

Міністерство освіти і науки України
Харківська національна академія міського господарства

П. П. Говоров, В. О. Перепечений

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для практичних занять
з курсу

«ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ»

і контрольні завдання для виконання контрольних робіт

*(для студентів денної і заочної форм навчання
спеціальності «Світлотехніка і джерела світла»)*

Харків
ХНАМГ
2009

Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Теорія автоматичного керування» і контрольні завдання для виконання контрольних робіт (для студентів 3 курсу денної і 4 курсу заочної форм навчання спеціальності «Світлотехніка і джерела світла») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: П. П. Говоров, В. О. Перепечений – Х.: ХНАМГ, 2009. – 71 с.

Укладачі: д.т.н., проф. П. П. Говоров
В. О. Перепечений

Рецензент: ас., к.т.н. Ю. О. Васильєва

Рекомендовано кафедрою світлотехніки і джерел світла,
протокол № 4 від 28. 12. 2009 р.

© Говоров П. П., Перепечений В. О., 2009
© Харків, ХНАМГ, 2009

ЗМІСТ

	Стр.
ВСТУП	4
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	5
1.1 Призначення й тематика практичних занять	5
1.2 Розподіл курсу по темам	5
2. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБІТ	6
2.1. Загальні вимоги	6
2.2. Елементи систем автоматичного керування	6
2.2.1 Принцип дії та характеристики елементів системи автоматичного керування	6
2.2.1.1 Вимірювальні елементи (датчики)	6
2.2.1.1.1 Датчики струму	10
2.2.1.1.2 Датчики напруги	11
2.2.1.1.3. Фотодатчики	12
2.2.1.2. Елементи, що підсилюють	12
2.2.1.3. Параметри та характеристики елементів, що вимірюють та підсилюють	16
2.2.2.1 Статичні характеристики й параметри елементів	17
2.2.2.2 Динамічні характеристики й параметри елементів	19
2.2.2.3 Порівнювальні елементи	21
2.3 Системи автоматичного керування освітленням	26
2.3.1 Структура та функції локальних систем автоматичного керування освітленням	26
2.3.2 Структура та функції інтегрованих систем автоматичного керування освітленням	32
2.3.3 Структура та функції систем автоматичного керування зовнішнім освітленням	38
2.4 Характеристики систем автоматичного керування	55
2.4.1 Основні положення	55
2.4.2 Лінеаризація рівнянь САК	56
2.4.3 Одержання часових характеристик САК	56
2.4.4 Структурні перетворення САК	58
2.4.5 Одержання частотних характеристик та визначення стійкості САК	62
3. КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ	64
3.1 Вивчення параметрів та характеристик елементів САК	64
3.1.1 Вивчення параметрів та характеристик елементів, що вимірюють	64
3.1.2 Вивчення параметрів та характеристик елементів, що підсилюють	66
3.2 Складання функціональних схем систем освітлення	66
3.3 Вивчення характеристик САК	67
3.3.1 Лінеаризація рівнянь САК	67
3.4 Одержання часових характеристик САК	68
3.5 Структурні перетворення САК	69
3.6 Одержання частотних характеристик та визначення стійкості САК..	69
Рекомендована література	71

ВСТУП

Одним із шляхів вирішення основного економічного завдання України – підвищення ефективності всіх галузей вітчизняного виробництва, є всебічний розвиток систем автоматичного керування. У наш час не може бути технологічних процесів, які, в тій або іншій мірі, не були б оснащені елементами автоматичного контролю і керування. Важлива роль у вирішенні цього завдання відводиться автоматизації процесів в освітлювальних системах, які споживають у даний час близько 20 % електроенергії, що виробляється. Застосування засобів автоматизації в системах освітлення у змозі забезпечити значну економію трудових та енергетичних ресурсів. Тому кожному фахівцю-світлотехніку необхідно знати основні відомості з питань автоматизації технологічних процесів у світлотехніці. З цієї причини курс «Теорія автоматичного керування» для спеціальності «Світлотехніка й джерела світла» є базовим курсом.

При вивченні цього курсу студент повинен знати основні елементи автоматичних пристроїв керування і засвоїти принципи побудови на їх основі систем автоматичного керування, вміти використовувати їх при розробці й експлуатації таких пристроїв у світлотехнічній галузі.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Призначення і тематика практичних занять

Практичні заняття проводять з метою закріплення матеріалу викладеного в лекційному курсі, за допомогою його практичної реалізації на конкретних прикладах, тобто освоєння дисципліни на рівні вміння.

Практичні заняття складаються з трьох тем:

Тема 1 - Елементи систем автоматичного керування.

Тема 2 - Системи автоматизованого керування освітленням.

Тема 3 – Характеристики систем автоматизованого керування.

1.2 Розподіл курсу за темами

Вивчення кожної з тем практичних занять передбачає виконання певної кількості завдань Розподіл курсу за темами й годинами наступні:

Тема 1 - Елементи систем автоматичного керування – 6 годин.

1.1. Вивчення принципу дії, характеристики та параметри елементів, що вимірюють – 2 години.

1.2. Вивчення принципу дії, характеристики й параметри підсилювачів – 2 години.

1.3. Вивчення принципу дії, характеристики й параметри елементів, що порівнюють – 2 години.

Тема 2 - Системи автоматизованого керування освітленням – 6 годин.

2.1. Вивчення структури і складання функціональних схем локальних автоматичних систем освітлення – 2 години.

2.2. Вивчення структури і складання функціональних схем інтегрованих систем освітлення – 2 години.

2.3. Вивчення структури і складання функціональних схем систем керування зовнішнім освітленням – 2 години.

Тема 3 – Характеристики систем автоматичного керування – 6 годин.

3.1. Лінеаризація рівнянь САК – 2 години.

3.2. Одержання часових характеристик САК – 2 години.

3.3. Структурні перетворення САК – 1 година.

3.4. Одержання частотних характеристик та визначення стійкості САК – 1 година.

2. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБІТ

2.1 Загальні вимоги

Протягом занять на натурних зразках або електронних моделях студентами вивчаються окремі типи систем, їх елементи та характеристики. Ряд питань, що стосуються сучасного рівня систем, можуть бути винесені на самостійну роботу студента. За результатами практичних занять студентами оформляється звіт, за результатами самостійної роботи – реферат.

2.2. Елементи систем автоматичного керування

2.2.1 Принцип дії та характеристики елементів системи автоматичного керування

2.2.1.1 Вимірювальні елементи (датчики)

Як впливає з функціональної схеми регулювання (рис.1), на виході об'єкта регулювання перебуває вимірювальний пристрій, як і багато інших органів САК, він має других найменувань – датчик, чутливий елемент, детектор і т.ін.

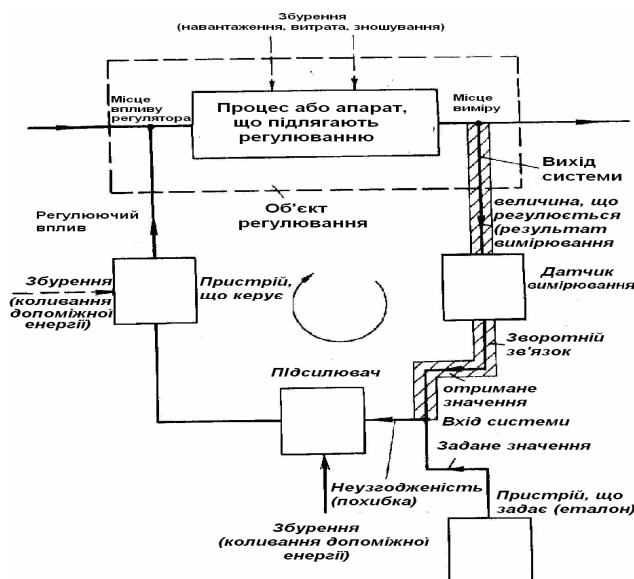


Рис.1 – Схема процесу регулювання за замкнутим циклом

Призначення цього пристрою – безупинно вимірювати дійсне значення регульованої величини й подавати відповідний вимірювальний сигнал до пристрою, що порівнює. Це дуже важлива функція в САК, коли згадати основну аксіому в області автоматичного керування: «Те, що не піддається виміру, не може регулюватися», або, інакше кажучи, «без виміру не може бути автоматичного регулювання».

Разом з виміром вимірювальний пристрій виконує часто функцію *перетворення* регульованої величини (світлового потоку, температури, тиску, механічної напруги і т.ін.) у сигнал, зручний для використання в САК, найчастіше в електричний сигнал, у формі ЕРС. Тому вимірювальний пристрій називається іноді *перетворювачем*.

Існує величезна кількість різноманітних конструкцій і типів вимірювальних пристроїв (датчиків), заснованих на різних фізичних принципах і призначених для виміру різного роду параметрів - регульованих величин. Вимірювальним пристроям – датчикам, присвячено багато спеціальної літератури. В огляді, що нижче приводиться, зазначені тільки основні види датчиків і принципи їхньої дії, оскільки це необхідно для з'ясування їхніх функцій у загальній схемі САК.

На практиці користуються різними способами класифікації датчиків – вимірювальних пристроїв, за основу яких береться та або інша ознака. Так, прийнято ділити їх на контактні і безконтактні або класифікувати по роду вимірюваної величини й т.ін.

Як уже зазначалося, датчики й перетворювачі вимірюваної величини служать для енергетичного або кількісного перетворення регульованої величини з метою пристосування її до входу регулятора. На виході регулятора перебувають ланки, які служать для перетворення керуючим органом його вихідної величини у величину, необхідну за енергетичними умовами, для створення відповідного регулюючого впливу.

Зазначені пристрої, що є в контурі регулювання перед регулятором і після нього, часто мають такі перехідні характеристики, які впливають на

поводження і показники всієї системи регулювання не менше, ніж регулятор і об'єкт регулювання. Датчики й перетворюючі ланки можуть бути наділені інерціями (постійними часу), а це приводить до підвищення порядку характеристичного диференціального рівняння системи й до більших обмежень у виборі параметрів за умовами стійкості.

Щоб отримати належну якість регулювання, треба, за можливістю, скорочувати число ланок, що беруть участь у контурі регулювання, і піклуватися про те, щоб характеристики цих ланок були сприятливі, тобто лінійні й безінерційні. У зв'язку з цим, часто доводиться обмежувати довжину ліній, що передають інформацію на вхід регулятора або на керуючу ланку. Вимірювальні датчики, що наділені інерцією, (з механічною або тепловою) у пристроях з більшими постійними часу є більш сприйнятними, тому що тут іноді можна зневажати й власними інерціями регулятора.

У загальному випадку вимірювальний пристрій повинен бути точним і не мати нелінійності характеристик, наділеними інерційністю або значним споживанням енергії, тому що ці властивості можуть впливати на характеристики САК у цілому. У якості параметрів, вимірюються можуть бути:

Електрична напруга U : а) безпосередній вимір U ; б) від *потенціометра* $UR_1/(R_1+R_2)$; в) від трансформатора напруги Uw_2/w_1 ; г) від ємнісного дільника напруги $UC_2/(C_1 + C_2)$.

Струм I : а) від падіння напруги в шунті IR ; б) від індуктивного падіння напруги IZ ; в) від конденсатора $I_c = CwU$; г) від навантаженого трансформатора струму RIw_1/w_2 .

Магнітний потік Φ : а) за допомогою пробної котушки в магнітному полі $w \frac{d\Phi}{dt}$; б) за допомогою датчика Холу.

Швидкість обертання n об/хв: а) за допомогою тахогенератора (постійного струму, синхронного, асинхронного, електростатичного) $U = \Phi n$; б) за допомогою тахометричного (потенціометричного) мосту на затискачах двигуна $n = U - IR$;

в) за допомогою відцентрового маятника.

Крутний момент M : а) безпосередній вимір в електричній машині ΦI ; б) за величиною падіння напруги RI , де I — функція моменту M від тензометричного датчика; в) за величиною RI , де I — функція моменту M від електромагнітного торсіометра (вимірника моменту, що скручує вал) або від іншого моментоміра.

Потужність P — за допомогою електронного або електродинамічного ватметра $P \equiv UI$.

Прискорення лінійне або обертальне $j = \frac{dn}{dt}$: а) за допомогою тахогенератору й трансформатора, що диференціює, $dn/dt = dU/dt$; б) за допомогою двофазного асинхронного тахогенератора; в) за допомогою датчика прискорення (електромагнітного або електронного).

Механічна напруга S — за допомогою тензометричного датчика як при вимірі крутного моменту M (див. вище).

Тиск Q кг/кВ·см: а) за допомогою п'єзокристалевої або ємнісної месдозы; б) за падінням напруги RI , де струм I — функція зсуву в конденсаторному (або іншого типу) мікрофоні; в) за допомогою мембрани або манометра;

г) за допомогою сильфона.

Температура τ : а) за допомогою термометра опору за величиною $IR(1-k\tau)$; б) за допомогою термопари, струм якої пропорційний $(k_1\tau - k_2\tau^2)$; в) за допомогою біметалічної пластинки.

Освітленість E — за допомогою фотоелемента за величиною IR , де фотострум I — функція величини: люмен/одинаця площі фотоелемента («електричне око»).

Потужність звуку T — за допомогою вугільного, індуктивного або конденсаторного мікрофона, що дає функцію від R , L та C («електричне вухо»).

Механічне переміщення (лінійне або кругове) x : а) за зміною опору R (у реостаті з вугільними шайбами або в дровому реостаті); б) за зміною

індуктивності L (у регульованій індуктивній котушці); в) за зміною ємності C (у конденсаторі з рухливими обкладинками).

Частота f : а) за величиною індуктивного опору або падіння напруги $XI = \omega LI = 2\pi / LI$; б) за величиною ємнісного опору $1/(2\pi fC)$. (Опори включаються в плече містка).

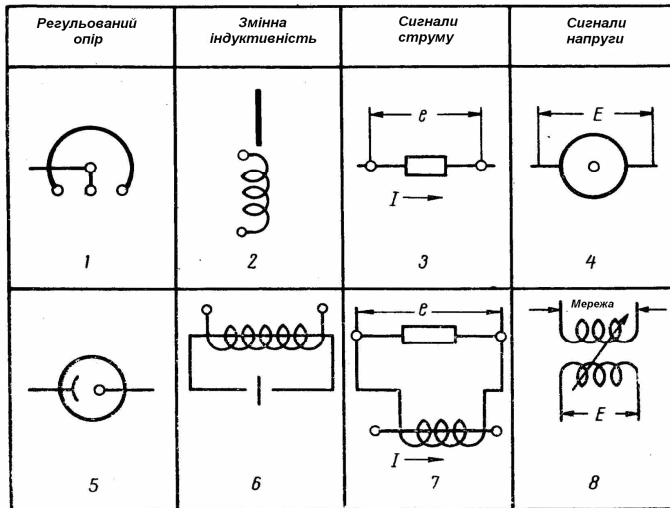


Рис. 2 – Основні типи вимірювальних датчиків:

1 – реостат, механічне переміщення; 2 – механічне переміщення; 3 – ланцюг постійного струму; 4 – тахогенератор, обертання; 5 – фотоелемент (світло); 6 – механічне переміщення; 7 – ланцюг змінного струму, трансформатор струму; 8 – трансформатор зі змінним зв'язком, переміщення

До цього переліку слід дати деякі пояснення (рис.2). Найпростішим пристроєм для перетворення шляху механічного переміщення в сигнал є реостат (1), але він має обмежене поширення на практиці внаслідок його підвищеного зношування й порівняно короткого терміну служби. Для передачі сигналу шляху механічного переміщення може бути використане інший пристрій, вільний від швидкого зношування, – реактор зі осереддям індуктивністю (2). Для цієї мети застосовується реактор із осереддям, що переміщається в ньому – плунжером або двополюсним електромагнітом із залізним якорем, що *пересувається між кінцями полюсів* (6).

2.2.1.1.1 Датчики струму

У системах регулювання струму або тих, що діють залежно від струму, потрібні датчики, які вимірюють величину, пропорційну струму. У ланцюгах постійного струму для цього використовують сигнал $e = RI$, який дорівнює

падінню напруги на опорі R і по якому проходить регульований струм (3). При наявності електричних машин слід використовувати падіння напруги на частині обмотки замість того, щоб вводити в ланцюг спеціальний додатковий опір. У ланцюгах змінного струму застосовують трансформатор струму, на вторинні затискачі якого включають опір. Напруга на цьому опорі пропорційно величині вимірюваного струму в первинному ланцюзі (7).

2.2.1.1.2 Датчики напруги

Призначення датчиків напруги – перетворення напруги елементів первинних систем у такий вихідний сигнал, інформативні параметри якого функціонально зв'язані з інформативними параметрами вхідного сигналу й можуть вимірятися із заданою точністю. При цьому датчики напруги повинні реалізувати ряд операцій, що дозволяють у підсумку використовувати вихідні сигнали перетворювачів наступними органами вторинних систем:

- нормування рівня сигналу;
- оперативне (динамічне) перетворення сигналу;
- зміна (зниження) потенціалу сигналу стосовно землі;
- узгодження вихідного опору датчика напруги й вхідного опору наступних органів вторинних систем;
- перетворення характеру зміни сигналу в часі (наприклад, аналогового в дискретний);
- перетворення фізичного роду сигналу (наприклад, електричного в оптичний і навпаки);
- передача енергії, що забезпечує заданий рівень потужності вихідного сигналу.

Слід зазначити, що в конкретному датчику напруги звичайно реалізуються не всі відзначені операції, а тільки їхня частина. У той же час перша й третя операції є обов'язковими, тому що без їхньої реалізації неможливе використання сигналу у вторинних системах.

Залежно від того, у якому режимі сигналу вони використовуються, датчики напруги відносяться до статичних або динамічних. При цьому під

статичним режимом розуміється режим, при якому значення вихідного сигналу можна вважати незмінним протягом часу. Під динамічним мається на увазі режим, при якому вихідний сигнал протягом часу роботи вторинної системи помітно змінюється, причому з погляду роботи вторинних пристроїв динамічна погрішність має істотне значення. З наведеного визначення випливає, що датчик напруги можна розглядати в динамічному або статичному режимі залежно від швидкодії вторинних пристроїв, з якими працюють датчики напруги. Перетворення періодичних (синусоїдальних і несинусоїдальних) напруг, при яких вторинні системи реагують на середні й діючі перетворення сигналів є динамічними, якщо діючі вторинні системи реагують на миттєві значення напруги.

Звичайно до складу датчиків напруги входять індуктивності і ємності, тому їх слід розглядати як динамічні системи. Крім того, додатковою ознакою віднесення перетворювачів до статичних або динамічних є характер зміни вхідного сигналу.

2.2.1.1.3 Фотодатчики

Датчиком величини світлового потоку служить освітлюваний їм фотоелемент. Тут фотоелемент відіграє роль змінного опору, величина якого вимірюється залежно від ступеня освітленості. Фотоелемент використовується звичайно в САК положення. Матеріал або деталь, положення яких повинен автоматично фіксуватися або регулюватися, установлюються на шляху пучка променів від джерела світла так, що вони злегка затемнюють або повністю прикривають останній. Зміни опору, що відбуваються при цьому, фотоелемента, у ланцюзі якого діє постійна ЕРС, обумовлюють зміни струму, що служать сигналом положення.

2.2.1.2 Елементи, що підсилюють

Підсилювач або *підсилювальний пристрій* служить для посилення сигналу (напруги, струму, потужності) до значення, необхідного для виконавчого пристрою, до якого сигнал далі підводить. У загальному випадку підсилювач може служити також і для створення похідних або інтегралів від

сигналу неузгодженості, якщо це потрібно для виконання заданого закону регулювання; тоді підсилювач називається *керуючим пристроєм*.

Найбільш сучасний підсилювач повинен мати лінійну характеристику й на виході повторювати закон зміни величини (сигналу) на його вході. Однак при посиленні звичайно відбуваються деякі перекручування величини сигналу і його фази. Вимога лінійності не є обов'язковим, тому що завжди наявна в системі зворотний зв'язок забезпечує правильне регулювання й при нелінійній характеристиці підсилювача.

Підсилювачі характеризуються родом застосовуваної в них енергії, чутливістю або потужністю вхідного сигналу, величиною коефіцієнта підсилення й способом дії.

За *родом енергії* підсилювачі діляться на *електричні* й *неелектричні* (механічні, гідравлічні, пневматичні). *Механічні* підсилювачі (важелі, шестірні та ін.) найбільш прості за конструкцією й безінерційні, але відрізняються невеликими коефіцієнтами підсилення. *Гідравлічні* й *пневматичні* підсилювачі характеризуються безінерційністю, більшими коефіцієнтами підсилення й плавністю роботи. Робочою речовиною в них є рідина або газ під тиском. Характеристики можуть вважатися лінійними. Приклади підсилювачів: золотник, гідромурфта, гідропередача.

Електричні підсилювачі відрізняються високою чутливістю, універсальністю застосування, високими коефіцієнтами підсилення й відсутністю в деяких видах підсилювачів рухливих частин. Приклади електричних підсилювачів: генератори постійного струму, електромашинні підсилювачі спеціального типу, магнітні підсилювачі, електронні й іонні підсилювачі, напівпровідникові підсилювачі, реле й контактори та ін. Останнім часом особливого значення набувають напівпровідникові підсилювачі.

Чутливістю підсилювача називається величина вхідного сигналу, при якому вихідний сигнал досягає номінального значення. Величина потужності, напруги або струму, які підсилювач повинен віддавати на виході при роботі з

номінальної для нього навантаженням, називається *номінальною потужністю* (напругою або струмом).

Коефіцієнтом підсилення K_y підсилювача називають відношення вихідного сигналу $x_{y.вих}$ до вхідного $x_{y.вх}$, якщо обидва сигнали однорідні за своєю величиною, тобто

$$K_y = \frac{x_{y.вих}}{x_{y.вх}}. \quad (1)$$

Якщо ж обидва сигнали різнорідні, то це відношення називається *коефіцієнтом перетворення*. У загальному випадку коефіцієнт підсилення або перетворення являє собою комплексну величину.

За способом дії розрізняють підсилювачі *безперервної* й *переривчастої* дії. Той самий тип підсилювача може бути використаний у системі або в умовах, що вимагають від нього безперервної або переривчастої дії. Реле й контактори є підсилювачами тільки переривчастої дії.

У табл.1-3 наведені огляди найбільш характерних властивостей і показників підсилювачів різного типу. Вони полегшують вибір підходящого типу підсилювача для конкретних умов, на який впливають такі фактори, як коефіцієнт підсилення, найменша величина вхідного сигналу, відхід в експлуатації, чутливість до вібрацій, вартість, габарити, вага, термін служби, можливість одержання й ін. Діапазон потужностей підсилювальних пристроїв показаний на рис. 1.

В одній і тій же установці при великому коефіцієнті підсилення можуть застосовуватися підсилювачі різних типів у послідовному (каскадному) посиленні, засновуючи кілька щаблів (перший щабель називається «попередньою»), наприклад електронний підсилювач і електромашинний; електронний підсилювач і магнітний; магнітний підсилювач і електромашинний і т.ін. У той же час часто багатоступінчасте (каскадне) посилення здійснюється за допомогою підсилювачів того самого типу.

Таблиця 1 – Характеристики електромашинних, магнітних і електронних підсилювачів

Показники	ЕМП з поперечним полем	Магнітний підсилювач	Електронний підсилювач
Вихідна потужність (при стандартному виконанні)	60 кВт і більше	до 50 кВА й більше	1-1000 Вт
Коефіцієнт підсилення за потужністю K	$10^2 - 0,5 \cdot 10^4$	$10^2 - 10^4$	$10^5 - 10^6$
Постійна часу T , сек	$10^{-1} - 1$	$10^{-1} - 1$	10^{-2}
Динамічний коефіцієнт підсилення K/T	$10^3 - 0,5 \cdot 10^4$	$10^3 - 10^4$	$10^7 - 10^8$
Реверсивна робота	можлива	можлива у випадку збільшення вартості установки	
Роздільні обмотки керування	існує	існує	не існує
Вхідний опір, ом	$10^{-1} - 10^2$	10^2	10^3
Похибка через гістерезис	існує	не існує	не існує
Коефіцієнт корисної дії	добрий	добрий	добрий
Готовність до роботи	Негайна		Негайна
Догляд в експлуатації	Потрібен через наявність щіток і підшипників	незначний	невеликий
	вимірювальні прилади		
Апаратура перевірки			Осцилограф
Термін служби	великий	необмежений	обмежений
Чутливість до вібрацій	обмежено припустимі	нечутливий	не припустимі
Вимоги до установки	фундаментн. рама	припустимі любі умови	не припустимі
Вага	велика	значна	відносно невелика

Таблиця 2 – Порівняння властивостей підсилювачів

Тип підсилювача	Діапазон вихідної потужності P , напруги U і струму I (граничні значення)	Динаміка; коефіцієнт підсилення по потужності K	Нелінійності, причини мінливості характеристик	Експлуатація; термін служби
Напівпровідникові підсилювачі (наприклад, транзистори)	Перебувають у стадії розвитку	Практично безінерційні; $K > 10^4$	Характеристик и залежать від температури	Термін служби дуже великий; не потребують ніякого нагляду
Електронні підсилювачі	$U = U_{\min}$ до U_n (400В) $I = I_{\min}$ до I_n (0,1 А) $P = P_{\min}$ до P_n (100Вт)	Практично безінерційні; $K > 10^4$	Криволінійна характеристика	Термін служби-біля 6000 годин; потрібен нагляд і контроль
Магнітні підсилювачі	$U = U_{\min}$ до U_n (1 кВ) $I = I_{\min}$ до I_n (100 А) $P = P_{\min}$ до P_n (100кВт)	Час запізнювання й постійна часу залежать від частоти; $K = 10^2$ до 10^4	Криволінійна характеристика; більші гармоніки	Термін служби дуже великий; не вимагають ніякого нагляду
Електромашинні підсилювачі	$U = -U_n$ до $+U_n$ (1 кВ) $I = -I_n$ до $+I_n$ (5 кА) $P = -P_n$ до $+P_n$ (5 МВт)	Є постійна часу (інерційність); $K = 10^2$ до $0,5 \cdot 10^4$	Криволінійна характеристика, обумовлена насиченням сталі й комутацією	Термін служби великий; потрібен нагляд

Таблиця 3 – Технічні показники деяких підсилювачів переривчастої дії

Тип підсилювача	Напруга котушки (рід струму)	Потужність котушки	Вихідна потужність	Коефіцієнт підсилення по потужності	Власний час, сек
Поляризоване реле	постійна	0,1 МВт	до 40 ВА	$4 \cdot 10^5$	$10^{-2} - 10^{-3}$
Реле	змінний	5 МВА	до 1 кВА	$2 \cdot 10^5$	10^{-2}
Ртутний контактор	змінний	4 ВА	7,5 кВА	$2 \cdot 10^3$	10^{-1}
Великий контактор	постійний	70 Вт	300 кВт	$4 \cdot 10^3$	10^{-1}
	змінний	500 ВА	300 кВА	$6 \cdot 10^2$	$0,5 \cdot 10^{-1}$

На структурних блокових схемах підсилювач, як і інші ланки, зображується прямокутником. Але іноді для виділення його усередині прямокутника додається ще фігура трикутника або кута з вершиною по напрямку основного регулюючого впливу.

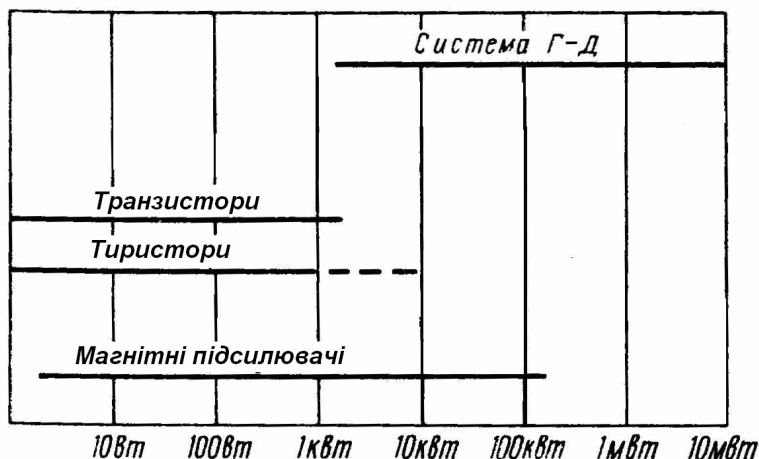


Рис. 3 – Діапазони потужності різних типів підсилювальних пристроїв в електроприводах (тиристори - багаточарові напівпровідники із ключовим режимом по типі тиратронів)

2.2.1.3 Параметри й характеристики елементів, що вимірюють і підсилюють

Якщо відомо про ті або інші показники елемента, то можна оцінити властивості цього елемента. В автоматичності властивості елементів оцінюються різними показниками, зв'язаними з вхідними й вихідними величинами. При

цьому, у разі залежності параметрів САК від часу їх характеристики мають характер динамічний, а в протилежному – статичний.

2.2.2.1 Статичні характеристики й параметри елементів

Функціональна залежність вихідної величини Y від вхідної X , виражена математично або графічно, називається статичною характеристикою елемента.

Елементи, що мають незалежні від часу параметри й лінійні статичні характеристики, називаються лінійними, а характеристики, що мають нелінійні, – нелінійними елементами (рис. 4,а).

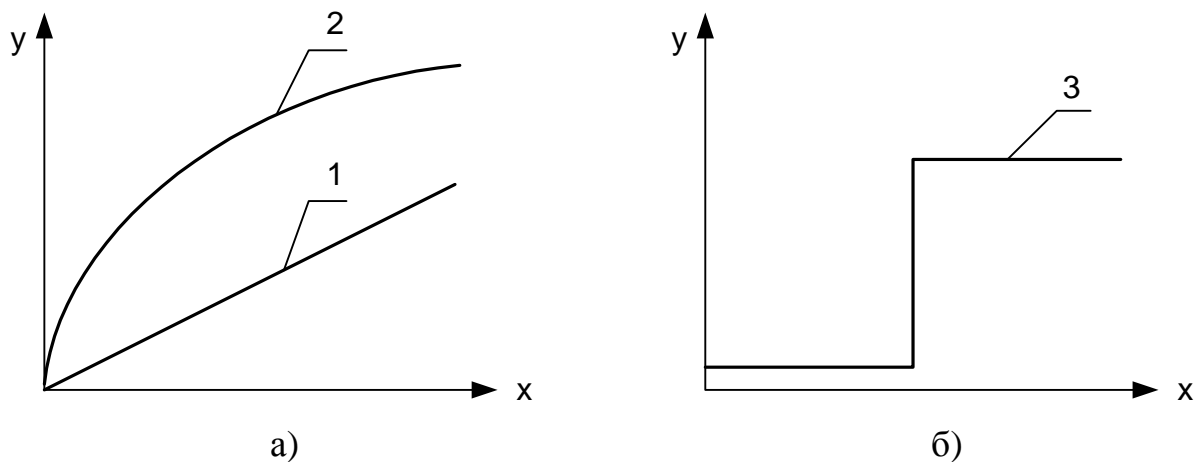


Рис. 4 – Характеристики безперервних (а) та дискретних (б) вимірювальних елементів

1 - безперервна лінійна; 2 - безперервна нелінійна; 3 - дискретна

Якщо статична характеристика елемента безперервна, то це, елемент безперервної дії (датчик); якщо характеристика елемента змінюється, стрибкоподібно – це елемент дискретної дії (як правило, реле).

Елементи для конкретних автоматичних систем вибирають за рядом показників, що їх характеризують, – коефіцієнтом передачі, порогом чутливості, похибки й т.ін.

Коефіцієнт перетворення /передачі/. Безперервна характеристика елемента може бути описана виразом

$$Y = K_{\Pi} X + Y_0,$$

де K_{Π} - змінний коефіцієнт, який називається коефіцієнтом перетворення.

У загальному випадку він визначається кутом нахилу дотичної до характеристики. Для елемента з лінійною характеристикою $K_{\Pi} = const$.

Якщо величини X і Y мають різні розмірності, то й K_{Π} матиме ту ж розмірність.

Залежно від функціонального призначення елемента K_{Π} має й інші назви: для підсилювачів – коефіцієнт підсилення, для датчиків – чутливість.

Якщо на характеристиці виділити ділянка, що приблизно можна вважати лінійним, то в межах цієї ділянки відношення найбільшої вихідної величини до найменшого Y_{\max}/Y_{\min} являтиме собою динамічний діапазон. У динамічному діапазоні K_{Π} може бути прийнятий приблизно постійним, а режим роботи в цьому діапазоні можна вважати лінійним.

Поріг чутливості – найменше (за абсолютним значенням) значення вхідного сигналу, здатне викликати зміну вихідного сигналу. Інтервал між значеннями вхідного сигналу, що не робить вплив на значення вихідного сигналу, і значенням вхідного сигналу, що робить вплив на значення вихідного сигналу, називається *зоною нечутливості* ΔX_H . Чим більше ΔX_H , тим елемент гірше.

Похибка елемента з'являється через неточність таріровки або градуїровки елемента у процесі їх виготовлення. У результаті похибки відбувається відхилення характеристики від заданої (ідеальної). Похибка може виникнути в результаті зміни його внутрішніх властивостей (старіння, зношування) або зовнішніх факторів (температура, вологість, живляча напруга).

Абсолютна похибка елемента – різниця між отриманим значенням Y_{Π} і дійсним Y_{δ} значеннями вихідної величини

$$\Delta = Y_{\Pi} - Y_{\delta}.$$

Дійсне значення вихідної величини – це ідеальне значення вихідної величини при відсутності похибки.

Абсолютна похибка має розмірність вимірюваної величини, вона може бути позитивною або негативною.

Відносною похибкою називається відношення абсолютної похибки до дійсного значення вихідної величини, виражене у відносних одиницях або відсотках

$$\delta_o = \Delta/Y_o \quad \text{або} \quad \delta_o = \frac{\Delta}{Y_o} 100\% .$$

У міру зменшення номінального значення вихідної величини при незмінному значенні абсолютної похибки, відносна погрішність збільшується.

Наведена похибка найчастіше характеризує елементи автоматики. Під наведеною погрішністю розуміють відношення абсолютної похибки до різниці граничних значень вихідної величини, (у відносних одиницях або %).

$$\delta = \frac{\Delta}{Y_{\max} - Y_{\min}} \quad \text{або} \quad \delta = \frac{\Delta}{Y_{\max} - Y_{\min}} 100\% .$$

При визначенні похибки елемента вихідну величину вимірюють кілька разів, потім визначають середнє арифметичне вихідної величини, яке приймають за тарувальне значення. Вибирають найбільшу різницю між вимірюваним і тарувальним значеннями Δ_{\max} . Далі за формулою знаходять похибку елемента

$$\delta = \frac{\Delta_{\max}}{Y_{\text{тар}}} 100\% + \delta_x + \delta_y ,$$

де Δ_{\max} – різниця між вимірюваним і тарувальним значеннями; $Y_{\text{тар}}$ – значення вихідної величини елемента; δ_x і δ_y – наведені погрішності зразкових приладів, використовуваних для виміру вхідної і вихідної величини при таруванні.

2.2.2.2 Динамічні характеристики й параметри елементів

Для елементів автоматики основним режимом роботи є режим, при якому вхідна й вихідна величини не залишаються постійними (у більшості випадків вони міняються в часі). Такий режим називається *динамічним*.

Для оцінки роботи елемента в динамічному режимі використовують динамічні характеристики й параметри.

Процес переходу елемента з одного сталого стану в інший називається *перехідним процесом*. Оскільки під час перехідного процесу Y змінюється, то перехідний процес, отже, є окремим випадком динамічного режиму.

Перехідний процес характеризується перехідною характеристикою. Під *перехідною характеристикою* розуміють залежність вихідної величини в часі $Y = f(t)$ при стрибкоподібній зміні вхідної величини. Реакція більшості елементів на стрибкоподібний вхідний сигнал, тобто їх перехідна характеристика являє собою наростаючу експоненту.

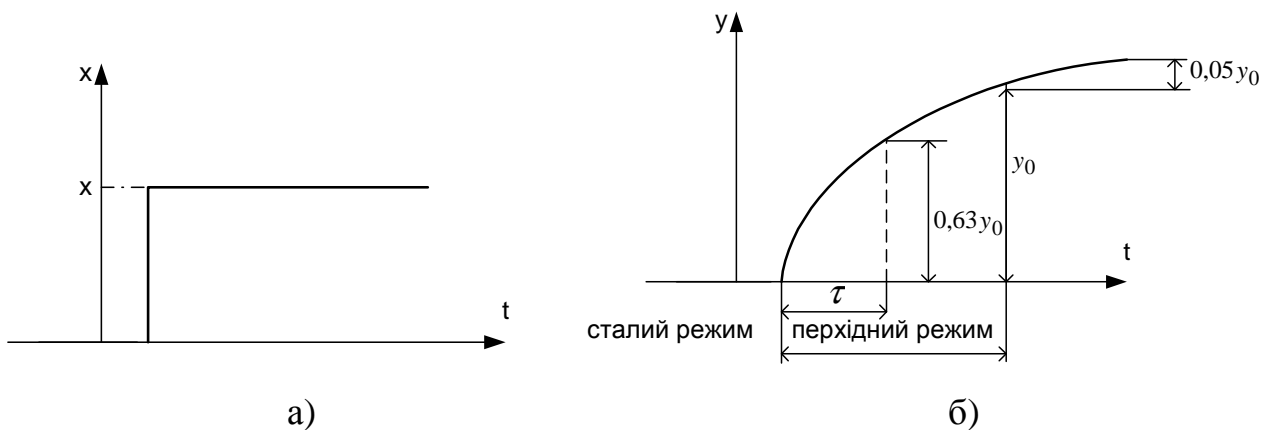


Рис. 5 – Криві перехідного дискретного (а) й безперервного (б) процесу

Постійна часу елемента τ - час від початку зміни вихідної величини до моменту, коли вона досягне 63% ($2/3$) сталого значення.

Динамічні властивості елементів прийнято оцінювати за їх реакцією на стрибкоподібну зміну вхідного сигналу. При цьому перехідний процес визначається тільки властивостями елемента. До подачі стрибкоподібного сигналу на вхід елемент перебуває в одному стійкому стані, після подачі стрибка й закінчення перехідного процесу він буде перебувати в іншому, стійкому стані. Таким чином, перехідна характеристика дозволяє виявити й оцінити інерційність елемента.

Крива залежності $y = f(t)$ при стрибкоподібній зміні вхідного сигналу є графічною інтерпретацією вирішення диференціального рівняння елемента, яким описується поведінка елемента при перехідному процесі, де вхідні й вихідні сигнали є функціями часу.

На рис.6а показано перехідний процес без запізнювання, на рис.6б – перехідний процес інерційного елемента. Ступінь інерційності описується постійною часу. Цей час визначається відстанню по осі абсцис від початку координат до точки перетинання a дотичної до кривої перехідного процесу на початку координат зі сталим значенням вихідного сигналу $Y_{уст}$.

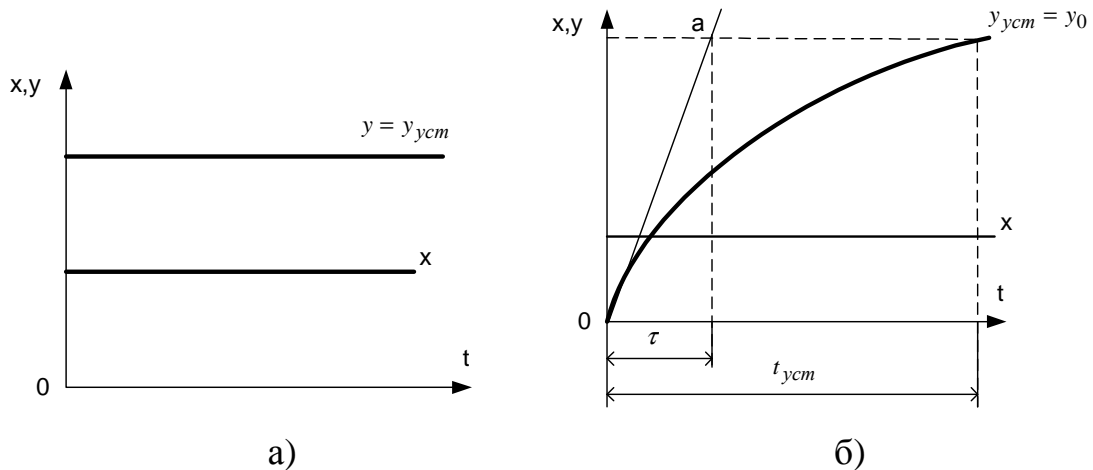


Рис. 6 – Криві перехідного процесу без запізнення (а) і з запізненням (б)

На рис.7а показано коливально-загасаючий перехідний процес, при якому вихідна величина коливається біля її сталою значення з деякою частотою $f_0 = 1/T_0$, де T_0 – період коливань із безперервно убуваючою амплітудою.

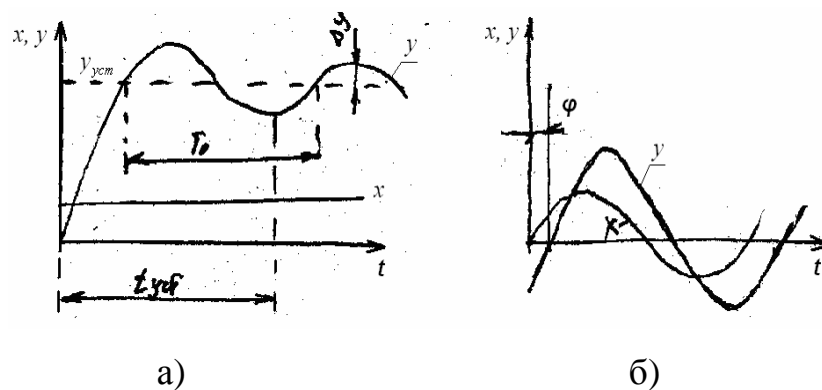


Рис. 7 – Криві перехідного процесу при коливально-загасаючому перехідному процесі

2.2.2.3 Порівнювальні елементи

Призначення пристрою, що порівнює, полягає в тому, щоб порівнювати сигнал який надходить від вимірювального пристрою (датчика) із сигналом від пристрою, що задає, та неузгодженість подавати на вхід наступної

(за схемою рис.8) ланки – підсилювача. Тому, пристрій, що порівнює іноді називають датчиком неузгодженості.

Відомо досить велика кількість пристроїв, що порівнюють, що служать для зіставлення різних фізичних величин і діючих на різних принципах. На рис.8 показані основні види пристроїв, що порівнюють: а) механічний диференціал – для порівняння кутів повороту двох валів; б) бруківка потенціометрична схема – для порівняння двох електрорушійних сил; в) пари сельсинів – для порівняння двох кутових показників; г) пневматична діафрагма – для порівняння тисків газу.

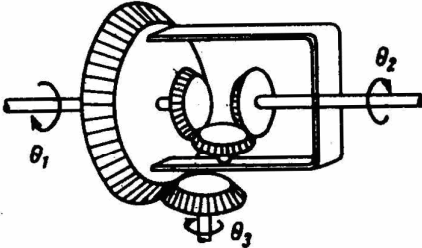

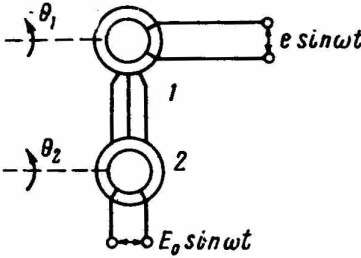
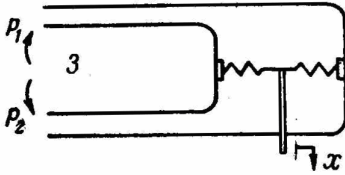
Вид	Приклад пристрою	Зв'язок вхід-вихід
Механічний диференціал		$\theta_3 = \theta_1 - \theta_2$
Потенціометричний міст		$E = K (\theta_1 - \theta_2)$
Сельсини		$E = K (\theta_1 - \theta_2)$
Пневматична діафрагма		$X = K (P_1 - P_2)$

Рис. 8 – Принципові схеми пристроїв, що порівнюють:

1 – сельсин-трансформатор; 2 – сельсин-датчик; 3 – тиск на вході

Існують два основних принципи, на яких заснована дія електричного пристрою, що порівнює: а) порівняння напруг або «гальванічне» порівняння; б) порівняння магнітних потоків або «магнітне» порівняння (рис.9). Кожний із цих принципів має свої переваги й недоліки, які слід враховувати при виборі типу пристрою, що порівнює, для конкретного застосування.

1. Електричне («гальванічне») порівняння являє собою порівняння в одному ланцюзі двох зустрічно включених ЕРС постійного струму – однієї, що відповідає значенню, що задає, і іншій, відповідному щирому значенню. Якщо підлягають порівнянню не ЕРС, а постійні струми, то останні змушують протікати по двох активних опорах і порівнюють за допомогою зустрічного включення падіння напруги, що відбувається на опорах. Результатом порівняння в тому і іншому випадку буде невелике за величиною напруги постійного струму, знак, тобто напрямок, який може мінятися. Наприклад, якщо потрібна точність регулювання до 0,1%, то зазначена напруга за величиною становитиме 1/1000 частки регульованої величини. Очевидно, що настільки незначна напруга не може бути безпосередньо використана для впливу на керуючий орган, тому потрібне введення підсилювача в контур регулювання.

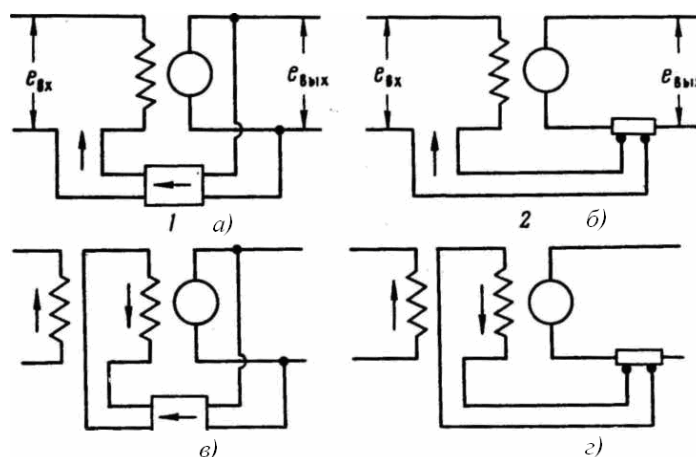


Рис. 9 – Схеми зворотних зв'язків ланцюгів за напругою і струмом:
 а — гальванічний зв'язок ланцюгів; б — магнітний зв'язок ланцюгів.
 1 — зворотний зв'язок по напрузі; 2 — зворотний зв'язок за струмом

У контурі порівняння напруг утворюється різниця між сигналами напруг від вимірювального пристрою й від еталона, що подається звичайно на вхід підсилювача. На рис. 9 показано, як різниця напруг від тахогенератора (сигнал швидкості) і від потенціометра, що задає швидкість, подається на котушку, що перебуває на сталевому сердечнику. Друга котушка цього пристрою, що є трансформатором, передає пропорційне величині e напругу на вхід підсилювача. Різниця напруг e може бути також підведена до обмотки збудження електромашинного підсилювача або на сітку вхідної щаблі електронного підсилювача.

Така система дає ефективне використання матеріалів. Вся мідь вхідної обмотки служить для утворення ампер-витків (намагнічуючої сили) від різниці напруг e , тобто є активною.

У той же час описана схема має і недоліки. Самий головний з них полягає в тому, що ланцюги сигналів вимірювального й що задає, електрично зв'язані між собою. Крім того, в деяких САК потрібно, щоб у ланцюг вимірювального сигналу подавалися деякі додаткові сигнали для наступного порівняння загального результату із сигналом, що задає. Розглянута схема незручна для введення таких додаткових сигналів.

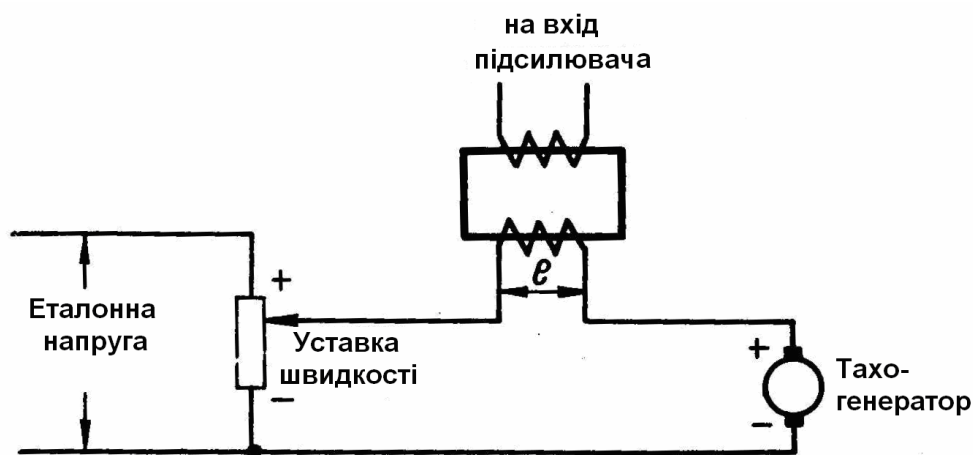


Рис. 10 – Порівняння напруг (гальванічне)

У деяких випадках при наявності магнітної системи з котушками (як на рис. 10) може встановлюватися додаткова окрема котушка для живлення її додатковим сигналом. Але її ампер-витки будуть протидіяти ампер-виткам

катушки від сигналу неузгодженості e ; це може повести до зсуву загального рівня сигналу неузгодженості.

2. «Магнітне» порівняння являє собою порівняння двох зустрічно спрямованих магнітних потоків або відповідних ампер-витків. Таке порівняння здійснюється за допомогою двох окремих обмоток на магнітних підсилювачах, електромашинних підсилювачах і на електромагнітні реле. У принципі магнітне порівняння можна здійснювати й на електронних лампах і напівпровідникових елементах, використовуючи для цього ефект Холу.

Магнітне порівняння володіє тим перевагою, що дозволяє порівнювати ампер-витки, утворені ланцюгами різної напруги.

При дуже точному регулюванні, наприклад, коли допускається помилка не більше 0,1%, кожна з обмоток порівняння повинна бути розрахована на 1000-кратну величину номінальної різниці ампер-витків, достатньої для керування.

Перетворювач вимірюваної величини й джерело що задає (еталонне) значення повинне бути розраховані на струм в 1000 разів більший чим у випадку електричного порівняння. Якщо застосовується таке «магнітне» порівняння, то необхідно користуватися магнітною системою того або іншого виду з поміщеними на ній катушками для окремих ланцюгів. Такі пристрої саме й зустрічаються в електромашинних і магнітних підсилювачах. Магнітне порівняння може бути застосовано й в електронному регуляторі, якщо у вхідній її щаблі поміщений насичений реактор.

Система магнітного порівняння відрізняється великою гнучкістю й універсальністю, тому що в ній може діяти багато сигналів через окремі катушки (рис. 11). Катушки сигналів, що вимірюють й задають, так розраховані, що ампер-витки, що обумовлюються ними, у сталому стані САР взаємно врівноважуються. При наявності різниці між сигналами, тобто відповідними магнітними потоками вона використовується для подачі на підсилювач:

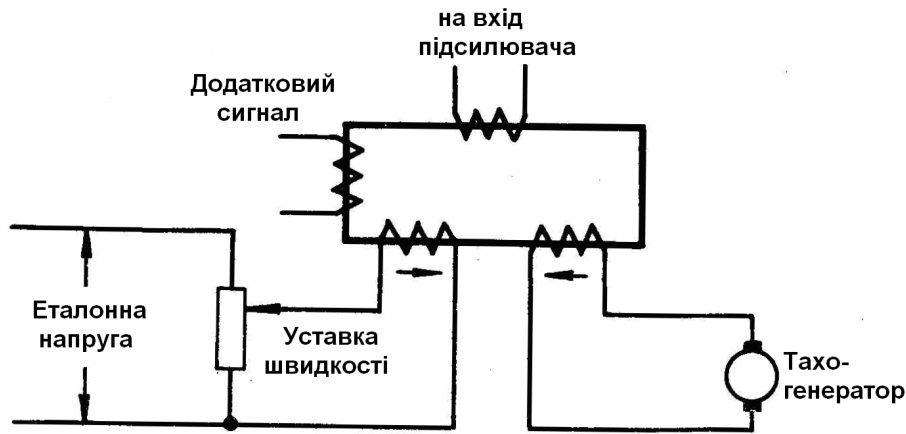


Рис. 11 – Порівняння магнітних потоків

Основний недолік системи магнітного порівняння полягає в тому, що вона не дозволяє ефективно використовувати активні матеріали. Більша частина енергії сигналів, що вимірювальні й задають, витрачається на нагрівання котушок, а не на створення діючих ампер-витків у вступному пристрої. Такого недовикористання можна уникнути, якщо значно збільшити розміри магнітопроводу й перетину проводів котушок у вступному пристрої. Інший шлях складається у використанні зменшеної магнітної системи у ввідному пристрої для того, щоб слабкий сигнал, що виходить у ньому, підсилити до належного рівня за рахунок додаткових щаблів у підсилювачі.

2.3 Системи автоматичного керування освітленням

2.3.1 Структура й функції локальних систем автоматичного керування освітленням

Локальні системи автоматичного освітлення типу «SAL SOLARIS» являють собою за з'єднанням сучасної LED-технології (освітлення) і живлення від сонячних батарей. Це дало можливість зробити унікальний світильник вуличного освітлення - SAL SOLARIS, що призначений для освітлення віддалених від електричної мережі місць і забезпечує автоматизоване автономне освітлення об'єктів за заданою гучною програмою протягом понад 10 років.



Рис. 12 – Загальний вигляд системи «SAL SOLARIS»

Світильник SAL SOLARIS - це продукт 3 фірм:

- RABBIT;
- ROSA;
- WAMTECHNIK.

Складові світильника:

- система живлення;
- світильник зі світлодіодами й схемою керування;
- опора із фундаментом.

Переваги світильника:

Завдяки вибраній конфігурації можна одержати цілком автономне живлення, незалежно від електричної мережі, функціональне, готове до роботи відразу після монтажу. Це дає економію часу, грошей і забезпечує мінімум формальностей.

Особливості системи живлення:

Система живлення складається із сонячних батарей. Використання таких джерел, що регенерують енергію, відкриває нові можливості:

- світильник не потрібно підключати до: електричної мережі; відсутні рахунки за електроенергію; відсутні грошові витрати на підключення до мережі; немає необхідності в дозволі від енергосистеми.

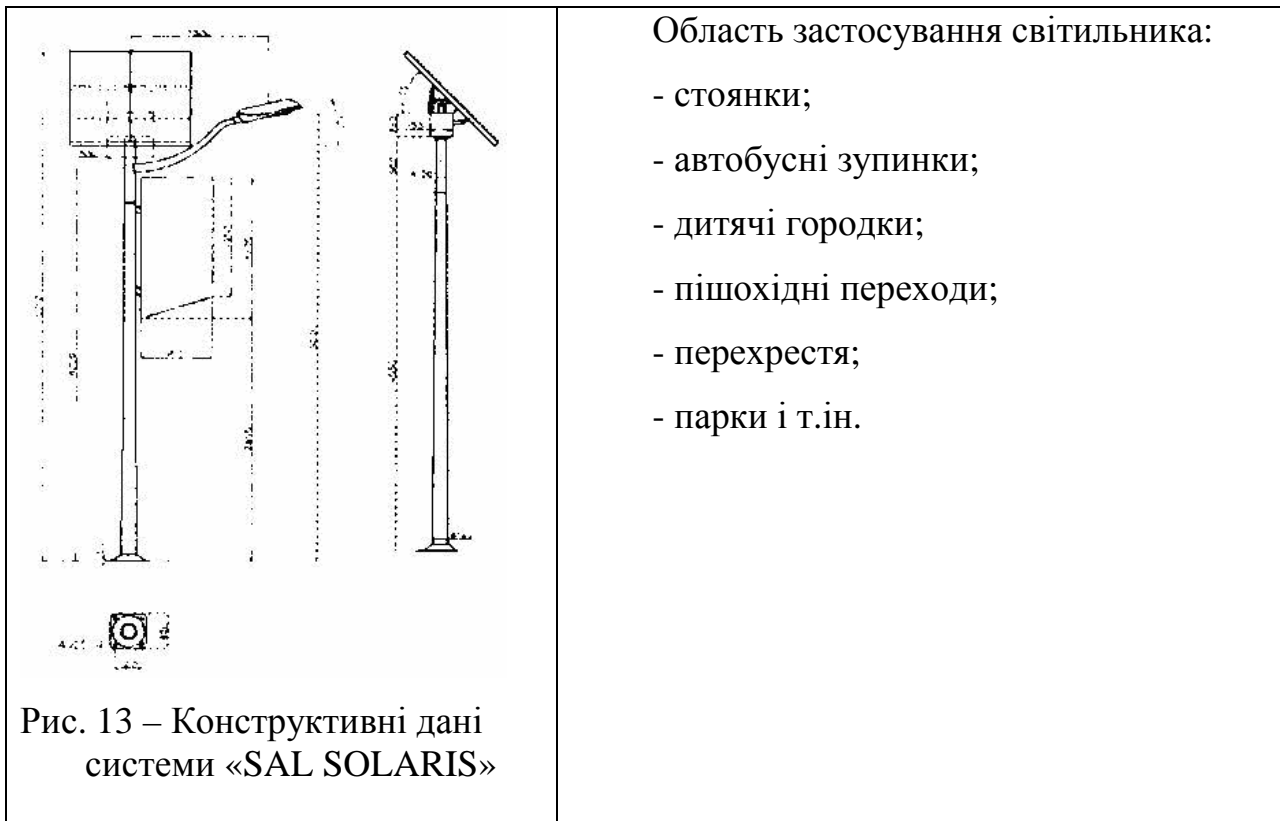
Завдяки цьому можна вибрати будь-яке підходяще місце для монтажу світильника.

Конструктивні особливості світильника.

Алюмінієва опора гарантує довговічність і естетику. Передбачувана висота опори 5 м (відповідно до вимог клієнтів).

Переваги конструкції:

- довгий час експлуатації;
- легкість конструкції;
- простий перевіз і монтаж;
- естетичний вигляд на довгий час експлуатації;
- немає потреби поточного обслуговування;
- значний термін дії разом з великою гнучкістю системи.



Використанням світильника можна значно збільшити безпеку мешканців і дорожнього руху.

Параметри світильника:

- напруга 12 В;
- потужність лампи 21-30 Вт;
- ємність акумулятора 120 А год;
- потужність модулів PV 2×130 Вт;
- автономний час роботи 3-4 дня.

Криві розподілу сили світла показують задовольняючий ефект освітлення на відстані 3-4 м від опори.

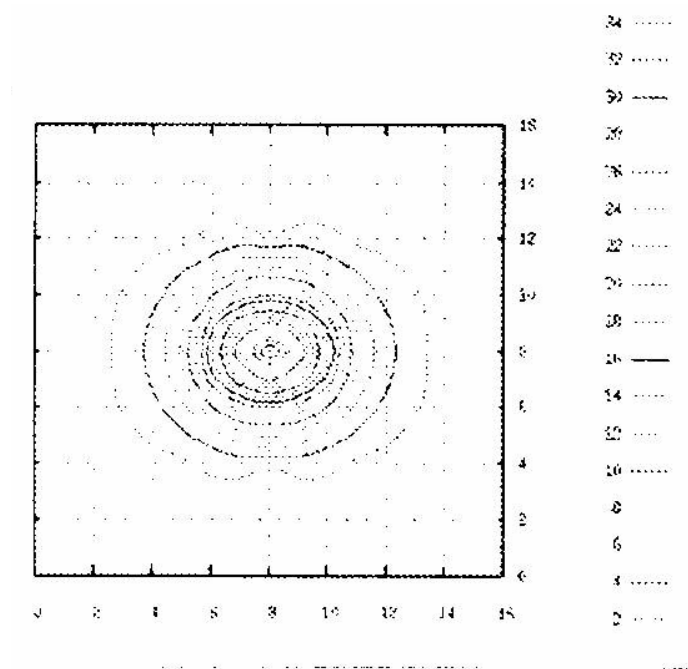


Рис. 14 – Крива сили світла системи «SAL SOLARIS»

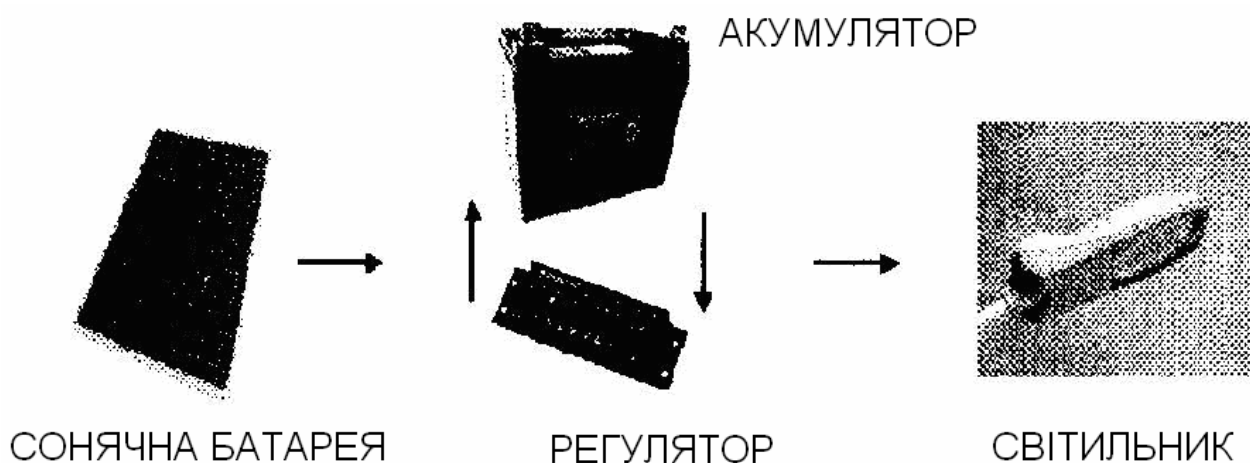


Рис. 15 – Структура системи «SAL SOLARIS»

Робота системи

Сонячна батарея виробляє електроенергію, що за допомогою регулятора зарядки передається до акумулятора. З акумулятора енергія проходить через систему контролю і програматор прямо до світильника з діодами LED. Система керування світильника вимірює напругу акумулятора й залежно від цього керує світильником. Світильник запроектований так, щоб одержати мінімум витрат разом з великою функціональністю.

На схемах представлена кількість енергії, виробленої за допомогою системи живлення світильника протягом дня й середня денна в даному місяці.

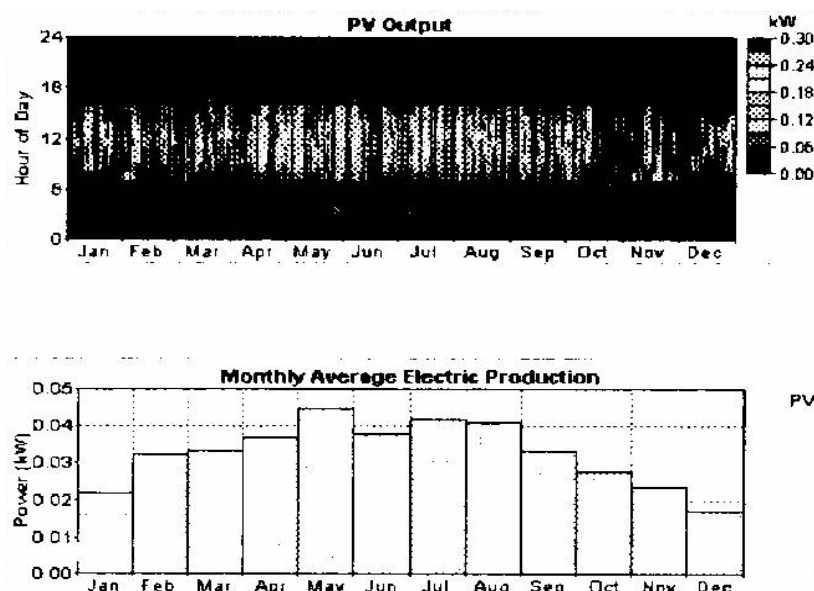


Рис. 16 - Графік накопичення сонячної енергії системою «SAL SOLARIS»

Накопичення енергії

Час роботи залежить від кількості накопиченої енергії.

На схемах представлений стан зарядки акумулятора. Система живлення запроектована так, щоб акумулятор не був розряджений нижче 30% його ємності (не рекомендується).

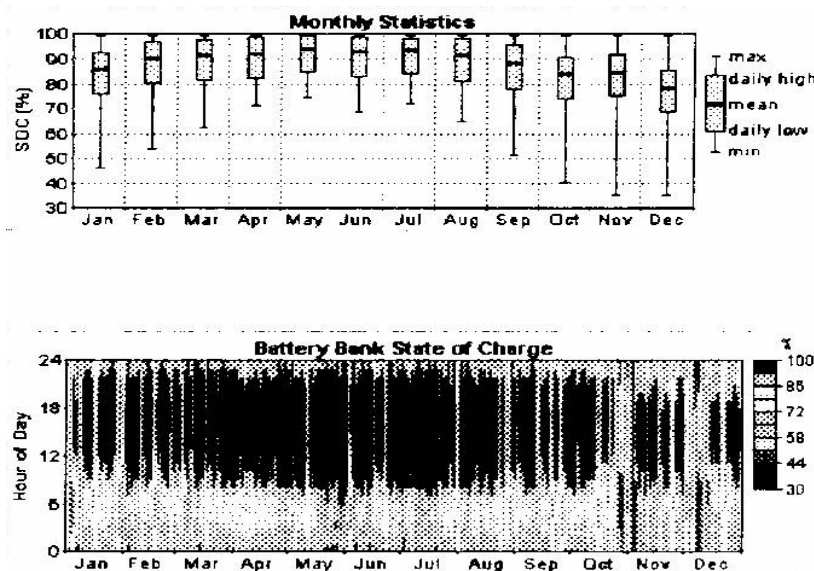


Рис. 17 – Стан зарядки акумулятора

Функцію автоматичного керування освітлення виконує програматор.

Функції, що виконуються світлом зводяться до автоматичного керування та автоматичного регулювання світловим потоком.

Функція автоматичного керування здійснюється за допомогою таймера, а автоматичного регулювання – за допомогою фотореле. Ручне керування виконують за допомогою пульта керування.

Економія енергії забезпечується за рахунок:

- контролювання стану зарядки акумулятора;
- включення/виключення незалежних діодних рядів;
- переключення світильника під час меншого вуличного руху.

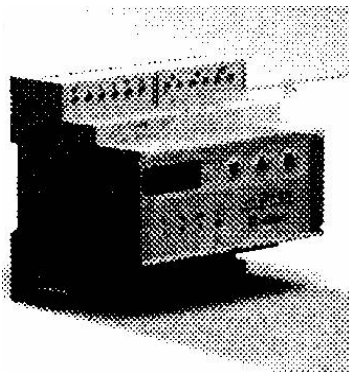


Рис. 18 – Загальний вигляд блоку автоматичного керування

Гнучкість світильника досягається можливістю перепрограмувати. Міняти параметри можна на етапі монтажу програматора або за допомогою пульта в процесі роботи.

До світильника можна додатково приєднати діодну панель для висвітлення реклами та іншої інформації.

Поміняти текст такої реклами можна за допомогою телефону (SMS).

За допомогою висвітленої реклами на панелі можна повернути гроші, виділені на покупку світильника.

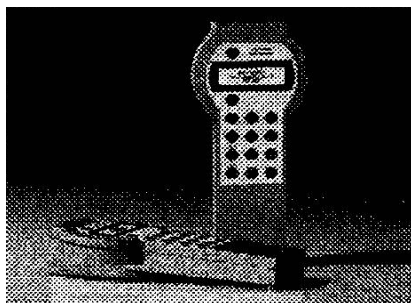


Рис. 19 – Загальний вигляд системи дистанційного керування

2.3.2 Структура й функції інтегрованих систем автоматичного керування освітленням

Із часу відкриття електрики штучне світло поступово перетворилося в невід'ємну частину звичного для нас комфорту. Без освітлення ми не зможемо не читати, не писати, ні взагалі жити звичним для нас життям. У наповненому різними типами світильників сучасному офісі створити потрібний світловий режим дуже й дуже непросто. Доведеться враховувати сезон року, час доби, характер виконуваної вами роботи та багато чого іншого. От же, щоб не клацати постійно вимикачами й не міняти через кілька місяців потужність лампочок, але при цьому значно знизити витрати на електричну енергію, існує інтелектуальна система керування освітлення.

Автоматизована система керування (АСК) світлом програмує різні, зручні саме для вас режими освітлення й запам'ятовує їх, всі дії зводяться до натискання тільки однієї кнопки. Система керування світлом з'єднує між собою всі джерела в будинку, тому не потрібно обходити всі кімнати, перевіряючи їх перед відходом. Натискаєте єдину кнопку, і світло автоматично буде погашене скрізь.

Система керування світловими джерелами може бути або автономною, або інтегрованою в систему інтелектуального керування офісом.

До автономної системи ми дуже звикли. Це звичайний вимикач, що управляє світильником. Ця проста система використовується з часів Едісона, але вже давно застаріла. Сучасні системи дають дуже багаті можливості з керування світлом. А в дизайнерів інтер'єра з'являються великі можливості використовувати світло в динамічних світлових сценах.

Інтелектуальна система керування офісом бере під контроль кожне джерело світла в робочих і підсобних приміщеннях. Контроль освітлення може бути здійснений, як за допомогою встановлених на стіні вимикачів або вбудованих у стіну сенсорних панелей, так і за допомогою дистанційних пультів, або навіть із мобільного телефону. З'явилася можливість не тільки включати/виключати світло, але й плавно регулювати яскравість (так зване,

дімерення). Причому управляти можна не скрізь відразу, а в конкретних світлових зонах і при цьому відпрацьовуючи заздалегідь прописані світлові сценарії.

Інтелектуальна система керування освітленням може містити в собі й вуличне освітлення, і декоративні ліхтарики на фасаді. З нею можна створювати цілі спектаклі на новий рік або в будь-який інший час, відтінюючи всі перлини фасаду й інтер'єра. Ця система дуже зручна й у плані забезпечення безпеки. Заданий сценарій зімітує звичне життя під час відсутності всіх, улаштувавши спектакль із включенням і вимиканням світла.

Велике значення має й елемент економії. Плавне включення світильників продовжить термін служби ламп майже вдвічі, а спеціальне настроювання буде ввімкнути світло тільки в присутності в кімнаті людини.

Інсталяція інтелектуальної системи освітлення допомагає легко вирішити всі проблеми керування будь-якою кількістю світильників, і одержати ряд додаткових можливостей – зручне керування, енергозберігаючий режим освітлення, автоматичне включення, регульована яскравість, збільшення ресурсу роботи світильників.

Практично з будь-якого місця, в тому числі перебуваючи далеко від офісу, можна управляти освітленням у ньому або підземному гаражі. Крім дистанційного керування можна запрограмувати світлову автоматику залежно від присутності у приміщенні людини часу доби, року, погодних умов, зовнішньої освітленості та ін.

Треба також відзначити багаті можливості заздалегідь запрограмованих кольірних сценаріїв під конкретні потреби. Різні сполучення яскравості й світлових гам, переходи від тіней до світла – все це може включатися одночасно як у всьому будинку відразу, так і в окремих приміщеннях одним дотиком до панелі керування або автоматично.

У світлових сценах можна задіяти не тільки джерела світла – люстри, торшери, бра, точкові джерела й т.ін., але й жалюзі, ролети, штори, інші й не тільки побутові пристрої.

Робота систем освітлення в кімнатах, в цілому будинку або на прилягаючій території підлегла різним кнопковим вимикачам, кнопковим панелям, оснащеним мікроконтролером, і сенсорною панеллю. Кожна клавіша вимикача також програмується для виконання набору функцій, задаючи режими. Автоматичний режим роботи системи освітлення здійснюється за допомогою різних датчиків, зовнішніх і внутрішніх, і таймерів для програмувального включення й вимикання світильників у заданий час.

Датчики, розташовані на кожному робочому місці, враховують рівень освітленості робочого місця, наскільки далеко воно перебуває від природного світла, погоду, пору року й час доби. Ця інформація надходить у спеціальний комп'ютер, де задані всі норми освітлення для приміщень адміністративних будинків, а також світлові сценарії для різних ситуацій. Відповідно до цих сценаріїв вибирається режим освітлення, з огляду на всі умови роботи. Наприклад, улітку, коли яскраво світить сонце і немає необхідності для штучного освітлення, АСК працює в режимі «Літо» і не ввімкне світло. Якщо погода похмура, датчики реєструють рівень освітленості на робочому місці й включають ту кількість світильників, якої необхідно для забезпечення нормальної освітленості на робочих місцях. Восени, коли майже увесь час похмуро, АСК підбирає відповідний режим. Удень, коли сонце світить яскраво, АСК знижує напругу і джерела світла горять не на повну силу, ввечері, навпаки, напруга підвищується, і світильники горять яскравіше й забезпечувати необхідну освітленість на робочих місцях, тим самим, не даючи утомлюватися очам співробітників.

Інформацію з датчиків можна також зводити на спеціальний пункт і здійснювати керування вручну. Всі можливі варіанти будуть подані нижче.

Забезпечення енергозберігаючого режиму освітлення

Інтелектуальне керування світлом значно заощаджує енергоресурси. Вони можуть бути перерозподілені на користь самого енергоспоживаючого на даний момент устаткування. Крім функції зниження пікового навантаження, це збільшує ресурс роботи світильників.

Можливість плавного, м'якого й індивідуального керування освітленням - перша ознака сучасного офісу. При проектуванні будинку передбачена безліч різних груп світильників, які повинні створити в кожному приміщенні індивідуальну атмосферу. Далі в керуванні світлом можна піти по двох шляхах. Перший традиційний – можна встановити для кожної світлової зони вимикач або індивідуальний димер. При цьому виходить безліч вимикачів у кожній кімнаті, що ніяк не прикрашає інтер'єр приміщення й вносить деяку плутанину в керування освітленням.

Для оптимізації керування світлом пропонується інше, більше оощадливе рішення. У кожній кімнаті є по одному пульта з 1-9 кнопками. Кожна кнопка програмується на ваше бажання на реалізацію будь-якого, заздалегідь заданого сценарію, що забезпечує абсолютну гнучкість при керуванні освітленням, тобто при всіх включеннях, перемикаваннях, вимиканнях, що відбуваються з використанням кіпаду або сенсорної панелі.

АСК освітленням дозволяє повною мірою насолодитися світловим оформленням, що досягається завдяки простому й зручному керуванню світлом у величезній кількості світлових зон і введенням сценаріїв. Їх можна активувати як самостійно, натисканням кнопки, так і скориставшись інтелектуальними здатностями самої системи керування освітленням.

АСК має наступні додаткові можливості:

- створення індивідуальних сцен для будь-якої ситуації;
- поліпшена безпека з можливістю використання єдиного вимикача для всіх навантажень;
- створення освітлених «шляхів» для щоденного використання;
- керування будь-яким джерелом світла з будь-якого місця в будинку;
- автоматизоване включення освітлення завдяки убудованій функції астрономічних годин;
- налаштування режиму «У відпустці» у разі довгострокової відсутності;
- індивідуальне гравірування кнопок;

- створення «таймерних» функцій для автоматичного управління включення/вимикання освітлення.

Система електроживлення

Безвідмовна робота всіх пристроїв офісу прямо залежить від системи електроживлення, «інтелектуальні» здатності якої дозволяють контролювати й розподіляти навантаження, продовжувати термін служби електроприладів, заощаджувати витрати на електроенергію, вчасно відключаючи прилади які не використовуються або залежно від пріоритету відключення (у випадку перевантаження електромережі), а також плавно міняти напругу в системі освітлення. Остання властивість використовується для організації різних світлових сцен (наприклад, у вечірній час підсвічування коридору на 100%, а в денне – на 15%).

Тепер можна керувати практично будь-якими електроустановками як у всім будинку, так і в окремих зонах або групах. Розбивши освітлення на деякі групи, що відповідають поверхам, можна управляти їм з будь-якого «кута» будинку.

Керування освітленістю залежно від пори року або доби

Традиційна система освітлення обмежена у своїй функціональності – використовуваний аналоговий димер і вимикач управляються вручну. З появою інтелектуальних систем стало можливим задавати поведження різних систем офісної автоматизації залежно від обраного сценарію, пори року або доби. Наприклад, у міру настання темряви міняється рівень підсвічування в коридорах або на сходовій клітці.

Керування прохідними зонами (сходові проходи)

Залежно від обраного сценарію настраюється поведження системи в зазначеній зоні. Наприклад, поява сторонньої людини в прохідній зоні, коли система перебуває в режимі повної охорони, спровокує спрацьовування сигналізації, виклик загону міліції, оповіщення по телефоні й електронній пошті, а також інші запрограмовані дії. В іншому випадку всього лише ввімкнеться підсвічування.

Керування люмінесцентним світлом без впливу на його колірне фарбування

Використання люмінесцентних ламп виправдано невеликим енергоспоживанням. Однак, якщо потрібне плавне регулювання освітленості, то виникають деякі труднощі: дросельний трансформатор, використовуваний для первісне розряду, не має керування. На щастя, робота сучасних люмінесцентних ламп регулюється електронним керованим баластом, що уможливорює включати подібний тип освітлення в різні сценарії.

Установивши в кожному приміщенні багатокнопкову панель, оснащену мікроконтролером, або сенсорну панель, і підключивши це встаткування системі, ми одержуємо можливість керування освітленням у будь-якому приміщенні, у всьому будинку або на прилягаючій території, перебуваючи в будь-якому приміщенні. Кожна клавіша програмується для виконання визначеної програми керування.

Плавне включення і вимикання освітлення, можливість регулювання яскравості світіння, як ламп розжарення, так і ламп денного світла, дозволяє створити найбільш комфортний для конкретної ситуації режим освітлення.

Важливою функцією керування освітленням є контроль навантажувальної потужності електричної мережі і відключення частини світильників до забезпечення функціонування більше важливого енергоспоживаючого встаткування.

Інтелектуальна система керування освітленням здатна працювати автоматичному режимі. При цьому включення й вимикання освітлення може вироблятися від зовнішніх або внутрішніх датчиків освітленості, датчику руху, за таймером. Можна управляти освітленням за часом сходу заходу сонця, відомого для кожної місцевості.

У кожному з режимів роботи освітлення світлові сценарії визначаються конкретними потребами або бажаннями людей і можуть легко змінюватися.

Загальний вигляд дистанційного керування подано на рис.19.

Керування енергозбереженням (економія до 40%)

Відключаючи непотрібне навантаження або переводячи в режим низького енергоспоживання і використовуючи пристрої з високою потужністю в пільгові періоди (наприклад, існує практика подвійних тарифів, коли вночі дешевше) можна знизити витрати на електроенергію.

Система безперебійного живлення (Резервне введення)

У разі непередбаченого відключення електроенергії за рахунок використання джерел безперебійного живлення всі пристрої продовжують функціонувати у звичайному режимі, а також відбувається оповіщення події, що відбулася, на телефон, адресу електронної пошти.

Система аварійного електроживлення (дизель-генератор)

При провалі електроенергії, коли рівня заряду ДБЖ становиться недостатнім для підтримки працездатності системи, запускає автономний дизельний генератор.

Автоматичне відключення частини електричної системи - можливого автоматичного або ручного відключення частини електричної системи.

У випадку перевантаження мережі (включення декількох енергоємних пристроїв залежно від встановленого пріоритету частина навантаження буде знеструмлена таким чином, щоб система безпеки продовжила нормальне функціонування. Автоматичне відключення частини електричної системи супроводжується оповіщенням на телефони й адреси електронної пошти.

2.3.3 Структура і функції систем автоматичного керування зовнішнім освітленням

Системи автоматизованого керування зовнішнім висвітленням

Існуючі системи керування зовнішнім освітленням можна підрозділити на кілька класів. По-перше, це місцеве керування комутаційних і керуючих апаратів, що забезпечується за допомогою установки, безпосередньо в лініях, що живлять освітлювальну апаратуру (на щитах підстанцій, магістральних щитах і т.ін.). Однак такі системи застосовуються тільки в невеликих відособлених освітлювальних мережах, що мають один центр живлення. В

основному ж, мережі вуличного освітлення міст мають складну розгалужену структуру й безліч центрів живлення. Тому, у таких системах передбачається дистанційне керування освітленням, – як правило, це досягається завдяки установці магнітних пускачів у лініях живильних і групової мереж. Така система включається з єдиного диспетчерського пункту. Причому, сигналом на включення лінії, що живиться від підстанції, буде наявність напруги на кінці лінії, що живиться від попередньої підстанції. Тобто, в установках зовнішнього освітлення міст і населених пунктів широко застосовується каскадна схема дистанційного керування, при якій керування ділянками розподільних ліній зовнішнього освітлення здійснюється шляхом підключення котушки магнітного пускача другої ділянки в лінію першого, котушки пускача третьої ділянки в лінію другого і т.ін. Можлива й телемеханічна схема, при якій включення і відключення магнітних пускачів виробляється з диспетчерського пункту за допомогою телемеханічних пристроїв.

Крім цього широко використовуються і автоматичне програмне або фотоавтоматичне керування – з установкою магнітних пускачів у лініях освітлення і програмного реле, фотореле або фотоелектричного автомата, що включають освітлення залежно від рівня природної освітленості або часу доби.

Для вуличного освітлення міст і населених пунктів системи дистанційного керування освітленням передбачають два режими роботи освітлювальних установок - вечірній і нічний. При вечірньому режимі включені всі освітлювальні прилади, при нічному, коли інтенсивність руху падає, частина освітлювальних приладів відключається (звичайно відключають світильники, підключені до який-небудь одній або двох фазам. Однак, при цьому збільшується до неприпустимих меж коефіцієнт нерівномірності освітленості дорожнього полотна:

$$K_{нер} = \frac{E_{max}}{E_{min}},$$

де $K_{нер}$ - коефіцієнт нерівномірності освітленості, E_{max} - максимальна освітленість (Лк), E_{min} - мінімальна.

Перераховані вище системи керування не можна назвати високоефективними з погляду енергозбереження через цілий ряд причин. По-перше, ручні системи включення - відключення освітлення, як показує практика їхньої експлуатації, несуть велику перевитрату електроенергії (часто пов'язаний з людським фактором). По-друге, як уже було відзначено, низькоефективне керування потужністю системи освітлення (у вечірній й у нічні години), що приводить до підвищення коефіцієнта нерівномірності освітлення. По-третє, відсутність оперативного контролю стану освітлювальних мереж і за доступом у шафи вуличного освітлення (ШВО) з метою розкрадання кольорових металів і встаткування (що особливо важливо останнім часом).

Таким чином, можна зробити вивід о необхідності створення автоматизованих систем керування освітленням (АСКО), що дозволяють не тільки включати - відключати освітлення вулиць, але й регулювати енергоспоживання системи, контролювати цілісність устаткування й несанкціонований доступ, вчасно сигналізувати оперативному персоналу про аварійні ситуації в мережі.

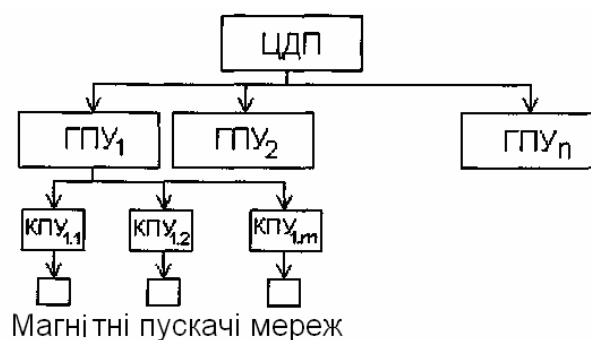


Рис. 20 – ЦДП - центральний диспетчерський пункт, ГПУ - головний пункт керування, КПУ - кінцевий пункт керування

Більшість сучасних АСКО будується за наступною схемою (рис.20).

Однак такі системи керування при перемиканні освітлення в нічний режим використовують метод відключення однієї - двох фаз. Але це підвищує, як уже говорилося вище, нерівномірність освітленості доріг.

Уникнути цього дозволяє використання у вуличних світильниках електронних пускорегулюючих апаратів (ЕПРА) замість традиційних

електромагнітних. Ці пристрої дозволяють управляти споживаним струмом лампи і її світловим потоком. Таким чином, щоб домогтися зниження споживаної потужності системи немає необхідності в повному відключенні частини освітлювальних приладів. А це значить, що світловий потік всіх світильників буде змінюватися рівномірно, не збільшуючи нерівномірність освітленості дорожнього полотна. Схема керування виглядатиме наступним чином (рис.21).

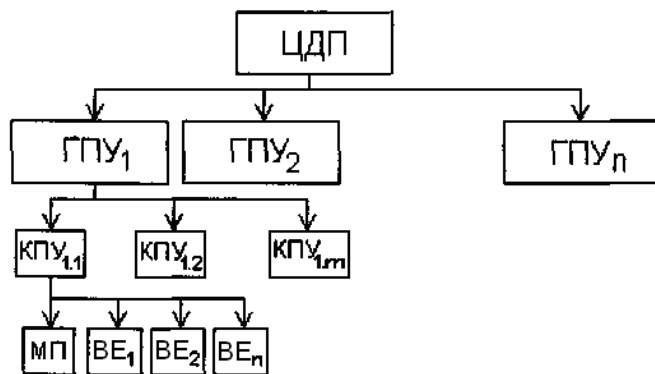


Рис.21 – МП - Магнітний пускач, ВЕ - виконавчий елемент

Однак це істотно здорожує схему. Адже крім приймача-перетворювача керуючих сигналів у кожному ЕПРА необхідно буде проводити свою виділену лінію для керуючих сигналів до кожного світильника.

Виходом з такої ситуації буде використання пристрою, що дозволяє передавати сигнали керування безпосередньо по лініях освітлювальної мережі.

Всі системи передачі інформації з мережі 220 В можна розділити на дві більші групи:

1. Системи, що використовують як інформаційний сигнал модуляцію струму низької частоти 50 Гц,
2. Системи, що формують у лінії власний сигнал на одній або декількох несучих частотах, що відрізняються від 50 Гц.

Перша група пристроїв відрізняється надзвичайно високою завадостійкістю при простих схемах приймачів, але має дуже низьку швидкість передачі інформації й вимагає застосування в передавачах тиристорних комутаторів високої потужності. Крім того, для забезпечення вибіркового керування освітленням в окремо взятій вітці, необхідно встановлювати

комутатори ще й у прилягаючим до неї шафах керування, що приведе до необхідності глобальної реконструкції всієї системи освітлення.

Основні проблеми, що зустрічаються розробниками АСКО, що вибрали інший шлях - більше низька перешкодозахищеність і, як наслідок, більший складність пристроїв прийому й передачі інформації. Так, наприклад, імовірність помилкового прийому біта при частотній маніпуляції на несучої 90 кГц і девіації 10 кГц при швидкості передачі 1 Кбіт і напрузі в лінії 0,75 В, склала $10^{-3} \dots 10^{-4}$, залежно від лінії і часу доби, що вимагає застосування механізму перешкодозахисного кодування. Це доводиться розробками як вітчизняними (приклад - мікросхема КР1446ХК1 - корекція одиночних і виявлення подвійних помилок), так і імпорними (наприклад, мікросхема TDA5051).

З іншого боку, системи даного типу мають наступні достоїнства:

1. Істотно більшу швидкість передачі, точніше можливістю передавати більші пакети інформації між імпульсними перешкодами в лінії,
2. Можливість використовувати інформаційний канал не тільки для керування освітленням, але й для зв'язку (обміну інформацією) між вузлами системи, аж до формування "інтелектуальних" світильників, тобто світильників з можливістю передачі інформації про поточний стан на центральний пульт,
3. Інформаційний сигнал може бути використаний для перевірки цілісності лінії електропередачі, а також оцінки її стану при відключеній електриці, що не менш важливо саме для систем зовнішнього освітлення,
4. Можливість інтеграції в існуючі системи освітлення без їх структурних і апаратних змін або доробок.

З урахуванням вищевикладеного при проектуванні даної системи АСКО вибір припав на пристрої передачі й прийому інформації (далі - модем) другого типу.

При виборі робочого діапазону частот і вихідної потужності модему враховувалися наступні фактори:

1. Результати проведених вимірів (спектральна щільність перешкод у

лінії, монотонність її фазочастотної характеристики й імпедансу),

2. Вимоги стандарту ДЕРЖСТАНДАРТ на рівень електромагнітних перешкод у лініях електропередачі,

3. Робочі частоти існуючих систем керування й передачі інформації (забезпечення сумісності й інтеграції в готові системи),

4. Особливості й характеристики існуючих електронних пускорегулюючих апаратів (ЕПРА).

ЕПРА порівняно недавно з'явилися на ринку. Дотепер яких-небудь специфічних стандартів на них не існує, по цьому є розроблювачі вправі варіювати безліч параметрів, жорстко забезпечуючи лише електромагнітну сумісність. Як правило, ЕПРА вносять перешкоди високого рівня (амплітуда окремої гармоніки досягає 0,5 В) у діапазоні частот 20...60 кГц, мають у цьому ж діапазоні високу нерівномірність вхідного опору (як правило, кілька піків до 500 Ом і провалів до 0,1 Ом резонансного характеру на різних частотах), тому реалізація модемів відносно простими засобами в діапазоні частот 20...60 кГц утруднена. За результатами вимірів рівень перешкод можна приблизно апроксимувати наступною діаграмою (рис.22).

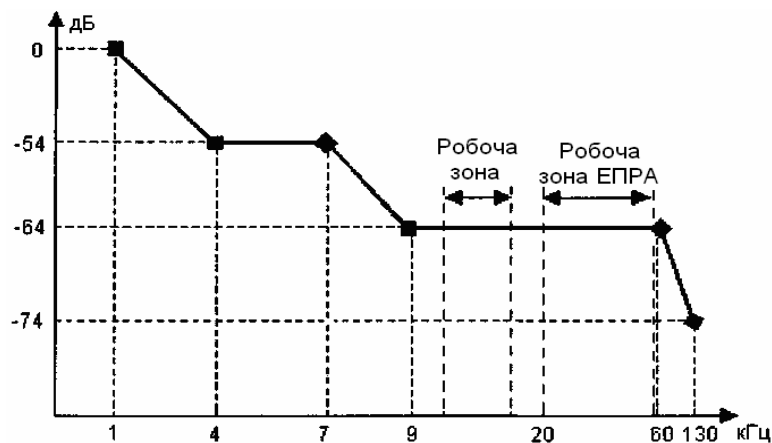


Рис. 22 – Результати вимірів

З її видно, що для передачі інформації можливо застосувати два основних частотних діапазони - від 4 до 18 кГц (нижній) і від 70 до 130 кГц (верхній). Діапазон 70-130 кГц вигідний меншим рівнем перешкод і потенційно більшою швидкістю передачі. Він активно використовується в закордонних системах "автоматизації житла" (Home automation systems), і наших АСКО. Більшість

таких систем не враховують можливість використання ЕПРА, крім того, сформувавши сигнал зі спектром задовольняючим вимогам електромагнітної сумісності без застосування спеціалізованих ІМС здається досить трудомістким завданням, у такому випадку, мови про простий передавач бути не може. Крім того, з огляду на ємнісний характер освітлювальної мережі, вираш з перешкодозахищеності при однаковій вихідній потужності передавача щодо нижнього діапазону невеликий.

У результаті вибір був зупинений на системі частотної маніпуляції в діапазоні частот 12...10 кГц і потужністю передавача 30 Вт. При даній потужності, залежно від довжини і ємності лінії такий передавач розвиває до 7,5 В (типове - близько 1 В). При цьому гарантована ймовірність помилки на біт - не менше 10^{-3} . Для підвищення перешкодозахищеності використовується модуляція шумоподібним сигналом з базою, рівною 15 на біт інформації, і мінімізацією ймовірності помилкового спрацьовування. Для додаткової надійності з боку центрального пульта можливо періодичне (наприклад, щогодини) повторення команди перемикачів режиму освітлення.

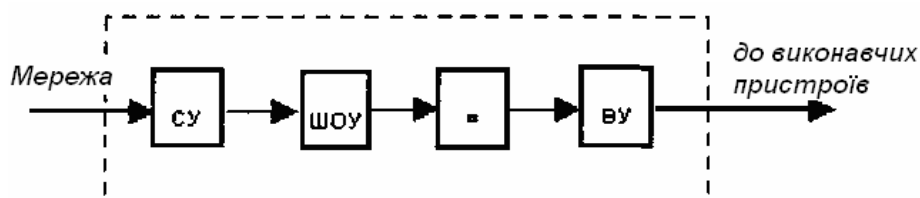


Рис.23 – Структурна схема приймача. СУ - пристрій, що погоджує, ШОУ-широкосмуговий підсилювач - обмежник - вузькосмуговий фільтр на 15 КГц із нулями в областях 20...25 КГц і 8...10 КГц, компаратор і обчислювальний пристрій, які забезпечують селекцію й декодування прийнятих сигналів

Завдяки наявності на ринку сучасних RISC-мікроконтролерів, з убудованими засобами захисту, компаратором і які мають продуктивністю 8-12 MIPS при споживаному струмі 2...5 мА, а також зчетверених операційних підсилювачів, приймач удалося реалізувати всього на двох інтегральних схемах у вигляді окремого блоку й вартістю, не більше 20% від вартості ЕПРА, при гарних енергетичних параметрах. При інтеграції пристрою в саму ЕПРА можна очікувати ще більшу ефективність.

Передавач відрізняється від приймача тим, що в схему доданий ключовий підсилювач потужності - модулятор і пристрій, що погоджує, - фільтр. При цьому сигнал передачі формується за допомогою мікроконтролера, що додатково спрощує схему.

Тому що ДЕРЖСТАНДАРТ нормує рівень ВЧ перешкод тільки на частотах вище 150 кГц, придушення вищих гармонік переданого сигналу забезпечується фільтром L.C. разом з ємністю ліній, що, як правило, становить 5 мкФ або більше. За витратами передавач відрізняється від приймача додаванням у схему 5 транзисторів, декількох пасивних елементів і незначній зміні джерела живлення, що природно викликає незначне подорожчання модуля.

У більшості випадків потенційні можливості й додаткові функції розширюються зі збільшенням складності пристроїв і дана розробка не виключення. Крім перспектив і особливостей, обумовлених безпосередньо принципом і частотним діапазоном передачі сигналом (вони були відзначені вище) існує й специфічні перспективи пов'язані з обраною елементною базою й схемотехнікою пристроїв приймача й передавача. Основні з них такі:

1. Можливість використання накопичувача енергії для передавача, у виді короткочасного характеру передачі сигналів, що дозволить використовувати для живлення модему, вбудованого в ЕПРА безтрансформаторне джерело - мінімальні витрати для створення "інтелектуального" світильника,

2. Можливість спрощення самого ЕПРА за рахунок більшого запасу обчислювальної потужності мікроконтролеру аж до прямого керування силовими ключами перетворювача або стабілізуючого коректора потужності.

Таким чином, пропонована структура АСКО з передачею інформації із проводів мережі виявляється не тільки економічно вигідною, але й перспективною системою.

У даний час в АСК ЖКГ для організації вуличного освітлення усе більше знаходять застосування електронні пускорегулюючі апарати (надалі ЕПРА), що дозволяють перейти на новий технологічний рівень ресурсозберігаючих

технологій. Робота присвячена одному з цих рівнів. Впровадження нової технології дозволить знизити споживання електричної енергії, централізовано управляти зовнішнім вуличним освітленням районів різних міст, у тому числі мегаполісів, задавати різні режими роботи світильників, дистанційно контролювати стан освітлювальної апаратури.

Область застосування

Автоматизована система керування зовнішнім вуличним освітленням (надалі-асові НОУ) застосовується для організації вуличного освітлення на базі нової ресурсозберігаючої технології, основу якої становлять пристрої зв'язку з об'єктом.

Пристрої зв'язку з об'єктом (надалі - ПЗО) призначені для забезпечення обміну даними по ЛЕП 0,4 кВ трансформаторних підстанцій (надалі - ТП), використовуваних у тому числі для зовнішнього освітлення, як правило, вуличного, з ЕПРА, установленими в апаратних відсіках світильників. ПЗО встановлюється як правило на ТП і на об'єктах керування, у якості яких можуть виступати ЕПРА світильників вуличного освітлення, і може використовуватися разом з терміналами, що працюють по стику RS-232. Як термінал можуть застосовуватися:

- 1) персональний комп'ютер;
- 2) контрольований пункт (КП) системи телемеханіки;
- 3) радіостанція з радіомодемом;
- 4) модемний термінал, що працює по каналах GPRS. Схема підключення ПЗО наведена на рис. 24.

Оскільки силові лінії були спроектовані винятково для доставки електроенергії до світильників, технологія зв'язку, використовувана в цьому середовищі, повинна справлятися з її характерними рисами:

- 1) зміна імпедансу;
- 2) спектральні перекручування;
- 3) пульсації й перегами;
- 4) вузькосмугова й гармонійна інтерференція;
- 5) сигнали, що генеруються підключеним і непідключеним;
- 6) ослаблення, викликане фізичною довжиною каналу зв'язку.

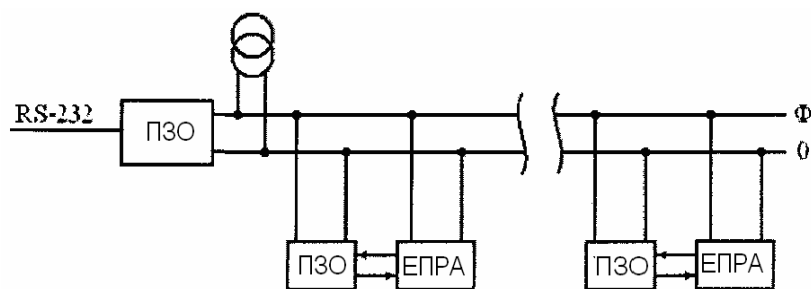


Рис. 24 – Схема підключення ПЗО устаткуванням

Найбільш підходящою технологією зв'язку, у цьому випадку, є SS (Spread Spectrum - частотна маніпуляція з розтяганням спектра). Розмазування даних по всім спектрі робить переданий бінарний код більше стійкі до шумів і перешкод.

Технологія маніпуляції SS складна, вимагає застосування додаткових цифрових фільтрів і механізмів корекції помилок, але при цьому зростає надійність зв'язку.

У Європі розроблений стандарт CENELEC EN500065-1, що визначає смугу частот для передачі даних у ланцюгах з низькою напругою. Існують 4 смуги частот, які розташовані в діапазоні від 3 до 148,5кГц. Ми в ПЗО використовуємо смугу А, призначену для пристроїв виміру. У якості основної елементної бази для побудови ПЗО використовуємо мікроконтролер з інтегрованим PLC-Модемом типу M16C/6S (Renesas Technology Corp.). Основу цього контролера становить PLC- модем IT800, фірми Yitran Communications, у якому, щоб подавляти перекручування, використані технології DCSK (Differential Code Shift Keying - частотна маніпуляція з розтяганням спектра) і DLL (Data Link Layer - рівень керування передачею даних). Ці технології дозволяють одержати стійкий зв'язок через існуючі ЛЕП 0,4 кВ зі швидкістю до 7,5 кбит/с. Структурна схема ПЗО подана на рис. 25.

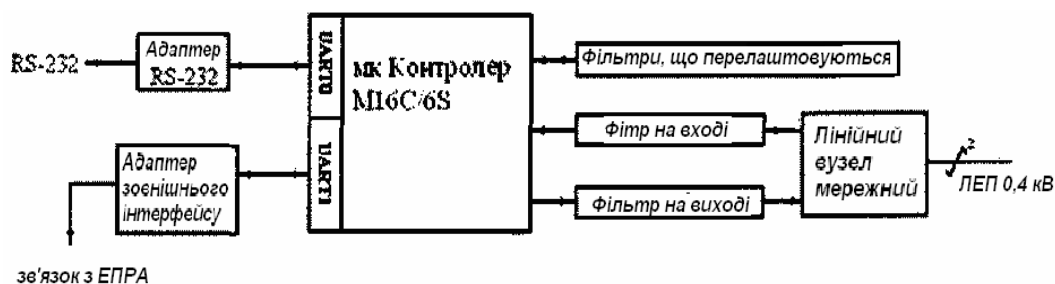


Рис. 25 – Структурна схема ПЗО

Як правило, ЛЕП 0,4 кВ, використовувані для зовнішнього вуличного освітлення, мають деревоподібну структуру й можуть бути представлені на рис. 25, де показаний приклад системи нумерації світильників підключених до одного фідера трансформаторної підстанції.

Розроблені ПЗО дозволяють працювати на прямих ділянках ЛЕП 0,4 кВ на відстань до 1000 м. У тому випадку, якщо за якимись причинами ПЗО не може зв'язатися з об'єктом, що перебуває наприкінці лінії зв'язку або наприкінці одного із плечей, ПЗО передає керування одному з периферійних ПЗО; цим досягається збільшення відстані від трансформаторної підстанції до віддаленого об'єкта керування.

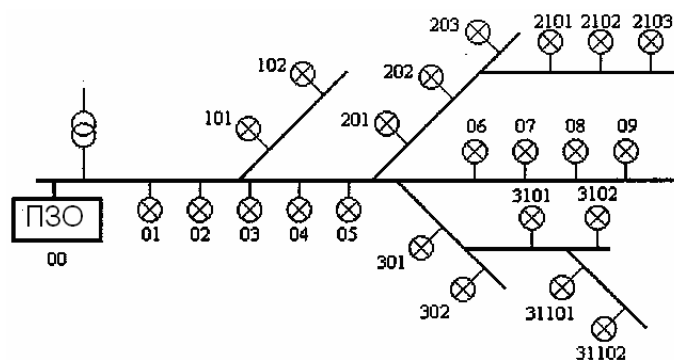


Рис. 26 – Система нумерації світильників підключених до одного фідера трансформаторної підстанції

Програмне забезпечення всіх ПЗО системи однакове й може, якщо буде потреба, перезавантажуватися із центра керування системою. Застосування ПЗО в АСК НОУ дозволяє управляти зовнішнім вуличним освітленням, у тому числі окремо взятим світильником (з будь-яким номером, заданим у центрі на ПК), зокрема виконувати основні функції:

1. включати або відключати будь-які світильники або групи світильників;
2. задавати уставки потужності світильників;
3. задавати уставки освітленості в зоні світильника;
4. задавати роботу світильника по певній програмі;
5. контролювати стан світильників, у тому числі пускорегулюючої апаратури.

Короткий опис можливостей системи

АСК НОУ складається із трьох частин:

1. Редактор;
2. База даних;
3. Керуючий комунікаційний додаток.

Редактор використовується для побудови трьохрівневої системи взаємозалежних і взаємодіючих об'єктів, реєстрації районів, закріпленні за кожним районом відсканованих планшетів, установки Пунктів керування (ПК), Контрольованих пунктів (КП), Виконавчих пунктів (ВП), Трансформаторних підстанцій (ТП), підстав (опор світильників), електричних ліній і світильників.

При установці кожного з перерахованих об'єктів з'являється можливість призначити параметри конкретного об'єкта, на основі яких потім формувати деякі параметри інших об'єктів, що лежать на більше низькому рівні ієрархії.

При установці об'єктів і призначенні їм параметрів, редактор автоматично виконує формування інформаційної бази даних, що потім буде використана в керуючому комунікаційному додатку. Керуючий комунікаційний додаток (програма) взаємодіє з базою даних і дозволяє одержувати як статичну, так і оперативну інформацію з бази даних, відправляти керуючі команди (включити світильник, виключити світильник, включити групу світильників, виключити групу світильників, включити світильники всього району, виключити світильники всього району, включити всі світильники, виключити всі світильники, установити один із чотирьох режимів роботи довільного світильника, одержати інформацію про поточний стан довільно обраного світильника) на ВП з їх наступною реалізацією.

Призначення й умови застосування системи

АСК НОУ призначено для автоматизації процесу керування зовнішнім вуличним освітленням різних міст, у тому числі мегаполісів з використанням дистанційного керування з центра (надалі – пункт керування (ПК)) різними трансформаторними підстанціями, плечима цих підстанцій, а так само світильниками плечей.

При цьому можуть бути використані різні способи передачі даних по радіо ефіру, у тому числі стільникові канали, що працюють на основі застосування технології GPRS.

Застосування АСК НОУ дозволяє управляти зовнішнім вуличним освітленням, в тому числі окремо взятим світильником (з будь-яким номером, заданим у центрі на ПК).

АСК зовнішнім вуличним освітленням є системою, побудованої з застосуванням сучасних інструментальних і програмних засобів.

Структура АСК НОУ на базі електронних пускорегулюючих апаратів і ПЗО

Структура АСК НОУ представлена на рис. 27, де використані модем GPRS, а в якості ПЗО основної елементної бази застосований модем фірми RENESAS типа M16C/6S.

В АСК використовується наступна ієрархія адресації:

1. Адреса світильника в плечі
2. Адреса плеча на підстанції (у т.ч. містить номери фази або фаз)
3. Адреса підстанції
4. Адреса головної підстанції району
5. Пункт управління району
6. Пункт керування міста.

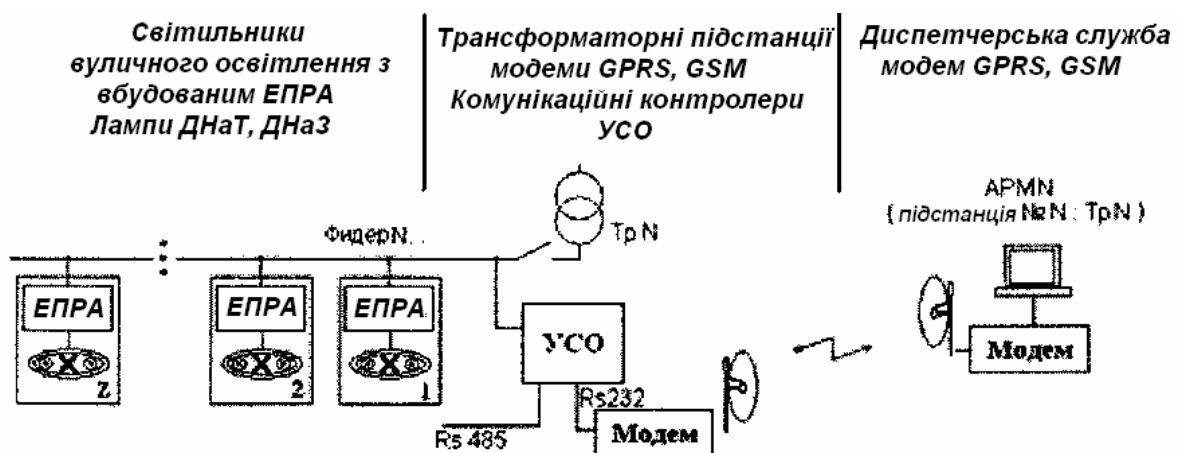


Рис. 27 – Структура АСК НОУ (вуличним)

Користувальницький інтерфейс

Користувальницький інтерфейс складається з головного вікна, що містить умовну схему електричної мережі зовнішнього освітлення міста. На схемі зображено контрольовані пункти, що перебувають у трансформаторних підстанціях районного рівня (рис. 28).

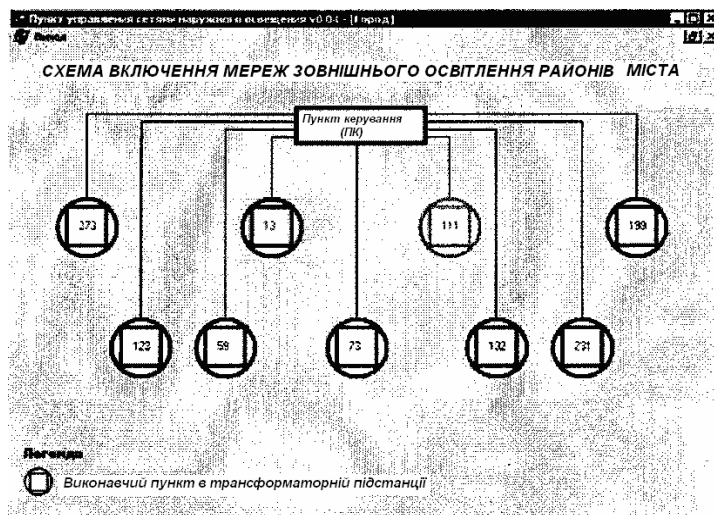


Рис. 28 – Головне вікно програми

Червоний колір в умовній позначці контрольованого пункту означає, що зв'язок з цим пунктом не встановлена. Зелений колір – зв'язок з пунктом встановлене й можливо керування контрольованим пунктом. При клацанні маніпулятором «миша» на схематичному зображенні контрольованого пункту відкривається вікно, на якому подана схема мережі зовнішнього освітлення району (рис. 29).

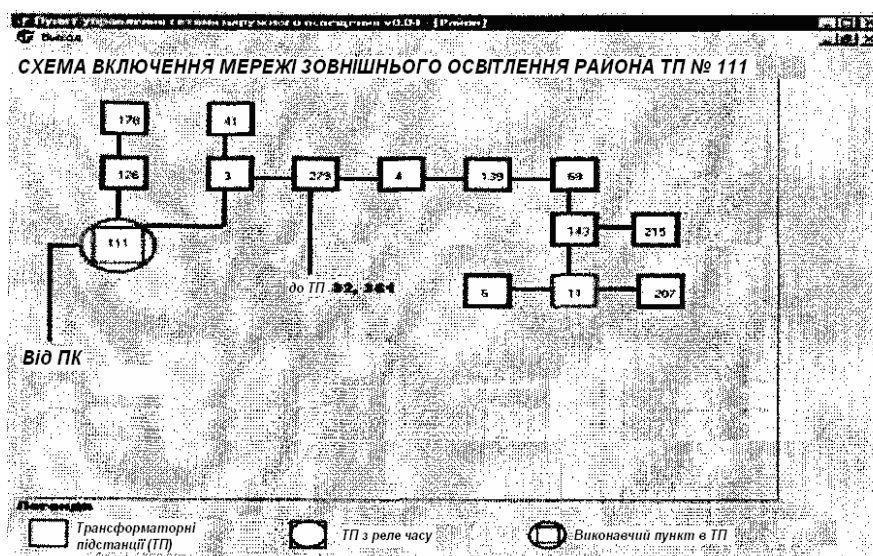


Рис. 29 – Схема мережі на рівні району

На даній схемі зображуються трансформаторні підстанції в мережі району, їхній взаємозв'язок, а також стан контрольованих пунктів у них (червоний колір зв'язок не встановлений, зелений - установлена).

При клацанні маніпулятора «миша» на зображенні трансформаторної підстанції відкривається вікно зі схемою включення світильників зовнішнього освітлення, підключених до даної трансформаторної підстанції, прив'язаної до плану місцевості (див. рис. 30).

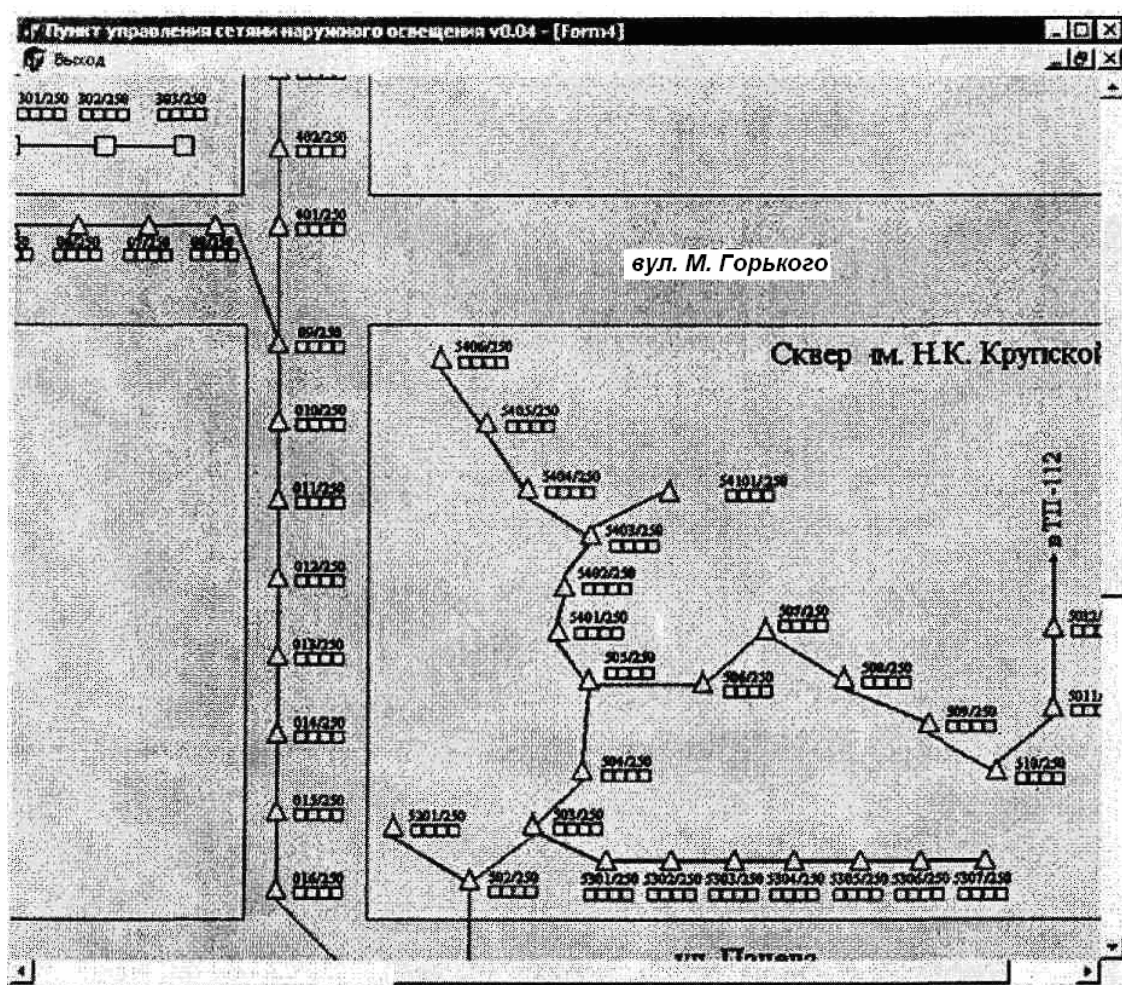


Рис. 30 – Схема включення світильників зовнішнього освітлення

Піктограми світильників підписані їх кодом у системі керування, за яким і здійснюється звертання до кожного блоку ЕПРА світильників. На схемі також індикується номінальна потужність установленої лампи, а також її заявлена потужність. Заявлена потужність відображається у відсотках з кроком 25% на шкалі.

Тим, хто надає послугу за назвою «світло», – міська влада, міські організації освітлення – важливо, щоб освітлення було економічним, довгостроковому й простим в обслуговуванні, але підхід до формування концепції освітлення в кожного міста повинен бути свій.

При цьому необхідно враховувати інтереси учасників процесу. Споживачі - це жителі й гості міста. Вони мають різні інтереси. Гості воліють шоу: світлодінаміку, яскраві вітрини, у той час як жителі хочуть, щоб, насамперед, було комфортніше й світліше. Звідси різні підходи до формування світлового вигляду туристських зон і житлових кварталів, а нові розробки в області світлотехніки відкривають додаткові можливості для більше ефективної реалізації міської стратегії розвитку зовнішнього освітлення.

Сьогодні існує безліч підходів до формування нічного середовища. Наприклад, у Європі віддають перевагу стриманості, не спотворюють архітектурний задум, в Азії - це завжди яскравий, феєричний вигляд нічного міста - багато кольору, динаміки, спецефектів, усе кружляється, літає. У Франції в архітектурному підсвічуванні є Ліонська школа, що припускає підсвічення окремих архітектурних деталей, і Паризька, основою якої є використання освітлення, що заливає. Для України важливо знайти свій підхід, щоб кожне місто мало свій неповторний нічний вигляд.

Автоматизація систем контролю й керування зовнішнім освітленням з використанням стільникової радіомережі GSM на базі протоколу GPRS

Одним з напрямків діяльності департаменту є модернізація і модифікація міських систем зовнішнього освітлення. Департамент компанії Санта здійснює весь комплекс послуг, починаючи від пророблення й інжинірингу й закінчуючи поставкою, налагодженням уведенням в експлуатацію й наступним гарантійним і постгарантійним супроводом установленого встаткування. Системи міського зовнішнього освітлення є розподіленими об'єктами зі складною структурою. Для вирішення завдань контролю і керування необхідна обробка оперативної

інформації з десятків вилучених об'єктів. Керування об'єктами зовнішнього освітлення виконується, як правило, дистанційно.

Призначення системи:

Автоматична система контролю й керування зовнішнім освітленням з використанням стільникової радіомережі GSM побудована на основі технічних і програмних засобів SIEMENS.

Система виконує наступні функції:

Керування 2-ма групами освітлення по розкладах, що зберігається в локальних системах автоматизації. Розклад уводиться на 1 рік;

Контроль наявності напруги на введенні, і окремих фідерах;

Контроль енергетичних параметрів за допомогою лічильника із цифровим інтерфейсом і передача інформації 2 рази на місяць за допомогою протоколу GPRS;

Передача в диспетчерський пункт аварійних і робочих повідомлень (відкриття двері шафи, перегорання запобіжника, неполадка пускача);

Візуалізація докладного стану локальних систем;

Редагування із системи диспетчеризації розкладів;

Керування у вилученому режимі із системи диспетчеризації групами освітлення.

Канал зв'язку для інформаційного обміну між локальними системами керування й диспетчерським пунктом.

Канали зв'язку призначені для збору інформації із всіх локальних станцій міста на верхній рівень системи, а також для передачі команд із диспетчерського пункту в локальні системи керування.

При організації каналів зв'язку за допомогою GSM, у нашій системі, локальні системи автоматизації й диспетчерський пункт по протоколі GPRS через Internet обмінюються інформацією. Такий спосіб побудови системи дозволяє підключати до системи диспетчеризації велика кількість локальних систем. Крім того, немає ніяких обмежень на географічне положення диспетчерської й віддалених систем.

Переваги організації каналів передачі інформації за допомогою GSM-Модемів:

Більша територія покриття операторів GSM;

Невелика абонплата;

Із застосуванням протоколу передачі GPRS можлива передача інформації в будь-яку крапку Землі за допомогою Internet;

Невисока вартість GSM-Модемів;

Сучасний спосіб передачі інформації;

Недоліки: Якість зв'язку залежить від GSM оператора.

Верхній рівень системи (Диспетчерський пункт)

Диспетчерський пункт побудований на базі SCADA-Системи WinCC, що є однією з найпоширеніших у Європі.

Основні властивості SCADA-Системи WinCC: Підтримка великої кількості пристроїв; Зручний мультіекранний інтерфейс; Структура Сервер-Клієнт; Реалізація архіву повідомлень.

Інформація в диспетчерський пункт із систем керування зовнішнім освітленням і назад надходить по каналах GPRS. Для цього на комп'ютері з SCADA-Системою WinCC повинен бути встановлений додатковий пакет SINAUT MICRO SC. Також комп'ютер повинен бути оснащений виходом в Інтернет з виділеним реальним IP адресою.

2.4 Характеристики систем автоматичного керування

2.4.1 Основні положення

Під час аналізу систем керування виникає питання визначення характеристик системи та характеристик її окремих ланок. Під час вивчення на систему подають певний сигнал і визначають як вона реагує на нього. Залежно від реакції можна визначити, що являє собою система, які її характеристики. Вивчаючи окремі ланки САК, можна визначити тип ланки та її параметри. Теоретичне вивчення САК доповнюються також експериментальними

дослідженнями, а результати цих досліджень покладені в основу теоретичного вивчення САК.

2.4.2 Лінеаризація рівнянь САК

Для САК, що має один вхід $x(t)$ і один вихід $y(t)$, математичну модель можна подати у вигляді

$$F\left(x(t), x'(t), y(t), y'(t), y''(t), \dots, y^{(n)}(t)\right) = 0. \quad (2)$$

Рівняння багатьох реальних елементів і САК в цілому тією чи іншою мірою є нелінійними. У цьому разі змінні $x(t)$, $y(t)$ і їхні похідні входять у вираз для функції F у вигляді добутків, часток, ступенів або інших більш складних функцій.

У зв'язку зі складністю аналізу і вирішення нелінійних рівнянь широко застосовується наближена їхня заміна на лінійні – лінеаризація. Існує кілька методів лінеаризації. Найбільше поширення одержав метод малих відхилень, що дозволяє лінеаризувати як нелінійні алгебраїчні характеристики окремих елементів, під якими розуміються залежності вихідних величин від вхідних у сталому режимі, так і нелінійні диференціальні рівняння.

В основу методу лінеаризації покладене розкладання в ряд Тейлора, що дозволяє розкласти нелінійну функцію декількох змінних за ступенями малих відхилень цих змінних на околицях значень, що відповідають заданому сталому режиму. За сталий режим можна вибирати режим, що існував до початку дії збурювання, або режим, що встановиться після загасання перехідного процесу.

2.4.3 Одержання часових характеристик САК

Диференціальні рівняння незалежно від форми подання є самою загальною формою опису САК і не дають наочного зображення її властивостей. Більш наочно характеризують ці властивості функції $y(t)$, що є рішеннями диференціальних рівнянь.

У теорії автоматичного керування властивості систем і їхніх елементів характеризують рішеннями, що відповідають нульовим початковим умовам і одному з типових впливів на вході, що називаються часовими характеристиками.

Найбільш широке використання при описі динамічних властивостей одержала перехідна функція $h(t)$. Перехідною функцією називають функцію, що описує зміну вихідної величини, яка виникає після подачі на вхід одиничного східчастого впливу $1(t)$ при нульових початкових умовах. Графік перехідної функції називається перехідною характеристикою.

Лінійні САК описуються диференціальними рівняннями вигляду

$$a_0 y^{(n)}(t) + a_1 y^{(n-1)}(t) + \dots + a_n y(t) = b_0 x^{(m)}(t) + b_1 x^{(m-1)}(t) + \dots + b_m x(t), \quad (3)$$

де $x(t)$ і $y(t)$ – відповідно вхідна і вихідна величини; a_i, b_j – коефіцієнти; n – порядок рівняння.

Інтегрування рівняння (3) зводиться до знаходження суми загального рішення однорідного рівняння без правої частини $y_c(t)$ і якого-небудь часткового рішення неоднорідного рівняння $y_b(t)$, тобто

$$y(t) = y_c(t) + y_b(t). \quad (4)$$

Зміна вихідної величини, обумовлена складовою $y_c(t)$, називається вільним рухом, тому що залежить тільки від вигляду лівої частини рівняння (3), тобто від внутрішніх властивостей самого об'єкта. Складова $y_b(t)$, навпаки, залежить від характеру вхідного впливу, тому відповідна зміна називається змушеним рухом.

Складову $y_c(t)$ одержимо у вигляді

$$y_c(t) = e^{pt}, \quad (5)$$

де p – деяке раціональне число.

Підставивши (5) у рівняння (3) при нульовій правій частині, одержимо:

$$a_0 p^n e^{pt} + a_1 p^{n-1} e^{pt} + \dots + a_n e^{pt} = 0,$$

або

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0. \quad (6)$$

Останнє рівняння називається характеристичним.

Таким чином, вираз (5) є рішенням вихідного рівняння за умови, що p є коренем рівняння (6). Оскільки це рівняння має n коренів, маємо і n лінійно незалежних рішень $y_i(t)$. Скористаємося відомою теоремою математики, яка стверджує, що коли n лінійно незалежних функцій $y_i(t)$ є рішеннями однорідного рівняння, то загальне рішення цього рівняння визначається виразом

$$y_c(t) = \sum_{i=1}^n C_i y_i(t) = \sum_{i=1}^n C_i e^{p_i t}, \quad (7)$$

де C_i – довільні постійні інтегрування.

Вираз (7) справедливий тільки у випадку, якщо всі корені p_i є простими. Якщо ж який-небудь корінь p_j має кратність r , то в (5) замість r доданків вигляду (3) треба включити складову вигляду

$$y_j(t) = \left(C_j + C_{j+1}t + C_{j+2}t^2 + \dots + C_{j+r-1}t^{r-1} \right) e^{p_j t}. \quad (8)$$

Часткове рішення $y_b(t)$ звичайне одержується в тому ж вигляді, в якому задана права частина, тобто залежно від вигляду функції $x(t)$.

2.4.4 Структурні перетворення САК

У курсі теорії автоматичного керування, при аналізі САК широке застосування одержали так звані структурні схеми. При цьому під структурною схемою САК мається на увазі умовне графічне зображення математичної моделі системи у вигляді сукупності окремих ланок із вказівкою зв'язків між ними.

Структурна схема реальної САК звичайно може бути подана у вигляді комбінації трьох типів з'єднань ланок: послідовного, паралельного і зустрічно-

паралельного. Кожне з цих з'єднань може бути замінено за певними правилами однією ланкою, властивості якої будуть еквівалентними властивостям з'єднання. Установимо ці правила.

При послідовному з'єднанні вихідна величина попередньої ланки є вхідною величиною наступної ланки (див. рис. 31,а).

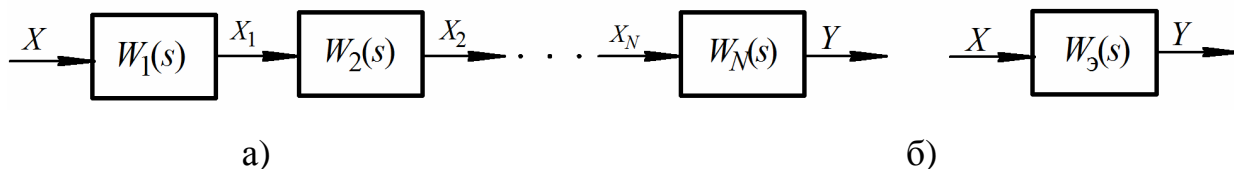


Рис. 31 – Структурна схема послідовного з'єднання ланок:
а) вихідна; б) еквівалентна

Еквівалентна передаточна функція з'єднання $W_3(s)$ по каналу $X(s) \rightarrow Y(s)$ визначається виразом

$$W_3(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \prod_{i=1}^N W_i(s). \quad (9)$$

При паралельному з'єднанні на вхід всіх ланок подається та сама величина, а вихідна величина дорівнює сумі вихідних величин окремих ланок (див. рис. 32а).

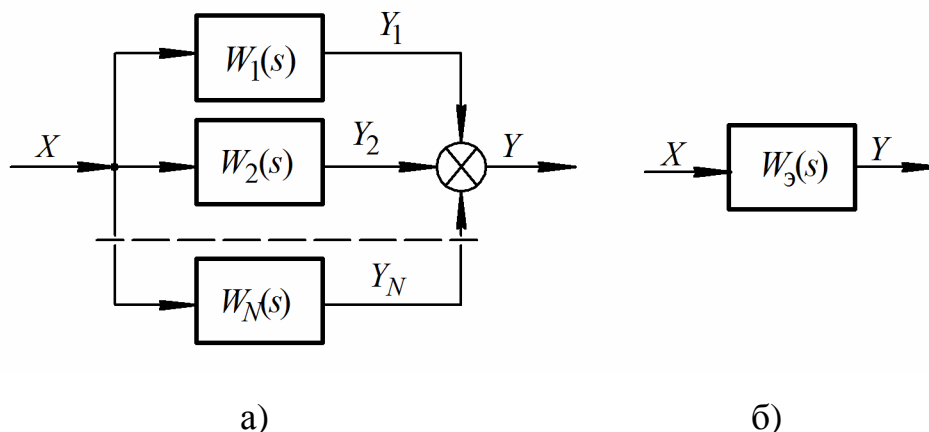


Рис. 32 – Структурна схема паралельного з'єднання ланок:
а) вихідна; б) еквівалентна

Еквівалентна передаточна функція з'єднання $W_3(s)$ по каналу $X(s) \rightarrow Y(s)$ визначається виразом

$$W_{\text{з}}(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \sum_{i=1}^N W_i(s). \quad (10)$$

При зустрічно-паралельному з'єднанні разі структурна схема має вигляд, наведений на рис. 33а, де зворотний зв'язок може бути як негативним, так і позитивним.

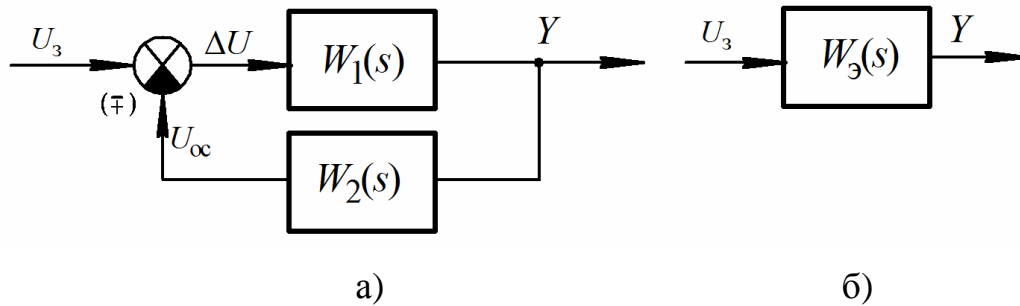


Рис. 33 – Структурна схема зустрічно-паралельного з'єднання ланок:
а) вихідна; б) еквівалентна

Еквівалентна передаточна функція з'єднання $W_{\text{з}}(s)$ по каналу $X(s) \rightarrow Y(s)$ визначається виразом

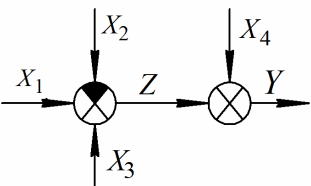
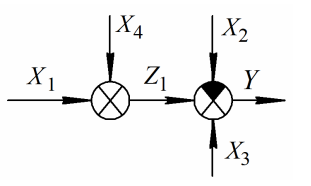
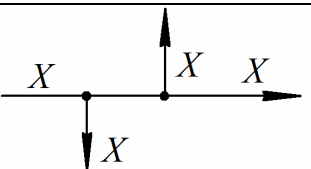
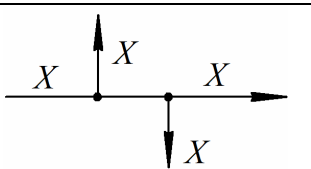
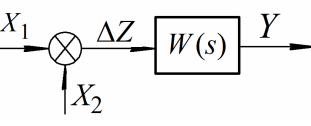
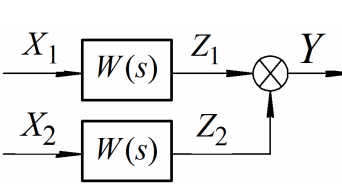
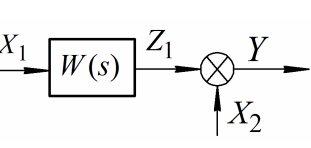
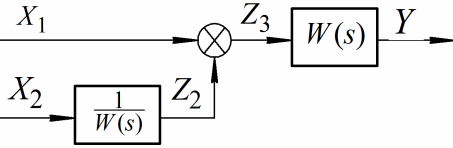
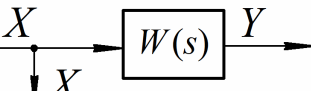
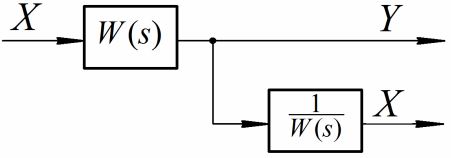
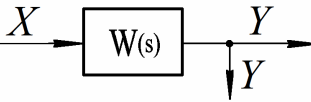
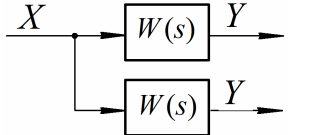
$$W_{\text{з}}(s) = \frac{Y(s)}{U_3(s)} = \frac{W_1(s)}{1 \pm W_1(s)W_2(s)}. \quad (11)$$

Знак “+” в останній формулі ставлять у випадку негативного зворотного зв'язку, а “-” - позитивного.

У ряді випадків вихідна структура САК може бути такою, що застосування описаних вище основних правил структурних перетворень виявляється недостатнім для її спрощення. Такими системами є багатоконтурні системи, що містять перехресні зв'язки. Для перетворення такого роду схем використовують ряд додаткових правил, що ґрунтуються на принципі еквівалентності, відповідно до якого всі вхідні й вихідні сигнали кожної перетвореної ділянки схеми повинні залишатися незмінними.

Найпоширеніші з цих правил наведені в табл. 4, де всі змінні Z позначають сигнали, які з'явилися або зникли в результаті перетворень.

Таблиця 4 – Правила перетворення структурних схем САК

Операція	Вихідна схема	Перетворена схема
Перестановка суматорів	 $Y = X_1 - X_2 + X_3 + X_4$	 $Y = X_1 + X_4 - X_2 + X_3$
Перестановка вузлів розгалуження сигналів		
Переміщення суматора через ланку вперед	 $Y = W(s)(X_1 + X_2)$	 $Y = W(s)X_1 + W(s)X_2(s) = W(s)(X_1 + X_2)$
Переміщення суматора через ланку назад	 $Y = W(s)X_1 + X_2$	 $Y = \left(X_1 + \frac{X_2}{W(s)} \right) W(s) = W(s)X_1 + X_2$
Переміщення вузла розгалуження через ланку вперед	 $Y = W(s)X$ $X = X$	 $X = X$ $Y = W(s)X$
Переміщення вузла розгалуження через ланку назад	 $Y = W(s)X$	 $Y = W(s)X$

2.4.5 Одержання частотних характеристик та визначення стійкості САК

Частотні характеристики описують передаточні властивості САК в режимі сталих гармонійних коливань, викликаних зовнішнім гармонійним впливом. Ці характеристики широко використовують в ТАК, тому що реальні зовнішні впливи можуть бути подані у вигляді суми гармонійних сигналів. Вони визначаються змущеною складовою вирішення диференціального рівняння при подачі на вхід впливу

$$x(t) = a \sin(\omega t).$$

Найбільш повно частотні особливості характеризує частотна передаточна функція $W(j\omega)$. $W(j\omega)$, як і будь-яка функція комплексної змінної, може бути подана в алгебраїчній і показовій формах.

Алгебраїчна форма:

$$W(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega), \quad (12)$$

де $P(\omega)$ і $Q(\omega)$ - речовинна і уявна частини відповідно.

Показова форма:

$$W(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}. \quad (13)$$

Крива, що описує кінець вектора частотної передаточної функції на комплексній площині при зміні частоти від 0 до ∞ , називається амплітудно-фазовою частотною характеристикою (АФЧХ).

Крім АФЧХ розрізняють наступні види частотних характеристик:

- амплітудна частотна характеристика (АЧХ) – графік функції $A(\omega) = |W(j\omega)|$;
- фазова частотна характеристика (ФЧХ) – графік функції $\varphi(\omega) = \text{Arg } W(j\omega)$;
- речовинна частотна характеристика – графік функції $P(\omega) = \text{Re } W(j\omega)$;
- уявна частотна характеристика – графік функції $Q(\omega) = \text{Im } W(j\omega)$.

Однією з найважливіших характеристик автоматичної системи керування є стійкість. Цим поняттям характеризується працездатність системи. Система, яка не володіє стійкістю, не здатна виконувати функції керування і має нульову або навіть негативну ефективність (тобто система шкідлива). Нестійка система може привести керований об'єкт до аварійного стану. Тому проблема стійкості систем є однією з центральних у теорії автоматичного керування.

Стійкість автоматичної системи - це властивість системи повертатися у вихідний стан рівноваги після припинення дії, яка вивела систему з цього стану.

Стійкість залежить тільки від характеру вільного руху системи. Вільний рух лінійної або лінеаризованої системи описується однорідним диференціальним рівнянням

$$a_0 y^{(n)}(t) + a_1 y^{(n-1)}(t) + \dots + a_n y(t) = 0, \quad (14)$$

де $y(t) = y_c(t)$ - вільна складова керованої величини системи.

Змушена складова вихідної величини, що залежить від вигляду зовнішнього впливу і правої частини диференціального рівняння, на стійкість системи не впливає.

Система є стійкою, якщо вільна складова $y_c(t)$ перехідного процесу з часом прагне до нуля, тобто якщо

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y_c(t) = 0.$$

При аналізі стійкості систем керування звичайно вирішують одне або кілька завдань:

- 1) оцінюють, стійка чи ні система при заданих параметрах;
- 2) визначають припустимий за умовою стійкості діапазон зміни деяких незаданих параметрів системи;
- 3) з'ясовують, чи може система при заданій структурі бути в принципі стійкою.

3. КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

3.1 Вивчення параметрів та характеристик елементів САК

3.1.1 Вивчення характеристик елементів, що вимірюють

Задача 3.1.1.1

Об'єкт керування (ОК) живиться напругою $U_{ж1} = 220$ В змінного струму. Для виконання системи зворотного зв'язку на напрузі $U_{ж}$ необхідно подати сигнал, пропорційний напрузі живлення, на елемент порівняння ЕП2 з характеристиками:

$$U_{ж2} = 12 \text{ В}; \quad R_{ОК} = 200 \text{ Ом}; \quad x_{ОК} = 80 \text{ Ом}.$$

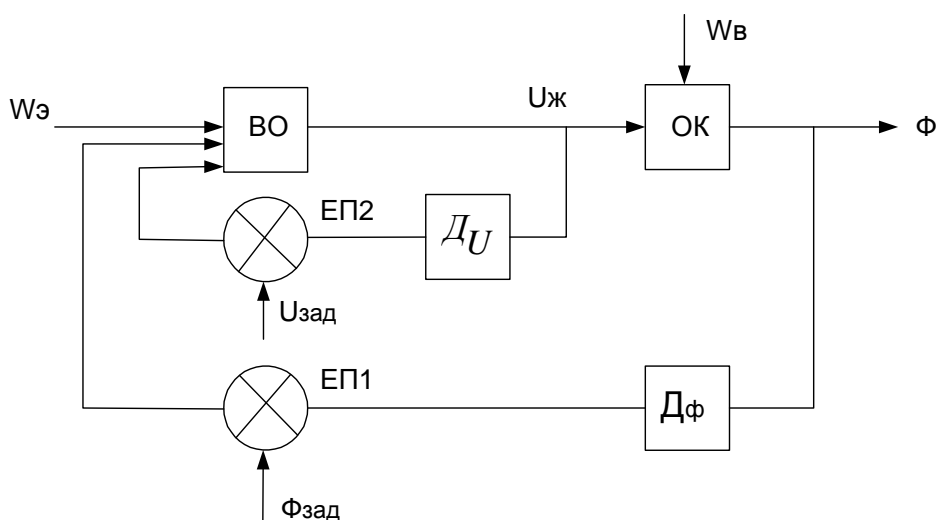


Рис. 34 – Схема САК

Визначити параметри й характеристики елемента, що вимірює:

- трансформаторного типу;
- потенціометричного типу;
- ємнісного типу.

Задача 3.1.1.2

Об'єкт керування (ОК) потужністю 3×600 Вт живиться напругою $U_{ж} = 220$ В змінного струму. Для виконання системи зворотного зв'язку за струмом необхідно подати сигнал, пропорційний струму живлення, на елемент порівняння ЕП2 з характеристиками:

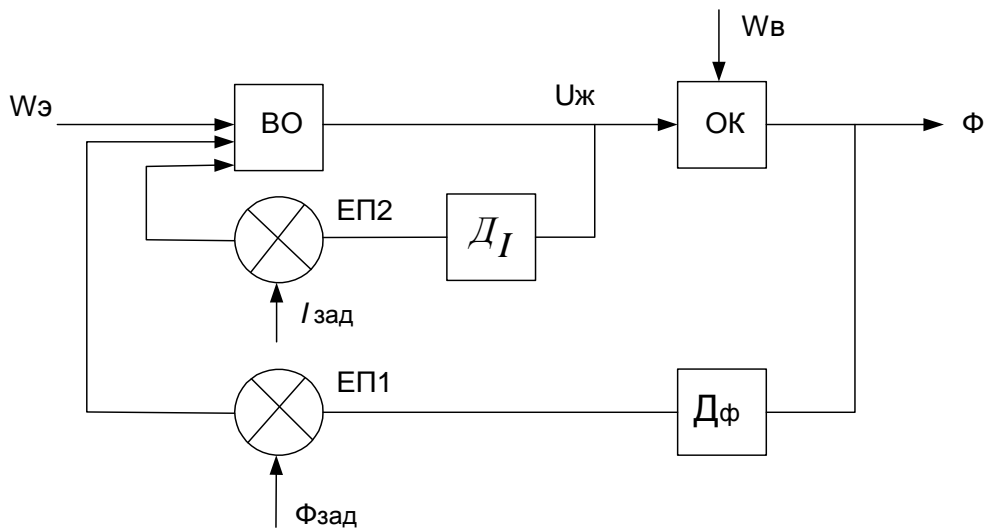


Рис. 35 – Схема САК

Визначити параметри та характеристики елемента, що вимірює:

- а) трансформаторного типу;
- б) шунтового типу;
- в) ємнісного типу.

Задача 3.1.1.3

Об'єкт керування (ОК) живиться напругою $U_{ж}=220$ В змінного струму.

Для виконання системи зворотного зв'язку за освітленістю E необхідно подати сигнал, пропорційний освітленості, на елемент порівняння ЕП з характеристиками:

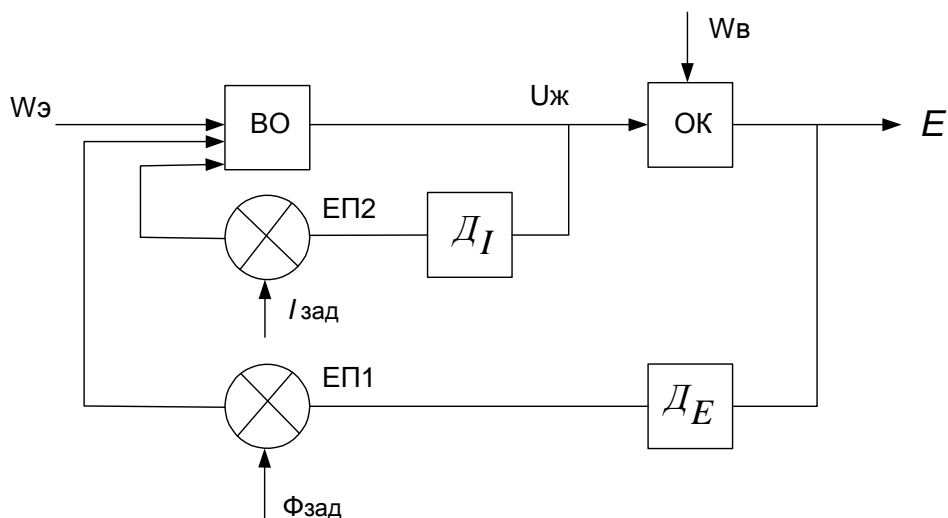


Рис. 36 – Схема САК

Визначити параметри й характеристики елемента, що вимірює.

3.1.2 Вивчення параметрів і характеристик елементів, що підсилюють

Задача 3.1.2.1 Об'єкт керування (ОК) являє собою освітлювальну установку, що забезпечує освітлення на рівні 300 лк. У якості елемента, що вимірює освітлення використано фоторезистор типу ФСК-1. В якості елемента порівняння – потенціометричний міст типу ПМ-23.

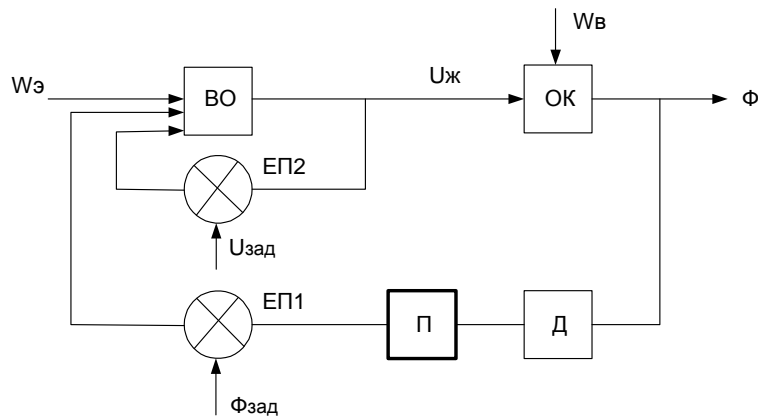


Рис. 37 – Схема САК

Визначити необхідні параметри та характеристики підсилювача Π в ланцюзі зворотного зв'язку.

3.2 Складання функціональних схем систем освітлення

Задача 3.2.1.

Скласти функціональну схему системи зовнішнього освітлення вулиці з інтенсивністю руху транспорту 300 одиниць на годину.

Задача 3.2.2

Скласти функціональну схему інтегрованої системи освітлення навчальної лабораторії.

Задача 3.2.3

Скласти функціональну схему локальної системи зовнішнього освітлення типу «SAL SOLARIS».

Задача 3.2.4

Скласти функціональну схему локальної системи освітлення коридору навчального закладу.

3.3 Вивчення характеристик САК

3.3.1 Лінеаризація рівнянь САК

Задача 3.3.1.1

Об'єкт описується диференціальним рівнянням другого порядку:

$$a_0 y'' + a_1 y' + a_2 y = b_0 x.$$

Коефіцієнти рівняння рівні: $a_0 = 6$; $a_1 = 17 y$; $a_2 = 5 y^2 x$; $b_0 = 8 ux$.

Лінеаризувати рівняння на околицях номінального режиму $x_0 = 6$.

Задача 3.3.1.2.

Лінеаризувати математичну модель двигуна постійного струму із незалежним збудженням:

$$u_d(t) = e_d(t) + R_\Sigma i_{яц}(t) + L_\Sigma \frac{di_{яц}(t)}{dt};$$

$$u_B(t) = R_B i_B(t) + L_B \frac{di_B(t)}{dt};$$

$$\Phi(t) = f[i_B(t) \cdot w];$$

$$J_\Sigma \frac{d\omega(t)}{dt} = M_d(t) - M_c(t).$$

де: $R_\Sigma = R_d + R_{доп}$, $L_\Sigma = L_d + L_{доп}$, $J_\Sigma = J_d + J_n$; $R_я$, $L_я$ - відповідно активний опір та індуктивність якірної обмотки; $R_{доп}$, $L_{доп}$ - активний опір і індуктивність додаткових елементів якірного ланцюга (щіток, додаткових полюсів і т.п.); $i_{яц}(t)$ - струм якірного ланцюга; $i_B(t)$, R_B , L_B - відповідно струм, активний опір і індуктивність обмотки збудження; J_d і J_n - моменти інерції якоря двигуна і навантаження; $\omega(t)$ - кутова швидкість обертання вала якоря; $M_d(t)$ - момент, що розвивається двигуном; $\Phi(t)$ - магнітний потік полюсів; w - кількість витків обмотки збудження.

3.4 Одержання часових характеристик САК

Задача 3.4.1.

Система керування описується диференціальним рівнянням першого порядку $Ty' + y = kx$.

Знайти часові характеристики системи при $T = 0,2$ с і $k = 15$.

Задача 3.4.2.

Визначити перехідний процес у системі, яка описується диференціальним рівнянням 2-го порядку:

$$T^2 y''(t) + 2\xi Ty'(t) + y(t) = k \cdot x(t)$$

при нульових початкових умовах і подачі на вхід одиничного східчастого сигналу $1(t)$ з наступними параметрами: $T = 0,3$ с; $\xi = 2$; $k = 10$.

Задача 3.4.3.

Визначити перехідний процес у системі, яка описується диференціальним рівнянням 2-го порядку:

$$T^2 y''(t) + 2\xi Ty'(t) + y(t) = k \cdot x(t)$$

при нульових початкових умовах і при подачі на вхід одиничного східчастого сигналу $1(t)$ з наступними параметрами: $T = 0,3$ с; $\xi = 0,5$; $k = 10$.

Задача 3.4.4.

Об'єкт керування описується диференціальним рівнянням другого порядку вигляду

$$a_0 y'' + a_1 y' + a_2 y = b_0 x, \text{ де } a_0 = 0,01; a_1 = 0,30; a_2 = 1; b_0 = 0,26.$$

Побудувати перехідну характеристику $h(t)$.

Задача 3.4.5.

Диференціальне рівняння системи має вигляд

$$a_0 y'' + a_1 y' + a_2 y = kx,$$

де $k = 1$, $a_0 = 1$, $a_1 = 3$, $a_2 = 2$.

Знайти передаточну функцію $W(s)$ й часові характеристики $h(t)$, $w(t)$ системи операторним методом.

3.5 Структурні перетворення САК

Задача 3.5.1.

Структурна схема САК наведена на рисунку. Знайти передаточну функцію по каналу $x \rightarrow y$ - $W_{xy}(s)$.

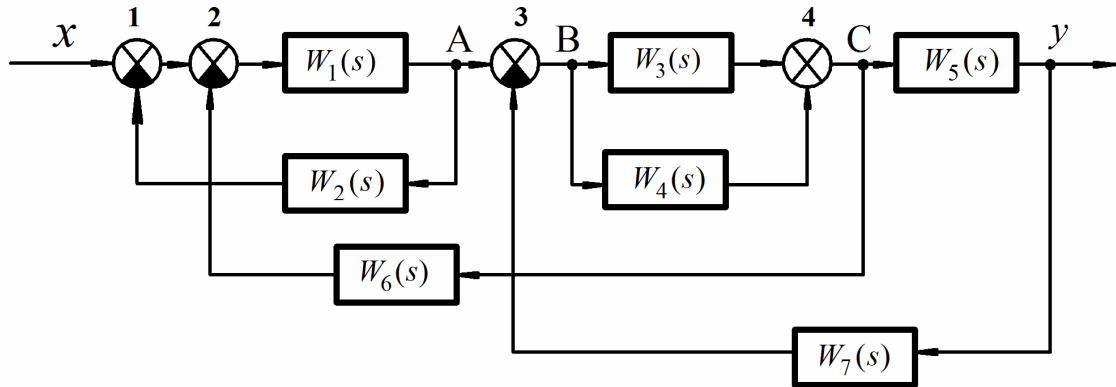


Рис. 38 – Схема САК

3.6 Одержання частотних характеристик і визначення стійкості САК

Задача 3.5.6.1.

Задано передаточні функції розімкнутої САК у вигляді послідовно з'єднаних ланки об'єкта керування і коригувальної ланки, які відповідно дорівнюють

$$W_H(s) = \frac{k_H}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1) \cdot (T_3 \cdot s + 1)}; \quad W_k(s) = \frac{k_k (T_4 \cdot s + 1)}{(T_5 \cdot s + 1)}$$

$$T_1 = 7 \cdot 10^{-3}; \quad T_2 = 3 \cdot 10^{-3}; \quad T_3 = 4 \cdot 10^{-4}; \quad k_H = 23; \quad T_4 = 5 \cdot 10^{-3}; \quad T_5 = 2 \cdot 10^{-2}; \quad k_k = 1.$$

Побудувати логарифмічні амплітудні й фазові частотні характеристики ланки об'єкта керування, коригувальної ланки й системи в цілому.

Задача 3.5.6.2.

Розімкнута система є аперіодичною ланкою другого порядку. Визначити АФЧХ при різних частотних характеристиках розімкнутої системи.

Задача 3.5.6.3.

Для умов задачі 10 перевірити стійкість САК за допомогою критерію Найквіста при коефіцієнті передачі пристрою керування $k_K = 20$.

Задача 3.5.6.4.

САК описується рівнянням другого порядку, характеристичне рівняння якого має вигляд $a_0 s^2 + a_1 s + a_2 = 0$.

Визначити умови стійкості САК за Гурвіцом.

Задача 3.5.6.5.

Передаточна функція розімкнутої системи із запізнюванням має вигляд

$$W_p(s) = W_L(s) \cdot W_\tau(s) = \frac{k_L}{a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3} \cdot e^{-s\tau} \quad a_2 = 0,5c$$

Числові значення параметрів становлять: $a_0 = 0,01c^3$; $a_1 = 0,09c^2$; $a_2 = 0,5c$; $a_3 = 1$; $k_L = 1,6$. Визначити критичне значення величини запізнювання $\tau = \tau_K$, що визначає межу стійкості.

Задача 3.5.6.6.

Передаточні функції ланок замкнутої САК, поданої на рис.39, мають вигляд

$$W_o(s) = \frac{k_o}{T_o^2 s + 2T_o \xi s + 1}; \quad W_p(s) = \frac{k_p}{s}$$

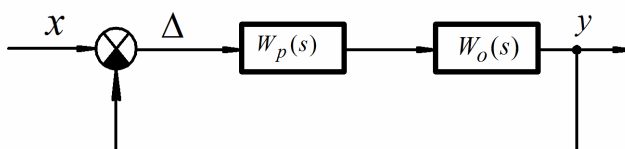


Рис. 39 – Схема САК

Числові значення параметрів об'єкта керування прийняти рівними $T_o = 0,1c$; $\xi = 0,45$; $k_o = 0,26$.

Знайти числові значення коефіцієнта передачі регулятора k_p , які задовольняють вимогам стійкості системи.

Рекомендована література

1. Методичні вказівки до самостійного вивчення курсу «Теорія автоматичного керування» і контрольні завдання для виконання контрольних робіт (для студентів 3 курсу денної і 4 курсу заочної форм навчання спеціальності «Світлотехніка і джерела світла») / Харк. нац. акад. міськ.госп-ва; уклад.: П.П. Говоров, В.О. Перепечений – Х.: ХНАМГ, 2009. – 23 с.
2. Говоров П.П. Освітлювальні електричні системи та мережі / П.П.Говоров, В.О. Перепечений, В.П. Говоров // Харків: ХНАМГ.–2009.– 227 с.
3. Говоров П.П. Освітлення промислових об'єктів / П.П. Говоров, Р. В. Пилипчук, А. І. Токмань, В. В. Щиренко, Р. Ю. Яремчук // Тернопіль: Джура – 2008. – 388 с.
4. Говоров П.П. Релейний захист і автоматика в системах електропостачання / П. П. Говоров, Г. А. Сендерович, В. Ф. Соколов та ін. // К., ІЗИН, 2006. – 228 с.
5. Говоров Ф.П. Регулирование напряжения в электрических сетях с помощью вольтодобавочных трансформаторов с тиристорным управлением / Ф. П. Говоров, М. А. Папко // Техніка, К.: 2004. – с.86.
6. Власов К.П. Теория автоматического управления / К. П. Власов // Харків, Изд-во Гуманитарный центр. –2007. – 526 с.
7. Сорока К.О. Теорія автоматичного керування / К. О. Сорока// Харків, ХНАМГ. – 2006. – 187 с.
8. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсу “Теорія автоматичного керування” для студентів 3 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання спеціальності 6.090.603 “Електротехнічні системи електроспоживання” / Укл. Абраменко І. Г. - Харків: ХНАМГ. – 2009. – 18 с.
9. <http://www.topdom.ru>
10. <http://gazeta.birga.od.ua>
11. <http://www.illuminator.ru>
12. <http://www.realhome.ru>
13. <http://www.realstrass.ru>

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

ГОВОРОВ Пилип Парамонович,
ПЕРЕПЕЧЕНИЙ Віталій Олександрович

Методичні вказівки до практичних занять з курсу «**Теорія автоматичного керування**» і контрольні завдання для виконання контрольних робіт (для студентів 3 курсу денної і 4 курсу заочної форм навчання спеціальності «Світлотехніка і джерела світла»).

Відповідальний за випуск *П. П. Говоров*

Редактор *М. З. Аляб'єв*

Комп'ютерне верстання *В. О. Перепечений*

План 2009, поз. 304М

Підп. до друку 09.04.2010 р.
Друк на ризографі.
Зам. №

Формат 60×84 1/16.
Ум. друк. арк. 3,0
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювачі
Харківська національна академія міського господарства
61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 731 від 19.12.2001