



§ 23. ПРИНЦИПИ РАДІОТЕЛЕФОННОГО ЗВ'ЯЗКУ. РАДІОМОВЛЕННЯ І ТЕЛЕБАЧЕННЯ

Відкриття Г. Герцом електромагнітних хвиль стало стартом для створення засобів безпроводного зв'язку. Видатний англійський фізик *Вільям Крукс* (1832–1919) у статті про досліди Герца писав: «Тут розкривається дивовижна можливість телеграфувати без проводів, телеграфних стовпів, кабелів і всіляких інших дорогих сучасних пристроїв». А як було реалізовано цю можливість?

Генератор незгасаючих електромагнітних коливань

Джерелами радіохвиль можуть бути тільки високочастотні електромагнітні коливання. Такі коливання виникають у коливальному контурі, проте вони швидко згасають, і тому до контуру слід постачати енергію.

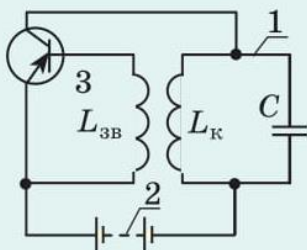
Автоколивальну систему, в якій енергія від джерела постійного струму періодично постачається в коливальний контур, називають генератором електромагнітних коливань.

Як і в будь-якій автоколивальній системі, в такому генераторі є три характерні елементи (див. рисуюнок):

1 — *коливальна система*, де відбуваються вільні коливання, — *коливальний контур*;

2 — *джерело енергії* — джерело постійного струму;

3 — *пристрій зворотного зв'язку* — транзистор і котушка зв'язку $L_{зв}$, які «керують» постачанням енергії.



Коли в котушці $L_к$ контуру тече змінний струм, він створює змінне магнітне поле, яке, у свою чергу, створює вихрове електричне поле, що спричиняє появу індукційного струму в котушці $L_{зв}$. У результаті транзистор періодично, «у такт» з електромагнітними коливаннями в контурі, замикає коло (у цей час конденсатор отримує енергію від джерела).

1 Які завдання слід вирішити, щоб здійснити радіозв'язок

Радіо (латин. *radio* — випромінюю) — це спосіб безпроводної передачі та прийому інформації за допомогою електромагнітних хвиль.

Щоб здійснити передачу і прийом електромагнітних хвиль, які несуть звукову та оптичну інформацію, потрібно виконати низку завдань, а саме:

- створити високочастотні електромагнітні коливання;
- накласти на високочастотні коливання звукову і (або) оптичну інформацію;
- забезпечити випромінювання електромагнітних хвиль;
- забезпечити прийом електромагнітних хвиль;
- зняти з прийнятого високочастотного сигналу звукову і (або) оптичну інформацію та відтворити її.

З'ясуємо, як ці завдання було виконано.

2 Для чого потрібна антена

Радіохвилі передаються на великі відстані, тому повинні мати велику енергію. Як вам відомо, *досить велику енергію мають тільки високочастотні електромагнітні коливання*: $W \sim \nu^4$.

Незгасаючі високочастотні коливання виникають у коливальному контурі *генератора електромагнітних коливань*. Проте звичайний (закритий) коливальний

контур практично не випромінює електромагнітних хвиль, адже електричне поле майже повністю зосереджене між обкладками конденсатора, а магнітне поле — всередині котушки. Щоб коливальний контур випромінював електромагнітні хвилі, потрібно перейти від закритого коливального контуру до відкритого. Цього можна досягти, наприклад, розсуваючи пластини конденсатора (рис. 23.1).

Замінивши верхню обкладку конденсатора проводом, розташованим якнайвище над поверхнею землі, і заземливши нижню обкладку, одержимо **антену** — пристрій для прийому і передачі електромагнітних хвиль (рис. 23.1, г). Для передачі сигналів антену пов'язують із коливальним контуром генератора електромагнітних коливань (рис. 23.2).

Електромагнітні коливання, збуджені в антені, створюють електромагнітні хвилі, які поширюються в різних напрямках. Якщо на шляху електромагнітної хвилі буде провідник, то хвиля збудить у провіднику змінний електричний струм, частота якого дорівнюватиме частоті хвилі. Пристрої, в яких під дією електромагнітних хвиль збуджуються струми високої частоти, називають **приймальними антенами**.

3 Із якою метою і як здійснюється модуляція

Ми «одержали» високочастотні електромагнітні хвилі і навіть можемо передати інформацію, наприклад, кодом Морзе (рис. 23.3), перериваючи струм в генераторі за допомогою телеграфного ключа. Саме такими були перші телеграми, надіслані безпроводним телеграфом. Однак радіо — передусім мовлення і музика.

Здавалося б, усе не так складно: достатньо за допомогою мікрофона перевести звукові коливання в коливання електричного струму, який і створить відповідну електромагнітну хвилю. На жаль, передати такі хвилі неможливо щонайменше з двох причин: 1) вони низькочастотні і, відповідно, мають малу енергію; 2) їхня частота безперервно змінюється (від 20 Гц до 16 000 Гц), тому немає можливості використати для їх прийому резонанс.

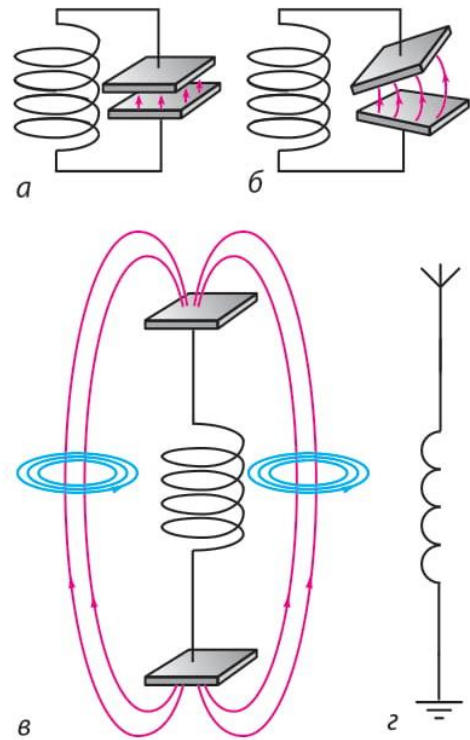


Рис. 23.1. Перехід від закритого коливального контуру (а, б) до відкритого (в); антена (г)

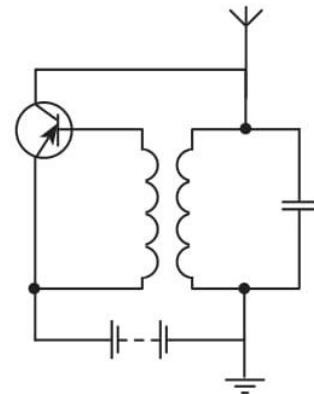


Рис. 23.2. Електрична схема найпростішого радіопередавача — пристрою для створення і передачі електромагнітних хвиль

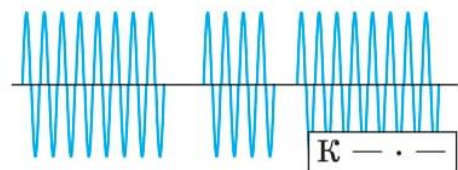


Рис. 23.3. Радіотелеграфний сигнал є низкою короточасних і більш тривалих імпульсів електромагнітних хвиль

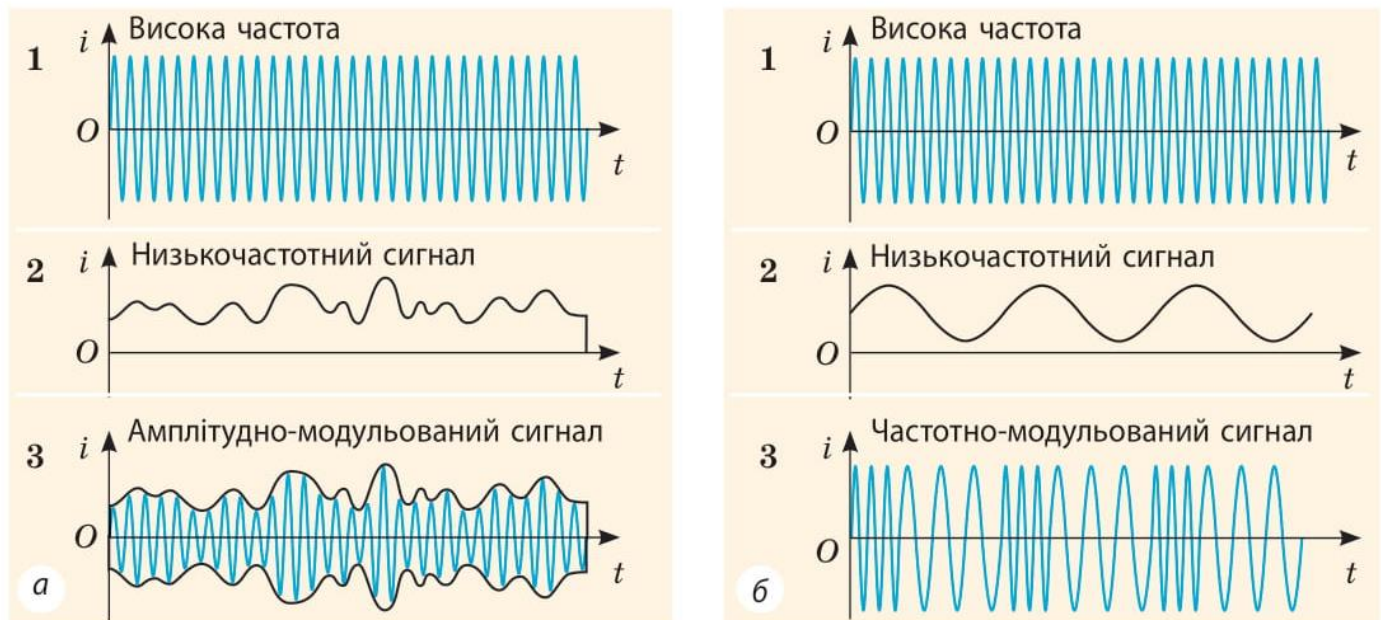


Рис. 23.4. Отримання амплітудно-модульованого (а) і частотно-модульованого (б) сигналів: 1 — графік електромагнітних коливань високої частоти — частоти-носія; 2 — графік електромагнітних коливань низької (звукової) частоти — модулюючої частоти; 3 — графік модульованих електромагнітних коливань

Тож як створити електромагнітну хвилю, яка була б високочастотною (а отже, і високоенергетичною) і водночас несла б звукову інформацію? Проблему було розв'язано за допомогою модуляції.

Модуляція — це процес зміни параметрів високочастотних електромагнітних коливань (амплітуди, частоти, початкової фази) із частотами набагато меншими, ніж частота самої хвилі.

Хвилю зі зміненими параметрами називають *модульованою*. Частоту вихідної (немодульованої) високочастотної хвилі називають *частотою-носієм*, частоту зміни параметрів — *частотою модуляції*.

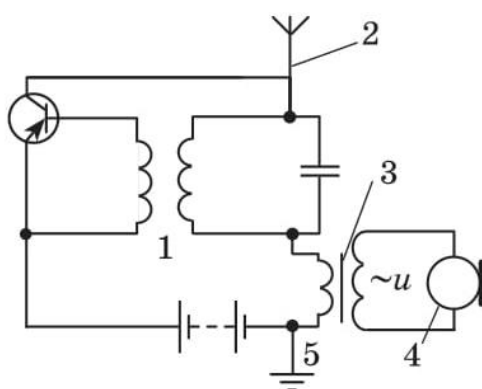


Рис. 23.5. Електрична схема найпростішого радіопередавача з пристроєм для амплітудної модуляції: 1 — генератор незгасаючих електромагнітних коливань високої частоти; 2 — передавальна антена; 3 — звуковий трансформатор; 4 — мікрофон; 5 — заземлення

Якщо в процесі модуляції змінюється амплітуда високочастотних коливань, то одержимо *амплітудно-модульований сигнал* (рис. 23.4, а), якщо змінюється частота — *частотно-модульований сигнал* (рис. 23.4, б).

Найпростіше одержати амплітудно-модульований сигнал. Для цього до кола генератора високої частоти підключають джерело змінної напруги низької частоти, наприклад вторинну обмотку трансформатора, первинна обмотка якого пов'язана з мікрофоном (рис. 23.5). Під дією низькочастотної напруги, яка змінюється зі звуковою частотою, змінюється енергія, що подається від джерела до коливального контуру генератора. Відповідно із частотою звуку змінюється й амплітуда сили струму в генераторі, а отже, і амплітуда вихідного сигналу.

Зверніть увагу: для якісної передачі інформації частота-носіє має бути в багато разів вищою за частоту модуляції.

4 Як прийняти і розшифрувати сигнал

Електромагнітні хвилі, досягши приймальної антени, збуджують у ній коливання тієї самої частоти, що й частота хвиль. Але в антену надходять коливання від різних радіостанцій, і кожна радіостанція працює на своїй частоті. Щоб із безлічі коливань виділити коливання потрібної частоти, використовують *електричний резонанс*. Для цього індуктивно з антеною пов'язують коливальний контур (рис. 23.6). Змінюючи ємність конденсатора (настроюючи радіоприймач), змінюють власну частоту ν_0 коливань контуру:

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Коли власна частота коливань коливального контуру збігається із частотою електромагнітної хвилі, на яку настроєно радіоприймач, настає резонанс: амплітуда вимушених коливань сили струму в контурі різко збільшується.

Отже, з безлічі сигналів, що збуджують коливання в приймальній антені, виділений один високочастотний модульований сигнал. Тепер слід цей сигнал *демодувати* — *відділити сигнал звукової частоти від частоти-носія*.

Демодулятор (детектор) амплітудно-модульованого сигналу складається з напівпровідникового діода D , конденсатора C і резистора R (рис. 23.7). Діод пропускає струм тільки в одному напрямку, тому після проходження через діод струм буде пульсуючим (рис. 23.8, *а, б*). Пульсуючий струм прямує на систему «конденсатор — резистор». Завдяки періодичній зарядці та розрядці конденсатора (див. рис. 23.7) пульсації згладжуються і на виході маємо струм звукової частоти (рис. 23.8, *в*).

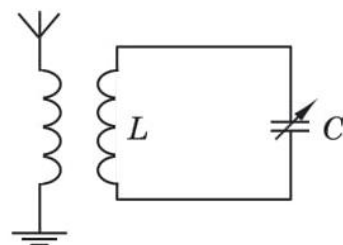


Рис. 23.6. Схема прийому та виділення радіосигналів потрібної частоти за допомогою електричного резонансу. Стрілка вказує на те, що ємність конденсатора можна змінювати

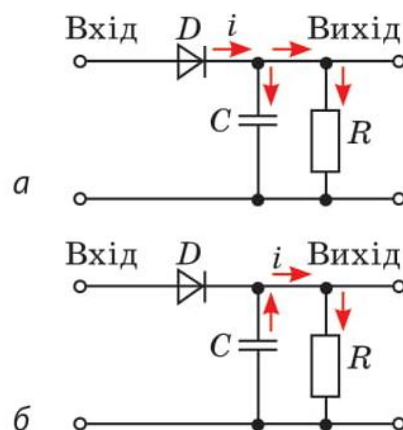


Рис. 23.7. Схема і принцип роботи демодулятора: *а* — коли діод пропускає струм, конденсатор заряджається; *б* — коли діод не пропускає струм, конденсатор розряджається через резистор

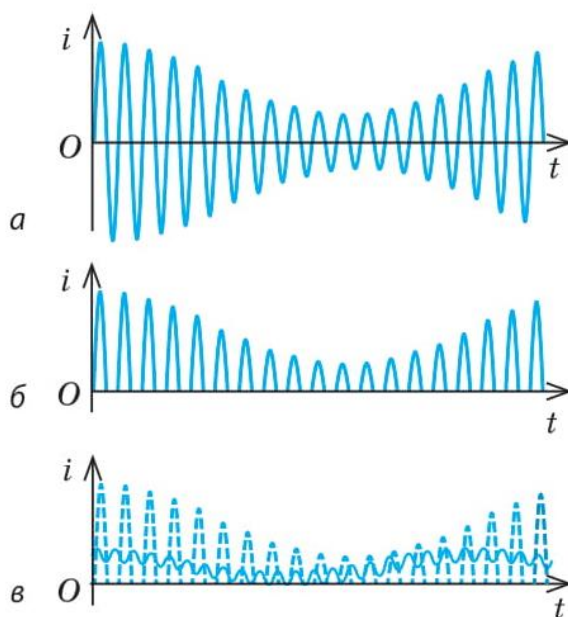


Рис. 23.8. Графік коливань сили струму: *а* — до детектора; *б* — після проходження діода; *в* — після проходження детектора

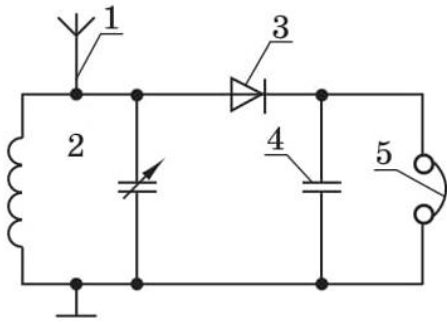


Рис. 23.9. Електрична схема найпростішого радіоприймача:
1 — приймальна антена; 2 — коливальний контур; 3 — діод;
4 — конденсатор; 5 — навушники



Розгляньте електричну схему найпростішого радіоприймача (рис. 23.9). Ще раз зверніть увагу на його складові. Яке призначення має кожна з них?

5

Принципи радіотелефонного зв'язку

Найпростіший детекторний радіоприймач працює на енергії прийнятих електромагнітних хвиль. Зрозуміло, що цієї енергії недостатньо, щоб відтворити досить чіткий і голосний звуковий сигнал, тому в реальних радіоприймачах і радіопередавачах сигнал проходить через низку підсилень (рис. 23.10).

Основні етапи створення, прийому і перетворення радіосигналу

1. Генератор незгасаючих електромагнітних коливань створює високочастотні електромагнітні коливання, частота яких дорівнює власній частоті

коливального контуру генератора: $\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$.

2. Високочастотні коливання *модуються* коливаннями звукової частоти.
3. Модульовані коливання *підсилюються* й подаються на *передавальну антену*, яка випромінює електромагнітні хвилі.
4. Досягши *приймальної антени*, електромагнітні хвилі збуджують у ній високочастотні коливання.
5. Коливання, збуджені в приймальній антені, викликають високочастотні електромагнітні коливання в *резонуючому коливальному контурі*:

$$\nu = \nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}}$$

6. Слабкі високочастотні коливання *підсилюються* й подаються на *демодулятор*.
7. Демодулятор із модульованих коливань виділяє коливання низької звукової частоти.
8. Коливання низької частоти *підсилюються* і перетворюються на *звук*.

6 Поняття про телебачення

Принципова схема одержання і перетворення телевізійного сигналу мало відрізняється від принципової схеми радіотелефонного зв'язку (див. рис. 23.10), проте має низку особливостей.

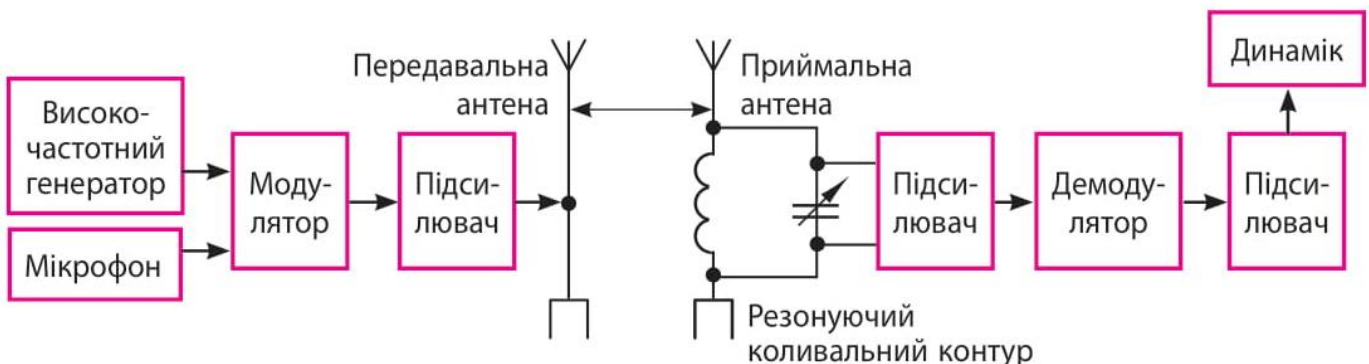


Рис. 23.10. Принципова схема радіотелефонного зв'язку

1. У телепередавачі колювання частоти-носія модулюються як звуковим сигналом, так і відеосигналом, що надходить від відеокамери. Оскільки телевізійний сигнал несе великий обсяг інформації, частота-носії цього сигналу має бути досить високою, тому *телевізійні станції працюють тільки в діапазоні ультракоротких радіохвиль*.

2. У телевізійному приймачі високочастотний модульований сигнал підсилюється і розділяється на відео- і аудіоскладові. Підсилений відеосигнал подається в модуль кольору, де декодується, а потім іде на пристрій для відображення оптичної інформації; аудіоскладова подається в канал звукового супроводу, де демодулюється і підсилюється, після чого подається на динамік.

7 Учимся розв'язувати задачі

Задача. У якому діапазоні довжин хвиль працює радіопередавач, якщо ємність конденсатора його коливального контуру може змінюватись від 50 до 200 пФ, а індуктивність котушки дорівнює 50 мкГн?

Аналіз фізичної проблеми. Довжина, частота і швидкість електромагнітної хвилі пов'язані формулою хвилі. Хвилі поширюються в повітрі, тому їхня швидкість приблизно дорівнює швидкості світла у вакуумі. Найбільшу і найменшу частоти-носії знайдемо, скориставшись формулою Томсона.

Дано: $C_1 = 50 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$ $C_2 = 200 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$ $L = 50 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$ $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ $\lambda_{\min} \text{ — ?}$ $\lambda_{\max} \text{ — ?}$	Розв'язання. За формулою хвилі: $c = \lambda \nu \Rightarrow \lambda = \frac{c}{\nu}$. Оскільки $\frac{1}{\nu} = T$, де $T = 2\pi\sqrt{LC}$, остаточно маємо: $\lambda = 2\pi c\sqrt{LC}$. Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканих величин: $[\lambda] = \frac{\text{м}}{\text{с}} \sqrt{\text{Ф} \cdot \text{Гн}} = \frac{\text{м}}{\text{с}} \sqrt{\frac{\text{Кл}}{\text{В}} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А} / \text{с}}} = \frac{\text{м}}{\text{с}} \sqrt{\frac{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{с}}{\text{А}}} = \text{м};$ $\lambda_{\min} = 2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^8 \sqrt{50 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^{-12}} \approx 94 \text{ (м)}; \lambda_{\max} \approx 188 \text{ м.}$ Відповідь: $94 \text{ м} < \lambda < 188 \text{ м}$.
--	---



Підбиваємо підсумки

Щоб передавати і приймати електромагнітні хвилі, що несуть звукову та оптичну інформацію, потрібно:

- створити високочастотні електромагнітні колювання (за допомогою генератора електромагнітних колювань);
- накласти на високочастотні колювання звукову та оптичну інформацію (досягається модуляцією високочастотних колювань колюваннями нижчої частоти);
- забезпечити випромінювання електромагнітних хвиль (за допомогою передавальної антени);
- забезпечити прийом електромагнітних хвиль (за допомогою приймальної антени та резонуючого коливального контуру);
- зняти з прийнятого високочастотного сигналу звукову та оптичну інформацію (за допомогою демодулятора).



Контрольні запитання

1. Чому для передачі радіосигналів слід використовувати високочастотні електромагнітні хвилі? **2.** Де створюють незгасаючі високочастотні електромагнітні коливання? **3.** Чому закритий коливальний контур майже не випромінює електромагнітних хвиль? **4.** Що таке антена? **5.** Як одержати радіосигнал, який одночасно був би високочастотним і ніс звукову інформацію? **6.** Назвіть основні складові радіоприймача та їх призначення. **7.** Поясніть механізм демодуляції. **8.** У чому подібність і відмінність передачі й прийому телевізійного та радіотелефонного сигналів?



Вправа № 23

- 1.** Чому високу частоту коливань, що використовується в радіозв'язку, називають носієм?
- 2.** Визначте довжину хвилі, яку випромінює радіостанція, що працює на частоті 4,5 МГц.
- 3.** Радіопередавач випромінює електромагнітні хвилі довжиною 150 м. Яку ємність має його коливальний контур, якщо індуктивність контуру дорівнює 1,0 мГн? Активним опором контуру знехтуйте.
- 4.** Визначте довжину електромагнітної хвилі у вакуумі, на яку налаштований коливальний контур радіоприймача, якщо за максимального заряду конденсатора $2 \cdot 10^{-8}$ Кл максимальна сила струму в контурі дорівнює 1 А.
- 5.** Хто винайшов радіо? Італійці вважають, що радіо винайшов *Гульєльмо Марконі*, німці — *Генріх Герц*, росіяни — *Олександр Попов*, серби — *Нікола Тесла*. А як вважаєте ви? Подискутуйте на цю тему.
- 6.** На зорі розвитку радіо для зв'язку в основному використовували радіохвилі від 1 до 30 км. Хвилі, коротші від 100 м, узагалі вважали непридатними для зв'язку на великих відстанях. Однак зараз короткі й ультракороткі хвилі набули найбільшого поширення. Дізнайтесь, чому так сталося.