

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

**Кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування
рухом поїздів**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання лабораторних робіт
з дисципліни**

«СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ»

Частина VIII

**Дослідження приймальних пристроїв
каналу ТУ ДЦ «Луч»**

Харків – 2019

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до

друку на засіданні кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів 12 березня 2018 р., протокол № 7.

Методичні вказівки рекомендовані для студентів першого рівня вищої освіти освітньої програми (бакалавр) спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» усіх форм і термінів навчання.

Укладач

доц. О. В. Нейчев

Рецензент

доц. Н. А. Корольова

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з дисципліни

«СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ»

Частина VIII
Дослідження приймальних пристроїв каналу
ТУ ДЦ «Луч»

Відповідальний за випуск Нейчев О. В.

Редактор Третьякова К. А.

Підписано до друку 03.04.18 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,25. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

Дослідження приймальних пристроїв каналу ТУ ДЦ «Луч»

Метою роботи є вивчення принципів детектування фазоманіпульованих сигналів телекерування при використанні відносної фазової модуляції.

1 Загальні відомості

1.1 Побудова сигналів ТУ в ДЦ «ЛУЧ»

Для побудови сигналів ТУ використовується змінний струм із частотою 500 Гц, фаза якого може приймати три значення, що відрізняються на 120 градусів (1/3 періоду): $\varphi_1 = 0$, $\varphi_2 = +120^\circ$, $\varphi_3 = -120^\circ$. Тобто

$$\begin{aligned} u_1 &= U_m \sin(2\pi 500 t), \\ u_2 &= U_m \sin(2\pi 500 t + 2\pi/3), \\ u_3 &= U_m \sin(2\pi 500 t - 2\pi/3). \end{aligned} \quad (1.1)$$

Для позначення «0» і «1» кодових комбінацій у процесі побудови сигналів (модуляції) вирішальним є не абсолютне значення фази переданого в лінію зв'язку змінного струму, а знак зміни фази (напрямок фазового зсуву) у порівнянні зі значенням, зафіксованим у попередньому такті. Тобто жодна з напруг u_1 - u_3 (рисунок 1) сама по собі не може вважатися «призначеною» для передавання «1» або «0». А ось їх чергування у певній послідовності якраз і буде нести смислове навантаження.

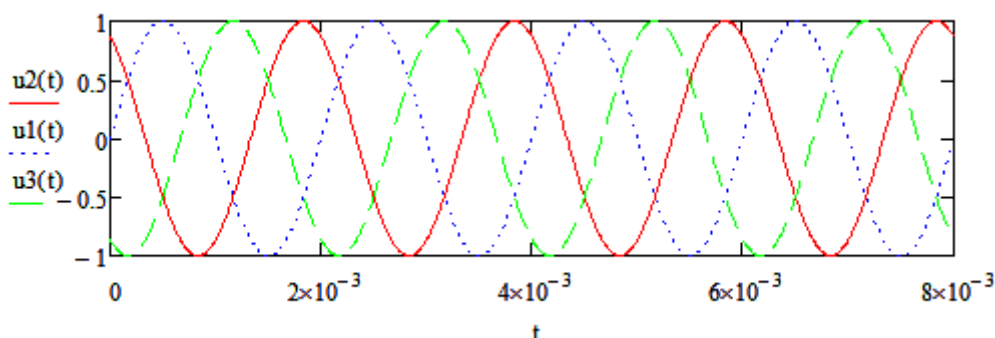


Рисунок 1 – Епюри напруг u_1 , u_2 , u_3

Зміна фази сигналу в послідовності $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_1, \varphi_2 \dots$ і т. д. вважається позитивною, а в напрямку $\varphi_1, \varphi_3, \varphi_2, \varphi_1, \varphi_3 \dots$ – негативною. Для передавання двійкового логічного символу «1» використовується позитивна, а двійкового логічного символу «0» – негативна зміна фази.

Таким чином, кожен символ має три реалізації:

«1» = $\varphi_1 \rightarrow \varphi_2, \varphi_2 \rightarrow \varphi_3, \varphi_3 \rightarrow \varphi_1$; ($u_1 \rightarrow u_2, u_2 \rightarrow u_3, u_3 \rightarrow u_1$);

«0» = $\varphi_1 \rightarrow \varphi_3, \varphi_3 \rightarrow \varphi_2, \varphi_2 \rightarrow \varphi_1$; ($u_1 \rightarrow u_3, u_3 \rightarrow u_2, u_2 \rightarrow u_1$).

Кожний робочий такт сигналу (імпульс) має тривалість 16 мс. Йому може бути «приписане» значення 1 або 0 залежно від характеру зміни фази на початку такту. Останній такт сигналу не має межі у вигляді фази, що змінюється. Рішення про закінчення сигналу ТУ приймається пристроями лінійного пункту ЛП, якщо протягом певного заданого інтервалу часу фаза сигналу в лінії зв'язку не змінюється.

Змінний струм із частотою 500 Гц і фазою, що відповідає фазі останнього робочого такту попереднього сигналу ТУ, присутній у лінії зв'язку безперервно. Причому навіть у ті періоди часу, коли з центрального поста ЦП на ЛП жоден сигнал (інформація) не передається. Наявність цього струму синхронізує передавальні і приймальні пристрої каналу ТУ.

На рисунку 2 наведено фрагмент осцилограми модульованого за фазою сигналу з частотою носія 500 Гц і тривалістю імпульсів 8 мс.

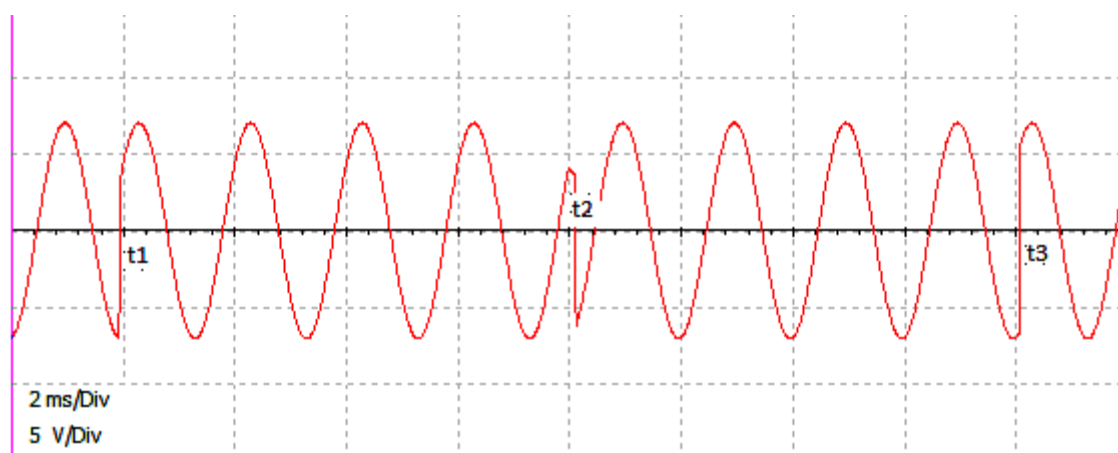


Рисунок 2 – Осцилограма фазоманіпульованого сигналу

Межами імпульсів є часові інтервали t_1-t_2 (першого), t_2-t_3 (другого), $t_3- \dots$ (третього імпульсів). У момент часу t_1 фаза сигналу змінилася на $+120$ градусів; у момент часу t_2 - на -120 градусів, у момент часу t_3 - на $+120$ градусів. Якщо прийняти, що правило побудови наведеного на рисунку 2 сигналу аналогічне ДЦ «ЛУЧ» (за винятком того, що тривалість імпульсів становить 8 мс, а не 16), цей фрагмент сигналу відповідає кодовій комбінації ...101... .

Структурна схема передавальних і приймальних пристроїв сигналів ТУ наведена на рисунку 3.

У формуванні сигналів ТУ на центральному посту ДЦ задіяні: роздільник фаз РФ, центральний генератор ЦГ, дільник частоти ДЧ, шифратор Ш, модулятор МД, логічні елементи І1-І3, АБО, фільтр Ф та підсилювач ЦУ.

ЦГ, ДЧ, РФ працюють безперервно. ЦГ сумісно з РФ забезпечують формування трьох зразкових сигналів змінного струму з початковими фазами Φ_1, Φ_2, Φ_3 із фазовим зсувом 120 градусів. ЦГ у комплексі з ДЧ формують послідовність тактових імпульсів з періодом надходження на вхід шифратора 16 мс. Фактично, ці пристрої являють собою таймер, що веде відлік часу для визначення меж імпульсів під час передавання сигналів ТУ.

Для створення фазоманіпульованого телемеханічного сигналу модулятор МД під впливом шифратора вибирає один з трьох зразкових сигналів ϕ_1, ϕ_2 і ϕ_3 , що генеруються роздільником фаз. Причому зміна зразків у лінії залежить від значення розрядів кодової комбінації, що підлягає передаванню.

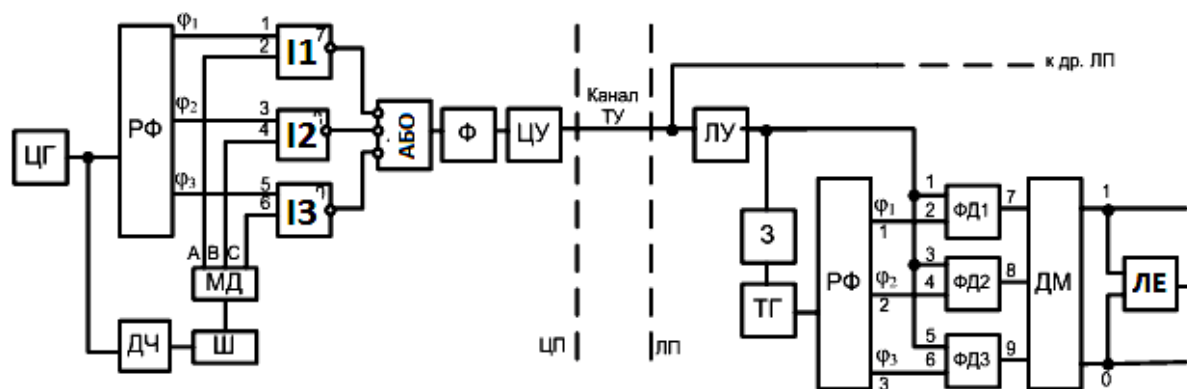


Рисунок 3 – Спрощена структурна схема передавача і приймача сигналів ТУ

МД побудований таким чином, що на його виходах А, В, С у кожний момент часу завжди присутні два «0» та одна «1». Наприклад, якщо на виході А – «1», на В і С – «0». Початковий стан виходів МД у наведеному прикладі вибраний довільно. З однаковим успіхом як початковий стан можна було б розглядати А=0, В=1, С=0 або А=0, В=0, С=1. Поточний стан виходів МД визначає, який зразковий сигнал з виходів роздільника фаз буде надходити у лінію зв'язку. Так, якщо на виході А МД присутня «1», відкритим виявиться елемент І1, який забезпечить надходження у лінію зв'язку змінного струму з початковою фазою Ф1. При зміні стану виходів МД відкритим виявиться інший логічний елемент (І2 або І3), забезпечуючи вибір і передавання у лінію зв'язку сигналу ТУ з початковою фазою фв (+120) або фс (-120).

Зміна стану виходів МД відбувається лише у процесі формування і передавання сигналів ТУ або ЦС під впливом, що здійснює на нього шифратор. Залежно від значень розрядів кодової комбінації через кожні 16 мс змінюється стан виходів модулятора МД, а отже, і фаза сигналу ТУ в лінії зв'язку.

На лінійному пункті кожен такт сигналу ТУ детектується за допомогою трьох фазових детекторів, у кожному з яких порівнюється сигнал, що надійшов, із зразковим сигналом. Корисний сигнал виділяється на виході того детектора, в якому відбувся збіг фаз сигналу, що надійшов, і зразкового сигналу. Для досягнення синфазності зразкових сигналів центрального поста і лінійних пунктів на кожному ЛП встановлюється спеціальний генератор коливань, фаза яких автоматично підлаштовується під фазу сигналу ТУ, що надійшов з лінії.

1.2 Приймання сигналів ТУ на лінійних пунктах

Апаратура каналу ТУ лінійного пункту призначена для приймання, дешифрування і реалізації сигналів телеуправління і циклової синхронізації (рисунок 4). Вона складається з лінійного підсилувача ЛУЛ; роздільника фаз РФ; демодулятора ДМУ; схеми вимірювання тривалості тактів і дешифратора сигналів ЦС, розташованого у вузлі синхронізації ВС; дешифратора сигналів ТУ ДШ-ТУ, утвореного тактовим розподільником Р-ТУ, схемою

контролю лічби тактів СКСТ і перемичками налаштування адреси станції (на рисунку 4 не показано), реєстра сигналів ТУ, вихідних реле.

Підсилювач ЛУЛ призначений для виділення сигналів ТУ із сукупності частотних сигналів, присутніх у лінії зв'язку, їх посилення і детектування. Крім того, у блоці ЛУЛ встановлений генератор опорної напруги з робочою частотою 1500 ± 30 Гц, який використовується для формування зразкових сигналів, необхідних для детектування.

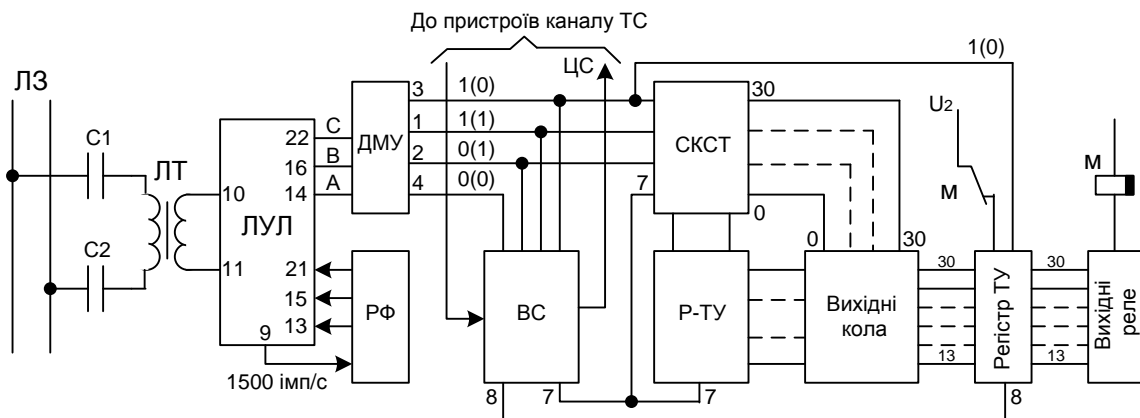


Рисунок 4 – Структурна схема пристроїв каналу ТУ лінійного пункту

Імпульси прямокутної форми частотою 1500 Гц через вихід 9 блока ЛУЛ надходять на вхід роздільника фаз РФ, який формує зразкові послідовності прямокутних імпульсів A_0 , B_0 , C_0 з частотами 500 Гц, зсунутими за фазою на 120 градусів, тобто на $1/3$ періоду. Зазначені зразки сигналів через клеми 13, 15 і 21 блока ЛУЛ надходять на входи трьох фазових детекторів (у складі ЛУЛ), в яких порівнюється фаза сигналу, що надійшов з лінії зв'язку, і зразкового. Сигнал з рівнем логічної «1» виникає на виході того детектора, в якому зафіксований збіг фаз. У цей же час на виходах двох інших детекторів присутні сигнали з рівнями «0». Всі ці сигнали з виходів 14, 16 і 22 ЛУЛ по шинах А, В, С надходять у демодулятор ДМУ.

З центрального поста змінний струм із частотою 500 Гц надходить у лінію зв'язку як під час передавання сигналів ТУ або ЦС (у вигляді послідовності імпульсів із початковими фазами фа, фв, фс), так і за їх відсутності (у цьому випадку фаза змінного

струму відповідає фазі останнього імпульсу попереднього сигналу ТУ/ЦС). Тому, якщо в лінійне коло сигнали ТУ або ЦС не надходять, на входах 10-11 ЛУЛ присутній змінний струм із частотою 500 Гц, фаза якого не змінюється. У результаті детектування цього сигналу «1» постійно знаходиться на одній з шин А, В або С, а на двох інших - «0». Схема ДМУ побудована так, що на статичний стан своїх входів демодулятор не реагує; на його виходах 1, 2 підтримуються сигнали «0» рівня, а на виходах 3 і 4 - «1».

Під час приймання сигналів ТУ та ЦС через кожні 16 мс відбувається зміна фази інформаційного сигналу, тому в шинах А, В і С через такі ж проміжки часу сигнал з рівнем «1» зсувається по виходах так само, як і на виходах модулятора МТУ ЦП: при прийманні активного такту положення «1» на виходах ЛУЛ буде зміщуватися у напрямку $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow A$; при прийманні пасивного такту – у напрямку $A \rightarrow C$, $C \rightarrow B$, $B \rightarrow A$.

На виходах ДМУ залежно від якості тактів відбувається короткочасна (близько 2 мс) зміна рівня логічних сигналів. При прийманні активного такту на виході 1 ДМУ сигнал логічного «0» змінюється на сигнал логічної «1», а на виході 3 – логічна «1» змінюється на «0». Якщо приймається імпульс із пасивною якістю, аналогічна зміна спостерігається на виходах 2 і 4.

Оскільки кожний сигнал ТУ починається передаванням «службового» «0», приймання такого сигналу починається із пасивного такту (на відміну від сигналу ЦС), що дозволяє пристроям ЛП увімкнути відповідний комплект апаратури. Під час приймання сигналу ТУ працюють розподільник Р-ТУ, вихідні кола, реєстр сигналів ТУ і схема вихідних реле. Схема контролю лічби тактів перевіряє у кожному новому такті сигналу ТУ фактичне перемикання розподільника в нову позицію та утворення нового вихідного кола. Якщо ці операції не виконуються, то затримується перемикання схеми ДШ-ТУ в нові позиції і приймання сигналу припиняється.

1.3 Фазовий детектор

Ключовою процедурою у роботі приймальних пристроїв каналу ТУ ДЦ «ЛУЧ» є детектування сигналів телеуправління на

лінійних пунктах. Слід зазначити, що в ДЦ «ЛУЧ» у процесі детектування *якість окремих імпульсів сигналу не визначається* – це завдання вирішує демодулятор ДМУ, аналізуючи напрям зсуву «1» на входах А, В, С (тобто характер зміни комбінацій сигналів постійного струму). Однак саме ці комбінації і формує по мірі приймання сигналів ТУ фазовий детектор (ФД). ФД входить до складу блока лінійного підсилювача ЛУЛ. Від якості його роботи залежить безвідмовність каналу телеуправління, а з урахуванням того, що по каналу ТУ можуть передаватися відповідальні команди, і безпечність.

Крім ЛУЛ, з наявними у його складі пристроями, в детектуванні сигналів ТУ задіяний роздільник фаз (рисунок 5). Раніше ми вже говорили про те, що визначити наявність і величину фазового зсуву можна лише при порівнянні інформаційного та зразкового сигналів. Враховуючи, що інформаційний сигнал може мати три реалізації, РФ формує три зразкових сигнали з фазовим зсувом $1/3$ періоду: A_0 , B_0 , C_0 . Принцип роботи роздільника фаз буде розглянуто пізніше.

Структурна схема пристроїв, що здійснюють детектування фазоманіпульшованих сигналів ТУ, наведена на рисунку 5. ЛУЛ містить підсилювальний вузол, генератор тактової частоти ГТЧ з вузлом фазового автопідстроювання ФАП і підсилювачем потужності УМ, підсилювачі-формувачі прямокутних імпульсів УФ1, УФ2, фазові детектори ФД-А, ФД-В і ФД-С для трьох значень фази; пристрої електроживлення (на схемі не показані).

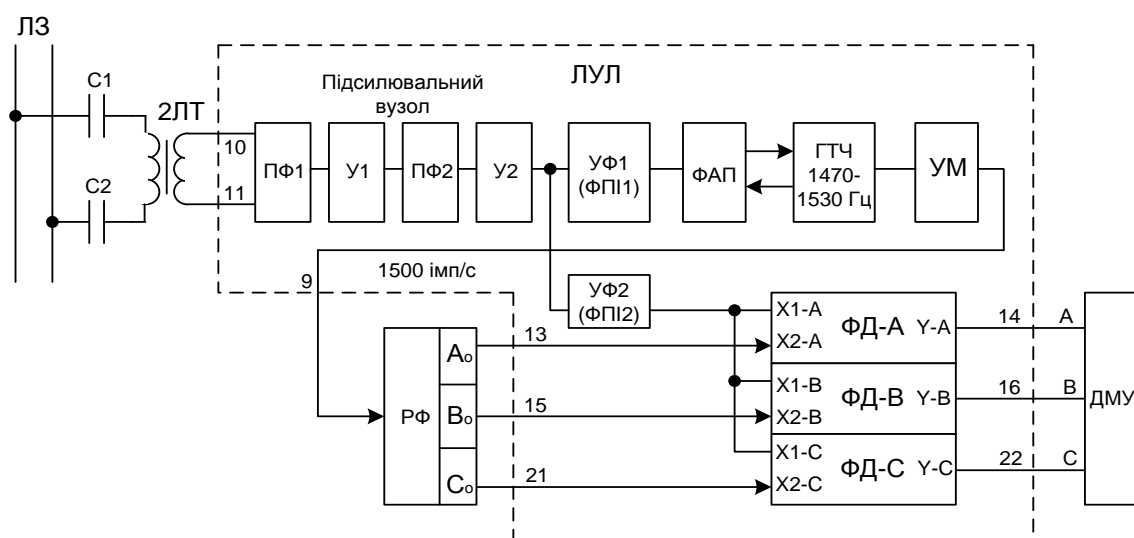


Рисунок 5 – Структурна схема пристроїв детектування ФМ сигналу

Підсилювальний вузол містить два підсилювачі У1 та У2, вхідний фільтр ПФ1 і міжкаскадний фільтр ПФ2. Операційні підсилювачі У1 та У2 мають однакові схеми з глибоким негативним зворотним зв'язком, що знижує ймовірність їх самозбудження. Фільтри ПФ1 і ПФ2 забезпечують послаблення сигналів ТС на частотах всіх паралельних каналів.

Робота фазового детектора

Вузли УФ1, УФ2 формують *змінну* напругу з частотою і фазою інформаційного сигналу, проте форма цієї напруги – прямокутна. Тим не менш, для пояснення принципу дії фазового детектора скористаємося припущенням, що сигнали на виході цих пристроїв, тобто на входах детектора, є послідовностями однополярних імпульсів.

Загальна схема фазового детектора включає до себе три індивідуальних (спеціалізованих) детектори: ФД-А, ФД-В, ФД-С. Кожен такий детектор має інформаційний вхід, вхід опорного сигналу й один вихід. Інформаційні входи фазових детекторів об'єднані і підключені до виходу формувача прямокутних імпульсів ФП2, а входи опорних сигналів – до виходів роздільника фаз.

Індивідуальні фазові детектори (ІФД) здійснюють порівняння прийнятого сигналу із «своїм» зразковим. Наприклад, для ФД-А, як зразкова, використовується опорна напруга з «нульовим» фазовим зсувом (вихід Ао РФ). У разі повного збігу фаз інформаційного й опорного сигналів на виході детектора має з'явитися *постійна* напруга з рівнем логічної «1» (рисунок б), за наявності зсуву – «0».

Формувачем ФП2 і роздільником фаз вхідні, а самим ІФД його вихідний сигнал приведені до вигляду логічних змінних. Тобто ці сигнали можуть набувати тільки двох значень: напруга високого рівня («1»); напруга низького рівня («0»). Кожен ФД повинен формувати на виході напругу з рівнем «1», якщо сигнали на його входах однакові ($X1=X2=1$ або $X1=X2=0$, рисунок б, а); в усіх інших випадках – «0».

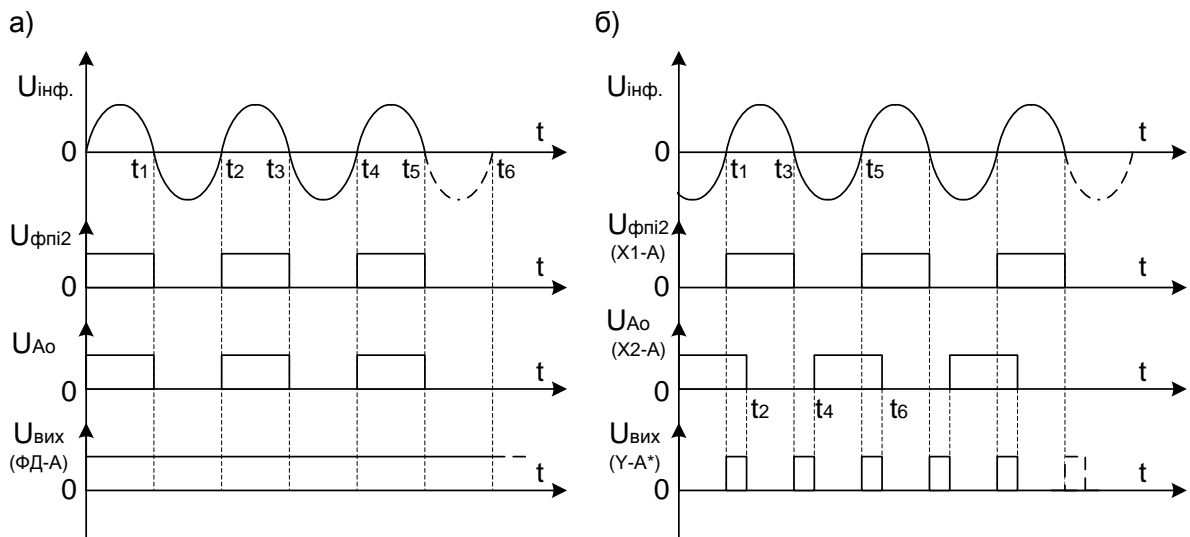


Рисунок 6 – Діаграми синфазних (а) і несинфазних (б) сигналів на вході індивідуального фазового детектора і відповідні сигнали на його виході

Таблиця істинності і структурно-логічна схема пристрою, здатного виконувати функції індивідуального фазового детектора, наведені на рисунку 7. На вхід X1-і з ФПІ2 подається інформаційний сигнал, на вхід X2-і – один із зразкових (або навпаки); «і» – номер ІФД.

За відсутності фазового зсуву між вхідними сигналами (рисунок 6, а), протягом відрізка часу 0-t1 на обох входах фазового детектора присутні напруги з рівнями логічної «1». У результаті, «1» з'являється на виході логічного елемента І1 (рисунок 7, б), а потім і на виході елемента АБО1.

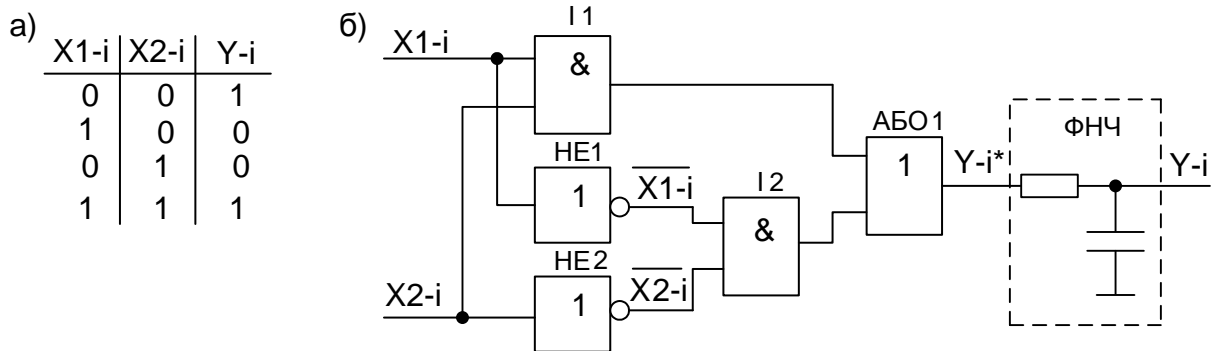


Рисунок 7 – Таблиця істинності (а) і структурно-логічна схема (б) індивідуального фазового детектора

На відрізку часу t_1-t_2 на обох входах (X_{1-i} , X_{2-i}) присутні сигнали з рівнями логічного «0». Такий стан входів відстежать інвертори НЕ1, НЕ2, І2 та по нижньому входу елемент АБО1, підтримуючи на виході $Y-i^*$ сигнал з рівнем «1». В інтервалах t_2-t_3 , t_3-t_4 і т. д. схема працює аналогічно.

Якщо на входах фазового детектора, побудованого за схемою на рисунку 7, б, присутні несинфазні сигнали (рисунок 6, б) на його виході формується безперервна імпульсна послідовність. У ті моменти часу, коли вхідні сигнали мають протилежні значення ($0-t_1$, t_2-t_3 , t_4-t_5 , ...) вихідний сигнал має низький рівень («0»), в інтервалах t_1-t_2 , t_3-t_4 , t_5-t_6 і т. д. при однакових значеннях вхідних змінних вихідна напруга відповідає рівню логічної «1».

Таким чином, якби індивідуальні фазові детектори будувалися за схемою, наведеною на рисунку 7, б, при прийманні з лінії зв'язку сигналу з частотою 500 Гц і якою-небудь фазою (наприклад, А), на одному виході фазового детектора (ФД-А) була б присутня постійна напруга з рівнем логічної «1», на двох інших – спостерігалися б безперервні імпульсні послідовності (рисунок 6, б). Демодуляція таких сигналів була б неможливою. Тому до складу індивідуальних фазових детекторів введені фільтри нижніх частот (ФНЧ), що зменшують зазначені пульсації напруги до прийнятних значень. У наведеній на рисунку 6, б діаграмі ($U_{вих}$, $Y-A^*$) ці пульсації виглядають як послідовність однополярних імпульсів, але в реальних детекторах, що оперують з різнополярними вхідними сигналами, вихідний – також різнополярний. Оскільки в такому сигналі відсутня постійна складова, після фільтрації ФНЧ залишкова напруга пульсацій виявляється гарантовано нижчою за рівень «0».

Примітка – у реальних ФД фільтри нижніх частот побудовані за схемою, що відрізняється від наведеної на рисунку 7, б.

1.4 Роздільник фаз

Роздільник фаз призначений для формування зразкових послідовностей імпульсів із частотами 500 Гц, зсунутих за фазою один відносно одного на $1/3$ періоду. Керує роботою РФ

генератор тактової частоти, від якого на вхід РФ надходить безперервна послідовність імпульсів із частотою 1500 імпульсів/с (у середньому).

Алгоритм роботи РФ можна пояснити за допомогою діаграми, наведеної на рисунку 8. Частота надходження тактових імпульсів, що керують роботою роздільника фаз, у три рази вища за частоту вихідних зразкових сигналів, а їх період, природно, у три рази менший (тобто становить $1/3$ періоду вхідної послідовності). Тому вихідні сигнали повинні бути зсунуті по відношенню один до одного на 1 період (імпульс + інтервал) вхідної послідовності імпульсів. За тривалістю цикл роботи РФ дорівнює трьом періодам (шести тактам) роботи ГТЧ. Причому на виході Ао сигнал з рівнем «1» повинен підтримуватися протягом 1-го, 2-го і 3-го тактів (4, 5, 6 – «0»); на виході Во логічна «1» має бути присутня під час 1-го, 5-го і 6-го тактів; на виході Со – на 3-му, 4-му і 5-му.

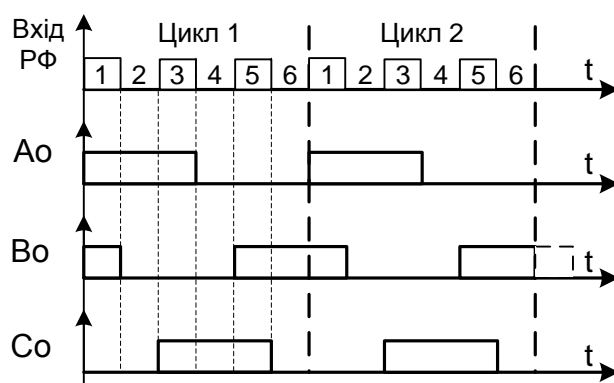


Рисунок 8 – Часова діаграма роботи роздільника фаз

Це завдання може бути вирішене за допомогою схеми, наведеної на рисунку 9. За своєю суттю РФ є дещо зміненим класичним розподільником на шість виходів, до яких підключені три логічних елементи АБО. З їх допомогою «відстежуються» ті такти у межах циклу, під час яких (згідно з наведеною на рисунку 8 діаграмою) роздільник фаз повинен формувати на відповідних виходах сигнали з рівнем «1».

Лічильник і дешифратор стану лічильника утворюють розподільник. Лічильник має три тригери, причому тригер молодшого розряду включений як повторювач вхідних імпульсів,

два інших – за схемою із загальним входом. Схема скорочення лічби обмежує тривалість циклу роботи РФ до шести тактів.

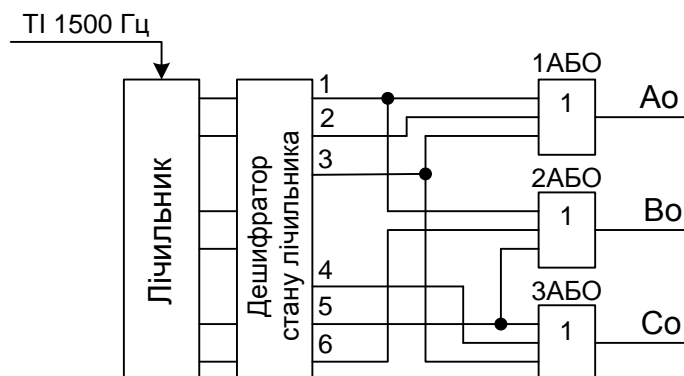


Рисунок 9 – Структурна схема роздільника фаз

Дешифратор стану лічильника являє собою шість логічних елементів І, кожен з яких фіксує певний такт роботи лічильника. Виходи цих логічних елементів є виходами дешифратора (1–6). Із надходженням тактових імпульсів на вхід лічильника одиниця на виході дешифратора циклічно зсувається у напрямку: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 1 \dots$ і т. д. Входи логічного елемента 1АБО підключені до 1, 2, і 3-го виходів розподільника, завдяки чому в кожному циклі роботи РФ на виході A_o «1» присутня протягом 1–3 тактів, логічний «0» – протягом 4–6 тактів. Підключення елементів 2АБО і 3АБО дозволяє отримати на виходах V_o і C_o зразкові послідовності імпульсів відповідно до діаграми, наведеної на рисунку 8.

1.5 Вузол фазового автопідстроювання

Для коректної роботи фазового детектора сигнал, що приймається з лінії зв'язку, повинен співпадати за фазою з одним із зразкових. Однак зразкові сигнали для роботи передавача сигналів ТУ на ЦП і приймальних пристроїв лінійних пунктів формуються роздільниками фаз, що отримують тактові імпульси від різних генераторів тактових імпульсів ГТІ (один знаходиться на ЦП, інші – на ЛП). Природно, що в цій ситуації у послідовностей імпульсів на виходах РФ-ЦП і РФ-ЛП може спостерігатися відмінність і за частотою, і за фазою. Тому без прийняття спеціальних заходів щодо синхронізації роботи

роздільників фаз ЦП і ЛП стійке приймання сигналів ТУ неможливе.

У ДЦ «ЛУЧ» прийнятий такий принцип синхронізації: передавальні пристрої центрального поста (зокрема РФ) є «ведучими» і працюють незалежно від пристроїв лінійних пунктів; пристрої ЛП – «ведені», у процесі роботи підлаштовуються під сигнал, що приймається з лінії зв'язку.

Завдання синхронізації на ЛП вирішує вузол фазового автопідстроювання (ФАП) і керований цим вузлом ГТЧ (рисунок 5). В ідеалі інформаційний сигнал на виході ФПІ2 повинен співпадати за фазою з одним із опорних сигналів на виході РФ (рисунок 10, а). Припустимо, що ця вимога в якийсь момент не виконується (рисунок 10, б).

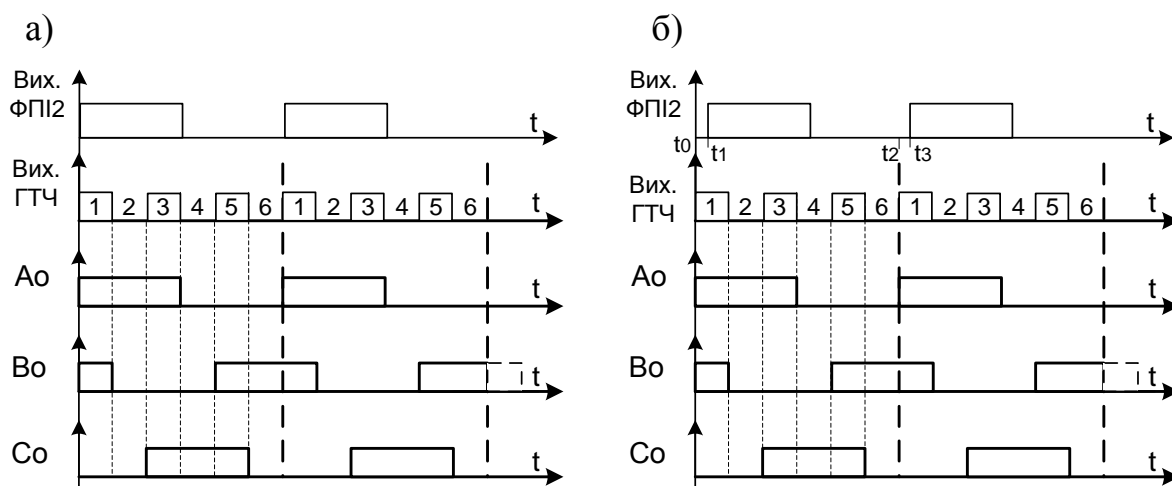


Рисунок 10 – Часові діаграми роботи вузла ФПІ2 і РФ

Фронти імпульсів зразкових сигналів жорстко «прив'язані» до фронтів тактових імпульсів, формованих ГТЧ. Якщо передній фронт імпульсу на виході ФПІ2 не збігається із переднім фронтом тактового імпульсу, то несинфазними виявляться і сигнали на входах фазового детектора (інформаційний і зразкові). У наведеному на рисунку 10, б прикладі інформаційний імпульс запізнюється по відношенню до тактового імпульсу, а отже, і до зразкового сигналу A_0 на час $\Delta t_1 = t_1 - t_0$ (або, що те ж саме, тактовий імпульс випереджає інформаційний на час Δt_1).

Примітка – під «послідовністю інформаційних імпульсів» або «інформаційними імпульсами» слід розуміти змінний струм, фазу якого потрібно визначити. В імпульси прямокутної форми

цей змінний струм був перетворений ФПІ2 виключно для полегшення детектування.

Якщо частота надходження тактових імпульсів на виході ГТЧ залишиться незмінною, під час наступного інформаційного імпульсу запізнювання ($\Delta t_2 = t_3 - t_2$) виявиться таким же, як і на відріжку $t_1 - t_0$, що в результаті може утруднити детектування сигналу. Вузол ФАП і ГТЧ у процесі роботи визначають характер запізнювання і прагнуть його мінімізувати. Вплинути на значення Δt_i можна, лише змінивши робочу частоту ГТЧ. У випадку, коли характер асинхронізму відповідає діаграмі, наведеній на рисунку 10, б, для зменшення Δt_2 необхідно збільшити *період* надходження тактових імпульсів, що формуються ГТЧ (тобто знизити його робочу частоту). Генератори тактових імпульсів у складі ЛУЛ побудовані таким чином, що можуть працювати на двох частотах: 1530 Гц і 1470 Гц. Якщо керуючий вплив з боку вузла ФАП відсутній – ГТЧ працює на частоті 1530 Гц. Щоб знизити тактову частоту, до кіл керування генератором підключається додатковий конденсатор. Вузол ФАП аналізує характер асинхронізму, визначаючи, який з імпульсів є випереджальним, а який – запізнюється, і за результатами аналізу впливає на схему керування ГТЧ. Схема фазового автопідстроювання містить елемент пам'яті, що запам'ятовує у кожній контрольній точці необхідний характер впливу на ГТЧ і здійснює його. Проілюструємо роботу вузла ФАП за допомогою схеми, наведеної на рисунку 11.

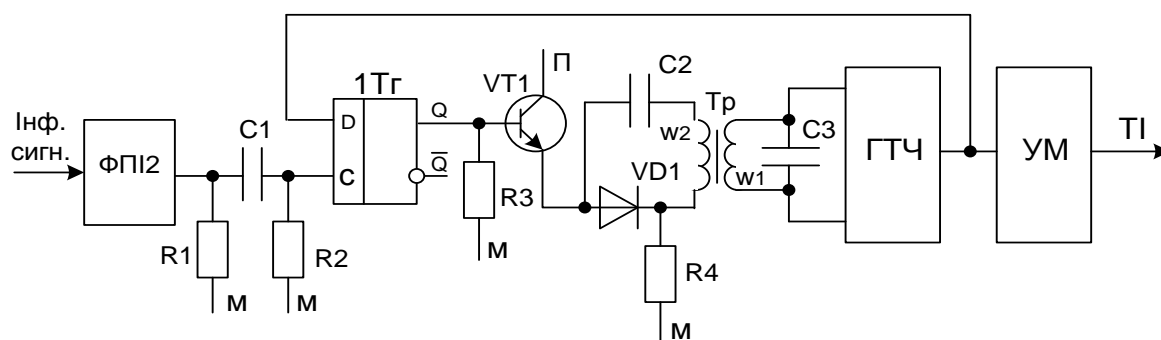


Рисунок 11 – Структурна схема вузла фазового автопідстроювання

Робоча частота генератора ГТЧ визначається власною резонансною частотою коливального контура, утвореного конденсатором C_3 та індуктивністю первинної обмотки

трансформатора T_r , і складає 1530 Гц. Для зниження частоти до коливального контура підключається конденсатор C_2 . Завдяки наявності індуктивного зв'язку між первинною і вторинною обмотками трансформатора підключення конденсатора C_2 до вторинної обмотки, еквівалентне підключенню до первинної, причому паралельно конденсатору C_3 . У результаті збільшення сумарної ємності конденсаторів, підключених до коливального контура, його власна резонансна частота знижується.

Підключення конденсатора C_2 до контура здійснюється поданням позитивного зсуву на діод VD_1 . При закритому транзисторі VT_1 струм у вторинній обмотці трансформатора не протікає, оскільки для однієї напівхвилі індукованої у вторинну обмотку напруги в непровідному напрямку включений діод VD_1 , а для іншого – перешкодою є заряджений конденсатор C_2 . При такому стані схеми робоча частота ГТЧ становить 1530 Гц. При відкритті VT_1 на діод подається позитивний зсув, внаслідок чого діод починає пропускати струм в обох напрямках, фактично підключаючи конденсатор C_2 до вторинної обмотки, а отже, і до кола керування ГТЧ. Робоча частота генератора знижується.

Транзистором VT_1 керує тригер 1Тг. Якщо тригер знаходиться у стані «0», низька напруга на виході Q створює умови для закриття транзистора VT_1 і забезпечує роботу генератора на частоті 1530 Гц. У випадку, коли тригер встановлений в «1», VT_1 відкритий високою напругою з «прямого» виходу тригера, а ГТЧ працює на частоті 1470 Гц.

Зміна стану тригера можлива лише в моменти надходження синхроімпульсів на його вхід C залежно від стану входу даних D . У схемі, наведеній на рисунку 11, на вхід D подається сигнал із виходу ГТЧ, тобто тактові імпульси. Якщо в момент формування синхронізуючого імпульсу («1» на вході C) на вході D присутній сигнал з рівнем логічної «1», тригер устанеться в «1», якщо на вході D – «0», тригер устанеться у «0». Формування синхроімпульсів здійснює вузол, що включає до себе формувач прямокутних імпульсів ФПІ2, резистори R_1 , R_2 і конденсатор C_1 . По передньому фронту кожного інформаційного імпульсу, що надходить з лінії зв'язку, ці елементи формують короткий синхроімпульс, тривалість якого залежить від сталої кола заряду

конденсатора С1. Розряд конденсатора С1 відбувається в інтервалах між інформаційними імпульсами.

Часова діаграма роботи вузла ФАП наведена на рисунку 12.

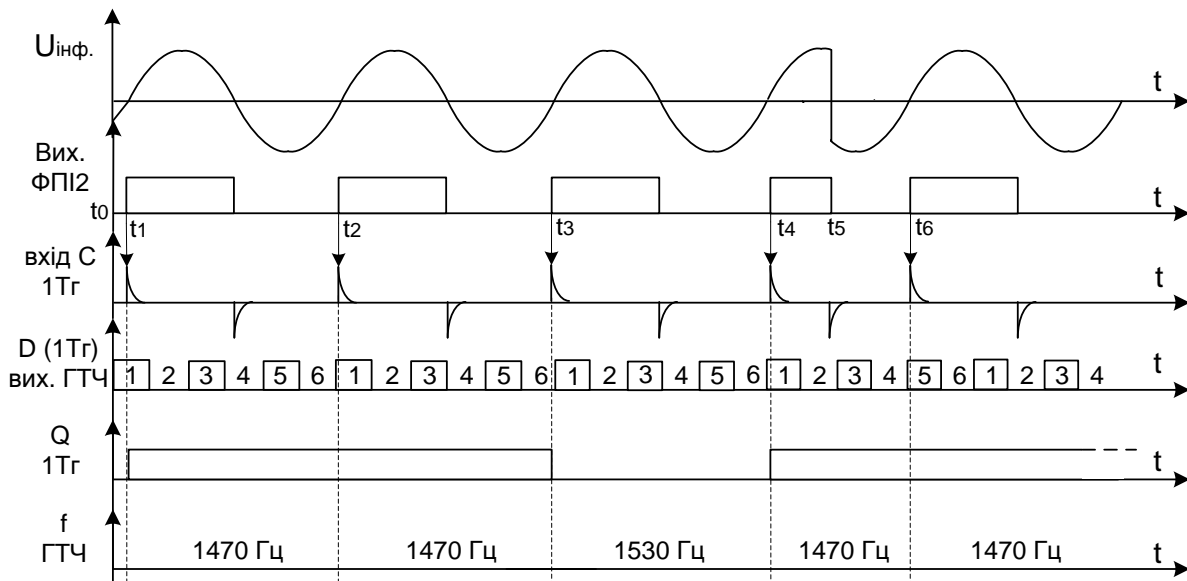


Рисунок 12 – Часова діаграма роботи вузла ФАП і ГТЧ

У момент часу t_0 ГТЧ формує передній фронт тактового імпульсу – одного з безперервної послідовності, що керує роботою роздільника фаз. З виходу ГТЧ ці імпульси колом зворотного зв'язку подаються на вхід «D» тригера 1Тг (рисунок 11). Нехай з деяким запізненням ($\Delta t_1 = t_1 - t_0$) на виході ФАП2 формується передній фронт інформаційного імпульсу. Саме в цей момент у результаті заряду конденсатора С1 на вході «С» тригера 1Тг формується короткий синхроімпульс, що дозволяє запис інформації у тригер. Оскільки в цей час (t_1) на вході D присутня «1», тригер встановлюється в одиничний стан – на його виході Q з'являється напруга високого рівня, що відкриває транзистор VT1 і підключає конденсатор С2 до коливального контура. Частота формування тактових імпульсів на виході ГТЧ знижується до 1470 Гц. Після закінчення синхроімпульсу (незалежно від стану входу D) стан тригера змінитися вже не може, тому характер впливу на схему керування генератором, а отже, і його робоча частота, зберігаються до наступної «контрольної точки».

У результаті зниження частоти і збільшення періоду надходження тактових імпульсів за час $t_1 - t_2$ запізнювання фронту

інформаційного імпульсу по відношенню до тактового, зменшиться. Однак характер асинхронізму залишається тим самим: тактовий імпульс випереджає інформаційний.

У момент часу t_2 по передньому фронту чергового інформаційного імпульсу на вході С тригера 1ТГ знову формується синхроімпульс. Оскільки і в цьому випадку на вході D вже присутня «1» з виходу ГТЧ, тригер свій стан не змінює, робоча частота ГТЧ залишається колишньою – 1470 Гц (у момент t_2 зміна стану 1ТГ не відбулася, тому що тригер вже знаходився в «1»).

Протягом інтервалу $t_2 - t_3$ характер асинхронізму змінюється: тепер вже інформаційний імпульс випереджає тактовий. Синхроімпульс формується у той час, коли на вході D присутня напруга низького рівня («0»). У результаті тригер 1ТГ встановлюється у «0», транзистор VT1 закривається, а робоча частота ГТЧ підвищується до 1530 Гц, зменшуючи період надходження тактових імпульсів і прагнучи змінити знак запізнювання.

Надалі вузли ФАП і ГТЧ працюють аналогічно, забезпечуючи мінімальний (прийнятний) фазовий зсув між інформаційним сигналом і зразковими то з одним знаком, то з іншим.

Зміна фази інформаційного сигналу в процесі приймання сигналу ТУ не призведе до розсинхронізації передавальних і приймальних пристроїв і не порушить роботу вузла ФАП. Нехай у момент часу t_5 фаза інформаційного сигналу змінилася на +120 градусів (рисунок 12). Завдяки тому що $1/3$ періоду інформаційного сигналу дорівнює одному періоду тактових імпульсів, інформаційні імпульси, що надходять з лінії зв'язку (їх передні фронти), все одно будуть співпадати з фронтами одного з тактових імпульсів. У розглянутому прикладі, починаючи з моменту часу t_6 , передні фронти інформаційних імпульсів збігаються із тактовими імпульсами N 3 (такт № 5) (до цього моменту – з імпульсами N 1, такт № 1). Саме в ці моменти і здійснюватиметься фазове автопідстроювання. В іншому робота вузла ФАП і ГТЧ відбувається без змін.

2 Опис лабораторного макета

Як лабораторний макет використовується персональний комп'ютер типу IBM PC зі стандартними периферійними пристроями і спеціальним програмним забезпеченням (програма-симулятор Multisim).

3 Методика виконання роботи

3.1 На етапі підготовки до виконання лабораторної роботи:

3.1.1 Користуючись викладеним у методичних вказівках і рекомендованій літературі матеріалом, вивчити побудову і принцип дії схеми приймальних пристроїв сигналів ТУ ДЦ «Луч».

3.1.2 Дати короткі письмові відповіді на контрольні питання 1-5.

3.1.3 Сформувати фрагмент коду команди ТУ (*п'ятирозрядну кодову комбінацію К*, де К – двійковий номер студента в списку підгрупи). Навести послідовність зміни фаз сигналу ТУ, що відповідає сформованій кодовій комбінації. Правило побудови сигналу (фазовий зсув залежно від якості імпульсів) аналогічне ДЦ «Луч».

Вихідні дані для виконання завдання: фаза сигналу спокою, що був присутній до початку передавання «+»120 градусів (для парних номерів), «-»120 градусів (для непарних номерів).

3.1.4 Вказати стан виходів фазового детектора 14, 16, 26 (рисунок 5) для інтервалів часу (... - t_0 , до початку приймання сигналу за п. 3.1.3), ($t_0 - t_1$, під час приймання першого імпульсу сигналу), ($t_1 - t_2$, під час приймання другого імпульсу), ($t_4 - t_5$, під час приймання п'ятого імпульсу).

3.2 Під час виконання лабораторної роботи в аудиторії:

3.2.1 Запустити програму **Multisim**.

3.2.2 Скласти схему «передавача» сигналів (рисунок 13). Вихід 2 генератора вважати як такий, що формує сигнал з «0» початковим фазовим зсувом. Встановити робочу частоту генератора 500 Гц, напругу 10 В.

3.3.3 Підключити до лінії зв'язку ЛЗ осцилограф. Замикаючи/розмикаючи в необхідній послідовності контакти

комутуючих пристроїв S1...S2 сформувати і зафіксувати послідовність зміни фаз струму в лінії зв'язку (на виході передавача), що відповідає структурі сигналу ТУ за п. 3.1.3 домашнього завдання.

3.2.4 Скласти схему фазового детектора (рисунок 14) і підключити її до виходу передавача ($f_{\Gamma}(зр.)=500$ Гц, $U=10$ В).

3.2.5 Повторно виконати вимоги п. 3.2.3, імітуючи передавання сигналу ТУ, і зафіксувати стан виходів фазового детектора (4, 5, 6) під час приймання сигналу.

3.2.6 Перевірити відповідність отриманих результатів п. 3.1.4 домашнього завдання.

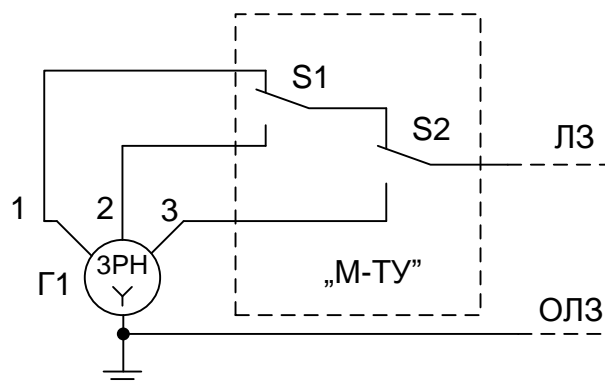


Рисунок 13 – Схема трифазного генератора і «модулятора»

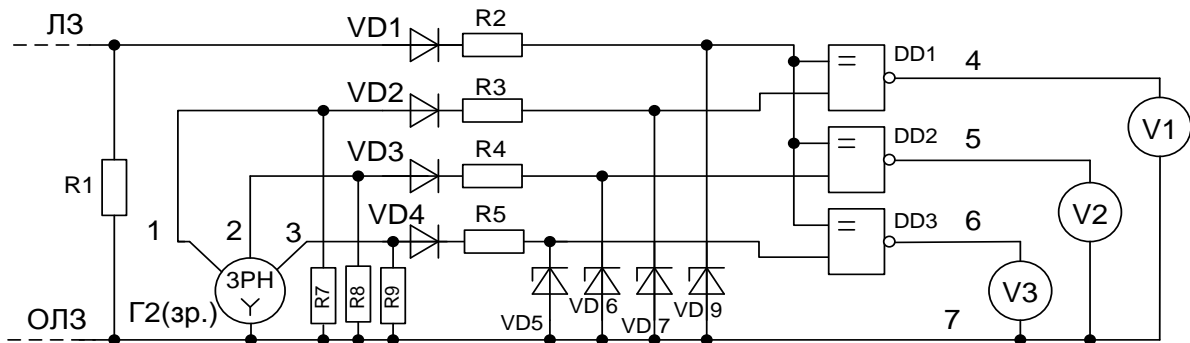


Рисунок 14 – Схема фазового детектора

4 Зміст звіту про виконану роботу

Звіт про виконану роботу повинен містити:

- результати виконання домашнього завдання (див. п. 3.1);
- короткий виклад результатів дослідження та висновків щодо них (див. п. 3.2);
- скрін-шоти схем генератора і детектора.

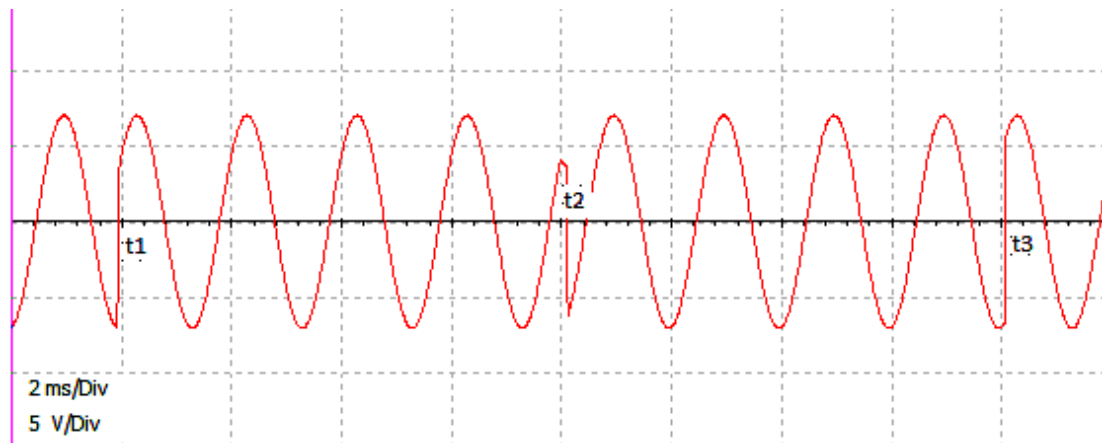
Контрольні питання для самопідготовки

1 Скільки повних періодів коливань змінного струму з частотою 500 Гц «вміщується» в один імпульс сигналу ТУ ДЦ «ЛУЧ»?

2 На підставі чого приймальні пристрої сигналу ТУ ДЦ «ЛУЧ» визначають якість окремих імпульсів сигналу ТУ (0 чи 1), що приймається?

3 В якому стані повинні знаходитись входи D і C тригера 1Тг (рисунок 11), щоб робоча частота генератора дорівнювала 1470 Гц?

4 Якій кодовій комбінації відповідає наведений нижче фазоманіпульований сигнал ?



5 На входи X1, X2 (рисунок 7, б) надходять сигнали з фазовим зсувом 180 градусів (протифазні). Що являтимуть собою у цьому випадку сигнали Y^* і Y ?

6 Виконання яких функцій покладено на розподільники фаз передавача і приймача сигналів ТУ в ДЦ «ЛУЧ»?

7 Які функції у складі приймача сигналів ТУ ДЦ «ЛУЧ» виконує фазовий детектор?

8 Поясніть призначення схеми автопідстроювання частоти?

9 Яким чином пристрої лінійних пунктів каналу ТУ визначають факт закінчення приймання чергового сигналу ТУ або циклової синхронізації?

10 Передній фронт тактового імпульсу ГТЧ (рисунок 10, б) випереджає передній фронт інформаційного імпульсу на входах схеми ФАП. Якою повинна бути робоча частота ГТЧ, щоб синхронізувати фронти вказаних імпульсів через мінімальний проміжок часу?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Нейчев, О. В. Системи диспетчерського управління [Текст] : навч. посібник / О. В. Нейчев. – Харків : УкрДУЗТ, 2015. – 289 с.

2 Егоренков, Н. Г. Устройства телеуправления диспетчерской централизации системы «Луч» [Текст] / Н. Г. Егоренков, В. А. Кононов. – М. : Транспорт, 1988. – 302 с.

3 Пенкин, Н. Ф. Диспетчерская централизация системы «Луч» [Текст] / Н. Ф. Пенкин, Н. А. Павлов. – М. : Транспорт, 1982. – 303 с.

4 Системы диспетчерской централизации [Текст] : учеб. для вузов ж.д. трансп. / Д. В. Гавзов, О. К. Дрейман, В. А. Кононов, А. Б. Никитин; под общ. ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Изд-во «Маршрут», 2002. – 407 с.

