

1. РТКС

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

Закони Кірхгофа (або правила Кірхгофа) - співвідношення, які виконуються між струмами і напругами на ділянках будь електричного кола. Перший закон Кірхгофа застосовується до вузлів електричного кола: сума струмів, що надходять до вузла, дорівнює сумі струмів, що відходять від вузла, або алгебраїчна сума струмів у вузлі або в будь-якому довільному перерізі схеми дорівнює нулю $\sum_{i=1}^{\alpha} I_i = 0$. Струми, що направлені до вузла, мають позитивний знак, а струми, що направлені від вузла – негативний. Закон випливає із закону збереження заряду.

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

Другий закон Кірхгофа застосовується до контурів електричного кола і говорить, що алгебраїчна сума ЕРС контуру дорівнює алгебраїчній сумі падінь напруги: $\sum_{i=1}^m E_i = \sum_{i=1}^k U_i$. Перш ніж застосовувати другий закон Кірхгофа

домовляються про позитивний напрямок обходу контуру – за годинниковою стрілкою, чи навпаки. Якщо при обході контуру ЕРС чи напруга співпадають з вибраним позитивним напрямком, їм приписується знак «+», якщо ж не співпадають – знак «-». Другий закон Кірхгофа пов'язаний з поняттям потенціалу електричного поля, як роботи, що здійснюється при переміщенні одиничного точкового заряду в просторі. Якщо таке переміщення відбувається по замкнутому контуру, то сумарна робота при поверненні у вихідну точку дорівнюватиме нулю. В іншому випадку шляхом обходу контуру можна було б отримувати позитивну 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. Ідеальним генератором напруги називається такий генератор, напруга на якому при будь-якому навантаженні однакова. 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.

4. Якою є внутрішня провідність ідеального генератора струму?

Джерело струму або генератор струму — елемент електричного кола, який забезпечує в ньому протікання певного електричного струму. Ідеальним генератором струму називається генератор, що створює однаковий струм при будь-якому навантаженні. Електрорушійна сила та внутрішній опір в такому

ідеальному джерелі струму повинні бути нескінченними і пропорційними одне одному. Таким чином внутрішня 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.

Резистори підпорядковуються закону Ома. Тому, відповідно, співвідношення між напругою та струмом визначається саме цим законом: $U = RI$.

Індуктивні котушки. Зв'язок між струмом і напругою елемента згідно з законом електромагнітної індукції має вигляд: $U = L \frac{dI}{dt}$. Тобто напруга на індуктивній котушці визначається швидкістю зміни струму.

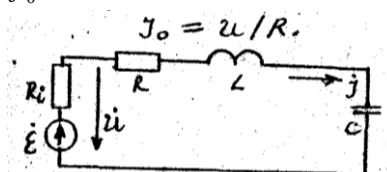
Конденсатор. Зв'язок між напругою і струмом описується наступним

рівнянням: $U = \frac{1}{C} \int Idt$. Струм у конденсаторі визначається швидкістю зміни напруги. У випадку постійної напруги струм через конденсатор дорівнює нулю.

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

У колі змінного струму з індуктивністю і ємністю при певних співвідношеннях між величинами L , C і частотою прикладеної напруги можливе явище резонансу. Для послідовного контуру резонанс настає за умови, коли $\varphi_{\text{вх}} = 0$, тобто $\omega L - 1/\omega C = 0$, де $\varphi_{\text{вх}}$ – зсув за фазою між напругою та струмом на вході кола. Звідси резонансна частота $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$;

$$f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}.$$



При резонансі, коли індуктивний і ємнісний опори рівні, будуть рівні і діючі значення напруг на них. Характеристичним (хвильовим) 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 $Q = U_{20}/U_1 = \rho I_p / R I_p = \rho/R$. Добротність показує, у скільки разів напруга на індуктивності чи ємності при резонансі більше, ніж напруга, що прикладена до кола. Величина, обернена добротності називається затуханням контуру: $d = 1/Q = R/\rho$. 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 – це відношення реактивного опору контуру до активного $\zeta = X/R = (X_L - X_C)/R \approx 2\Delta f Q / f_0$. При резонансі узагальнена розстрочка дорівнює нулю.

7. Вплив навантаження на вибіркові властивості коливального контуру.

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

Добротність навантаженого контуру

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

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 $Q_{ek} = \rho / (R + R'_r) = Q / (1 + R_0 / R_r)$, $Q_{ek} < Q$, 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.

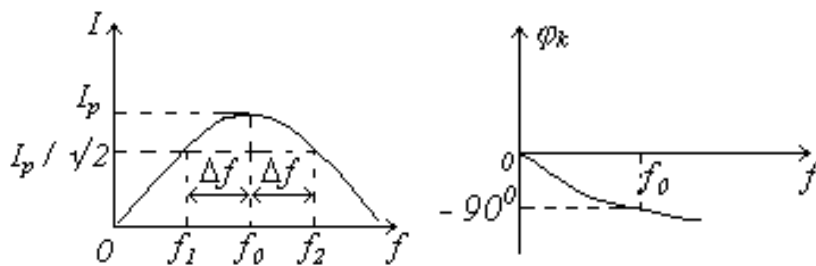
8. Передаточна функція послідовного коливального контуру.

Передаточними характеристиками послідовного контуру називають залежності $U_2 = F(f)$ і $\varphi_k = F(f)$. Згідно із законом Ома для ділянки кола

$$U_2 = U_C = I \frac{1}{\omega C} = U_1 / \sqrt{(\omega C R)^2 + (\omega^2 L C - 1)^2}$$

і має таку ж форму як і залежність $I =$

$F(f)$ (рис. 1). (U_2 - вихідна напруга - напруга на конденсаторі) Передаточна ФЧХ описується виразом (рис. 2) $\varphi_k = - [\arctg(\omega L - 1/\omega C) / R + \pi/2]$



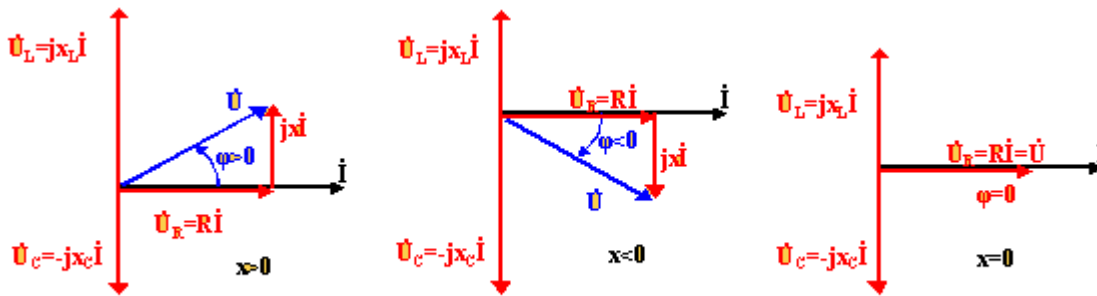
9. Залежність вхідного опору послідовного коливального контуру від частоти.

Вхідний опір послідовного коливального контуру: $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$, де R -

активна складова вхідного опору, $X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ - реактивна складова вхідного опору.

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.

11. Визначити смугу пропускання паралельного RLC - коливального контуру.

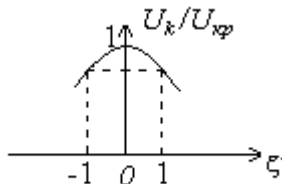


рис. 1

Кожен контур добре пропускає коливання в межах певної смуги частот, що розташовується по обидва боки від резонансної частоти. Її називають смугою пропускання контура. На рис 1 зображена АЧХ паралельного 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, U_k – напруга на контурі. Якщо на висоті 0,707 провести пряму, паралельну осі узагальненого розлагодження ζ (рис.1), то точки перетину з характеристикою дадуть відносне значення смуги прозорості:

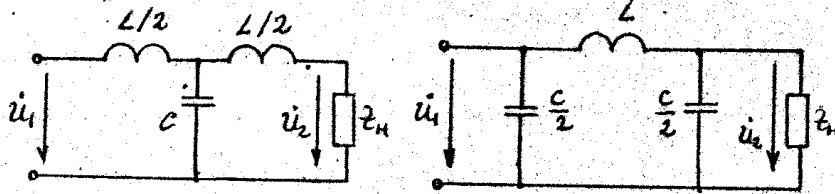
$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{sp}^2}}$; $\zeta_{sp} = \pm 1 = \pm 2Q \frac{\Delta f}{f_0}$. Звідси $S_0 = 2\Delta f/f_0 = 1/Q = d$. Отже, відносна смуга

прозорості контуру чисельно дорівнює його згасанню. Для отримання вузької смуги пропускання необхідно застосовувати контур з високою добротністю, а для широкої - низьку добротність

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

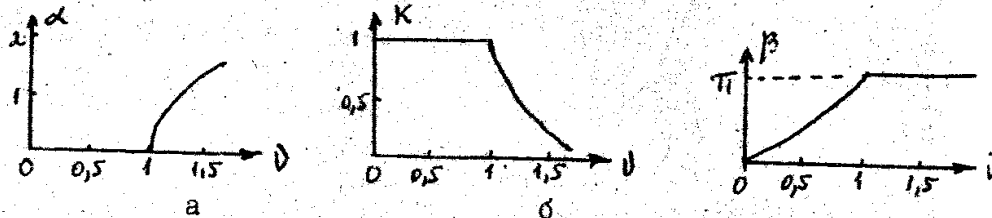
У ФНЧ постійний струм і всі коливання з частотами нижчими певної граничної частоти $\omega_{гр}$ повинні пропускатися, а коливання з $\omega > \omega_{гр}$ – видалятися. Послідовна вітка фільтра повинна мати малий опір для постійного струму і нижніх частот. Разом з тим, для того щоб сигнали вищих частот затримувались

фільтром, послідовний опір повинен збільшуватись з ростом частоти. Цим вимогам задовольняє індуктивна котушка. Паралельна вітка фільтра повинна мати малу провідність для низьких частот з тим, щоб струми цих частот не шунтувались паралельним плечем. Для високих частот паралельна вітка повинна мати велику провідність, тоді коливання цих частот будуть нею шунтуватися і струм на виході послабиться. Цим умовам відповідає конденсатор. Основними схемами ФНЧ є Т і П- подібна.



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 $f_1 = 0$; $f_2 = 1/\pi \sqrt{LC}$. Рівняння АЧХ для смуги подавлення: $\alpha = \text{Arch}(1 - 2\vartheta^2)$, де $\vartheta = f/f_2$.

Частотні характеристики для ФНЧ:



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

ФЧХ $\beta = \arccos(1 - 2\vartheta^2)$. У смугі подавлення $\beta = \pi$. Характеристичний опір

$$\text{ФНЧ} \quad Z_{от} = \rho \sqrt{1 - \vartheta^2}, \quad \rho = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (13)$$

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.

У ФВЧ постійний струм і коливання з частотами, які нижчі певної граничної частоти $\omega_{гр}$ повинні затримуватись, а коливання частот більших $\omega_{гр}$ без перешкод пропускатися. В послідовне плече ввімкнено конденсатор, бо він має великий опір для коливань низьких частот і сприяє їх затриманню. Ввімкнення в паралельну вітку індуктивної котушки призведе до збільшення її провідності на низьких частотах і зменшенню провідності на високих частотах, що задовольняє умови ФВЧ.

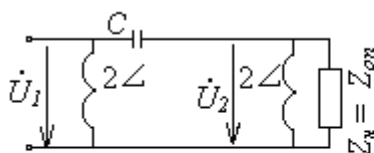


рис. 4

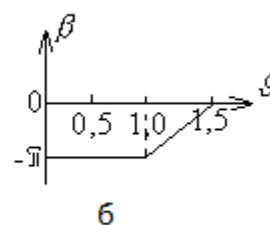
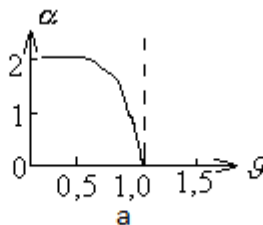


рис. 5

П-подібна
схема
ФВЧ

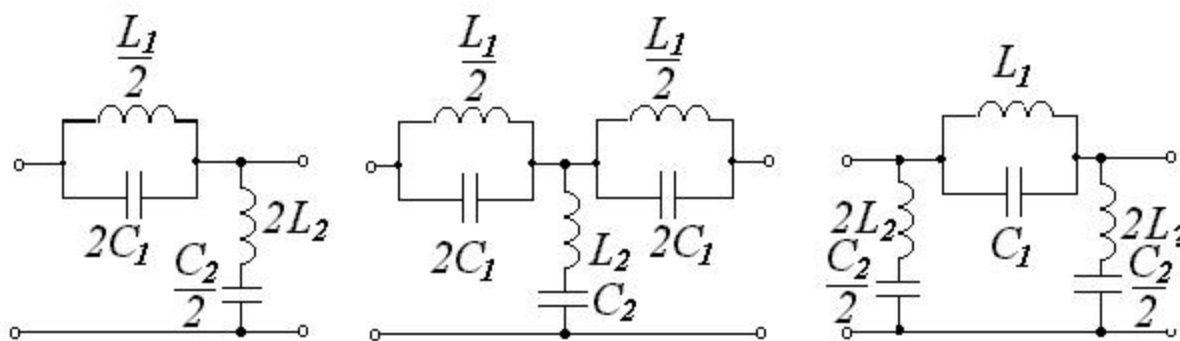
подана на рис.4, а його частотні характеристики на рис.5 а,б. Із зменшенням частоти збільшується опір послідовної вітки ($X_c = 1/\omega c$) і зменшується опір паралельних віток ($X_L = \omega L$); що погіршує умови проходження сигналу через фільтр. граничні частоти $f'_1 = 1/4\pi\sqrt{Lc}$; $f'_2 = \infty$.

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 $\beta = arccos\left|1 - \frac{2}{g^2}\right|$.

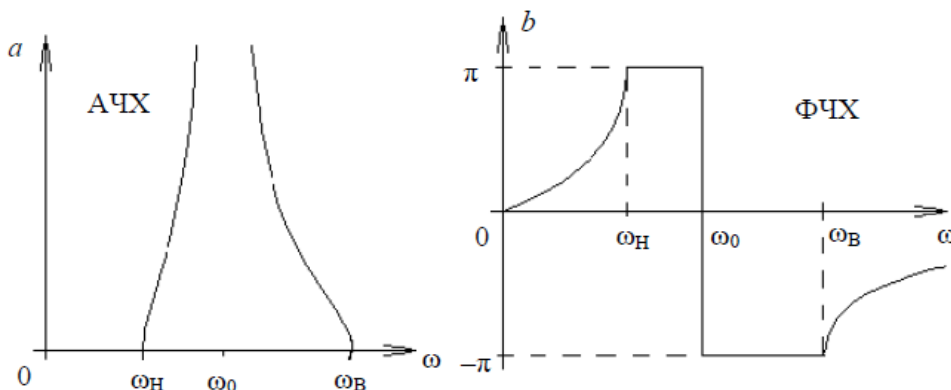
Достатнім наближенням до режиму узгодження є рівність $R_n = \rho$.

14. Параметри загороджувальних LC - фільтрів.

Під загороджувальним фільтром розуміють фільтри, в яких смуга прозорості як би розрізана на дві частини смугою загасання. Зліва від ω_1 та справа від ω_2 знаходяться дві частини смуги прозорості. Схема такого фільтру подана на рисунку.



Контури настраюються на одну і ту ж частоту $1/\sqrt{L_1 C_1} = 1/\sqrt{L_2 C_2} = \omega_0$. Якщо $\omega = \omega_0$, то послідовні вітки будуть розімкнені, а паралельна – замкнена (коротке замикання). На цій частоті затухання нескінченно велике. На частоті $\omega > \omega_0$ опір паралельного контуру має ємнісний характер, а послідовний – індуктивний. Схема перетворюється в ФВЧ, який пропускає сигнали з частотами $\omega > \omega_0$. На частоті $\omega < \omega_0$ в паралельному контурі переважає індуктивний опір, а в послідовному – ємнісний. Тепер схема виконує роль ФНЧ, який пропускає сигнали з частотами $\omega < \omega_0$. ФЧХ загороджувального фільтру поєднує характеристики ФВЧ і ФНЧ.



Граничні частоти: $\omega_{в,н} = \frac{\omega_0}{4} \times \left(\sqrt{\frac{1}{q} + 16} \pm \frac{1}{\sqrt{q}} \right)$, де $q = \frac{L_2}{L_1} = \frac{C_1}{C_2}$

Рівняння частотних характеристик в смузі пропускання: $\alpha(\omega) = 0$

$$\beta(\omega) = 2 \arcsin \frac{1}{2q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

В смузі подавлення:

$$\beta(\omega) = \pm \pi$$

$$\alpha(\omega) = 2 \operatorname{Arch} \frac{1}{2q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

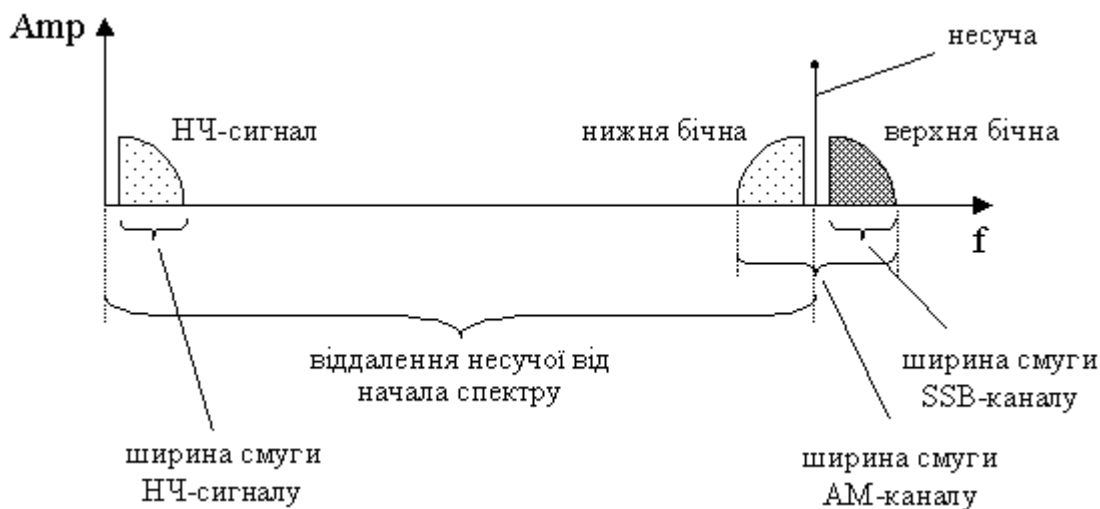
Характеристичний опір: $z_{от} = \sqrt{\frac{L_1}{C_2}} \sqrt{1 - \frac{1}{4q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}}$

$$z_{оп} = \frac{\sqrt{\frac{L_1}{C_2}}}{\sqrt{1 - \frac{1}{4q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}}}$$

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

Модуляцією називається процес накладання корисної інформації на сигнал більш високої частоти – несучу. Накладання повідомлення на несучу відбувається шляхом модуляції амплітуди або кутової швидкості, причому модуляцію кутової швидкості поділяють на фазову і частотну. ЧМ і ФМ дуже подібні між собою і з загального вигляду сигналу складно розрізнити яка модуляція була застосована. 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.



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.

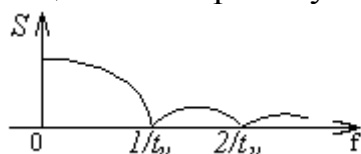
Оскільки величина несучої частоти SSB-модульованого сигналу завжди значно більше ширини спектру самого сигналу (Рисунок 1), SSB-сигнал завжди є вузькосмуговим. Загальна властивість вузькосмугових сигналів полягає в тому, що вони перетерплюють значно менші спотворення чим широкосмугові. Це пов'язано з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

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_u 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

20. Яке призначення модемів в комп'ютерній мережі ?

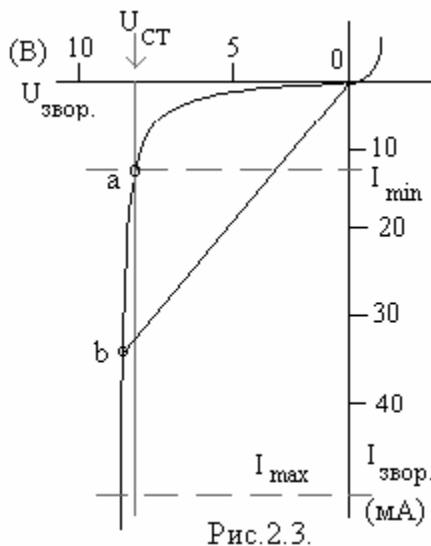
Модем – обладнання для передачі даних, яке здійснює узгоджене перетворення цифрового сигналу комп'ютера в модульований аналоговий і навпаки. Застосовуються при телефонних лінях зв'язку. Щодо застосування модемів у комп'ютерній техніці, то модеми поділяють на внутрішні (що встановлюються усередині системного блока), зовнішні (що встановлюються ззовні системного блока), портативні (застосовуються з портативними комп'ютерами), групові (при об'єднанні відповідних модемних пристроїв в групи).

2. 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?

Зворотний струм р-п переходу – це електричний струм, що виникає при оберненому зміщенні переходу (коли до р-області прикладено «-», а до п-області – «+» зовнішнього джерела напруги) і обумовлюється він лише неосновними носіями, які завжди у невеликій кількості присутні у напівпровіднику. При зворотному зміщенні концентрація неосновних носіїв заряду на границі переходу дещо знижується в порівнянні з рівноважною. Це призводить до дифузії неосновних носіїв заряду з глибини р і п-областей до границі рп переходу. Досягнувши її неосновні носії потрапляють в сильне електричне поле і переносяться через рп перехід, де стають основними носіями заряду. Дифузія неосновних носіїв заряду до границі рп переходу і дрейф через нього в область, де вони стають основними носіями заряду, називається екстракцією. Екстракція і створює зворотний струм рп переходу - це струм неосновних носіїв заряду. Зворотний струм сильно залежить від температури навколишнього середовища, а саме 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?

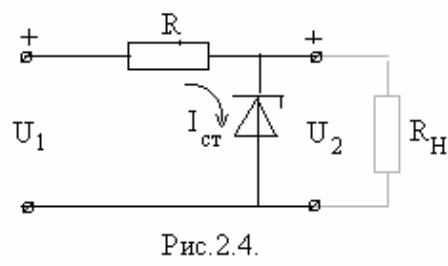


Для роботи стабілітронів використовують зворотну ділянку вольтамперної характеристики (ВАХ) при напрузі, що відповідає напрузі пробою (рис.2.3).

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 "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 ΔU_1 . Відповідно і вихідну напругу і



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

струм можна зобразити як суми подібних же складових: $I = I_0 + \Delta I$;

Для постійної складової струму стабілітрон є омичним опором R_0 , отже

відношення U_{20} до U_{10} можна записати так: $\frac{U_{20}}{U_{10}} = \frac{R_0}{R + R_0}$. Але для приросту

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

$\frac{\Delta U_2}{\Delta U_1}$ буде дорівнювати $\frac{r_d}{R + r_d}$. Тепер запишемо співвідношення відносних приростів напруг на вході і на виході:

$\frac{\Delta U_2 / \Delta U_{20}}{\Delta U_1 / \Delta U_{10}} = \frac{r_d}{R + r_d} \frac{R_0}{R + R_0} = k_{CT}$ 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.

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.

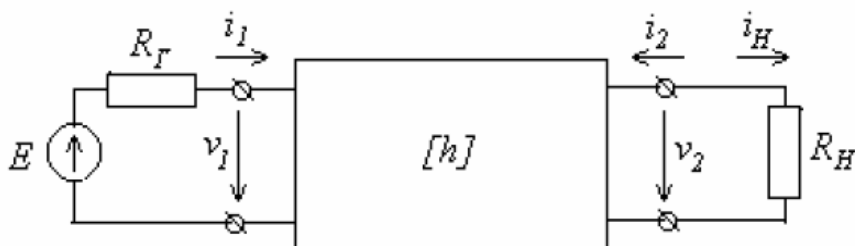
5. Чому нелінійні спотворення сигналів шкідливіші від лінійних?

Нелінійні спотворення на відміну від лінійних спотворень призводять до 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.

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

Для розрахунку основних параметрів підсилювального каскаду на біполярному транзисторі зручно представити біполярний транзистор у вигляді чотириполюсника, описаного в системі h параметрів.



До входу транзистора підключений генератор вхідного сигналу: джерело напруги E з внутрішнім опором R_G , 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

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

транзистора у h - 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:

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

Коефіцієнтом підсилення за напругою є відношення напруги на виході підсилювача до напруги на його вході:

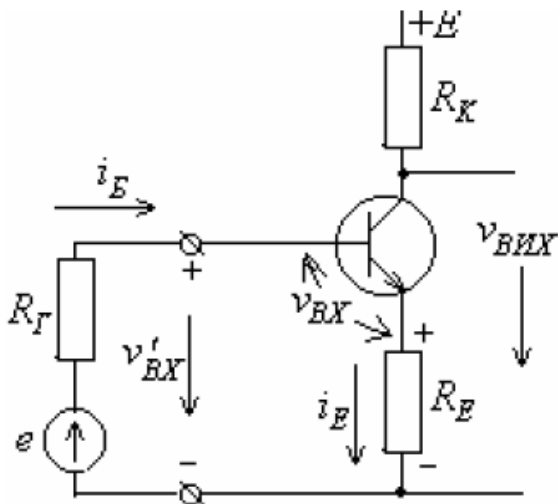
$$k_U = \frac{v_2}{v_1} = \frac{i_H R_H}{i_1 R_{BX}} = k_i \frac{R_H}{R_{BX}}$$

Підставивши значення k_i та R_{BX} отримаємо:

$$k_U = -\frac{h_{21}}{h_{11}} \frac{R_H}{1 + h_{22}R_H}$$

Отже бачимо, що коефіцієнти підсилення за струмом та напругою в підсилювачі зі СЕ виявляються від'ємними. Цей факт вказує на те, що такий підсилювач інвертує фазу підсилювального сигналу. 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. Позитивні значення коефіцієнта підсилення в підсилювачі зі СБ означають, що тут фаза підсилювального сигналу інверсії не зазнає.

7. Як впливає активний опір, увімкнений у коло емітера на



підсилення та вхідний опір підсилювального каскаду?

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

$$k' = \frac{v_{bux}}{v_{bx}} = \frac{k}{1 + k \frac{R_E}{R_K}},$$

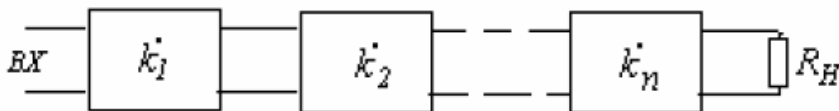
де k – власний коефіцієнт підсилення транзистора. Вхідний опір каскаду можна визначити як

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

$$R_{BX} = v_{BX} / i_B = h_{11E}.$$

і може бути набагато більший від вхідного опору власне транзистора

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



Щоб одержати коефіцієнт підсилення більший, ніж спроможний дати окремий поодинокий каскад, каскади сполучають послідовно, так що сигнал з виходу попереднього каскаду подається на вхід наступного. 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 $\psi = \psi_k + \psi_\beta = 2\pi m$. 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. Тоді після кожного обходу кола зворотного зв'язку сигнал зростатиме у геометричній прогресії у $k\beta$ разів. Якщо ж $k\beta < 1$, то прогресія буде спадною і виниклий одного разу сигнал буде не зростати, а згасати. Самозбуджуватися будуть коливання з тією частотою, для якої обидві умови виконуються водночас.

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

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 $G_d = \frac{i_{km}}{v_{km}} = \frac{h_{21e} v_{bm}}{h_{11e} v_{km}} = \pm \frac{h_{21e}}{h_{11e}} |\beta|$, 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 $|G_d| > \frac{1}{R_{EKB}}$, 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 коливальний 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 мультивібратора?

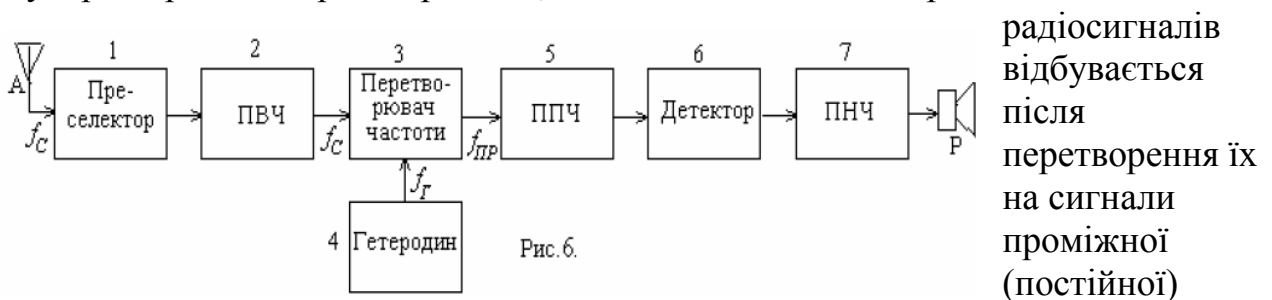
Мультивібратор – це генератор періодичних імпульсів, що за формою близькі до прямокутних. Він являє собою двокаскадний RC підсилювач, охоплений стопроцентним позитивним зворотним зв'язком. А тригер є імпульсний пристрій, котрий може довго перебувати у одному постійному стані (із двох доступних), що дозволяє йому працювати як запам'ятовуючий пристрій. Головна відмінність мультивібратора від тригера полягає в тому, що зміна станів транзисторів відбувається вже не в залежності від зовнішнього сигналу, а автоматично.

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 розстроений 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.

14. За яким принципом працює супергетеродинний радіоприймач?

Супергетеродин — радіоприймач, де основне підсилення різних за частотою



частоти. Від радіоприймача з прямим підсиленням радіосигналів С. р. відрізняється гол. чин. наявністю перетворювача частоти, складовою частиною якого є гетеродин.

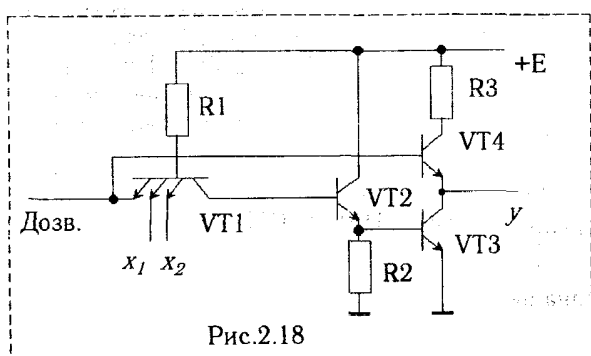
Сигнал сприйнятий антеною А проходить у преселекторі (1) попередню селекцію за частотою. Звичайно преселектор являє собою систему контурів, котрі настроюються на частоту сприйманого сигналу f_c . Далі сигнал потрапляє до підсилювача високої частоти (2), де він зазнає попереднього підсилення і додаткової 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_H , котрий виробляється малопотужним перестроюваним автогенератором (4), який має назву гетеродина. Настроювання гетеродина здійснюється так, щоб різницева частота $f_H - f_C$, яка з'являється на виході перетворювача частоти, завжди дорівнювала б деякій фіксованій частоті $f_{ГП}$, 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 настроювався безпосередньо на частоту сприйманого сигналу f_C , настройка ППЧ є фіксованою на частоту $f_{ГП}$; 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?

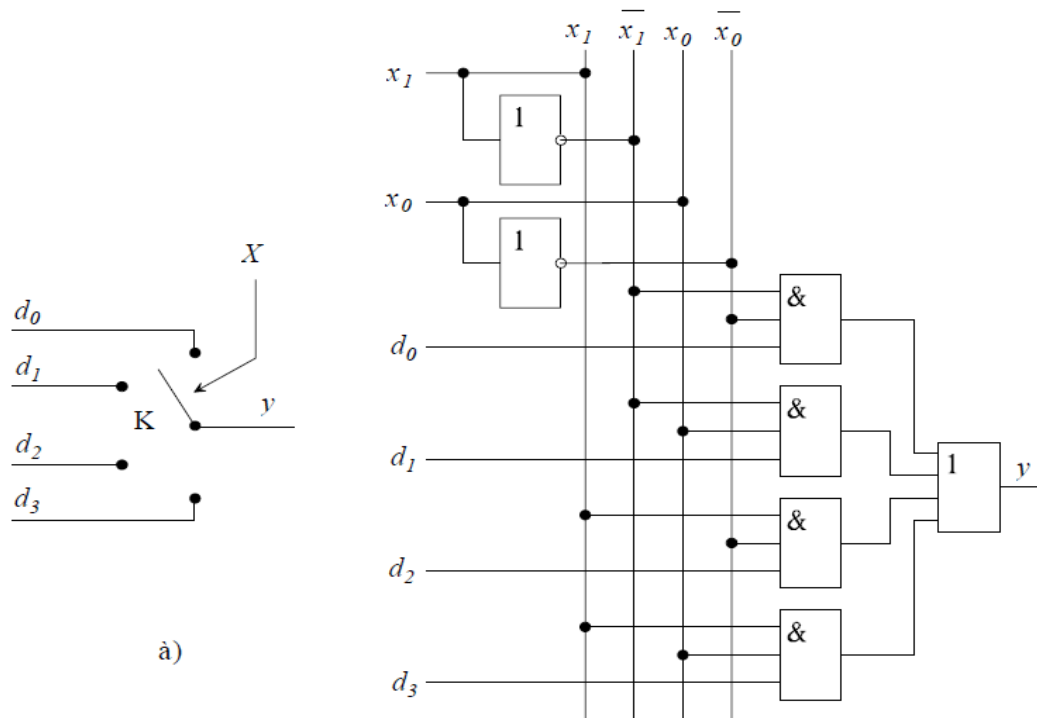
У складних цифрових пристроях звичайно виходи багатьох логічних елементів підключаються паралельно до загальної збірної шини. З цих логічних елементів в кожний певний момент часу працює лише один, а всі інші знаходяться в неробочому стані і своїми вихідними опорами шунтують вихід працюючого і заважають 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 елементах передбачається так званий «дозволяючий» вхід, одиниця на якому відкриває вихід відповідного елемента і підключає його до збірної шини. Ті ж елементи, які в цей момент не працюють, від шини відімкнені. Спрощена принципіальна схема такого логічного елемента І-НЕ з третім станом зображена на рис. при низькому рівні на дозволяючому вході транзистори VT2, VT3, VT4 закриті і вихід у «відрізано» від шини. При високому рівні на дозволяючому вході транзистор VT4 відкритий і схема керується сигналами на інформаційних входах x_1 і x_2 .

16. Які функції виконує мультиплексор?

Мультиплéксори відносяться до пристроїв комутування цифрової інформації. Вони здійснюють комутацію одного з декількох інформаційних входів до одного виходу. 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 . Мультиплексор подібний до ключа, який керуючись адресним сигналом підключає до загального виходу один з входів.



Мультиплексори застосовують для таких операцій: комутації як окремих ліній, так і груп ліній (шин); перетворення паралельного коду в послідовний; реалізації логічних функцій; побудови схем порівняння, генераторів кодів.

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

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

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

Запам'ятовуючі пристрої являють собою одну з найважливіших частин сучасних електронно-обчислювальних машин. Вони запам'ятовують і зберігають програми та початкові, проміжні і кінцеві дані розрахунків. Швидкодія ЗП значною мірою визначає швидкодію машини в цілому. Там, де потрібна велика швидкодія застосовують напівпровідникові оперативні запам'ятовуючі пристрої. ОЗП бувають двох типів: статичні та динамічні. В статичних ОЗП 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?

Флеш-пам'ять - різновид твердотільної напівпровідникової енергонезалежній перезаписуваної пам'яті. В якості елементарних комірок зберігання інформації використовуються МОН транзистор з двома затворами. Транзистор має два затвора: керуючий і плаваючий. Останній повністю ізольований і здатний утримувати електрони до 10 років. При програмуванні напругою на керуючому затворі створюється електричне поле і виникає тунельний ефект. Частина електронів тунелює крізь шар ізолятора і потрапляє на плаваючий затвор. Заряд на плаваючому затворі змінює «ширину» каналу сток-витік і його провідність, що використовується при читанні.

Для стирання інформації на керуючий затвор подається висока негативна напруга, і електрони з плаваючого затвора переходять (тунелюють) на джерело.

20. Які вам відомі різновиди аналогово- цифрових перетворювачів?

Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) служать для перетворення аналогових електричних сигналів в цифрові сигнали. Розрізняють послідовні, паралельні і послідовно-паралельні АЦП.

○ 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 опорного 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.

3. Коливання та хвилі

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

В реальних системах нескінченне секулярне зростання амплітуди 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?

Метод повільних амплітуд є потужним засобом аналізу руху, який дозволяє отримати неперервне рішення для будь-яких часових інтервалів. Основною областю застосування метода повільних амплітуд є системи з малою дисипацією і малою нелінійністю, в яких коливання мало відрізняються від гармонічних. При використанні методу повільних амплітуд припускають, що додавання малих доданків у рівняння лінійного консервативного осцилятора мало змінює його розв'язок. Ця мала зміна полягає в тому, що амплітуда A стає повільною функцією часу, тобто її відносна зміна за період коливань із частотою ω_0 є малою. Тобто мається на увазі, що $|\frac{dA}{dt}|T \ll |A|$. Додавши таку саму умову для першої похідної, перейшовши від періоду до частоти, $T = 2\pi/\omega_0$ і знехтувавши коефіцієнтом 2π в 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.

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

Особливими (стаціонарними, нерухомими) точками фазової площини називаються точки $x_0 = const$, 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. Якщо $\omega_0^2 < 0$, стаціонарна точка буде нестійкою при будь-яких значеннях параметра дисипації δ . Вона відповідає перевернутому маятнику або візку на гірці. (1.1.7.a). Видно, що існує пара фазових траєкторій, що починаються в особливій точці, та пара фазових траєкторій, які в ній закінчуються. Ця стаціонарна точка – сідлова точка, або сідло. Якщо $\omega_0^2 > 0$, характер особливої точки буде істотно залежати від значення δ .

При $\delta=0$ фазовий портрет системи являє собою набір вкладених еліпсів. Стаціонарна точка в цьому випадку буде ізольованою. Це особлива точка типу центр.

При $0<\delta<\omega_0$ фазовий портрет системи являє собою спіраль, що скручується. Відповідна стаціонарна точка називається стійким фокусом. При малій від'ємній дисипації ($0<-\delta<\omega_0$) отримуємо спіраль, що розкручується і нестійкий фокус. У випадку сильної дисипації при $\delta>\omega_0$ – реалізується режим аперіодичного згасання коливань. Фазовий портрет системи являтиме собою набір деформованих парабол, що закінчуються в особливій точці типу стійкий вузол. При сильній від'ємній дисипації $0<\omega_0<-\delta$ – матимемо аперіодичне зростання коливань. У цьому випадку фазові траєкторії починаються з особливої точки типу нестійкий вузол.

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).

Практично кожний осцилятор при великих відхиленнях від положення рівноваги виявляє нелінійність. Прикладами нелінійних осциляторів можуть бути наприклад математичний маятник (для достатньо великих відхиленнях), коливний контур, що містить варикап або котушку індуктивності з феромагнітним осердям тощо. Коливання нелінійного осцилятора, залишаючись періодичними, вже не є гармонічними: вони містять вищі гармоніки основної частоти. Говорять, що нелінійним осциляторам притаманний ангармонізм. Наступною особливістю є те, що власна частота коливань є функцією амплітуди коливань. Залежність частоти (чи періоду) коливань від їхньої амплітуди називають неізохронністю. Частота коливань залежить лише від модуля амплітуди і не залежить від фази коливань. Урахування більш високих порядків мализни приведе до уточнення закону неізохронності.

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 установаження 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.

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

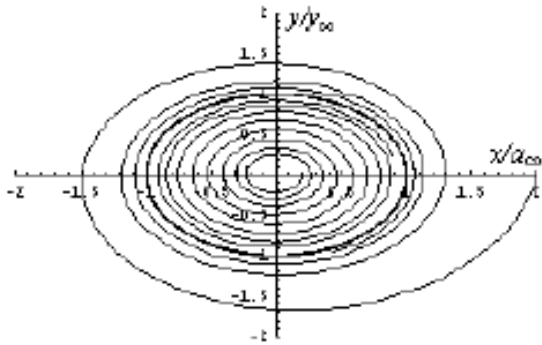
1. Механізм обмеження коливань у даному разі пов'язаний з неізохронністю системи.
2. В основі ефекту гістерезису лежить неізохронність коливань нелінійного осцилятора. Справді, першопричина гістерезису – наявність двох стійких станів системи (двох різних значень амплітуди коливань) при одній і тій самій 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 $p=\omega_0$, але й на частотах $p=\omega_0/2$ та $p=\omega_0/3$. У цих випадках спочатку нелінійні доданки породжують відповідну (другу чи третю) гармоніку зовнішньої сили, а потім вона збуджує резонансні коливання системи.
4. Врахування наявності вільних коливань може призвести до появи резонансу на частотах $p=2\omega_0$ та $p=3\omega_0$. Взаємодія власних коливань з частотою ω_0 із коливаннями на частоті зовнішньої сили на не лінійності 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.

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

Автогенератор або автоколивна система – це система, в якій за відсутності зовнішнього періодичного впливу можуть виникати і встановлюватись періодичні коливання. Основними моделями для аналізу періодичних автоколивань слугують рівняння Ван-дер-Поля $\ddot{x} - (\alpha - \gamma x^2)\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$ та Релея: $\ddot{x} - (\alpha - \gamma \dot{x}^2)\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$. Режим квазігармонічних коливань реалізується за умови, коли параметр α в рівнянні Ван-дер-Поля малий. Тобто $\alpha \ll \omega_0$ (малі коливання є майже гармонічними), $\gamma \rightarrow 0$ (параметр не лінійності формально вважаємо малим). Тоді вказане рівняння можна розв'язувати методом повільних амплітуд. Інший граничний випадок, коли $\alpha \gg \omega_0$ називається режимом релаксаційних коливань. В цьому режимі при малих x розв'язок рівняння Релея являє собою зростаючі експоненти з чисто дійсними показниками.

8. Яка основна особливість фазового портрету автогенератора?

Фазовий портрет автогенератора, що описується рівнянням Релея:



$\alpha > 0$: при малих амплітудах коливань ($\alpha < \alpha_\infty$) амплітуда коливань із часом повільно зростає, тому відповідна фазова траєкторія матиме вигляд спіралі, що розкручується. Початок відліку на фазовій площині являє собою нестійкий фокус. При великих амплітудах ($\alpha > \alpha_\infty$), коли амплітуда коливань повільно спадає, фазова траєкторія являтиме собою спіраль, що скручується. Обидві ці спіралі асимптотично прямують до еліпса з півосями α_∞ $\omega_0 \alpha_\infty$. Еліпс, що розділяє області зростання та спадання коливань, виступає в ролі сепаратриси, а точніше, стійкого граничного циклу на фазовій площині. Тобто, особливістю фазового портрету автогенератора є саме наявність граничного циклу (стійкий: замкнена фазова траєкторія, до якої асимптотично прямують всі фазові траєкторії з деякого її околу при $t \rightarrow +\infty$; нестійкий при $t \rightarrow -\infty$). Існування стійкого граничного циклу означає, що в деякому діапазоні початкових умов незалежно від їх 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 слабо дисипативного осцилятора, відмінності виявляються лише при значних відхиленнях від положення рівноваги.

9. В чому полягає ефект вимушеної синхронізації автогенератора?

В рамках квазілінійної теорії зростання коливань у контурі призводить 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, і 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 йдеться про прості системи з невеликим числом ступенів вільності, то прийнято було вважати, що поведінка таких систем є цілком передбачуваною. Але насправді це твердження є справедливим лише для стійких систем, у яких

сусідні точки фазового простору з часом не розбігаються. Коли система нестійка, ситуація змінюється. Початкові умови завжди відомі нам з певною скінченною точністю. Поведінку системи можна вважати передбачуваною лише тоді, коли початкова невизначеність з часом не зростає. Але для нестійких систем ця умова порушується. Невизначеність з часом зростає і може з часом стати як завгодно великою. Для того щоб можна було говорити про стохастичну поведінку системи і описувати її в термінах теорії ймовірності, треба щоб вона характеризувалась деякими середніми величинами, а для цього її рух повинен бути фінітним. Поєднання нестійкості з фінітністю руху і приводить до непередбачуваної поведінки. Оскільки фазові траєкторії не можуть перетинатися на фазовій площині (тобто для систем 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. 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 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 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. Крім того одній із власних частот відповідають синфазні коливання координат $q_{1,2}$, а іншій – протифазні.

12. Які кількісні характеристики хаотичної динаміки Вам відомі?

Наявність хаотичної динаміки тісно пов'язана з нестійкістю, яка притаманна фазовим траєкторіям системи.

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

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

$$h = \langle \sum_{\lambda_i > 0} \lambda_i \rangle, \quad \tau = \frac{1}{h}.$$

Час перемішування: 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 ρ_{12}, ρ_{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. У випадку сильного невзаємного 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 матимуть місце биття між автоколиваннями різних частот.

14. Який фізичний зміст співвідношень Менлі – Роу?

Співвідношення Менлі - Роу - енергетичні співвідношення, що характеризують взаємодію коливань або хвиль в нелінійних системах з зосередженими або розподіленими параметрами.

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

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 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 (2.3.35) відповідно виражає баланс квантів частоти ω_b .

(для параметричної взаємодії трьох мод) Записуються вони наступним чином: $N_1 - N_2 = \text{const}$, $N_1 + N_3 = \text{const}$, $N_2 + N_3 = \text{const}$. Вони виражають баланс енергії при нелінійному перетворенні частоти і дають можливість інтерпретувати взаємодію мод як процеси злиття і розпаду квантів. Справді, в обох названих процесах низькочастотні кванти ω_1 і ω_2 народжуються і зникають одночасно, тому різниця між кількостями цих квантів зберігається. З іншого боку, народження високочастотного кванта ω_3 супроводжується зникненням низькочастотних і навпаки. В результаті суми кількостей високочастотних та низькочастотних (кожного типу) квантів також зберігаються.

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

Стохастична динаміка дисипативних систем еквівалентна існуванню в їхньому фазовому просторі деякого особливого об'єкта – дивного атрактора. Дивні атрактори не є ні стаціонарними точками, ні граничними циклами, ні інваріантними торами. Вони поєднують стійкість із нестійкістю, мають надзвичайно складну геометричну структуру і характеризуються нецілою геометричною розмірністю. 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?

У системах з розподіленими параметрами може існувати два якісно відмінних типи нестійкості. 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. У двопробневому 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 зносовою, або конвективною. Вона може бути використана для створення підсилювачів. Абсолютну нестійкість можна перетворити в конвективну і навпаки, якщо перейти в деяку рухому систему відліку.

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 (модельна ланцюжкова система). 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 дисперсії. В залежності від того, зменшується чи збільшується фазова швидкість хвиль із зростанням їхньої частоти, говорять про нормальну (більш поширену) та аномальну дисперсію хвиль. В залежності від знаку добутку фазової та групової швидкостей говорять про додатну та від'ємну дисперсію. Для хвиль з від'ємною дисперсією напрямок перенесення енергії протилежний до напрямку руху фронту хвиль.

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

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.

4. Електрика та магнетизм

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

Формулювання теореми Остроградського-Гаусса: потік вектора напруженості електричного поля через будь-яку довільно обрану замкнену поверхню пропорційний укладеному всередині цієї поверхні електричному заряду.

Ця теорема може бути записана як в інтегральній так і в диференціальній

формі, які є математично еквівалентними. Маємо: $\Phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = 4\pi Q \Rightarrow$

$$\oint_S \vec{E} \cdot \vec{n} \cdot dS = \int_V \text{div} \vec{E} dV = 4\pi \int_V \rho dV \Rightarrow \text{div} \vec{E} = 4\pi\rho$$

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

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

Електричне поле характеризується двома фізичними величинами: напруженістю (силова характеристика) та потенціалом (енергетична характеристика). Знайдемо зв'язок потенціала з напруженістю електричного поля. Нехай 1 і 2 – нескінченно близькі точки, розташовані на осі X , так що $x_2 - x_1 = dx$. Робота по переміщенню одиниці заряду з точки 1 в точку 2 буде $E_x dx$. Така сама робота рівна $\varphi_1 - \varphi_2 = -d\varphi$. Прирівнюючи обидва вирази отримаємо: $d\varphi = -E_x dx$. Аналогічно для осей Y і Z . В результаті отримаємо три вирази: $E_x = -\frac{\partial\varphi}{\partial x}$, $E_y = -\frac{\partial\varphi}{\partial y}$, $E_z = -\frac{\partial\varphi}{\partial z}$. Об'єднаємо в одну векторну форму: $E = -(\frac{\partial\varphi}{\partial x} i + \frac{\partial\varphi}{\partial y} j + \frac{\partial\varphi}{\partial z} k)$. Так як E це вектор, то і вираз у дужках також вектор, що має назву градієнту потенціалу. Остаточно маємо:

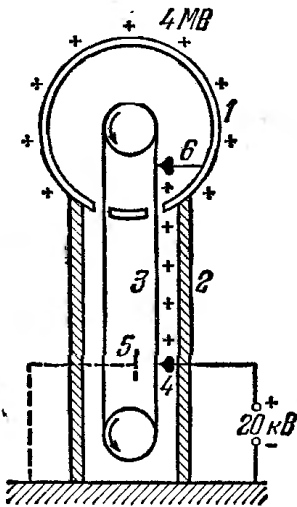
$E = -\text{grad}\varphi = -\nabla\varphi$. Напруженість в будь-якій точці електричного поля дорівнює градієнту потенціалу в цій точці, взятому з оберненим знаком. Знак «мінус» вказує, що напруженість E спрямована у бік зменшення потенціалу.

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

Рівняння Пуассона і Лапласа є основними диференціальними рівняннями електростатики. Вони випливають з теореми Гауса в диференціальній формі. Записуються вони наступним чином (СГС): $\nabla^2\Phi = -4\pi\rho$ - рівняння Пуассона, У тих ділянках поля, де немає електричних зарядів ($\rho = 0$), це рівняння обертається в рівняння Лапласа: $\nabla^2\Phi = 0$. відсутність зарядів $\rho = 0$, і є умовою єдності розв'язку.

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

Електростатичний генератор Ван де Граафа — прискорювач заряджених частинок, генератор високої напруги. Основний принцип роботи генератора впливає з законів розподілення заряду в провідниках.



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 металевго 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: $\sigma' = P \cdot \cos\alpha = P_n$, де P_n – проекція вектора \vec{P} на напрямок зовнішньої нормалі до розглядаємої поверхні. Об'ємні

поляризаційні заряди: $-\rho = \frac{\partial P_x}{\partial x} + \frac{\partial P_y}{\partial y} + \frac{\partial P_z}{\partial z}$.

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

Граничні умови для електромагнітного поля - це умови, що зв'язують значення напруженостей і індукцій магнітного й електричного полів по різні сторони від поверхонь, що характеризуються певною поверхневою щільністю електричного заряду і / або електричного струму. Тангенційні складові вектора \vec{E} завжди неперервні: $E_{\tau 1} = E_{\tau 2}$; нормальна складова вектора \vec{D} зазнає розриву: $D_{n2} - D_{n1} = 4\pi\sigma$.

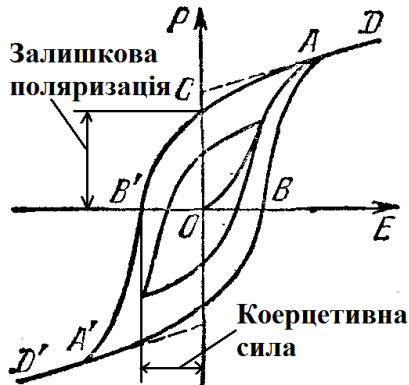
7. Електронна, орієнтаційна та іонна поляризація газоподібних, рідких та твердих діелектриків.

Поляризація діелектриків – явище, яке пов'язане з обмеженим зміщенням зв'язаних зарядів в діелектрику або поворотом диполів під дією зовнішнього електричного поля. В залежності від механізму поляризації, поляризацію діелектриків можна поділити на такі типи: електронна (виникає в результаті зсуву електронних хмар щодо центру ядер атомів або іонів під дією електричного поля, поляризація відбувається без втрат енергії), іонна (спостерігається в речовинах з іонним хімічним зв'язком і виявляється в зміщенні один щодо одного різнойменно заряджених іонів), орієнтаційна (протікає з втратами на подолання сил зв'язку і внутрішнього тертя).

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.

Рівняння неперервності виводиться з рівнянь Максвелла. Воно стверджує, що дивергенція густини струму дорівнює зміні густини заряду зі знаком мінус. Виведемо його:

Закон Ампера: $\text{rot}\mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$. Візьмемо дивергенцію від обох частин:

$\text{div rot}\mathbf{H} = \text{div}\mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial t}\text{div}\mathbf{D}$ 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,

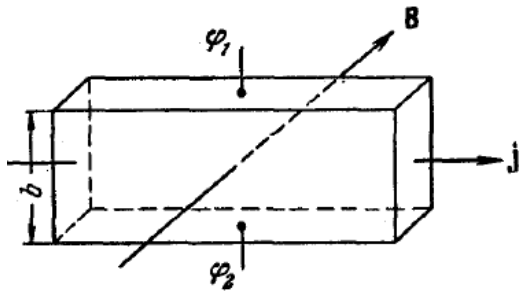
отримаємо рівняння неперервності: $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}\mathbf{j} = 0$

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.

Холл в 1880 році виявив наступне явище: якщо металеву пластинку, вздовж якої тече постійний струм, помістити в перпендикулярне до неї магнітне поле, то між паралельними струму і полю гранями виникає різниця потенціалів $U_H = \varphi_1 - \varphi_2$. Величина її визначається виразом: $U_H = RbjB$, де b – ширина пластинки, j – густина струму, B – магнітна індукція поля, R – різний для різних металів коефіцієнт пропорційності, який отримав назву сталої Холла. Саме явище називається ефектом Холла або гальваномагнітним явищем.



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

З закону Ампера випливає, що паралельні провідники з електричними струмами, які течуть в одному напрямку, притягуються, а в протилежних - відштовхуються. Законом Ампера називається закон, що визначає силу, з якою магнітне поле діє на малий відрізок провідника зі струмом. Елементарна сила $d\vec{F}$, що діє на малий елемент довжини $d\vec{l}$ провідника зі струмом, що знаходиться в магнітному полі індукцією \vec{B} , прямо пропорційна силі струму I в провіднику і векторному добутку елемента довжини $d\vec{l}$ на магнітну індукцію \vec{B} .

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B} \text{ (диференціальна форма)}$$

$$\vec{F}_A = \int I [d\vec{l}, \vec{B}], \quad F_A = IBl \sin \alpha,$$

(інтегральна форма)

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: $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$. Інтегральна форма:

$$\vec{B} = \int \frac{\mu_0 Id\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi |r|^3},$$

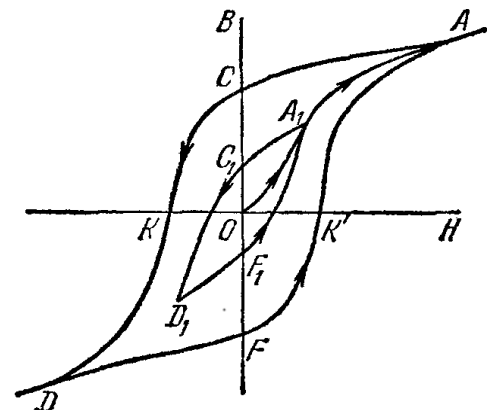
Де B – магнітна індукція, I – струм, $d\vec{l}$ – елемент довжини.

15. Для чого вводиться поле розмагнічування?

Для того, щоб показати залежність намагнічування магнетика від його форми. Тоді напруженість поля у середині магнетика $H = H_0 - H_p = H_0 - \beta M$, де H_p – розмагнічуючи 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:

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 δ — глибина скін-шару, c — швидкість світла, μ — магнітна проникність речовини провідника, σ — електропровідність, ν — 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.

$\operatorname{div} \vec{D} = 4\pi\rho$. Електричний заряд є джерелом електричної індукції.

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

$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$. Зміна магнітної індукції породжує вихрове електричне поле. (закон електромагнітної індукції Фарадея)

$\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$. Електричний струм та зміна електричної індукції породжує вихрове магнітне поле.

19. Сформулюйте теорему Пойтінга.

Теорема Пойтінга – теорема, яка описує закон збереження енергії

електромагнітного поля. $\frac{\partial u}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{S} = -\mathbf{J} \cdot \mathbf{E}$, де u – густина енергії

$u = \frac{1}{2} \left(\epsilon_0 \mathbf{E}^2 + \frac{\mathbf{B}^2}{\mu_0} \right)$, \mathbf{S} – вектор Пойтінга, \mathbf{E} – електричне поле, \mathbf{J} – густина струму.

Теорема Пойтінга в інтегральній формі:

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

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

Виходячи з уявлень про вільні електрони як основні носії струму в металах, Друде розробив класичну теорію електропровідності металів, яка потім була вдосконалена Лоренцем.

Основні положення цієї теорії зводяться до наступних:

- 1). Носіями струму в металах є електрони, рух яких підпорядковується законом класичної механіки.
- 2). Поведінка електронів подібна до поведінки молекул ідеального газу (електронний газ).
- 3). При русі електронів в кристалічній решітці можна не враховувати зіткнення електронів один з одним.
- 4). При пружному зіткненні електронів з іонами електрони повністю передають їм накопичену в електричному полі енергію.

5. Оптика

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

Теорія Гауса - це теорія ідеальної оптичної системи, тобто системи, в якій зберігається гомоцентричність пучків і зображення геометрично подібно предмету. 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. Об'єкт, що знаходиться 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. Переваги цього методу: дозволяє розв'язувати задачі для оптичних систем за формулами для тонкої лінзи, але відлік величин треба проводити 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.

4. Запишіть рівняння дифракційної ґратки.

Дифракційна ґратка – це спектральний прилад, аналізатор спектру. Рівняння дифракційної ґратки має вигляд: $d \sin \vartheta = m\lambda$, де ϑ – кут дифракції, d – період ґратки, m – порядок максимуму, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. 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?

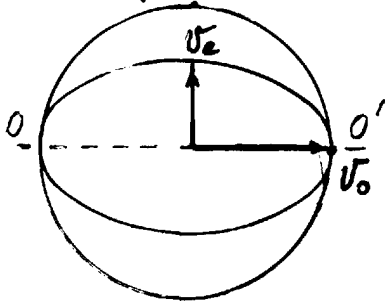
У задній фокальній площині лінзи.

7. Що означає комплексний характер показника заломлення речовини?

Комплексний характер показника заломлення речовини означає наявність згасання хвилі.

8. Що таке додатний анізотропний кристал (рисунок)?

Додатні анізотропні кристали - одновісні кристали, в яких швидкість поширення звичайного променя світла більше, ніж швидкість розповсюдження незвичайного променя. $n_e > n_o$, $v_e < v_o$



Приклади таких кристалів: кварц, TiO_2 , HgS .

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

Платівка $L/4$ (лямбда на чотири) - платівка, яка при нормальному падінні на неї світлової хвилі вносить для звичайної і незвичайної хвиль додаткову різницю ходу або додаткову різницю фаз.

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

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

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 довжину хвилі обернено пропорційна λ^4 . Тому, що у верхніх шарах атмосфери переважає Релеївське (обернено пропорційне λ^4) розсіяння, а туман являє собою звичайні центри розсіяння з різним показником заломлення.

11. Намалюйте одну із можливих схем голографічного запису інформації

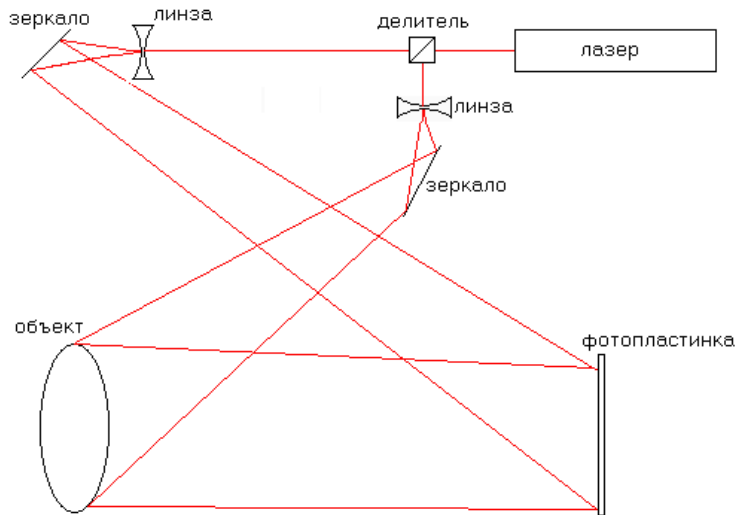


Схема запису Лейта-Упатнієкса. У цій схемі записи промінь лазера поділяється спеціальним пристроєм, дільником (у найпростішому випадку в ролі дільника може виступати будь-який шматок скла), на два. Після цього промені за допомогою лінз розширюються і за допомогою дзеркал спрямовуються на об'єкт і реєструюче середовище (наприклад, фотопластинку). Обидві хвилі (об'єктна і опорна) падають на платівку з одного боку. При такій схемі запису формується пропускна голограма, що вимагає для свого відновлення джерела світла з тією ж довжиною хвилі, на якій проводився запис, в ідеалі - лазера.

12. Дайте визначення абсолютно чорного тіла (формула).

Абсолютно чорне тіло – тіло, здатне поглинати все падаюче на нього випромінювання довільної довжини хвилі при довільній температурі. Для ачт поглинаюча здатність дорівнює одиниці. Інтенсивність випромінювання абсолютно чорного тіла в залежності від температури і частоти визначається законом Планка:

$$I(\nu) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}.$$

13. Намалюйте, 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: $n = 2m_{k+1} + 1$, де $m = \frac{d \sin \vartheta}{\lambda}$

15. Назвіть відомі вам способи збільшити роздільну здатність телескопу

Роздільна здатність телескопа - мінімальна кутова відстань між точковими об'єктами, напр., зірками, які можна розрізнити в телескоп роздільно.

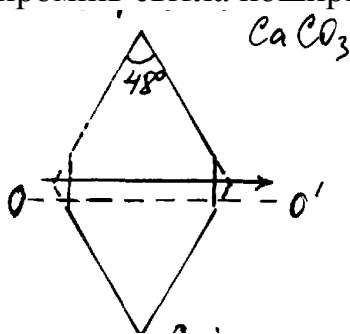
Зображення двох точок, які світяться зіллються, якщо кутова відстань між джерелами не перевищує радіуса першої темної дифракційного кільця в кожному з них: $\vartheta \geq 1,22 \frac{\lambda}{D}$ де D – діаметр об'єктива. Для збільшення роздільної здатності телескопа треба: 1) як можна більшим робити D ; 2) зменшити вплив атмосфери (використовувати адаптивну оптику, підніматись якнайвище, 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)?

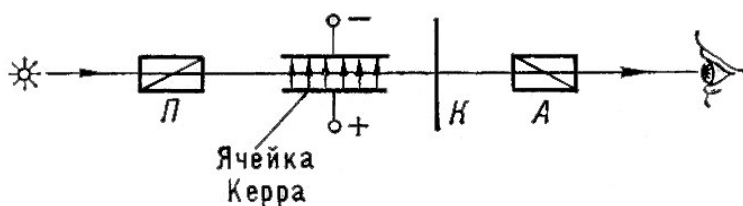
Тому що рентгенівське випромінювання характеризується значно більшою енергією фотона та частотою випромінювання (значно меншою довжиною хвилі). На перший план виходять квантові властивості випромінювання. На такій частоті дисперсія майже відсутня.

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

Оптична вісь кристала - напрям в оптично анізотропному кристалі, по якому промінь світла поширюється, не зазнаючи подвійного променезаломлення.



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



Ефект Керра – це ефект виникнення подвійного променезаломлення в оптично ізотропних речовинах під дією зовнішнього однорідного

електричного поля.

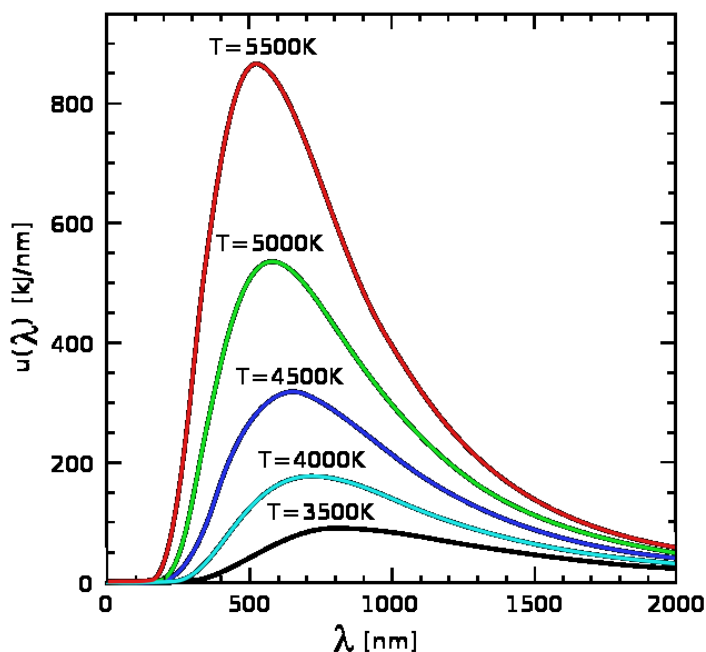
П і А – схрещені поляризатор/аналізатор (призми Ніколя), К – компенсатор. Реєструється ефект Керра зазвичай по виникненню еліптичності в минаючому через середовище лінійно поляризованому світловому пучку. Між схрещеними поляризатором і аналізатором розташовується Керра комірка. За відсутності поля світло не проходить через аналізатор. Індукована елект. полем оптич. анізотропія середовища призводить до різниці показників заломлення n_e і n_o по незвичайною і звичайної компонент пучка, поляризованих відповідно вздовж і поперек поля. Маючи різні швидкості, ці компоненти в міру поширення через середу набувають різниця фаз і, складаючись на виході з середовища, утворюють еліптично поляризоване світло, що частково проходить через аналізатор. Про величину ефекту можна судити по інтенсивності минулого через аналізатор світла, що реєструється фотоприймачем ФП. Вводячи компенсатор оптичний перед аналізатором, можна виміряти різницю фаз між обома променями і т. о. знайти різницю $n_e - n_o$

$\Delta n = n_e - n_o = nkE^2$, де n_e і n_o – 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.

В стані теплової рівноваги відношення випромінювальної здатності тіла до його поглинаючої здатності не залежить від природи тіла і є універсальною функцією лише частоти і температури. З закону Кірхгофа випливає, що усіяке 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.



6. Атомна фізика

1. Зробіть оцінку розміру атома.

а) класична теорія: дослід Дж. Дж. Томсона, розсіяння електронів на атомах може дати газокінетичний переріз атома, $\sigma_i = \frac{kT}{pL} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right)$, де k – стала Больцмана,

p – тиск газу, T – температура, I_0, I – падаючий та розсіяний потоки електронів; при $E = 400$ еВ, $\sigma_i = 4 \cdot 10^{-16}$ см², тобто газокінетичний радіус атома 10^{-8} см.

б) 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.

Оцінку можна зробити виходячи з дії кулонівських сил між ядром (протоном)

та електроном: $E = k \frac{e^2 Z (=1)}{r} = 9 \cdot 10^9 * \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{0,529 \cdot 10^{-10}} \approx 43 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$

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

Тунелювання - подолання мікročасткою потенційного бар'єру у випадку, коли її повна енергія (що залишається при тунелюванні незмінною) менше висоти бар'єра. Фізичні явища, пов'язані з ефектом тунелювання: α -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.

Якщо при описі будови атома водню не виникає особливих проблем - всього один електрон, який в основному стані повинен займати орбіталь з мінімальною енергією, то при описі будови багатоелектронних атомів необхідно враховувати взаємодію електрона не тільки з ядром, а й з іншими електронами. Звідси виникає проблема послідовності заповнення електронами різних підрівнів в атомі. 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.

В нерелятивістській моделі атома водню на основі рівняння Шредінгера стаціонарні стани характеризуються трьома квантовими числами n , l і m . Головне квантове число n визначає енергію стаціонарного стану

$$E_n = - \frac{e^2 Z^2}{2 a_0 n^2}$$

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

n пробігає такі значення: $n=1,2,3,4,\dots,\infty$

Побічне або орбітальне квантове число l визначає квадрат моменту кількості

$$L^2 = [\vec{r}, \vec{p}]^2$$

руху $L^2 = \hbar^2 \ell(\ell + 1)$ і пробігає дискретні значення в інтервалі $0 \leq l \leq n-1$ $l = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n-1$. Так як енергія стаціонарного стану визначається лише головним квантовим числом, то при даному n має місце n -кратне виродження по квантовому числу l . Магнітне квантове число m визначає проекцію моменту

кількості руху на вісь z . $L_z = m \hbar$ і пробігає такі дискретні значення в інтервалі $|m| \leq l$. $m = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots, \pm l$, тобто для даного значення l існує $2l+1$ значень числа m . Таким чином квантові числа відіграють дуже важливу роль. Вони визначають такі параметри стаціонарних електронних станів в атомі: енергію, момент кількості руху, його проекції та магнітний момент та його проекції, зв'язані з орбітальним моментом та його проекціями. Знаючи квантові числа можна знайти ці величини а також можливу кількість різних станів. Виродження можна зняти за допомогою силових полів магнітного, електричного тощо.

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. Періодична повторюємість властивостей хімічних елементів є зовнішнім проявом внутрішньої будови електронних оболонок атомів. Атоми з подібною конфігурацією зовнішніх електронних оболонок мають подібні властивості, а довжина періодів періодичної системи елементів визначається кількістю можливих квантових станів у кожній електронній оболонці.

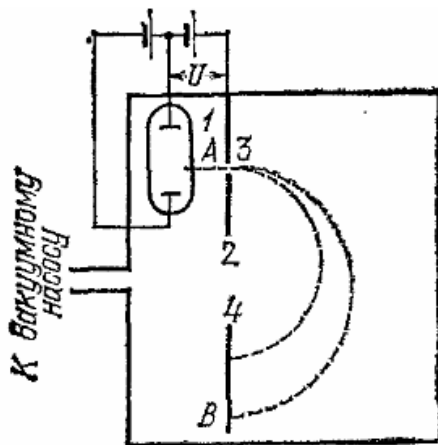
7. Чим обумовлений ковалентний зв'язок в молекулах ?

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, 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 через кулонівську взаємодію між електронами і ядрами і пов'язана з 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 описуватися 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: $r = \frac{mv}{qB}$ (де v – швидкість частинки і B – 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 випливають 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 випливають 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?

Французький вчений Луї де Бройль, усвідомлюючи існуючу в природі симетрію і розвиваючи уявлення про подвійну корпускулярно-хвильову природу світла, висунув в 1923 році гіпотезу про універсальність корпускулярно-хвильового дуалізму. Він стверджував, що не тільки фотони, але й електрони і будь-які інші частинки матерії поряд з корпускулярним володіють також хвильовими властивостями. Згідно де Бройля, з кожним мікрооб'єктом зв'язуються, з одного боку, корпускулярні характеристики - енергія і імпульс, а з іншого боку - хвильові характеристики - частота і довжина хвилі. 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 випливає планетарна модель атома. Поясніть цей висновок.

Досліди Резерфорда по розсіянню α -частинок показали мінімальну відстань, на яку α -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. 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.

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. Оскільки розсіюватися хвиля може на

об'єктах розміру довжини хвилі, то λ опт. \gg розмірів ґратки, а λ рентг. \sim розмір ґратки, тому аналізувати можна тільки рентгенівське випромінювання.

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.

17. Чим відрізняється електронний і ядерний магнітні резонанси?

Електронний – вимушені переходи між окремими термами, що виникли в результаті Зеєманівського розщеплення в зовнішньому магнітному полі. Ядерний – вимушені переходи пов'язані з розщепленням електричних рівнів, через спін ядра.

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 (гозміри 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.

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

10.	В чому полягає амплітудна та фазова умова самозбудження автогенератора?	14
11.	Чим обумовлюється встановлення скінченної амплітуди коливань у автогенераторах?	14
12.	Чим відрізняється тригер від мультивібратора?	15
13.	Яким шляхом можна перетворити частотну модуляцію у амплітудну?	15
14.	За яким принципом працює супергетеродинний радіоприймач?	15
15.	Що таке логічний елемент трьома вихідними станами?	16
16.	Які функції виконує мультиплексор?	17
17.	Чи потрібні тактові імпульси для роботи паралельного регістру паняті?	17
18.	В чому різниця між статичними і динамічними пристроями пам'яті?	17
19.	Навіщо в системі флеш - пам'яті використовуються МОН – транзистор з двома затворами?	18
20.	Які вам відомі різновиди аналогово- цифрових перетворювачів?	18
3.	Коливання та хвилі	20
1.	Які механізми обмеження амплітуди вимушених коливань у режимі резонансу Вам відомі? ..	20
2.	Коли рух коливної системи можна аналізувати методом повільних амплітуд?	20
3.	Перерахуйте можливі типи особливих точок на фазовому портреті лінійної системи з одним ступенем вільності.	20
4.	В чому полягає параметричне наближення при аналізі руху нелінійних неавтономних осциляторів?	21
5.	Назвіть основні особливості вільних коливань нелінійних осциляторів (у порівнянні з лінійними).	21
6.	Назвіть основні особливості вимушених коливань нелінійних осциляторів під дією гармонічної сили (в порівнянні з лінійними).	21
7.	За яких умов реалізується квазігармонічний режим автогенератора Ван-дер-Поля, а за яких – релаксаційний?	22
8.	Яка основна особливість фазового портрету автогенератора?	23
9.	В чому полягає ефект вимушеної синхронізації автогенератора?	23
10.	Які передумови виникнення хаотичної динаміки в системах із невеликою кількістю ступенів вільності?	23
11.	Які нові ефекти з'являються в системі зв'язаних лінійних осциляторів (порівняно з одиночним осцилятором)?	24
12.	Які кількісні характеристики хаотичної динаміки Вам відомі?	25
13.	Коли можливе співіснування мод у системах із конкуренцією?	25
14.	Який фізичний зміст співвідношень Менлі – Роу?	25
15.	Назвіть властивості систем, у фазовому просторі яких може виникнути дивний атрактор.	26
16.	У яких системах можуть спостерігатись абсолютна та конвективна нестійкості? В чому полягає відмінність між цими нестійкостями?	26
17.	Що таке дисперсія хвиль? Які причини породжують дисперсію? Які типи дисперсії Вам відомі?	27

18.	Яка природа областей прозорості та непрозорості в системах із розподіленими параметрами?	27
19.	Назвіть основні механізми випромінювання хвиль.....	27
20.	Що таке хвилі з від'ємною енергією? У яких системах вони можливі?	27
4.	Електрика та магнетизм	29
1.	Записати теорему Остроградського-Гаусса в інтегральній формі і отримати з неї у диференціальній формі.....	29
2.	Записати зв'язок між напруженістю електростатичного поля та потенціалом.....	29
3.	Записати рівняння Лапласа і Пуассона. Сформулювати умову єдиності розв'язку.	29
4.	Конструкція і принцип дії генератора Ван-дер-Граафа	29
5.	Поверхневі і об'ємні поляризаційні заряди, їх зв'язок із вектором поляризації.	30
6.	Граничні умови для векторів напруженості електричного поля та вектора зміщення.	30
7.	Електронна, орієнтаційна та іонна поляризація газоподібних, рідких та твердих діелектриків.	30
8.	П'єзоелектричний ефект.	31
9.	Намалювати петлю сегнетоелектричного гістерезису. Позначити залишкову поляризацію та коерцитивну силу.	31
10.	Вивести рівняння неперервності.....	31
11.	Електричне поле зарядів, що рухаються.	31
12.	Ефект Холла.	31
13.	Закон Ампера для магнітної взаємодії струмів в інтегральній і диференціальній формі.	32
14.	Закон Біо-Савара-Лапласа в інтегральній і диференціальній формі.....	32
15.	Для чого вводиться поле розмагнічування?	32
16.	Феромагнетизм. Магнітний гістерезис.	32
17.	У чому полягає скін-ефект?	33
18.	Запишіть систему рівнянь Максвелла та прокоментуйте їх фізичний зміст.	33
19.	Сформулюйте теорему Пойтінга.	33
20.	Основні положення класичної електронної теорії металів Друде-Лоренца	33
5.	Оптика	35
1.	В чому полягає метод застосування головних площин, запропонований Гауссом для опису лінз і оптичних систем?.....	35
2.	Дайте визначення світловому і енергетичному потокам?.....	35
3.	Яке випромінювання називається когерентним?	35
4.	Запишіть рівняння дифракційної ґратки.....	35
5.	Назвіть відомі вам способи збільшити роздільну здатність мікроскопу.	35
6.	Де в лінзі розташована площина з просторовим фур'є-образом предмета?	35
7.	Що означає комплексний характер показника заломлення речовини?	36
8.	Що таке додатний анізотропний кристал (рисунок)?.....	36

9.	Дайте визначення $\lambda/4$ - фазовій пластинки (формула).	36
10.	Чому небо синє, а туман білий (1 речення) ?	36
11.	Намалюйте одну із можливих схем голографічного запису інформації	37
12.	Дайте визначення абсолютно чорного тіла (формула).	37
13.	Намалюйте, як поводить себе інтенсивність в точці спостереження Р на екрані від відстані точки Р до отвору в дальній зоні дифракції?	37
14.	За якою формулою можна знайти кількість дифракційних максимумів, які можна спостерігати за допомогою дифракційної ґратки?	38
15.	Назвіть відомі вам способи збільшити роздільну здатність телескопу	38
16.	Чому рентгенівське випромінювання (на відміну від оптичного випромінювання) майже не взаємодіє з речовиною (не поглинається і не заломлюється)?	38
17.	Дайте визначення оптичній осі анізотропного кристалу (рисунок).	38
18.	Що таке електрооптичний ефект Керра (схема та формула)?	38
19.	Сформулюйте закон Кірхгофа для теплового випромінювання.	39
20.	Намалюйте спектральний розподіл енергії, що випромінює абсолютно чорне тіло, для декількох температур	39
6.	Атомна фізика	40
1.	Зробіть оцінку розміру атома.	40
2.	Зробіть оцінку енергії зв'язку в атомі водню.	40
3.	Наведіть приклади фізичних явищ, які пов'язані з ефектом квантового тунелювання.	40
4.	Чому борівська модель атома водню не може бути застосована до багатоелектронних атомів. 40	
5.	Назвіть квантові числа, що визначають стан електрона в атомі водню, їх фізичний зміст.	41
6.	Який принцип покладений в побудову таблиці Менделєєва ?	41
7.	Чим обумовлений ковалентний зв'язок в молекулах ?	41
8.	Чим обумовлено зонна структура твердого тіла?	42
10.	Чому закони фотоефекта мають бути квантовими?	42
11.	Назвіть експерименти, з яких випливають хвильові властивості квантових частинок.	43
12.	Назвіть експерименти, з яких випливають квантові (частинкові) властивості світла.	43
13.	Чому формула де Бройля пов'язує хвильові і частинкові властивості матерії?	43
14.	Із дослідів Резерфорда випливає планетарна модель атома. Поясніть цей висновок.	43
15.	Чому в експериментах Комптона використовується не оптичне, а рентгенівське випромінювання?	43
16.	Досліди Штерна-Герлаха свідчили про існування власного моменту електрона. Звідки впливала його квантова природа?	44
17.	Чим відрізняється електронний і ядерний магнітні резонанси?	44
18.	Які експерименти (явища) свідчать про існування електромагнітних флуктуацій фізичного вакууму?	44

19. В чому переваги і недоліки рентгено- та електронної структурної діагностики?44
20. Поясніть принцип «охолодження» атомів лазерним випромінюванням.44