

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи студентів з дисципліни

"ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ, АВТОМАТИКИ ТА ЦИФРОВОЇ ТЕХНІКИ"

Одеса – 2010

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи студентів з дисципліни

“ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ, АВТОМАТИКИ ТА ЦИФРОВОЇ ТЕХНІКИ”

Напрямок підготовки – Гідрометеорологія

" Затверджено"
методичною комісією факультету КН
протокол № _____ від " _____ 2009 р.

Одеса - 2010

Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з дисципліни "Основи електроніки, автоматики та цифрової техніки" для студентів 2 курсу денної форми навчання за напрямом "Гідрометеорологія".

Укладач: Тімофєєв М.А., к.т.н., доцент, Одеса, ОДЕКУ, 2010 р., 52 с.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
1 ЕЛЕКТРИЧНІ ЛАНЦЮГИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	6
1.1 Структура електричних ланцюгів.....	6
1.2 Одноконтурні лінійні електричні ланцюги.....	7
1.3 Багатоконтурні лінійні електричні ланцюги.....	11
2 ЕЛЕКТРИЧНІ ЛАНЦЮГИ ЗМІННОГО СТРУМУ.....	13
2.1 Генерування синусоїдальних електричних величин.....	13
2.2 Прості лінійні електричні ланцюги синусоїдального струму.....	17
3 ПІДСИЛЮВАЧІ БЕЗПЕРЕРВНИХ СИГНАЛІВ.....	23
3.1 Типова принципова схема підсилювача безперервних сигналів на тріоді.....	23
3.2 Вибір робочої точки і способи створення напруги автоматичного зсуву.....	24
3.3 Фізичні процеси в підсилювачі при підсиленні імпульсних сигналів.....	27
3.4 Типова схема підсилювача імпульсних сигналів на пентоді.....	29
3.5 Електронно-дірковий перехід.....	31
3.6 Напівпровідникові діоди.....	34
3.7 Класифікація підсилювачів.....	35
4 ОСНОВНІ ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ В МІКРОЕЛЕКТРОНІЦІ.....	36
4.1 Основні терміни і визначення в мікроелектроніці.....	36
4.2 Особливості інтегральних схем, як нового типу напівпровідникових приладів.....	39
4.3 Класифікація інтегральних мікросхем.....	40
4.4 Система умовних позначень інтегральних мікросхем.....	43
4.5 Схеми побудови логічних елементів.....	45
4.6 Асинхронні машини.....	48
ЗМІСТ ДОМАШНЬОГО ЗАВДАННЯ.....	51
ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ СТУДЕНТІВ.....	51
ЛІТЕРАТУРА.....	52

ПЕРЕДМОВА

Сучасний науково-технічний прогрес не може існувати без електрифікації тієї бази, на якій розвиваються найсучасніші технічні засоби виробництва. Тому завжди у всіх країнах розвивалась та розвивається наука по використанню електричної енергії у виробництві транспорту, електронної промисловості та побутової техніки.

Потреби народного господарства в електричній енергії невпинно зростають, що вимагає відповідного зростання її виробництва.

З розвитком електрифікації прискореним темпом розвивається електротехнічна промисловість – виробництво потужних гідрогенераторів і турбогенераторів, трансформаторів, електродвигунів, комутаційної апаратури, приладів для автоматизації виробничих процесів.

Електрична енергія може бути одержана з двох видів енергії. У великій кількості її одержують у результаті переробки механічної енергії за допомогою електромашинних генераторів. На сьогоднішній день розроблені методи безпосереднього перетворення теплової і ядерної енергії на електричну. Ці методи є основними при одержанні електричної енергії у великій кількості.

Відомі методи прямого перетворення теплової променевої й хімічної енергії на електричну, які давно використовуються в радіотехніці, вимірювальній техніці та автоматичі.

З використанням різноманітної електричної апаратури та електричних приладів отримали подальший розвиток такі галузі науки, як: медицина, геологія, біологія, математика, астрономія та інші.

Особливої уваги потребують електронно-обчислювальна наука й техніка, які стали сьогодні провідними.

Подальший розвиток електротехніки, цифрової обчислювальної техніки потребує підготовки й відповідних фахівців.

При вивченні основ електротехніки студенти повинні засвоїти фізичну суть електромагнітних і магнітних явищ. Це дасть їм можливість правильно використовувати та експлуатувати електричні та радіоприлади, а також цифрову обчислювальну техніку.

Вивчення матеріалів, які наведено в методичних вказівках " Основи електроніки, автоматики та цифрової техніки" дають можливість студентам: закріпити знання по електричним ланцюгам постійного та змінного струму; вивчити принцип роботи та фізичні процеси підсилювачів безперервних і імпульсних сигналів; отримати додаткові знання по мікроелектроніці та цифровій техніці.

В результаті вивчення методичних вказівок студенти повинні:

знати:

структуру одноконтурних і багатоконтурних електричних ланцюгів; принцип генерування синусоїдальних електричних величин;

фізичні процеси, які відбуваються в підсилювачах безперервних і імпульсних сигналів;

основні терміни і визначення в мікроелектроніці;

схеми побудови логічних елементів;

системи умовних позначень інтегральних мікросхем.

вміти:

працювати з додатковою літературою з дисципліни " Основи електроніки, автоматики та цифрової техніки";

аналізувати фізичні процеси, які протікають в напівпровідникових приладах;

систематизувати отримані знання по дисципліні з різних джерел інформації.

1 ЕЛЕКТРИЧНІ ЛАНЦЮГИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

1.1 Структура електричних ланцюгів

Електричні ланцюги – сукупність пристроїв та об'єктів, що утворюють шлях електричному струму, електромагнітні процеси в яких можна описати за допомогою поняття про електрорушійну силу, струм і напругу.

Електричні ланцюги складаються з пристроїв для генерування електричної енергії, передачі її на відстань та перетворення в інші види енергії. Перші називають джерелами електричної енергії, другі – лініями електричного зв'язку, а треті – приймачами електричної енергії.

Джерела електричної енергії є перетворювачами енергії інших видів в електричну. До них відносяться: гальванічні та акумуляторні елементи, електромеханічні генератори, термопари, сонячні фотоелементи, магнітогідродинамічні генератори, паливні елементи та інші перетворювачі. Ці джерела здійснюють перетворення з ККД, меншим одиниці, та характеризуються електрорушійною силою (ЕРС), внутрішнім опором $R_{Вт}$, номінальним струмом $I_{ном}$. Одиницею ЕРС служить вольт (В). ЕРС можна вимірити вольтметром при відключенні від джерела електричної енергії всіх приймачів, тобто при відсутності струму в ньому.

Лінії електричного зв'язку, що передають електричну енергію на відстань, це лінії електропередачі, електричні мережі та інші пристрої, що при сталому режимі характеризуються їх опором.

Приймачі електричної енергії перетворюють електричну енергію в енергію іншого виду (механічну, теплову, хімічну, світлову та ін.) та являють собою електричні двигуни, електричні печі, електролізери, електроосвітлювальні прилади та інші споживачі [1,2].

Джерела електричної енергії, а також приймачі з властивою їм ЕРС (електричні двигуни, акумулятори в процесі заряду та ін.) є активними елементами, а лінії електричного зв'язку, сполучні проводи та приймачі без ЕРС (резистори, електричні печі, електроосвітлювальні прилади та ін.) – пасивними елементами. Резистор, що є пасивним елементом, призначений для використання його електричного опору в різних електричних ланцюгах.

Електричні ланцюги можуть складатися з будь-якого числа активних і пасивних елементів, що входять в окремі галузі, з'єднані між собою вузлами. У кожен гілку, що є ділянкою ланцюга з тим самим струмом, входить один або декілька послідовно з'єднаних елементів, а в кожен вузол – місце з'єднання гілок сходяться не менш трьох гілок (рис.1.1).

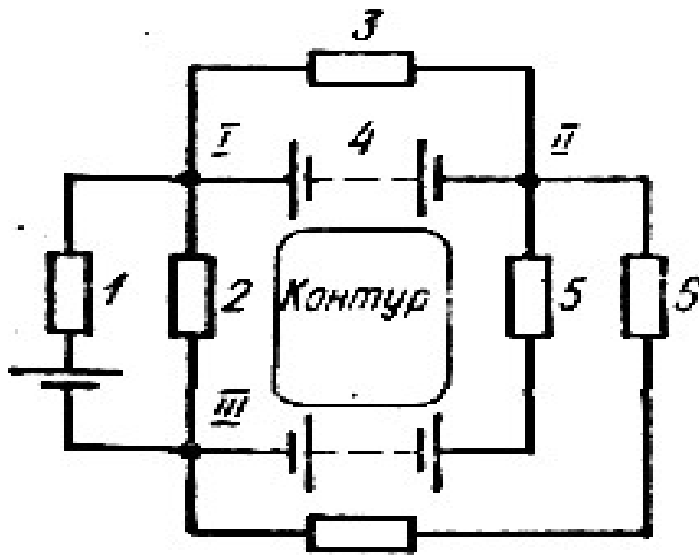


Рис. 1.1 – Схема електричного ланцюга із шістьма гілками та трьома вузлами

Кожний замкнений шлях по декількох гілках електричного ланцюга називають контуром. В залежності від числа контурів електричні ланцюги можуть бути одноконтурними або багатоконтурними, які у свою чергу можуть бути з одним чи з декількома джерелами електричної енергії.

1.2 Одноконтурні лінійні електричні ланцюги

В одноконтурному електричному ланцюзі ЕРС, спрямована усередині джерела електричної енергії від негативного полюса "–" до позитивного "+", збуджує струм I того ж напрямку (рис. 1.2), який визначають за законом Ома для всього ланцюга

$$I = \frac{E}{R + R_{Bm}}, \quad (1.1)$$

де R – опір зовнішнього ланцюга, що складає з приймача і сполучних проводів;

R_{Bm} – опір внутрішнього ланцюга, у який входить джерело електричної енергії.

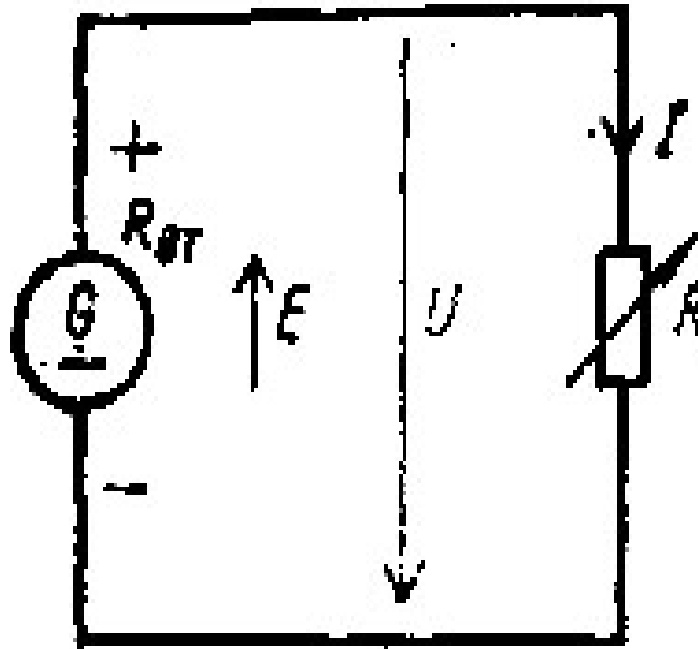


Рис. 1.2 - Схема одноконтурного електричного ланцюга

Якщо опір всіх елементів електричного ланцюга не залежить від значення та напрямку струму та ЕРС, то їх, а також сам ланцюг, називають лінійними.

В одноконтурному лінійному електричному ланцюзі з одним джерелом електричної енергії струм прямо пропорційний ЕРС і зворотно пропорційний загальному опору ланцюга.

З наведеної вище формули випливає, що

$$E = R_{Bm} I = RI, \quad (1.2)$$

звідки

$$I = \frac{E - R_{Bm} I}{R}, \quad (1.3)$$

або

$$I = \frac{U}{R}, \quad (1.4)$$

де

$$U = E - R_{Bm} I \quad (1.5)$$

є напругою джерела електричної енергії, що спрямована від позитивного полюса до негативного. При незмінній ЕРС напруга залежить тільки від струму, що визначає спадання напруги $R_{Bm} I$ усередині джерела електричної енергії, якщо опір внутрішнього ланцюга $R_{Bm} = const$.

Вираз (1.4) є законом Ома для ділянки ланцюга, до затисків якого прикладена напруга U , співпадає за напрямом струму I цієї ж ділянки.

Залежність $U(I)$ при $E = const$ і $R_{Bm} = const$ називають зовнішньою або вольт - амперною характеристикою лінійного джерела електричної енергії (рис. 1.3), по якій можна для будь-якого струму I визначити відповідну йому напругу U , а за формулами, що нижче наводяться – розрахувати потужність приймача

$$P_2 = RI^2 = \frac{E^2 R}{(R + R_{Bm})^2}, \quad (1.6)$$

потужність джерела електричної енергії

$$P_1 = (R + R_{Bm}) I^2 = \frac{E^2}{R + R_{Bm}} \quad (1.7)$$

та ККД приладу

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{R}{R + R_{Bm}} = \frac{1}{1 + \frac{R_{Bm}}{R}}. \quad (1.8)$$

Вивчення явищ в електричних ланцюгах спрощується при заміні їх схемами заміщення – математичними моделями з ідеальними елементами, кожний з яких характеризується одним з параметрів, узятих з параметрів елементів, що заміщаються. Ці схеми цілком відображають властивості електричних ланцюгів і при дотриманні визначених умов полегшують аналіз електричного стану цих ланцюгів.

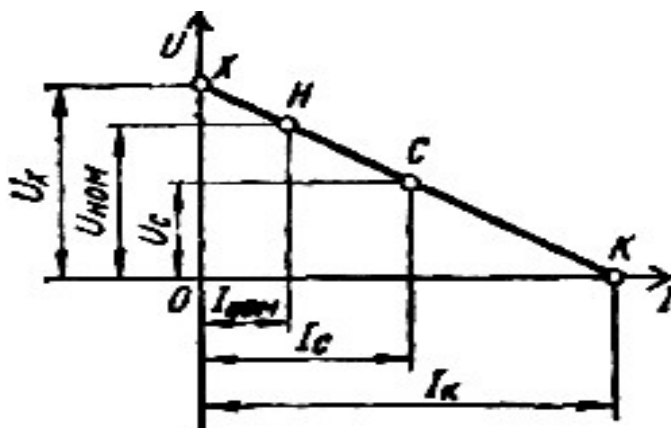


Рис. 1.3 - Зовнішня характеристика джерела електричної енергії

У схемах заміщення з активними елементами використовують ідеальне джерело ЕРС й ідеальне джерело струму. Перше характеризується сталою ЕРС і внутрішнім опором, рівним нулю, унаслідок чого струм такого джерела визначається опором приєднаних приймачів, а коротке замикання викликає струм і потужність, що теоретично прагнуть до нескінченно великого значення. Другому приписують внутрішній опір, що прагне до нескінченно великого значення, а незмінний струм I_k не залежний від напруги на його затисках, рівний току короткого замикання, унаслідок чого необмежене збільшення, приєданого до джерела, навантаження супроводжується теоретично необмеженим зростанням напруги та потужності.

Реальні джерела електричної енергії з ЕРС, внутрішнім опором R_{Bm} і струмом короткого замикання I_k можна представити схемами заміщення, у які входять ідеальне джерело ЕРС або ідеальне джерело струму, відповідно з послідовно та паралельно включеними резистивними елементами, які характеризують внутрішні параметри реального джерела й обмежуючими потужність приєднаних приймачів (рис. 1.4).

Реальні джерела електричної енергії працюють у режимах, близьких до режиму ідеальних джерел ЕРС, якщо опір приймачів великий у порівнянні з внутрішнім опором реальних джерел, тобто коли вони знаходяться в режимах, близьких до режиму холостого ходу. У випадках, коли робочі

режими близькі до режиму короткого замикання, реальні джерела наближаються до ідеальних джерел струму, оскільки опір приймачів малий в порівнянні з внутрішнім опором реальних джерел.

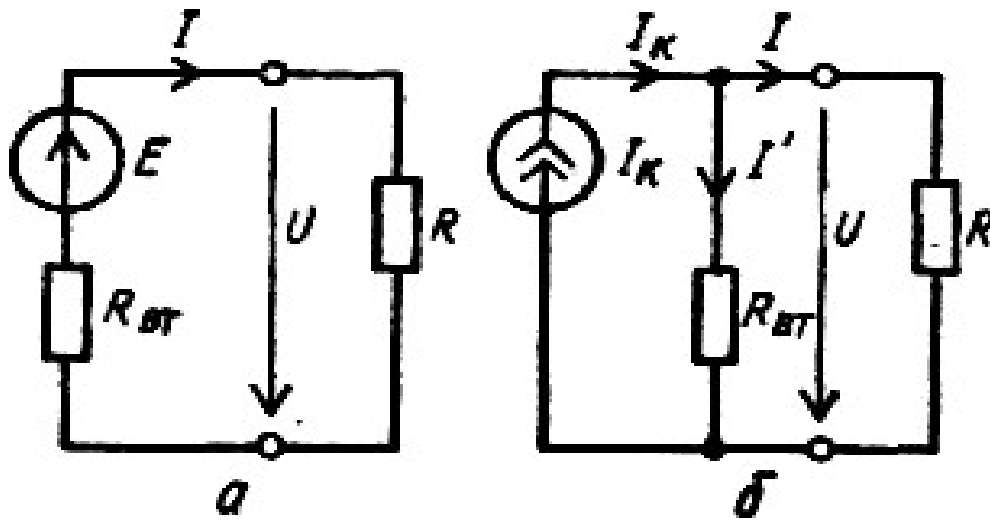


Рис. 1.4 - Схеми заміщення електричного ланцюга з реальним джерелом електричної енергії і резистором
а – з ідеальним джерелом ЕРС; б– з ідеальним джерелом струму

1.3 Багатоконтурні лінійні електричні ланцюги

Розрахунок багатоконтурного лінійного електричного ланцюга, що має m гілок з активними та пасивними елементами та n вузлів, зводиться до визначення струмів окремих гілок і напруг на затисках елементів, які входять у даний ланцюг. Таку задачу вирішують звичайно методом безпосереднього застосування законів Кірхгофа. **Перший закон Кірхгофа**

$$\sum I = 0 \quad (1.9)$$

установлює, що алгебраїчна сума струмів гілок, об'єднаних в один вузол, дорівнює нулю. Цей закон застосовують до незалежних вузлів, тобто таких, котрі відрізняються один від одного хоча б однією новою гілкою, що дозволяє одержати $(n - 1)$ рівнянь з m невідомими струмами. До запису цих рівнянь на схемі наносять довільні позитивні напрямки струмів в окремих гілках, а потім у рівнянні записують струми, спрямовані до вузла, зі знаком мінус, а струми, спрямовані від вузла – зі знаком плюс. Відсутні рівняння в кількості $k = m - (n - 1)$ складають, виходячи з другого закону Кірхгофа [2]

$$\sum R \cdot I = \sum E, \quad (1.10)$$

стверджуючого, що при обході контуру в будь-якому напрямку алгебраїчна сума опорів елементів на струми, що відповідають їм, дорівнює алгебраїчній сумі його ЕРС. Рівняння записують для незалежних контурів, що відрізняються один від одного, принаймні, однією гілкою. При цьому струмам й ЕРС, позитивні напрямки яких збігаються з довільно обраним напрямком обходу контуру, приписують знак плюс, а зустрічно спрямованим – знак мінус.

Розрахунок отриманої системи лінійних рівнянь з m невідомими дозволяє знайти струми гілок, причому істинні напрямки струмів, чисельні значення яких вийшли зі знаком мінус, виявляться протилежними стосовно позитивних напрямків, обраних при складанні рівнянь. Потім знаходять напруги на затисках окремих елементів, напрямки яких збігаються з істинними напрямками відповідних струмів.

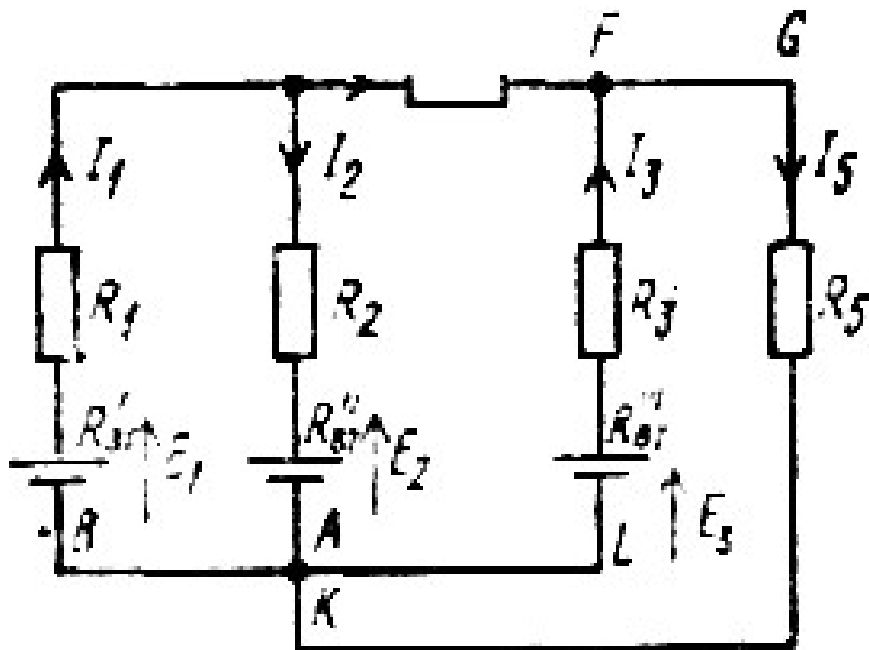


Рис. 1.5 - Схема багатоконтурного електричного ланцюга

Стосовно до електричного ланцюга з трьома вузлами та п'ятьма гілками (рис. 1.5) два рівняння за першим законом Кірхгофа, віднесені до вузлів D та F і три відсутні рівняння за другим законом Кірхгофа при

обході контурів $ABCD$, $ADFLA$, $ALFGHKA$ за напрямком руху стрілки годинника мають вигляд:

$$-I_1 + I_2 + I_4 = 0; \quad (1.11)$$

$$-I_4 - I_3 + I_5 = 0; \quad (1.12)$$

$$R'_{Bm}I_1 + R_1I_1 + R_2I_2 + R'''_{Bm}I_2 = E_1 - E_2; \quad (1.13)$$

$$-R''_{Bm}I_2 - R_2I_2 + R_4I_4 - R'''_{Bm}I_3 = E_2 - E_3; \quad (1.14)$$

$$R'''_{Bm}I_3 + R_3I_3 + R_5I_5 = E_3. \quad (1.15)$$

Розрахунок системи цих лінійних рівнянь дозволяє знайти значення та дійсні напрямки струмів I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 гілок багатоконтурного електричного ланцюга [1].

Метод контурних струмів дозволяє скоротити число спільно розв'язуваних рівнянь до $k = m - (n - I)$, у які входять струми $I_{11}, I_{22} \dots I_{kk}$ електричного ланцюга, замкнених тільки у своїх контурах.

2 ЕЛЕКТРИЧНІ ЛАНЦЮГИ ЗМІННОГО СТРУМУ

2.1 Генерування синусоїдальних електричних величин

Електричні ланцюги, у яких електрорушійна сила (ЕРС), струми та напруги змінюються в часі за синусоїдальним законом, називають ланцюгами синусоїдального струму або ланцюгами змінного струму.

Синусоїдальний закон зміни електричних величин у часі забезпечує найбільш вигідний експлуатаційний режим роботи електротехнічних установок. Періодична змінна ЕРС, що є синусоїдальною функцією часу, може бути отримана при обертанні розімкнутого прямокутного плоского витка $DCHF$ з провідникового матеріалу з постійною кутовою швидкістю Ω навколо своєї вісі OO' , перпендикулярної до силових ліній однорідного

магнітного поля (рис. 2.1, а). Дійсно, якщо магнітний потік Φ , охоплюваний витком, змінюється за законом

$$\Phi = \Phi_m \cos \omega t = \Phi_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right), \quad (2.1)$$

де Φ_m – його амплітуда, що відповідає куту повороту $\omega t = 0$, то ЕРС, що індукується у витку,

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d}{dt} \left[\Phi_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \right] = \omega \Phi_m \sin \omega t = E_m \sin \omega t. \quad (2.2)$$

Таким чином рівняння ЕРС має вигляд

$$e = E_m \sin \omega t, \quad (2.3)$$

де e та E_m – відповідно миттєва ЕРС і її амплітуда, рівна $\omega \Phi_m$;

ω – кутова частота синусоїдальної ЕРС, що характеризує швидкість зміни фазового кута ωt , дорівнює в даному випадку кутовій швидкості Ω витка, що обертається.

Графік $e(t)$, який зображує закон зміни ЕРС у часі, називають тимчасовою діаграмою ЕРС (рис. 2.1,б).

Для використання синусоїдальної ЕРС, яка генерує початок і кінець витка, що обертається, приєднують до металевих контактних кілець / та //, які обертаються одночасно з витком, а до кілець притискують струмопровідні щітки з проводами які закінчуються затисками А та Б. У результаті приєднання до них лінійного резистора в замкнутому електричному ланцюзі виникає синусоїдальний або гармонійний, струм

$$i = I_m \sin \omega t, \quad (2.4)$$

де $\omega \Phi_m$ – амплітуда струму.

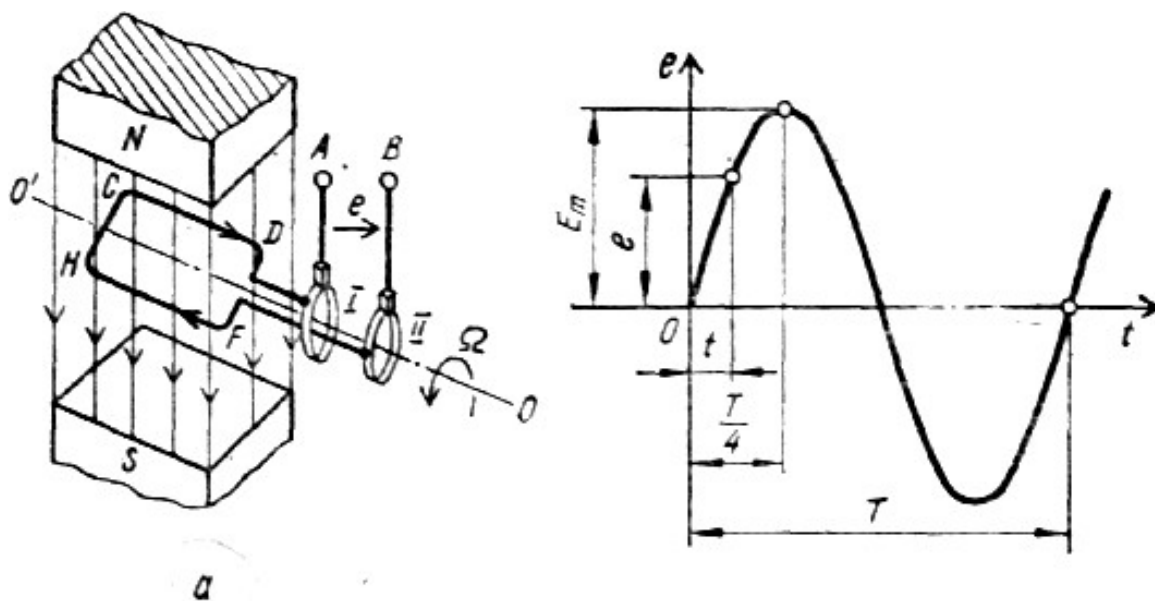


Рис. 2.1- Генерування синусоїдальної електрорушійної сили:
а – пристрій для генерування; б – часова діаграма ЕРС

Незважаючи на те, що амплітуди електричних величин миттєві, дії їх потрібно враховувати при розрахунках, тому що вони створюють найбільш важкі умови роботи для окремих елементів електротехнічних пристроїв.

Найменший інтервал часу, після закінчення якого кожна з приведених періодичних змінних величин повторюється, називають її періодом і позначають T [1,2]. Одиницею періоду є секунда. Величину, оберненого періоду, називають частотою, що відповідає періодичній функції часу, і позначають

$$f = \frac{1}{T}. \quad (2.5)$$

Частота визначає число періодів у секунду. Одиницею частоти є герц (Гц).

Поворот дротового витка на кут 2π відповідає одному періоду T , тому кутова частота синусоїдальних ЕРС і струму

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f. \quad (2.6)$$

Діапазон частот синусоїдальних ЕРС і струмів в електротехнічних установках досить широкий – від часток одиниці до декількох десятків мільярдів герц. У радіотехніці застосовують високі частоти, а генерування електричної енергії здійснюють за допомогою напівпровідникових та електронних пристроїв. Періодичність електромагнітних процесів у радіотехнічних установках характеризують не тільки частотою f , але й довжиною хвилі λ , виражену в метрах, визначають за формулою

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{f} = 2\pi f. \quad (2.7)$$

Про теплові та електродинамічні дії синусоїдального струму судять по його середньому квадратичному значенню за період, який називають діючим струмом

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cong 0,707 I_m. \quad (2.8)$$

Про електрохімічні дії пульсуючого струму (рис. 2.2), одержаного з синусоїдального струму за допомогою випрямлячів, судять по його середньому значенню за період

$$I_{cp} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} I_m \sin \omega t dt = \frac{2}{\pi} I_m = 0,637 I_m. \quad (2.9)$$

Аналогічні формули існують і для таких синусоїдальних електричних величин, як ЕРС і напруга.

$$k_a = \frac{I_m}{I},$$

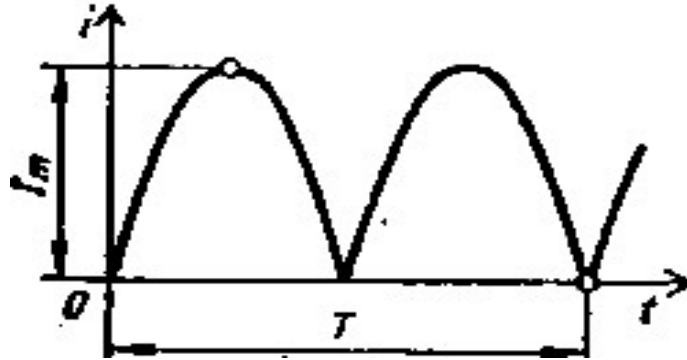


Рис. 2.2 - Графік пульсуючого струму

Знаючи діючі електричні величини, вимірювані електромагнітними, електродинамічними, феродинамічними, термоелектричними та електростатичними приладами, можна обчислити відповідні їм амплітуди. Так, амплітуда струму

$$I_m = \sqrt{2} I \approx 1,41 I, \quad (2.10)$$

а амплітуда напруги

$$U_m = \sqrt{2} U \approx 1,41 U, \quad (2.11)$$

де U – діюча напруга.

2.2 Прості лінійні електричні ланцюги синусоїдального струму

Приймачі електричних ланцюгів синусоїдального струму характеризуються параметрами R , L , C , які не завжди відіграють однакову роль, тому в окремих випадках деякими з них зневажають [3]. Так, в електричних ланцюгах з лампами накаливання та електронагрівальних приладів істотне значення має тільки їх активний опір. Тому аналіз таких ланцюгів зводиться до розгляду явищ в електричному ланцюзі, що містить резисторний елемент із параметром R . Ненавантажені трансформатори та двигуни змінного струму, що знаходяться в режимі холостого ходу, можна

з деяким наближенням змінювати електричним ланцюгом із індуктивним елементом, що характеризується параметром L , а конденсатори та розімкнуті кабельні лінії – електричним ланцюгом з ємнісним елементом, характеристикою якого є параметр C .

У ланцюзі синусоїдального струму з лінійним резисторним елементом, що характеризується активним опором R , до затисків якого подана синусоїдальна напруга

$$u = U_m \sin \omega t, \quad (2.12)$$

збуджується миттєвий струм

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t, \quad (2.13)$$

де I_m - амплітуда струму

$$I_m = \frac{U_m}{R}. \quad (2.14)$$

Останній вираз відповідає відомому закону Ома для електричного струму в замкнутому ланцюзі (1.4).

Закон Ома в комплексній формі для розглянутого ланцюга синусоїдального струму

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R} \quad (2.15)$$

затверджує, що комплексний діючий струм $\dot{I}$ у ланцюзі з резисторним елементом дорівнює комплексній діючій напрузі $\dot{U}$, поділеному на активний опір R цього елемента.

Зіставлення виразів миттєвої напруги і миттєвого струму вказує на відсутність зсуву фаз між ними, обумовленого різницею початкових фаз напруги та струму

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = 0. \quad (2.16)$$

Струм, що збігається за фазою з напругою, називають активним. Миттєву потужність у ланцюзі з резисторним елементом визначають за формулою

$$p = ui = 2UI \sin^2 \omega t = UI (1 - \cos 2\omega t), \quad (2.17)$$

з якої видно, що, залишаючись увесь час позитивною, потужність змінюється з подвійною частотою 2ω у межах від нуля до амплітуди $P_m = 2UL$. Середня потужність за період

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T UI (1 - \cos 2\omega t) dt = UI \quad (2.18)$$

визначається добутком діючих напруги та струму і називається активною потужністю. Одиницею активної потужності є ват (Вт).

Переходячи до розгляду ланцюга з лінійним індуктивним елементом, який характеризується індуктивністю L , і приймаючи, що в ній існує синусоїдальний струм

$$i = I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.19)$$

з початковою фазою

$$\psi_i = -\frac{\pi}{2},$$

знайдемо ЕРС, що наводиться в індуктивному елементі самоіндукції

$$e_L = -L \frac{di}{dt} = -L \frac{di}{dt} \left[I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \right] = \omega L I_m \sin \omega t = E_{L_m} \sin \omega t, \quad (2.20)$$

де E_{L_m} - її амплітуда

$$E_{L_m} = - \omega L I_m . \quad (2.21)$$

Враховуючи, що в розглянутому ланцюзі активний опір $R = 0$, у відповідності з другим законом Кірхгофа одержуємо

$$u + e_L = 0, \quad (2.22)$$

звідки миттєва напруга на затисках індуктивного елемента

$$u = - e_L = \omega L I_m \sin \omega t = U_m \sin \omega t, \quad (2.23)$$

де

$$U_m = \omega L I_m \quad (2.24)$$

є його амплітудою.

З останнього виразу випливає, що діючі напруга U і струм I , прямо пропорційні відповідним амплітудам напруги U_m і струму I_m , зв'язані залежністю

$$I = \frac{U}{\omega L} = \frac{U}{X_L}, \quad (2.25)$$

представляють собою закон Ома для ланцюга синусоїдального струму з індуктивним елементом. Величину

$$X_L = \omega L = 2\pi f L, \quad (2.26)$$

прямо пропорційну частоті синусоїдального струму, називають індуктивним опором.

Закон Ома в комплексній формі для описаного ланцюга синусоїдального струму

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{jX_L} \quad (2.27)$$

затверджує, що комплексний діючий синусоїдальний струм $\dot{I}$ у ланцюзі з індуктивним елементом дорівнює комплексній діючій напрузі $\dot{U}$, поділеній на комплексний індуктивний опір jX_L цього елемента.

Зсув фаз між напругою та струмом, обумовлений різницею їх початкових фаз

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = 0 - \left(-\frac{\pi}{2} \right) = +\frac{\pi}{2}, \quad (2.28)$$

у даному випадку позитивний, що вказує на відставання струму від напруги на $\frac{\pi}{2}$.

Струм, що відстає від напруги на $\frac{\pi}{2}$ називають реактивним струмом, що намагнічує.

Миттєва потужність у ланцюзі з індуктивним елементом

$$p = ui = -UI \sin 2\omega t \quad (2.29)$$

є знакозмінною функцією часу, який змінюється з подвійною кутовою частотою 2ω від нуля до амплітуди $P_m = \pm UI$ при середній потужності за період, рівний нулю. Зміна знаку миттєвої потужності вказує на періодичний обмін енергією між джерелом і приймачем.

Амплітуду потужності в індуктивному ланцюзі позначають

$$P_L = UI = \omega LI^2 = 2\pi f LI^2 \quad (2.30)$$

і називають реактивною індуктивною потужністю, що визначається добутком діючих напруги та реактивного струму, що намагнічує. Одиницею реактивної потужності є вольт-ампер реактивний (вар).

В електричному ланцюзі з джерелом синусоїдальної напруги

$$u = U_m \sin \omega t \quad (2.31)$$

до якого приєднаний лінійний ємнісний елемент, що характеризується ємністю C , відбувається безупинна перезарядка конденсатора та встановлюється синусоїдальний струм.

Величину зворотно пропорційну частоті синусоїдального струму, називають ємнісним опором.

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}, \quad (2.32)$$

З виразу, що визначає амплітуду струму, випливає, що в ланцюзі синусоїдального струму з ємнісним елементом діючий струм визначається формулою

$$I = \frac{U}{X_C}. \quad (2.33)$$

Це рівняння виражає закон Ома для ланцюга синусоїдального струму з ємнісним елементом.

Закон Ома в комплексній формі для розглянутого ланцюга синусоїдального струму

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{-jX_C} \quad (2.34)$$

стверджує, що комплексний струм $\dot{I}$ у ланцюзі з ємнісним елементом дорівнює комплексній діючій напрузі $\dot{U}$, поділеній на комплексний ємнісний опір $-jX_C$ цього елемента.

Зсув фаз у цьому ланцюзі між напругою і струмом

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = 0 - \left(+\frac{\pi}{2} \right) = -\frac{\pi}{2} \quad (2.35)$$

негативний, що вказує на випередження струмом напруги.

Струм, що випереджає напругу на $\frac{\pi}{2}$, називають реактивним ємнісним струмом.

Миттєва потужність у ланцюзі з ємнісним елементом

$$p = ui = UI \sin 2\omega t \quad (2.36)$$

змінюється так само, як і миттєва потужність у ланцюзі з індуктивним елементом, але зі зсувом фаз стосовно неї на π , унаслідок чого амплітуді цієї потужності, що позначається

$$P_C = UI = \omega CU^2 = 2\pi fCU^2, \quad (2.37)$$

приписують знак мінус і називають реактивною ємнісною потужністю.

Середня потужність у ланцюзі синусоїдального струму з ємнісним елементом за період дорівнює нулю, тому що в цьому ланцюзі увесь час відбувається періодичний обмін енергією між джерелом електричної енергії та приймачем [2,3].

3 ПІДСИЛЮВАЧІ БЕЗПЕРЕРВНИХ СИГНАЛІВ

3.1 Типова принципова схема підсилювача безперервних сигналів на тріоді

Найпростішим ламповим підсилювачем електричних сигналів є підсилювач на тріоді. В лампових підсилювачах використовується властивість лампи керувати у великих межах анодним струмом шляхом незначних змін напруги на керуючій сітці [1]. Принципова схема найпростішого підсилювача на тріоді приведена на рис. 3.1.

В анодне коло лампи включені джерела анодного живлення E_a (джерело постійного струму) і резистор анодного навантаження R_a .

В катодне коло лампи включене коло автоматичного зсуву R_K, C_K , за допомогою якого обирається режим роботи лампи.

Резистор R_a виконує три функції:

забезпечує відвід (витік) електронів із сітки на землю;

забезпечує подачу напруги зсуву на сітку з елементів R_K, C_K ;

разом з конденсатором C_{p1} складає перехідний коло для передачі вхідного сигналу на сітку лампи.

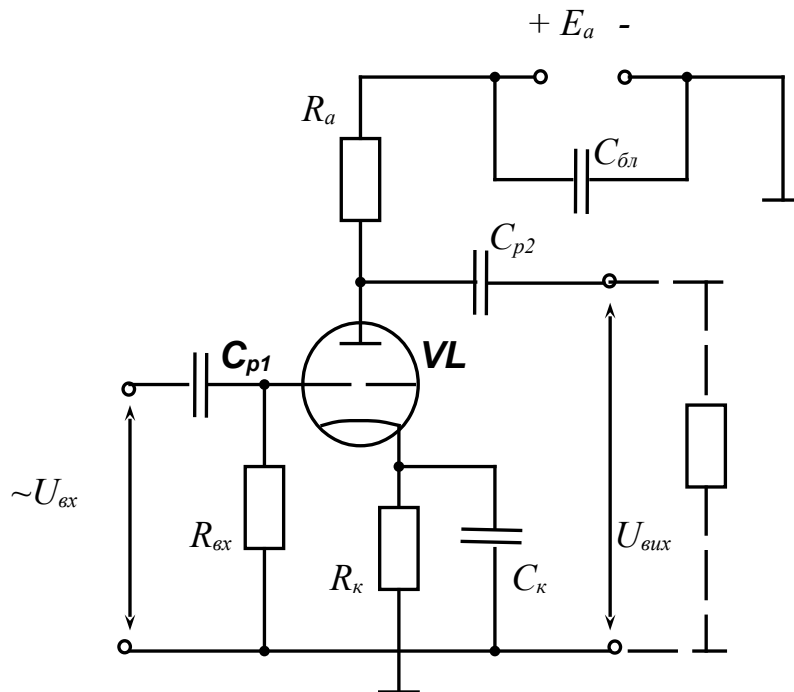


Рис. 3.1 - Принципова схема підсилювача на тріоді

Конденсатори C_{p1} , C_{p2} – розділяючі. Конденсатор C_{p1} відділяє сітку лампи від високого потенціалу анода наступного каскаду. Конденсатор C_{p2} разом з резистором $R_{вх}$ є перехідним колом, тобто передає підсилений сигнал на вихід підсилювача (на вхід наступного каскаду). Конденсатор $C_{бл}$ – блокувальний конденсатор. Він шунтує джерело анодного живлення по змінній складовій анодного току.

3.2 Вибір робочої точки і способи створення напруги автоматичного зсуву

Для того, щоб не було перекручування форми вихідного сигналу в процесі підсилення, необхідно робочу точку лампи у вихідному стані обрати в межах лінійної ділянки характеристики і не допускати появи сіткового струму (рис. 3.2). Ця умова виконується, якщо негативна напруга зсуву вибирається в межах

$$U_{zc} = U_{вх} + (0,5 + 1) B. \quad (3.1)$$

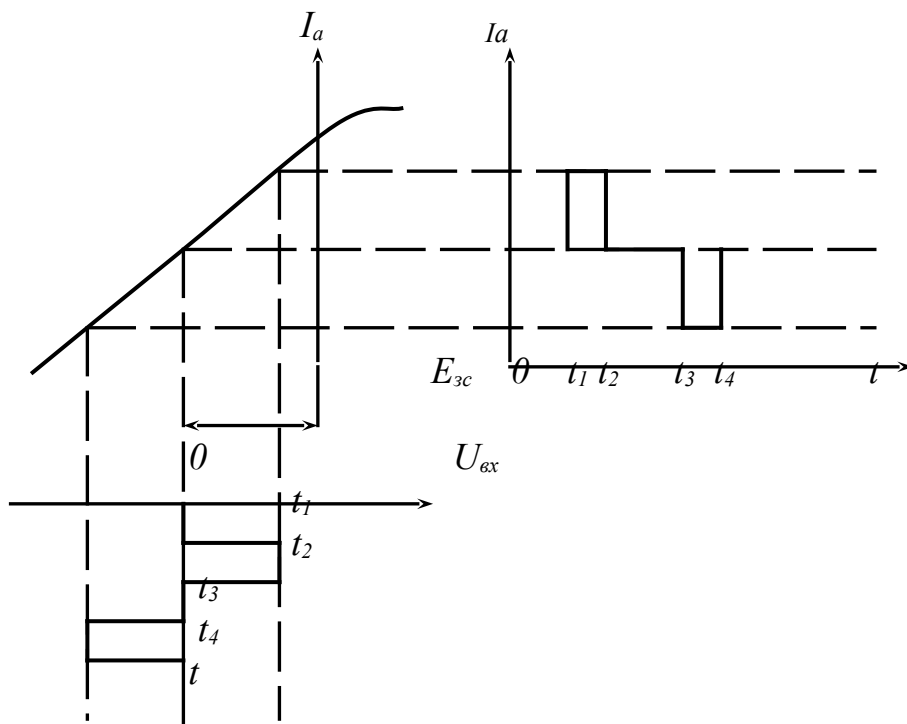


Рис. 3.2 - Принцип вибору робочої точки при підсиленні імпульсних сигналів

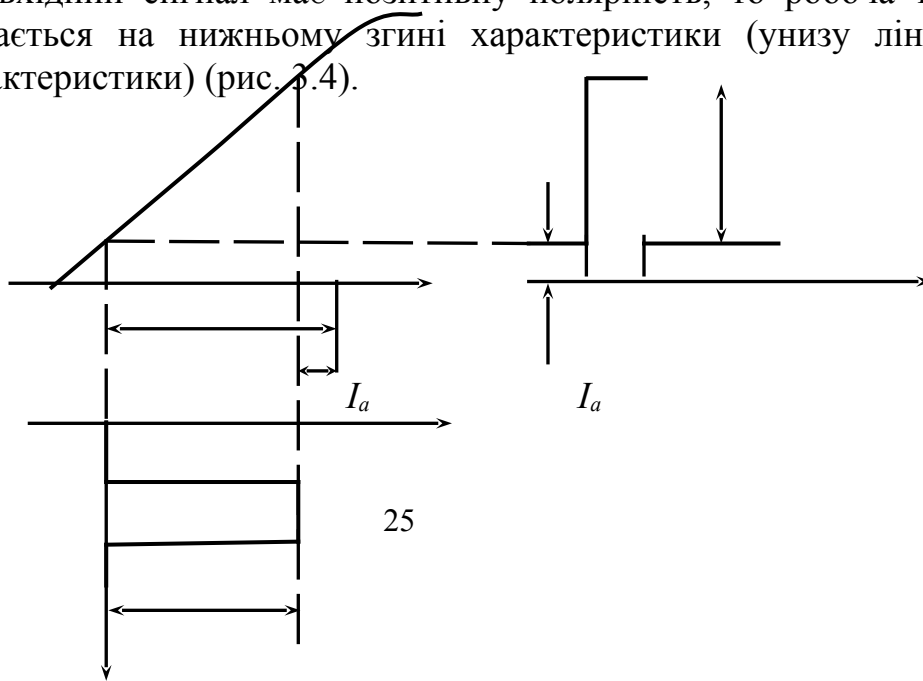
Це означає, що при посиленні вхідних сигналів напруга на сітці лампи має бути менше нуля.

Звичайно в підсилювачах напруга зсуву створюється від окремого джерела напруги або за допомогою спеціальних кіл, що називаються колами автоматичного зсуву.

Вибір положення робочої точки визначається полярністю сигналу, який необхідно підсилювати (рис. 3.3, 3.4).

Якщо сигнал буде синусоїдальним чи двополярним, то робочу точку слід обирати на середині лінійної частини анодно-сіткової характеристики лампи (рис.3.3).

Якщо вхідний сигнал має позитивну полярність, то робоча точка лампи обирається на нижньому згині характеристики (унизу лінійної частини характеристики) (рис. 3.4).



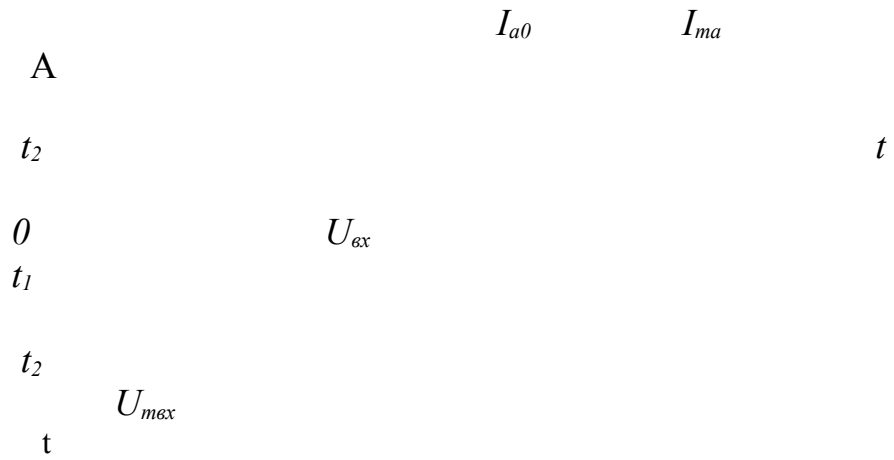


Рис. 3.3 - Принцип підсилення позитивних імпульсних сигналів

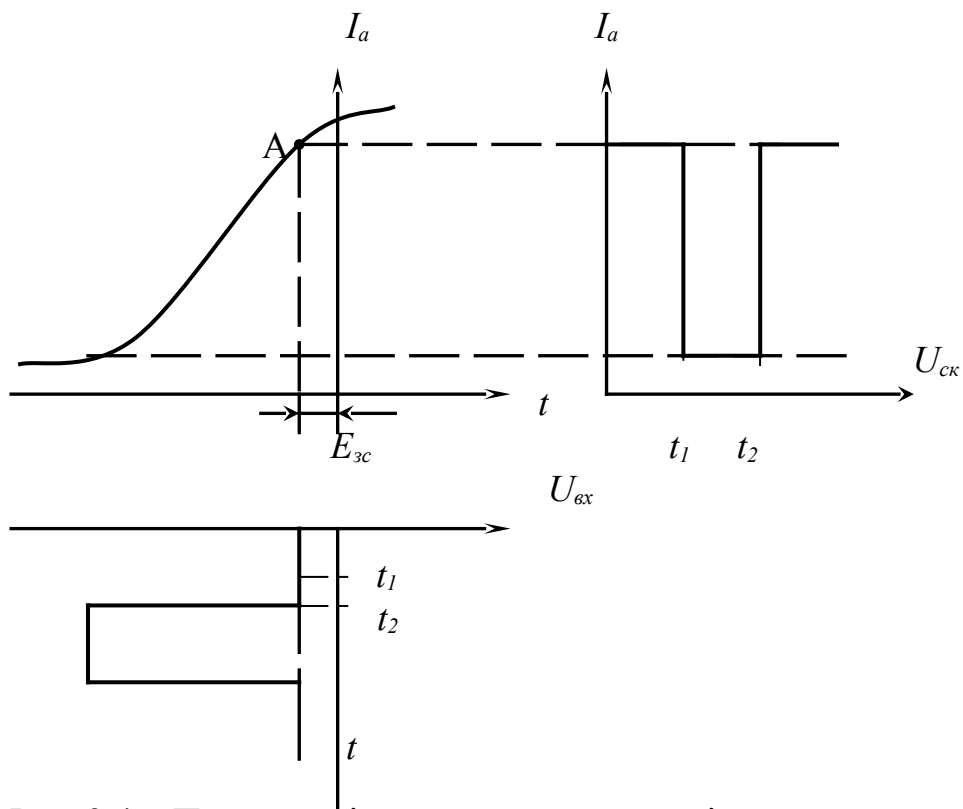


Рис. 3.4 - Принцип підсилення негативних імпульсних сигналів

3.3 Фізичні процеси в підсилювачі при підсиленні імпульсних сигналів

Процес посилення імпульсу показаний на графіках (рис. 3.5).

Вхідний стан ($U_{ex}=0$). Лампа відкрита, так як $|U_{zc}| \ll |U_{Czan}|$. Через лампу протікає струм I_{a0} і напруга на аноді у вихідному режимі дорівнює $U_{a0} = E_{a0} = R_{a0} \cdot I_{a0}$ [4]. У момент часу $t=t_1$ на вхід підсилювача подається негативний імпульс прямокутної форми. Анодний струм лампи миттєво зменшується до величини I_{amin} . Напруга на аноді U_a миттєво збільшиться через наявність паразитних ємностей. Напруга на аноді буде збільшуватися по мірі заряду цих ємностей.

Заряд C_o буде відбуватися по колу: $+E_a \rightarrow R_a \rightarrow C_p \rightarrow C_o \rightarrow \perp \rightarrow -E_a$.

Постійна часу розряду C_o дорівнює $\tau_{зар} = C_o \cdot R_a$.

Тому напруга на анод буде збільшуватися по експоненті, а значить і напруга на виході лампи буде збільшуватися за експонентою.

Час заряду C_o називається часом установалення t_y і визначає тривалість фронту імпульсу:

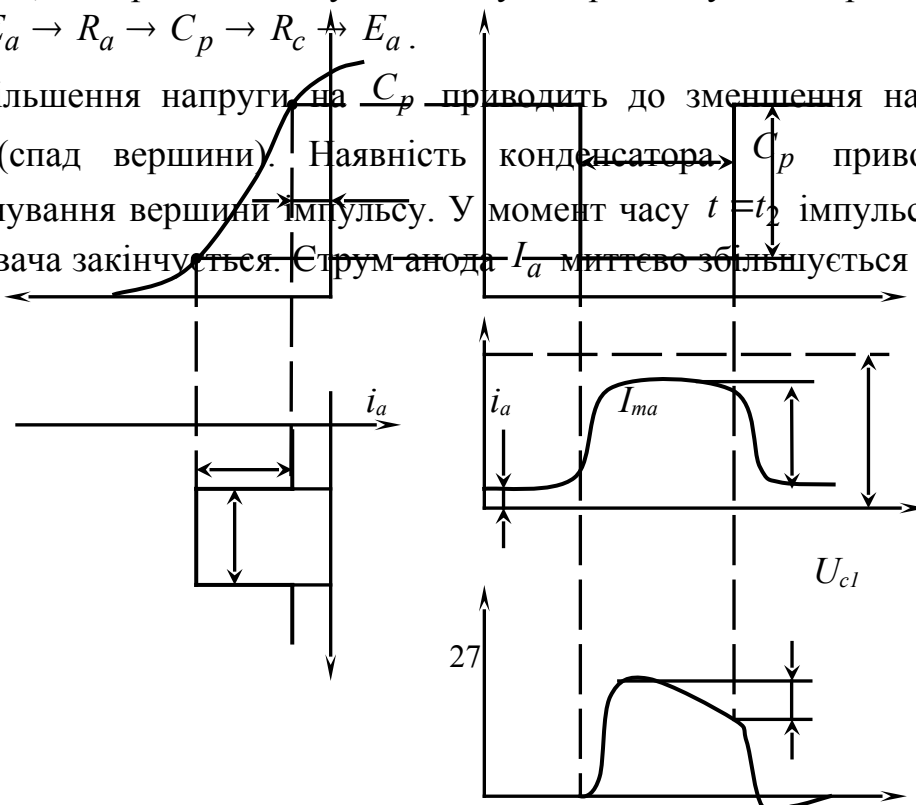
$$t_y = 3C_o \cdot R_a. \quad (3.1)$$

Таким чином, через наявність C_o відбувається перекручування фронту імпульсу.

З наведеної формули видно, що для зменшення перекручування фронту необхідно зменшити величину опору резистора R_a , однак це приводить до зменшення коефіцієнта підсилення. Отже, необхідно зменшити C_o . Для цього потрібно правильно розміщувати радіодеталі й якісно виконувати монтаж схеми.

Так як ємність $C_o \ll C_p$, то за час t_y конденсатор C_p цілком не зарядиться, та протягом часу $t_1 \div t_2$ буде продовжувати заряджатися по колу: $+E_a \rightarrow R_a \rightarrow C_p \rightarrow R_c \rightarrow E_a$.

Збільшення напруги на C_p приводить до зменшення напруги на виході (спад вершини). Наявність конденсатора C_p приводить до перекручування вершини імпульсу. У момент часу $t=t_2$ імпульс на вході підсилювача закінчується. Струм анода I_a миттєво збільшується від I_{amin} до I_{a0} .



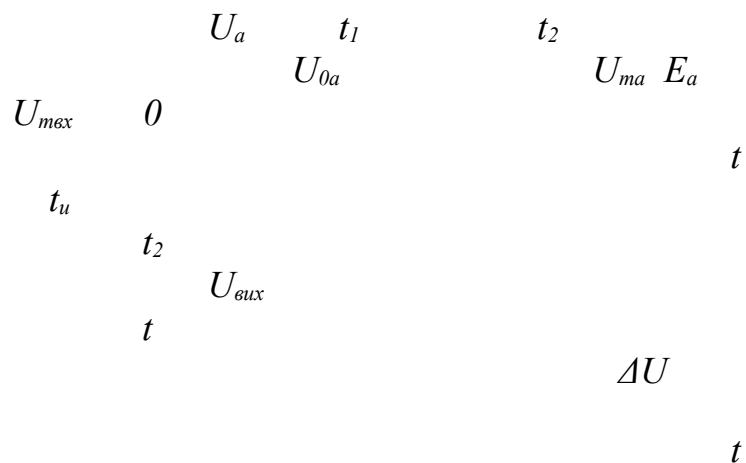


Рис.3.5 - Графіки, що пояснюють принцип підсилення імпульсних сигналів

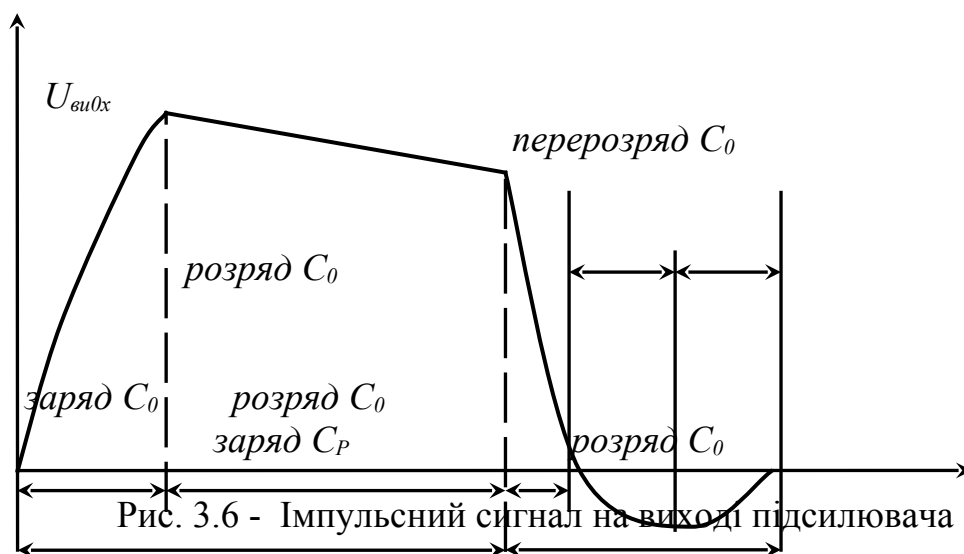


Рис. 3.6 - Імпульсний сигнал на виході підсилювача

Напруга на аноді лампи миттєво зменшуватися не може через наявність паразитної ємності C_o , що разом з конденсатором C_p буде розряджатися після часу t_2 . За рахунок цього формується зріз вихідного імпульсу. За рахунок розряду C_p на виході формується негативний викид.

Під час розряду конденсатора C_p відбувається заряд ємності C_o з наступним повторним розрядом через резистор R_C .

На рис. 3.6 показаний реальний вихідний імпульс і вплив ємностей C_p і C_o .

З рис.3.6 видно, що ємності C_o і C_p змінюють форму вихідного сигналу, його фронт, вершину і зріз.

Спад вершини імпульсу відбувається за рахунок заряду конденсатора C_p , а негативний викид обумовлений розрядом цього ж конденсатора.

Оцінка перекручування форм вихідного імпульсу здійснюється за наступними параметрами [4]:

часом встановлення або тривалістю фронту імпульсу, тобто інтервалом часу, протягом якого напруга вихідного імпульсу змінюється від 0,1 до 0,9 свого максимального значення;

часом спаду або тривалістю зрізу імпульсу, тобто часом, протягом якого напруга вихідного імпульсу зменшується до 0,1 свого максимального значення;

спадом вершини імпульсу, що визначається величиною ΔU .

Для зменшення перекручування форми вихідного імпульсу в підсилювачах широко застосовуються різного роду корекції.

3.4 Типова схема підсилювача імпульсних сигналів на пентоді

Для підсилення імпульсних сигналів звичайно використовують підсилювач напруги з резистором в анодному колі лампи, так як ця схема підсилювача має великий коефіцієнт підсилення та малі частотні перекручування сигналу. Для того, щоб підсилювач вносив малі частотні перекручування, він має пропустити на вхід всю основну частину спектра імпульсного сигналу. Щоб забезпечити такі вимоги, у підсилювача має бути мала величина нижньої граничної частоти $\omega_{н.гп.}$ і велика величина верхньої граничної частоти $\omega_{в.гп.}$.

Схема підсилювача на пентоді представлена на рис. 3.7.

Напруга вхідного сигналу $U_{вх}$ подається на керуючу сітку лампи, а підсилена напруга $U_{вих}$ знімається з резистора R_a і через розділовий конденсатор C_p надходить на вхід наступного каскаду.

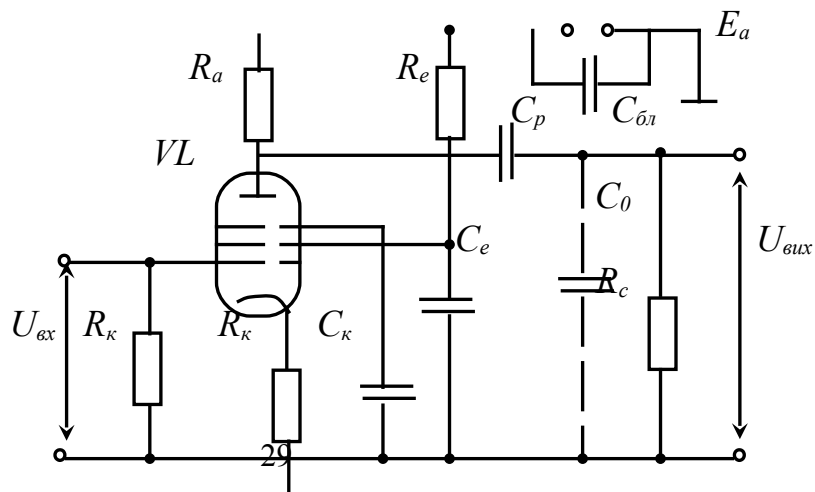


Рис. 3.7 - Схема підсилювача імпульсних сигналів на пентоді

Розглянемо призначення окремих елементів схеми:

лампа VL є активним елементом схеми та призначена для перетворення постійного струму джерела E_a в змінний струм під дією слабого вхідного сигналу. Джерело E_a призначене для живлення лампи;

R_a – резистор анодного навантаження, забезпечує роботу лампи в підсилювальному режимі;

R_K і C_K – коло автоматичного зсуву. Напруга зсуву створюється за рахунок протікання постійної складової струму катода I_{ka} через резистор R_K . Напруга зсуву $U_{zc} = I_{ka} R_K$ подається плюсом до катода, а мінусом – до керуючої сітки через резистор R_C . Конденсатор C_K шунтує резистор R_K по змінній складовій, завдяки цьому змінний струм протікає не по резистору R_K , а через конденсатор C_K , опір якого малий для змінного струму. Величина опору резистора R_K для більшості ламп має величину

50-5000 Ом. Величина C_K обирається з умови $x_{CK} = \frac{R_K}{20 \div 30}$ для

найнижчої частоти підсилюваного сигналу, тобто

$$C_K = \frac{20 \div 30}{2\pi f_{min} R_K}, \quad (3.2)$$

де R_K – опір витоку лампи.

Звичайно величина опору резистора $R_C = (5 - 10) R_a$ (для підсилювача відеосигналів).

C_p – розділовий конденсатор, що виконує наступні функції:

передає змінну складову анодної напруги з виходу одного каскаду на вхід іншого;

відділяє сітку наступного каскаду (лампи) від великої постійної анодної напруги попередньої лампи (каскаду).

У цього конденсатора має бути така ємність, щоб його опір був малим для низької частоти підсилюваного сигналу. Звичайно ємність розділових конденсаторів обирається в межах $(10^4 - 10^5)$ пФ. R_e, C_e – елементи кола живлення екранної сітки для забезпечення необхідного режиму роботи лампи. C_{bl} – блокувальний конденсатор джерела E_a . Він не пропускає змінну складову анодного струму через джерело живлення E_a .

Таким чином, кожен елемент схеми підсилювача виконує свої функції, але всі вони взаємозалежні та доповнюють один одного, що дозволяє поліпшити роботу підсилювача в цілому.

3.5 Електронно-дірковий перехід

Розглянемо фізичні процеси, які відбуваються у разі різкого (східчастого) переходу в напівпровіднику з різними типами провідності [1]. Вважаємо, що домішки повністю іонізовані, тобто концентрація основних носіїв $n_n = N_A$; $p_p = N_D$. Залежно від співвідношення N_A та N_D розрізняють симетричні ($N_A = N_D$) і несиметричні p - n -переходи. Останні позначають через n^+ - p або p^+ - n , де індекс (+) вказує на ділянку напівпровідника зі значно більшою концентрацією домішок. Розглянемо спочатку симетричні p - n -переходи. Шар на межі двох ділянок напівпровідника з електропровідністю p - і n - типів називають **електронно-дірковим переходом** або p - n -переходом. Мова йде не про простий контакт двох різних напівпровідників, а про єдиний кристал, одна ділянка якого легована акцепторною домішкою, а друга - донорною. Між електронною та дірковою ділянками такої структури завжди існує тонкий перехідний шар з певними властивостями. Поверхня, по якій контактують p - і n -ділянки, називають **металургійною межею**.

Проаналізуємо основні фізичні процеси в такому переході без зовнішнього електричного поля, тобто в зрівноваженому стані (рис. 3.8).

Розглянемо дифузію. Відразу після створення контакту під дією градієнта концентрації починається дифузія носіїв заряду з однієї ділянки напівпровідника в іншу. Як і за будь-якої дифузії, наприклад, у газах і рідинах, носії переміщуються звідти, де концентрація їх більша, туди, де концентрація їх менша. Таким чином, з напівпровідника n -типу в напівпровідник p -типу дифундують електрони, а у зворотному напрямі з напівпровідника p -типу в напівпровідник n -типу дифундують дірки. Це дифузійне переміщення електронів і дірок показано стрілками на рис.3.8,а.

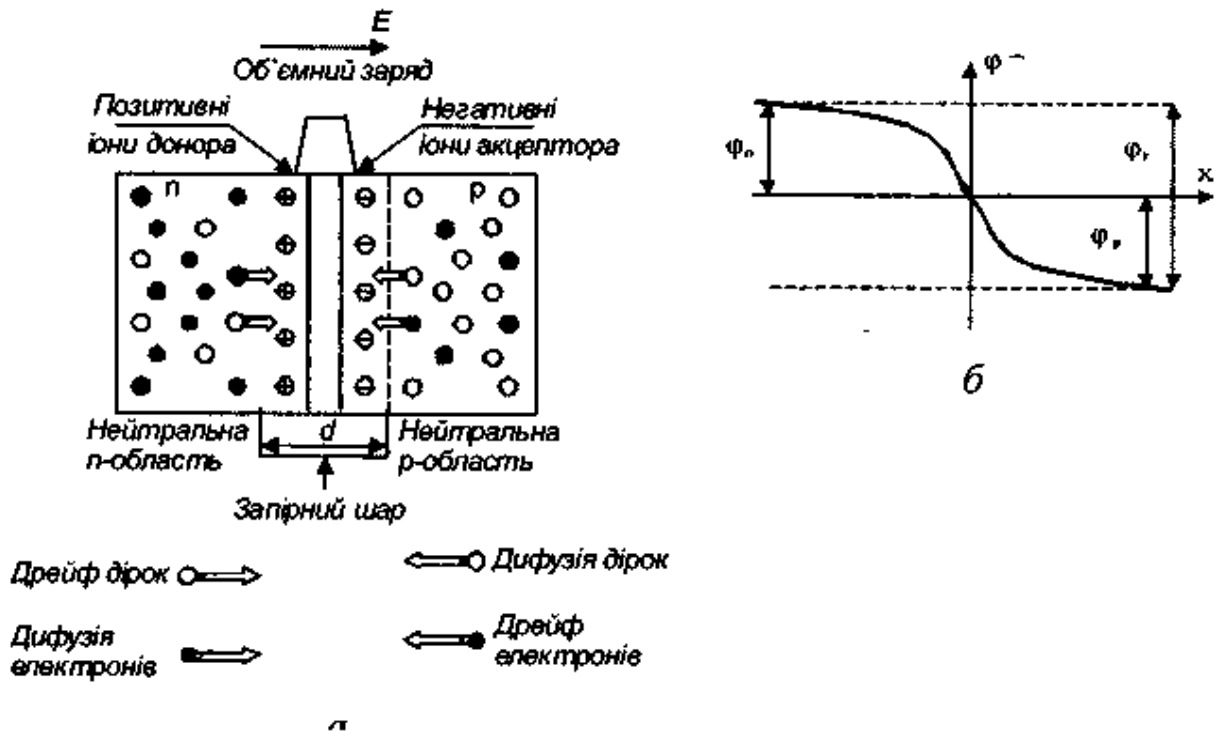


Рис. 3.8 - Електронно-дірковий перехід у рівновазі:
а - структура ЕДП; б - потенціальна діаграма

Розглянемо не скомпенсований об'ємний заряд. Унаслідок дифузії в p -ділянці біля металургійної межі накопичуються надлишкові електрони. Вони рекомбінують з дірками. Відповідно концентрація дірок у цій ділянці зменшується, що спричиняє появу не скомпенсованих негативних зарядів акцепторних атомів (негативних іонів акцепторів). Ліворуч від металургійної межі з'являються не скомпенсовані позитивні заряди донорних атомів (позитивні іони донорів). Описаному процесу сприяє також дифузія дірок з p -ділянки.

Некомпенсований об'ємний заряд формує електричне поле і забезпечує в p - n -переході стан термодинамічної рівноваги.

Розглянемо запірний шар. Простір об'ємних зарядів має різко знижену концентрацію рухомих носіїв в обох ділянках, внаслідок чого виникає розрідження носіїв (збіднення). Це створює збіднений шар. Такий шар між двома напівпровідниками з різними типами електропровідності або між напівпровідником і металом, збіднений носіями заряду, називають запірним шаром. Його ширину на рис. 3.8, а позначено літерою d .

Розглянемо розподіл концентрації носіїв у p - n -переході. Припустимо, що в напівпровіднику n -типу концентрація основних і неосновних носіїв дорівнює відповідно $n_n = 10^{18}$ і $p_n = 10^8 \text{ см}^{-3}$, а в напівпровіднику p -типу концентрація домішок менша і тому $p_p = 10^{16}$ і $n_p = 10^{10} \text{ см}^{-3}$. У p - n -переході концентрація електронів плавно змінюється від 10^{18} до 10^{10} см^{-3} ,

а концентрація дірок - від 10^{16} до 10^8 см^{-3} . У результаті в середній частині переходу утворюється прошарок з малою концентрацією носіїв (збіднений носіями шар). Для наведених вище значень на самій межі концентрація електронів становить 10^{14} см^{-3} , тобто вона в 10000 разів менша, ніж в n -ділянці, а концентрація дірок дорівнює 10^{12} см^{-3} , і вона теж у 10 000 разів менша, ніж в p -ділянці. Відповідно і питома електрична провідність p - n -переходу буде набагато меншою, ніж у нейтральних n - і p -ділянках напівпровідника. У збідненому шарі майже немає вільних носіїв заряду, тому його називають запірним шаром.

Розглянемо потенційний бар'єр. Між протилежними об'ємними зарядами, що утворилися на межі ЕДП, виникає контактна різниця потенціалів (або потенціальний бар'єр) $\varphi_k = \varphi_n - \varphi_p$ та електричне поле (вектор напруженості E).

Потенційний бар'єр - це різниця потенціалів між двома сусідніми речовинами або однорідними ділянками з різними електричними властивостями, зумовлена дифузією носіїв заряду від кожної з ділянок і створенням зони об'ємного заряду [1].

Потенціальну діаграму p - n -переходу за умови, якщо зовнішня напруга до переходу не прикладена, показано на рис. 3.8, б. На цій діаграмі, яка ілюструє розподіл потенціалу вздовж осі x , перпендикулярної до площини поділу двох ділянок напівпровідника, за нульовий потенціал взято потенціал межі.

Об'ємні заряди різних знаків виникають поблизу межі n - та p -ділянок, а позитивний потенціал φ_n або негативний φ_p формуються однаковими по всій ділянці n або p . Якби було не так, то виникла б різниця потенціалів, а отже, проходив би дрейфовий струм. У результаті все одно відбулось би вирівнювання потенціалу у цій ділянці. На рис. 3.8 для наочності використано викривлений масштаб. Насправді товщина p - n -переходу дуже мала порівняно з розмірами нейтральних ділянок p і n . Ділянки об'ємного заряду з кожного боку переходу мають заряд, протилежний заряду тих рухомих носіїв, які дифундують із цієї області. З розвитком дифузії розміри об'ємних зарядів збільшуються, збільшується висота потенціального бар'єра, а тому зростають сили, які відтягують назад основні носії заряду. Ці сили перешкоджають дифузійному потоку. Тому процес дифузії можна розглядати як само обмежувальний. Він триває доти, поки сили тяжіння некомпенсованих зарядів іонів домішок у шарі об'ємного заряду не врівноважать дифузійний потік.

Таким чином, нерухомі заряди утворюють електричне поле, значення якого пропорційне розмірам заряджених ділянок, а напрям такий, що обумовлює дрейф електронів або дірок назустріч дифузійному потоку. Тому підсумкове перенесення носіїв даного типу можна розглядати як різницю між перенесенням внаслідок дифузії та перенесенням внаслідок

дрейфу. За умови рівноваги дрейфові та дифузійні компоненти електронних і діркових потоків зрівноважують один одного, і повний струм у зовнішніх виводах дорівнює нулю. На рис. 3.8, а стрілками показано складові струмів, їх значення визначаються співвідношеннями (3.3, 3.4). Електронно-дірковий перехід без зовнішнього поля знаходиться у стані термодинамічної рівноваги, коли дифузійний струм у переході, зумовлений градієнтом концентрації носіїв заряду, зрівноважується зустрічним дрейфовим струмом, зумовленим напруженістю внутрішнього електричного поля в переході E_k :

$$I_{p\text{диф}} + I_{p\text{др}} = 0 ; \quad (3.3)$$

$$I_{n\text{диф}} + I_{n\text{др}} = 0. \quad (3.4)$$

Наявність у p - n -переході градієнтів концентрації носіїв і градієнтів потенціалу $\frac{dU}{dx}$ обумовлює суттєву відмінність його електрофізичних властивостей від властивостей прилеглих до нього n - і p -ділянок.

Висота потенціального бар'єра φ_k завжди встановлюється такою, за якої настає рівновага. За цієї умови визначають його значення. Висота бар'єра дорівнює контактній різниці потенціалів φ_k .

3.6 Напівпровідникові діоди

Випрямляючі діоди застосовують для перетворення змінного струму в пульсуючий, у схемах керування та комутації - як обмежувачі паразитних викидів напруг у колах з індуктивними елементами та як елементи розв'язки в електричних колах тощо [1].

Випрямлення змінного струму - один з поширених процесів в електротехніці та радіоелектроніці. У випрямлячах енергія змінного струму перетворюється в енергію постійного струму. Принцип випрямлення полягає у пропусканні змінного струму через вентильні елементи електричного кола. Для реалізації такого процесу використовують різку несиметрію ВАХ p - n -переходу. Напівпровідникові діоди є вентильними елементами. У разі перетворення промислового змінного струму робоча частота становить 50 Гц. Верхня межа робочих частот випрямних діодів зазвичай не перевищує 50 Гц... 100 кГц.

Найпростішу схему для випрямлення змінного струму показано на рис.3.9. Таку схему називають *однофазною однопівперіодною*.

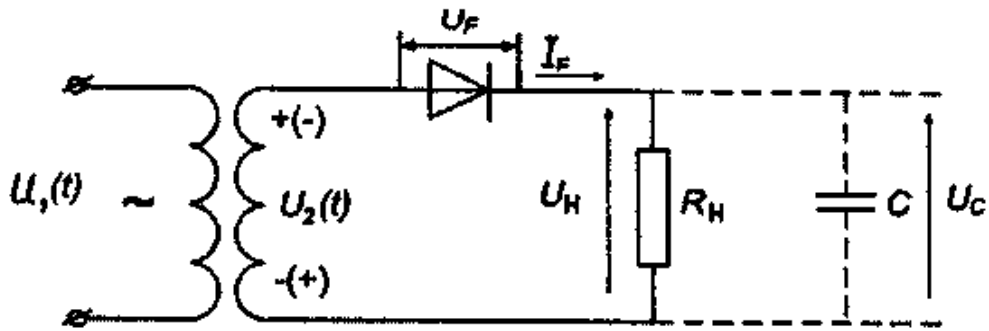


Рис. 3.9 - Схема однофазного однопівперіодного випрямляча

Інші, складніші схеми для випрямлення (двофазні, трифазні, двотактні та ін.) являють собою комбінацію кількох однофазних однотактних.

Розглянемо роботу найпростішого випрямляча. Будемо вважати, що на вторинній обмотці трансформатора напруга змінюється за синусоїдальним законом $U_2(t) = U_m \sin \omega t$.

Спочатку розглянемо роботу схеми без конденсатора. Протягом одного півперіоду (позитивного) напруга для діода є прямою, проходить струм $i(t)$ який спричиняє на резисторі навантаження R_H спад напруги $u_H(t)$. Протягом наступного півперіоду (негативного) напруга для діода є зворотною, струму майже немає і тому $u_H = 0$.

Отже, через діод і резистор навантаження проходить пульсуючий струм. Це випрямлений струм. Він створює на резисторі R_H випрямлену напругу. . Опір навантаження, як правило, в багато разів більший від опору діода, і тоді не лінійністю діода можна знехтувати. У цьому разі випрямлений струм має форму імпульсів, наближену до півсинусоїди з максимальним значенням I_{max} . Цей самий графік струму в іншому масштабі відображає випрямлену напругу U_H оскільки $U_H = IR_H$.

3.7 Класифікація підсилювачів

Підсилювачі класифікуються:

- за призначенням підсилювача;
- за способом вмикання підсилювального елемента;
- за видом навантаження;
- за характером вхідного сигналу.

За призначенням підсилювачі можуть бути: підсилювачами напруги, підсилювачами потужності, підсилювачами струму. Такий поділ

підсилювачів залежить від того, яка з цих величин на виході має бути більшою, ніж на вході.

За способом вмикання підсилювального елемента лампові підсилювачі розділяють:

- підсилювачі з загальним катодом;
- підсилювачі з загальним анодом;
- підсилювачі з загальною сіткою.

Відповідно транзисторні підсилювачі підрозділяються на:

- підсилювачі з загальним емітером;
- підсилювачі з загальним колектором;
- підсилювачі з загальною базою.

За видом навантаження підсилювачі поділяють на резонансні й аперіодичні [5].

Резонансні підсилювачі застосовуються для підсилення сигналів тільки у визначеній смузі частот. Як навантаження ці підсилювачі мають коливальний контур.

Аперіодичні підсилювачі застосовуються для поліпшення електричних сигналів у широкому діапазоні частот.

За характером вхідного сигналу підсилювачі розрізняють:

- підсилювачі безперервних сигналів;
- підсилювачі імпульсних сигналів;
- підсилювачі постійного струму.

4 МІКРОЕЛЕКТРОНІКА ТА ЦИФРОВА ТЕХНІКА

4.1 Основні терміни і визначення в мікроелектроніці

Сучасні радіоелектронні пристрої та системи будуються з використанням виробів мікроелектроніки.

Мікроелектроніка - це науково-технічний напрям електроніки, який охоплює проблеми дослідження, конструювання та виготовлення високонадійних й економічних мікромініатюрних електронних схем і пристроїв фізичними, хімічними, схемотехнічними та іншими методами.

Першим завданням мікроелектроніки є створення максимально надійних електронних схем і пристроїв. Це завдання вирішується переважно за якісно новими принципами виготовлення електронної апаратури, тобто відмовленням від використання дискретних елементів і створенням інтегральної мікросхеми (ІМС), в яких активні елементи (транзистори, діоди), пасивні елементи (резистори, конденсатори) та з'єднувальні елементи електронної схеми формуються на поверхні або в об'ємі напівпровідникового кристала або на поверхні діелектричної підкладки в єдиному технологічному циклі. Мінімальна

кількість внутрішніх з'єднань дає можливість різко підвищити надійність мікроелектронної апаратури. Саме цим долаються складні суперечності між зростаючими вимогами до надійності електронної апаратури та її стрімким ускладненням [6].

Другим завданням мікроелектроніки є зниження вартості електронних схем і пристроїв. Це завдання вирішується формуванням за один технологічний цикл структур різних елементів, між елементних з'єднань та контактних площинок для багатьох ІМС на відносно великій напівпровідниковій пластині або на діелектричній підкладці з подальшим розподілом відповідно на кристали або на плати ІМС. При цьому вдається уникнути багатьох нераціональних технологічних операцій, зменшити кількість внутрішніх з'єднань, виключити роздільну герметизацію окремих елементів і значно скоротити кількість складальних операцій у процесі виготовлення дискретних елементів та їх монтажу. Ці переваги ІМС набувають більшої значущості в міру їх ускладнення та зростання в них кількості елементів. Поруч з вирішенням цих двох найважливіших завдань мікроелектроніки створення та використання ІМС сприяють різкому зменшенню маси та об'єму електронної апаратури порівняно з масою та об'ємом апаратури на дискретних елементах, а також зменшенню споживаної потужності.

Інтегральна мікросхема або інтегральна схема - це електронний пристрій, який виконує певну функцію перетворення, обробки та (або) накопичення інформації та має високу щільність розміщення неподільно виконаних елементів і (або) компонентів, які електричне з'єднані між собою таким чином, що з огляду технічних вимог, випробувань, торгівлі й експлуатації пристрій розглядається, як єдиний виріб.

Інтегральні мікросхеми виготовляють в єдиному технологічному циклі (тобто одночасно) на одній і тій самій несучій конструкції (підкладці або напівпровідниковій пластині).

Поняття "інтегральна схема" відображає факт об'єднання (інтеграції) окремих елементів і компонентів електронних схем у конструктивно єдиному приладі, а також факт ускладнення функцій виконуваних ІМС.

У процесі виготовлення та експлуатації ІМС вживаються спеціалізовані терміни. Виділимо найпоширеніші з них.

Елемент ІМС - це сформована в єдиному технологічному процесі частина ІМС, яка реалізує функцію одного з електрорадіоелементів (транзистора, конденсатора, індуктивності та ін.), виконана неподільно від кристала або підкладки та не може бути виділена як самостійний виріб із вимогами до випробувань, приймання, поставки та експлуатації.

Компонент ІМС - це частина ІМС, яка реалізує функцію одного з електрорадіоелементів або їх сукупності (наприклад, мініатюрний дискретний транзистор, конденсатор великої ємності, Безкорпусна ІМС) і за вимогами до випробувань, приймання, поставки та експлуатації може бути виділена як самостійний виріб.

Підкладка ІМС - це конструктивна та функціональна частина ІМС, виготовлена, як правило, з напівпровідникового або діелектричного матеріалу та призначена для формування на її поверхні елементів ІМС, між елементних і між компонентних з'єднань і контактних площинок.

Напівпровідникова пластина - заготовка з напівпровідникового матеріалу (зазвичай це круглий диск товщиною 300...400 мкм), яку використовують для виготовлення напівпровідникових ІМС. Цей термін вживають також до пластин зі сформованими елементами напівпровідникових ІМС.

Кристал ІМС - конструктивно виділена частина напівпровідникової пластини, в об'ємі та на поверхні якої сформовані елементи напівпровідникової ІМС, між елементні з'єднання, а по периметру - контактні площинки. Кристали ІМС одержують після закінчення повного технологічного циклу формування елементів та різання напівпровідникової пластини, яка складається з сотень однотипних кристалів. У кристалі формуються функціонально закінчені напівпровідникові ІМС. В іноземній літературі їх називають чинами.

Контактна площинка - це металізована ділянка на платі або на кристалі, яка служить для приєднання зовнішніх виводів ІМС, контактів навісних компонентів, а також для контролю її електричних параметрів і режимів. Такі елементи є у будь-якій ІМС незалежно від технологічних і функціональних особливостей.

Корпус ІМС - це частина конструкції, яка захищає кристал або основу від зовнішнього впливу та забезпечує з'єднання ІМС із зовнішніми електричними колами за допомогою виводів. Інтегральні мікросхеми упаковують в корпус. Типи та розміри корпусів ІМС є об'єктами державної стандартизації.

Мікросполученням називають мікроелектронні вироби, які складаються з елементів, компонентів, ІМС та інших електрорадіоелементів, з'єднаних між собою певним способом для виконання певної функції, та розробляються конструкторами конкретної радіоелектронної апаратури (РЕА) з метою поліпшення її показників в мініатюризації. З мікро складань компонують мікро блоки.

Мікроблок - мікроелектронний виріб, який, крім мікро складань, може також мати ІМС та інші компоненти у різних поєднаннях.

Безкорпусна інтегральна схема - це ІМС широкого призначення, яку використовують для створенні мікро складань та мікро блоків. Така ІМС не має власного захисту від зовнішнього впливу. Повний захист такої схеми забезпечується корпусом пристрою, в який цю ІМС вмонтовано.

Тип ІМС - ІМС конкретного функціонального призначення та певного конструктивно-технологічного та схемно-технічного вирішення, що має своє умовне позначення.

Типономінал ІМС - ІМС конкретного типу, що відрізняються від інших мікросхем того ж типу одним або кількома параметрами та вимогами до зовнішніх діючих факторів.

Інтегральні мікросхеми розробляють і виготовляють серіями.

Серія ІМС - сукупність типів ІМС, які виконують різні функції, але мають єдину конструктивно-технологічну та електричну будову, а у разі потреби - інформаційну та програмну сумісність, і призначені для сумісного застосування в РЕА. Усі ІМС однієї серії мають зазвичай однаковий корпус.

Група типів ІМС - це сукупність типів ІМС у межах однієї серії, які мають аналогічне функціональне призначення та принцип дії, властивості яких описуються однаковими та близькими за складом електричними параметрами.

4.2 Особливості інтегральних схем, як нового типу напівпровідникових приладів

Оскільки ІМС так само, як і електронні лампи або транзистори керують потужністю, яка поступає від зовнішнього джерела живлення з навантаженням, тобто є активними елементами РЕА, вони належать до електронних приладів. Інтегральні схеми являють собою конструктивно одне ціле, виконують певну функцію та повинні задовольняти певні вимоги під час випробувань, постачання та експлуатації. Однак порівняно з дискретними діодами та транзисторами ІМС є якісно новим типом активних елементів.

Одна з головних особливостей ІМС, як електронного приладу, полягає в тому, що вона самостійно виконує закінчену, часто дуже складну, функцію, тоді як елементарні (дискретні) електронні прилади виконують аналогічну функцію тільки в ансамблі з іншими компонентами.

Другою важливою особливістю ІМС є те, що підвищення функціональної складності цього приладу порівняно з дискретними компонентами не супроводжується погіршенням якого-небудь з основних показників (надійності, вартості тощо). Більше того, всі ці показники поліпшуються.

Третя особливість ІМС полягає в широкому використанні структур активних елементів для формування пасивних. Принцип протилежний тому, який притаманний дискретній транзисторній техніці, в якій активні елементи, особливо транзистори, є найдорожчими, і тому оптимізація схеми за інших умов досягається зменшенням кількості активних компонентів. В ІМС задається вартість не елемента, а кристала, тому доцільно розміщувати на кристалі якомога більше елементів з мінімальною площею. Мінімальну площу мають активні елементи (транзистори, діоди), а максимальну - пасивні (резистори, конденсатори).

Суміжні елементи в ІМС знаходяться один від одного на відстані 50...100 мкм. На таких малих відстанях різниця електрофізичних властивостей

матеріалу малоймовірна. Крім того, одночасно в єдиному технологічному процесі формуються сотні тисяч і більше елементів. Отже, малоймовірним є значний розкид параметрів суміжних елементів. Параметри суміжних елементів взаємопов'язані - корельовані.

Створення функціональних вузлів і блоків РЕА на базі ІМС не потребує порівняно з традиційними методами виробництва апаратури на дискретних компонентах великої кількості технологічних операцій (особливо таких ненадійних і трудомістких, як з'єднання та монтаж елементів). Крім того, низько надійні з'єднання компонентів вилучаються та замінюються високо надійними з'єднаннями елементів методом металізації.

В ІМС формуються деякі типи елементів, які не мають дискретних аналогів (багатоємні транзистори, елементи з інжекційним живленням, прилади з зарядовим зв'язком тощо). З їх використанням відкриваються додаткові схемотехнічні та технологічні можливості для побудови мікроелектронної апаратури з поліпшеними показниками надійності, габаритних розмірів, швидкодії та ін.

4.3 Класифікація інтегральних мікросхем

Інтегральні мікросхеми поділяють за технологією виготовлення, ступенем інтеграції, функціональним призначенням. За принципами будови та технологією виготовлення ІМС поділяють на такі основні типи: напівпровідникові, плівкові, гібридні, суміщені.

Напівпровідниковою називають ІМС, яка має один кристал напівпровідника, в об'ємі та на поверхні якого спеціальними технологічними методами сформовані всі елементи, між елементні з'єднання та контактні пластинки.

Усі елементи напівпровідникової ІМС зв'язані між собою паразитними ємностями та провідностями, що зумовлено щільним упакуванням елементів і недосконалістю методів ізоляції. Перевагами ІМС є вища надійність (менше контактних з'єднань), більша механічна міцність, зумовлена меншими розмірами елементів (приблизно на порядок), менша собівартість завдяки ефективному використанню переваг групової технології.

Напівпровідникові ІМС відрізняються швидкістю, високою щільністю упакування, мінімальною потужністю споживання та низькою вартістю виготовлення. Аналогові ІМС мають великий вхідний опір (понад 10^9 Ом).

Виробництво напівпровідникових ІМС потребує особливих виробничих приміщень, складного обладнання, строгого виконання технологічних операцій. Тому виготовлення таких ІМС стає економічно доцільним лише за умовами масового виробництва (мільйонів штук у рік на одному комплекті обладнання). Через це за напівпровідниковою технологією виготовляють цифрові ІМС та ІМС для реалізації стандартних аналогових функцій, а також

високонадійні мікросхеми для побудови РЕА з найвищою щільністю упакування.

Плівкова ІМС - це мікросхема, елементи та між елементні з'єднання якої виконано за допомогою плівок необхідної форми з різними електрофізичними властивостями на поверхні діелектричної підкладки або діелектричної плівки. Залежно від способу формування плівок і відповідно їх товщин розрізняють тонко плівкові ІМС (товщина плівок 1...2 мкм) та товсто плівкові ІМС (товщина плівок 10...20 мкм і більше). Плівкова технологія не дозволяє одержувати активні елементи із задовільними параметрами. Суто плівкові схеми є пасивними ІМС (це здебільшого резистивні подільники напруги, набір резисторів і конденсаторів, резисторно-ємнісні схеми). Плівкові інтегральні елементи найчастіше використовують разом із мініатюрними дискретними електрорадіо елементами.

Тонко плівкові ІМС мають ряд переваг перед товсто плівковими: без підгонки можна одержати вужчі допуски на номінали елементів (резисторів і конденсаторів), досягається вища щільність упакування елементів на підкладці.

У дуже складних аналогових схемах з малими допусками на номінали елементів, для яких необхідна надвисока стабільність резисторів, переважно використовують тонко плівкові ІМС. Слід зауважити, що за обмеженої кількості виготовлення плівкових ІМС недоцільно налагоджувати їх виробництво, яке потребує великих капітальних затрат. У цьому разі перевагу віддають товсто плівковій технології.

Товсто плівкова технологія має такі переваги перед тонко плівковою: меншу вартість розробки та виготовлення в дрібносерійному виробництві, значно менші капітальні затрати для організації виробництва (простіше обладнання, менш жорсткі вимоги до виробничих приміщень), така технологія забезпечує більшу механічну міцність, високу вологостійкість, корозостійкість і теплостійкість, а також менші паразитні ємності та взаємовплив елементів.

Гібридною ІМС (ГІС) називають ІМС, яка має діелектричну основу, пасивні елементи (R , C , L) на її поверхні формують у вигляді одношарових або багатошарових плівкових структур, з'єднаних нерозривними плівковими провідниками, а напівпровідникові прилади (активні елементи), у тому числі без корпусні ІМС (кристали) та інші компоненти (мініатюрні конденсатори, резистори й індуктивності великих номіналів) розміщені на основі у вигляді дискретних навісних деталей. До гібридних належать також мікросхеми, які складаються з кількох кристалів, з'єднаних між собою та змонтованих в одному корпусі (багато кристальні ІМС)

Гібридні ІМС поступаються напівпровідниковим за надійністю, щільністю упакування та собівартістю, але мають в ряді випадків особливі схемотехнічні переваги завдяки широкій номенклатурі навісних компонентів (транзисторів, мікро індуктивностей, конденсаторів великої ємності та ін.).

Гібридна технологія дуже гнучка. Вона дозволяє порівняно швидко створювати електронні пристрої, що виконують досить складні функції.

Комплект обладнання для виготовлення ПС дешевші, ніж для виготовлення напівпровідникових ІМС, а сам технологічний процес набагато простіший, тому освоєння гібридної технології посильне майже для будь-якого радіоелектронного підприємства.

Перевагою гібридної технології є також більший відсоток виходу придатних ІМС (60...80 % порівняно з 5...30 % для напівпровідникових). Завдяки малим паразитним ємностям та надійній ізоляції між елементами та компонентами ГІС має кращі електричні властивості. На таких схемах найчастіше створюють аналогову апаратуру, в якій використовують конденсатори великої ємності, високоомні, високо стабільні або прецизійні резистори.

У суміщених ІМС активні елементи виконано в поверхневому шарі напівпровідникового кристала (як у напівпровідниковій ІМС), а пасивні нанесені за допомогою плівок на попередньо ізольовану поверхню того самого кристала (рис. 4.1). Таку технологію використовують для створення ІМС з високими номіналами та високою стабільністю опорів та ємностей, що легше забезпечити плівковими елементами, ніж напівпровідниками.

Виготовляючи всі типи ІМС, між'єднання елементів виконують за допомогою тонких металевих смужок, які напилюють або наносять на поверхню підклади, що в потрібних місцях контактують з елементами. Процес нанесення цих з'єднувальних смужок називають металізацією, а сам "рисунок" між'єднань - металевою розводкою.

За характером виконуваних функцій ІМС поділяють на дві категорії: аналогові та цифрові.

Аналогові ІМС виконують функції перетворення та обробки електричних сигналів, які змінюються за законом неперервної функції, їх застосовують як підсилювачі, генератори гармонічних сигналів, детектори, стабілізатори напруги, фільтри тощо.

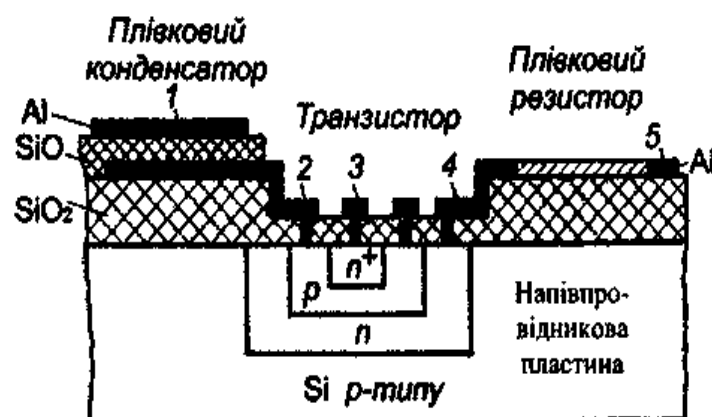


Рис. 4.1 - Структури суміщеної ІМС

Цифрові інтегральні мікросхеми (ЦІС) призначені для обробки та перетворення електричних сигналів, що змінюються за законом дискретної функції. Активні елементи в таких ІМС працюють у ключовому режимі та забезпечують два стани схем: "Відкрито" та "Закрито" (насичення та відсікання).

Кількісно рівень розвитку інтегральної техніки та складності ІМС визначають показником, який називається ступенем інтеграції (К). Він враховує сумарну кількість елементів N , які знаходяться в ІМС і визначається за формулою $K = lqN$. При цьому ІС з кількістю елементів близько 10 - це мікросхеми першого ступеня інтеграції, з кількістю 11... 100-другого ступеня, з кількістю елементів 101...1000, 1001...10000, 10001...100000 - мікросхеми третього, четвертого та п'ятого ступенів інтеграції відповідно. Обчислюючи К, його заокруглюють до найближчого більшого цілого числа.

Широко вживають також терміни: мала ІМС (МІС), середня ІМС (СІС), велика ІМС (ВІС), і надвелика ІМС (НВІС).

Мала інтегральна схема має до 100 елементів включно. До СІС належать цифрові ІМС з кількістю елементів 101... 1000 включно і аналогові ІМС з кількістю елементів 101 ...500 включно.

Велика інтегральна схема має 1000... 10000 елементів включно: для ЦІС з регулярною структурою побудови 500...50000 елементів включно для ЦІС з нерегулярною структурою побудови та 500...1000 включно для аналогових ІМС.

До ЦІС з регулярною структурою побудови належать схеми запам'ятовувачів та схеми на основі базових матричних кристалів, а до ЦІС з нерегулярною структурою побудови - схеми обчислювачів.

До НВІС належать: ЦІС з регулярною структурою з кількістю елементів понад 100000, ЦІС з нерегулярною структурою з кількістю елементів понад 50000 та аналогові ІМС із кількістю елементів понад 10000.

Більшість аналогових ІМС належать до МІС та СІС, але виготовляють гібридні ВІС, а також надвеликі інтегральні схеми. Цифрові ІМС, які містять логічні елементи, тригери та прості цифрові пристрої, являють собою малі та середні мікросхеми, а складні обчислювальні комплекти (мікропроцесори) та запам'ятовувальні пристрої - ВІС і НВІС.

Досягнення мініатюризації ІМС оцінюють щільністю упакування. Цей показник визначають відношенням сумарної кількості елементів ІМС та (або) елементів, які є у складі компонентів, до об'єму ІМС.

4.4 Система умовних позначень інтегральних мікросхем

Повне умовне позначення ІМС складається з чотирьох елементів. Перший елемент - цифра, що характеризує групу ІМС за конструктивно-

технологічним виконанням: 1, 5, 7- напівпровідникові; 2, 4- гібридні; 3 - інші (плівкові, вакуумні, керамічні тощо); 8, 9, 0 - резерв.

Другий елемент - цифра, що характеризує підгрупу ІМС за конструктивно-технологічним виконанням.

Третій елемент - одна або дві цифри, що позначають порядковий номер розробки серії ІМС.

Четвертий елемент - дві літери, що визначають групу та вид ІМС за функціональним призначенням. Для ідентифікації цих літер, тобто визначення групи ІМС (генератори, логічні схеми, підсилювачі) та виду (генератор гармонічних сигналів, елемент "НІ"), необхідно скористатися таблицями, які в повному обсязі наводяться в довідниках та державному стандарті ДСТУ 3212-95. Назви деяких широко вживаних груп і видів ІМС наведено в табл. 4.1.

П'ятий елемент - дві цифри, що позначають порядковий номер розробки ІМС за функціональним призначенням у даній серії.

Три перші елементи позначають серію ІМС. Наприклад, мікросхема 140УД7- інтегральний напівпровідниковий операційний підсилювач (УД) з порядковим номером розробки 40 серії 140 з порядковим номером розробки даної схеми в серії за функціональною ознакою 7.

Для врахування розкиду електричних параметрів ІМС у межах даного типоміналу в кінці умовного позначення може бути добавлена літера. В умовних позначеннях ІМС широкого застосування на початку позначення ставиться літера К. Після цієї літери може бути також наведено умовне позначення корпусу мікросхеми (пластмасовий - П, керамічний -І). Літера Б відповідає безкорпусному варіанту ІМС.

В умовне позначення безкорпусних ІМС вводиться через дефіс цифра, яка характеризує конструктивні особливості мікросхеми: 1 - з гнучкими выводами, 2 - з стрічковими (павучковими) выводами, 3 - з жорсткими выводами, 4 - на спільній пластині (нероздільні), 5 - розділені без втрати орієнтації, 6 - з контактними площинками без выводів (кристал), наприклад, КБ710УД4-4.

Для захисту елементів і компонентів ІМС від дії зовнішнього середовища - пилу, вологи, механічних і електромагнітних дій - кристал герметизують за допомогою ізоляційних матеріалів або щільної герметизації, використовуючи вакуум. Це ускладнює конструкцію ІМС, але істотно підвищує її надійність. Виготовляється велика номенклатура корпусів для ІМС. Усі вони стандартизовані і тому наперед визначають правила встановлення та монтажу ІМС на друкованих платах.. Отже, крім прямого призначення, корпус ІМС повинен мати конструктивні характеристики, особливо за габаритними розмірами та розміщенням выводів.

Промисловість випускає корпуси ІМС круглої та прямокутної форми. Корпус круглої форми - це модифікований метало скляний корпус транзисторів

із збільшеною кількістю виводів. Спочатку кількість виводів було збільшено до 8, а потім до 12.

Таблиця 4.1 - Групи та види ІМС за функціональним призначенням

Група та літерне позначення	Вид і літерне позначення елементів	Літерне позначення групи та виду
Логічні елементи «Л»	І-Й	ЛИ
	НІ-Н	ЛН
	АБО-Л	ЛЛ
	І-НІ-А	ЛА
	АБО-НІ-Е	ЛЕ
	І-АБО-С	ЛС
	І-АБО-НІ-Р	ЛР
Підсилювачі «У»	Високої частоти - В	УВ'
	Низької частоти – Н	УН
	Операційні та диференціальні - Д	УД
Генератори «Г»	Гармонічних сигналів – С	ГС
	Прямокутних сигналів – Г	ПС

Прямокутні корпуси поділяють на дві основні групи: з плечарними виводами, розміщеними в площі корпусу, та з штирьовими виводами. У поперечному розрізі виводи можуть бути круглої, квадратної або прямокутної форми.

Мікросхеми в круглих і прямокутних корпусах зі штирьовими виводами встановлюють на друкованих платах.

4.5 Схеми побудови логічних елементів

Комп'ютер, як і будь-який електронний пристрій, складається з визначеного набору типових електронних елементів і вузлів. Електронний елемент є з'єднання різних радіодеталей – резисторів, конденсаторів, діодів, транзисторів – у вигляді електричної схеми, яка виконує визначену задану функцію. В свою чергу електронний вузол складається з необхідного набору електронних елементів і виконує більш складну функцію.

Елементи ЕОМ можна класифікувати за різними ознаками: функціональним призначенням: типом зв'язку, логіці роботи та полярністю; електричними, експлуатаційними й економічними

параметрами; способом живлення; технологією виготовлення; конструктивним виконанням та ін.

Розглянемо більш докладно класифікацію елементів за функціональним призначенням, оскільки це допоможе зрозуміти пристрій та принцип дії комп'ютера [6].

За функціональним призначенням елементи можна розділити на логічні, пам'яті (збереження інформації), допоміжні та спеціальні.

Логічні елементи призначені для логічного перетворення інформації, яка представляється числами в двійковій системі числення, й умовно підрозділяються:

– на елементи, які реалізують основні логічні операції (елементи I , $АБО$, $НЕ$);

на елементи, які реалізують універсальні логічні функції (елемент Шеффера – $I-НЕ$, елемент Пирса – $АБО-НЕ$);

на елементи, які реалізують кілька функцій (функціональні логічні елементи);

на елементи, які реалізують бажані функції (адаптивні логічні елементи).

Елемент I (кон'юнктор) є двійковим логічним елементом, який реалізує операцію логічного множення (кон'юнкцію). На виході кон'юнктор сигнал " I " з'являється тільки в тому випадку, коли на всіх його входах одночасно є сигнал " I ".

На рис. 4.2,а умовне зображення логічного елемента I на два входи (X_1 та X_2 - входи, Y – вихід), а на рис. 4.2,б наведена таблиця істинності (станів), яка пояснює логіку роботи елемента. Логічне рівняння елемента I на два входи, складене на підставі таблиці істинності, можна записати у вигляді $Y = X_1 \cdot X_2$.

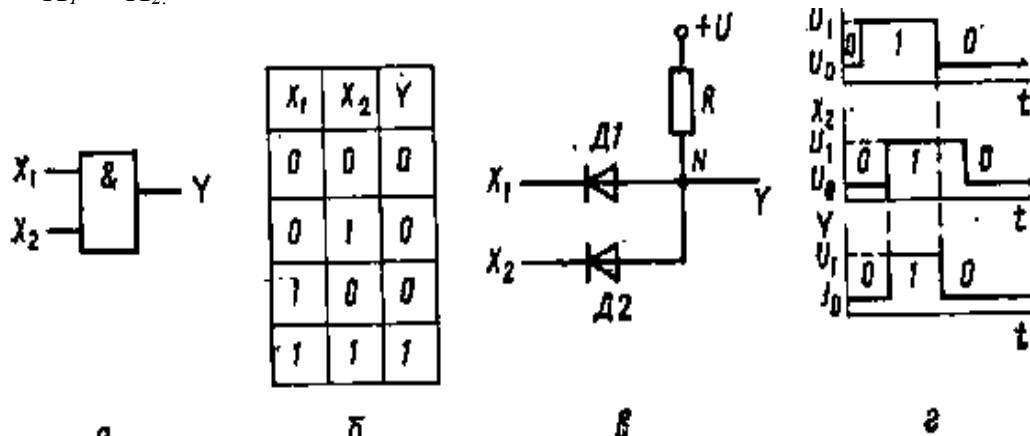


Рис. 4.2 – Логічний елемент I :

а – умовне зображення елемента; б – таблиця істинності;

в – принципова електрична схема; г – часова діаграма роботи

На рис. 4.2,в зображена принципова електрична схема кон'юнктора на два входи. Схема складається з двох діодів ($D1$, $D2$), резистора (R) та

джерела живлення ($+U$). На рис. 4.2,г наведена часова діаграма, яка пояснює роботу схеми.

Принцип роботи схеми наступний. Якщо на обидва входи кон'юнктор надійшли сигнали, амплітуди яких U_0 , то рівень вихідного сигналу в точці N (вихід схеми) буде дорівнювати U_0 . Якщо ж амплітуда одного з вхідних сигналів (кожного) буде U_0 , а другого – U_1 , то рівень вихідного сигналу буде дорівнювати U_0 . Якщо амплітуди обох вхідних сигналів U_1 , тоді рівень вихідного сигналу буде U_1 .

Елемент АБО (диз'юнктор) є двійковим логічним елементом, який реалізує операцію логічного додавання (диз'юнкцію). На виході диз'юнктора з'являється сигнал "1" тільки в тому випадку, якщо хоча б на одному з його входів є сигнал "1".

На рис. 4.3,а умовне зображення логічного елемента АБО на два входи (X_1 та X_2 – входи, Y – вихід), а на рис. 4.3,б наведена таблиця істинності, яка пояснює логіку роботи елемента.

Логічне рівняння елемента АБО на два входи, складено на основі таблиці істинності, може бути записано у вигляді $Y = X_1 + X_2$.

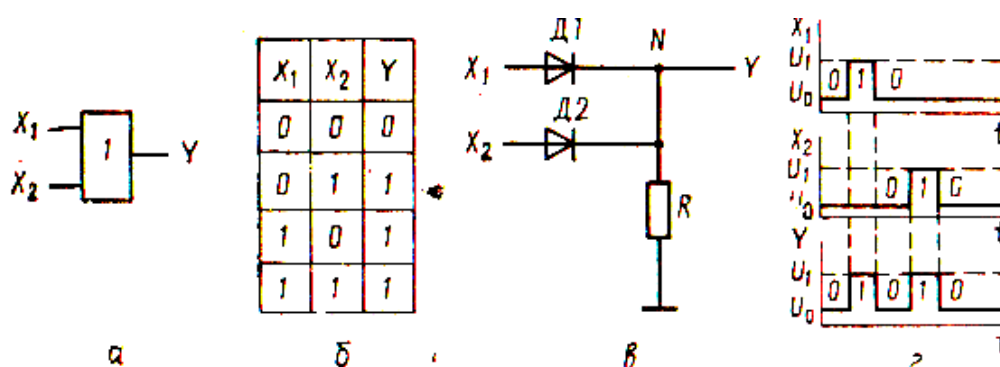


Рис. 4.3 – Логічний елемент АБО:

а – умовне зображення елемента; б – таблиця істинності;

в – принципова електрична схема;

г – часова діаграма роботи

На рис. 4.3,в зображена принципова електрична схема диз'юнктора на два входи. Схема складається з двох діодів ($D1, D2$) і резистора (R). На рис. 4.3,г наведена часова діаграма, яка пояснює роботу схеми.

Принцип роботи схеми наступний. Якщо на обидва входи диз'юнктора надійшли сигнали, амплітуди яких дорівнюють U_0 , то діоди закриті та рівень вихідного сигналу в точці N (вихід схеми) буде дорівнювати U_0 . Якщо ж амплітуда одного з вхідних сигналів (кожного)

буде дорівнювати U_0 , а другого – U_1 , то один з діодів буде відкритий і через резистор R протікає струм, який створює на ньому спадання напруги, при якій рівень вихідного сигналу буде U_1 .

На рис. 4.4,а умовне зображення елемента Шеффера на два входи (X_1 та X_2 – входи, Y – вихід), а на рис. 4.4,б наведена таблиця істинності, що пояснює логіку роботи елемента. На підставі цієї таблиці логічне рівняння елемента Шеффера можна записати у вигляді $Y = X_1 \cdot X_2$.

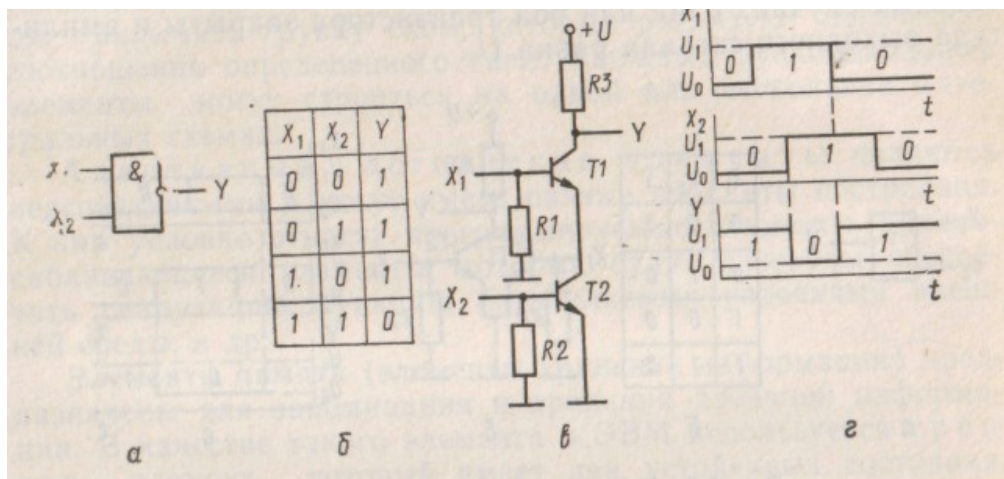


Рис. 4.4 – Логічний елемент *I-NE*:

а – умовне зображення елемента; б – таблиця істинності;
в – принципова електрична схема; г – часова діаграма роботи

На рис. 4.4,в зображена принципова електрична схема елемента Шеффера на два входи, яка складається з двох транзисторів ($T1$ та $T2$), трьох резисторів ($R1$, $R2$, $R3$) і джерела живлення ($+U$). На рис. 4.4,г наведена часова діаграма, яка пояснює роботу схеми.

Принцип роботи схеми наступний. Якщо на обидва входи схеми одночасно надходять сигнали, амплітуда яких дорівнює U_1 , то обидва транзистора ($T1$ та $T2$) відкриті та рівень вихідного сигналу дорівнює U_0 . В усіх інших випадках один чи обидва транзистора закриті й амплітуда вихідного сигналу дорівнює U_1 .

4.6 Асинхронні машини

Асинхронна машина – машина змінного струму, у якої швидкість ротора при постійній частоті змінного струму, приєднаної до неї мережі, змінюється в залежності від навантаження на валі.

Асинхронні машини застосовують, головним чином, для перетворення електричної енергії у механічну, тобто як двигуни, хоча вони

можуть працювати у режимах електромагнітних гальм, генераторів, перетворювачів частоти, трансформаторів і інших пристроїв.

Номінальна потужність асинхронних машин охоплює широкий діапазон від часток вата до десятків кіловатів.

У промислових установках часто використовуються трифазні асинхронні двигуни, що випускають у вигляді уніфікованих серій. До них відноситься єдина серія 4А з діапазоном номінальної потужності від 0,06 до 400 кВт, машини якої відрізняються великою надійністю, гарними експлуатаційними якостями та відповідають рівню світових стандартів.

Однофазні та двофазні асинхронні двигуни малої потужності використовують в установках автоматичного управління різних систем, пристроях автоматики та телемеханіки, приладобудування, кінотехніки та звукозапису, для привода електрифікованих інструментів, медичних і побутових приладів. Ці машини виготовляються номінальною потужністю до 500 Вт.

Асинхронна машина складається з нерухомого статора й обертового всередині нього ротора, розділених рівномірним повітряним зазором, радіальний розмір якого залежить від номінальної потужності машини, її швидкохідності та змінюється від часток міліметра до декількох міліметрів.

Статор, у свою чергу, складається зі станини, підшипникових щитів, магнітопроводу та розміщеної в його пазах обмотки. Станина та підшипникові щити утворюють корпус машини, який виконують чавунним, сталевим, а при невеликій потужності – з алюмінієвого сплаву.

Магнітопровід статора є порожній феромагнітний циліндр із подовжніми внутрішніми пазами, розташованими симетрично уздовж внутрішньої окружності. Для зменшення втрати енергії на перемагнічування та вихрові струми його збирають із тонких листів електротехнічної сталі, що ізолюють друг від друга тонким шаром лаку або окалини. Ці листи стягнуті шпильками, а в пази покладена трифазна обмотка статора. Магнітопровід з обмоткою просочують рідкими ізолюючими речовинами та після сушіння упресовують в станину.

У пазах статора трифазної асинхронної машини розташовують $3p$ однакових багатовиткових котушок, виконаних ізольованим мідним або алюмінієвим проводом круглого або прямокутного перетину, які ізольовані від магнітопроводу статора електрокартоном, слюдою, асбестом, або скловолокном та іншим ізоляційним матеріалом.

Кожна група з p послідовно або паралельно з'єднаних котушок належить одній фазі обмотки статора, а магнітні осі двох сусідніх фаз зміщені відносно один одного на 120 град або на $\frac{120^\circ}{p}$, де p – число пар полюсів машини.

Сукупність трьох фаз, розміщених у пазах магнітопроводу статора, утворює його трьохфазну обмотку з шістьма виводами назовні, з яких три, що відповідають початкам фаз, приєднані до затисків $C1$, $C2$, $C3$, а останні, відповідно кінцям фаз, з'єднані з затисками, позначеними 34, 35, 36. Ці затиски розташовані в коробці виводів, яка укріплена на корпусі машини. Наявність шести доступних затисків дозволяє з'єднувати окремі фази обмотки між собою металевими пластинами або трикутником зіркою, що дає можливість використовувати ту саму машину при двох різних лінійних напругах, відношення яких дорівнює $\sqrt{3}$. У зв'язку з цим, трифазні асинхронні двигуни малої та середньої потужності виготовляють на такі дві номінальні напруги: 127/220, 200/380, 380/600 В, де напруга, зазначена перед косою рисою, відповідає з'єднанню фаз обмотки статора трикутником, а за нею – зіркою. Потужні асинхронні двигуни виготовляють на номінальну напругу 6000 та 10000 В, а фази обмотки статора звичайно з'єднують зіркою.

Якщо маркірування затисків фаз статора відсутнє, то розмітку їх виконують за допомогою вольтметра, який приєднують між одним із проводів мережі перемінної напруги, наприклад, проводом A , і яким-небудь затиском, а інший провід мережі B по черзі приєднують до інших затисків до відхилення стрілки вольтметра, що вказує на приналежність приєднаних затисків до одної й тієї ж фази обмотки статора. Так знаходять три пари затисків, що відносяться до окремих фаз обмотки статора. Потім затиски однієї з фаз обмотки статора позначають $C1$ та $C4$, з'єднують її послідовно з іншою фазою через регулюючий реостат R_p і приєднують до мережі перемінної напруги. До затисків вільної фази приєднують електромагнітний вольтметр. Якщо стрілка вольтметра дає відхилення, то затиск $C4$ з'єднаний з затиском $C2$, а якщо такого відхилення немає, це значить, що затиск $C4$ з'єднаний з затиском $C3$ та $C6$.

Ротор асинхронної машини – це циліндр із тонких дисків електротехнічної сталі, ізольованих друг від друга, який надійно укріплений на валу машини, що обгороджують.

ЗМІСТ ДОМАШНЬОГО ЗАВДАННЯ

Вивчити та законспектувати зміст методичної вказівки під час самостійної роботи та відповісти письмово на контрольні запитання:

- 1 Електричні ланцюги постійного струму.
- 2 Структура електричних ланцюгів.
- 3 Одноконтурні лінійні електричні ланцюги.
- 4 Багатоконтурні лінійні електричні ланцюги.
- 5 Генератори синусоїдальних електричних величин.
- 6 Типова схема підсилювача безперервних сигналів.
- 7 Фізичні процеси в підсилювачі при підсиленні імпульсних сигналів.
- 8 Електронно-дірковий перехід.
- 9 Напівпровідникові діоди та їх використання в техніці.
- 10 Основні терміни і визначення в мікроелектроніці.
- 11 Класифікація інтегральних мікросхем.
- 12 Система умовних позначень інтегральних мікросхем.
- 13 Схеми побудови логічних елементів.
- 14 Асинхронні машини та їх використання.

ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ СТУДЕНТІВ

Формою контролю засвоєння матеріалу самостійної роботи є перевірка домашнього завдання. Кількість балів, які отримає студент за його виконання, наведена у робочій програмі дисципліни.

ЛІТЕРАТУРА

Основна:

1 Головань В.Г., Вельміскін Д.І., Головань А.В. Основи радіотехніки. Конспект лекцій. – О.: "ТЕС", 2007, 432 с.

Допоміжна:

2 Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Учебное пособие. – К.: "Высшая школа", 1978, 225с.

3 Евдокимов Ф.Е. Теоретические основы электротехники. – К.: "Высшая школа", 1968, 320 с.

4 Ицкохи Я.С., Овчинников Н.И. Импульсные и цифровые устройства. – М.: "Сов. радио", 1972, 234 с.

5 Цыкин Г.С. Электронные усилители. – М.: "Связь", 1965, 198 с.

6 Мережковский А.И., Фокин А.А. Электроника и автоматика в гидрометеорологии. – Л.: "Гидрометеиздат", 1965, 315 с.

Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з дисципліни "Основи електроніки, автоматики та цифрової техніки" для студентів 2 курсу денної форми навчання за напрямом "Гідрометеорологія".

Укладач: Тімофєєв М.А., к.т.н., доцент, Одеса, ОДЕКУ, 2010 р., 52 с.

Підп. до друку
Умовн. друк. арк.

Формат
Тираж

Папір
Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

Одеський державний екологічний університет
65016, Одеса, вул.Львівська, 15
