

*Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний університет  
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потєбні*

*Кафедра: Електроніки, інформаційних систем та програмного  
забезпечення*

## **Практичне заняття 13**

з дисципліни Аналогова та оптохемотехніка

### **Оптоелектронні управляючі системи**

Студента (ки) 2 курсу, групи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Викладач \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_ Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

м. Запоріжжя – 202\_ рік

Метою вивчення теми є засвоєння принципів побудови оптоелектронних управляючих систем.

Ключові терміни та поняття: комутація, перемикання, оптичний сигнал, електричний сигнал, алгебра логіки, перетворювач.

План самостійного опрацювання теми.

1. Принцип дії оптичного гіроскопа.
2. Орієнтація секторів світлочутливої матриці.
3. Логічний принцип функціонування трекера.
4. Трекери фотоелектричних систем..

Методичні вказівки до вивчення питань та виконання завдань.

В даний час для систем управління стеження за Сонцем розроблено велику кількість різноманітних датчиків, заснованих на різних принципах визначення положення Сонця, в тому числі щілинні сонячні датчики, датчики на ефекті Саньяка, геліотрекери різних конструктивних виконань, а також інші оригінальні пристрої та конструкції.

У якості чутливих щільових сонячних елементів датчиків використовуються кремнієві фотодіоди. Принцип функціонування цих датчиків оснований на порівнянні сигналів, що надходять з кожного фотодіода, які розташовані кожен у своїй щілині, і виявлення максимального сигналу. Датчик розташований таким чином, що при переміщенні Сонця по екліптиці один з фотодіодів освітлений, а інші в цей час знаходяться в тіні, створеною перегородками. Таким чином, сигнал з найбільш освітленого фотодіода буде максимальний, що являється системою управління і подається команда повороту СБ на кут, відповідний положенню цього фотодіода, тобто датчики формують релейні сигнали наявності Сонця в заданих полях огляду. Основними недоліками щілинних датчиків є висока вартість і складність конструкції, необхідність використання складної системи контролю і управління.

Принцип дії оптичного гіроскопа оснований на ефекті Саньяка. По круговому оптичному шляху, завдяки розщепленню променя, світло поширюється у двох протилежних напрямках. Якщо при цьому площина СБ перпендикулярна до променів Сонця, то обидва світлових променя поширюються зустрічно по оптичному шляху однакової довжини. Тому при додаванні променів в розщеплювачі по завершенні шляху немає фазового зсуву. Однак, коли Сонце переміщається з кутовою швидкістю, між світловими хвилями виникає різниця фаз.

Геліотрекер дослівно можна перекласти як «відстежувач шляху Сонця». Його завдання - постійне спрямування на Сонце. Один з варіантів показаний на рисунку 13.1.

Він складається з фотоприймача, контролера і виконавчого механізму у вигляді двох двигунів з редукторами, що повертають СБ і закріплений на ньому фотоприймач. Фотоприймач являє собою невелику плату і закріпленими на ній 4 фотодатчиками.

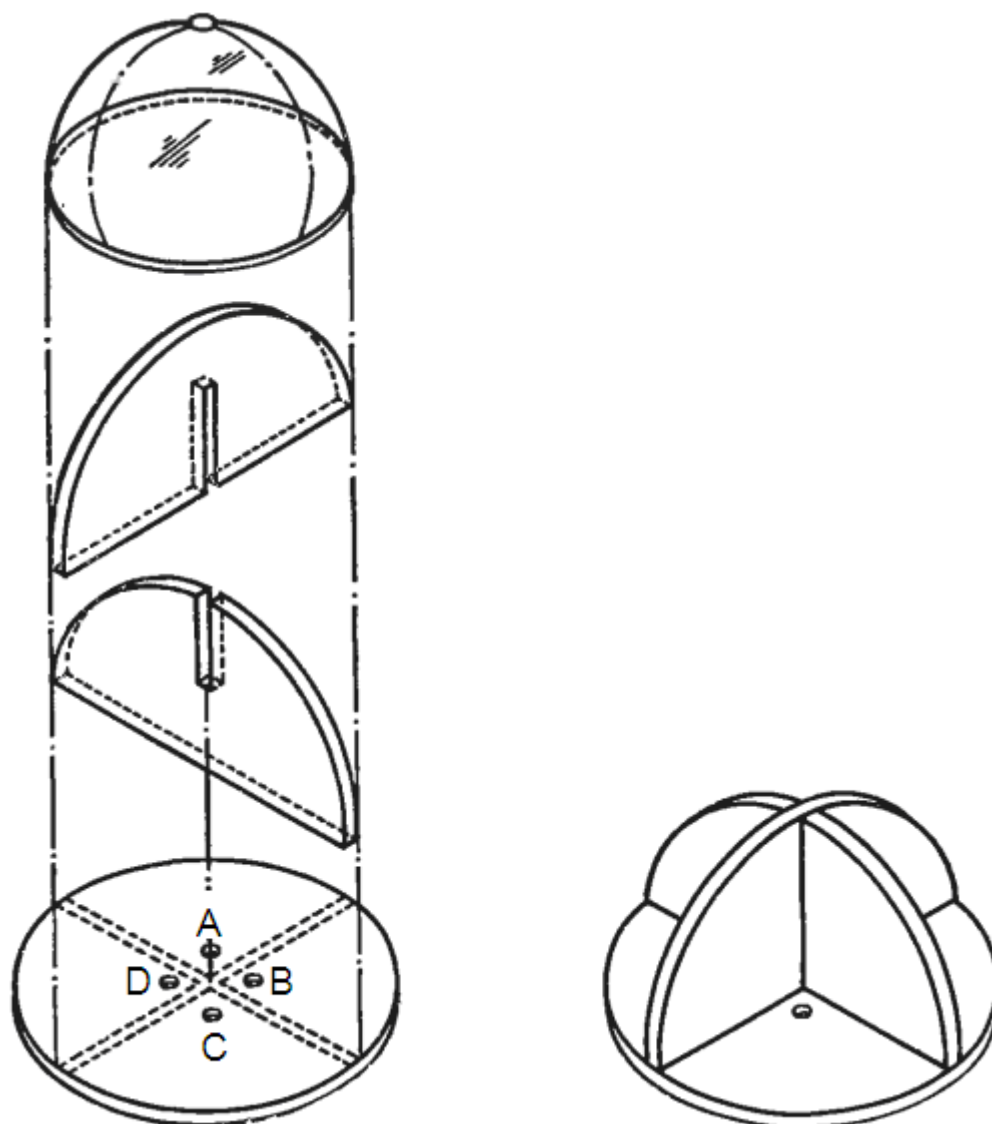


Рисунок 13.1 – Конструкція світлочутливої матриці геліотрекера

Всі фотодатчики розділені між собою хрестоподібною перегородкою. При орієнтації на Сонце висвітлені всі чотири фотодатчика. Сонце в процесі свого руху по небосхилу змінює освітленість фотоприймача, тому 2 або 3 фотодатчика перебувають в тіні. В алгоритмі роботи датчика всього 9 команд в залежності від положень фотоприймача.

Якщо пристрій розташований, як показано на рисунку 13.1, то всі фототранзистори, окрім одного (найближчого), сховаються із виду. Ця ситуація еквівалентна найбільш звичному робочому положенню пристрою при освітленні. Іншими словами, один датчик уловлює сонячні промені, тоді як інші знаходяться в тіні.

Розташуємо чутливу голівку так, щоб її перегородки були орієнтовані в напрямках північ - південь і схід - захід, як показано на рисунку 13.2. Кожна секція з фототранзистором помічена буквами А, В, С, D. Тепер розглянемо різні варіанти взаємного положення чутливої матриці і Сонця.

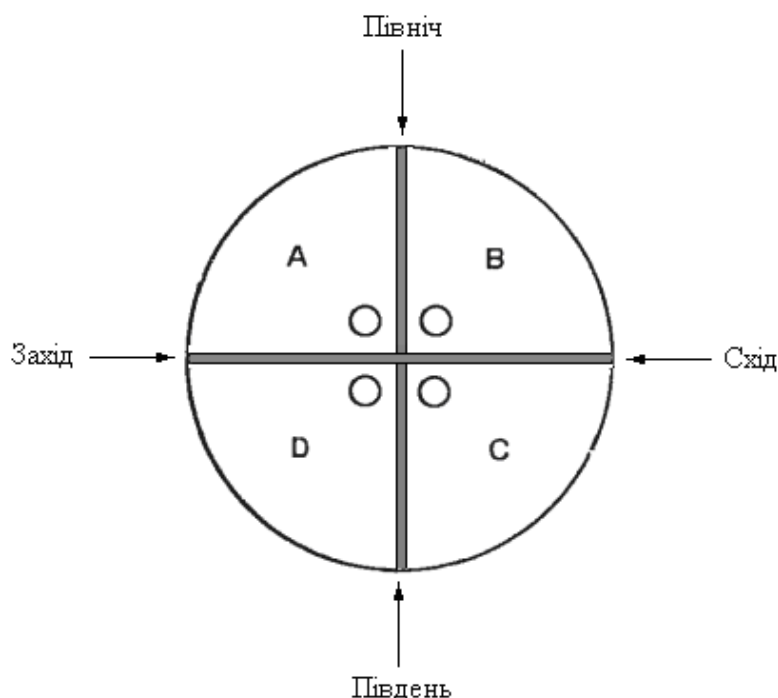


Рисунок 13.2 – Орієнтація секторів світлочутливої матриці відносно сторін світу (вигляд зверху)

Коли сонце знаходиться в напрямі на північ по відношенню до чутливої матриці, воно освітлює секції А і В. Сонячні промені, падаючі на чутливу голівку зі сходу, будуть детектуватися фототранзисторами В і С. Якщо сонце знаходиться на північному сході, світло потраплятиме лише на фотодатчик В. Усі можливі варіанти освітлення датчиків представлені в таблицях 13.1 і 13.2.

Таблиця 13.1 – Можливі варіанти освітлення датчиків для двохкоординатної системи стеження

Датчик А	1	0	1	1	0
Датчик В	0	1	1	0	0
Датчик С	0	0	0	0	1
Датчик D	0	0	0	1	0
Примітка	Сонце вище з заходу	Сонце вище з сходу	Сонце вище	Сонце з заходу	Сонце нижче з сходу
Вертикальний рух	Вгору	Вгору	Вгору	Стоїть	Вниз
Горизонтальний рух	На захід	На схід	Стоїть	На захід	На схід

У таблицях 13.1 і 13.2 прийняті наступні позначення: 1 – датчик освітлений; 0 – датчик в тіні перегородки.

Затінюючи секції виготовляються з листа алюмінію товщиною 1 мм.

Таблиця 13.2 – Можливі варіанти освітлення датчиків для двохкоординатної системи стеження

Датчик А	0	0	0	1
Датчик В	1	0	0	1
Датчик С	1	1	0	1
Датчик D	0	1	1	1
Примітка	Сонце з сходу	Сонце нижче	Сонце нижче з заходу	Точно на Сонце
Вертикальний рух	Стоїть	Вниз	Вниз	Стоїть
Горизонтальний рух	На схід	Стоїть	На захід	Стоїть

В результаті нагріву конструкції матриці сонячними променями з'явиться напруга. У зв'язку з цим не використовуються матеріали з різними коефіцієнтами теплового розширення і покриття фарбою зібраної матриці.

Від дії несприятливих погодних умов матриця закрита прозорим ковпаком.

#### Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю.

1. Основні логічні операції
2. Форми представлення логічних функцій.
3. Складання рівняння функціонування з таблиці мінтермів.

#### Практичне завдання.

1. Провести логічне моделювання схеми функціонування трекера.

Інформація, яка поступає з цих чотирьох датчиків (рис. 13.3), використовується системою для відстежування руху Сонця по небосхилу. Логіку роботи приладу стеження за положенням Сонця розглянемо за допомогою таблиці істинності (табл. 13.3).

Згідно з таблицею запишемо рівняння функціонування приладу, для логічних виходів F1, F2, F3, F4.

$$F1 = \bar{A} + \bar{B} = \overline{AB}$$

$$F2 = \bar{C} + \bar{D} = \overline{CD}$$

$$F3 = \bar{A} + \bar{B} = \overline{AB}$$

$$F4 = \bar{C} + \bar{D} = \overline{CD}$$

На підставі отриманих рівнянь строїмо логічний вузол трекера (рис. 13.3), та визначимо принцип функціонування приладу.

Коли фототранзистор VT1 не освітлений, на виході мікросхеми DD1 є напруга високого рівня. Те ж саме справедливо для фототранзисторів VT2, VT3 і VT4: якщо вони не освітлені, на відповідних виходах мікросхем інверторів DD2, DD3, DD4 є високий потенціал.

Таблиця 13.3 – Логічна таблиця функціонування трекера

A	B	C	D	F1	F2	F3	F4	Стан двигуна M1	Стан двигуна M2
0	0	0	0	1	1	1	1	вимкнено	вимкнено
0	0	0	1	1	1	1	1	вимкнено	вимкнено
0	0	1	0	1	1	1	1	вимкнено	вимкнено
0	0	1	1	1	0	1	0	обертається на північ	обертається на захід
0	1	0	0	1	1	1	1	вимкнено	вимкнено
0	1	0	1	1	1	1	1	вимкнено	вимкнено
0	1	1	0	1	1	1	1	вимкнено	вимкнено
0	1	1	1	1	0	1	0	обертається на північ	обертається на захід
1	0	0	0	1	1	1	1	вимкнено	вимкнено
1	0	0	1	1	1	1	1	вимкнено	вимкнено
1	0	1	0	1	1	1	1	вимкнено	вимкнено
1	0	1	1	1	0	1	0	обертається на північ	обертається на захід
1	1	0	0	0	1	0	1	обертається на південь	обертається на схід
1	1	0	1	0	1	0	1	обертається на південь	обертається на схід
1	1	1	0	0	1	0	1	обертається на південь	обертається на схід
1	1	1	1	0	0	0	0	вимкнено	вимкнено

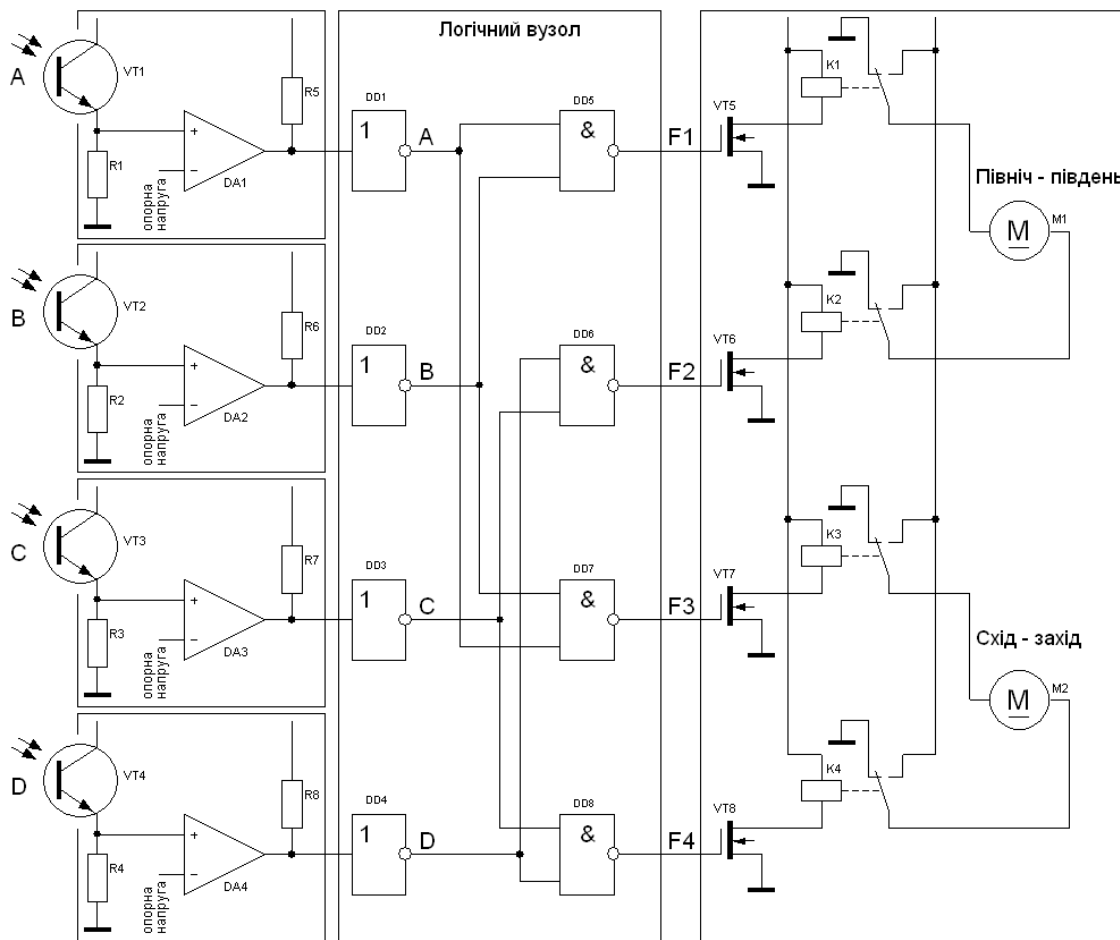


Рисунок 13.3 – Логічна схема функціонування трекера

Логічне завдання управління вирішується мікросхемами DD5, DD6, DD7, DD8. Вони є елементами І-НЕ. Якщо на обидва входи елемента І-НЕ подати високий потенціал, на виході встановиться напруга низького рівня.

Передбачимо спочатку, що на всіх виходах інверторів DD1, DD2, DD3, DD4 є високий потенціал (що відповідає темному часу доби). Потім допустимо, що промені уранішнього Сонця потрапляють в секцію А, освітлюючи фототранзистор VT1. В результаті на виході DD1 встановлюється низька напруга. На виході DD5 з'явиться напруга високого рівня. Вихідною напругою елемента І-НІ управляється польовий транзистор МОН-структури з індукованим п-каналом, в коло стоку якого включено реле. Реле спрацьовує, коли на виході логічного елемента з'являється висока напруга. Всього в схемі чотири формувачі і чотири реле.

Контакти реле включені таким чином, що реле К1 і К2 управляють мотором М1, а реле К3 і К4 – мотором М2. Тоді по сигналу з фототранзистора VT1 мікросхема DD5 включить реле К1. При замиканні контактів реле К1 на мотор М1 подається напруга, і азимутна стежача система обертається в північному напрямі, тому що, якщо світло падає на VT1, сонце має бути на півночі. Так здійснюється пошук Сонця системою.

Зниження вихідної напруги мікросхеми DD1 наводить ще до одного результату. На виході мікросхеми DD7 (вхід якої підключений до виходу DD1) встановлюється високий потенціал, і спрацьовує реле К3. Логічна схема DD7 через транзистор VT7 замикає реле К3 і мотор М2 починає повертати систему в західному напрямі.

В результаті одночасно обидва мотора переміщують пристрій в північно-західному напрямі, оскільки саме там знаходиться сонце.

Освітлення транзистора VT2 відповідатиме середньому положенню Сонця між північним і південним датчиками чутливої матриці. Як тільки це станеться, на виході мікросхеми DD2 встановиться напруга низького рівня, а на виході мікросхеми DD6 – напруга високого рівня і спрацює реле К2. Обидва виведення мотора підключаються до одного і тому ж полюса джерела живлення, і мотор зупиниться. В той же час стежача система продовжує пошук Сонця в напрямі на захід. Напряма на сонце знаходиться, коли обидва транзистора, VT2 і VT3, освітлюються його променями. В результаті спрацьовує реле К4 і мотор орієнтування системи в напрямі схід – захід зупиняється.

Коли освітлено всі чотири датчики, включаються всі чотири реле і мотори не працюють. Чутлива матриця виявила сонце і тепер точно направлена в його сторону. Будь-який зсув Сонця з цього положення викличе затінювання принаймні двох датчиків і повторне спрацьовування логічної схеми. Таким чином при повному оберті системи за світловий день, зі сходом Сонця геліостат автоматично розверне панель прийому сонячного випромінювання на сонце.

Живлення приладу можливо здійснити від сонячної батареї яка також позиціонується трекером. Отримана електроенергія накопичується акумулятором і через розроблений адаптер підключається електричної схеми трекера.

При функціонуванні схеми мають місце певні явища. Кожен з чотирьох фототранзисторів працює незалежно від інших, тому процес перетворення сигналу відбувається чотирьохкратно. Вважатимемо, що всі чотири канали працюють ідентично, і доцільніше розглянути роботу лише одного з них.

Спочатку світло перетвориться в електронний сигнал. Перетворення світла в електрику виконує фототранзистор. Чим більше світла падає на фототранзистор, тим більший струм протікає через нього.

У емітерному колі транзистора включений резистор, на якому при протіканні струму створюється падіння напруги. Падіння напруги на резисторі прямо пропорційно протікаючому струму, який у свою чергу пропорційний інтенсивності світла. Отже, велике засвічення викликає збільшення напруги.

З емітерного резистора напруга подається на неінвертуючий вхід компаратора напруги. Опорна напруга прикладена до інвертуючого входу. Компаратор служить для порівняння змінної напруги  $U_{вх}$  з опорною і фіксації моменту рівності цієї напруги. Фіксація рівності характеризується ступінчастю зміною полярності вхідної напруги.

Коли напруга, яка поступає з емітерного резистора, перевищує опорну, на виході компаратора з'являється напруга високого рівня. Якщо напруга на емітері нижче опорної, на виході компаратора з'являється напруга низького рівня.

Робота схеми визначається величиною опорної напруги. Необхідною властивістю стежачої системи є можливість визначення рівня інтенсивності сонячного випромінювання, доцільного для практичного вживання. Це можна зробити за допомогою опорної напруги.

Оскільки напруга на емітерному резисторі є функцією інтенсивності сонячного світла, по величині цієї напруги можна судити про те, що інтенсивність випромінювання досягає практично прийняттого рівня. Цей рівень визначає компаратор: вхідна напруга перевершує опорну, досягнутий необхідний світловий рівень. Таким чином, реле не може спрацювати, поки напруга на емітері не перевершить значення, відповідне мінімальному рівню інтенсивності сонячного випромінювання. Більш того, на всі компаратори подається опорна напруга від одного і того ж джерела, і, отже, одна установка напруги діє на всі компаратори. При збільшенні порогу спрацьовування одного каналу збільшується поріг спрацьовування всіх інших.

У вихідному каскаді компаратора стоїть транзистор з відкритим колектором, до якого для зняття вихідного сигналу необхідно підключити опір навантаження. Для узгодження з входом елементів І-НЕ і за логікою роботи вихідний сигнал компаратора пропускається через інвертор.



## 2. Аналіз функціонування схеми в програмному забезпеченні Electronics Workbench

Додаток Electronics Workbench є засобом програмного моделювання і імітації електричних кіл.

Імітація роботи фототранзистора (рис. 13.4) представлена у вигляді схеми емітерного повторювача на звичайному біполярному транзисторі.

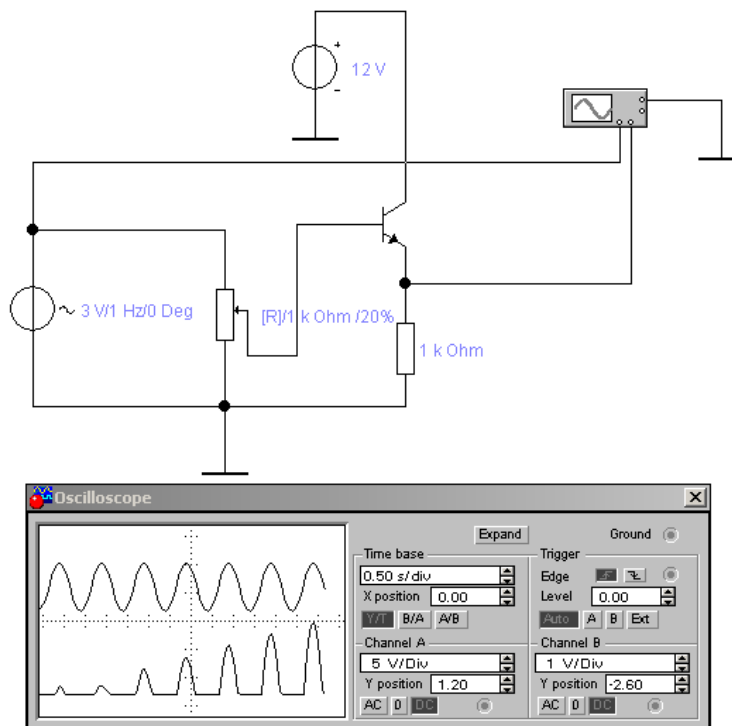


Рисунок 13.4 - Імітація роботи фототранзистора

Аналіз схеми показує синфазне з вхідним зміна напруги на емітері транзистора. Із збільшенням напруги на базі транзистора (збільшенням освітленості фототранзистора) амплітуда вихідної напруги збільшується.

До емітерного повторювача підключимо компаратор на операційному підсилювачі (рис. 13.5). На інверсний вхід компаратора подається опорна напруга. Аналіз функціонування показує, що при напрузі на прямому вході операційного підсилювача менше ніж  $E_{оп}$  (фототранзистор затінений), на виході схеми логічний 0, якщо амплітуда вхідного сигналу перевищує  $E_{оп}$  (фототранзистор освітлений сонцем), на виході схеми логічна 1.

Логічний вузол (рис. 13.6) інвертує сигнали компаратора і комутує їх на елементи 2-І-НІ. Сигнали компаратора імітуються інструментом Word Generator.

При позиції представлений на рисунку 13.6 освітлені фото транзистори секторів А і В (рис. 13.2). На виходах F1, F2 – логічна 1, на виходах F3, F4 – логічний 0. У цьому випадку мотор M1 повинен обертається на північ, а мотор M2 на захід.

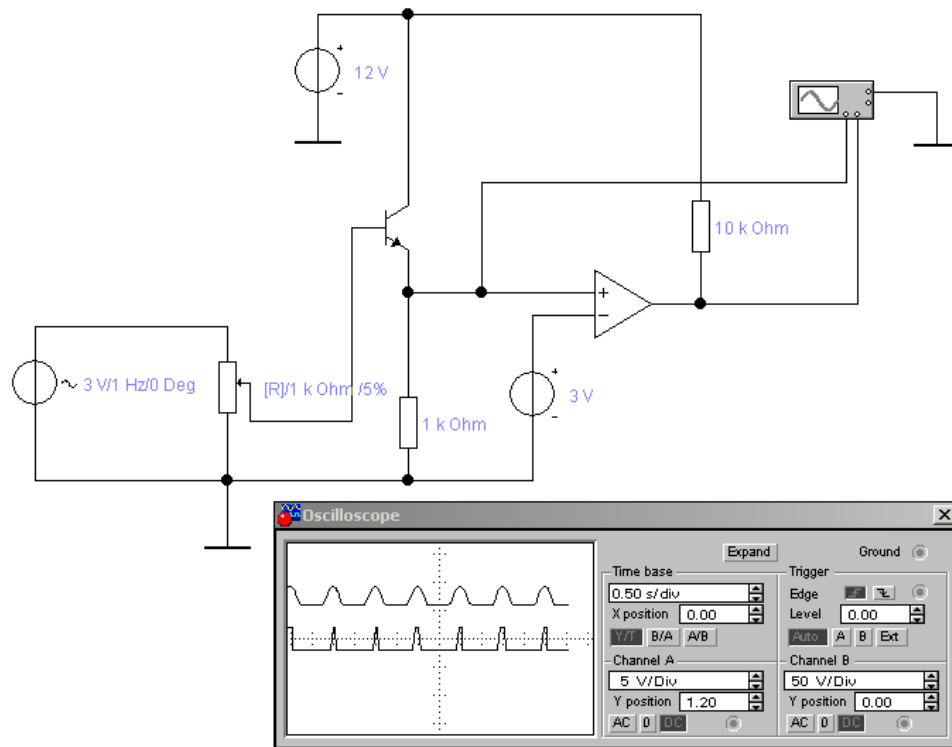


Рисунок 13.5 – Імітація роботи компаратора

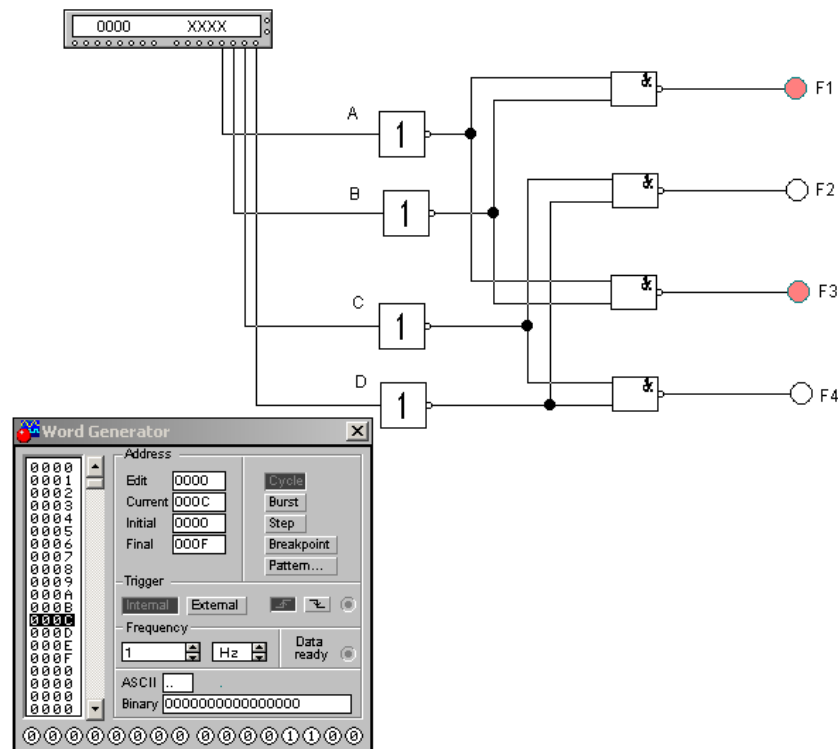


Рисунок 13.6 – Імітація роботи логічного вузла

Аналіз функціонування логічно вузла показує відповідність відпрацювання входних послідовностей і отриманих вихідних сигналів таблиці 13.3.

Схема трекера (рис.13.7) реалізована на сучасній елементній базі. Фототранзистори TIL414, операційні підсилювачі на мікросхемі LM339D, логіч-

ні елементи 2-І-НІ на мікросхемі К564ЛА7, польові транзистори з індукованим n-каналом IRF511, діоди, які шунтують обмотки реле, для усунення кидків напруги при перемиканні, 1N4002.

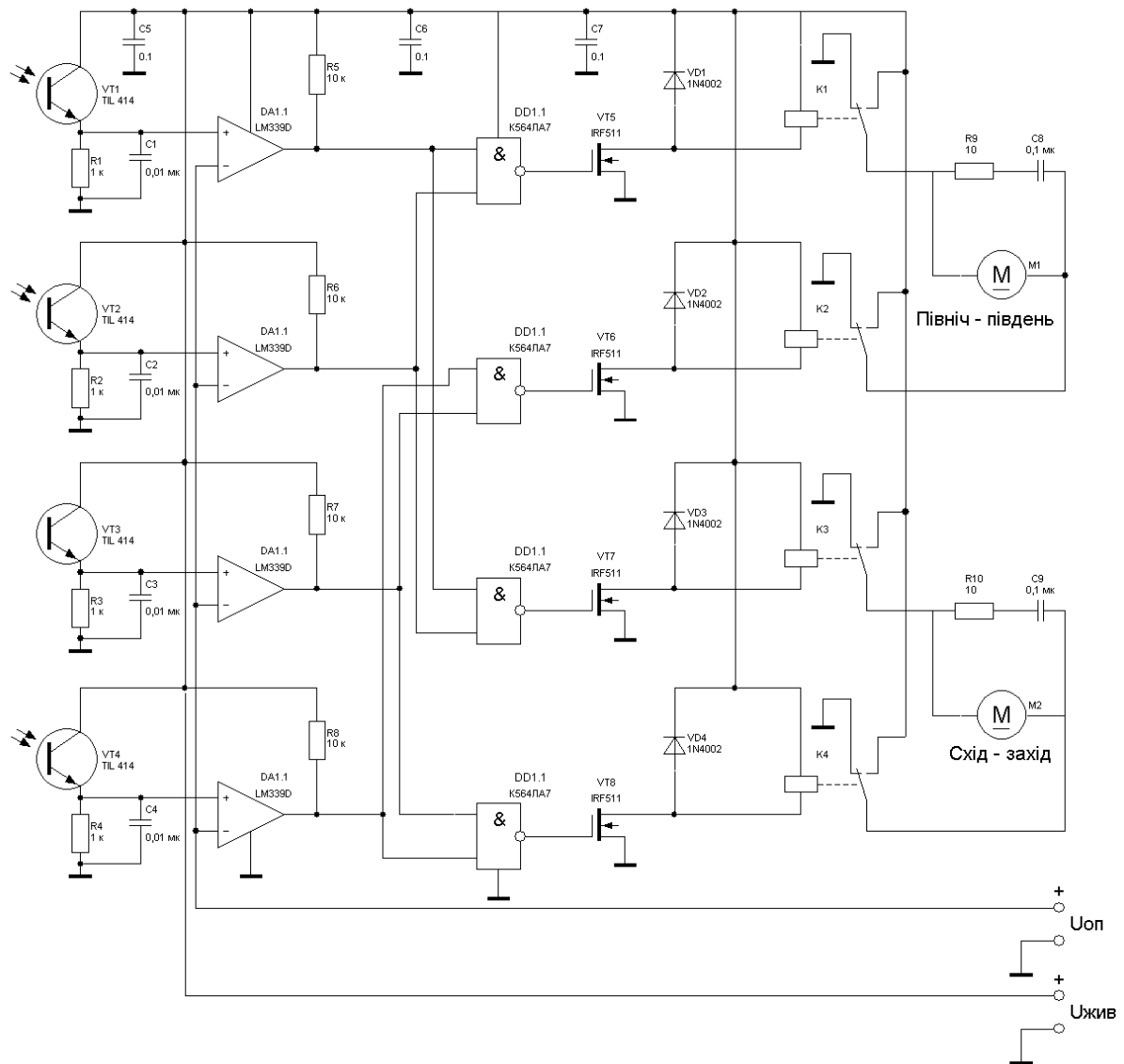


Рисунок 13.7 – Схема електрична принципова трекера

### 3. Сонячна енергетична установка для живлення трекера.

Основні компоненти сонячної енергетичної установки представлені на рисунку 13.8 і включають: Б – сонячну батарею з приладами контролю і управління; А – акумуляторну батарею; Р – регулятор заряду акумуляторної батареї.

Не дивлячись на нерівномірність добового потоку сонячного випромінювання і його відсутність в нічний час, акумуляторна батарея накопичує електрику яка виробляється сонячною батареєю та дозволяє забезпечити безперервну роботу сонячної енергетичної установки.

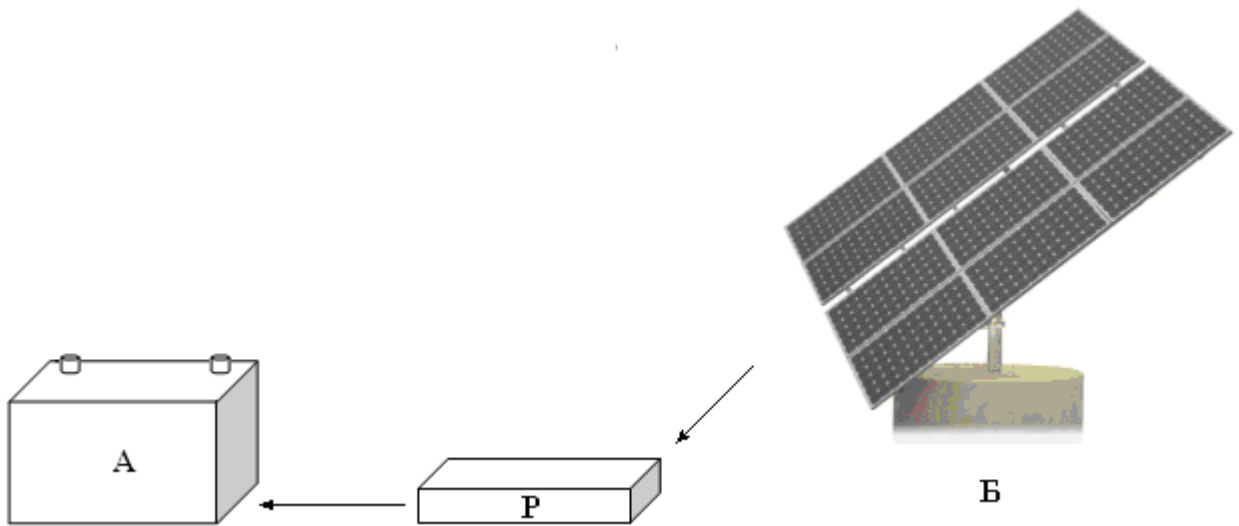


Рисунок 13.8 - Компоненти сонячної енергетичної установки

Свинцево-кислотні акумуляторні батареї фактично складаються з декількох елементів, сполучених послідовно. Кожен елемент, що розвиває напругу до 2 В, містить дві свинцеві пластини, поміщені в слабкий розчин сірчаної кислоти. При протіканні електричного струму через елемент відбувається оборотна електрохімічна реакція, і в елементі запасється електрична енергія.

Струм, необхідний для заряду акумуляторної батареї, залежить від міри зарядженої акумуляторних елементів. Звідси витікає необхідність створення регулятора заряду, що оцінює стан розрядженої батареї і залежно від нього керує зарядним струмом.

Відомо три способи заряду свинцево-кислотних акумуляторів. При заряді від сонячних елементів найбільш придатний спосіб з двоступінчастим зарядним циклом (рис. 13.9).

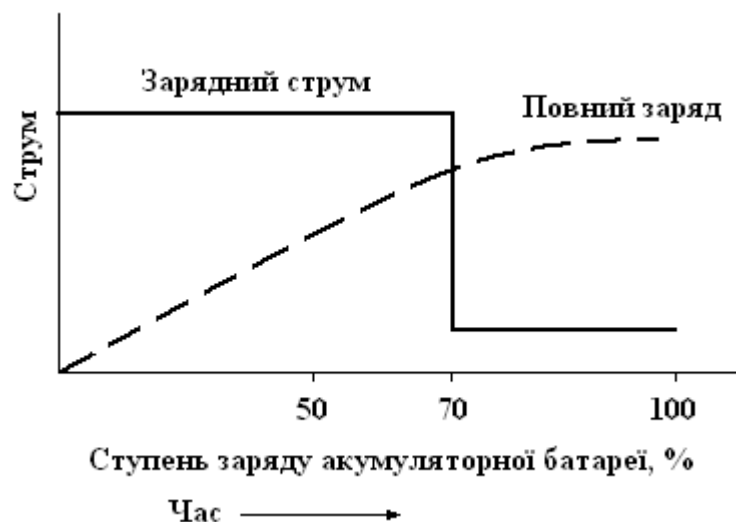


Рисунок 13.9 - Двоступінчастий зарядний цикл

Оптимальним режимом заряду буде такий, при якому виділення газу почнеться приблизно через 4 години після початку заряду батареї. Цей час відповідає найбільшій інтенсивності сонячного випромінювання в світлий

час доби, обачно в інтервалі 10 - 14 годин. Незалежно від сезонних змін і погодних умов саме в цей час доби можна досягти максимальної віддачі від сонячних елементів.

### Контрольні питання

1. Принцип побудови оптоелектронних логічних схем.
2. Групи оптоелектронних мікросхем.
3. Використання оптоелектронних мікросхем.

### Література

1. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка : підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с. ISBN 978-617-685-023-6
2. Медяний Л. П. Аналогова схемотехніка. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 177 с.
3. Бойко В.І., Жуйков В.Я., Співак В.М. та ін. Основи технічної електроніки: Підручник. Київ : Вища школа., 2007. 510 с.