

Оглавление

Радіотехнічні кола та сигнали	5
1. Наслідком якого фізичного закону є перше правило Кірхгофа ? Його формулювання.	5
2. Наслідком якої властивості електростатичного поля є друге правило Кірхгофа ? Його формулювання.	5
3. Яким є внутрішній опір ідеального генератора напруги?	5
4. Якою є внутрішня провідність ідеального генератора струму?	5
5. Зв'язок між напругою та струмом в основних елементах електричного кола.	6
6. Основні параметри, які характеризують резонанс в послідовному контурі.	6
7. Вплив навантаження на вибіркові властивості коливального контуру.	7
8. Передаточна функція послідовного коливального контуру.	8
9. Залежність вхідного опору послідовного коливального контуру від частоти.	8
10. Векторні діаграми струмів та напруг у послідовному коливальному контурі.	8
11. Визначити смугу пропускання паралельного RLC - коливального контуру.	10
12. LC - фільтр нижніх частот. Узгодження ланок і навантаження.	10
13. LC - фільтр верхніх частот. Узгодження ланок і навантаження.	11
14. Параметри загороджувальних LC - фільтрів.	12
15. Вкажіть переваги і недоліки частотної та фазової модуляції у порівнянні з амплітудною модуляцією.	12
16. Назвіть переваги та недоліки односмугової модуляції у порівнянні з двосмуговою.	13
17. Дайте визначення спектра сигналу.	14
18. Як пов'язані між собою тривалість імпульсу з його спектром.	14
19. Дайте загальний опис структури спектра модульованого коливання.	15
20. Яке призначення модемів в комп'ютерній мережі ?	15
Радіoeлектроніка	16
1. Що таке зворотний струм у р-п переході, чим він обумовлений та як він залежить від температури? Як він впливає на роботу транзисторів?	16
2. Яке фізичне явище лежить в основі роботи стабілітрона? Як воно використовується для стабілізації напруги? 16	
3. Чому базу біполярного транзистора бажано робити тонкою та слабоколегованою ?	17
4. В чому полягає принципова різниця в роботі біполярного і уніполярного транзисторів?	17
5. Чому нелінійні спотворення сигналів шкідливіші від лінійних?	17
6. Чому коефіцієнт підсилення у схемі підсилювача зі спільним емітером (СЕ) є від'ємним? А у схемі зі спільною базою (СБ)?	18
7. Як впливає активний опір, увімкнений у коло емітера на підсилення та вхідний опір підсилювального каскаду?	18
8. Як у багатокаскадному підсилювачі впливає вхідний опір наступного каскаду на підсилення попереднього? 19	
9. Що може бути причиною самозбудження багатокаскадного резонансного підсилювача?	20
10. В чому полягає амплітудна та фазова умова самозбудження автогенератора?	21
11. Чим обумовлюється встановлення скінченої амплітуди коливань у автогенераторах?	22

12.	Чим відрізняється тригер від мультівібратора?	23
13.	Яким шляхом можна перетворити частотну модуляцію у амплітудну?	24
14.	За яким принципом працює супергетеродинний радіоприймач?.....	25
15.	Що таке логічний елемент трьома вихідними станами?.....	26
16.	Які функції виконує мультиплексор?	26
17.	Чи потрібні тактові імпульси для роботи паралельного регістру пам'яті?.....	27
18.	В чому різниця між статичними і динамічними пристроями пам'яті?.....	27
19.	Навіщо в системі флеш - пам'яті використовуються МОН – транзистор з двома затворами?	28
20.	Які вам відомі різновиди аналогово- цифрових перетворювачів?	28
Коливання та хвилі		30
1.	Які механізми обмеження амплітуди вимушених коливань у режимі резонансу Вам відомі?.....	30
2.	Коли рух коливної системи можна аналізувати методом повільних амплітуд?	30
3.	Перерахуйте можливі типи особливих точок на фазовому портреті лінійної системи з одним ступенем вільності	30
4.	В чому полягає параметричне наближення при аналізі руху нелінійних неавтономних осциляторів?.....	31
5.	Назвіть основні особливості вільних коливань нелінійних осциляторів (у порівнянні з лінійними).	32
6.	Назвіть основні особливості вимушених коливань нелінійних осциляторів під дією гармонічної сили (в порівнянні з лінійними).....	32
7.	За яких умов реалізується квазігармонічний режим автогенератора Ван-дер-Поля, а за яких – релаксаційний?	33
8.	Яка основна особливість фазового портрету автогенератора?.....	33
9.	В чому полягає ефект вимушеної синхронізації автогенератора?	34
10.	Які передумови виникнення хаотичної динаміки в системах із невеликою кількістю ступенів вільності? ..	35
11.	Які нові ефекти з'являються в системі зв'язаних лінійних осциляторів (порівняно з одиночним осцилятором)?	35
12.	Які кількісні характеристики хаотичної динаміки Вам відомі?	36
13.	Коли можливе співіснування мод у системах із конкуренцією?.....	36
14.	Який фізичний зміст співвідношень Менлі – Роу?.....	37
15.	Назвіть властивості систем, у фазовому просторі яких може виникнути дивний атрактор.	37
16.	У яких системах можуть спостерігатись абсолютна та конвективна нестійкості? В чому полягає відмінність між цими нестійкостями?	38
17.	Що таке дисперсія хвиль? Які причини породжують дисперсію? Які типи дисперсії Вам відомі?.....	38
18.	Яка природа областей прозорості та непрозорості в системах із розподіленими параметрами?	39
19.	Назвіть основні механізми випромінювання хвиль.....	39
20.	Що таке хвилі з від'ємною енергією? У яких системах вони можливі?	39
Електрика та магнетизм		41
1.	Записати теорему Остроградського-Гаусса в інтегральній формі і отримати з неї у диференціальній формі.	41
2.	Записати зв'язок між напруженістю електростатичного поля та потенціалом.	41
3.	Записати рівняння Лапласа і Пуассона. Сформулювати умову єдиності розв'язку.	41
4.	Конструкція і принцип дії генератора Ван-дер-Граафа.	41

5.	Поверхневі і об'ємні поляризаційні заряди, їх зв'язок із вектором поляризації.	42
6.	Граничні умови для векторів напруженості електричного поля та вектора зміщення.	43
7.	Електронна, орієнтаційна та іонна поляризація газоподібних, рідких та твердих діелектриків.	44
8.	П'єзоелектричний ефект.	45
9.	Намалювати петлю сегнетоелектричного гістерезису. Позначити залишкову поляризацію та коерцитивну силу.	46
10.	Вивести рівняння неперервності.	47
11.	Електричне поле зарядів, що рухаються.	47
12.	Ефект Холла.	48
13.	Закон Ампера для магнітної взаємодії струмів в інтегральній і диференціальній формі.	49
14.	Закон Біо-Савара-Лапласа в інтегральній і диференціальній формі.	49
15.	Для чого вводиться поле розмагнічування?	50
16.	Феромагнетизм. Магнітний гістерезис.	50
17.	У чому полягає скін-ефект?	52
18.	Запишіть систему рівнянь Максвелла та прокоментуйте їх фізичний зміст.	53
19.	Сформулюйте теорему Пойтінга.	53
20.	Основні положення класичної електронної теорії металів Друде-Лоренца.	54
	Оптика.	55
1.	В чому полягає метод застосування головних площин, запропонований Гауссом для опису лінз і оптичних систем?	55
2.	Дайте визначення світловому і енергетичному потокам?	55
3.	Яке випромінювання називається когерентним?	56
4.	Запишіть рівняння дифракційної ґратки.	57
5.	Назвіть відомі вам способи збільшити роздільну здатність мікроскопу.	58
6.	Де в лінзі розташована площина з просторовим фур'є-образом предмета?	58
7.	Що означає комплексний характер показника заломлення речовини?	58
8.	Що таке додатний анізотропний кристал (рисунок)?	58
9.	Дайте визначення $\lambda/4$ -фазовій пластинки (формула).	59
	Рис. 2	60
	Рис. 3	61
10.	Чому небо синє, а туман білий (1 речення)?	61
11.	Намалюйте одну із можливих схем голографічного запису інформації.	62
12.	Дайте визначення абсолютно чорного тіла (формула).	62
13.	Намалюйте, як поводить себе інтенсивність в точці спостереження Р на екрані від відстані точки Р до отвору в дальній зоні дифракції?	62
14.	За якою формулою можна знайти кількість дифракційних максимумів, які можна спостерігати за допомогою дифракційної ґратки?	63
15.	Назвіть відомі вам способи збільшити роздільну здатність телескопу.	64

16.	Чому рентгенівське випромінювання (на відміну від оптичного випромінювання) майже не взаємодіє з речовиною (не поглинається і не заломлюється)?.....	64
17.	Дайте визначення оптичній осі анізотропного кристалу (рисунок).	65
18.	Що таке електрооптичний ефект Керра (схема та формула)?.....	65
19.	Сформулюйте закон Кірхгофа для теплового випромінювання.	65
20.	Намалюйте спектральний розподіл енергії, що випромінює абсолютно чорне тіло, для декількох температур.	66
	Атомна фізика	67
1.	Зробіть оцінку розміру атома.	67
2.	Зробіть оцінку енергії зв'язку в атомі водню.....	67
3.	Наведіть приклади фізичних явищ, які пов'язані з ефектом квантового тунелювання.	67
4.	Чому борівська модель атома водню не може бути застосована до багатоелектронних атомів.	67
5.	Назвіть квантові числа, що визначають стан електрона в атомі водню, їх фізичний зміст.	68
6.	Який принцип покладений в побудову таблиці Менделєєва ?.....	69
7.	Чим обумовлений ковалентний зв'язок в молекулах ?	69
8.	Чим обумовлено зонна структура твердого тіла?.....	70
9.	Як виміряти q / m зарядженої частинки?.....	71
10.	Чому закони фотоефекта мають бути квантовими?	72
11.	Назвіть експерименти, з яких випливають хвильові властивості квантових частинок.	72
12.	Назвіть експерименти, з яких випливають квантові (частинкові) властивості світла.	72
13.	Чому формула де Бройля пов'язує хвильові і частинкові властивості матерії?	72
14.	Із дослідів Резерфорда випливає планетарна модель атома. Поясніть цей висновок.	73
15.	Чому в експериментах Комптона використовується не оптичне, а рентгенівське випромінювання?	73
16.	Досліди Штерна-Герлаха свідчили про існування власного моменту електрона. Звідки випливала його квантова природа?	73
17.	Чим відрізняється електронний і ядерний магнітні резонанси?.....	74
18.	Які експерименти (явища) свідчать про існування електромагнітних флуктуацій фізичного вакууму?.....	74
19.	В чому переваги і недоліки рентгено- та електронної структурної діагностики?.....	74
20.	Поясніть принцип «охолодження» атомів лазерним випромінюванням.....	75

Радіотехнічні кола та сигнали

1. Наслідком якого фізичного закону є перше правило Кірхгофа ? Його формулювання.

Перший закон Кірхгофа говорить, що алгебраїчна сума струмів у вузлі або в будь-якому довільному перерізі схеми дорівнює нулю $\sum_{i=1}^{\alpha} I_i = 0$. Струми, що входять у вузол або переріз, мають знак “+”, а ті, що виходять – знак “-”. Закон випливає із закону збереження заряду.

2. Наслідком якої властивості електростатичного поля є друге правило Кірхгофа ? Його формулювання.

Згідно з другим законом Кірхгофа алгебраїчна сума напруг у контурі дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС у цьому контурі $\sum_{i=1}^m U_i = \sum_{i=1}^k E_i$. Напруги і ЕРС позитивні при співпаданні їх напрямків з напрямком обходу контуру. Другий закон Кірхгофа є наслідком закону збереження енергії: він пов'язаний з поняттям потенціала електричного поля, як роботи при переміщенні одиничного точкового заряду в просторі. Якщо таке переміщення відбувається по замкнутому контурі, то сумарна робота при поверненні в початкову точку дорівнює 0, в іншому випадку ми отримували б додатну енергію, порушуючи закон її збереження.

3. Яким є внутрішній опір ідеального генератора напруги?

Джерело напруги або генератор напруги - елемент електричного кола, який забезпечує на своїх клеммах певне значення напруги. Ідеальне джерело напруги характеризується певним значенням електрорушійної сили і нульовим внутрішнім опором. Сила струму, що протікає через таке джерело повністю визначається колом навантаження. $I = \frac{\varepsilon}{R}$, де ε - електрорушійна сила, R - електричний опір навантаження. Реальні джерела напруги мають скінченні значення внутрішнього опору.

$$\varepsilon = rI + RI = rI + u$$

$$r = 0 \Rightarrow u = \varepsilon$$

4. Якою є внутрішня провідність ідеального генератора струму?

Джерело струму або генератор струму — елемент електричного кола, який забезпечує в ньому протікання певного електричного струму. Ідеальне джерело струму створює в електричному колі струм, який не залежить від навантаження і будь-яких зовнішніх умов. Такий елемент є абстракцією. Електрорушійна сила та внутрішній опір в такому ідеальному джерелі струму повинні бути нескінченними і пропорційними одне одному. Таким чином провідність повинна дорівнювати нулю. Реальні джерела струму характеризуються скінченними значеннями електрорушійної сили і внутрішнього опору.

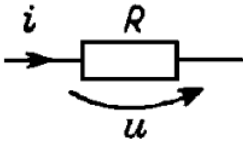
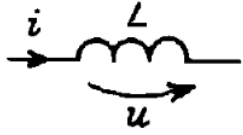
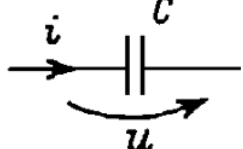
$$\varepsilon = rI + RI = rI + u$$

$$\frac{\varepsilon}{r} = I + \frac{u}{r} \rightarrow \frac{\varepsilon}{r} = J \Rightarrow$$

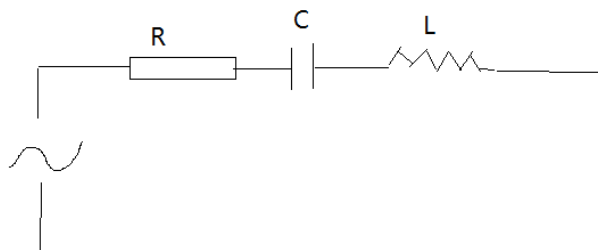
$$r = \infty, \varepsilon = \infty, \varepsilon \propto r \Rightarrow I = J$$

5. Зв'язок між напругою та струмом в основних елементах електричного кола.

Для резисторів $U = RI$, для ємностей $U = \frac{1}{C} \int Idt$, для індуктивностей $U = L \frac{dI}{dt}$.

элемент	схема	напряжение	ток
резистивный		$u = Ri$	$i = Gu$
индуктивный		$u = L \frac{di}{dt}$	$i = \frac{1}{L} \int u dt$
ємкостной		$u = \frac{1}{C} \int idt$	$i = C \frac{du}{dt}$

6. Основні параметри, які характеризують резонанс в послідовному контурі.



Вхідний опір $Z_{\text{вх}} = R + j\omega L - j \frac{1}{\omega C} = R + jX$. Реактивний опір $X = \omega L - 1/\omega C = 0$ – умова резонанса, звідси резонансна частота $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$; $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$. Характеристичним опором контуру називають модуль опору кожного реактивного елемента на резонансній частоті: $\rho = X_{L_0} = \omega_0 L = X_{C_0} = 1/\omega_0 C = \sqrt{L/C}$. Відношення напруги на котушці або конденсаторі до напруги, що прикладена до кола на резонансній частоті, називається добротністю контуру $Q = U_{20}/U_1 = \rho I_p / RI_p = \rho/R$. Таким чином, напруга на виході контуру при резонансі в Q раз більша напруги на вході: $U_{20} = QU_1$. Добротність Q є величина обернена згасанню контуру: $d = 1/Q = R/\rho$. Добротність навантаженого контуру $Q_{\text{ек}} = \rho/[R + L/CR_n] = Q/[1 + Q\rho/R_n]$. Абсолютною розстройкою є різниця між частотою

генератора і резонансною частотою контуру; $\Delta f = f - f_0$ або $\Delta\omega = \omega - \omega_0$. Відносною розстройкою називають відношення $\varepsilon = 2\Delta f / f_0$. Узагальнена розстройка $\zeta = X/R = (X_L - X_C)/R \approx 2\Delta f Q / f_0$, або $\zeta = Q(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})$.

7. Вплив навантаження на вибіркові властивості коливального контуру.

Послідовний контур.

Якщо до вихідних затисків контуру підключити резистор (рис.2а), то в ньому буде розсіюватись енергія, внаслідок чого добротність кола зменшиться у порівнянні з добротністю не навантаженого контуру. Паралельне сполучення конденсатора і резистора можна замінити послідовним включенням (рис.2б), де $R' = \rho^2 / R_H$ (якщо $R_H \gg \rho$). Добротність навантаженого контуру

$$Q_{ек} = \rho / [R + L / CR_H] = Q / [1 + Q\rho / R_H]. \quad (9)$$

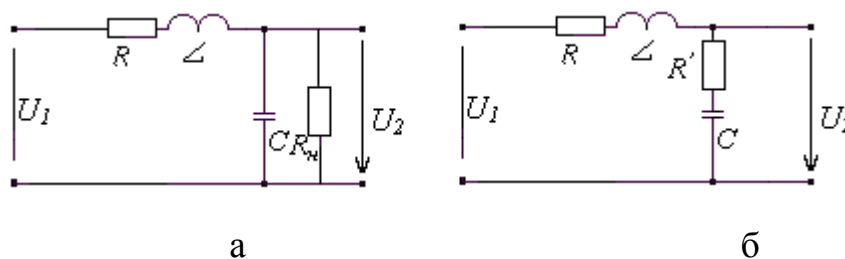


Рис. 2

Якщо частота джерела енергії ω співпадає з резонансною частотою контуру ω_0 , то такий контур настроєний у резонанс, якщо частота ω відрізняється від частоти ω_0 , то такий контур розстроєний. Абсолютною розстройкою є різниця між частотою генератора і резонансною частотою контуру; $\Delta f = f - f_0$ або $\Delta\omega = \omega - \omega_0$. Відносною розстройкою називають відношення $\varepsilon = 2\Delta f / f_0$. Узагальнена розстройка $\zeta = X/R = (X_L - X_C)/R \approx 2\Delta f Q / f_0$.

Добротність навантаженого контуру враховуючи внутрішній опір генератора $Q_e = \frac{\rho}{r + R_i + \rho^2 / R_H} = \frac{\rho}{r} \frac{1}{[1 + R_i / r + \rho^2 / (rR_H)]} = \frac{Q}{1 + R_i / r + \rho^2 / (rR_H)}$, r – опір контуру, R_i – опір генератора, R_H – опір навантаження.

Паралельний контур. На добротність контуру впливає внутрішній опір генератора R_r , який увімкнений паралельно контуру. Перерахуємо R_r у послідовне сполучення з конденсатором, одержимо $R'_r = \rho^2 / R_r$. Еквівалентна добротність контуру $Q_{ек} = \rho / (R + R'_r) = Q / (1 + R_0 / R_r)$, $Q_{ек} < Q$, R – власний опір контуру, ρ – характеристичний опір контуру, $R_0 = \rho^2 / R = \rho Q$ – опір контуру в резонансі. Якщо контур навантажений на резистор R_H , то в усі розрахункові вирази замість R_r потрібно підставляти: $R_r R_H / (R_r + R_H)$. Таким чином внутрішній опір генератора та навантаження впливають на смугу пропускання контурів.

8. Передаточна функція послідовного коливального контуру.

Передаточними характеристиками послідовного контуру називають залежності $U_2 = F(f)$ і $\varphi_k = F(f)$. Згідно із законом Ома для ділянки кола $U_2 = U_C = I \frac{1}{\omega C} = U_1 / \sqrt{(\omega CR)^2 + (\omega^2 LC - 1)^2}$

і має таку ж форму як і залежність $I = F(f)$ (рис. 1). Передаточна ФЧХ описується виразом (рис. 2) $\varphi_k = - [\arctg(\omega L - 1/\omega C)/R + \pi/2]$

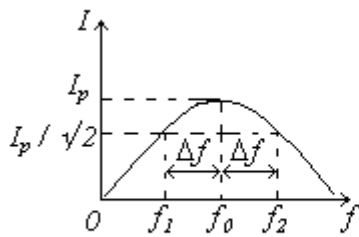


рис. 1

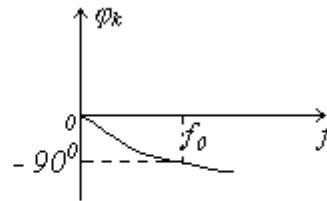


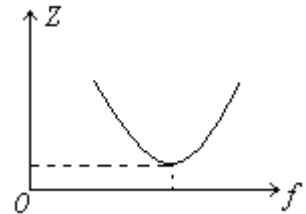
рис. 2

9. Залежність вхідного опору послідовного коливального контуру від частоти.

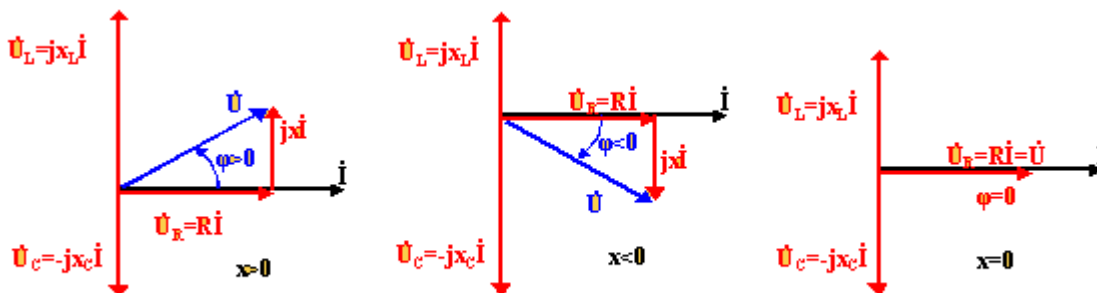
Вхідний опір послідовного коливального контуру

$$Z_{\text{вх}} = R + i\omega L - i/\omega C$$

$$Z_{\text{вх}}^2 = R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2$$



10. Векторні діаграми струмів та напруг у послідовному коливальному контурі.



Під різницею фаз напруги і струму розуміється різниця початкових фаз напруги та струму. Тому на векторній діаграмі кут φ відраховується в напрямку від вектора \dot{U} до вектора \dot{I} . При цьому кут φ дорівнює аргументу комплексного опору. Різниця фаз $\varphi > 0$, коли струм відстає, і $\varphi < 0$, коли струм випереджає. Опір RLC - ланцюга носить індуктивний характер, при $x_L > x_C$ ($x_L - x_C = x > 0$) $\varphi > 0$. При $x_L = x_C$ ($x = 0$), струм співпадає по фазі з напругою, RLC - ланцюг проявляє себе як активний опір - випадок резонансу в послідовному контурі, опір - резистивний. При $x_L < x_C$ ($x < 0$) $\varphi < 0$, струм випереджає по фазі напругу, опір - ємнісний.

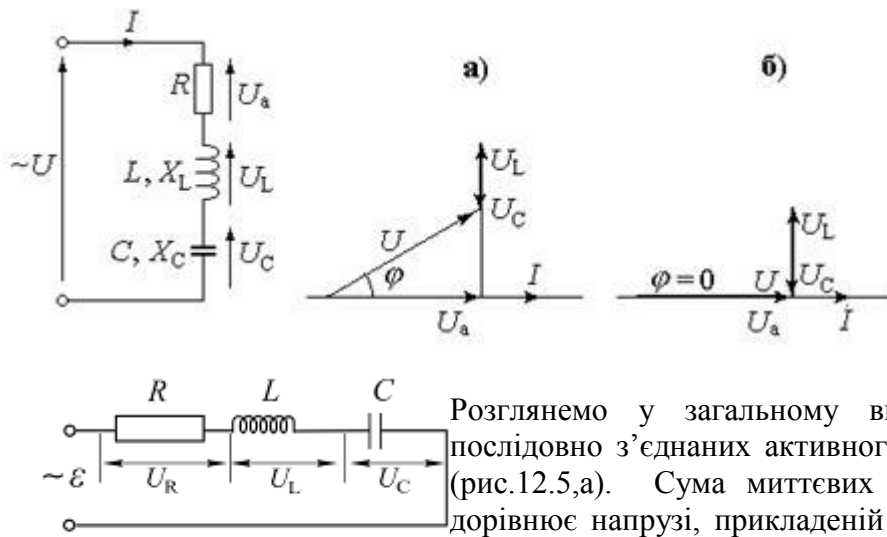


Рис. 12.5.а

Розглянемо у загальному випадку коло, яке складається із послідовно з'єднаних активного, індуктивного та ємнісного опорів (рис.12.5,а). Сума миттєвих спадів напруг на R , L , C завжди дорівнює напрузі, прикладеній до даного кола в цей момент часу: $u_R + u_L + u_C = U_0 \cos \omega t$. При цьому коливання сили струму в загальному випадку можна записати: $i = I_0 \cos(\omega t - \varphi)$, де φ – зсув фаз між напругою і силою струму.

Оскільки

$$u_R = iR = I_0 R \cos(\omega t - \varphi); u_L = iX_L = I_0 \omega L \cos(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2});$$

$$u_C = iX_C = \frac{I_0}{\omega C} \cos(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}), \text{ підставивши у вихідне, одержимо:}$$

$$I_0 R \cos(\omega t - \varphi) + I_0 \omega L \cos(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}) + \frac{I_0}{\omega C} \cos(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}) = U_0 \cos \omega t.$$

Враховуючи, що $\cos(\omega t - \varphi - \pi/2) = \sin(\omega t - \varphi)$; $\cos(\omega t - \varphi + \pi/2) = -\sin(\omega t - \varphi)$ та враховуючи тригонометричні перетворення, одержимо:

$$I_0 R \cos \omega t \cdot \cos \varphi + I_0 R \sin \omega t \cdot \sin \varphi - I_0 \omega L \sin \omega t \cdot \cos \varphi + I_0 \omega L \cos \omega t \cdot \sin \varphi + \\ + \frac{I_0}{\omega C} \sin \omega t \cdot \cos \varphi - \frac{I_0}{\omega C} \cos \omega t \cdot \sin \varphi = U_0 \cos \omega t.$$

Перегрупувавши, перепишемо одержаний вираз у вигляді:

$$I_0 \cos \omega t [R \cos \varphi + \omega L \sin \varphi - \frac{1}{\omega C} \sin \varphi] + I_0 \sin \omega t [R \sin \varphi - \omega L \cos \varphi + \frac{1}{\omega C} \cos \varphi] = \\ = U_0 \cos \omega t.$$

Для моментів часу $\omega t = 0$ та $\omega t = \pi/2$ останнє рівняння набуває виглядів:

$$I_0 [R \cos \varphi + (\omega L - \frac{1}{\omega C}) \sin \varphi] = U_0 \quad (3) \text{ та } R \sin \varphi - (\omega L - \frac{1}{\omega C}) \cos \varphi = 0 \quad (4). \text{ Із рі-}$$

вняння (4) $\tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$. Це ж видно й з діаграми (рис.12.5,б).

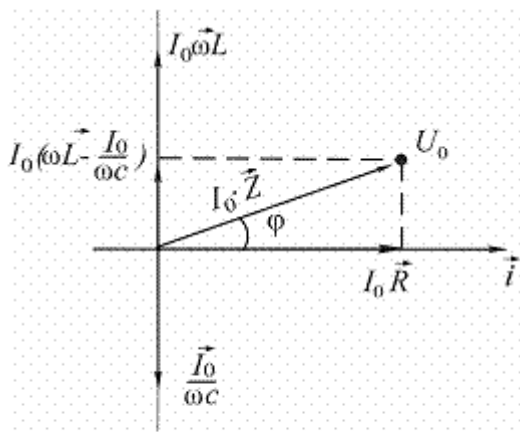


Рис. 12.5,6

Користуючись

діаграмою:

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (5),$$

а

$$\sin \varphi = \frac{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (6).$$

Як бачимо, різниця фаз між напругою та силою струму в такому колі залежить і від частоти ω , і від параметрів кола R, L, C .

Вираз $\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$ називають **повним**

опором кола.

11. Визначити смугу пропускання паралельного RLC - коливального контуру.

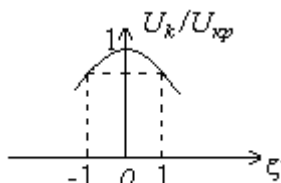
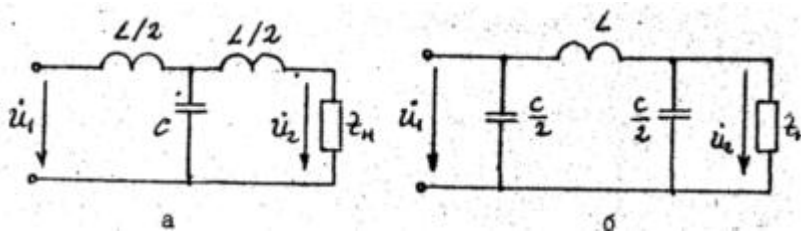


рис. 1

Амплітудно-частотна характеристика напруги на контурі у відносних одиницях $U_k / U_{kp} = 1 / \sqrt{1 + \zeta^2}$, де $U_{kp} = IR_0$ – напруга на контурі при резонансі, яка є найбільшою, ($\zeta = 0$). $\zeta = 2Q\Delta f/f_0$ – узагальнена розстройка контуру. Якщо на висоті 0,707 провести пряму, паралельну осі узагальненого розлагодження ζ (рис.1), то точки перетину з характеристикою дадуть відносне значення смуги прозорості: $\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{ep}^2}}$; $\zeta_{ep} = \pm 1 = \pm 2Q \frac{\Delta f}{f_0}$. Звідси $S_0 = 2\Delta f/f_0 = 1/Q = d$. Отже, відносна смуга прозорості контуру чисельно дорівнює його згасанню.

12. LC - фільтр нижніх частот. Узгодження ланок і навантаження.



Т і П подібні схеми ФНЧ

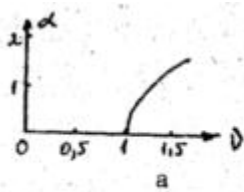


Рис.3.19

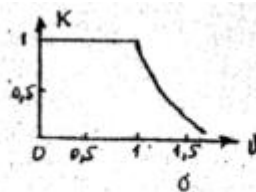


Рис.3.20

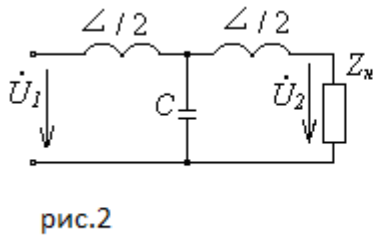
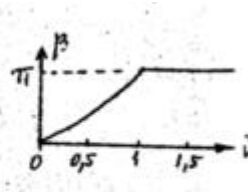


рис.2

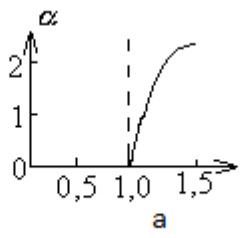
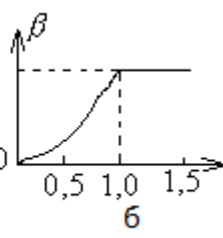


рис. 3



Т-подібну схему ФНЧ подано на рис.2, а її частотні характеристики – на рис.3 а,б. Із збільшенням частоти зростає опір послідовних віток ($X_L = \omega L$) і зменшується опір

паралельної вітки ($X_C = 1/\omega C$), що погіршує умови проходження сигналу через фільтр. граничні частоти дорівнюють

$F_1 = 0$; $f_2 = 1/\pi\sqrt{LC}$. Для смуги непрозорості з схеми (рис.2) $\alpha = \text{Arch}|1 - 2g^2|$, де $g = f/f_2$.

Модуль коефіцієнта передачі $K = e^{-\alpha} = F(g)$

ФЧХ в смузі прозорості $\beta = \arccos(1 - 2g^2)$. У смузі непрозорості $\beta = \pi$.

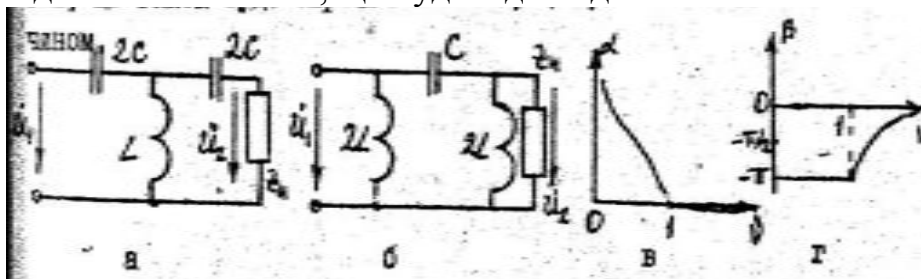
Характеристичний опір ФНЧ $Z_{от} = \rho\sqrt{1 - g^2}$, $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$. (П $Z_{оп} = \rho/\sqrt{1 - g^2}$) (13)

Як слідує з (13), $Z_{от}$ за характером і величиною залежить від частоти. Отже, для повного узгодження для кожної частоти потрібно підібрати свій опір навантаження. Одним з кращих наближень до узгодженої роботи є навантаження фільтра на опір $R_H = \rho$. У реальних умовах $R_H \neq \rho$, а тому частотні характеристики фільтра відрізняються від тих, які мали б місце при умові повної узгодженості.

13. ЛС - фільтр верхніх частот. Узгодження ланок і навантаження.

У фільтрі високих частот (ФВЧ) постійний струм і коливання з частотами, які нижче певної граничної частоти $\omega_{гр}$ повинні затримуватись, а коливання частот, більших за $\omega_{гр}$ - без перешкод пропускатись.

Якщо як послідовне плече фільтра ввімкнути конденсатор (а, б), він буде мати великий опір для коливань низьких частот і сприятиме їх затриманню. Ввімкнення в паралельну гілку індуктивної котушки призведе до збільшення її провідності на низьких частотах і зменшенню провідності на високих, що буде відповідати ФВЧ.



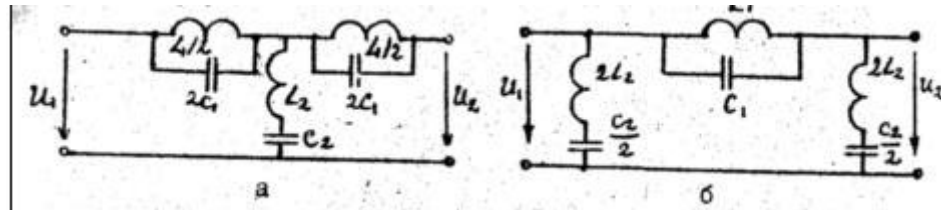
Гранична частота: $\omega_{гр} = 1/(2\sqrt{LC})$.

Смуга прозорості ФВЧ: $\frac{1}{2\sqrt{LC}} < \omega < \infty$.

Характеристичний опір: $Z_{оп} = \rho\sqrt{1 - 1/v^2}$, тут $v = \omega/\omega_{гр}$.

Для досягнення режиму узгодженості необхідно: $Z_{\text{н}} = Z_{\text{оп}} = \rho \sqrt{1 - 1/v^2}$.
 Гарним наближенням режиму узгодженості є вираз: $Z_{\text{н}} = \rho = \sqrt{LC}$.

14. Параметри загороджувальних LC - фільтрів.



Контури налаштовуються на одну й ту ж саму частоту $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$. Якщо $\omega = \omega_0$, то послідовні вітки будуть розімкнені ($Z_1 = \infty$), а паралельна – замкнена (коротке замикання) (рис. 3.27, а). На цій частоті затухання нескінченно велике (α - коефіцієнт затухання) (рис. 3.28).

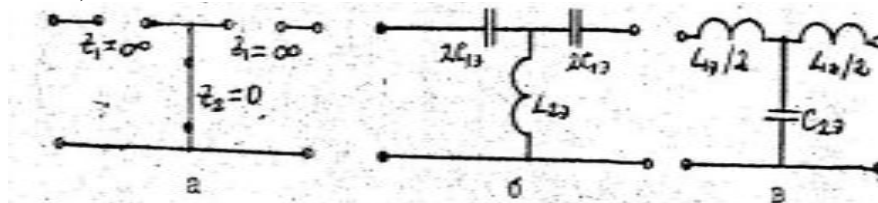


Рис.3.27

станів $\omega > \omega_0$ (рис.3.28).

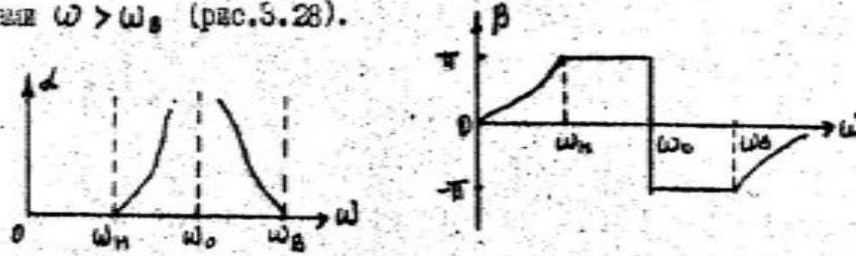


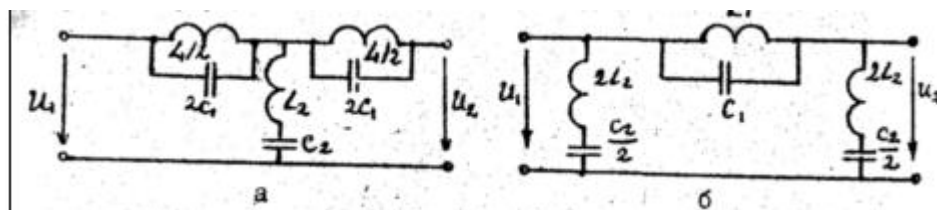
Рис.3.28

Рис.3.29

На частоті $\omega > \omega_0$ опір паралельного контуру має ємнісний характер, а послідовний – індуктивний (рис. 3.27, б). Схема перетворюється в фільтр високих частот, який пропускає сигнали $\omega > \omega_с$ (рис. 3.28).

На частоті $\omega < \omega_0$ в паралельному контурі переважає індуктивний опір, а в послідовному – ємнісний (рис. 3.27, в). Тепер схема виконує роль фільтра нижніх частот, який пропускає сигнали з частотами $\omega < \omega_n$ (рис. 3.28).

Фазо-частотна характеристика загороджувального фільтра поєднує характеристики ФВЧ і ФНЧ.



15. Вкажить переваги і недоліки частотної та фазової модуляції у порівнянні з амплітудною модуляцією.

ЧМ та ФМ є окремими проявами кутової модуляції, а тому загалом подібні між собою. Основною перевагою кутової модуляції перед амплітудною є нечутливість до випадкової

зміни амплітуди модульованого сигналу – перешкодозахищеність. Окрім того за відсутності необхідності змінювати амплітуду модульованого сигналу зменшується навантаження на генератор. Але кутова модуляція має досить широкий та складний спектр порівняно з амплітудною. Для амплітудної модуляції $\Delta\omega = 2\Omega$, для кутової модуляції $\Delta\omega = 2(m_f + 1)\Omega$, де $m_f = \frac{\Delta\omega_m}{\Omega}$ – індекс модуляції, $\Delta\omega_m$ – девіація частоти. І лише при $m_f \ll 1$ ширина спектру $\Delta\omega = 2\Omega$.

16. Назвіть переваги та недоліки односмугової модуляції у порівнянні з двосмуговою.

1) Пусть есть сигнал $u(t) = A \sin(\omega t + \theta) = a \sin \psi$

если A , ω , θ - константы \Rightarrow чисто гармонический "не модулированный"

сигнал - т.н. **несущую** с частотой $\omega = \omega_0$

Если A или $\psi = \omega t + \theta$ подвергаются медленному (в сравнении с $T = \frac{2\pi}{\omega}$) изменению, то сигнал называют **модулированным**. Низкочастотный сигнал, задающий это изменение, называют **модулирующим**. Процесс формирования модулированного сигнала называют **модуляцией**.

Изменение при модуляции амплитуды A - это **амплитудная** модуляция (АМ)

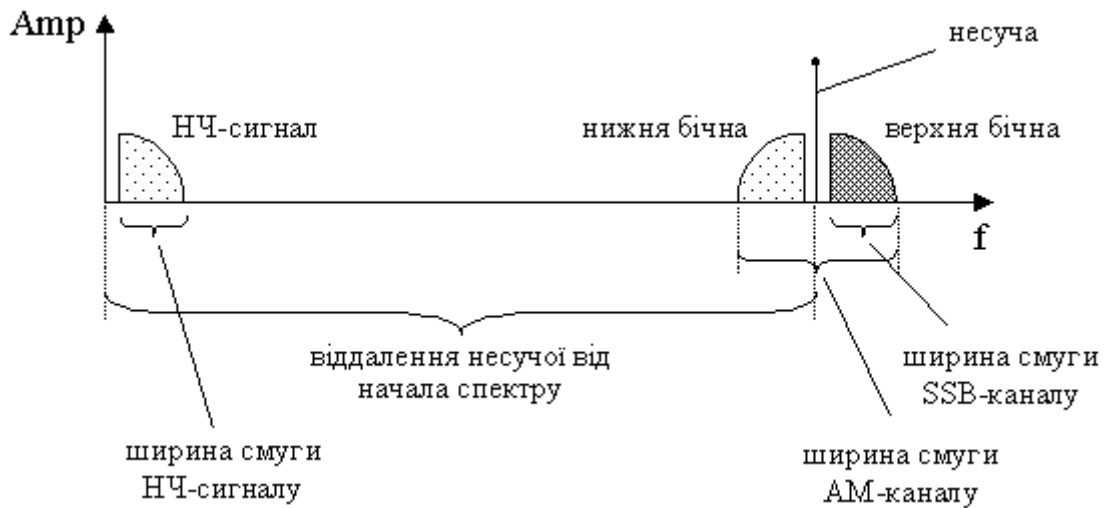
Изменение при модуляции угла ψ - это **угловая** модуляция; ее делят на **частотную** модуляцию (изменение частоты ω) и **фазовую** (изменение фазы θ)

В общем случае модуляция превращает гармонический сигнал в негармонический (при любом способе модуляции). Если полоса модулирующего сигнала $\Delta\Omega$, то полоса модулированного сигнала $\geq \Delta\Omega$

DSB-модуляція (double-sideband) - двосмугова модуляція. Її перевагою є простота модулятора. Недолік – дуже важка демодуляція.

SSB - модуляція (single-sideband) – модуляція з однією бічною смугою. Переваги – легка демодуляція, мінімально можлива смуга (= смузі модулюючого сигналу), високий ККД.

Одним з найпоширеніших та найефективніших видів модуляції низькочастотного сигналу є односмугова модуляція, коли замість двох бічних та несучої у ефір передається лише одна бічна смуга (Рисунок 1). У порівнянні з класичною АМ-модуляцією, енергія передавача розподіляється не на несучу та дві бічні смуги, а лише на одну бічну. Завдяки цьому виграш у потужності передавача складає десятки відсотків.



Оскільки величина несучої частоти SSB-модульованого сигналу завжди значно більше ширини спектру самого сигналу (Рисунок 1), SSB-сигнал завжди є вузькосмуговим. Загальна властивість вузькосмугових сигналів полягає в тому, що вони перетерплюють значно менші спотворення чим широкосмугові. Це пов'язано з тим, що середовище поширення в межах вузького діапазону частот, який займає сигнал, має приблизно однакові властивості по відношенню до всіх його частотних компонент. Крім того, імовірність появи випадкових перешкод значно менше для вузькосмугового сигналу. Тому SSB-сигнал стійкіший до перешкод ніж вдвічі ширший АМ-сигнал. Відсутність несучої робить неможливим перехресну модуляцію. Перехресна модуляція проявляється у прийнятті одночасно двох сигналів, причому амплітуда одного сигналу залежить від амплітуди другого. Ще одна перевага відсутності несучої - суттєве зменшення витрат енергії, оскільки в паузах випромінювання не відбувається.

При односмуговій модуляції несуча та одна з бокових полос частот подавляються. При цьому полоса частот звужується вдвічі, що дозволяє розмістити у тому ж діапазоні вдвічі більше каналів зв'язку та витратити всю потужність передавача на передавання інформаційного сигналу. Недоліком є ускладнення конструкції передавачів та приймачів.

17. Дайте визначення спектра сигналу.

Сукупність гармонічних коливань, що утворюють у сумі складний сигнал, називається *спектром* цього сигналу, а самі коливання спектральними або гармонічними складовими сигналу. Графічні зображення коеф Фурє – спектральна діаграма.

18. Як пов'язані між собою тривалість імпульсу з його спектром.

Складні електричні сигнали мають необмежений широкий спектр частот. Проте амплітуди і енергія гармонічних складових розподілені за частотою нерівномірно. Активна ширина спектра визначається як діапазон частот, у межах якого зосереджено 90% усієї енергії. Ширина спектра прямокутних відеоімпульсів:

$$U_0 / \pi\omega = 0,1, U_0 t_u / 2\pi.$$

Покладемо $\omega = 2\pi\Delta F$, отримаємо

$$\Delta F = 3,18 / t_u. \quad (10)$$

З (10) видно, що ширина спектра тим більша, чим менша тривалість імпульсу. Це справджується і для інших форм імпульсу.

19. Дайте загальний опис структури спектра модульованого колювання.

Оскільки зазвичай частотний діапазон інформаційного сигналу не дозволяє передавати його радіохвилями безпосередньо, то ним модулюють високочастотні колювання (несучу). В залежності від типів модуляції спектр модульованого сигналу може бути різним, але в ньому завжди присутні два основних елементи: несуча складова та інформаційна, ширина якої як мінімум дорівнює подвійній найвищій гармоніці інформаційного сигналу.

20. Яке призначення модемів в комп'ютерній мережі ?

Модем = Модулятор + ДЕМодулятор.

Модем – обладнання для передачі даних, яке здійснює узгоджене перетворення цифрового сигналу комп'ютера в модульований аналоговий і навпаки. Застосовуються при телефонних лінях зв'язку.

1. Що таке зворотний струм у р-п переході, чим він обумовлений та як він залежить від температури? Як він впливає на роботу транзисторів?

При протилежній полярності зовнішньої ЕРС висота потенціального бар'єру зростає, а товщина його збільшується, в результаті чого рух основних носіїв через перехід практично припиняється. Електричний струм, що існує при такій зворотній полярності обумовлюється лише неосновними носіями, які завжди у невеликій кількості присутні у напівпровіднику. Для них поле у переході є прискорюючим і тому будь-який неосновний носій, який при своєму тепловому русі потрапить на межу збідненого шару буде обов'язково втягнутим у цей шар і перетне межу p - і n - переходу. Таке усмоктування неосновних носіїв в збіднений шар називають **екстракцією**.

Оскільки цей струм обумовлений неосновними носіями, то він зростає з ростом температури. Зворотний струм, викликаний тепловими носіями негативно впливає на керуючі властивості транзистора (виникає зміщення вихідних характеристик).

2. Яке фізичне явище лежить в основі роботи стабілітрона? Як воно використовується для стабілізації напруги?

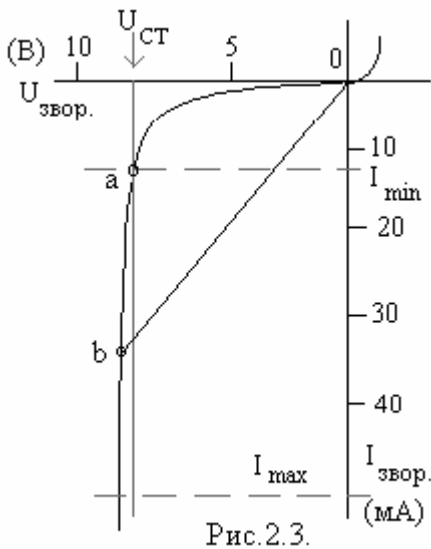


Рис. 2.3.

Для роботи стабілітронів використовують зворотну ділянку вольтамереної характеристики (ВАХ) при напрузі, що відповідає напрузі пробію (рис.2.3).

На цій ділянці, починаючи з деякої напруги, позначеної як $U_{ст}$, спостерігається стрімке зростання зворотного струму.

Особливість цієї ділянки ВАХ полягає в тому, що на ній диференціальний опір $r_d = \frac{dU}{dI}$, визначений як нахил характеристики до вісі ординат, набагато менший від омичного опору $R_0 = \frac{U}{I}$, який можна зобразити як нахил січної "0b" до тієї ж вісі. У стабілітронах ця відмінність є величиною одного-двох порядків.

Схему стабілізатора напруги зі стабілітроном зображено на рис.2.4. Вона є подільником вхідної напруги U_1 , яку вважатимемо складеної з постійної (режимної) напруги U_{10} і деякого невеликого приросту ΔU_1 . Відповідно і вихідну напругу і струм можна зобразити як суми

$$U_2 = U_{20} + \Delta U_2;$$

$$\text{подібних же складових: } I = I_0 + \Delta I;$$

Для постійної складової струму стабілітрон є омичним

$$\frac{U_{20}}{U_{10}} = \frac{R_0}{R + R_0}.$$

опором R_0 , отже відношення U_{20} до U_{10} можна записати так:

приросту струму стабілітрон є диференціальним опором $r_d = \frac{\Delta U_2}{\Delta I}$ і тоді відношення до

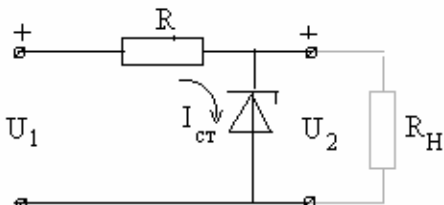


Рис. 2.4.

ΔU_2 ΔU_1 буде дорівнювати $\frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = \frac{r_d}{R + r_d}$. Тепер запишемо співвідношення відносних приростів напруг на вході і на виході: $\frac{\Delta U_1 / \Delta U_{10}}{\Delta U_2 / \Delta U_{20}} = \frac{R + r_d}{r_d} \frac{R_0}{R + R_0} = k_{CT}$. Це і є коефіцієнт стабілізації k_{CT} , який показує, наскільки відносні коливання напруги на виході менші ніж на вході. Оскільки звичайно $r_d \ll R, R_0$, то ця величина буває досить значною.

Робоча ділянка характеристики стабілітрона обмежена граничними струмами: від I_{min} , починаючи з якого хід характеристики стає прямолінійним, до I_{max} , вище якого перегрівання стабілітрона стає небезпечним. Від ширини цієї ділянки ВАХ залежать допустимі зміни U_1 , в межах яких можлива успішна стабілізація вихідної напруги.

3. Чому базу біполярного транзистора бажано робити тонкою та слабколегованою ?

При своєму русі через базу неосновний носій може зустрітися з вільним основним носієм і прорекомбінувати з ним. Для зменшення втрати носіїв на шляху до колектора потрібно, щоб середній час їх дифузії через базу був значно менший середнього часу їх рекомбінації. Досягти цього можна зменшенням товщини бази та зниженням в ній концентрації основних носіїв (зменшити легування).

4. В чому полягає принципова різниця в роботі біполярного і уніполярного транзисторів?

Принцип дії польових транзисторів заснований на русі носіїв одного знаку у напівпровіднику з одним типом провідності. Тому інша назва таких транзисторів – уніполярні. Основна принципова відмінність біполярного транзистора, від польового полягає в тому, що перший, з них керується вхідним струмом, а другий - вхідною напругою. Можна, звичайно, заперечити, що і в біполярному транзисторі вхідний струм створюється вхідною напругою. Однак, врешті-решт, струм колектора визначається саме струмом бази або емітера, і, отже, існування вхідного струму у біполярного транзистора є принципово необхідним. З цього висновується по-перше, що вхідний опір біполярного транзистора не може бути дуже великим, та по-друге, що для керування колекторним струмом потрібна хоч і невелика, а все ж таки, скінчена потужність вхідного сигналу.

На відміну від цього, вхід польового транзистора є не відкритим, а закритим переходом, зворотний струм якого, неістотний для роботи транзистора, може бути зробленим як завгодно малим.

Підключений до джерела вхідного сигналу польовий транзистор практично не навантажує це джерело і не впливає на його роботу. В цьому і полягає основна перевага польових транзисторів над біполярними.

5. Чому нелінійні спотворення сигналів шкідливіші від лінійних?

Нелінійні спотворення на відміну від лінійних спотворень призводять до виникнення у спектрі підсиленого сигналу нових частотних компонент, яких не було у вхідному сигналі. Нелінійні спотворення небажані саме тим, що вони, викривлюючи форму підсилюваного сигналу, «засмічують» його спектр новими частотними компонентами.

Кількісною мірою такого псування сигналу є так званий коефіцієнт нелінійних спотворень, який має ще назву клірфактора k_f . Рівень нелінійних спотворень залежить від номінальної потужності, на яку розрахована радіоапаратура. При перевищенні цього рівня клірфактор швидко зростає.

(клірфактор шкідливі). $K_\phi = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + \dots}}{A_1}$, A_i - амплітуди гармонік вихідного сигналу (2, 3, ... - нові, шкідливі).

6. Чому коефіцієнт підсилення у схемі підсилювача зі спільним емітером (СЕ) є від'ємним? А у схемі зі спільною базою (СБ)?

коефіцієнти підсилення за струмом та напругою в підсилювачі зі спільним емітером виявляються від'ємними. Цей факт вказує на те, що такий підсилювач інвертує фазу підсилювального сигналу. А позитивні значення та для СБ - підсилювача означають, що тут фаза підсилювального сигналу інверсії не зазнає;

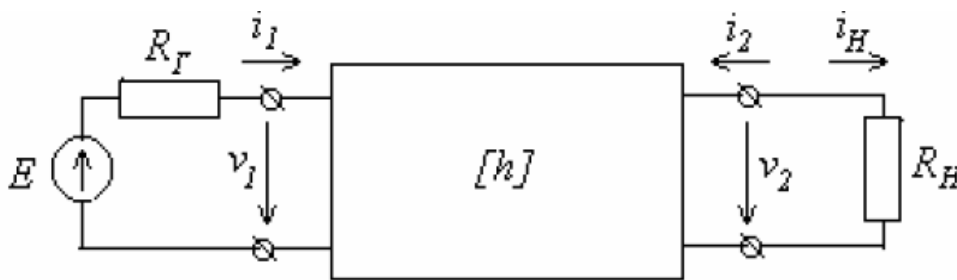


Рис.3.1.

Розглянемо підсилювач у вигляді чотирьохполосника h параметрів. До входу транзистора підключений генератор вхідного сигналу: джерело напруги E з внутрішнім опором R_F , а на виході транзистор навантажений опором R_H ,

через який тече струм i_H . Вхідна напруга v_1 та вихідний струм транзистора i_2 виражаються через i_1 та v_2 відомими формулами - рівняннями транзистора у h -

$$v_1 = h_{11}i_1 + h_{12}v_2$$

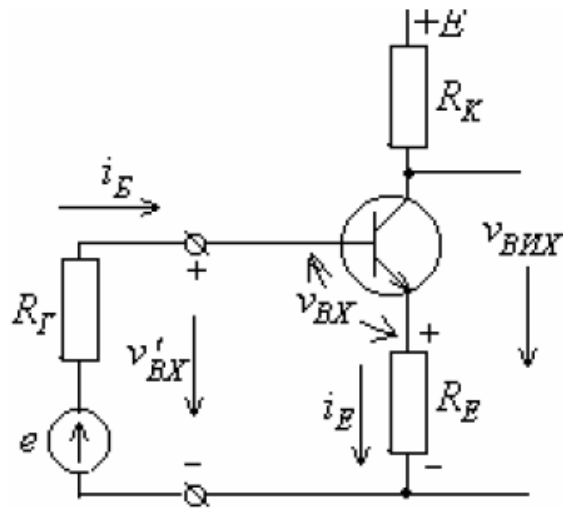
параметрах: $i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}v_2$

. Очевидно, що $i_H = -i_2$, а напруга на опорі навантаження дорівнює $v_2 = i_H R_H$. Коефіцієнт підсилення за струмом є відношення струму, який тече через навантажувальний опір, до вхідного струму: $k_i = \frac{i_H}{i_1} = -\frac{i_2}{i_1} = -\frac{h_{21}}{1 + h_{22}R_H}$.

Якщо виконати включення зі спільною базою, то струм i_2 повернеться в іншу сторону (змінить знак), таким чином знак коефіцієнта підсилення теж зміниться і стане позитивним.

7. Як впливає активний опір, увімкнений у коло емітера на підсилення та вхідний опір підсилювального каскаду?

Зворотній зв'язок працює так, при збільшенні напругу на базі, це призводить до збільшення струму емітера, що призводить до збільшення спаду напруги на ділянці емітер-земля, що в свою чергу спричиняє стабілізацію базо-емітерної напруги. Це, своєю чергою, спричиняє збільшення вхідного опору, зменшення температурної залежності властивостей схеми, зменшення залежності від напруги живлення.



Опір в колі емітера забезпечує негативний зворотній зв'язок. Коефіцієнт підсилення каскаду, охопленого таким зворотним зв'язком, визначимо як

$$k' = \frac{v_{bux}}{v_{bx}} = \frac{k}{1 + k \frac{R_E}{R_K}}, \text{ де } k - \text{ власний коефіцієнт підсилення транзистора. Вхідний}$$

опір каскаду можна визначити як

$$R_{bx} = \frac{v'_{bx}}{i_B} = \frac{v_{bx} + v_{R_E}}{i_B} = h_{11E} + (1 + h_{21E})R_E$$

Тобто чим більше опір в колі емітера тим менше підсилення через НЗЗ, вхідний опір же при такому підключенні зростає

8. Як у багатокаскадному підсилювачі впливає вхідний опір наступного каскаду на підсилення попереднього?

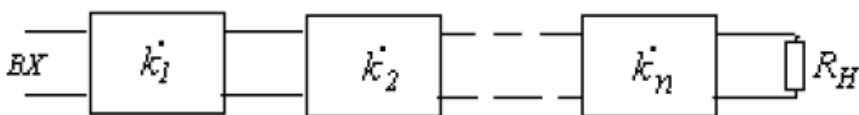


Рис.3.3.

Загальний коефіцієнт підсилення K такого багатокаскадного підсилювача є добутком коефіцієнтів підсилення n складових каскадів:

$$K = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n = \prod_{j=1}^{j=n} k_j$$

Тут за коефіцієнти підсилення взяті їх комплексні значення. Модуль коефіцієнта підсилення багатокаскадного підсилювача буде добутком модулів окремих каскадів k_j тоді як загальний зсув фази дорівнюватиме сумі зсувів фаз в цих каскадах

Основна проблема, яка виникає при послідовному сполученні каскадів це є узгодження їх вхідних і вихідних опорів. При застосуванні польових транзисторів така проблема не виникає, оскільки їх вхідний опір дуже великий і отже вхід наступного каскаду не навантажує вихід попереднього.

Інша справа у підсилювачах на біполярних транзисторах, у яких вхідний опір звичайно набагато менший від вихідного.

Тут під величиною k_j слід вважати не коефіцієнт підсилення одного окремо взятого каскаду, а його ж таки коефіцієнт підсилення, коли цей каскад навантажений вхідним опором наступного каскаду. Для цього замість R_{Hj} слід брати $R_{Hj} \parallel R_{BXj+1}$

Зменшення ефективного опору навантаження призводить до істотного зниження підсилення каскаду. Якщо ж виконується умова $R_{BXj+1} \ll R_{Hj}$, то навантаженням каскаду можна просто вважати вхідний опір наступного каскаду.

9. Що може бути причиною самозбудження багатокаскадного резонансного підсилювача?

Щоб охоплений зворотним зв'язком підсилювач самозбудився, необхідно і достатньо виконання двох умов:

а) фазової умови $\psi = \psi_k + \psi_\beta = 2\pi n$. Ця умова означає, що сигнал, який пройшов через підсилювач, коло зворотного зв'язку і повернувся назад на його вхід, повинен мати ту ж саму фазу, що і первинний вхідний сигнал.

б) амплітудної умови $1 - k\beta < 0$ тобто $k\beta > 1$. Зміст цієї умови полягає в тому, що сигнал, який повернувся на вхід підсилювача, повинний бути хоч трохи більший за первинний.

Виконання цих умов у багатокаскадному резонансному підсилювачі потрібно перевіряти бо на високих та низьких частотах, де стає помітним вплив реактивних елементів каскаду, підсилюваний сигнал зазнає додаткового повороту фази на $\Delta\psi$ (а не лише на

$\psi_k = \pi$ як на середніх частотах)

Для N каскадів загальний поворот фази у підсилювачі становить

Загальний поворот фази у колі зворотного зв'язку становитиме

$$\Psi(\omega) = \Psi_k(\omega) + \psi_\beta = N\pi + N\Delta\psi(\omega) + \psi_\beta$$

при достатньо великій кількості каскадів ($N > 3$) доданок $N\Delta\psi$ може вже стати на декотрій частоті рівним π , що може призвести до самозбудження на певних частотах

$$\Psi_k(\omega) = N\psi_k = N\pi + N\Delta\psi(\omega)$$

10. В чому полягає амплітудна та фазова умова самозбудження автогенератора?

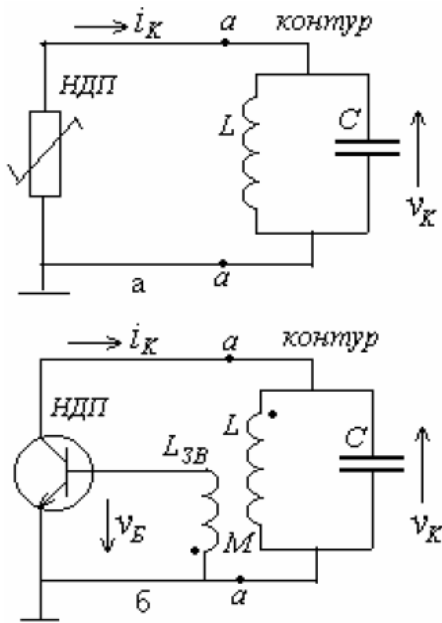


Рис. 1.6

умовами самозбудження є нерівності

$$G_d < 0$$

$$|G_d| > \frac{1}{R_{EKB}}$$

Автогенератор повинен мати елемент з від'ємним диференціальним опором (провідністю). Зазвичай таку провідність створюють штучно за допомогою транзистора та трансформаторного зв'язку. Негативна провідність в даному разі означає, що струм на колекторі протифазний до напруги переходу к-б. Таким чином диференціальна

провідність $G_d = \frac{i_{km}}{v_{km}} = \frac{h_{21e}}{h_{11e}} \frac{v_{bm}}{v_{km}} = \pm \frac{h_{21e}}{h_{11e}} |\beta|$, де β – коефіцієнт трансформації

трансформатора. В залежності від полярності увімкнення він може бути позитивним або негативним. Негативне значення β означає, що напруга на базі протифазна до напруги на контурі. Саме цей варіант треба обрати щоб задовольнити нерівності $G_d < 0$. Таким чином, ця нерівність має зміст фазової умови самозбудження. З іншого боку від'ємний диференціальний опір повинен компенсувати згасання, тобто необхідно виконання нерівності $|G_d| > 1/R_{EKB}$, де R_{EKB} – еквівалентний опір контуру. Отримаємо амплітудну

умову самозбудження $k\beta \rightarrow \frac{h_{21e}}{h_{11e}} R_{EKB} |\beta| > 1$.

11. Чим обумовлюється встановлення скінченої амплітуди коливань у автогенераторах?

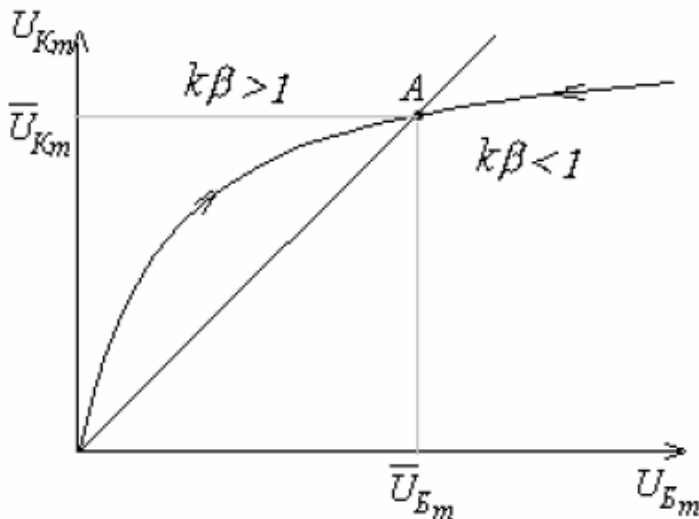


Рис.2.2.

Якщо при генерації коливань їх амплітуда зростає, то вона може вийти за межі лінійної ділянки прохідної характеристики транзистора. Таким чином з'являться вищі гармоніки, через нелінійні спотворення.

Але якщо ми маємо справу з транзистором навантаженим коливним контуром, який настроєний на частоту вхідного сигналу, то цей контур реагуватиме лише на першу гармоніку струму, тоді як всі вищі гармоніки будуть проходити через контур не утворюючи на ньому істотного спаду напруги. Тому напруга на контурі буде гармонічною, незважаючи на те, що струм, який через нього протікає, має форму далеку від синусоїдальної. Очевидно, що при нелінійних спотвореннях амплітуда напруги на контурі не буде вже пропорційною до амплітуди вхідної напруги і в міру її збільшення зріст буде сповільнюватися і виходити на насичення. Подібна залежність зображена на рис.2.2 і має назву коливної характеристики. Співвідношення U_{km} / U_{bm} є не що інше, як коефіцієнт підсилення, який тепер залежить від величини вхідної напруги: він зменшується в міру збільшення U .

При наявності зворотного зв'язку напруга, що повертається на вхід транзистора

$U_{Bm} = \beta U_{Km}$. Тому на рис.2.2 можна провести лінію зворотного зв'язку, що являє собою пряму, яка проходить через початок координат. Її нахил визначається величиною зворотного зв'язку. В областях коливної характеристики, в яких крутість ходу січної до кривої (а це є не що інше як коефіцієнт підсилення) більша за крутість прямої зворотного зв'язку, умова самозбудження буде виконаною і амплітуда коливань зростатиме. Праворуч від точки A крутість січної менша за крутість лінії зворотного зв'язку і амплітуда коливань буде зменшуватися. Лише у точці A , де виконується умова $k\beta = 1$, амплітуда коливань не буде ні зростати, ні зменшуватися, тобто зберігатиметься незмінною. Досягнувши точки A коливання припинять свій зріст і залишатимуться незмінними за амплітудою.

Такий режим є стійким. Якщо амплітуда коливань з якихось причин зросте, вона потрапить у область праворуч від точки A і почне зменшуватися, поки не повернеться у точку A . Якщо ж амплітуда коливань зменшиться, вона опиниться у області ліворуч, де і буде зростати, аж поки не досягне точки A .

12. Чим відрізняється тригер від мультивібратора?

Мультивібратор - це генератор періодичних імпульсів, що за формою близькі до прямокутних.

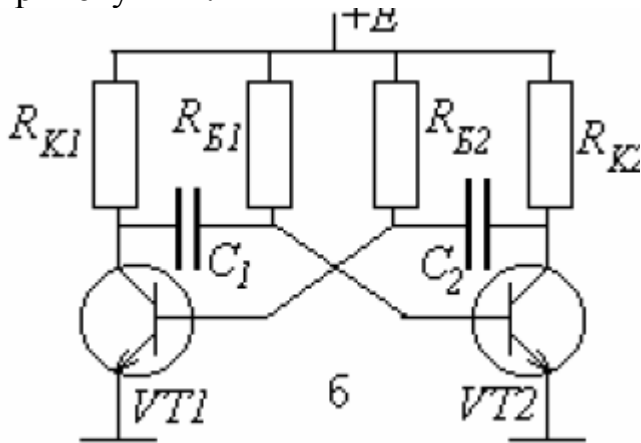


Рис. 5. 1.

Розглянутий вище мультивібратор має два тимчасово-стійких стани, в яких він утримується перехідними процесами в ланцюгах. З одного стану в інший мультивібратор переходить стрибком шляхом лавиноподібного процесу.

Однак існує різновид мультивібраторної схеми, яка має один постійно-стійкий стан і один тимчасово-стійкий стан. Звичайно схема знаходиться у постійно-стійкому стані, але під дією короткого пускового імпульсу переходить у збуджений тимчасово-стійкий стан. По закінченню певного часу θ схема виходить з цього стану і повертається в постійно-стійкий стан. Подібна схема має назву одновібратора, унівібратора, моновібратора, очікувального або затриманого мультивібратора.

А тригер є імпульсний пристрій, котрий може довго перебувати у одному постійному стані (із двох доступних), що дозволяє йому працювати як запам'ятовуючий пристрій.

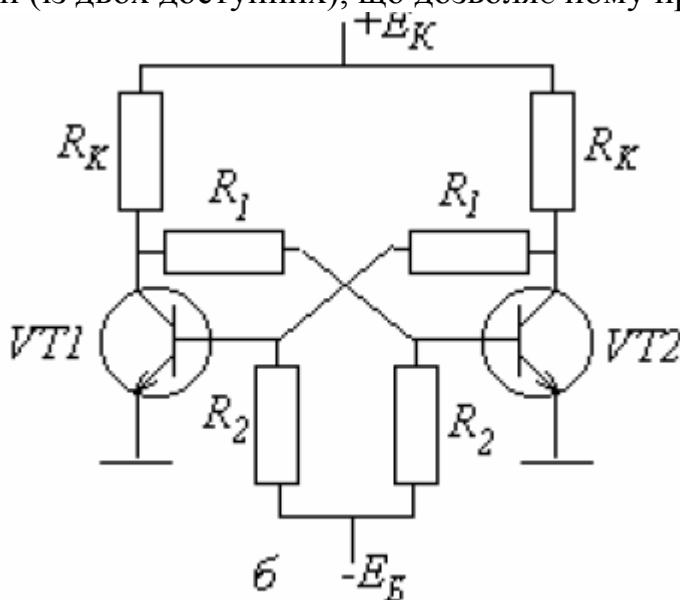


Рис.6. 1.

Тригер являє собою двокаскадний підсилювач постійної напруги (ППН), у якого вихід приєднаний безпосередньо до входу (рис.6.1а).

тригер встановлюється у стійкий стан, коли один з транзисторів повністю закритий, а другий відкритий до насичення шляхом лавиноподібного процесу. В такому режимі відкритий транзистор своїм низьким потенціалом на колекторі утримуватиме другий транзистор у закритому стані, а той, в свою чергу, своїм високим колекторним потенціалом буде утримувати перший транзистор постійно відкритим.

Таким чином, тригер має здатність фіксувати та «запам'ятовувати» факт надходження на один з його входів (наприклад, на S - вхід) запускаючого імпульсу. Короткочасний, тривалістю лише у частки мікросекунди, пусковий імпульс здатний призвести до того, що режим тригера зміниться і в такому «перекинутому» режимі тригер буде перебувати як завгодно довгий час, аж поки новий пусковий імпульс, поданий на протилежний вхід не поверне тригер до його попереднього стану.

Ця властивість тригера, що має назву «електронної пам'яті», широко використовується в радіоелектроніці для фіксування та зберігання цифрової інформації, котра, як відомо, передається у вигляді коротких прямокутних імпульсів. Тригер, що є елементарною коміркою в складних системах електронної пам'яті мікропроцесорів та ЕОМ, фіксує факт надходження такого окремого імпульсу, зберігає інформацію про це та може видавати її при відповідному запиті.

13. Яким шляхом можна перетворити частотну модуляцію у амплітудну?

Це можна зробити за допомогою частотного детектора, блок-схема якого зображена на рис. 4.31.

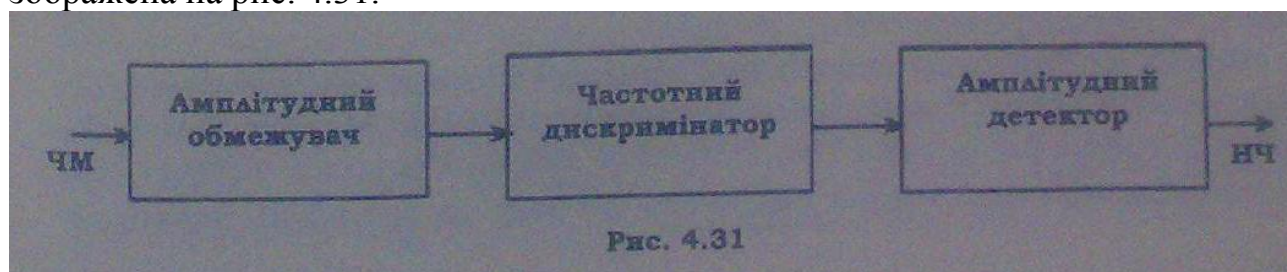


Рис. 4.31

Амплітудний обмежувач здійснює двобічне обмеження величини сигналу, «зрізаючи» амплітудні завади та паразитну амплітудну модуляцію.

Після проходження амплітудного обмежувача ЧМ сигнал потрапляє в **частотний дискриміна́тор**, де власне і відбувається перетворення ЧМ в АМ. У найпростішому випадку частотним дискриміна́тором може служити розстроєний коливний контур. Проходячи через нього сигнал набуває амплітудної модуляції, причому амплітуда сигналу виявляється однозначно залежною від частоти сигналу. Його розстройка Δf обирається такою, щоб середнє значення частоти частотно-модульованого сигналу припадала на лівий схил резонансної кривої контуру. Тоді із зростанням частоти амплітуда сигналу на виході контуру збільшуватиметься, а із зменшенням частоти - зменшуватиметься. Частотно-модульований сигнал зазнає таким чином амплітудної модуляції.

Амплітудний детектор демодулює ВЧ сигнал звичайним чином і виділяє з нього обвідну.

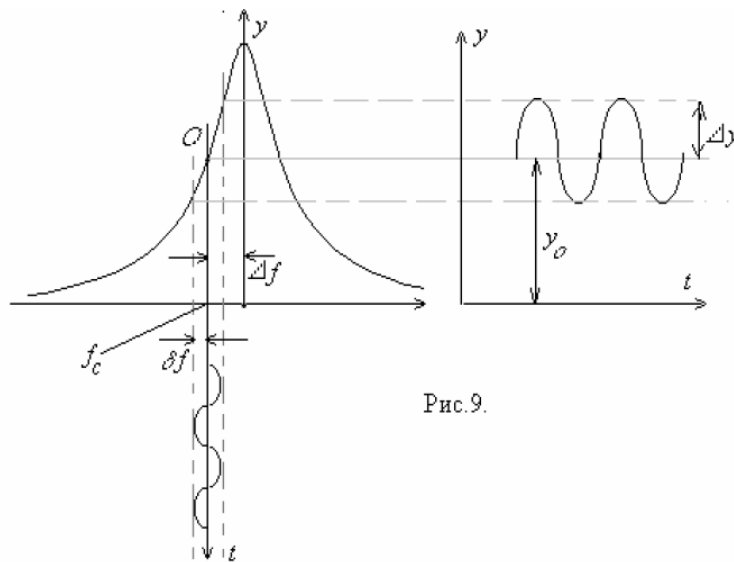


Рис. 9.

14. За яким принципом працює супергетеродинний радіоприймач?

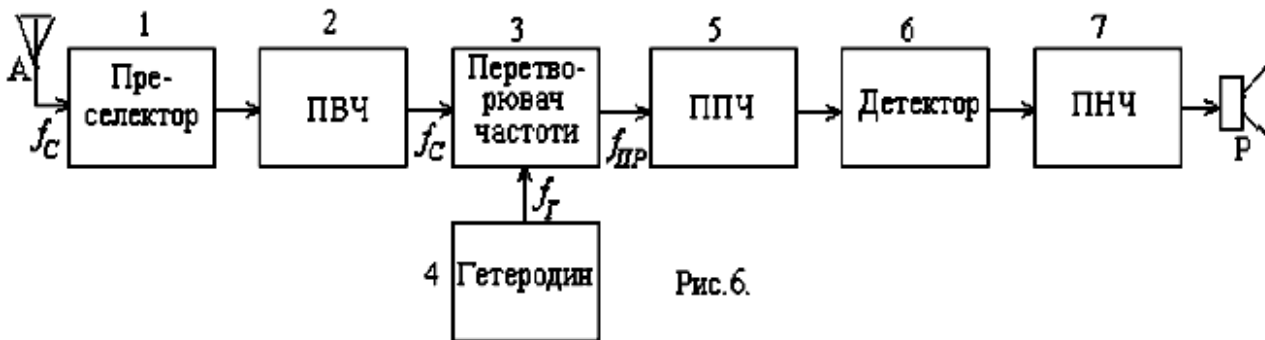


Рис. 6.

Сигнал сприйнятий антеною А проходить у преселекторі (1) попередню селекцію за частотою. Звичайно преселектор являє собою систему контурів, котрі настраюються на частоту сприйманого сигналу f_c . Далі сигнал потрапляє до підсилювача високої частоти (2), де він зазнає попереднього підсилення і додаткової селекції за частотою (не обов'язковий).

Пройшовши попередню селекцію (і підсилення) сигнал потрапляє на вхід перетворювача частоти (3), котрий і являє собою найбільш важливий і специфічний елемент супергетеродинного приймача. Крім сигналу з частотою f_c на перетворювач подається гармонічний сигнал з частотою f_{Γ} , котрий виробляється малопотужним перестроюваним автогенератором (4), який має назву гетеродина. Настроювання гетеродина здійснюється так, щоб різницева частота $f_{\Gamma} - f_c$, яка з'являється на виході перетворювача частоти, завжди дорівнювала б деякій фіксованій частоті $f_{\text{ПР}}$, яка має назву проміжної частоти. За існуючими стандартами для радіомовних приймачів ця проміжна частота має дорівнювати 465 кГц. У процесі перетворювання на проміжну частоту переходить модуляція - амплітудна, частотна або фазова, що її мав сприйнятий сигнал з частотою f_c .

З виходу перетворювача частоти сигнал з проміжною частотою надходить до ППЧ - підсилювача проміжної частоти (5), котрий являє собою багатокаскадний резонансний підсилювач високої частоти. Але на відміну від ПВЧ приймача прямого підсилення, що настраювався безпосередньо на частоту сприйманого сигналу f_c , настройка ППЧ є фіксованою на частоту $f_{\text{ПР}}$; вона робиться при виготовленні приймача і ніяким змінам не підлягає. Далі ідуть детектор (6) і підсилювач низької частоти (7), які не відрізняються від тих, що мають місце у приймачах прямого підсилення.

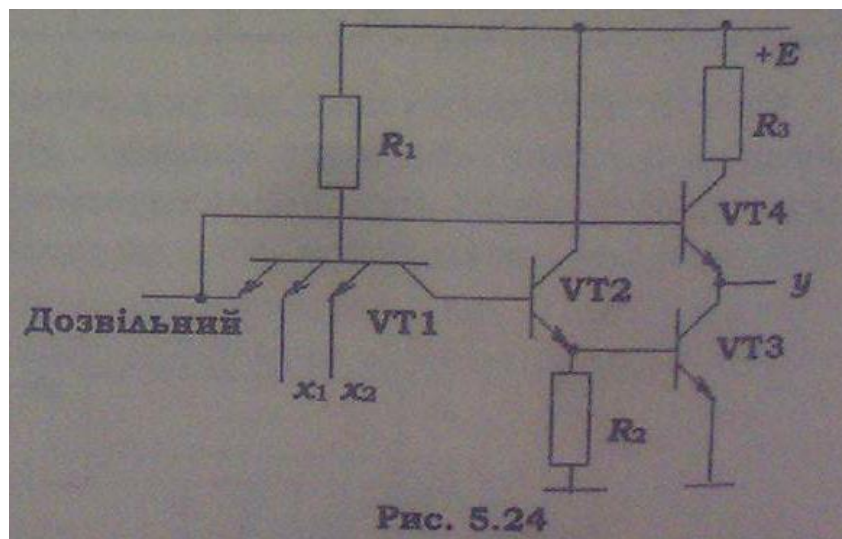
Проте недоліком є виникнення “дзеркального каналу”, для чого і потрібна преселекція.

15. Що таке логічний елемент трьома вихідними станами?

Сумісну роботу кількох блоків на одній лінії інформаційної шини успішно забезпечує ЛЕ з трьома вихідними станами. Це так званий тристановий (або шинний) драйвер, або Z —буфер, у якого на виході крім звичайних двох станів (0 і 1) є ще третій - "обрив", тобто високоомний вихід. Вихідний опір ЛЕ в третьому (так званому стані 2) становить сотні кілоом. ЛЕ з трьома станами поєднує всі переваги базового ЛЕ - високу швидкодію та завадостійкість, а також здатність працювати на загальну шину, що властиво для ЛЕ з відкритим колектором.

У складних цифрових пристроях звичайно виходи багатьох логічних елементів підключаються паралельно до загальної збірної шини. З цих логічних елементів в кожний певний момент часу працює лише один, а всі інші знаходяться в неробочому стані і своїми вихідними опорами шунтують вихід працюючого і заважають його роботі. Тому бажано б було відключати від шини всі ті елементи, які в даний час не працюють, переводячи їх в так званий третій стан з високим вихідним опором. Для цього у логічних елементів передбачається так званий —дозволяючий вхід, одиниця на якому відкриває вихід відповідного елемента і підключає його до збірної шини. Ті ж елементи, які у цей момент не працюють, від шини відімкнені.

Спрощену схему такого логічного елемента НЕ з третім станом зображено на рис. 5.24.



При низькому рівні на «дозвільному» вході транзистори VT2, VT3, VT4 закриті, а вихід y відрізано від шини. При високому рівні транзистор VT4 відкритий і схема керується сигналами на інформаційних входах x_1 і x_2 .

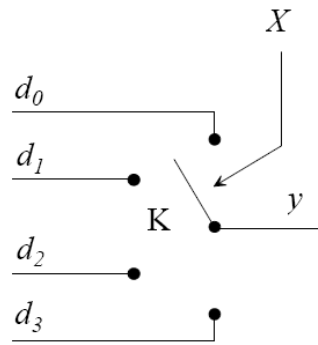
16. Які функції виконує мультиплексор?

Він має N адресних входів, 2^N інформаційних входів та один вихід. Коли на адресні X -входи подати кодовий сигнал, який відповідає числу i , то до y - виходу підключиться інформаційний вхід d_i .

Таку схему можна використати для вибіркового опитування великої кількості датчиків, сигнали від яких виводяться на єдине навантаження.

Мультиплексор подібний до ключа, який керується адресним сигналом підключає до загального виходу один з входів. Цікаво відзначити, що подібна система може

служити універсальним логічним елементом. Задавши на d -входах деякі фіксовані значення напруги (0 або 1), можна отримати пристрій, що виконує щодо X -сигналів будь-яку з булевих функцій для двох змінних.



17. Чи потрібні тактові імпульси для роботи паралельного регістру пам'яті?

Паралельний регістр складається з D-тригерів, кількість яких дорівнює розрядності двійкового числа, яке потрібно запам'ятати. Число, яке у двійковому коді треба записати в регістр, подається на шину вхідних даних, кожний провідник якої відповідає певному розряду числа. Коли на C - входи тригерів по-дати команду запису, тригери сприймають сигнали із своїх D -входів та “за-пам’ятовують” кожний свій розряд. Після цього сигнали з шини вхідних даних можна зняти.

Отже для роботи паралельного регістру пам'яті потрібна подача команди запису, що зазвичай реалізується за допомогою тактових імпульсів.

18. В чому різниця між статичними і динамічними пристроями пам'яті?

В статичних ОЗП (оперативні запам'ятовуючі пристрої) елементами пам'яті служать тригери. В динамічних ОЗП інформація зберігається конденсаторами, які заряджаються та розряджаються через електронні ключі, менш швидкодіючі, треба підживлювати, бо заряд стікає з конденсатора.

Перевагою динамічних ЗП з МОН-комірками порівняно із статичними є їх значно менші розміри, завдяки чому на однаковій площі кристалу вдається розмістити значно більше динамічних комірок і отже зробити весь ЗП більш компактным та ємним. Окрім того, динамічні ЗП набагато економніші за статичні, оскільки в процесі зберігання інформації вони не споживають енергії від джерела живлення.

Недоліком усіх динамічних ЗП є те, що введений в запам'ятовуючу комірку заряд може зберігатися в ній лише обмежений час - від кількох мілісекунд до кількох секунд - через витік по недосконалій ізоляції. Тому для підтримання заданих станів комірок потрібно періодично робити відновлення (регенерацію) записаної до них інформації шляхом дозарядки накопичувальних ємностей від спеціального досить складного пристрою.

Іншим істотним недоліком динамічних ОЗП порівняно із статичними є їх менша швидкодія, бо цілком очевидно, що на заряджання або перезаряджання накопичувальної

ємності потрібний певний скінчений час. Отже там, де потрібна велика швидкодія, використовуються все ж таки статичні ОЗП.

19. Навіщо в системі флеш - пам'яті використовуються МОН – транзистор з двома затворами?

Для тривалого збереження інформації!

Пояснення: Транзистор має 2 затвора: керуючий та плаваючий. Останній повністю ізольований і здатний втримувати електрони 10 років. При програмуванні напругою на керуючому затворі створюється електричне поле і виникає тунельний ефект. Частина електронів тунелює крізь шар ізолятора і попадає на плаваючий затвор. Заряд на плаваючому затворі змінює «ширину» канала стік-витік і його провідність, що використовується при читанні.

Для стирання інф. на керуючий затвор подається висока від'ємна напруга, і електрони з плаваючого затвора переходять на витік.

20. Які вам відомі різновиди аналогово- цифрових перетворювачів?

Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) служать для перетворення аналогових електричних сигналів в цифрові сигнали. АЦП здійснює весь ланцюг такого перетворення, яке складається з :

- дискретизації аналогового сигналу у часі;
- квантування за рівнем;
- перетворення цифри в електричний код.

АЦП : послідовний, паралельний, з порозрядним зважуванням

- послідовні

Динамічна компенсація. З кожним тактом, який диктується тактовим генератором – лічильник збільшує число на виході на «1». Код з лічильника проходить крізь ЦАП і разом з вхідним сигналом надходить на компаратор. Коли вхідний сигнал переважає, на виході компаратора – 1, коли ж сигнали зрівнюються, на компараторі з'являється «0», схема контролю припиняє подачу тактових імпульсів на лічильник і в цей момент число, яке встановилось на його виході і є потрібним відліком.

Схема послідовного наближення. Принцип роботи схеми подібний до попередньої за винятком того, що поступове наближення відбувається не рівномірними кроками, а регістрами, починаючи з старшого. Така схема працює звичайно швидше і може оцифрувати більш швидкі сигнали.

- паралельні

Паралельний (флеш) АЦП. Дана схема працює таким чином: вхідна напруга порівнюється з опорною на компараторах, при чому на кожний наступний компаратор подається опорна напруга менша ніж на попередній на деяку сталу величину, яка визначається величиною опору R. Таким чином, якщо йти по схемі знизу вгору, на компараторах спочатку буде «1» (вхідна напруга більша за опорну), а починаючи з деякого вже йтимуть «0» - опорна вже починає переважати. Таким чином по номеру даного компаратора можна судити про величину вхідного сигналу, що й робить пріоритетний шифратор.

○ Послідовно-паралельні АЦП. (Багатоступінчаті АЦП). Принцип дії простий: спочатку сигнал грубо оцифровується верхнім АЦП, потім виділяється різницевий сигнал з вхідного і того, що оцифрував даний АЦП (на суматор один з сигналів подіється інвертованим); після цього сигнал з суматора подається на другий АЦП, опорна напруга якого вже зменшена в 2^k разів, де k – розрядність АЦП. Таким чином в два етапи отримуємо сигнал, дискретизований з вдвоє більшою розрядністю ніж розрядність одного АЦП.

Коливання та хвилі

1. Які механізми обмеження амплітуди вимушених коливань у режимі резонансу Вам відомі?

В реальних системах нескінченне секулярне зростання коливань не спостерігається. Воно обмежується за рахунок наявності дисипації або нелінійності. У випадку точного резонансу лінійне зростання амплітуди з часом спостерігається лише в початкові моменти (при $t \leq 1/\delta$), після чого амплітуда поступово встановлюється на рівні, обернено пропорційному параметру дисипації.

Пов'язані з нелінійностями

А- Зростання дисипації при збільшенні амплітуди.

Б- Неізохронність системи - зростання амплітуди коливань (дисипації немає) може призвести до нелінійного зсуву власної частоти і, отже, до появи нелінійного розстроювання між власною частотою та частотою зовнішньої сили.

2. Коли рух коливної системи можна аналізувати методом повільних амплітуд?

При використанні *методу повільних амплітуд* припускають, що додавання малих доданків у рівняння лінійного консервативного осцилятора мало змінює його розв'язок. Ця мала зміна розв'язку полягає в тому, що амплітуда A стає повільною функцією часу,

тобто її відносна зміна за період коливань із частотою ω_0 є малою: $\left| \frac{1}{A} \frac{dA}{dt} \right| \frac{2\pi}{\omega_0} \ll 1$

Додавши таку саму умову для першої похідної dA/dt і знехтувавши коефіцієнтом 2π у сильній нерівності, остаточно отримаємо умову для повільної амплітуди:

$$\omega_0^2 |A| \gg \omega_0 |\dot{A}| \gg |\ddot{A}|$$

Рух коливної системи можна аналізувати методом повільних амплітуд тоді, коли зміна її повної енергії за період незрівнянно мала в порівнянні із її середнім за період значенням, і швидкість зміни енергії також є малою в порівнянні із зміною енергії.

Математичне формулювання: $\omega^2 |A| \gg \omega |\dot{A}| \gg |\ddot{A}|$.

$$\omega^2 |A| \gg \omega |\dot{A}| \gg |\ddot{A}|$$

Тобто комплексна амплітуда повільно змінюється, якщо узяти як приклад рівняння Мат'є, то це буде відповідати малому коефіцієнту модуляції та малим втратам у контурі.

$$\ddot{q} + 2\delta\dot{q} + \omega_0^2 (1 + m \cos \omega_\pi t) q = 0 \quad (\text{дельта та } m - \text{малі})$$

3. Перерахуйте можливі типи особливих точок на фазовому портреті лінійної системи з одним ступенем вільності.

Особливими (стаціонарними, нерухомими) точками фазової площини називаються точки $x_0 = \text{const}$, які задовольняють відповідне рівняння руху. Для рівняння лінійного

осцилятора ($\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$) особливою точкою буде, очевидно, точка $x=0$. Але її характер залежить від співвідношення між параметрами рівняння. Сідло ($\omega_0^2 < 0$), центр ($\delta = 0, \omega_0^2 > 0$), стійкий фокус ($0 < \delta < \omega_0$), нестійкий фокус ($0 < -\delta < \omega_0$), стійкий вузол ($0 < \omega_0 < \delta$), нестійкий вузол ($0 < \omega_0 < -\delta$).

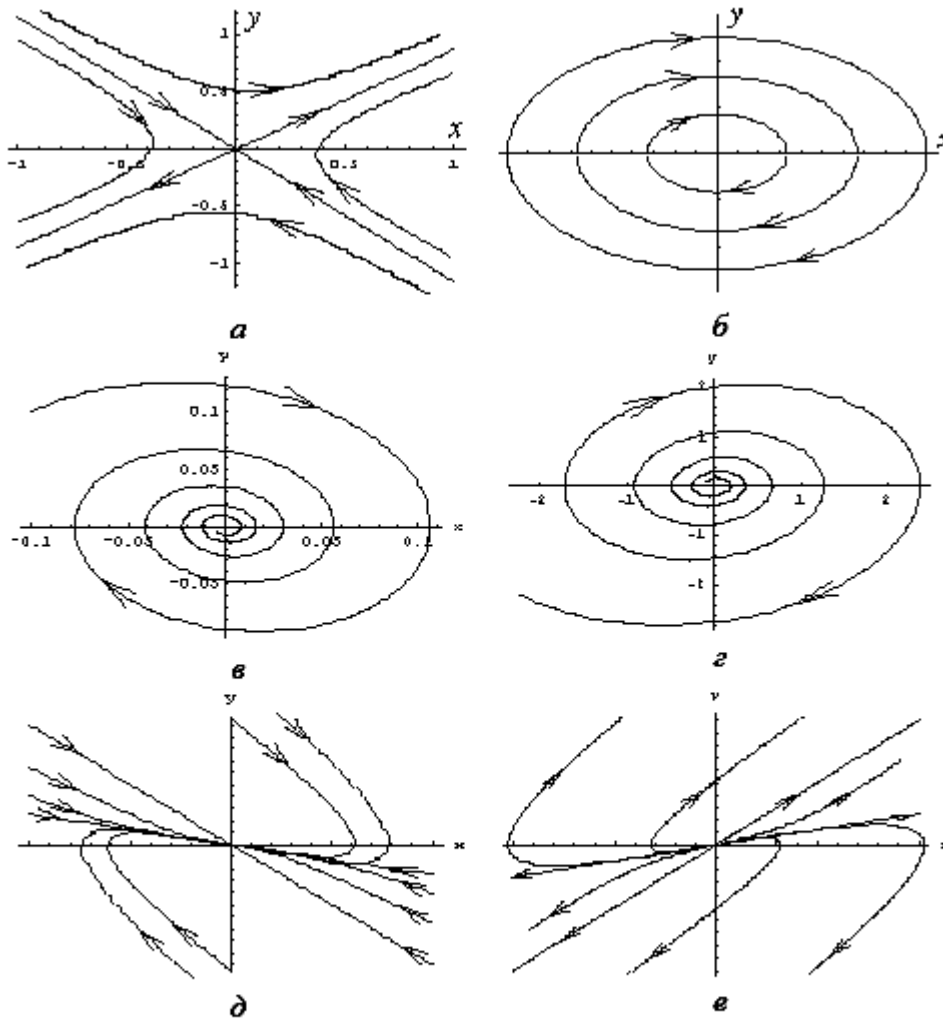


Рис.1.1.7. Особливі точки лінійного осцилятора: а - сідло ($\omega_0^2 < 0$); б - центр ($\delta = 0, \omega_0^2 > 0$); в - стійкий фокус ($0 < \delta < \omega_0$); г - нестійкий фокус ($0 < -\delta < \omega_0$); д - стійкий вузол ($0 < \omega_0 < \delta$); е - нестійкий вузол ($0 < \omega_0 < -\delta$).

4. В чому полягає параметричне наближення при аналізі руху нелінійних неавтономних осциляторів?

Параметричне наближення полягає в тому, що коливання неавтономного нелінійного осцилятора вважають такими, що не впливають на режим накачування, тобто система не може сама змінити параметри деякого власного елемента. Іншими словами, розгляд зміни деякого параметра в системі, яка не залежить від процесів, що безпосередньо відбуваються в системі, називається параметричним наближенням.

Наприклад нехай в ролі змінної ємності у контурі виступає варікап, на який подається відповідна керуюча напруга (напруга накачування) - як правило, гармонічна.

Отже, реально ми маємо нелінійний елемент, на який діє зовнішня сила, тобто маємо не параметричний, а нелінійний неавтономний осцилятор. Справді, ємність варікапа може, в принципі, змінюватися не лише під впливом напруги накачування, але й під впливом напруги сигналу в контурі. Останнім ефектом, очевидно, можна знехтувати в тому випадку, коли напруга сигналу за амплітудою значно менша від напруги нака-

чування. Це і є умова справедливості параметричного наближення.

5. Назвіть основні особливості вільних коливань нелінійних осциляторів (у порівнянні з лінійними).

- 1) Ангармонізм (Присутні вищі гармоніки основної частоти). Коливання періодичні, але не гармонічні.
 - 2) Неізохронність (Залежність частоти коливань від амплітуди). Власна частота відмінна від резонансної.
- Зазначимо перш за все, що коливання нелінійного осцилятора, залишаючись періодичними, вже не є гармонічними: вони містять вищі гармоніки основної частоти. Говорять, що нелінійним осциляторам притаманний *ангармонізм*. Для осцилятора з квадратичною та кубічною нелінійністю в першому наближенні, як ми бачили, з'явилися нульова, друга та третя гармоніки.
 - Залежність частоти (чи періоду) коливань від їхньої амплітуди називають *неізохронністю*. Слід підкреслити, що частота коливань залежить лише від модуля амплітуди і не залежить від фази коливань

6. Назвіть основні особливості вимушених коливань нелінійних осциляторів під дією гармонічної сили (в порівнянні з лінійними).

У лінійному осциляторі під дією зовнішньої гармонічної сили можуть виникати биття між вільною та вимушеною складовими коливань. У нелінійному осциляторі процес установлення коливань відбувається значно складніше. Однак, якщо амплітуда зовнішньої сили буде зростати плавно (у масштабі часу $1/\delta$), то в системі існуватимуть лише "суто вимушені" коливання. У лінійного консервативного осцилятора амплітуда коливань прямувала при резонансі до нескінченності. У даному випадку вона виявляється обмеженою: механізм обмеження коливань у даному разі пов'язаний з нелінійністю, а точніше, з неізохронністю системи, а власне резонанс може відбуватись не лише на головній моді але і на кратних частотах. У випадку нелінійного осцилятора проявляється ефект гістерезису.

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x + \alpha x^2 + \beta x^3 = f_m \cos pt$$

1. Механізм обмеження амплітуди коливань у даному разі пов'язаний з неізохронністю системи (залежність частоти коливань від амплітуди).
2. В основі ефекту гістерезису лежить неізохронність коливань нелінійного осцилятора. Справді, першопричина гістерезису - наявність двох стійких станів системи (двох різних значень амплітуди коливань) при одній і тій самій частоті зовнішньої сили. Один із них фактично відповідає лінійним коливанням з малою амплітудою, інший - суттєво нелінійним коливанням з великою амплітудою, коли за рахунок неізохронності власна частота підстроюється до частоти зовнішньої сили.

3. Врахування ефектів обумовленими ангармонізмом призводить до появи резонансу не лише на частоті $p \approx \omega_0$, але й на частотах $p \approx \omega_0/2$ та $p \approx \omega_0/3$. У цих випадках спочатку нелінійні доданки породжують відповідну (другу або третю) гармоніку зовнішньої сили, а потім вона збуджує резонансні коливання системи.
4. Врахування наявності вільних коливань може призвести до появи резонансу на частотах $p \approx 2\omega_0$ та $p \approx 3\omega_0$. Взаємодія власних коливань з частотою ω_0 із коливаннями на частоті зовнішньої сили на нелінійності призведе до появи комбінаційних частот, одна з яких може виявитися рівною ω_0 . Тоді для коливань з частотою ω_0 у системі з'являється позитивний зворотний зв'язок, що компенсує дисипацію, і вони можуть підтримуватись як завгодно довго.
5. Не справджується принцип суперпозиції сил.

7. За яких умов реалізується квазігармонічний режим автогенератора Ван-дер-Поля, а за яких – релаксаційний?

$$\ddot{x} - (\alpha - \gamma x^2)\dot{x} + \omega_0^2 x = 0.$$

рівняння Ван-дер-Поля

Квазігармонічний режим: $0 < \alpha \ll \omega_0$ - малі коливання є майже гармонічними

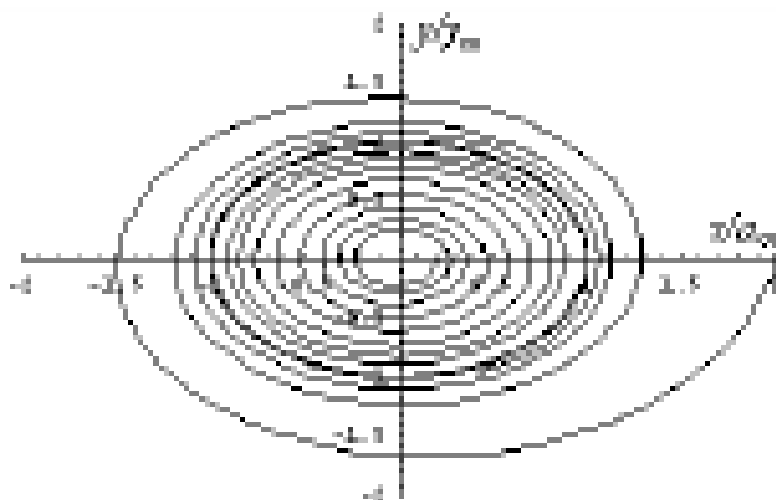
- параметр, що містить коефіцієнти підсилення та зворотнього зв'язку, іншими словами амплітудна умова самозбудження повинна виконуватись, але коефіцієнт підсилення не повинен бути великим; $\gamma \rightarrow 0$ - параметр нелінійності формально вважається малим.

Релаксаційний режим: $\alpha \gg \omega_0$.

8. Яка основна особливість фазового портрету автогенератора?

Основною особливістю являється наявність граничного циклу. Існування стійкого граничного циклу означає, що в деякому діапазоні початкових умов незалежно від їх конкретного значення в системі з часом будуть установлюватися періодичні коливання. По суті, це й означає, що така система є автогенератором.

Стійкий фокус



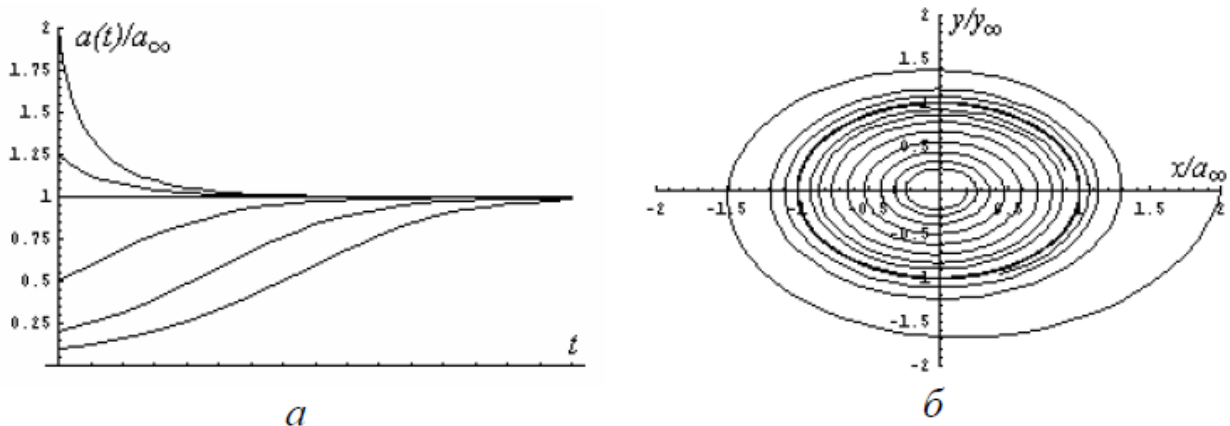


Рис.1.11.3: а - часова залежність амплітуди коливань автогенератора для різних початкових амплітуд; б - фазовий портрет автогенератора в режимі майже гармонічних коливань.

1.11.6. Фазовий портрет генератора майже гармонічних коливань.

Фазовий портрет автогенератора що розділяє області зростання та спадання коливань, виступає в ролі сепаратиси, або, точніше, стійкого граничного циклу на фазовій площині. *Стійким граничним циклом* на фазовій площині називають замкнену фазову траєкторію, до якої асимптотично прямують всі фазові траєкторії з деякого її околу при $t \rightarrow +\infty$. Аналогічну траєкторію, до якої прямують всі фазові траєкторії з деякого її околу при $t \rightarrow -\infty$, називають *нестійким граничним циклом*. Існування стійкого граничного циклу означає, що в деякому діапазоні початкових умов незалежно від їхнього конкретного значення в системі з часом будуть встановлюватися певні періодичні коливання. По суті, це і означає, що така система є автогенератором.

При $\alpha < 0$ фазовий портрет автогенератора якісно не відрізняється від фазового портрету лінійного слабкодисипативного осцилятора; відмінності виявляються лише при значних відхиленнях від положення рівноваги.

Рівняння Релея ($\ddot{x} - (a - \gamma \dot{x}^2)\dot{x} + \omega_0 x$) демонструє при переході параметра α через нуль так звану біфуркацію Андронова - Хопфа: на місці стійкого фокуса народжується нестійкий фокус, оточений стійким граничним циклом. Ця біфуркація відповідає самозбудженню автогенератора.

9. В чому полягає ефект вимушеної синхронізації автогенератора?

В рамках квазілінійної теорії автогенератора зростання коливань у контурі призведе до зменшення середньої крутості і як наслідок до порушення амплітудної умови самозбудження.

За наявності джерела зовнішньої змінної напруги в контурі відбуватимуться коливання одночасно на двох частотах – на власній частоті контуру та на частоті зовнішньої напруги. Якщо коливання під дією зовнішньої напруги будуть достатньо великими, то відповідне значення середньої крутості може виявитися меншим від критичного

значення, й автоколивання зірвуться. Цей ефект називають *вимушеною синхронізацією* автогенератора, або *нав'язуванням частоти*.

10. Які передумови виникнення хаотичної динаміки в системах із невеликою кількістю ступенів вільності?

Коли ідеться про порівняно прості системи з невеликим числом ступенів вільності, то прийнято було вважати, що поведінка таких систем є цілком передбачуваною.

Насправді останнє міркування є справедливим лише для стійких систем, у яких сусідні точки фазового простору з часом не розбігаються. Коли ж система є нестійкою, ситуація змінюється. Справді, початкові умови завжди відомі нам з певною скінченою точністю. Поведінку системи можна вважати передбачуваною лише тоді, коли початкова невизначеність з часом не зростає. Але для нестійких систем ця умова порушується. В результаті невизначеність з часом зростає і може стати як завгодно великою.

Для того, щоб можна було говорити про стохастичну поведінку системи і описувати її в термінах теорії ймовірності, треба, щоб вона характеризувалася деякими середніми величинами, а для цього її рух має бути фінітним. Поєднання нестійкості із фінітністю руху (або, що те саме, обмеженістю області фазового простору, в якій відбувається еволюція системи) і приводить до непередбачуваної поведінки. Оскільки фазові траєкторії не можуть перетинатися, на фазовій площині (тобто для системи з одним ступенем вільності) поєднання нестійкості і обмеженості руху виявляється неможливим. Для цього необхідний принаймні тривимірний фазовий простір, тобто система щонайменше з півтора ступенями вільності.

Приклад такої системи - це коливання консервативного математичного маятника в околі сепаратиси під дією малої зовнішньої сили. Причиною виникнення непередбачуваності в цій системі є наявність сідлової точки, яка забезпечує нестійкість, а зовнішня сила може «перекидати» зображувальну точку по різні боки від сепаратиси.

Для того, щоб стохастична поведінка реалізувалася в дисипативній системі за відсутності дії зовнішньої періодичної сили, необхідно, щоб ця система була або суттєво нерівноважною (тобто мала деякий запас енергії), або відкритою (тобто могла отримувати енергію ззовні). Іншими словами, це має бути деякий аналог автогенератора, причому він повинен мати принаймні півтора ступеня вільності. Напевне, найпростішим прикладом автономних систем, здатних демонструвати непередбачувану поведінку, є так званий генератор шуму Кияшка – Піковського – Рабіновича (генератор шуму КПП).

11. Які нові ефекти з'являються в системі зв'язаних лінійних осциляторів (порівняно з одиночним осцилятором)?

У системах із багатьма ступенями вільності, на відміну від систем з одним і півтора ступенями вільності, виникають принципово нові ефекти, пов'язані з обміном енергією між ступенями вільності. Для системи зв'язаних осциляторів відстань між власними частотами завжди більша, ніж між парціальними. Цей ефект прийнято називати *розштовхуванням власних частот* унаслідок зв'язку між осциляторами. Відхилення власних частот від парціальних майже відсутнє, якщо парціальні частоти дуже відрізняються одна від одної, і досягає максимуму, коли парціальні частоти дорівнюють одна одній. Причиною розштовхування частот є обмін енергією між осциляторами. Саме він приводить до того, що навіть у системі двох ідентичних осциляторів виникають

пульсації амплітуд коливань, які можуть бути інтерпретовані як биття, тобто як наявність коливань з двома відмінними частотами. Биття (обмін енергією між ступенями вільності) і розштовхування частот - це, по суті, одне й те саме явище, охарактеризоване в першому випадку як часова залежність, а в другому - в термінах спектрального аналізу.

12. Які кількісні характеристики хаотичної динаміки Вам відомі?

Показники Ляпунова. Якщо у фазовому просторі динамічної системи (як консервативної, так і дисипативної) віддаль між сусідніми зображувальними точками значно менша від характерних розмірів області D , в якій відбувається еволюція динамічної системи, то зміна вказаної віддалі з часом звичайно має експоненціальний

характер: $|\left(\Delta \vec{x}(t)\right)_i| = \Delta x_{i0} \exp(\lambda_i t)$,

Коефіцієнти λ_i називаються *показниками Ляпунова*. Для стійких напрямків вони від'ємні, для нестійких – додатні.

Сума всіх показників Ляпунова для гамільтонівської системи дорівнює нулеві:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 0.$$

2. Сума всіх додатних показників Ляпунова гамільтонівської системи, усереднена по області D , називається *ентропією Колмогорова -Синая* (КС- ентропією) КС - ентропія є кількісною мірою хаотичності руху системи:

$$h = \langle \sum_{\lambda_i > 0} \lambda_i \rangle,$$

$$\tau = \frac{1}{h}.$$

3. Час перемішування: Для проміжків часу $t \ll \tau$ поведінка системи може вважатися цілком передбачуваною - нестійкість іще не встигає розвинути.

Для проміжків часу $t \gg \tau$ поведінка системи виявляється непередбачуваною.

Таким чином, КС-ентропія є кількісною мірою хаотичності руху системи.

13. Коли можливе співіснування мод у системах із конкуренцією?

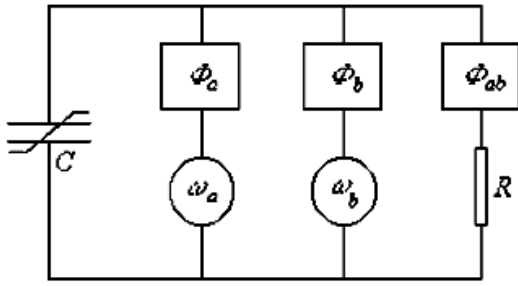
Загалом конкуренція мод описується рівнянням $\rho_{12}\rho_{21} = \text{const}$. Величини ρ_{12} , ρ_{21} називаються *коефіцієнтами нелінійного зв'язку* між модами. Стаціонарно система з конкуренцією може існувати в наступних випадках: $\rho_{12}, \rho_{21} > 1$ - сильний взаємний зв'язок, $\rho_{12} > 1, \rho_{21} < 1$ (або навпаки) – сильний невід взаємний зв'язок, $\rho_{12}, \rho_{21} < 1$ - слабкий взаємний зв'язок. В останньому випадку можливе співіснування мод в системах з конкуренцією.

У випадку сильного невід взаємного зв'язку незалежно від початкових умов у автогенераторі встановлюється лише одна мода - та, яка може ефективно придушувати іншу, не зазнаючи помітного впливу з її боку.

У випадку сильного взаємного зв'язку також встановлюється лише одна мода. Яка саме - залежить від початкових умов: виживає та мода, яка переважала в початковий момент часу.

У випадку слабого взаємного зв'язку взаємний вплив мод є малим, тому обидві моди співіснують. В цьому режимі, очевидно, матимуть місце биття між автоколиваннями різних частот.

14. Який фізичний зміст співвідношень Менлі – Роу?



$$P_a + P_b + P_{ab} = 0, \quad \omega_{ab} = m\omega_a + n\omega_b,$$

$$\frac{P_a}{\omega_a} + \frac{mP_{ab}}{m\omega_a + n\omega_b} = 0; \quad \frac{P_b}{\omega_b} + \frac{nP_{ab}}{m\omega_a + n\omega_b} = 0.$$

Рівняння дістали в літературі назву співвідношень Менлі–Роу. Вони виражають баланс енергії при нелінійному перетворенні частоти і дають можливість інтерпретувати названий процес у термінах кількості квантів.

Розглянемо перше зі співвідношень. Перший доданок у лівій частині – це величина, пропорційна кількості квантів частоти ω_a , що виділяються відповідним генератором за одиницю часу. Відповідно величина $P_{ab}/(m\omega_a + n\omega_b)$ пропорційна кількості квантів комбінаційної частоти, що поглинаються за одиницю часу на активному опорі. На створення одного кванта комбінаційної частоти витрачається m квантів частоти ω_a .

Отже, $mP_{ab}/(m\omega_a + n\omega_b)$ – це кількість квантів частоти ω_a , що витрачаються на створення квантів комбінаційної частоти за одиницю часу. Таким чином, аналізоване співвідношення виражає баланс квантів частоти ω_a в аналізованій схемі. Друге співвідношення відповідно виражає баланс квантів частоти ω_b .

Згідно співвідношень Менлі-Роу, потужність, яка відбирається від генераторів – пропорційна до їх відповідних частот, що дозволяє інтерпретувати процес утворення комбінаційних(низьких) частот, як злиття(розпад) квантів. Отже квантова природа простежується навіть у випадку розгляду радіотехнічних задач.

15. Назвіть властивості систем, у фазовому просторі яких може виникнути дивний атрактор.

Крім простих атракторів, у фазовому просторі можуть існувати ще так звані *дивні атрактори*. Вони поєднують стійкість із нестійкістю. Зображувальні точки з часом притягаються до дивного атрактора, але на самому атракторі сусідні зображувальні точки з часом розбігаються, тобто має місце нестійкість. Поведінка фазових траєкторій на дивному атракторі аналогічна до поведінки гамільтонівських систем із перемішуванням, їй відповідає стохастична динаміка системи.

Дивні атрактори можуть існувати лише в таких дисипативних системах, які є або відкритими (до яких надходить енергія ззовні), або нерівноважними (які мають великий запас внутрішньої енергії). В протилежному випадку коливання в дисипативній системі з часом повинні згасати.

16. У яких системах можуть спостерігатись абсолютна та конвективна нестійкості? В чому полягає відмінність між цими нестійкостями?

У генераторі на зустрічних пучках та в лампі зворотної хвилі коливання з часом зростають у кожній точці простору. Це пов'язано з наявністю в системі розподіленого зворотного зв'язку, в результаті чого сигнал весь час повертається в область взаємодії.

Така нестійкість називається *абсолютною*. Вона може бути використана для створення генераторів. Формально абсолютній нестійкості відповідають комплексний корінь для ω , що описують зростання амплітуди хвилі з часом, при чисто дійсних k , тоді як комплексний корінь для k , який описував би зростання амплітуди в просторі при чисто дійсних ω , відсутній.

У двопроменевому підсилювачі на супутніх пучках, резистивному підсилювачі, лампі біжучої хвилі початкове збурення, що зростає, одночасно переноситься в просторі. При цьому коливання в даній точці простору з часом можуть і згасати. Таку нестійкість називають *зносною*, або *конвективною*. Вона може бути використана для створення підсилювачів. Формально для конвективної нестійкості існує комплексний корінь для k , який описує зростання амплітуди хвилі в просторі при чисто дійсних ω .

Абсолютну нестійкість можна перетворити в конвективну і навпаки, якщо перейти в деяку рухому систему відліку. Наприклад, у системі відліку, що рухається з достатньою швидкістю, абсолютна нестійкість сприйматиметься як конвективна. Навпаки, якщо швидкість руху системи відліку збігається зі швидкістю знесення підсилюваного збурення, то в рухомій системі конвективна нестійкість сприйматиметься як абсолютна.

17. Що таке дисперсія хвиль? Які причини породжують дисперсію? Які типи дисперсії Вам відомі?

Якщо фазова швидкість хвилі залежить від її частоти або хвильового числа, говорять, що в системі має місце *дисперсія* хвиль.

Причини: 1. Доки частота хвилі залишається сумірною з власною частотою системи. Причиною існування дисперсії виступає наявність власної частоти в аналізованій системі. Такий тип дисперсії прийнято називати *часовою*; 2. Коли довжина однієї ланки аналізованої системи стає сумірною з довжиною хвилі. Можна зробити висновок, що в цьому разі причиною дисперсії є наявність у системі характерної довжини. Маємо справу з *просторовою* дисперсією.

Типи: часова і просторова (описані вище), нормальна і аномальна (в залежності від того, зменшується чи збільшується фазова швидкість хвиль із зростанням їхньої частоти), додатна і від'ємна (в залежності від знаку добутку фазової та групової швидкостей).

Дисперсія волн — в различие фазовых скоростей линейных волн в зависимости от их частоты. Дисперсия волн приводит к тому, что волновое возмущение произвольной негармонической формы претерпевает изменения (диспергирует) по мере его распространения.

Дисперсия волн обычно связана или с наличием временного запаздывания в реакции среды на волновое возмущение (временная дисперсия), или с влиянием на данную точку пространства соседних точек (пространственная дисперсия).

18. Яка природа областей прозорості та непрозорості в системах із розподіленими параметрами?

Коливний контур має власну частоту. Розглянувши коливання в двох зв'язаних коливних контурів отримаємо дві власні частоти системи між якими відбувається обмін енергією. При збільшенні кількості зв'язаних контурів (ланцюжкові системи), кількість частот збільшується, і при дуже великому числі дискретний набір частот перейде в неперервний і утвориться смуга прозорості. Там де немає власних частот системи, утворюється смуга непропускання.

19. Назвіть основні механізми випромінювання хвиль.

Хвилі – це коливання, які з часом поширюються в просторі. Механізми поширення:

1. За допомогою зв'язку між частинами середовища, які обумовлені силами пружності, які виникають в результаті деформації середовища або його коливання. Так поширюються звукові хвилі.

2. За допомогою зв'язку між частинами середовища, які обумовлені силою тяжіння або силами поверхневого натягу. Так поширюються хвилі в водному середовищі.

3. Електромагнітні хвилі представляють собою передачу з одного місця простору в інші коливань електричного і магнітного полів, які створюються електричними зарядами і струмами. Зв'язок між сусідніми частинами електромагнітного поля обумовлений тим, що всяка зміна електричного поля викликає появу магнітного поля, і навпаки.

- випромінювання е/м хвиль з'являється коли заряд рухається з прискоренням

Розглядають дипольне, магнітодипольне, квадрупольне і т.д. випромінювання.

- при зіткненнях відбувається гальмування заряджених частинок і має місце гальмівне випромінювання

- коли е влітає в магнітне поле перпендикулярно до нього він починає обертатися і виникає циклотронне магнітогальмівне випромінювання. (для ультрарелятивістських частинок - синхротронне)

- випромінювання Вавилова-Черенкова (випромінювання хвиль середовищем внаслідок прольоту крізь нього зарядженої частинки). Існує при швидкостях більше фазової швидкості світла в середовищі (виникає Черенковський конус аналогісний конусу Маха для акустичного випромінювання при надзвуковій швидкості)

- перехідне випромінювання - випромінювання при русі зарядженої частинки в просторово-неоднорідному середовищі або при переході з одного середовища в інше (виникає поверхнева е/м хвиля у вигляді концентричних кіл аналогічна опусканню камінця на нитці з повітря у воду)

20. Що таке хвилі з від'ємною енергією? У яких системах вони можливі?

Повільна хвиля просторового заряду несе від'ємну енергію, тобто при її збудженні в електронному потоку енергія виділяється. Така ситуація можлива лише в нерівноважних системах, де відсутність збурень не обов'язково відповідає мінімуму енергії. Тому поняття *хвиль з від'ємною енергією* можна ввести, наприклад, для активних середовищ лазерів та мазерів (середовища з інверсною заселеністю рівнів), для ланцюжка, складеного з тунельних діодів чи діодів Ганна (середовища з від'ємною в'язкістю), та інших подібних систем. Прикладом такої хвилі слугує повільна ХПЗ. У ній електронні

згустки рухаються повільніше, ніж потік в цілому, тому для її збудження треба сповільнити більшість електронів, відібравши енергію від системи.

Це хвилі, при збудженні яких, енергія виділяється, це справедливо для повільних хвиль просторового заряду, які використовуються для створення підсилювачів на їх основі, в повільній ХПЗ електронні згустки рухаються повільніше, ніж потік в цілому, тому для її збудження треба сповільнити більшість електронів, відібравши енергію від системи (для швидких - треба прискорити згустки електронів, отже витратити енергію). Це поняття можна ввести для активних середовищ лазерів та мазерів (середовища з інверсною заселеністю рівнів), для ланцюжка, складеного з тунельних діодів чи діодів Ганна (середовища з від'ємною в'язкістю).

Електрика та магнетизм

1. Записати теорему Остроградського-Гаусса в інтегральній формі і отримати з неї у диференціальній формі.

$$\Phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = 4\pi Q \Rightarrow \oint_S \vec{E} \cdot \vec{n} \cdot dS = \int_V \operatorname{div} \vec{E} dV = 4\pi \int_V \rho dV \Rightarrow \operatorname{div} \vec{E} = 4\pi \rho$$

Φ – потік вектора напруженості електричного поля через будь яку замкнену поверхню, Q – заряд, який знаходиться всередині цієї поверхні, ρ – об'ємна густина заряду, E – електричне поле n – вектор нормалі.

Для отримання . теор. Гаусса в нов. формі скористаємося . теор. Гаусса в інтегр. та теоремою остроградського-гаусса з курсу матаналізу

$$\Phi = \oint_S \vec{E} d\vec{S} = \int_V \operatorname{div} \vec{E} dV = 4\pi \int_V \rho dV$$

Звідси випливає що

$$\int_V (\operatorname{div} \vec{E} - 4\pi \rho) dV = 0 \Rightarrow \operatorname{div} \vec{E} = 4\pi \rho$$

2. Записати зв'язок між напруженістю електростатичного поля та потенціалом.

$$\vec{E} = -\operatorname{grad} \varphi = -\nabla \varphi$$

3. Записати рівняння Лапласа і Пуассона. Сформулювати умову єдиності розв'язку.

$\nabla^2 \varphi = 0$ - рівняння Лапласа. $\nabla^2 \varphi = -4\pi \rho$ - рівняння Пуассона. За відсутності зарядів ($\rho=0$) рівняння Пуассона перетворюється у рівняння Лапласа (рівняння Лапласа – окремий випадок рівняння Пуассона). Така задача не може мати більш ніж один розв'язок (якщо задано тільки заряди всіх провідників, то потенціал визначається з точністю до несуттєвої адитивної константи).

4. Конструкція і принцип дії генератора Ван-дер-Граафа.

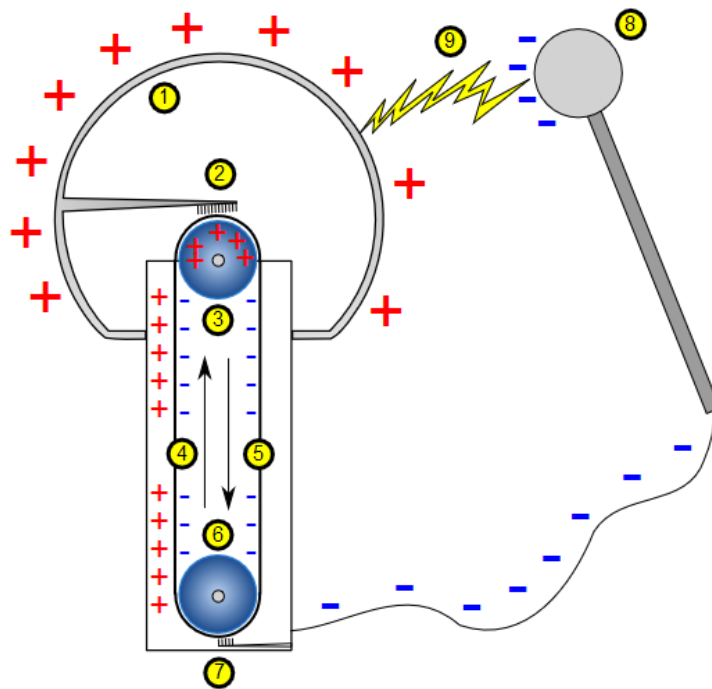
Генератора Ван-дер-Граафа прискорювач заряджених частинок, генератор високої напруги. Для створення високої постійної напруги в генераторі ван де Граафа використовуються електризація тертям. Таким методом можна досягнути напруги до кількох мегавольт. Значення напруги обмежене виникненням коронного розряду між сферичними електродами. Відповідно, енергія прискорених частинок обмежена кількома МеВами на одиницю заряду.

Простий генератор Ван де Граафа складається з діелектричної (шовкової або гумової) стрічки (4 і 5 на малюнку), що обертається на роликах 3 і 6, причому верхній ролик діелектричний, а нижній металевий і з'єднаний з землею. Один з кінців стрічки

укладений у металеву сферу 1. Два електроди 2 і 7 у формі щіток знаходяться на невеликій відстані від стрічки зверху і знизу, причому електрод 2 з'єднаний з внутрішньою поверхнею сфери 1. Поблизу нижнього електрода повітря іонізується, утворюються позитивні іони під дією сили Кулона рухаються до заземленого 6 ролика й осідають на стрічці, завдяки чому частина стрічки, що рухається вгору, заряджається. Стрічка доставляє заряд всередину сфери 1, де він знімається щіткою 2 завдяки тому, що всі заряди виштовхуються на поверхню сфери і поле всередині сфери створюється тільки додатковим зарядом на стрічці. Таким чином на зовнішній поверхні сфери накопичується електричний заряд. Можливість отримання високої напруги обмежена коронним розрядом, що виникають при іонізації повітря навколо сфери.

Основний принцип роботи генератора впливає з законів розподілення заряду в провідниках. Заряд концентрується на зовнішній поверхні сфери. В середині сфери заряд відсутній. Саме це допомагає стікати заряду з електризованої стрічки і накопичувати його на сфері. Тому генератор може працювати і без заземлення та додаткових джерел енергії. Стрічка може електризуватись від тертя, потім віддавати заряд сфері. Звідси і різниця потенціалів на стрічці, яка піднімається до сфери і опускається від неї, та на відповідних електродах.

Сучасні генератори Ван де Граафа замість стрічок використовують ланцюги, що складаються з металевих і пластикових ланок, що чергуються між собою.

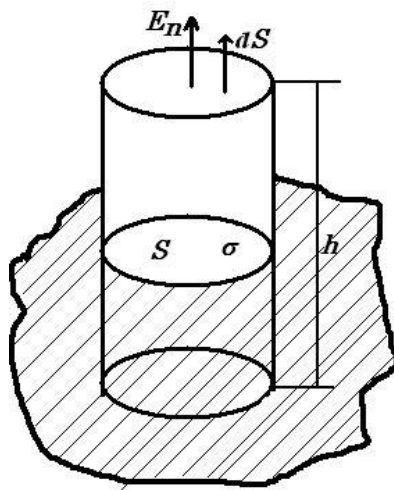


5. Поверхневі і об'ємні поляризаційні заряди, їх зв'язок із вектором поляризації.

поверхнева густина зв'язаних зарядів: $\sigma = \vec{P} \cdot \vec{n} = P \cdot \cos \alpha = P_n$, де P_n – проекція вектора \vec{P} на напрямок зовнішньої нормалі до розглядаємої поверхні. Це справедливо

тільки для однорідно поляризованих діелектриків. Для неоднорідних вводять об'ємну густину поляризаційного заряду.

об'ємна густина зв'язаних зарядів: $\rho = -\vec{\nabla} \cdot \vec{P}$.



Розглянемо елемент dS поверхні всередині неполяризованого діелектрика. При поляризації крізь цю поверхню потече заряд рівний: $dq = P dS$. Тепер розглянемо деякий об'єм V . В результаті поляризації поверхню S , що обмежує об'єм V , перетинають заряди. В об'ємі виникає зв'язаний заряд, об'ємна густина якого $\rho_{св}$.

Запишемо закон збереження заряду в об'ємі V у вигляді: $\int_V \rho_{св} dV = - \int_S P dS$,

застосовуючи теорему Гауса-Остроградського маємо: $\int_V (\rho_{св} - \text{div} P) dV = 0$. Якщо це виконується для будь-яких V , то $\rho_{св} = -\text{div} P$ (1). Таким чином в об'ємі зв'язані заряди виникають лише тоді, коли поляризованість P змінюється від точки до точки.

На границі двох діелектриків виникає поверхневий заряд. Побудуємо на границі розділу циліндр з висотою h і площею основи S , і проінтегруємо обидві частини рівняння 1 по об'єму

циліндра: $\int_V \rho_{св} dV = - \int_V \text{div} P dV$, за теоремою Гауса-

Остроградського: $\int_V \text{div} P dV = \int_S P dS = \int_{S_2} P_2 dS_2 + \int_{S_1} P_1 dS_1$. Виберемо в якості додатньої нормалі

до границі розділу напрямленц від першого діелектрика до другого. $\int_S P dS = P_{2n} \Delta S_2 - P_{1n} \Delta S_1$,

звідки $\sigma_{св} = -\epsilon^2 (P_2 - P_1)$ - поверхнева густина заряду на границі.

6. Граничні умови для векторів напруженості електричного поля та вектора зміщення.

Тангенційні складові вектора \vec{E} завжди неперервні:

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \left[\mathbf{n}_{12} \times \left(\mathbf{E}^{(2)} - \mathbf{E}^{(1)} \right) \right] = 0.$$

нормальна складова вектора \vec{D} зазнає розриву:

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = 4\pi\rho \quad \rightarrow \quad \left(\mathbf{D}^{(2)} - \mathbf{D}^{(1)} \right) \cdot \mathbf{n}_{12} = 4\pi\sigma,$$

Граничні умови для нормальної складової вектора D . $\int_V \rho dV = -\int_V \operatorname{div} D dV$, отже

$\sigma = -n^2(D_2 - D_1)$, де σ - поверхнева густина заряду на границі (дов. аналогічно 6).

Граничні умови для тангенціальної складової вектора E . Побудуємо поблизу границі розділу діелектриків замкнений контур. Через потенціальність електричного

поля $\int_{ABCD} E dl = 0$. Інтеграли поділянкам BC і DA нескінченно малі, так як AB і CD розташовані нескінченно близько один до одного. Тому: $E_{2x} - E_{1x} = 0$. Це і є граничною умовою.

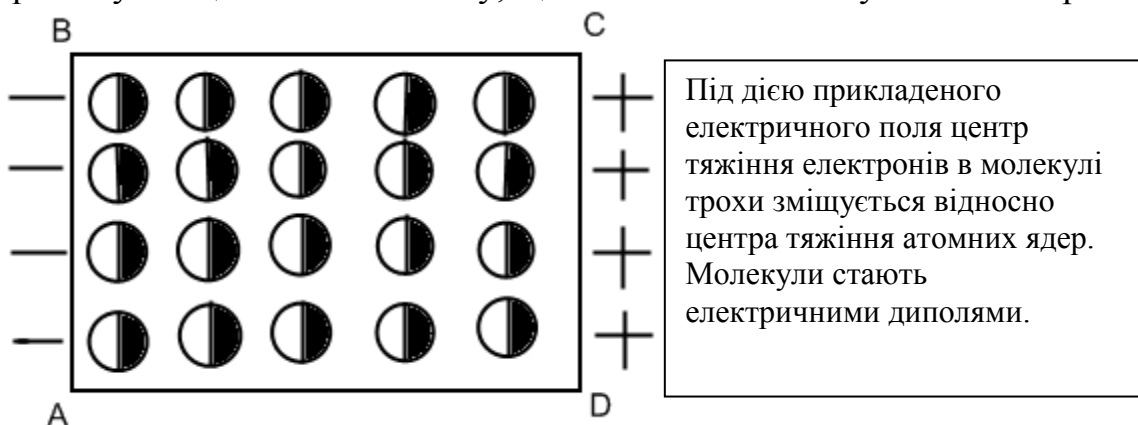
7. Електронна, орієнтаційна та іонна поляризація газоподібних, рідких та твердих діелектриків.

Поляризація діелектриків – явище, яке пов'язане з обмеженим зміщенням зв'язаних зарядів в діелектрику або поворотом диполів під дією зовнішнього електричного поля. Електронна – зміщення електронних оболонок атомів під дією зовнішнього електричного поля. Не пов'язана з втратами. (деформація електронної хмари)

При електронній поляризації, під дією зовнішнього поля E . Ядро атому зміщується відносно центру від'ємних зарядів, при цьому атом набуває дипольного моменту p . Зміщення ядра припиняється, коли сили, що виникають при зміщенні будуть компенсувати сили, які діють на заряди у зовнішньому полі.

Орієнтаційна – протікає з втратами на подолання сил зв'язку і внутрішнього тертя. Пов'язана з орієнтацією диполів в зовнішньому електричному полі. (переорієнтація жорстких диполів)

Іонна – зміщення вузлів кристалічної структури під дією зовнішнього електричного поля, причому зміщення на величину, що менша за величину постійної ґратки.



Ці диполі орієнтовані додатньо зарядженими кінцями в напрямку поля **E**. В такому випадку кажуть, що діелектрик поляризований, а саме зміщення позитивних та негативних зарядів діелектрика в різні сторони називають електричною поляризацією. Як бачимо, на кінці АВ виступають не скомпенсовані негативні, а на кінці CD – не скомпенсовані позитивні поверхневі заряди – зв'язані заряди. Це був перший тип поляризації(електронний).

Існують діелектрики, молекулам яких властиві дипольні моменти і за відсутності зовнішнього електричного поля(полярні молекули). Якщо поля нема, то молекули здійснюють хаотичний тепловий рух, а при дії зовнішнього поля дипольні моменти молекул орієнтуються у напрямку поля, а це значить, що діелектрик стає поляризованим. Це другий тип(орієнтаційний).

Існують діелектричні кристали, побудовані з іонів протилежних знаків(іонні кристали). Іонні кристали складаються з двох кристалічних решіток, всунутих одна в одну(одна з позитивних іонів, інша – з негативних). Під дією зовнішнього поля решітки зсуваються в протилежні сторони – кристал поляризується. Це третій тип поляризації(іонний). Існують іонні кристали, поляризовані навіть за відсутності зовнішнього поля.

8. П'єзоелектричний ефект.

Прямий п'єзоелектричний ефект – виникнення поляризації діелектрика під дією механічних напруг(стискання, розтягування). Зворотний п'єзоелектричний ефект – виникнення механічних деформацій під дією електричного поля.

В багатьох кристалах при деформації в деяких напрямках виникає електрична поляризація. В результаті чого на їх поверхнях з'являються заряди протилежних знаків. Це явище отримало назву прямого п'єзоелектричного ефекту. П'єзоелектричними властивостями можуть володіти тільки іонні кристали. Для існування п'єзоефекту необхідно, щоб іонний кристал не мав центру інверсії, тобто такої точки, відображення в якій суміщає кристал із самим собою. В кристалі, в якому немає центру інверсії, існують так звані полярні осі, тобто такі осі, два напрями яких нерівноправні. Поворот кристалу на 180 навколо будь якої прямої, перпендикулярної до полярної вісі, не суміщає його із самим собою. Деформація іонного кристалу вздовж цих осей приводить до його поляризації. Обернений п'єзоефект полягає в тому, що під дією електричного поля в п'єзоелектричних кристалах з'являються механічні напруги і деформації. Існує поздовжній і поперечний обернений п'єзоефект. При прикладенні електричного поля вздовж полярної вісі змінюються розміри кристалу вздовж неї (поздовжній ефект) і перпендикулярно до неї (поперечний ефект). Об'єм кристалу при цьому не змінюється, тому, якщо один розмір зменшується, то другий збільшується. Механізм оберненого п'єзоефекту зрозумілий із наведених вище міркувань для прямого ефекту: при подаванні різниці потенціалів на пластини конденсатору поле, що виникає, зміщує додатні та від'ємні іони в протилежні сторони, комірка і кристал деформуються.

Пьезоэлектрический эффект (от греч.*piézō* (*πιεσο*) — давлению, сжимаю) — эффект возникновения поляризации диэлектрика под действием механических напряжений (*прямой пьезоэлектрический эффект*). Существует и *обратный пьезоэлектрический эффект* — возникновение механических деформаций под действием электрического поля.

При прямом пьезоэффекте деформация пьезоэлектрического образца приводит к возникновению электрического напряжения между поверхностями деформируемого

твёрдого тела, при обратном пьезоэффекте приложение напряжения к телу вызывает его деформацию.

Пьезоэлектрические вещества всегда обладают одновременно и прямым, и обратным пьезоэффектом. Не обязательно, чтобы вещество было монокристаллом, эффект наблюдается и в поликристаллических веществах, предварительно поляризованных сильным электрическим полем во время кристаллизации, или при фазовом переходе в точке температуры Кюри при охлаждении для сегнетоэлектриков (например, керамические пьезоэлектрические материалы на основе цирконата-титаната свинца) при наложенном внешнем электрическом поле.

Прямой эффект был открыт братьями Жаком и Пьером Кюри в 1880 году. Обратный эффект был предугадан в 1881 году Липпманом исходя из термодинамических соображений. В том же году экспериментально открыт братьями Кюри.

Исследования пьезоэффекта показали, что он объясняется свойством элементарной ячейки структуры материала. Так как элементарная ячейка является наименьшей симметричной единицей материала, путём её многократного повторения можно получить микроскопический кристалл. Необходимой предпосылкой для появления пьезоэффекта является отсутствие центра симметрии в элементарной ячейке.

Пьезоэффект нельзя путать с электрострикцией. В отличие от электрострикции, прямой пьезоэффект наблюдается только в кристаллах без центра симметрии. Хотя в классе 432 кубической сингонии нет центра симметрии, пьезоэлектричество в нём также невозможно. Следовательно, пьезоэффект может наблюдаться у диэлектрических кристаллов, принадлежащих только к одному из 20 классов точечных групп.

9. Намалювати петлю сегнетоелектричного гістерезису. Позначити залишкову поляризацію та коерцитивну силу.



Диэлектрическая проницаемость ϵ (а следовательно, и P) – нелинейно зависит от напряженности внешнего электростатического поля (*нелинейные диэлектрики*).

Это свойство называется *диэлектрическим гистерезисом*. На рисунке 4.6 изображена кривая поляризации сегнетоэлектрика – петля гистерезиса.

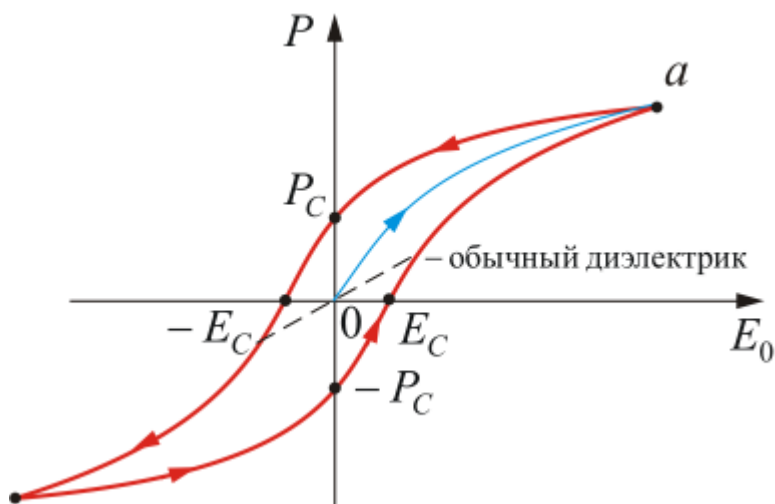


Рис. 4.6

Здесь точка *a* – *состояние насыщения*.

При $E_0 = 0$, $P \neq 0$, это говорит о том, что в кристаллах имеется **остаточная поляризованность** P_C , чтобы ее уничтожить, необходимо приложить E_C – **коэрцитивную силу** противоположного направления.

10. Вивести рівняння неперервності.

Виведемо рівняння неперервності з рівнянь Максвелла:

Теорема про циркуляцію магнітного поля: $\text{rot} \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$. Візьмемо дивергенцію від

обох частин: $\text{div} \text{rot} \mathbf{H} = \text{div} \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial t} \text{div} \mathbf{D}$ Оскільки дивергенція від ротора = 0, то:

$$\text{div} \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial t} \text{div} \mathbf{D} = 0$$

Скористаємося теоремою Гауса: $\text{div} \mathbf{D} = \rho$ Підставивши в попереднє рівняння,

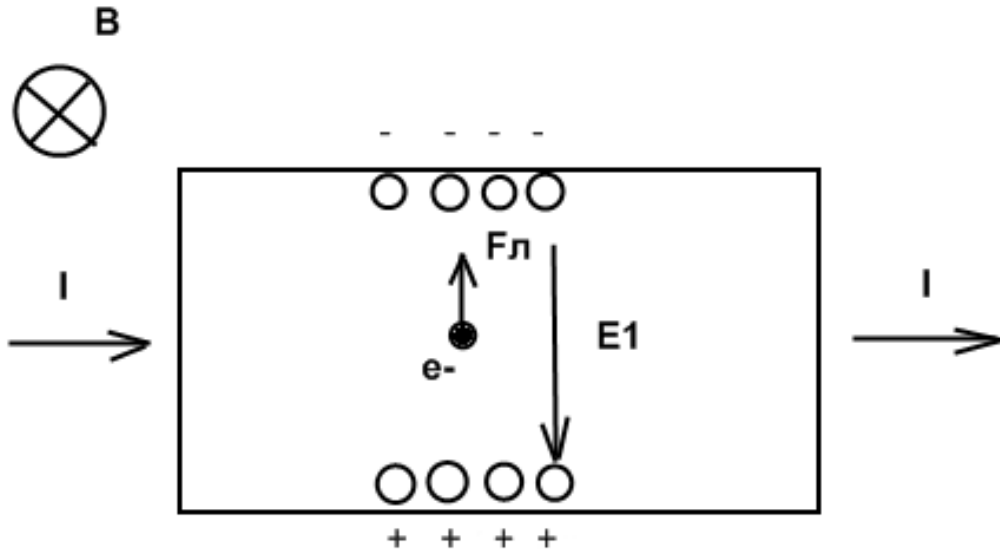
отримаємо рівняння неперервності: $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} \mathbf{j} = 0$.

11. Електричне поле зарядів, що рухаються.

$\vec{E} = -\nabla \varphi - \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$, де E – електричне поле, φ , \vec{A} – скалярний і векторний потенціали.

12. Ефект Холла.

ефект Холла – виникнення різниці потенціалів за рахунок відхилення носіїв заряду до бічних граней зразка у магнітному полі, перпендикулярному до напрямку електричного струму



Ефект Холла. Нехай через металевий провідник в слабкому магнітному полі **B** протікає електричний струм. Магнітне поле буде відхиляти носії зарядів у напрямку, перпендикулярному до напрямку протікання струму. Таким чином сила Лоренца призведе до скупчення негативних зарядів з одної сторони провідника і позитивних з іншої. Це буде тривати, доки ел. поле **E₁** не компенсує дію магнітної складової сили Лоренца:

$eE_1 = evB$, отже $E_1 = vB$. Швидкість електронів можна виразити через густину струму: $j = nev$, $v = j/ne$. Звідси $E_1 = (1/ne)jB$. Коефіцієнт $R_n = 1/ne$ називається сталою Холла і залежить від знаку носія заряду, що дозволяє визначити їх тип для більшості металів. Якщо мова про н/п то **Якщо швидкість носіїв визначається зовнішнім електричним полем, то електрони та дірки під дією сили Лоренца відхиляються в один і той самий бік.**

♦ з електронним типом провідності

$$R = -\frac{\mu}{\sigma} = -\frac{1}{en};$$

♦ із дірковим типом провідності

$$R = \frac{1}{ep}.$$

Таким чином, коефіцієнт Холла обернено пропорційний концентрації носіїв заряду, а його знак збігається зі знаком носіїв.

Досліджуючи одночасно електропровідність та ефект Холла залежно від температури, можна знайти:

- ♦ залежність концентрації носіїв від температури;
- ♦ енергію активації домішок;
- ♦ залежність рухливості носіїв від температури;
- ♦ ширину забороненої зони,

13. Закон Ампера для магнітної взаємодії струмів в інтегральній і диференціальній формі.

Закон Ампера є суто експериментальним. Він виражає силу, яка діє на провідник, зі струмом з боку зовнішнього магнітного поля.

Інтегральна форма закону:

$$\vec{F} = \int I [d\vec{l} \times \vec{B}]$$

Диференціальний запис:

$$d\vec{F} = I [d\vec{l} \times \vec{B}]$$

Із закону Ампера виходить, що паралельні провідники з постійними струмами, що течуть в одному напрямі, притягуються, а в протилежному — відштовхуються.

Повний запис закону Ампера між двома провідниками зі струмом має вигляд:

$$d\vec{F}_{12} = K \frac{I_1 I_2}{r_{12}^3} [d\vec{l}_2 \times [d\vec{l}_1 \times \vec{r}_{12}]]$$

Тут $d\vec{F}_{12}$ — сила, яка діє на елемент $I_2 d\vec{l}_2$ з боку елемента $I_1 d\vec{l}_1$.

K — константа, яка залежить від розмірності величин, що входять у формулу.

$$\vec{F} = k \iint \frac{I_1 I_2}{r_{12}^3} [d\vec{l}_1 \times [d\vec{l}_2 \times \vec{r}_{12}]]$$

14. Закон Біо-Савара-Лапласа в інтегральній і диференціальній формі.

Закон Біо-Савара-Лапласа — це фізичний закон для визначення вектора індукції магнітного поля, що породжується постійним електричним струмом.

Формула для магнітного поля об'ємного елемента струму:

$$d\vec{B} = \frac{1}{cr^3} [\vec{j} \times \vec{r}] dV = \frac{j ds [d\vec{l} \times \vec{r}]}{cr^3}$$

Закон Біо-Савара-Лапласа для лінійного елемента струму виражається формулою

$$d\vec{B} = \frac{j [d\vec{l} \times \vec{r}]}{cr^3} \quad - \text{диференціальна форма.}$$

$$\vec{B} = \oint \frac{j [d\vec{l} \times \vec{r}]}{cr^3} \quad - \text{інтегральна форма.}$$

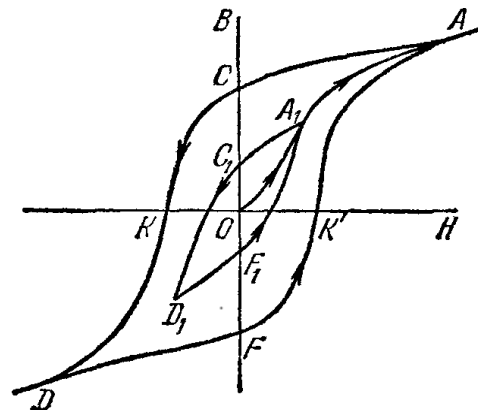
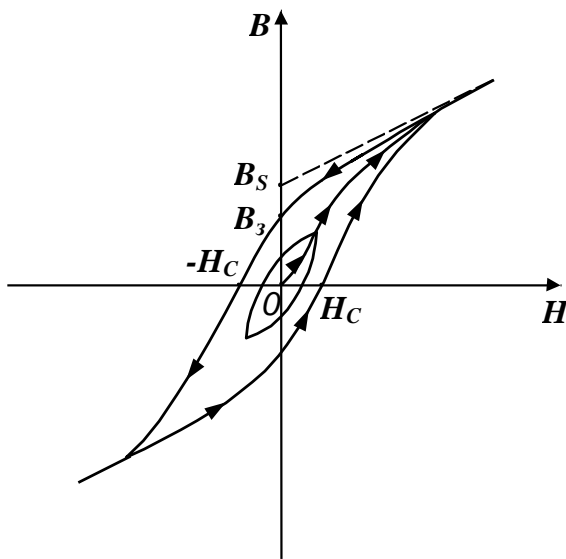
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I [\vec{r} \times d\vec{r}]}{r^3} = \frac{I}{10^7} \frac{[\vec{r} \times d\vec{r}]}{r^3}, \quad - \text{в системі СІ.}$$

15. Для чого вводиться поле розмагнічування?

Поле H_p враховує вплив розмірів і форми магнетика на магнітне поле H всередині магнетика. Можемо написати $H = H_0 - H_p$, тут H — поле в магнетиках, H_0 — зовнішнє намагнічуюче поле, H_p — так зване розмагнічуюче поле. H_p залежить від намагніченості речовини M , тому $H_p \sim M$. Це загальна властивість поля розмагнічування, $H_p = \beta M$, де β — фактор розмагнічування, залежний від геометрії магнетика. Тоді напруженість поля у середині магнетика $H = H_0 - H_p = H_0 - \beta M$, де H_p — розмагнічуюче поле, β — розмагнічуючий фактор.

16. Феромагнетизм. Магнітний гістерезис.

Феромагнетизм — магнітовпорядкований стан речовини, у якій більшість атомних магнітних моментів паралельні одне одному, так що речовина має спонтанну намагніченість. Магнітний гістерезис — явище неоднозначної залежності \vec{B} від \vec{H} або \vec{M} від \vec{H} , котра визначається попередньою історією намагнічування феромагнітного зразка. Петля магнітного гістерезису:



- Феромагнетики сильно втягуються в область сильнішого магнітного поля
- Магнітна сприйнятливості феромагнетиків позитивна і значно більше одиниці.
- При не дуже високих температурах феромагнетики характеризуються спонтанною намагніченістю, яка сильно змінюється під впливом зовнішніх дій
- нелінійний характер процесу намагнічення — гістерезис
- Для кожного феромагнетика існує певна $T \equiv T_K$, яка називається температурою Кюрі, при переході через яку у речовині феромагнетика відбувається фазовий перехід (другого роду). Нижче точки Кюрі магнетик зберігає феромагнітні властивості, вище цієї точки стає парамагнетиком.

Властивості феромагнетиків пов'язані з наявністю у їхній структурі груп атомів, які називаються доменами, котрі вже мають узгоджену орієнтацію елементарних магнітних полів. Орієнтація полів самих доменів, яка відбувається при намагнічуванні, створює власне поле речовини значно сильніше, ніж у інших магнетиків, у яких відбувається лише часткова орієнтація елементарних полів атомів речовини. Орієнтація полів доменів

значною мірою зберігається і після припинення дії зовнішнього поля. Така суть залишкового намагнічування. Проте інтенсивний тепловий рух може зруйнувати цю орієнтацію, тому за високої температури ферромагнітні речовини втрачають свої магнітні властивості.

Ферромагнетизм (англ. *ferromagnetism*) — появление спонтанной намагниченности при температуре ниже температуры Кюри^[1] вследствие упорядочения магнитных моментов, при котором большая их часть параллельна друг другу. Вещества, в которых возникает ферромагнитное упорядочение магнитных моментов, называются ферромагнетиками^[2].

Свойства ферромагнетиков:

Магнитная восприимчивость ферромагнетиков положительна и значительно больше единицы.

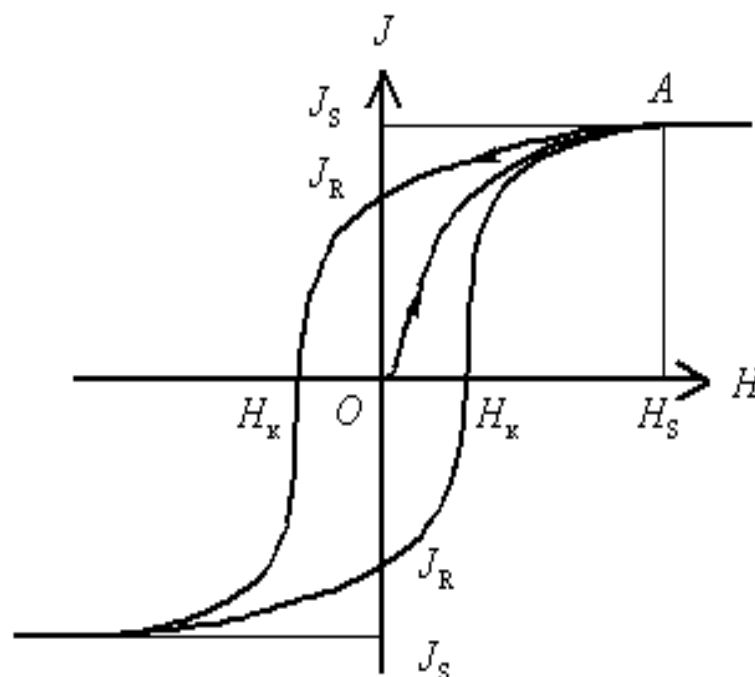
При не слишком высоких температурах ферромагнетики обладают самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью, которая сильно изменяется под влиянием внешних воздействий.

Для ферромагнетиков характерно явление гистерезиса.

Ферромагнетики притягиваются магнитом.

Магнитный гистерезис наблюдается в магнитоупорядоченных веществах (в определенном интервале температур), например в ферромагнетиках, обычно разбитых на домены области спонтанной (самопроизвольной) намагниченности, у которых величина намагниченности (магнитный момент единицы объема) одинакова, но направления различны.

Под действием внешнего магнитного поля число и размеры доменов, намагниченных по полю, увеличиваются за счет других доменов. Векторы намагниченности отдельных доменов могут поворачиваться по полю. В достаточно сильном магнитном поле ферромагнетик намагничивается до насыщения, при этом он состоит из одного домена с намагниченностью насыщения J_S , направленной вдоль внешнего поля H .

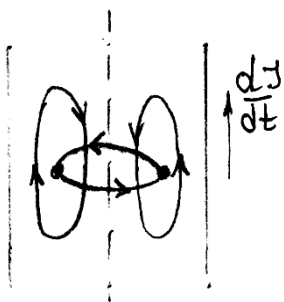


В отсутствие внешнего магнитного поля ферромагнетик разбивается на домены таким образом, что его результирующий магнитный момент близок к нулю. При включении внешнего магнитного поля энергии отдельных доменов становятся неодинаковыми: энергия меньше для тех доменов, в которых вектор намагниченности образует с направлением поля острый угол, и больше в том случае, если этот угол тупой. Поэтому возникает процесс смещения границ доменов, при котором объем доменов с меньшей энергией возрастает, а с большей энергией уменьшается. В случае слабых полей эти смещения границ обратимы и точно следуют за изменением внешнего поля. При увеличении поля смещение границ доменов становится необратимыми. При достаточной величине поля энергетически невыгодные домены исчезают вовсе. Если поле увеличивать еще больше, то возникает новый тип процесса намагничивания, при котором изменяется направление магнитного момента домена. В очень сильном магнитном поле H_S магнитные моменты всех доменов устанавливаются параллельно полю. В этом состоянии ферромагнетик имеет наибольший магнитный момент, то есть намагничен до насыщения, следовательно, при дальнейшем увеличении внешнего поля величина намагниченности J_S не меняется.

При уменьшении напряженности внешнего магнитного поля до H_S значение намагниченности J_S не будет меняться, при дальнейшем уменьшении напряженности внешнего магнитного поля значение намагниченности будет уменьшаться сначала за счет изменения направления магнитного момента домена, а затем преимущественно за счет возникновения и роста доменов с магнитным моментом, направленным против поля. Рост доменов обусловлен движением доменных стенок. Это движение происходит скачками из-за наличия в образце дефектов (неоднородностей, примесей и т. п.), на которых доменные стенки задерживаются. Поэтому при уменьшении поля до нуля у образца сохраняется так называемая остаточная намагниченность J_R . Образец полностью размагничивается лишь в достаточно сильном поле противоположного направления НК, называемом коэрцитивной силой. При дальнейшем увеличении магнитного поля обратного направления образец вновь намагничивается вдоль поля до насыщения. При циклическом изменении поля графическая зависимость, характеризующая изменение намагниченности образца, образует замкнутую кривую петлю магнитного гистерезиса.

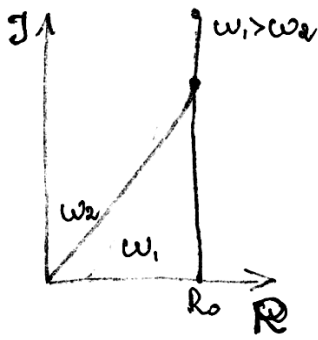
17. У чому полягає скін-ефект?

Скін-ефект — явище проникнення електромагнітного поля в провідник на певну глибину, яка називається скін-шаром. Скін-ефект полягає у витісненні змінного струму із збільшенням його частоти з об'єму на поверхню провідника. Водночас, скін-ефект призводить до протікання струму в провіднику в основному в області скін-шару, і, як наслідок, збільшення опору провідника.



Нехай маємо циліндричний провідник зі струмом I та спочатку струм рівномірно розподілений по перерізу провідника. Всередині провідника буде існувати магнітне поле, силові лінії якого — кола із центром на осі циліндра. Якщо струм почне наростати ($dI/dt > 0$), то буде наростати і магнітний потік всередині кола. При цьому в провіднику виникне ЕРС індукції, що буде намагатися перешкоджати росту потоку.

Поблизу осі циліндра ця ЕРС направлена проти струму, але поблизу поверхні вона направлена за струмом і збільшує його.



Тому зростаючий струм буде розподілений по об'єму нерівномірно. Його густина збільшуватиметься при наближенні до поверхні провідника.

Глибина скін-шару визначається формулою:

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}}$$

де δ — глибина скін-шару, μ — магнітна проникність речовини провідника, ρ — питомий опір

Густина струму в провіднику спадає від поверхні експоненційно:

$$J = J_s e^{-d/\delta}$$

де j — густина струму, а d — віддаль від поверхні.

Поверхностный скин-эффект — эффект уменьшения амплитуды электромагнитных волн по мере их проникновения вглубь проводящей среды. В результате этого эффекта, например, переменный ток высокой частоты при протекании по проводнику распределяется не равномерно по сечению, а преимущественно в поверхностном слое.

і для глибини проникнення поля в метал d з (3.8.7) маємо вираз

$$d = \frac{1}{K'} = \frac{1}{k_0} \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\omega}{\sigma\mu}} = c \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\pi\sigma\mu\nu}} = \sqrt{\frac{\varepsilon_0\lambda_0 c}{\pi\sigma\mu}}$$

18. Запишіть систему рівнянь Максвелла та прокоментуйте їх фізичний зміст.

$\text{div } \vec{D} = 4\pi\rho$. Електричний заряд є джерелом електричної індукції, закон Кулона

$\text{div } \vec{B} = 0$. Магнітних зарядів не існує.

$\text{rot } \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$. Зміна магнітної індукції породжує вихрове електричне поле, закон е/м індукції Фарадея

$\text{rot } \vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$. Електричний струм та зміна електричної індукції породжує вихрове магнітне поле, закон Біо-Савара-Лапласа

19. Сформулюйте теорему Пойтінга.

Теорема Пойнтінга – теорема, яка описує закон збереження енергії

електромагнітного поля: $\frac{\partial u}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{S} = -\vec{j} \cdot \vec{E}$, де u – густина енергії

$u = \frac{1}{2} \left(\varepsilon_0 \vec{E}^2 + \frac{B^2}{\mu_0} \right)$, $\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$, \vec{E} – електричне поле, \vec{j} – густина струму.

Теорема Пойнтінга в інтегральній формі:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V u \, dV + \oint_{\partial V} \mathbf{S} \, d\mathbf{A} = - \int_V \mathbf{J} \cdot \mathbf{E} \, dV$$

Зменшення енергії в даному об'ємі в одиницю часу рівна потоку енергії крізь поверхню цього об'єму + потужність поля при виконанні роботи над зарядами речовини всередині даного об'єму.

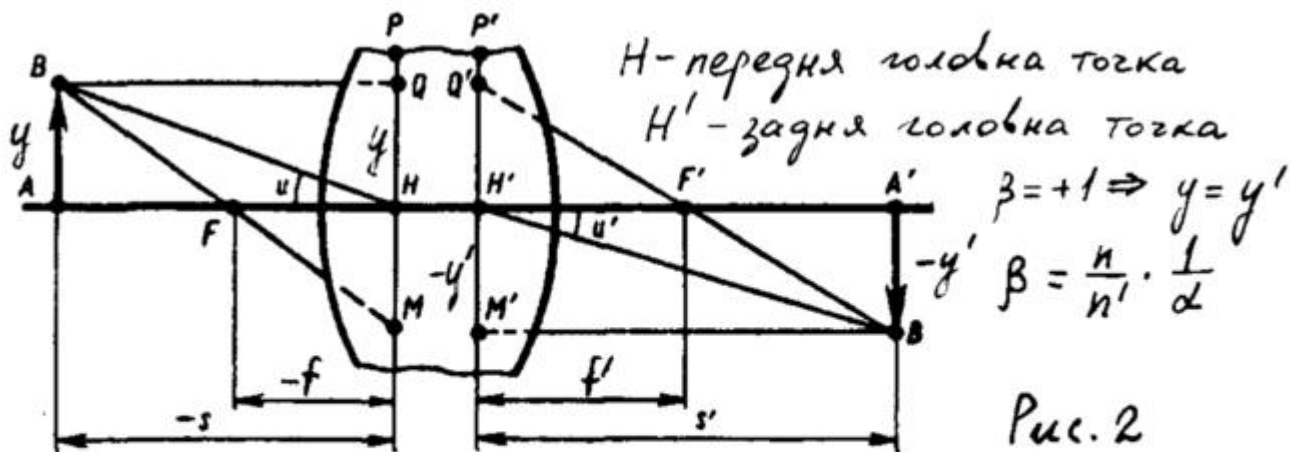
20. Основні положення класичної електронної теорії металів Друде-Лоренца.

1) у металах носіями струму є електрони; 2) електрони створюють електронний газ, що підкорюється законам ідеального газу ; 3) електрони рухаються як молекули ідеального газу 4)наближення незалежних електронів – нехтуються зіткнення з електронами 5)зіткнення відбуваються миттєво, обмін енергією і імпульсами, між імпульсами рух відбувається рівномірно і прямолінійно 6)рух електрона після зіткнення не залежить від руху до зіткнення 7)під дією поля рух за 2 законом ньютонa; 9)оскільки електрон - негативнозаряджена частинка, то для електронейтральності в твердому тілі також мають бути частинки іншого сорту – позитивно заряджені більш важкі частинки (іони), які вважаються нерухомими.

1. В чому полягає метод застосування головних площин, запропонований Гауссом для опису лінз і оптичних систем?

Розрізняють 6 (три пари) кардинальних точок та 6 (три пари) кардинальних площин. Теорія Гауса встановлює кардинальні точки та кардинальні площини, введення яких повністю описує всі властивості оптичної системи і дозволяє користуватись нею, не розглядаючи реального ходу променів в самій системі.

Метод Гауса (метод головних площин) дозволяє розв'язувати задачі для оптичних систем за формулами для тонкої лінзи, але відлік величин проводять від головних площин. Головними площинами називають спряжені площини з лінійним (поперечним) коефіцієнтом збільшення $\beta = +1$. Точки перетину цих площин називаються головними точками. Об'єкт, що знаходить в одній із головних площин дасть в іншій рівне по величині пряме зображення. Знаючи положення головних і фокальних точок, можна знайти зображення будь-якого предмета, котре дає оптична система.



Якщо $n = n'$, то при $\beta = 1$: $\alpha = 1$
всі відстані відраховуються від головних точок.

2. Дайте визначення світловому і енергетичному потокам?

Потік – це потужність, що переноситься у вигляді випромінювання і яку вимірюють відношенням енергії випромінювання до тривалості переносу, що значно перевищує період коливань. Якщо виміряний у видимій ділянці спектру потік пов'язують із спектральною чутливістю людського ока, то застосовують термін «світловий потік». У разі вимірювання потоку за допомогою об'єктивних приладів кажуть про «енергетичний потік». Для вимірювання енергетичного потоку використовують одиницю ватт, для світлового – люмен.

У випадку суцільного спектру в діапазоні від λ_1 до λ_2 повний енергетичний потік

$$\Phi_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \phi_e(\lambda) d\lambda \text{ де } \phi_e = \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \text{ спектральна густина енергетичного потоку)}$$

Дія світла на око залежить від довжини хвилі. $V(\lambda)$ -відносна спектральна світлова ефективність монохроматичного випромінювання (крива спектральної чутливості ока).

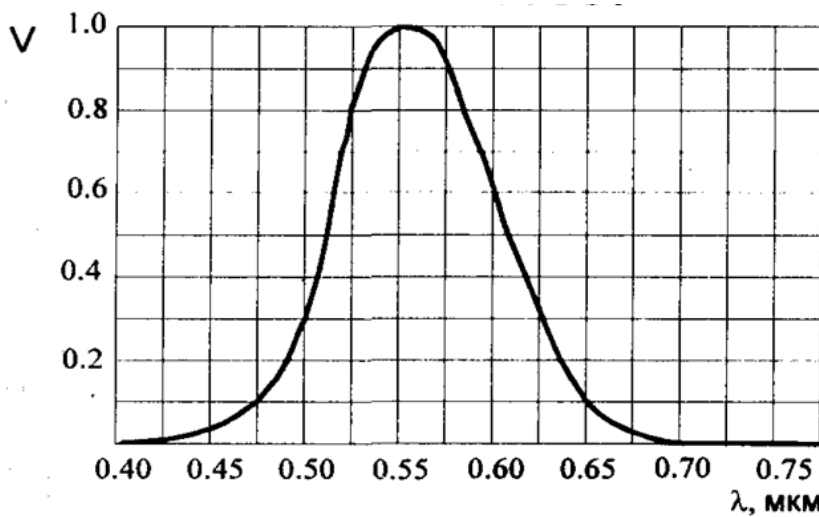


Рис.2.1. Крива відносної спектральної чутливості ока

Світловий потік – це потужність випромінювання, що оцінюється по його дії на середньостатистичне людське око.

Світловий потік і енергетичний потік в інтервалі $d\lambda$ пов'язані так:

$$d\Phi_v = K_m V(\lambda) d\Phi_e \quad (K_m = 680 \text{ ЛМ/Вт}).$$

$$d\Phi = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \varphi_e(\lambda) \cdot d\lambda.$$

$$\Phi = K_m \cdot \int_0^{\infty} V(\lambda) \cdot \varphi_e(\lambda) \cdot d\lambda$$

3. Яке випромінювання називається когерентним?

Когерентність – характеристика упорядкованості структури вітла, ступінь наближеності світла поля до ідеальної гармонічної хвилі. Когерентність – здатність світла до інтерференції. Розрізняють 2 види когерентності – просторову і часову.

Когерентне випромінювання – випромінювання, при якому різниця фаз між випромінюваними хвилями постійна у часі та просторі.

Когерентность (от [лат.](#) *cohaerens* — «находящийся в связи») — [скоррелированность](#) (согласованность) нескольких колебательных или волновых процессов во времени, проявляющаяся при их сложении. Колебания когерентны, если разность их фаз постоянна во времени, и при сложении колебаний получается колебание той же частоты.

Классический пример двух когерентных колебаний — это два синусоидальных колебания одинаковой частоты.

Когерентность [волны](#) означает, что в различных пространственных точках волны [осцилляции](#) происходят синхронно, то есть разность фаз между двумя точками не зависит от времени. Отсутствие когерентности, следовательно — ситуация, когда разность фаз между двумя точками не постоянна, а меняется со временем. Такая ситуация может иметь место, если волна была сгенерирована не единым излучателем, а совокупностью одинаковых, но независимых (то есть [нескоррелированных](#)) излучателей.

Пространственная когерентность — [когерентность](#) колебаний, которые совершаются в один и тот же момент времени в разных точках плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны.

Понятие пространственной когерентности введено для [\[источник не указан 1499 дней\]](#) объяснения явления [интерференции](#) (на экране) от двух разных источников (от двух точек удлиненного источника, от двух точек круглого источника и т. п.).

Так, при определённом расстоянии от источников разность оптического хода будет такой, что фазы двух волн будут отличаться. В результате этого приходящие волны от различных частей источника в центр экрана будут уменьшать значение мощности по сравнению с максимальным, которое имело бы место, если бы все волны имели одинаковую фазу. На расстоянии, где разность оптического хода приведёт к тому, что фазы двух волн будут отличаться ровно на π , сумма двух волн будет минимальна.

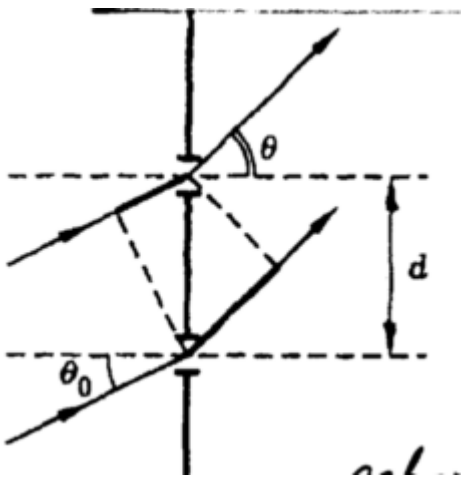
Понятие временной когерентности можно связать с контрастом интерференционной картины, наблюдаемой в результате интерференции двух волн, исходящих из одной и той же точки поперечного сечения пучка (полученных методом деления амплитуд).

Временная когерентность волны характеризует сохранение взаимной когерентности при временном отставании одного из таких лучей по отношению к другому. При этом мерой временной когерентности служит **время когерентности** – максимально возможное время отставания одного луча по отношению к другому, при котором их взаимная когерентность ещё сохраняется. Временная когерентность определяется степенью монохроматичности.

Временной аспект [когерентности](#) имеет исключительно важное значение при рассмотрении явлений взаимодействия [электромагнитных волн](#) ввиду того, что в строгом смысле на практике [монохроматических волн](#) и волн с абсолютно одинаковыми частотами не существует из-за статистического характера излучения электромагнитных волн. [Монохроматические волны](#) представляют собой бесконечный по продолжительности и локализации пространственно-временной процесс, что очевидно невозможно с точки зрения предположений о конечности энергии источников электромагнитных волн, а ввиду конечного времени излучения, его [спектр](#) также имеет ненулевую ширину.

4. Запишіть рівняння дифракційної ґратки.

$d \sin \vartheta = m\lambda$, де ϑ – кут дифракції, d – період ґратки, m – порядок максимуму. При нормальному падінні променів. При похилому падінні $d(\sin \vartheta - \sin \vartheta_0) = m\lambda$



5. Назвіть відомі вам способи збільшити роздільну здатність мікроскопу.

Роздільна здатність мікроскопу:

$$R = \frac{1.22\lambda}{NA_{\text{condenser}} + NA_{\text{objective}}}$$

Де NA-числова апертура яка рівна $n \sin \alpha$. Якщо вони рівні, то:

$$R = \frac{1.22\lambda}{2n \sin \alpha}$$

Тому збільшити роздільну здатність мікроскопа можна 2-ма шляхами:

- 1) зменшувати довжину хвилі (перехід до ультрафіолету);
- 2) збільшувати числову апертуру об'єктива мікроскопа $n \sin \alpha$ за допомогою додавання імерсійних речовин (в основному використовується).

6. Де в лінзі розташована площина з просторовим фур'є-образом предмета?

У задній фокальній площині лінзи утворюється просторовий спектр поля.

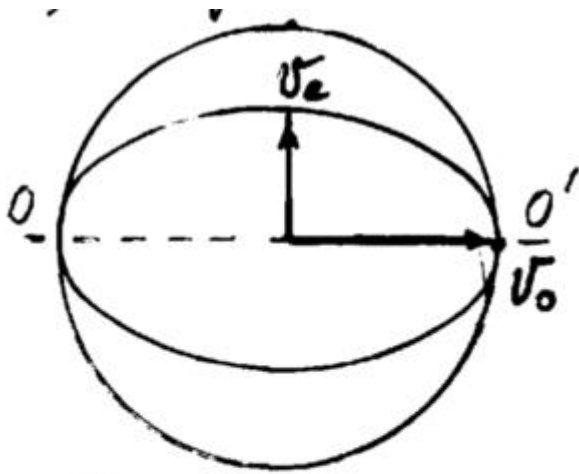
7. Що означає комплексний характер показника заломлення речовини?

Комплексний характер показника заломлення речовини означає наявність згасання хвилі (уявна частина відповідає за згасання, дійсна за швидкість розповсюдження).

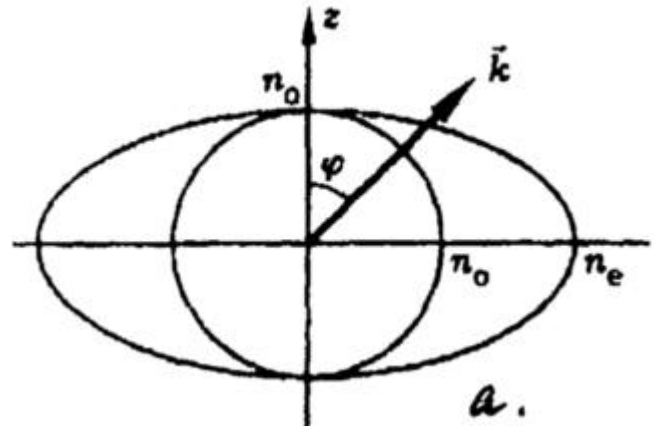
Комплексний показник заломлення говорить про наявність втрат при заломленні на межі розподілу 2х середовищ.

8. Що таке додатний анізотропний кристал (рисунок)?

Для додатного анізотропного кристала $n_e > n_o$ і відповідно $v_e < v_o$.



Позитивний аніз.
кристал: $v_o > v_e$
Кварц, TiO_2 , HgS



9. Дайте визначення $\lambda/4$ - фазовій пластинки (формула).

Якщо товщина платівки така що зсув фази :

$$(n_o - n_e)k \cdot d = \left(m + \frac{1}{4}\right)k \cdot \lambda = \frac{\pi}{2} + 2m\pi$$

n_o , n_e – показники заломлення звичайної і незвичайної хвиль, d – товщина пластинки, m – ціле число, λ – довжина хвилі, k – хвильове число.

ФАЗОВЫЕ ПЛАСТИНКИ. Рассмотрим особенности распространения света в одноосных кристаллах. Пусть анизотропная пластинка толщиной d вырезана параллельно оптической оси и нормально к ней падает линейно поляризованный свет (рис. 2.).

Выберем систему координат xy таким образом, чтобы ось Ox совпадала с направлением главной оси кристалла. Световой вектор падающей линейно поляризованной волны с амплитудным значением E_0 будет составлять угол Π с оптической осью. В этом случае свет можно представить, как результат сложения распространяющихся в одном направлении двух линейно поляризованных волн со взаимно перпендикулярными направлениями колебаний вектора E . Таким образом, в пластинке будут распространяться две волны - обыкновенная с показателем преломления n_o и необыкновенная с показателем преломления n_e . Направление колебаний

светового вектора обыкновенной волны (направление Π)

перпендикулярно главной плоскости, т.е. плоскости, проходящей через направление распространения и оптическую ось. У второй волны световой вектор колеблется в главной плоскости вдоль оптической оси (направление \parallel).

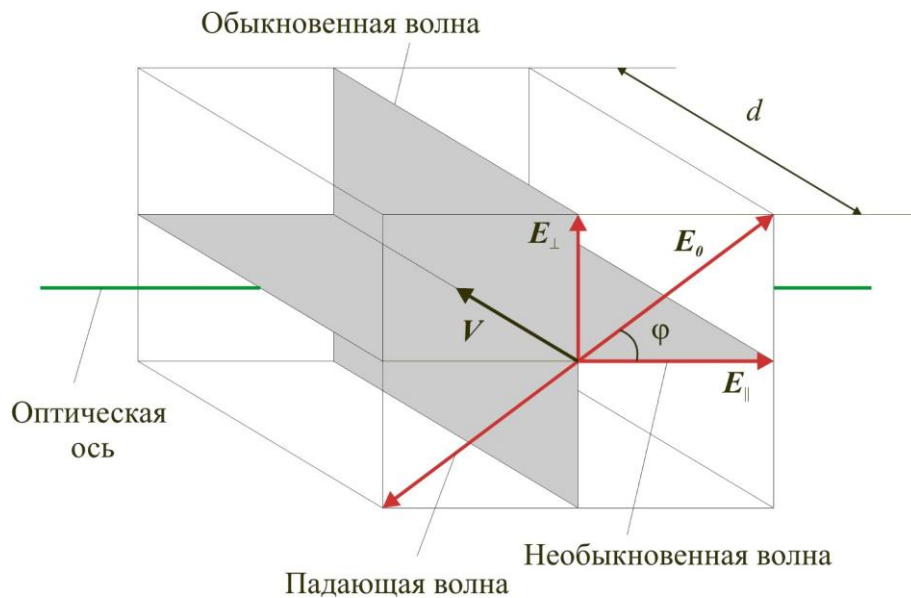


Рис. 2

Амплитуды световых векторов обыкновенной и необыкновенной волны равны соответственно:

$$\begin{aligned} E_{\parallel} &= E_0 \cos \varphi \\ E_{\perp} &= E_0 \sin \varphi \end{aligned} \quad (3)$$

Поскольку показатели преломления в пластинке для этих двух волн различны, то за время прохождения через пластинку между ними возникнет оптическая разность хода:

$$\Delta = (n_e - n_o)d \quad (4)$$

которой соответствует разность фаз на выходе из пластинки:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta$$

где λ_0 – длина волны света в вакууме.

Таким образом, на выходе из пластинки имеются два взаимно перпендикулярных световых колебания

$$\begin{aligned} E_{\parallel} &= E_0 \cos \varphi \cos(\omega t - \delta) \\ E_{\perp} &= E_0 \sin \varphi \cos \omega t \end{aligned} \quad (5)$$

Знак «-» перед δ связан с тем, что необыкновенная волна отстает от обыкновенной. Пусть свет, вышедший из кристаллической пластинки, проходит через анализатор (поляризатор). На рис. 3 ОА - направление пропускания анализатора, α - угол между вектором E_0 и направлением ОА.

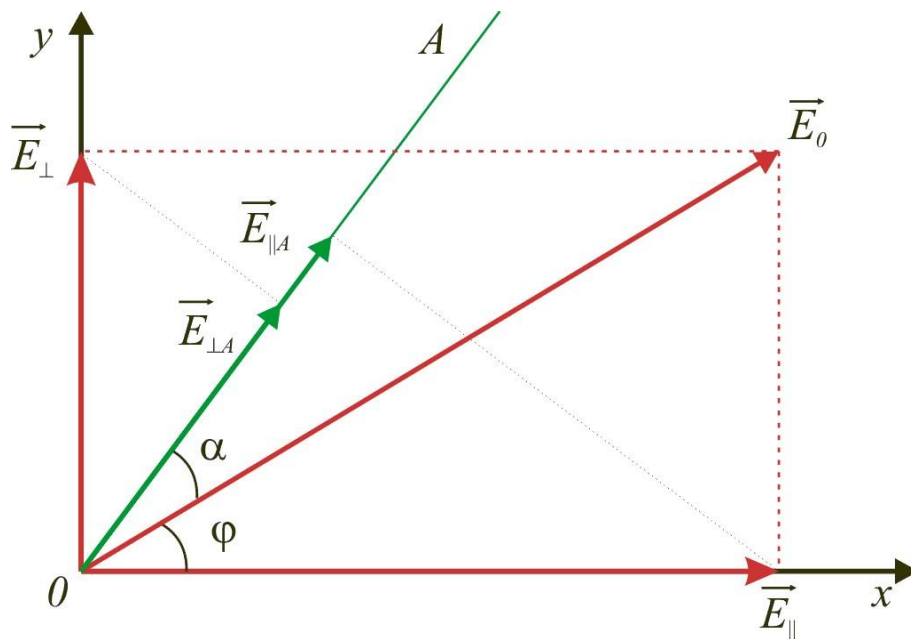


Рис. 3

Как видно из рис. 3, анализатор пропускает составляющие обыкновенной и необыкновенной волн вдоль одного направления ОА, амплитуды которых равны соответственно

$$\begin{aligned} E_{\perp A} &= E_0 \sin \varphi \sin(\alpha + \varphi) \\ E_{\parallel A} &= E_0 \cos \varphi \cos(\alpha + \varphi) \end{aligned} \quad (6)$$

Поскольку обыкновенная и необыкновенная волны, возбуждаемые в кристалле, когерентны, то вышедшие из анализатора лучи интерферируют. Результирующая интенсивность ($I \propto E^2$), используя закон сложения однонаправленных колебаний (теорема косинусов), может быть определена как:

$$I = I_0 \left[\sin^2 \varphi \sin^2(\alpha + \varphi) + \cos^2 \varphi \cos^2(\alpha + \varphi) + \frac{1}{2} \sin 2\varphi \sin 2(\alpha + \varphi) \cos \delta \right] \quad (7)$$

Полученная выше формула описывает зависимость интенсивности световой волны прошедшей через фазовую пластинку, расположенную между поляризатором анализатором при любом взаимном расположении. Эта формула не учитывает потери в поляризаторе, анализаторе и фазовой пластинке.

Если в качестве двулучепреломляющего образца используется четвертьволновая пластинка

($\Delta = \pi/2$), то для нее формула (7) может быть представлена в виде:

$$I = I_0 [\sin^2 \varphi \sin^2(\alpha + \varphi) + \cos^2 \varphi \cos^2(\alpha + \varphi)]$$

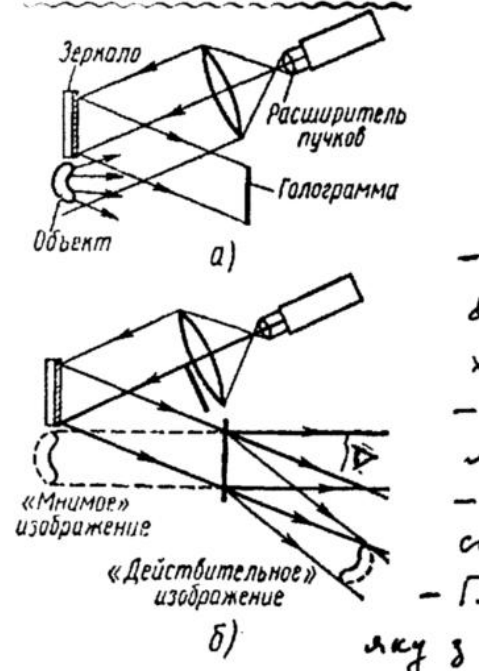
10. Чому небо синє, а туман білий (1 речення) ?

Туман білий через те, що інтенсивність розсіяного світла при розсіюванні на частинках, розміри яких значно більші за довжину хвилі, не залежить від довжини хвилі, а небо синє через те, що інтенсивність розсіяного світла при розсіюванні на частинках, розміри яких менші за λ обернено пропорційна λ^4 (Релеївське розсіювання).

11. Намалюйте одну із можливих схем голографічного запису інформації .

Схема Лейта та Упатнієкса

Схема Е.Лейта та Ю.Упатнієкса



- застосовується розсіяне світло (дифузне)
- метод: 2-х променів, нахилоного опорного променя, позаосьовий
- відтворення предметної хвилі:
- Відбувається дифракція опорної хвилі на голограмі
- Дайсне зображення має протилежний рельєф ніж предмет
- І дійсне і уявне зображення спостерігаються неозброєнни оком

12. Дайте визначення абсолютно чорного тіла (формула).

АЧТ-тіло здатне поглинати все падаюче на нього випромінювання довільної довжини хвилі при довільній температурі

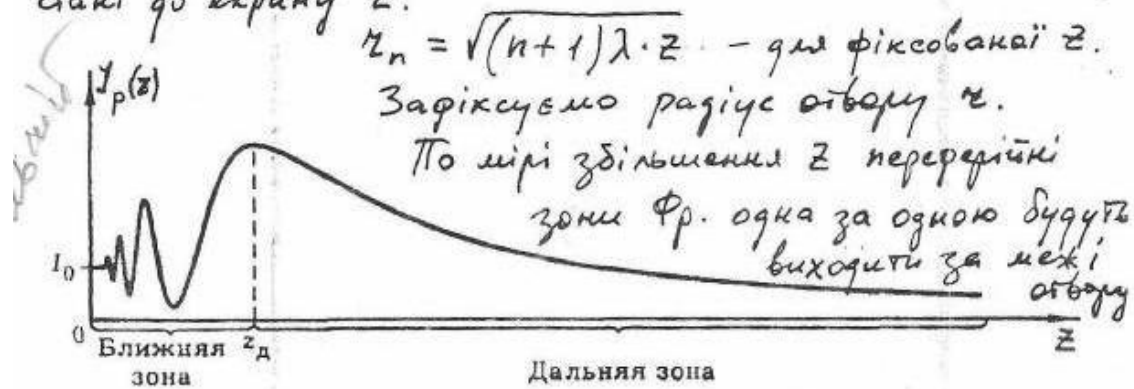
Тіло називається абсолютно чорним, якщо його поглинаюча здатність дорівнює одиниці

$\alpha(\nu, T) = 1$ для випромінювання усіх частот при будь якій температурі.

13. Намалюйте, як поводить себе інтенсивність в точці спостереження Р на екрані від відстані точки Р до отвору в дальній зоні дифракції?

В дальній зоні дифракції інтенсивність на осі променя зменшується, промінь розширюється. Також для точок дальньої зони межах отвору вміщується тільки частина 0-ї зони Френеля.

Продовжимо розгляд дифр. плоскої хвилі на кругл. отворі.
Як змінюється інт. світла в т.Р по мірі збільшення від-
стані до екрану z :



При деякому $z = z_d$ в межах отвору замкнеться
лише одна „0” зона Фр. В цей момент інтенсивність
світла I_r досягне max, після чого монотонно
почне зменшуватись по мірі збільшення z .

Для $z \gg z_d$ — дальня зона дифракції. В цій зоні:

— інтенс. світла на осі променя набагато менша за
інтенс. вихідного променя; це означає, що промінь
розширюється !?!

— для такої дальньої зони в межах отвору
випадає тільки пластинка (центральної) „0”-зони Фр.

— інтерференція елементарних вторинних хвиль ви-
ражена слабше. Вона не може підтримати вихід-
ний поперечний профіль променя. Промінь стає
розбіжним!

Знайдемо z_d : $r_n = \sqrt{(n+1)\lambda \cdot z} \xrightarrow{n=0} \boxed{z_d = \frac{r^2}{\lambda}}$
 r — радіус променя (радіус отвору)

14. За якою формулою можна знайти кількість дифракційних максимумів, які можна спостерігати за допомогою дифракційної ґратки?

$$d \sin \varphi = m\lambda \Rightarrow m = \frac{d \sin \varphi}{\lambda}$$

$$|\sin \varphi|_{\max} = 1 \Rightarrow k_{\max} = \left[\frac{d}{\lambda} \right]$$

$$N = 2k_{\max} + 1$$

15. Назвіть відомі вам способи збільшити роздільну здатність телескопу.

Межа кутової роздільної відстані телескопа :

$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad R = \frac{\lambda}{D},$$

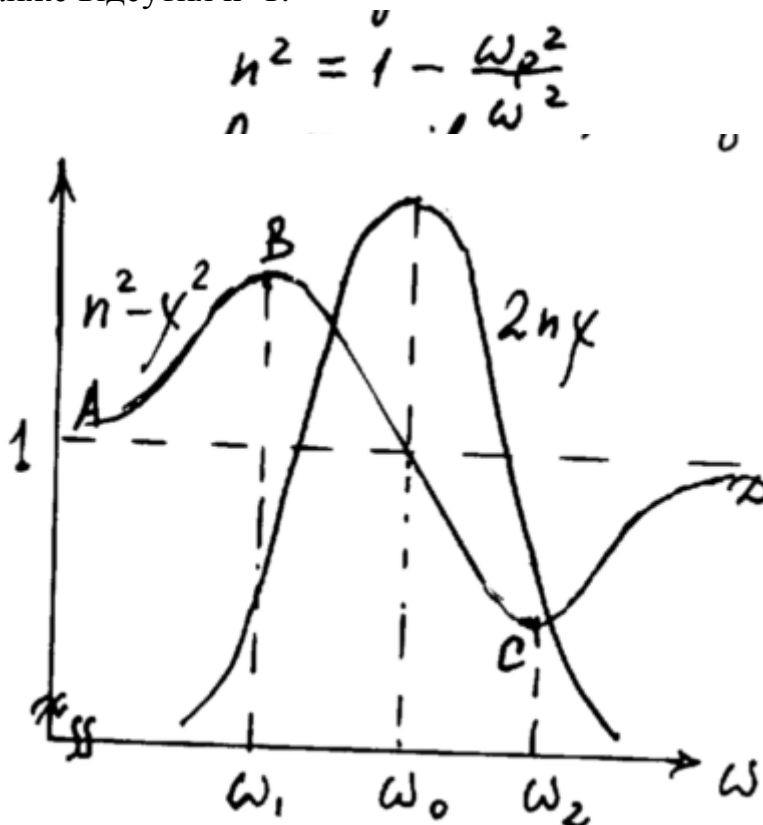
де D – діаметр об'єктива.

Для збільшення роздільної здатності телескопа треба:

- 1) як можна більшим робити D ;
- 2) зменшувати довжину хвилі;
- 3) зменшити вплив атмосфери (використовувати адаптивну оптику, підніматись вище, а краще в космос);
- 4) для зменшення побічних максимумів дифракційного зображення точки потрібно використовувати гаусові діафрагми.

16. Чому рентгенівське випромінювання (на відміну від оптичного випромінювання) майже не взаємодіє з речовиною (не поглинається і не заломлюється)?

Тому що рентгенівське випромінювання характеризується значно більшою енергією фотона та частотою випромінювання (значно меншою довжиною хвилі). На такій частоті дисперсія майже відсутня $n \sim 1$.

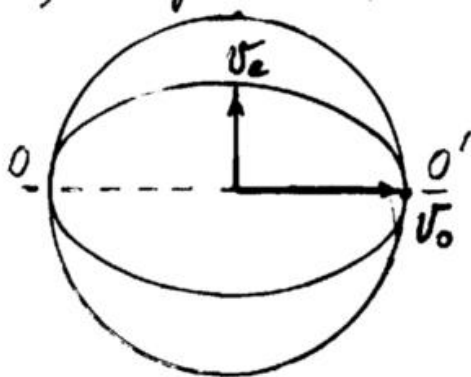


Рентгенівське випромінювання майже не відбивається і не заломлюється. Інерція електронів на ВЧ електромагнітному випромінюванні висока і не дозволяє їм відслідковувати коливання. Амплітуда коливань електронів в такому полі досить мала. Випромінювання та речовина взаємодіють дуже слабо. Це ускладнює створення рентгенівського лазера та рентгенівської оптики.

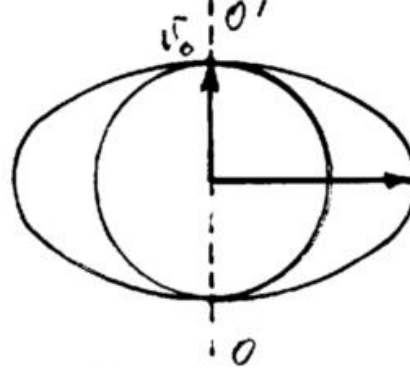
17. Дайте визначення оптичній осі анізотропного кристалу (рисунок).

Оптична вісь анізотропного кристалу OO' – це напрямок в здовж якого промінь розповсюджується без подвійного променезаломлення.

Оптична вісь анізотропного кристала – напрямок, вздовж якого звичайний і незвичайний промені поширюються з однаковою швидкістю.



Позитивний аніз.
кристал: $v_o > v_e$
Кварц, TiO_2 , HgS



Від'ємний анізотропний
кристал: $v_o < v_e$ ($n_o > n_e$)
 $CaCO_3$, турмалин, акатит

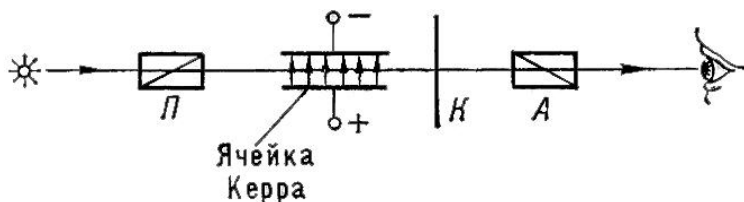
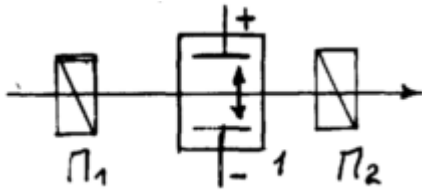
$$v = \frac{c}{n} \quad \text{! Не плутати } n_e \text{ та } v_e \text{ !}$$

$$v_o \neq v_o(\varphi)$$

$$v_e = v_e(\varphi)$$

$$\varphi = \angle \vec{k} \vec{OO'}$$

18. Що таке електрооптичний ефект Керра (схема та формула)?



Ефект Керра – це ефект виникнення подвійного променезаломлення в оптично ізоотропних речовинах під дією однорідного електричного поля.

P і A – схрещені поляризатор/аналізатор (призми Ніколя), K – компенсатор.

Комірка Керра-Кювета з рідиною та електричний конденсатор

Включення електричного поля призводить до появи сигналу в системі. Оптична вісь напрямлена вздовж силових ліній електричного поля.

$\Delta n = n_e - n_o = nkE^2 = b\lambda E^2$, де n_e і n_o – показники заломлення для незвичайної і звичайної хвиль, n – показник заломлення речовини за відсутності поля, k і b – постійні Керра, E – прикладене ел. поле.

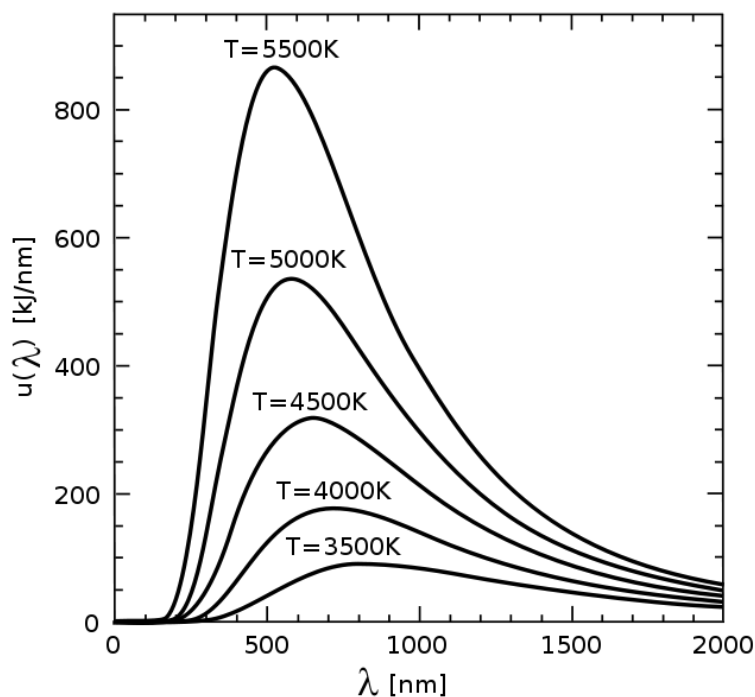
19. Сформулюйте закон Кірхгофа для теплового випромінювання.

В стані теплової рівноваги відношення випромінювальної властивості тіла до його поглинаючої властивості однакове для усіх тіл і є універсальною функцією лише частоти і температури. З закону Кірхгофа випливає, що усіляке тіло при даній

температурі випромінює переважно промені таких довжин хвиль, що воно за тієї ж температури більш за все поглинає.

$$\frac{\varepsilon(\nu, T)}{\alpha(\nu, T)} = \rho(\nu, T) = i n \varepsilon$$

20. Намалуйте спектральний розподіл енергії, що випромінює абсолютно чорне тіло, для декількох температур.



$$U(\omega, T) = \frac{\hbar}{\pi^3 c^3} \cdot \frac{\omega^3}{e^{\frac{\hbar \omega}{kT}} - 1}$$

Атомна фізика

1. Зробіть оцінку розміру атома.

Квантова теорія: теорія атому Бора, на стаціонарній орбіті сили зв'язку дорівнюють

відцентровим силам $\frac{m_0 v^2}{r} = \frac{e^2 Z}{r^2}$, з умови квантування ($2\pi r = n\lambda = \frac{nh}{mv}$)

знайдемо $v = \frac{nh}{2\pi r m} = \frac{n\hbar}{r m}$; $m \frac{n^2 \hbar^2}{r^2 m^2} = \frac{e^2 Z}{r} \Rightarrow r_n = n^2 \frac{\hbar^2}{e^2 m_0 Z} = n^2 a_0 \frac{1}{Z}$, для

першої борівської орбіти при $Z=1, n=1$; $a_0 = \frac{\hbar^2}{e^2 m_0} = 0,529 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ - радіус першої борівської орбіти.

2. Зробіть оцінку енергії зв'язку в атомі водню.

$$E = T + U = \frac{m_0 v^2}{2} + C - \frac{e^2 Z}{r} \quad m_0 v^2 = \frac{e^2 Z}{r}$$

$$E = \frac{e^2 Z}{2r} + C - \frac{e^2 Z}{r} = -\frac{e^2 Z}{2r}; \quad r \rightarrow \infty, E \rightarrow 0 \Rightarrow C = 0$$

$$E = -\left(\frac{e^2 Z^2}{2a_0}\right) \frac{1}{h^2} \text{ бо } r_n = r;$$

$$E = -Z^2 R_n \frac{1}{n^2} \approx 13,6 \text{ eV}, \quad n=1, Z=1, \text{ де } R_n - \text{ стала Рідберга в eV}$$

$$E = -Z^2 R_n \frac{hc}{n^2} \approx 13,6 \text{ eV}, \quad n=1, Z=1, \text{ де } R_n - \text{ стала Рідберга в см}^{-1} = 1,097 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$$

3. Наведіть приклади фізичних явищ, які пов'язані з ефектом квантового тунелювання.

α -розпад ядра, холодна емісія електронів, тунельна емісія електронів, автоелектронна емісія, ефект Джозефсона (тунелювання струму через діелектрик між двома надпровідниками), тунелювання носіїв заряду через потенціальний бар'єр в тунельному та резонансно тунельному діодах (резонансна прозорість бар'єрів), скануючий тунельний мікроскоп.

4. Чому борівська модель атома водню не може бути застосована до багатоелектронних атомів.

Вона не могла пояснити будову та властивості багатоелектронних атомів, не пояснювала правила відбору, не пояснювала інтенсивності спектральних ліній, не могла пояснити тонку структуру спектральних ліній (взаємодія орбітального моменту та спіну), не могла пояснити результати дослідів Штерна і Герлаха з розщеплення пучка нейтральних атомів

у неоднорідному магнітному полі і інших магнітних властивостей атомів, розглядала електрони в атомі як нерелятивістські частинки, була напівкласичною.

Наприклад якщо розглядати багатоелектронні лужні атоми, то екранування атомного ядра сильно зв'язаними електронами змінює електричне поле в атомі, яке діє на зовнішній валентний електрон, що можна врахувати ефективним зарядом ядра $Z_{ef} \neq Z$. Також валентний електрон поляризує атомний остов, який складається з ядра і сильно зв'язаних електронів, створюючи з нього диполь, квадруполь тощо, що також змінює внутрішньоатомне електричне поле в області руху валентного електрона. Таким чином, виявляється, що енергія стаціонарних станів в атомах лужних металів залежить не тільки від головного квантового числа n але й від **орбітального квантового числа ℓ** , бо наявність екрануючих електронів та поляризації атомного остову створює **внутрішнє поле в атомі, яке знімає виродження в атомах лужних металів** (на відміну від воднеподібних).

5. Назвіть квантові числа, що визначають стан електрона в атомі водню, їх фізичний зміст.

Нерелятивістська модель атома водню на основі рівняння Шредінгера визначає стаціонарні стани 3-ма квантовими числами n , ℓ і m .

Головне квантове число n визначає енергію стаціонарного стану

$$E_n = -\frac{e^2 Z^2}{2a_0 n^2}, \quad \text{де} \quad a_0 = \frac{\hbar^2}{e^2 m_0},$$

а n набуває значень: $n = 1, 2, 3, 4, \dots, \infty$

Побічне або орбітальне квантове число ℓ визначає квадрат моменту кількості руху

$$L^2 = [r, p]^2 \quad L^2 = \hbar^2 \ell(\ell + 1)$$

і набуває таких дискретних значень $0 \leq \ell \leq n-1$, $\ell = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n-1$

Так як енергія стану визначається лише головним квантовим числом, то при даному n **має місце n -кратне виродження** - при даній енергії існує n станів руху з різними ℓ ,

тобто з різними моментами кількості руху $L = \hbar \sqrt{\ell(\ell + 1)}$.

Магнітне квантове число m визначає проекцію моменту кількості руху на вісь z

$$L_z = m \hbar$$

і набуває $2\ell + 1$ дискретних значень L_z , де $m = \pm 0; \pm 1; \pm 2; \pm 3; \dots, \pm \ell$,

При заданому значенні n може бути n^2 станів із різними значеннями квантових чисел ℓ та m , тобто має місце **n^2 - кратне виродження**. Дійсно:

$$\sum_{\ell=0}^{n-1} (2\ell + 1) = \frac{1 + \{2(n-1) + 1\}}{2} n = n^2$$

Таким чином, у сучасній атомній фізиці квантові числа відіграють дуже важливу роль. Вони визначають параметри стаціонарних електронних станів у атомі: енергію, момент кількості руху та зв'язаний з ним магнітний момент. Квантові числа дозволяють визначати ці величини, а також можливу кількість станів та ступінь виродження енергетичних рівнів. Виродження енергетичних рівнів можна зняти за допомогою силових полів, а саме магнітного та електричного.

Нерелятивістська модель атома водню на основі рівняння Шредінгера визначає стаціонарні стани 3-ма квантовими числами n , ℓ і m .

Головне квантове число n визначає енергію стаціонарного стану

$$E_n = - \frac{e^2 Z^2}{2 a_0 n^2}, \quad (8.69)$$

де

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{e^2 m_0},$$

а n набуває значень:

$$n = 1, 2, 3, 4, \dots, \infty \quad (8.70)$$

Побічне або орбітальне квантове число ℓ визначає квадрат моменту кількості руху $L^2 = [r, p]^2$

$$L^2 = \hbar^2 \ell(\ell + 1) \quad (8.71)$$

і набуває таких дискретних значень $0 \leq \ell \leq n-1$

$$\ell = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n-1 \quad (8.72)$$

Воно подібне до числа n_φ в моделі Бора-Зомерфельда, проте $\ell_{\max} = n_\varphi - 1$. Так як енергія стану визначається лише головним квантовим числом, то при даному n **має місце n -кратне виродження** - при даній енергії існує n станів руху з різними ℓ , тобто з різними моментами кількості руху $L = \hbar \sqrt{\ell(\ell + 1)}$.

Магнітне квантове число m визначає проекцію моменту кількості руху на вісь z

$$L_z = m \hbar \quad (8.73)$$

і набуває $2\ell + 1$ дискретних значень L_z , де

$$m = \pm 0; \pm 1; \pm 3; \pm 4; \dots, \pm \ell, \quad (8.74).$$

6. Який принцип покладений в побудову таблиці Менделєєва ?

Якщо подивитись на періодичну систему елементів, то побачимо, що елементи, котрі знаходяться в одній групі таблиці Менделєєва мають **однакову кількість електронів на периферійній електронній оболонці**, а отже схожі властивості.

Періодичність властивостей елементів із зміною атомного номера зв'язана з періодичною зміною заповнення електронних оболонок при зростанні Z , тобто із зміною електронної конфігурації атомів.

Періодична повторюємість властивостей хімічних елементів є зовнішнім проявом внутрішньої будови електронних оболонок атомів. Довжина періодів періодичної системи елементів визначається кількістю можливих квантових станів у кожній електронній оболонці.

Таким чином, **періодичний закон Д.І. Менделєєва відображає періодичність у заповненні електронних оболонок.**

7. Чим обумовлений ковалентний зв'язок в молекулах ?

Він обумовлений обмінною енергією взаємодії тих електронів, які забезпечують зв'язок між атомами (зазвичай зовнішні електрони). Вона відрізняється від нуля лише тоді, коли хвильові функції ψ_a та ψ_b **перекриваються**. Це означає, що деякий час частинки проводять в одній і тій же частині простору. Чим більше перекриття хвильових функцій, тим більше буде обмінна енергія.

Обмінна енергія не має класичного аналога і виникає внаслідок кулонівської взаємодії

між електронами та ядрами. Вона зв'язана з кореляцією руху електронів і виникає внаслідок симетризації хвильових функцій згідно з принципом Паулі. Обмінна енергія є проявом специфіки квантових законів руху систем однакових частинок. Вона з'являється тому, що стани двох тотожних частинок повинні описуватись не хвильовими функціями окремих частинок, а їх симетричними й антисиметричними комбінаціями.

8. Чим обумовлено зонна структура твердого тіла?

Основною особливістю твердих тіл є взаємодія великої кількості частинок, зокрема, електронів, що входять до складу твердих тіл. Багаточастинкова взаємодія впливає на енергетичні спектри електронів, що визначає електронні властивості твердих тіл. Ізольовані атоми розділені широкими потенціальними бар'єрами шириною $r \gg a_0$, де a_0 – борівський радіус (~розмір атома). Широкі потенціальні бар'єри не дозволяють електронам переходити від атома до атома за допомогою надбар'єрних або тунельних переходів. Тому сукупність розріджених, не взаємодіючих атомів зберігає енергетичну структуру, притаманну окремим атомам. Після повільного однорідного стиснення сукупності атомів їхня взаємодія змінює енергетичний спектр. Насамперед, згідно принципу Паулі, на одному енергетичному рівні може знаходитись не більше двох електронів із протилежно орієнтованими спінами. Тому при стисканні під впливом електричного поля кристала відбувається розщеплення електронних рівнів на зони з N підрівнями.

Согласно [постулатам Бора](#), в изолированном атоме энергия электрона может принимать строго дискретные значения (также говорят, что электрон находится на одной из орбиталей).

В случае нескольких атомов, объединенных химической связью (например, в [молекуле](#)), электронные орбитали расщепляются в количестве, пропорциональном числу атомов, образуя так называемые молекулярные орбитали. При дальнейшем увеличении системы до макроскопического [кристалла](#) (число атомов более 10^{20}), количество орбиталей становится очень большим, а разница энергий электронов, находящихся на соседних орбиталях, соответственно очень маленькой, энергетические уровни расщепляются до практически непрерывных дискретных наборов — энергетических зон. Наивысшая из разрешённых энергетических зон в [полупроводниках](#) и [диэлектриках](#), в которой при [температуре 0 К](#) все энергетические состояния заняты электронами, называется [валентной зоной](#), следующая за ней — [зоной проводимости](#). В [металлах](#) зоной проводимости называется наивысшая разрешённая зона, в которой находятся электроны при температуре 0 К.

В основе зонной теории лежат следующие главные приближения^[1]:

1. Твёрдое тело представляет собой идеально периодический кристалл.
2. Равновесные положения узлов кристаллической решётки фиксированы, то есть ядра атомов считаются неподвижными (адиабатическое приближение). Малые колебания атомов вокруг равновесных положений, которые могут быть описаны как [фононы](#), вводятся впоследствии как возмущение электронного энергетического спектра.

3. Многоэлектронная задача сводится к одноэлектронной: воздействие на данный электрон всех остальных описывается некоторым усредненным периодическим полем.

9. Як виміряти q/m зарядженої частинки?

Експериментальне вимірювання відхилень заряджених частинок в магнітних полях дає значення e/m в тих випадках, коли відомі їх початкові швидкості.

Наприклад можна використати мас-спектрометр.

Прилад представляє собою відкачану до високого ступеня розрідженості ємність, яка поміщена в магнітне поле, лінії якого перпендикулярні до площини малюнка. Частинки від джерела 1, проходячи через щілину 3 в діафрагмі 2, потрапляють в магнітне поле з тими швидкостями, які їм надає різниця потенціалів. Частинки будуть описувати коло і потраплять на фотопластинку 4. Частинки з різним q/m будуть описувати кола з різними радіусами.

Вимірявши радіус, і скориставшись співвідношенням:

$$r = \frac{mv}{qB} \quad (\text{де } v - \text{швидкість частинки і } B - \text{магнітна індукція, відомі}), \text{ визначаємо } q/m.$$

В тих випадках, коли швидкість невідома потрібно досліджувати рух частинки не лише в магнітному, а й електричному полі.

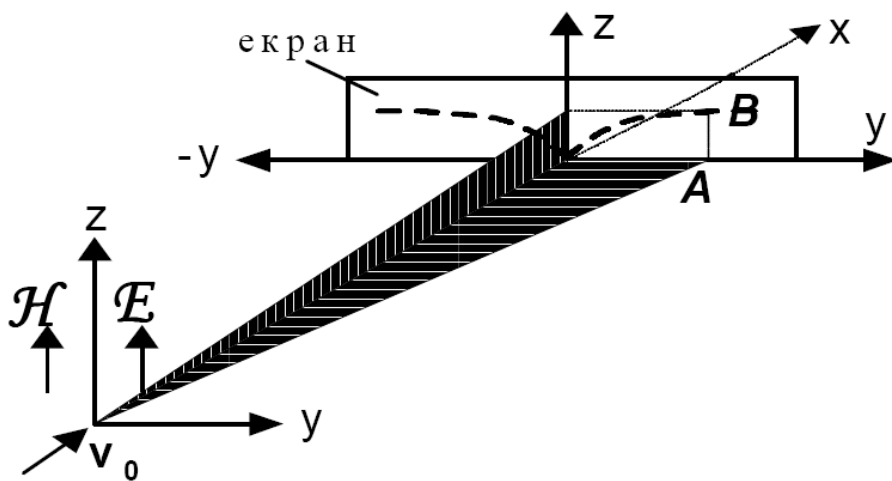
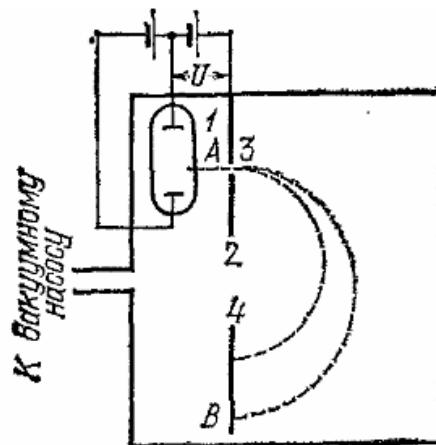


Рис.2.2. Рух заряджених частинок в поперечних електричному і магнітних полях

Тоді вимірюючи два відхилення $y(x=L)$ і $z(x=L)$ можна визначити e/m за допомогою наступних форсул виключивши з них швидкість.

$$y_{x=L} = \frac{eHL^2}{2mcv};$$

$$z_{x=L} = \frac{eEL^2}{2mv^2};$$

$$y^2 = \frac{e\mathcal{H}^2 L^2}{mE2c} z$$

Утворилась параболічна залежність відхилень зарядженої частинки після проходження її крізь електричне і магнітне поля. Вона спостерігається на екранах експериментальних приладів і використовується для визначення відношення e/m , тому що воно входить в цю залежність як параметр.

Цей метод був називається *методом парабол Томсона*.

10. Чому закони фотоефекта мають бути квантовими?

Енергія фотоелектронів прямо пропорційна частоті діючого світла, тобто світло (електромагнітна хвиля) поглинається квантами $h\nu$

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - e\phi$$

Світло поводить себе при розповсюдженні в просторі подібно сукупності якихось частинок, енергія яких визначається формулою Планка $h\nu$. Згодом ці частинки отримали назву **квантів світла або фотонів**.

11. Назвіть експерименти, з яких впливають хвильові властивості квантових частинок.

Досліди Рамзауера, досліди Девісона та Джермера по відбиттю електронів від граней монокристалів, досліди Томсона по проходженню електронів крізь тонкі плівки речовини, дифракція поодиноких електронів (Фабрикант), досліди із дифракції й інтерференції електронів, нейтронів, протонів, атомів, молекул.

12. Назвіть експерименти, з яких впливають квантові (частинкові) властивості світла.

Досліди Планка про випромінювання світла речовиною, досліди Енштейна по поглинанню світла (зовнішній фотоефект), експерименти Рентгена (короткохвильова границя неперервного спектра рентгенівських променів), ефект Комптона, некогерентне розсіяння квантів на електронах.

13. Чому формула де Бройля пов'язує хвильові і частинкові властивості матерії?

Тому що за гіпотезою де Бройля встановлений раніше для фотонів корпускулярно-хвильовий дуалізм притаманний всім частинкам (електронам, протонам, атомам і т. д.),

при чому кількісні співвідношення між хвильовими і корпускулярними властивостями такі ж як і для фотонів. Таким чином, якщо частинка має енергію E і імпульс p , то з нею пов'язана хвиля, частота якої $\nu = E/h$ і довжина хвилі $\lambda = h/p = h/(m(v)v)$. Таким чином матеріальній частинці, яка має певну масу приписується довжина хвилі.

Оскільки $\lambda = h/p$, $p(v \ll c) = mv$, видно, що для малих мас поведінка буде хвильова, а для великих – корпускулярна (при M великому – довжина хвилі прямує в нуль).

14. Із дослідів Резерфорда випливає планетарна модель атома. Поясніть цей висновок.

Досліди Резерфорда по розсіянню α -частинок показали мінімальну відстань, на яку α -частинка може наблизитися до ядра. Вона виявилась рівною $dm < 10^{-12}$ см. Це дає право стверджувати, що позитивний заряд атома зосереджений у кульці розміром меншим, ніж 10^{-13} см, тобто це дає можливість оцінити розмір атомного ядра.

Також дані досліди дозволили визначити число Z , яке збігається з атомним номером елемента в таблиці Менделєєва. А оскільки атом нейтральний, то атомний номер Z також визначає число електронів в атомі. Відкриття атомного ядра, розміри якого виявились меншими розміру атома, дозволило Резерфорду побудувати *планетарну модель атома*, в якій навколо майже точкового ядра рухаються по замкненим траєкторіям електрони.

Тому, що характер розсіяних частинок та відбитих відповідав наявності точкових центрів, на яких було розсіяння, а інше було пустим, отже припустили, що електрони обертались навколо ядра

15. Чому в експериментах Комптона використовується не оптичне, а рентгенівське випромінювання?

Ефект Комптона спостерігається при значних енергіях рентгенівських квантів, тому що, по-перше, при збільшенні $h\nu$ зменшується довжина хвилі рентгенівських променів і стає легше вимірювати малі зсуви $\Delta\lambda$, коли вони наближаються до λ_0 , по-друге, при енергіях квантів значно більших, ніж енергія зв'язку електронів в атомі, можна знехтувати зв'язком і наближено вважати вільним електрон, що розсіює, по-третє, ефект Комптона спостерігається тоді, коли довжина хвилі стає значно меншою розміру атома, тобто, коли виконується умова $r/\lambda > 1$.

Цю умову можна записати так: $r/\lambda = rp/h = rh\nu/ch > 1$ або $h\nu > ch/r \sim 10^4$ eВ. Дійсно, лише при $h\nu > 10$ кеВ вдається чітко спостерігати ефект Комптона.

16. Досліди Штерна-Герлаха свідчили про існування власного моменту електрона. Звідки впливала його квантова природа?

В досліді крізь сильно неоднорідне магнітне поле пропускався потік нейтральних атомів срібла. Уздовж осі перпендикулярної до напрямку швидкості атомів створювалось неоднорідне магнітне поле з великим градієнтом. Магнітне поле, по-перше, *орієнтує магнітний момент*, а, по-друге, *створює поперемоторну силу* прямо пропорційну градієнту магнітного поля

$$F_z = -\mu_{jz} \frac{d\mathcal{H}}{dz} = -g_j m_j \mu_0 \frac{d\mathcal{H}}{dz}$$

Під дією цієї сили атомний потік просторово розділиться на розділиться на $2j + 1$ складових, тому що стільки складових може мати квантове число m_j .

На екрані з'явиться дві плями від атомів срібла. Вимірявши величину відхилення, можна знайти μ_0 .

Електрон – це ферміон із спіном $1/2$, тобто він має власний момент момент, а за гіромагнітним співвідношенням і власний магнітний момент.

Якби електрон не мав власного моменту, то розщеплення не спостерігалось би.

17. Чим відрізняється електронний і ядерний магнітні резонанси?

Електронний – в зовнішньому магнітному полі напруженістю H відбувається зєсманівське розщеплення термів на $2j+1$ окремих підтермів (через взаємодію спіна електрона і орбітального моменту), між якими можливі вимушені переходи, зокрема, поглинання квантів електромагнітного випромінювання.

Ядерний – вимушені переходи пов'язані з розщепленням електричних рівнів, через взаємодію спіну ядра з механічним моментом в зовнішньому магнітному полі.

Частоти ν і γ резонансу відрізняються через різну масу m і ядра, а отже і різне гіромагнітне співвідношення.

$$\frac{|M|}{|L|} = g \frac{e}{2m_0 c} \quad \omega_L = e\mathcal{H}/2m_0 c$$

Для ядерного всюди маса ядра, а отже використовуються електронний парамагнітний резонанс (ЕПР) в області високих частот ~ 10 ГГц і ядерний магнітний резонанс (ЯМР) в області більш низьких частот $\sim 10^6 \div 10^7$ Гц.

18. Які експерименти (явища) свідчать про існування електромагнітних флуктуацій фізичного вакууму?

Лембівський зсув, заряджені частинки обмінюються віртуальними фотонами, внаслідок чого виникає кулонівська взаємодія зарядів, обмін фотонами змінює нульовий стан вакууму, що призводить до появи електромагнітної взаємодії між зарядами, поява ядерних сил є результат обміну протонів і нейтронів віртуальними π -мезонами.

19. В чому переваги і недоліки рентгено- та електронної структурної діагностики?

рентгеноструктурна діагностика (дифракція брєга рентгенівських променів): простий та дешевий метод, що дозволяє визначити кристалічну структуру кристалу та основні її параметри (розміри елементарної комірки, групу симетрії); але він практично не підходить для аморфних речовин, оскільки в цьому випадку нема чіткої дифракційної картини.

електронна структурна діагностика (дифракція електронів): електрони сильно взаємодіють з атомами речовини, мала експозиція дозволяє спостерігати динаміку

процесів, дозволяє досліджувати не лише монокристали але і полікристали; основний недолік полягає в обмеженнях на товщину зразка.

20. Поясніть принцип «охолодження» атомів лазерним випромінюванням.

У основі охолодження атомів за допомогою лазерного випромінювання лежить створення умов, коли атоми поглинають фотони з енергією $\hbar\omega$, а випромінюють фотони з більшою енергією $\hbar\omega_e$, причому різниця енергій $\hbar\omega - \hbar\omega_e$ забезпечується за рахунок перетворення частини кінетичної енергії атома у внутрішню енергію.

В перших експериментах для охолодження атомів використовувався ефект Доплера. На рис 1.1. показано переходи атомів, що ведуть до доплерівського охолодження. Якщо енергія фотонів лазерного випромінювання знаходиться в межах доплерівськи уширеної спектральної лінії атомів, але зміщена в довгохвильову сторону від центра лінії, то поглинати фотони з більшою ймовірністю будуть атоми, які рухаються назустріч фотонам. При поглинанні такого фотона, що відповідає переходу $1 \rightarrow 2$ на рис.1, імпульс атома, а значить і його кінетична енергія, зменшується. Збуджений атом здійснює перехід $2 \rightarrow 1$ на нижній рівень, спонтанно випромінюючи фотон. Напрямок руху випромінюваного фотона – величина випадкова. Тому середнє значення імпульсів фотонів, випромінюваних атомом за багато циклів поглинання – випромінювання, дорівнює нулю. Внаслідок того, що при кожному акті поглинання імпульс атома зменшується, його кінетична енергія поступово спадає. Вказаний механізм охолодження спрацьовує тільки для атомів, що рухаються назустріч світловому пучку.

В 1985р. Chu та ін. здійснили 3 - вимірне охолодження атомів. Для цього використали шість лазерних пучків, що відповідали прямим і зворотним хвилям, які поширювалися в трьох взаємно перпендикулярних напрямках. У такому світловому полі охолоджувалися всі атоми, незалежно від напрямку руху. Дію лазерне випромінювання на атоми в даному випадку можна описати, як силу тертя, що поступово зменшує швидкість атомів.

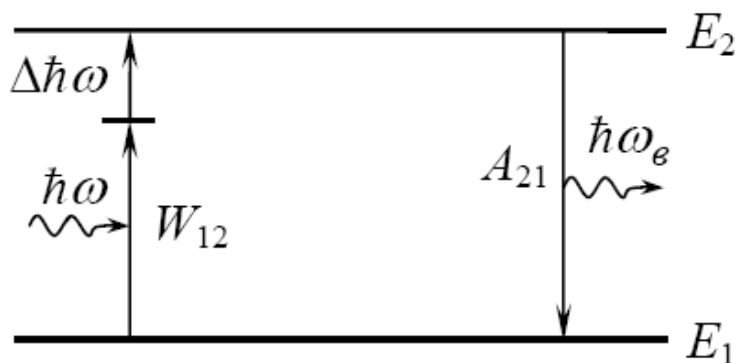


Рис. 1. Переходи атома, що використовуються при доплерівському охолодженні.

Таким методом отримано охолодження до 10^{-6} К.