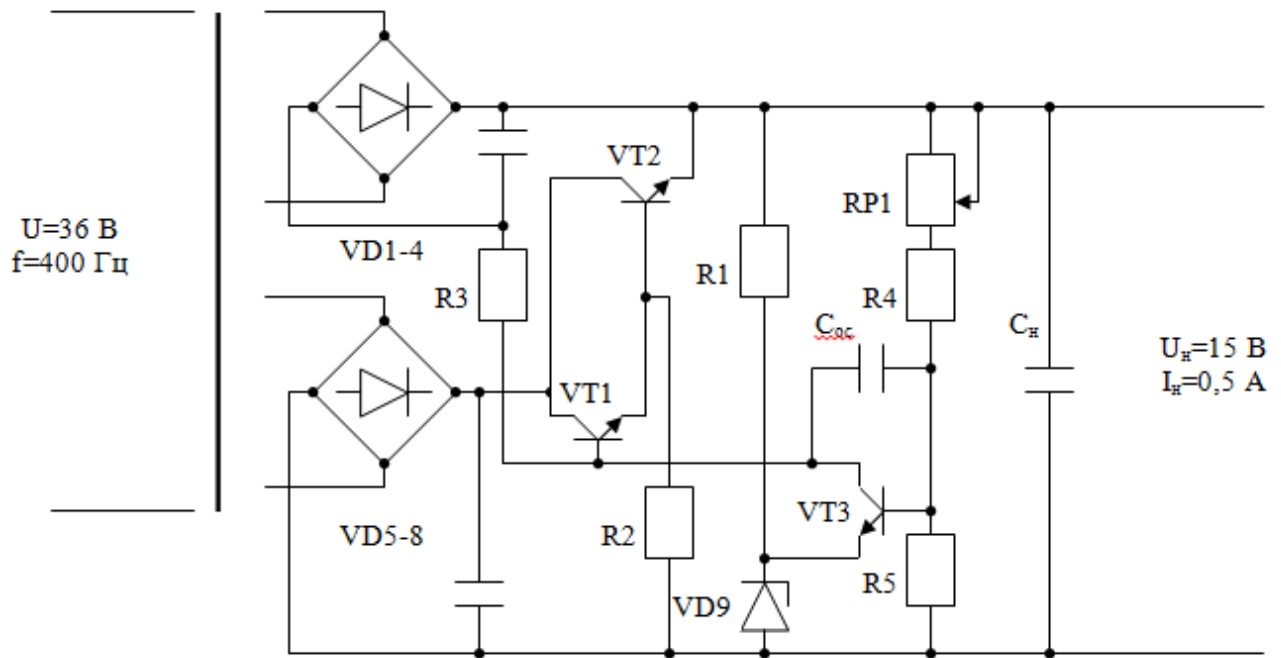


Рис. 5.4 Принципова схема каналу $U_{H2}=15$ (В)

Позначення на принциповій схемі:

VD1 – VD4 - 2Д906 – діодна матриця з мостовою схемою; VD5 – VD8 - К542НД1; VD9 – Д818Б; VT1 – КТ603; VT2 – КТ817Б; VT3 – КТ312; R1 – 1,5 кОм; R2 – 93 кОм; R3 – 24 кОм; R4 – 3 кОм; R5 – 7,5 кОм; R_{p1} – 4,7 кОм.

5.6. Розрахунок надійності СК-АГ

Для визначення терміну безаварійної роботи устаткування, його здатності виконувати свої функції протягом заданого часу застосовують кількісні оцінки працездатності. Надійна робота, це одна з головних вимог до проєктованих систем.

Основні характеристики надійності [18]:

- середній час наробітку на відмовлення $T_{сер}$;
- імовірність безвідмовної роботи $P_c(t)$.

Для надання пілотам перевіреної інформації, щодо просторового положення літака, значеннями кутів крену та тангажу, використовується блок контролю АГ зібраний на мікросхемах з застосуванням мікропроцесорної технології (сучасні ІМС мають великий рівень надійності).

Але система контролю АГ не резервується, тому при виходу із ладу хоча б одного елемента системи, приведе до відмови усієї системи.

Функція надійності, імовірності безвідмовної роботи всієї системи $P_c(t)$, що складається з елементів, які мають імовірність безвідмовної роботи $P_i(t)$ розраховується по формулі:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t).$$

Таким чином імовірність безвідмовної роботи всієї системи складається з імовірністю безвідмовної роботи усіх елементів, які входять до системи (мікросхеми, резистори, конденсатори, реле та інші).

Відсутність резервування в функціональних вузлах, призводить до того, що імовірність безвідмовної роботи кожного з вузлів визначається добутком ймовірностей безвідмовної роботи n -го числа елементів, що входять до нього. Відмови елементів розподіляються згідно закону:

$$\lambda_i(t) = \text{const} = \lambda_i,$$

де λ_i – інтенсивність відмов i -го елементу.

Тоді імовірність безвідмовної роботи системи можна розрахувати за формулою:

$$P_c(t) = \frac{T_{сер}}{T_{обс}} * e^{-\lambda_c t}, \quad (5.1)$$

де $T_{сер}$ – кількість годин наробітку на відмовлення;

$T_{обс}$ – кількість годин між періодичним технічним обслуговуванням;

λ_c – інтенсивність відмовлень системи.

У таблиці 5.1 наведені кількість елементів, які входять до СК-АГ, та їх інтенсивність відмови [15,16].

Роблячи розрахунки необхідно враховувати вплив основних експлуатаційних факторів на інтенсивність відмовлень елементів системи. Для цього введемо експлуатаційний коефіцієнт $k_e=120$ (він відображає умови застосування пристрою – бортові, літакові). З урахуванням коефіцієнта інтенсивність відмовлень системи визначається по формулі:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i * k_e, \quad (5.2)$$

де λ_i – інтенсивність відмовлень і-го елемента системи.

Таблиця 5.1

Кількість елементів системи і їх інтенсивність відмовлень

Найменування елементів	Кількість N_i , штук	Інтенсивність відмовлень $\lambda_i * 10^{-6}$, Γ^{-1}	Добуток $\lambda_i * N_i$
Авіагоризонти і АГрезерв.	3	0,61	1,83
Аналогові ключі	3	0,09	0,27
Вхідні аналогові пристрої	8	0,03	0,24
Мікроконтролер АТmega8А	1	0,05	0,05
Ключ-інвертор	1	0,05	0,05
Цифро-аналоговий перетворювач	1	0,06	0,06
Вбудоване джерело живлення	1	0,2	0,2
Реле	6	0,24	1,44
Лампи, табло світлосигнальне	7	0,025	0,175

Примітка: аналогові ключі, вхідні аналогові пристрої, МК АТmega8А, ЦАП, ключ-інвертор зібрані на інтегральних мікросхемах та великих інтегральних схемах.

Підставляючи у формулу 5.2 числові значення з таблиці 5.1 та значення k_e , розрахуємо інтенсивність відмов блоку СК-АГ:

$$\lambda_c = (1,83 + 0,27 + 0,24 + 0,05 + 0,05 + 0,06 + 0,2 + 1,44 + 0,175) * 10^{-6} * 120 = 5,178 * 10^{-4}$$

Визначивши сумарну інтенсивність відмовлень, виконаємо розрахунок імовірності безвідмовної роботи.

Кількість годин наробітку на відмовлення:

$$T_{сер} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{5,178 * 10^{-4}} = 1931,2 \text{ (г)}.$$

Підставимо отримані дані інтенсивності відмов та кількість годин наробітку на відмову в формулу $P_c(t)$ і обчислимо імовірність безвідмовної роботи за 2024р.

$$P_c(2000) = \frac{1931,2}{2000} * e^{-5,178 * 10^{-4}} = 0,965$$

5.7. Порядок технічного обслуговування СК-АГ

Технічне обслуговування пристрою проводиться з метою забезпечення його працездатності при експлуатації. До обслуговуванню пристрою повинен допускатися інженерно-технічний персонал, який вивчив керівництво з технічного обслуговування пристрою ПК-АГ, який ознайомився з регламентом та технологічними вказівками по технічному обслуговуванню цього пристрою на літаку Ан-140, і які вдало склали залік на знання усіх керуючих документів. При проведенні технічного обслуговування, необхідно дотримуватися мір безпеки, які передбачені інструкцією з техніки безпеки .

Регламент передбачає виконання на літаках наступні види технічного обслуговування:

- оперативна форма обслуговування, по формі «Б» у базовому аеропорту раз у 10 + 3 діб;
- періодичне технічне обслуговування, згідно з розрахунком, не рідше 3000 годин нальоту, або 4 місяці.

Регламентні роботи системи СК-АГ поєднують з регламентними роботами, що пов'язані з монтажем АГ які він контролює.

Оперативне технічне обслуговування, включає в себе, перевірку системи СК-АГ за допомогою сигналу «Тест-контроль» в відповідності з технологічними картами «Перевірка працездатності СК-АГ після установки на літак».

Настройка порогів спрацювання системи СК-АГ на літаку повинна виконуватися:

- при включеній системі реєстрації інформації і підключеній до виходів АГ які контролює СК-АГ;
- при включені усіх пристроїв, виходи яких з'єднані з виходами АГ, що контролює СК-АГ.

Настройку порогів спрацювання системи СК-АГ проводити при первинній установці та заміні самого пристрою, а також при заміні агрегатів, які вказані в табл. 5.2.

Агрегати, при заміні яких потрібно проводити настроювання СК-АГ

Літак	Агрегати
Ан-140	1. АГК-77-15 лівого льотчика
	2. АГК-77-15 правого льотчика
	3. АГР-74

Висновок

Джерела живлення є невід'ємною складовою частиною різної радіоелектронної апаратури. Залежно від конкретного виду радіоелектронної апаратури до джерел живлення можуть пред'являтися різні вимоги. У ряді випадків потрібні високостабільні і надійні джерела живлення, вартість яких наближається до вартості апаратури, яку вони живлять, або навіть перевищує її. При проектуванні радіоелектронної апаратури розробник вирішує питання про організацію її електроживлення. У цьому випадку можливі три варіанти: використання тільки вторинного або тільки первинного джерела живлення і спільне використання цих обох видів джерел енергії. При цьому вибір повинен бути зроблений на користь однієї з двох головних альтернатив: придбання готових модулів і блоків живлення, широко представлених на ринку або розробка джерела живлення для конкретної радіоелектронної апаратури. Звичайно, у ряді випадків можливе і суміщення покупних вузлів з власними розробками джерел живлення, якщо це є виправданим з економічної і технічної сторони. Важливим моментом розробки радіоелектронної апаратури також, може бути, вибір хімічного джерела струму. При цьому, як правило, виявляється можливим застосування різних елементів і батарей однієї або навіть декількох систем в проектованій системі. У зв'язку з цим важливого значення набуває так само аналіз економічних показників.

ВИСНОВОК

Мета кваліфікаційної роботи – розроблення нової системи контролю авіагоризонтів СК-АГ замість БКК-18 з новими функціональними можливостями.

Як і блок БКК-18 система контролю СК-АГ виконує контроль кутів крену з видачею відповідної сигналізації, але він виконує і контроль кутів тангажу. З урахуванням того, що перевірку на наявність напруги живлення та обрив фази виконує сам АГ отримуємо повний контроль працездатності авіагоризонтів. Тим самим виключається можливість прийняття хибного рішення при порушенні працездатності АГ.

Поява ще однієї функції системи СК-АГ, безупинний самоконтроль усіх елементів та ланцюгів схеми контролю крену і тангажу, з видачею сигналізації про відмову, при відхиленні від перевірконого алгоритму, підвищує впевненість до роботи системи. Тим самим зменшує час на пошук дефекту і відповідно зменшує термін ремонту системи.

Контроль напруги живлення змінного та постійного струму безпосередньо самою системою виключає зі схеми блок СПЖ-1, який час від часу виходить з ладу. Відсутність цього блоку, з передаванням його функцій до СК-АГ, веде до підвищення надійності схеми. До того ж з виключенням додаткового пристрою (СПЖ-1) скорочується час на пошук блоку, який відмовив.

При розробці СК-АГ використовується схема на сучасній елементній базі, із застосуванням цифрової обчислювальної техніки і програмних засобів обробки аналогової інформації, яка перетворюється в цифровий вид.

Використання пристроїв, створених на базі ІМС, дозволяє значно поліпшити надійність пропонованої системи, а наявність програмованого мікроконтролера дозволяє додатково збільшувати функціональні можливості цього блоку.

Тому враховуючи все вище означене можна зробити висновок, що використання системи СК-АГ на літаку Ан-140 є доцільним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Самолёт Ан-140. Руководство по лётной эксплуатации. 140.00.0000.000.000.РЛЭ
2. Блок контроля кренов БКК-18. Руководство по технической эксплуатации. 6В3.083.004 РЭ
3. Руководство по технической эксплуатации. СНП-1 РТЕ 034.23.16.
4. <http://www.atmel.com>
5. Правила выполнения электрических схем. Издательство стандартов, 2000.
6. Пестриков В.М. Энциклопедия радиолюбителя. 2 изд., дополненное. - СПб.: "Наука и техника", 2001.
7. ГОСТ 19.701-90 ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем.
8. Караванова Т.В. Информатика. Методи побудови алгоритмів та їх аналіз. Обчислювальні алгоритми. – К. Видавництво: Генеза, 2009 р.
9. Евстафеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Tiny и Mega фирмы ATMEL. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008.
10. Мортон Дж. Микроконтроллеры AVR. Вводный курс. /Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2006.
11. Белов А. В. Микроконтроллеры AVR в радиолюбительской практике. – СПб.: Наука и Техника, 2007.
12. Белов А. В. Самоучитель по микропроцессорной технике. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Наука и Техника, 2007.
13. Скубилин М.Д., Письменов А.В. Технология и автоматизация производства электронной аппаратуры. - Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005.
14. Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование. Издательство МК-Пресс, 2007.
15. Гитцевич А.Б. и др. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры: Справочник, – М.: «КубК-а», 1997.

16. Голомедова А.В. и др. Полупроводниковые приборы. Диоды высокочастотные, диоды импульсные, оптоэлектронные приборы: Справочник, – М.: Радио и связь, 1998.

17. Ефимов И.П. Е78 Источники питания РЭА: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. Ульяновск: УлГТУ, 2002.

18. Н.Н. Кокушин, А.А. Тихонов, С.Г. Петров, В.Е. Головкин, И.В. Ключкин. Основы теории надежности: учебное пособие. ГОУВПО СПбГТУРП. - СПб., 2011.

