

## 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 связан с понятием потенциала электрического поля, как работы, совершаемой при перемещении единичного точечного заряда в пространстве. Если такое перемещение совершается по замкнутому контуру, то суммарная работа при возвращении в исходную точку будет равна нулю. В противном случае путем обхода контура можно было бы получать положительную энергию, нарушая закон ее сохранения.

### 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  $\varepsilon$  - електрорушійна сила,  $R$  - електричний опір навантаження. Реальні джерела напруги мають скінченні значення внутрішнього опору.

### 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.

### 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  $U = L \frac{dI}{dt}$ .

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

Умова резонансу  $\varphi_{\text{вх}} = 0$ , тобто  $\omega L - 1/\omega C = 0$ , 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  $Q = U_{20}/U_1 = \rho I_p / R I_p = \rho/R$ . Таким чином, напруга на виході контуру при резонансі в  $Q$  раз більша напруги на вході:  $U_{20} = Q U_1$ . Добротність  $Q$  є величина обернена згасанню контуру:  $d = 1/Q = R/\rho$ . Добротність навантаженого контуру  $Q_{\text{ек}} = \rho/[R + L/CR_H] = Q/[1 + Q\rho/R_H]$ . 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  $\epsilon = 2\Delta f / f_0$ . Узагальнена розстройка  $\zeta = X/R = (X_L - X_C)/R \approx 2\Delta f Q / f_0$ .

## 7. Вплив навантаження на вибіркові властивості коливального контуру.

Послідовний контур. Якщо до вихідних затисків контуру підключити резистор, то в ньому буде розсіюватись енергія, внаслідок чого добротність кола зменшиться у порівнянні з добротністю не навантаженого контуру. Добротність навантаженого

контуру  $Q_e = \frac{\rho}{r + R_i + \rho^2/R_H} = \frac{\rho}{r [1 + R_i/r + \rho^2/(rR_H)]} = \frac{Q}{1 + R_i/r + \rho^2/(rR_H)}$ ,  $r$  – 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

$Q_{\text{ек}} = \rho / (R + R'_r) = Q / (1 + R_0 / R_r)$ ,  $Q_{\text{ек}} < Q$ ,  $R$  – власний опір контуру,  $\rho$  – 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)  $\varphi_k = - [\text{arctg}(\omega L - 1/\omega C)/R + \pi/2]$

## 9. Залежність вхідного опору послідовного коливального контуру від частоти.

Вхідний опір послідовного коливального контуру  $Z^2 = R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2$ .

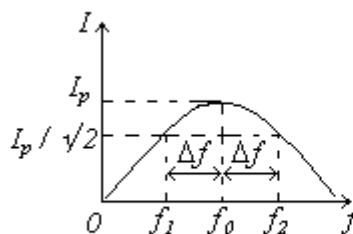


рис. 1

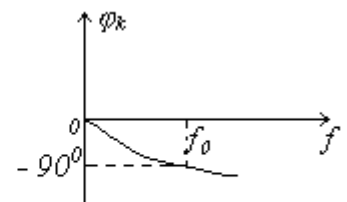
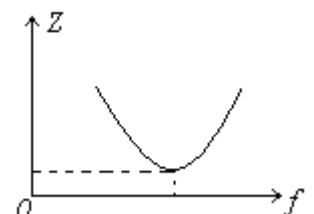
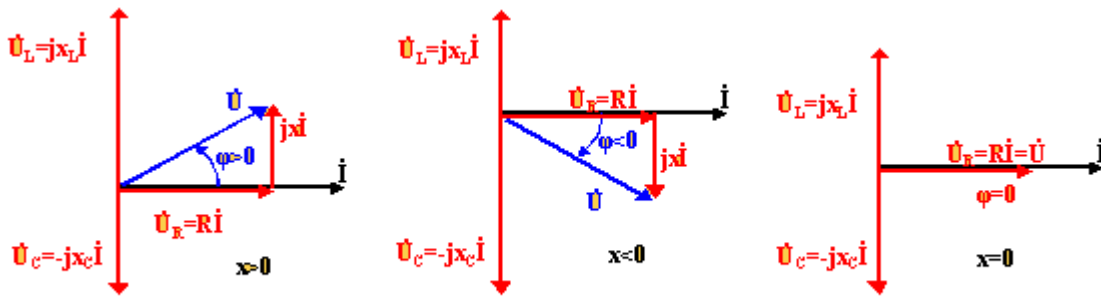


рис. 2



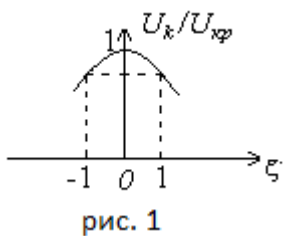
## 10. Векторні діаграми струмів та напруг у послідовному коливальному контурі.



Під різницею фаз напруги і струму розуміється різниця початкових фаз напруги та струму. Тому на векторній

діаграмі кут  $\varphi$  відраховується в напрямку від вектора  $\dot{U}$  до вектора  $\dot{I}$ . При цьому кут  $\varphi$  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.

## 11. Визначити смугу пропускання паралельного RLC - коливального контуру.

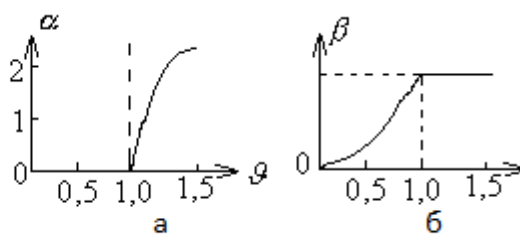
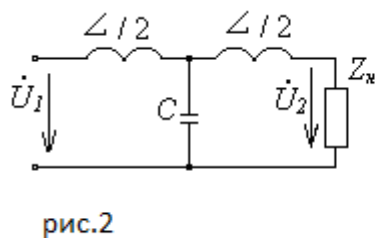


Амплітудно-частотна характеристика напруги на контурі у відносних одиницях  $U_k / U_{kp} = 1 / \sqrt{1 + \zeta^2}$ , де  $U_{kp} = IR_0$  – напруга на контурі при резонансі, яка є найбільшою, ( $\zeta = 0$ ).  $\zeta = 2Q\Delta f/f_0$  – узагальнена розстройка контуру. Якщо на висоті 0,707 провести пряму, паралельну осі узагальненого розлагодження  $\zeta$  (рис. 1), то точки перетину з характеристикою дадуть відносно значення смуги

прозорості:  $\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{sp}^2}}$ ;  $\zeta_{sp} = \pm 1 = \pm 2Q \frac{\Delta f}{f_0}$ . 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.



T-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  $\beta = \arccos(1 - 2g^2)$ . У смугі непрозорості  $\beta = \pi$ .

Характеристичний опір ФНЧ  $Z_{от} = \rho \sqrt{1 - g^2}$ ,  $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ . (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  $R_n = \rho$ . У

реальних умовах  $R_n \neq \rho$ , а тому частотні характеристики фільтра відрізняються від тих, які мали б місце при умові повної узгодженості.

### 13. LC - фільтр верхніх частот. Узгодження ланок і навантаження.

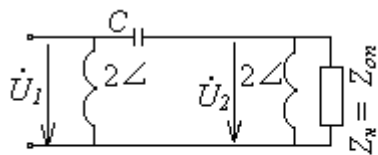


рис. 4

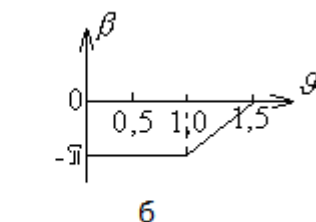
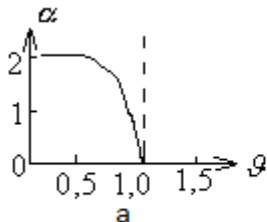


рис. 5

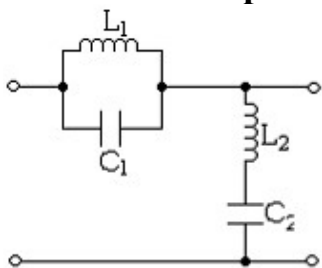
П-подібна схема ФВЧ подана на рис.4, а його частотні характеристики на рис.5 а,б. Із зменшенням

частоти збільшується опір послідовної вітки ( $X_c = 1/\omega c$ ) і зменшується опір паралельних віток ( $X_L = \omega L$ ); що погіршує умови проходження сигналу через фільтр. граничні частоти  $f'_1 = 1/4\pi\sqrt{Lc}$ ;  $f'_2 = \infty$ .

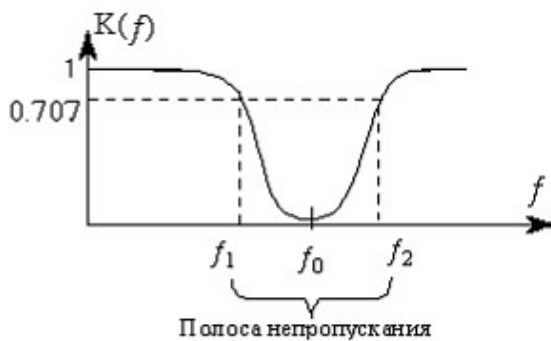
Характеристичний опір  $Z_{оп} = \pm \rho / \sqrt{1 - 1/g^2}$ , де  $g = f/f_2$ . У смузі непрозорості рівняння АЧХ  $\alpha = Arch\left|1 - \frac{2}{g^2}\right|$ . У смузі прозорості рівняння ФЧХ  $\beta = arccos\left|1 - \frac{2}{g^2}\right|$ .

Достатнім наближенням до режиму узгодження є рівність  $R_n = \rho$ .

### 14. Параметри загороджувальних LC - фільтрів.



а)



б)

Резонансна частота контура  $1/2\pi\sqrt{L_1 C_1} = 1/2\pi\sqrt{L_2 C_2} = f_0$ . При резонансі опір поздовжнього плеча (паралельного контуру) виявляється максимальним, що відповідає найбільшому затуханню. Для електричних коливань з частотами, що відрізняються від резонансної, опір поздовжнього плеча

зменшується, а поперечного (послідовного контуру) – збільшується внаслідок чого затухання зменшується.

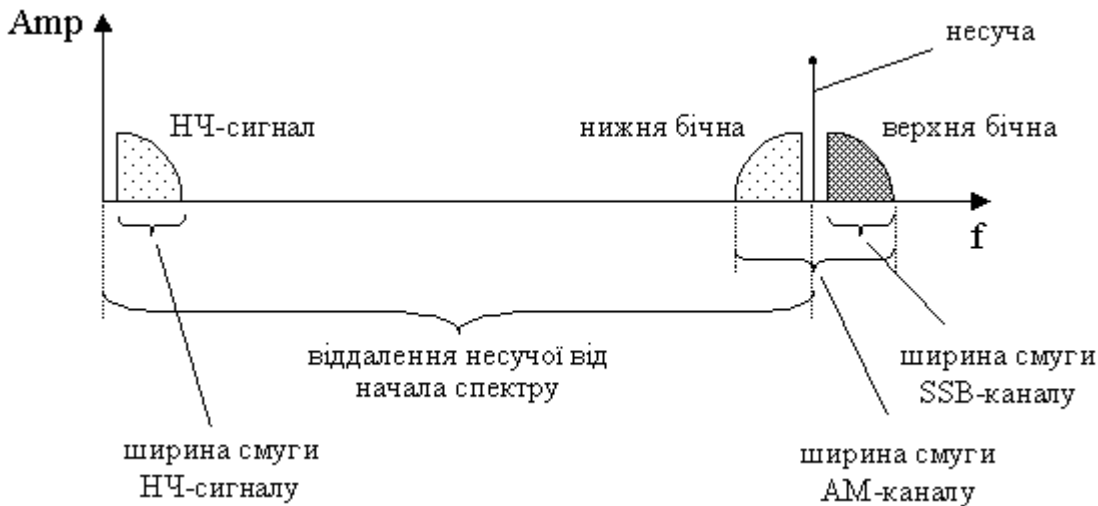
### 15. Вкажіть переваги і недоліки частотної та фазової модуляції у порівнянні з амплітудною модуляцією.

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  $\Delta\omega \approx 2(m_f + 1)\Omega$ , 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.**



Односмугова модуляція – модуляція, при якій 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.

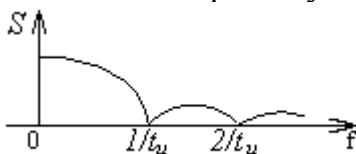
Оскільки величина несучої частоти SSB-модульованого сигналу завжди значно більше ширини спектру самого сигналу (Рисунок 1), SSB-сигнал завжди є вузькосмуговим. Загальна властивість вузькосмугових сигналів полягає в тому, що вони перетерплюють значно менші спотворення чим широкосмугові. Це пов'язано з 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.

**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.

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

Якщо маємо прямокутний імпульс тривалістю  $t_d$  то його спектр матиме вигляд



Тобто тривалість імпульсу визначає нулі спектру.

**19. Дайте загальний опис структури спектра модульованого коливання.**

Оскільки зазвичай частотний діапазон інформаційного сигналу не дозволяє передавати його радіохвилями безпосередньо, то ним модулюють високочастотні коливання (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 (для АМ модуляції).

## **20. Яке призначення модемів в комп'ютерній мережі ?**

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

# Радіоелектроніка

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

Електричний струм, що існує при 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 р- 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?

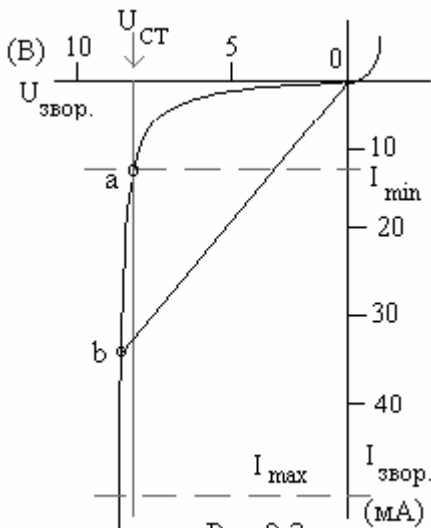


Рис.2.3.

Для роботи стабілітронів використовують зворотню ділянку вольтамереної характеристики (ВАХ) при напрузі, що відповідає напрузі пробією (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

омічного опору  $R_0 = \frac{U}{I}$ , який можна зобразити як нахил

січної "Ob" 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  $\Delta U_1$ . Відповідно і

вихідну напругу і струм можна зобразити як суми

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

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

Для постійної складової струму стабілітрон є омічним

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

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

$$\frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = \frac{r_d}{R + r_d}.$$

$\Delta U_2$   $\Delta U_1$  буде дорівнювати

приростів напруг на вході і на виході:  $\frac{\Delta U_2 / \Delta U_{20}}{\Delta U_1 / \Delta U_{10}} = \frac{R + r_d}{r_d} \frac{R_0}{R + R_0} = k_{СТ}$  Це і є

коефіцієнт стабілізації  $k_{СТ}$ , 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.

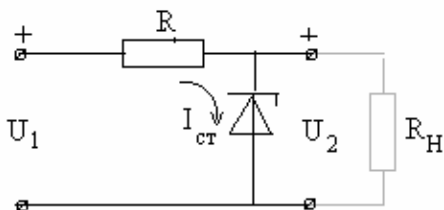


Рис.2.4.

### **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.

### **5. Чому нелінійні спотворення сигналів шкідливіші від лінійних?**

Нелінійні спотворення на відміну від лінійних спотворень призводять до виникненні 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.



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

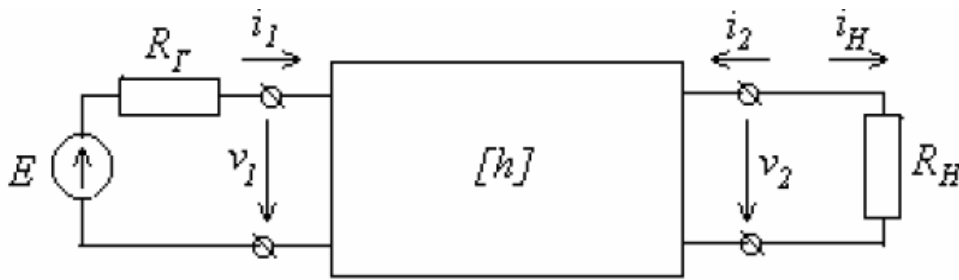


Рис.3.1.

Розглянемо підсилювач у вигляді чотирьохполюсника  $h$  параметрів. До входу транзистора підключений генератор вхідного сигналу: джерело напруги  $E$  з внутрішнім опором  $R_{\Gamma}$ , 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  $h$ -

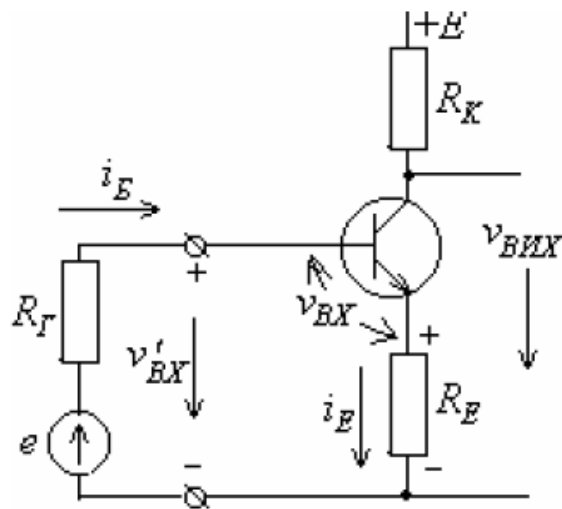
$$v_1 = h_{11}i_1 + h_{12}v_2$$

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:  $k_i = i_H / i_1 = -i_2 / i_1 = -\frac{h_{21}}{1 + h_{22}R_H}$ .

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 додатнім.

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



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

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

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

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.

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

Автогенератор повинен мати елемент з відємним 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  $\beta$  – коефіцієнт трансформації

трансформатора. В залежності від полярності увімкнення він може бути позитивним або негативним. Негативне значення  $\beta$  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 відємний 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?

Якщо при генерації коливань їх амплітуда зростає, то вона може вийти за межі лінійної ділянки прохідної характеристики транзистора. Таким чином з'являться вищі гармоніки. Але оскільки транзистор навантажений на кливальний контур, то на виході всеодно отримаємо коливання на які настроєний контур (перша гармоніка). Але оскільки розміри лінійної ділянки незмінні, то при збільшенні вхідної напруги вихідна напруга (перша гармоніка) зростати не буде. Таким чином буде поступово зменшуватись коефіцієнт підсилення аж поки не перестане виконуватись амплітудна умова самозбудження і амплітуда не почне спадати. Таким чином з'явиться стійке значення амплітуди при  $k\beta = 1$

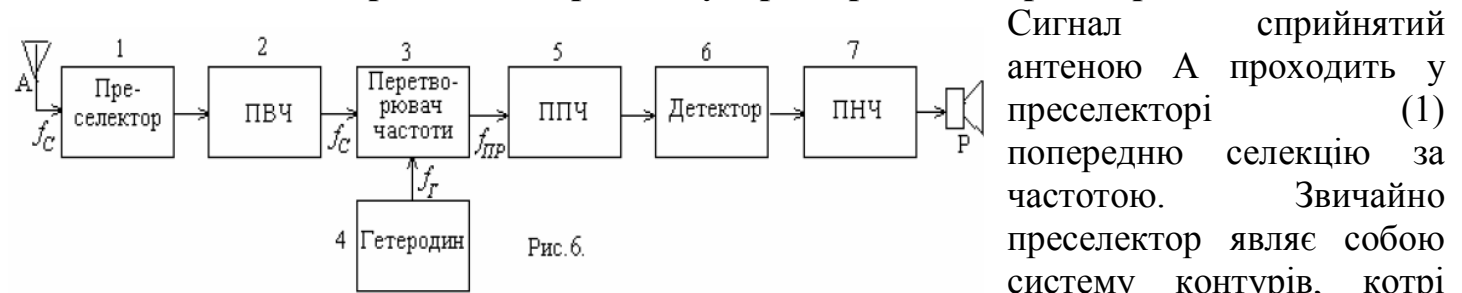
## 12. Чим відрізняється тригер від мультівібратора?

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

## 13. Яким шляхом можна перетворити частотну модуляцію у амплітудну?

Це можна зробити за допомогою частотного детектора. Після проходження амплітудного обмежувача ЧМ сигнал потрапляє в частотний дискримінатор, де власне і відбувається перетворення ЧМ в АМ. У найпростішому випадку частотним дискримінатором може служити розстроєний коливний контур. Проходячи через нього сигнал набуває амплітудної модуляції, причому амплітуда сигналу виявляється однозначно залежною від частоти сигналу. Його розстройка  $\Delta f$  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.

## 14. За яким принципом працює супергетеродинний радіоприймач?



настроюються 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  $f_G$ , котрий виробляється малопотужним перестроюваним автогенератором (4), який має назву гетеродина. Настроювання гетеродина здійснюється так, щоб різниця частота  $f_G - f_C$ , яка з'являється на виході перетворювача частоти, завжди дорівнювала б деякій фіксованій частоті  $f_{IP}$ , яка має назву проміжної частоти. За існуючими стандартами для радіомовних приймачів ця проміжна частота має дорівнювати 465 кГц. У процесі перетворення 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 настроювався безпосередньо на частоту сприйманого сигналу  $f_c$ , настройка ППЧ є фіксованою на частоту  $f_{ПР}$ ; 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.

### **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.

### **16. Які функції виконує мультиплексор?**

Він має  $N$  адресних входів,  $2^N$  інфор-маційних входів та один вихід. Коли на адресні X-входи подати кодовий сигнал, який відповідає числу  $i$ , то до у- виходу підключиться інформаційний вхід  $d_i$ . Мультиплексор подібний до ключа, який керується адресним сигналом підключає до загального виходу один з входів.

### **17. Чи потрібні тактові імпульси для роботи паралельного регістру паняті?**

Я думаю, що не потрібно, оскільки запис бітів виконується паралельно, а отже одночасно. В даному разі на вхід С (в послідовному це вхід «годинника» - тактових імпульсів) подається сигнал початку запису.

### **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.

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

Транзистор имеет два затвора: управляющий и плавающий. Последний полностью изолирован и способен удерживать электроны до 10 лет. При программировании напряжением на управляющем затворе создаётся электрическое поле и возникает туннельный эффект. Часть электронов туннелирует сквозь слой изолятора и попадает на плавающий затвор. Заряд на плавающем затворе изменяет «ширину» канала сток-исток и его проводимость, что используется при чтении.

Для стирания информации на управляющий затвор подаётся высокое отрицательное напряжение, и электроны с плавающего затвора переходят (туннелируют) на исток.

## 20. Які вам відомі різновиди аналогово-цифрових перетворювачів?

Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) служать для перетворення аналогових електричних сигналів в цифрові сигнали.

### ○ 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.

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

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

### 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 ( $0 < \omega_0 < -\delta$ ).

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

Параметричне наближення полягає в тому, що коливання неавтономного нелінійного осцилятора 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.

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

Присутність вищих гармонік (ангармонізм), залежність власної частоти коливань від амплітуди коливань (неізохронність).

### 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 установа 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 неізохронністю системи, а власне резонанс може відбуватись не лише на головній моді ( $\omega_0$ ) але і на кратних частотах ( $p \approx 2\omega_0$  та  $p \approx 3\omega_0$ ) та вищих гармоніках зовнішньої сили ( $p \approx \omega_0/2$  та  $p \approx \omega_0/3$ ). У випадку нелінійного осцилятора проявляється ефект гістерезису.

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

Квазігармонічний режим:  $0 < \alpha \ll \omega_0$  - 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.

## 9. В чому полягає ефект вимушеної синхронізації автогенератора?

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?

Причиною виникнення непередбачуваності в системі консервативного нелінійного осцилятора є наявність сідлової точки, яка забезпечує нестійкість, а зовнішня сила може "перекидати" зображувальну точку по різні боки від сепаратриси. 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 звані генератор шуму Кияшка – Піковського – Рабіновича (генератор шуму КПП).

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 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.

## 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. Крім того одній із власних частот відповідають синфазні коливання координат  $q_{1,2}$ , а іншій – протифазні.

## 12. Які кількісні характеристики хаотичної динаміки Вам відомі?

1. 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:

$$|(\Delta x(t))_i| = \Delta x_{i0} \exp(\lambda_i t),$$

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

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:

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

3. Час перемішування:  $\tau = \frac{1}{h}$ . Для проміжків часу  $t \gg \tau$  поведінка системи виявляється непередбачуваною.

## 13. Коли можливе співіснування мод у системах із конкуренцією?

Загалом конкуренція мод описується рівнянням  $\rho_{12}\rho_{21} = const$ . Величини  $\rho_{12}, \rho_{21}$  називаються *коефіцієнтами нелінійного зв'язку* між модами. Стационарно 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 невзаємний зв'язок,  $\rho_{12}, \rho_{21} < 1$  - слабкий взаємний зв'язок. В останньому випадку можливе співіснування мод в системах з конкуренцією.



#### 14. Який фізичний зміст співвідношень Менлі – Роу?

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

Рівняння (2.3.35) 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 (2.3.35). Перший доданок у лівій частині – це величина, пропорційна кількості квантів частоти  $\omega_a$ , 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  $\omega_a$ . Отже,  $mP_{ab}/(m\omega_a + n\omega_b)$  – це кількість квантів частоти  $\omega_a$ , що витрачаються на створення квантів комбінаційної частоти за одиницю часу. Таким чином, аналізоване співвідношення виражає баланс квантів частоти  $\omega_a$  в аналізованій схемі. Друге співвідношення (2.3.35) відповідно виражає баланс квантів частоти  $\omega_b$ .

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

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).

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

Абсолютна у генераторі на зустрічних пучках та в лампі зворотної хвилі. Конвективна у двопроменевому підсилювачі на супутніх пучках, резистивному підсилювачі, лампі біжучої хвилі. Абсолютна нестійкість пов'язана з наявністю в системі розподіленого зворотного зв'язку, в результаті чого сигнал весь час повертається в область взаємодії. Конвективна нестійкість: початкове збурення, що зростає, одночасно переноситься в просторі. При цьому коливання в даній точці простору з часом можуть і згасати.

#### 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).

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

Якщо хвильовий вектор має дійсну складову, то в такому випадку говорять про область прозорості, якщо має лише уявну складову, то говорять про область непрозорості.

**19. Назвіть основні механізми випромінювання хвиль.**

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

**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.

## Електрика та магнетизм

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

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

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

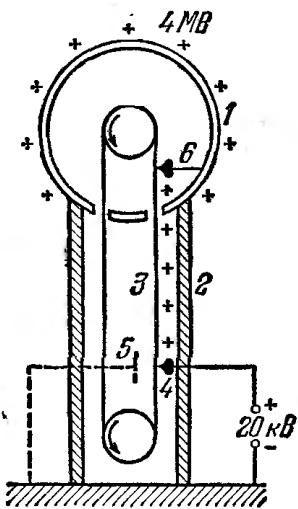
2. Записати зв'язок між напруженістю електростатичного поля та потенціалом.

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

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. Рівняння Лапласа – окремий випадок рівняння Пуассона (за відсутності зарядів). Потенціал  $\varphi$  є непервною та скінченною функцією зі скінченними похідними по координатах. Це є умовою єдиності розв'язків.

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



Генератор Ван де Граафа працює на принципі повної передачі заряду від одного зарядженого провідного тіла до другого. Причому заряд другого можна збільшувати шляхом багатократної зарядки першого. Генератор Ван де Граафа складається з порожнистого металевого шару 1 діаметром декілька метрів, що закріплений на ізолюючій колоні 2. Рухома нескінченна стрічка 3 з прорезиненої тканини заряджається від джерела напруги за допомогою системи вістрів 4. На зворотній стороні стрічки напроти вістрів розміщена заземлена пластина 5, що підсилює стікання струмів з вістрів 4 на стрічку 3. Інша система вістрів 6 знімає заряди зі стрічки і передає їх порожнистому шару. Генератор дозволяє отримати напруги 3-5 млн. вольт.

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

Поверхневі поляризаційні заряди:  $\sigma = \vec{P} \cdot \vec{n} = P_n \cos \alpha$ , де  $P_n$  – проекція вектора  $\vec{P}$  на напрямок зовнішньої нормалі до поверхні, що розглядається. Об'ємні поляризаційні заряди:  $\rho = -\nabla \cdot \vec{P}$ .

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

Неперервність тангенційних компонент вектора напруженості електричного поля:

$[\vec{n}_{12} \times (\vec{E}^{(2)} - \vec{E}^{(1)})] = 0$ . Умова для нормальних компонент вектора зміщення:

$$\vec{n}_{12} \cdot (\vec{D}^{(2)} - \vec{D}^{(1)}) = 4\pi \sigma.$$

## 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.

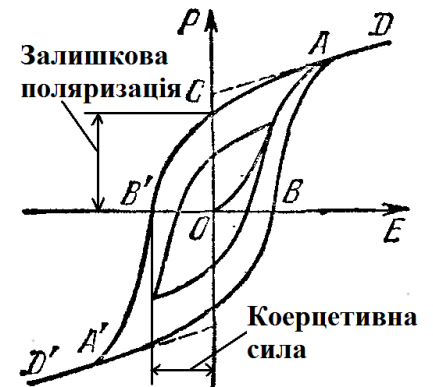
Орієнтаційна – протікає з втратами на подолання сил зв'язку і внутрішнього тертя. Пов'язана з орієнтацією диполів в зовнішньому електричному полі.

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

## 8. П'єзоелектричний ефект.

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

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



## 10. Вивести рівняння неперервності.

Виведемо рівняння неперервності з рівнянь Максвелла:

Закон Ампера:  $\text{rot} \vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$  Візьмемо дивергенцію від

обох частин:  $\text{div rot} \vec{H} = \frac{4\pi}{c} \text{div} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \text{div} \vec{D}}{\partial t}$  Оскільки  $\text{div rot} \equiv 0$ , то:  $\frac{4\pi}{c} \text{div} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \text{div} \vec{D}}{\partial t} = 0$

Проте:  $\text{div} \vec{D} = 4\pi \rho$  Підставивши в попереднє рівняння, отримаємо рівняння

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

## 11. Електричне поле зарядів, що рухаються.

$\vec{E} = \frac{e\vec{R}}{R^3} \frac{(1 - \frac{v^2}{c^2})}{(1 - \frac{v^2}{c^2} \sin^2 \theta)^{3/2}}$ , де  $v$  – швидкість руху,  $\theta$  – кут між напрямом руху та радіус-вектором  $\vec{R}$ .

## 12. Ефект Холла.

Ефект Холла – явище, при якому виникає поперечна різниця потенціалів під час розміщення провідника з постійним струмом в магнітному полі. Якщо через пластинку, яка поміщена в магнітне поле з індукцією  $B$ , пропустити струм густиною  $j = \sigma E$ , напрям якого перпендикулярний до вектора  $B$ , то на її площинах в напрямі перпендикулярному векторам  $j$  та  $B$ , виникне різниця потенціалів. В слабких полях:  $\varphi_1 - \varphi_2 = jBdR$ , де  $d$  – відстань між площинами з потенціалами  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$ ,  $R = \frac{1}{ne}$  – стала Холла.

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

Сила взаємодії двох елементів струму:  $d\vec{F}_{12} = \frac{\mu}{c^2} \frac{I_1 I_2}{r_{12}^3} [d\vec{l}_2 \times [d\vec{l}_1 \times \vec{r}_{12}]]$ .

Інтегральна форма:  $\vec{F}_{12} = \frac{\mu}{c^2} \int_{L_1} \int_{L_2} \frac{I_1 I_2}{r_{12}^3} [d\vec{l}_2 \times [d\vec{l}_1 \times \vec{r}_{12}]]$ . Сила взаємодії двох нескінченно

довгих провідників зі струмом (на одиницю довжини):  $\vec{F} = \frac{\mu}{c^2} \frac{I_1 I_2}{r}$

### 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.

Диференціальна форма:  $d\vec{B} = \frac{I}{cr^3} [d\vec{l} \times \vec{r}]$ . Інтегральна форма:  $\vec{B} = \oint \frac{I [d\vec{l} \times \vec{r}]}{cr^3} = \int \frac{[\vec{j} \times \vec{r}]}{cr^3} dV$

Де  $B$  – магнітна індукція,  $I$  – сила струму,  $d\vec{l}$  – елемент довжини.

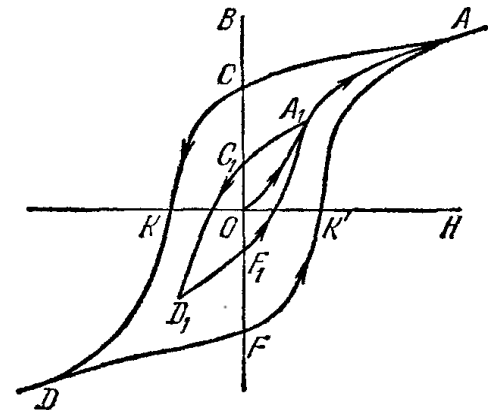
### 15. Для чого вводиться поле розмагнічування?

Для того, щоб врахувати залежність намагнічування магнетика від його форми. Тоді напруженість поля у середині магнетика  $\vec{H} = \vec{H}_0 - \vec{H}_p = \vec{H}_0 - \beta \vec{M}_0$ , де  $H_p$  – поле розмагнічування,  $\beta$  – 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:



### 17. У чому полягає скін-ефект?

Скін-ефект — явище проникнення електромагнітного поля в провідник на певну глибину, яка називається скін-шаром. Водночас, скін-ефект призводить до протікання струму в провіднику в основному в області скін-шару, і, як наслідок, збільшення опору провідника.

Глибина скін-шару визначається формулою:

$$\delta = \frac{c}{\sqrt{8\pi\mu\sigma\nu}}$$

де  $\delta$  — глибина скін-шару,  $c$  — швидкість світла,  $\mu$  — магнітна проникність речовини провідника,  $\sigma$  — електропровідність,  $\nu$  — лінійна частота.

Густина струму в провіднику спадає від поверхні експоненційно:  $j = j_0 e^{-x/\delta}$   
де  $j$  — густина струму, а  $x$  — віддаль від поверхні.

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

Закон електромагнітного поля	Диференціальна форма	Інтегральна форма
Закон відсутності магнітного заряду	$\operatorname{div} \vec{B} = 0$	$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$
Закон Кулона	$\operatorname{div} \vec{D} = 4\pi\rho$	$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = 4\pi Q$
Закон електромагнітної індукції Фарадея	$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{B} d\vec{S}$
Закон Біо-Савара-Лапласа	$\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \frac{4\pi}{c} I + \frac{1}{c} \int_S \vec{D} d\vec{S}$

### 19. Сформулюйте теорему Пойтінга.

Теорема Пойтінга виражає закон збереження електромагнітної енергії.

Диференціальна форма:  $\operatorname{div} \vec{S} + \frac{\partial w}{\partial t} + \vec{j} \cdot \vec{E} = 0$ , де  $\vec{S} = \frac{c}{4\pi} [\vec{E} \times \vec{H}]$ ,

$w = \frac{1}{8\pi} (\vec{E}\vec{D} + \vec{H}\vec{B}) = \frac{1}{8\pi} (\epsilon E^2 + \mu H^2)$  - густина електромагнітної енергії.

Інтегральна форма:  $\oint_{\Sigma} \vec{S} d\vec{\sigma} + \frac{\partial}{\partial t} \int_V w dv + \int_V \vec{j} \cdot \vec{E} dv = 0$ .

### 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) кожен атом одновалентного металу віддає один валентний електрон;
- 4) електрони поведуть себе як молекули ідеального газу. Проте, на відміну від молекул, які розсіюються при співударяннях одна з одною, електрони розсіюються на вузлах кристалічної ґратки.

## Оптика

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

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. Тобто, дозволяє розв'язувати задачі для оптичних систем користуючись формулами для тонкої лінзи. Відлік величин проводиться від головних площин.

### 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».

### 3. Яке випромінювання називається когерентним?

Когерентне випромінювання – випромінювання, при якому різниця фаз між випромінюваними хвилями постійна у часі та просторі. Когерентне випромінювання – випромінювання, яке характеризується взаємною узгодженістю протікання в часі коливань (сталістю різниці фаз) в різних точках простору і (або) часу.

### 4. Запишіть рівняння дифракційної ґратки.

$d \sin \vartheta = m\lambda$ , де  $\vartheta$  – 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.

Межа роздільності мікроскопу  $l \geq \frac{\lambda}{n \sin \alpha}$ . 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.

### 7. Що означає комплексний характер показника заломлення речовини?

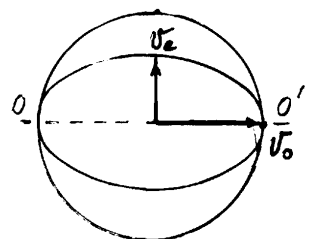
Комплексний характер показника заломлення речовини означає наявність затухання хвилі.

### 8. Що таке додатний анізотропний кристал (рисунок)?

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

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

Зсув фази:  $\varphi_0 - n_e \vec{k} \cdot d = \left(m + \frac{1}{4}\right) k \cdot \lambda = \frac{\pi}{2} + 2m\pi$



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

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

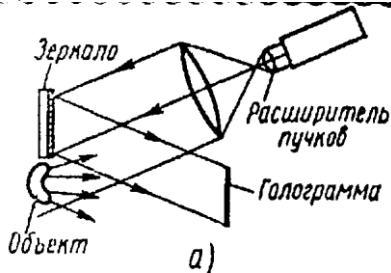
Тому, що у верхніх шарах атмосфери переважає Релеївське (обернено пропорційне  $\lambda^4$ ) розсіяння, а туман являє собою звичайні центри розсіяння ( $d \gg \lambda$ ) з різним показником заломлення, для яких  $I_{розс} \neq f(\lambda)$ .

**11. Намалуйте одну із можливих схем голографічного запису інформації .**

а) Схема Денисюка для отримання тривимірних об'ємних голограмм на фотоплівках з товстошаровою емульсією.



б) Схема Лейта-Упатнієкса

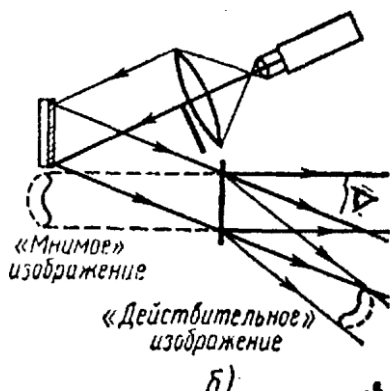
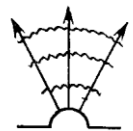
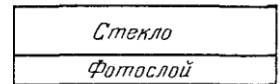


а) запис.

1) Застосовується розсіяне світло (дифузне);

2) метод:

- двох променів;
- нахиленого опорного променя;
- позаосьовий.



б) відтворення.

Відбувається дифракція опорної хвилі на голограмі.

-«дійсне» зображення має протилежний рельєф ніж предмет.

-і «дійсне», і «уявне» зображення спостерігаються неозброєним оком.

**12. Дайте визначення абсолютно чорного тіла (формула).**

Тіло називається абсолютно чорним, якщо його поглинаюча здатність дорівнює одиниці для випромінювання усіх частот. Об'ємна спектральна густина випромінювання абсолютно чорного тіла в залежності від температури і частоти визначається законом

Планка: 
$$u(\nu, T) = \frac{8\pi}{c^3} \frac{h\nu^3}{\exp\left[\frac{h\nu}{kT}\right] - 1}$$

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



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

Кількість максимумів, яку можна спостерігати:  $n = 2m + 1$ , де  $m \leq \frac{d}{\lambda}$  - ціле число.



**15. Назвіть відомі вам способи збільшити роздільну здатність телескопу.**

Межа кутової роздільної відстані телескопа  $\theta \geq 1.22 \frac{\lambda}{D}$ , де  $D$  – діаметр об'єктива. Для збільшення роздільної здатності телескопа треба: 1) як можна більшим робити  $D$ ; 2) зменшити вплив атмосфери (використовувати адаптивну оптику, підніматись як умога вище, а краще в космос); 3) для зменшення побічних максимумів дифракційного зображення точки потрібно використовувати гаусові діафрагми.

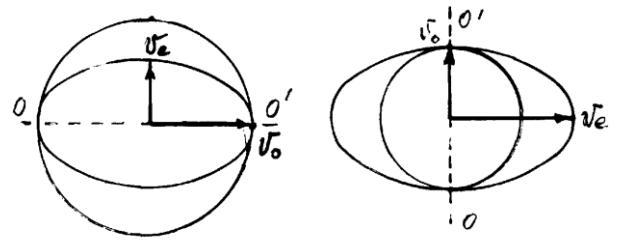
**16. Чому рентгенівське випромінювання (на відміну від оптичного випромінювання) майже не взаємодіє з речовиною (не поглинається і не заломлюється)?**

Тому що рентгенівське випромінювання характеризується значно більшою енергією фотона та частотою випромінювання (значно меншою довжиною хвилі). На перший план виходять квантові властивості випромінювання.

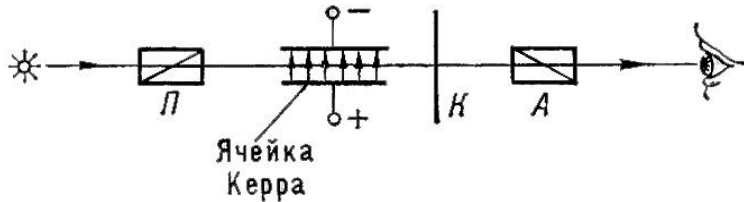
На такій частоті дисперсія майже відсутня.

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

Оптична вісь анізотропного кристалу – напрям, вздовж якого відсутнє подвійне променезаломлення відсутнє. Вздовж оптичної осі звичайний і незвичайний промені поширюються з однаковою швидкістю.



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



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

П і А – схрещені

поляризатор/аналізатор (призми Ніколя), К – компенсатор.

$\Delta n = n_e - n_0 = nkE^2$ , де  $n_e$  і  $n_0$  – показники заломлення для незвичайної і звичайної хвиль,  $n$  – показник заломлення речовини за відсутності поля,  $k$  – постійна Керра,  $E$  – прикладене ел. поле.

**19. Сформулюйте закон Кірхгофа для теплового випромінювання.**

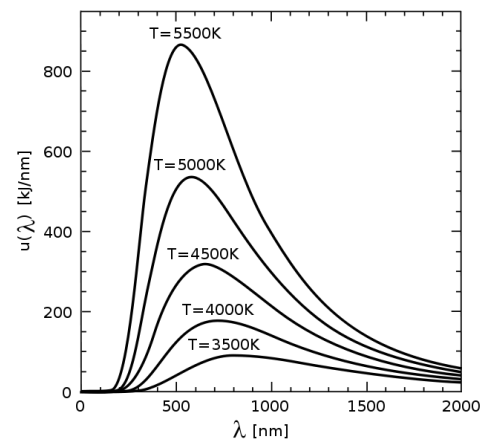
Відношення випромінювальної властивості тіла до його поглинаючої властивості однакове для усіх тіл і є універсальною функцією лише частоти і температури:

$\frac{\varepsilon(\nu, T)}{\alpha(\nu, T)} = \rho(\nu, T) = inv$ ,  $\rho(\nu, T)$  - функція Кірхгофа. 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.

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

Варто зауважити, що положення максимумів густини випромінювання зі зменшенням температури зміщується у більш довгохвильову область (закон зміщення Віна -  $\lambda_{\max} T = const$ ).



## 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 знайдемо  $r_n = n^2 \frac{\hbar^2}{e^2 m_0 Z}$ , для

першої борівської орбіти  $Z=1, n=1$ ;  $r_1 = \frac{\hbar^2}{e^2 m_0} = 0,529 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ .

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

Виходячи з теорії Бора енергія зв'язку дорівнює енергії іонізації  $eV_i = |E_1| = \frac{e^2 Z}{2r_1} \approx 13,6 \text{ eV}$ .

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

$\alpha$ -розпад ядра, холодна емісія електронів, ефект Джозефсона (тунелювання струму через діелектрик між двома надпровідниками)

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

Тому що модель Бора розглядала електрони в атомі як нерелятивістські частинки. Тому не могла пояснити тонку структуру спектрів та інші явища пов'язані зі спіном електрона (чисто релятивістська характеристика електрона). Цю характеристику ввів Дірак. Тонка структура спектрів спричиняється взаємодією власного магнітного моменту електрона (спіну) з його орбітальним магнітним моментом – спін-орбітальна взаємодія. Тонка структура з'являється тоді, коли знімається виродження по орбітальному квантовому числу.

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

$n$  – головне квантове число, введене в теорії квантування бора-зомерфельда; виходячи з цієї теорії визначає число хвиль де-Бройля на стаціонарній орбіталі. Воно загалом визначає енергію електрона на рівні з номером  $n$  та радіус стаціонарної орбіти даного рівня.

$n_r, n_\phi$  ( $n_\phi \rightarrow l$  – з рівнянь Шредінгера, визначає квадрат моменту кількості руху, пробігає значення від 0 до  $n-1$ ) – радіальне та кутове (орбітальне) квантові числа, котрі визначають величини радіального та кутового узагальнених імпульсів. Стаціонарні орбіти електрона в моделі атома Бора-Зомерфельда є двовимірні криві, котрі характеризуються цими двома квантовими числами.  $\mathbf{n} = \mathbf{n}_r + \mathbf{n}_\phi$ . Через те, що енергія електрона визначається лише головним квантовим числом, то з'являється виродження по кутовому квантовому числу.

$m(n_\phi)$  – магнітне квантове число, введено в теорію бора через те, що окрім орбітального моменту електрон в атомі повинен мати цей магнітний момент (як контур зі струмом). Воно знімає виродження по кутовому квантовому числу і має  $2n_\phi + 1$  значень. Число  $m$  назване магнітним тому, що воно визначає проекцію магнітного моменту на напрямок, що збігається з напрямком напруженості магнітного поля, і визначає енергію електрона в атомі, яку він набуває в магнітному полі.

## 6. Який принцип покладений в побудову таблиці Менделєєва ?

Періодичність властивостей елементів із зміною атомного номера може бути зв'язана з періодичною зміною заповнення електронних оболонок при зростанні  $Z$ , тобто із зміною електронної конфігурації атомів. Періодичний закон Д.І. Менделєєва відображає періодичність у заповненні електронних оболонок. Атоми з подібною конфігурацією зовнішніх електронних оболонок мають подібні властивості.

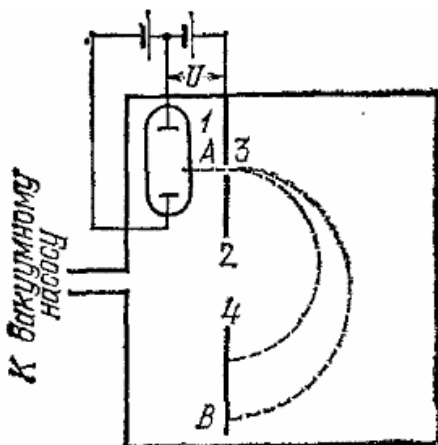
## 7. Чим обумовлений ковалентний зв'язок в молекулах ?

Обумовлений взаємодією хвильових функцій тих електронів, які забезпечують зв'язок між атомами (зазвичай зовнішні електрони). Але необхідно також щоб спінові функції електронів зв'язку були антисиметричними, а просторові – симетричними. В такому разі перекриття електронних хмар атомів викличе створення гібридизованого стану (зв'язуюча орбіталь), який буде забезпечувати обмінну енергію зв'язку.

Ковалентний зв'язок не має класичного аналога. Це квантове явище, котре виникає внаслідок обмінної взаємодії, яка є проявом специфіки квантових законів руху систем однакових частинок. Вона виникає із-за кулонівської взаємодії між електронами і ядрами і зв'язана із кореляцією в русі електронів, котра виникає через симетризацію хвильових функцій у відповідності з принципом виключення Паулі. 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.



## 9. Як виміряти $q/m$ зарядженої частинки?

За допомогою мас-спектрометрів.

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:

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

### 10. Чому закони фотоефекта мають бути квантовими?

Тому що світлова енергія має квантову природу. Світло при розповсюдженні в просторі подібно сукупності частинок (квантів, фотонів), енергія яких визначається формулою Планка  $h\nu$ . Тому: енергія фотоелектронів прямо пропорційна частоті діючого світла, тобто світло (електромагнітна хвиля) поглинається квантами  $h\nu: \frac{mv^2}{2} = h\nu - A$ , де  $A$  – робота виходу метала.

### 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.

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

Дослідження зовнішнього фотоефекту, 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  $\lambda = h/p$ .

### 14. Із дослідів Резерфорда впливає планетарна модель атома. Поясніть цей висновок.

Досліди Резерфорда по розсіянню  $\alpha$ -частинок показали мінімальну відстань, на яку  $\alpha$ -частинка може наблизитися до ядра. Це в свою чергу дало оцінку для розміру ядра  $\sim 10^{-13}$  см. 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. Ці результати і дозволили Резерфорду побудувати планетарну модель атома.

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

Ефект Комптона спостерігався при таких енергіях рентгенівських квантів, коли  $h\nu$  значно більше енергії зв'язку електронів в атомі. В цьому випадку можна знехтувати зв'язком електрона в атомі й наближено вважати, що розсіяння відбувається на вільному електроні.

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

Електрон – це ферміон із спіном  $\frac{1}{2}$ , тобто він має власний момент момент, а за гіромагнітним співвідношенням і власний магнітний момент. В дослідах Штерна-Герлаха зафіксовано розщеплення пучка атомів срібла на дві вузькі компоненти при відсутності невідхиленого пучка. Результати, отримані в досліді, дозволили зробити висновки, що підтверджують квантові уявлення:

- 1) атом срібла має магн. момент;
- 2) величина цього магн. моменту дорівнює магнетону Бора;
- 3) проекції магн. моменту атома на напрям магн. поля можуть приймати тільки дискретні значення.

**17. Чим відрізняється електронний і ядерний магнітні резонанси?**

ЯМР спостерігається в області радіочастот, а ЕПР - в діапазоні надвисоких частот, бо маса протона менша маси електрона і тому магнітний момент протона менший магнітного моменту електрона. Крім того ЕПР пов'язаний зі спіном електрона, а ЯМР зі спіном ядра (тобто магнітними моментами цих частинок).

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

лембівський зсув, обмін віртуальними фотонами (сила кулона), обмін п-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.**

Нагріта речовина опромінюється звідусіль лазерним випромінюванням, частота якого лише трохи менша від частоти резонансу даної речовини. За рахунок ефекту Доплера така різниця частот буде компенсуватись, але лише для тих атомів, що рухаються назустріч випромінюванню, тобто лише ці атоми будуть втрачати енергію. Таким методом отримано охолодження до  $10^{-6}$  К.