

## § 35. ПРИНЦИПИ РАДІОТЕЛЕФОННОГО ЗВ'ЯЗКУ



Відкриття Герца виявилось стартом для створення засобів бездротового 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». Проте, як були реалізовані ці можливості, ви й дізнаєтесь із цього параграфа.



### **Для чого потрібна антена**

Щоб здійснити передавання та приймання електромагнітних хвиль, які несуть звукову та оптичну інформацію, потрібно розв'язати низку проблем, а саме:

- 1) створити високочастотні електромагнітні коливання;
- 2) накласти на високочастотні коливання звукову і (або) оптичну інформацію;
- 3) забезпечити випромінювання електромагнітних хвиль у навколишнє середовище;
- 4) забезпечити приймання електромагнітних хвиль;
- 5) зняти з прийнятого високочастотного сигналу звукову і (або) оптичну інформацію та відтворити її.

Зупинимося на розв'язанні цих проблем.

Як нам відомо, досить велику енергію мають тільки високочастотні електромагнітні коливання ( $W \sim \nu^4$ ). Незатухаючі високочастотні коливання виникають у коливальному контурі генератора електромагнітних коливань (див. § 33).

Але звичайний (закритий) коливальний контур майже не випромінює електромагнітних хвиль у навколишнє середовище. Річ у тім, що електричне поле конденсатора майже повністю зосереджене між його обкладками, а найсильніше магнітне поле — всередині котушки індуктивності.

Щоб коливальний контур випромінював електромагнітні хвилі в навколишнє середовище, потрібно перейти від закритого коливального контуру до відкритого. Цього можна досягти, наприклад розсуваючи пластини конденсатора (рис. 35.1). Замінивши верхню обкладку конденсатора проводом, розташованим якнайвище над поверхнею землі, і заземливши нижню обкладку, одержимо *антену* — пристрій для приймання та передавання електромагнітних хвиль (рис. 35.1, г).

Для передавання сигналів антену індуктивно пов'язують із коливальним контуром генератора електромагнітних коливань (рис. 35.2). Параметри антени добирають таким чином, щоб власні частоти електромагнітних коливань антени і контуру збіглися, тоді антена резонуватиме з контуром, і в ній виникнуть коливання досить великої амплітуди.

Електромагнітні коливання, збуджені в антені, створюють електромагнітні хвилі, які поширюються навсідч. Якщо на шляху електромагнітних хвиль зустрінеться провідник, то вони збудять у провіднику змінний електричний струм, частота якого дорівнюватиме частоті коливань хвилі. Пристрої, у яких під дією електромагнітних хвиль збуджуються струми високої частоти, називаються *приймальними антенами*.

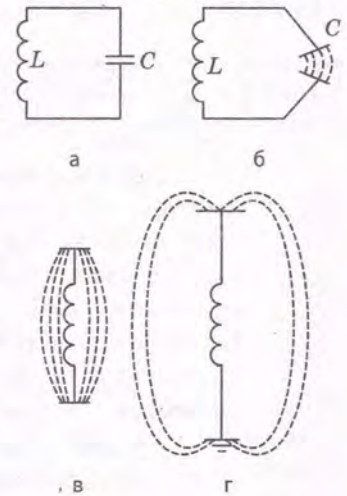


Рис. 35.1. Перехід від закритого коливального контуру (а, б) до відкритого (в); антена (г)

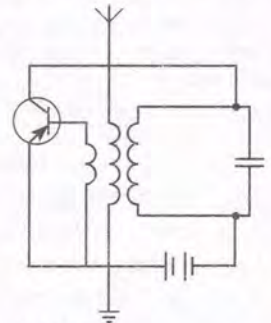


Рис. 35.2. Електрична схема найпростішого радіопередавача — пристрою для створення і передавання електромагнітних хвиль



2

### З якою метою і як здійснюється модуляція

Ми одержали високочастотні електромагнітні хвилі і навіть можемо передати інформацію, наприклад, кодом Морзе, перериваючи коливання в генераторі за допомогою телеграфного ключа (рис. 35.3). Саме такими були перші телеграми, надіслані бездротовим телеграфом. Однак набагато важливіше й цікавіше передати мовлення, музику, зображення.

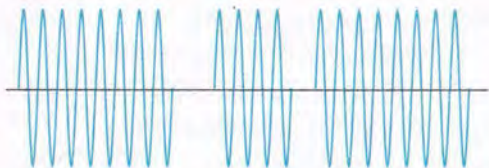


Рис. 35.3. Радіотелеграфний сигнал: складається з короточасних і більш тривалих імпульсів електромагнітних хвиль

Здавалося б, усе не так складно: достатньо за допомогою мікрофона перевести звукові коливання в коливання електричного струму. Але передати такі сигнали неможливо щонайменше з двох причин: 1) вони мають низьку частоту і, відповідно, малу енергію; 2) їхня частота постійно змінюється (від 20 до 16 000 Гц), тому немає можливості використати резонанс.

Виникає проблема. Електромагнітні коливання в генераторі високочастотні, вони створюють електромагнітні хвилі, які мають високу енергію, завдяки чому їх легко передавати на великі відстані, але ці коливання не несуть звукової інформації. Електромагнітні коливання, які створює звукова хвиля в мікрофоні, несуть звукову інформацію, але створені ними хвилі мають малу енергію і швидко затухають. Отже, *потрібно створити сигнал, що був би високочастотним і водночас ніс звукову інформацію.*

Процес змінення параметрів (амплітуди, частоти, початкової фази) високочастотних електромагнітних коливань із частотами набагато меншими, ніж частота самої хвилі, називається **модуляцією**.

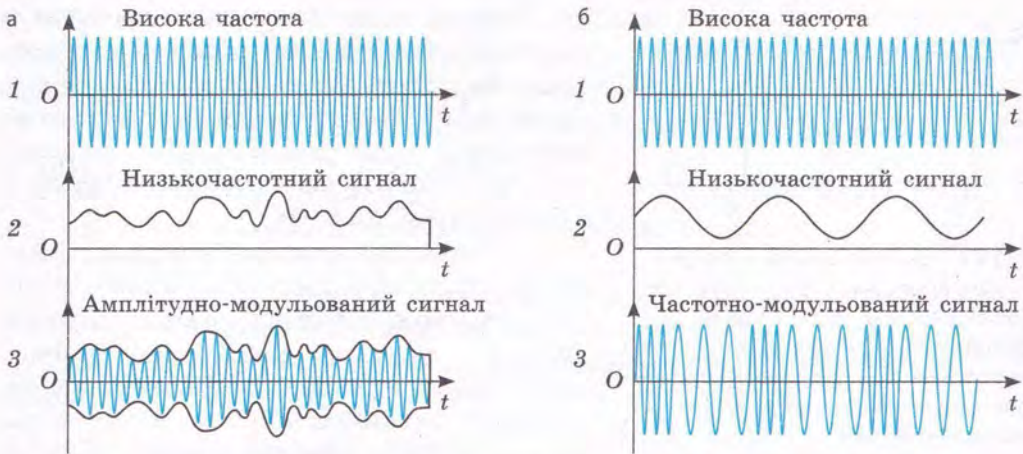
Хвиля зі зміненими параметрами називається *модульованою*. Частота вихідної (немодульованої) високочастотної хвилі називається *частотою-носієм*, частота зміни параметрів — *частотою модуляції*.

Якщо в процесі модуляції змінюється амплітуда високочастотних коливань, то одержимо *амплітудно-модульовані коливання* (рис. 35.4, а), якщо змінюється частота — *частотно-модульовані коливання* (рис. 35.4, б).

Для одержання амплітудно-модульованих коливань до кола генератора високої частоти підключають джерело змінної напруги низької частоти, наприклад вторинну обмотку трансформатора, первинна обмотка якого пов'язана з мікрофоном (рис. 35.5). Під дією низькочастотної напруги, яка змінюється зі звуковою частотою, змінюється і напруга, що подається від джерела на коливальний контур генератора. Відповідно, з частотою звуку змінюється й амплітуда коливань сили струму в генераторі.

Зверніть увагу: для якісного передавання інформації частота-носієй має бути в багато разів вищою за частоту модуляції.





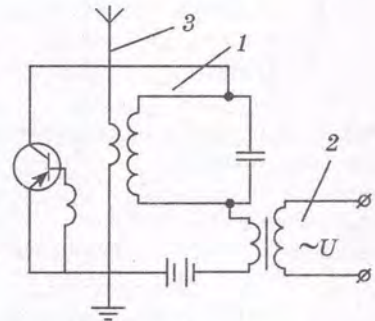
**Рис. 35.4.** Отримання амплітудно-модульованого (а) і частотно-модульованого (б) сигналів: 1 — графік електромагнітних коливань високої частоти-носія; 2 — графік електромагнітних коливань моделюючої низької (звукової) частоти; 3 — графік модульованих електромагнітних коливань

### 3 Як розшифрувати модульований сигнал, або Що таке детектування

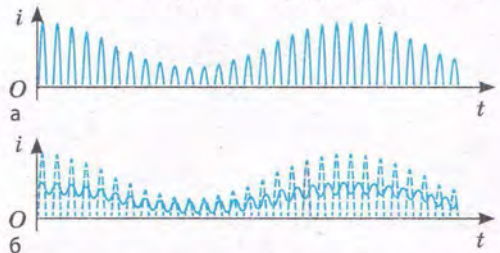
Електромагнітні хвилі збуджують у приймальній антені коливання тієї самої частоти, що й частота хвилі. Але тут знову виникають проблеми: 1) в антену надходять коливання від різних радіостанцій (на щастя, кожна радіостанція працює на своїй частоті); 2) одержаний сигнал є високочастотним і не може безпосередньо викликати коливання мембран навушників або гучномовця.

Як ми вже говорили, коливання певної частоти можна виділити за допомогою резонансу (див. § 31), індуктивно пов'язавши з приймальною антеною коливальний контур, власну частоту якого можна змінювати.

Щоб із модульованих високочастотних коливань виділити низькочастотний складник, використовують пристрій з однобічною провідністю — **детектор**. Детектором може слугувати напівпровідниковий діод. Якщо підключити діод послідовно з джерелом модульованих коливань, то одержимо пульсуючий струм, оскільки діод пропускати струм тільки в одному напрямку (рис. 35.6, а).

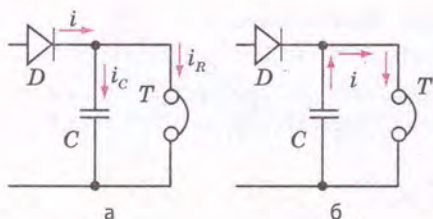


**Рис. 35.5.** Електрична схема найпростішого радіопередавача з пристроєм для амплітудної модуляції: 1 — генератор незатухаючих електромагнітних коливань високої частоти; 2 — звуковий трансформатор; 3 — передавальна антена

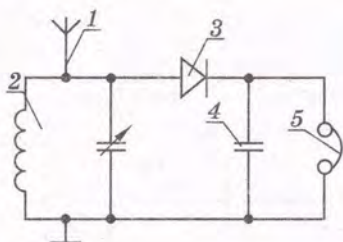


**Рис. 35.6.** Графік коливань сили струму: а — після проходження детектора; б — після проходження фільтра





**Рис. 35.7.** Принцип роботи фільтра:  
а — діод пропускає струм, струм розгалужується: одна частина йде на зарядження конденсатора, друга — через навантаження; б — діод не пропускає струм, конденсатор розряджається через навантаження



**Рис. 35.8.** Електрична схема найпростішого радіоприймача: 1 — приймальна антена; 2 — коливальний контур; 3 — кристалічний детектор (діод); 4 — конденсатор фільтра; 5 — навушники

*Основні етапи одержання й перетворення радіосигналу:*

1) генератор незатухаючих електромагнітних коливань створює високочастотні коливання, частота яких дорівнює власній частоті коливань коливального контуру: 
$$\nu_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}};$$

2) високочастотні коливання модулюються коливаннями низької частоти;

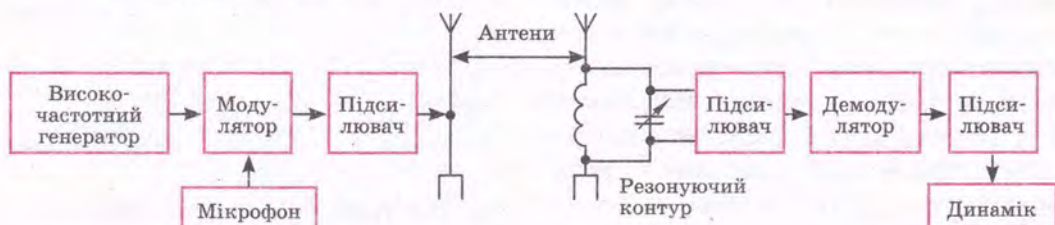
3) одержані модульовані коливання підсилюються й подаються на передавальну антену, яка випромінює електромагнітні хвилі в навколишній простір;

Якщо пульсуючий струм пропускати через **фільтр** — систему, що складається з конденсатора й корисного навантаження (рис. 35.7), то пульсації струму, який проходить через навантаження, згладжуються, і ми одержуємо струм звукової частоти (рис. 35.6, б).

Отже, найпростіший радіоприймач (рис. 35.8) складається з приймальної антени, коливального контуру змінної частоти, детектора (роль якого найчастіше виконує діод), конденсатора й корисного навантаження, у якому електромагнітні коливання низької частоти перетворюються на механічні (звукові) коливання.

#### 4 Принципи радіотелефонного зв'язку

Найпростіший детекторний радіоприймач працює на енергії прийнятих електромагнітних хвиль. Очевидно, що цієї енергії недостатньо, щоб відтворити досить чіткий і голосний звуковий сигнал, тому в реальних радіоприймачах і радіопередавачах сигнал проходить через цілий каскад посилень (рис. 35.9).



**Рис. 35.9.** Принципова схема сучасного радіотелефонного зв'язку



4) досягши приймальної антени, електромагнітні хвилі збуджують у ній високочастотні коливання тієї самої частоти, що й коливання, випромінювані радіопередавачем ( $v_2 = v_1$ );

5) ці коливання викликають електромагнітні коливання в резонуючому контурі: 
$$v_{\text{рк}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}} = v_2;$$

6) слабкі високочастотні коливання підсилюються й подаються в детектор;

7) після проходження через детектор і фільтр із модульованих коливань виділяються коливання низької частоти;

8) коливання низької частоти посилюються і перетворюються на звук.

## 5 Поняття про телебачення

Принципова схема одержання і приймання телевізійного сигналу мало відрізняється від принципової схеми радіотелефонного зв'язку, але має низку особливостей.

1) Телевізійний сигнал несе набагато більше інформації, ніж радіотелефонний. У телепередавачі коливання частоти-носія модулюються як звуковим сигналом, так і відеосигналом, що надходить від відеокамери. Відеокамера робить 50 знімків за секунду. Інформація з матриці відеокамери зчитується по рядках: спочатку зчитуються непарні рядки, потім через 1/50 с — парні (вже з іншого «знімка»). Сукупність рядків, що зчитуються кожен 1/50 с, називається полем. Два послідовно зчитаних поля утворюють телевізійний кадр. Таким чином, кожний наступний кадр відділений від попереднього часовим інтервалом в 1/25 с. Зчитаний сигнал разом зі звуковим сигналом модулює високочастотні коливання. У зв'язку з тим що телевізійний сигнал несе великий обсяг інформації, частота-носії телевізійного сигналу в багато разів вища за частоту-носії радіотелефонного сигналу. Тому телевізійні станції працюють тільки в діапазоні ультракоротких радіохвиль.

2) У телевізійному приймачі високочастотний модульований сигнал розділяється на три сигнали: сигнал зображення (який, у свою чергу, ділиться на три сигнали — для червоного, зеленого й синього кольорів), сигнал звукового супроводу й керуючий сигнал. Керуючий сигнал подається на керуюче магнітне поле; посилені сигнали зображення — на електроди, які змінюють яскравість електронних пучків; посилений звуковий сигнал — на динамік.

## 6 Учимось розв'язувати задачі

**Задача.** Визначте довжину електромагнітної хвилі у вакуумі, на яку настроєний коливальний контур радіоприймача, якщо при максимальному заряді конденсатора  $2,0 \cdot 10^{-8}$  Кл максимальна сила струму в контурі досягає 1,0 А.



$\lambda$  — ?

Дано:

$q_{\max} = 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$

$I_{\max} = 1,0 \text{ А}$

$c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

Аналіз фізичної проблеми, розв'язання

Довжина електромагнітної хвилі пов'язана зі швидкістю її поширення формулою хвилі

$$c = \lambda \nu, \text{ звідки } \lambda = \frac{c}{\nu} = cT \quad (1).$$

Для знаходження періоду коливань  $T$  скористаємося формулою Томсона та законом збереження енергії:  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ ;  $W_{\text{ел. max}} = W_{\text{м. max}}$ ,

$$\text{де } W_{\text{ел. max}} = \frac{q_{\max}^2}{2C}, \quad W_{\text{м. max}} = \frac{LI_{\max}^2}{2}. \text{ Таким чином, } \frac{q_{\max}^2}{2C} = \frac{LI_{\max}^2}{2}.$$

$$\text{Звідси } LC = \frac{q_{\max}^2}{I_{\max}^2}, \text{ отже, } T = 2\pi \frac{q_{\max}}{I_{\max}} \quad (2). \text{ Підставивши вираз (2)}$$

$$\text{у вираз (1), знайдемо довжину хвилі: } \lambda = 2\pi c \frac{q_{\max}}{I_{\max}}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[\lambda] = \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{\text{Кл}}{\text{А}} = \frac{\text{м} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\text{с} \cdot \text{А}} = \text{м}; \quad \{\lambda\} = 6,28 \cdot 3,0 \cdot 10^8 \cdot \frac{2,0 \cdot 10^{-8}}{1,0} \approx 38, \quad \lambda \approx 38 \text{ м}.$$

**Відповідь:** коливальний контур радіоприймача настроєний на хвилю довжиною близько 38 м.**Підбиваємо підсумки**

Для того щоб здійснити передавання й приймання електромагнітних хвиль, що несуть звукову та оптичну інформацію, потрібно:

1) створити високочастотні електромагнітні коливання (за допомогою генератора електромагнітних коливань);

2) накласти на високочастотні коливання звукову та оптичну інформацію (досягається модуляцією високочастотних коливань коливаннями нижчої частоти);

3) забезпечити випромінювання електромагнітних хвиль у навколишнє середовище (за допомогою передавальної антени);

4) забезпечити приймання електромагнітних хвиль (за допомогою приймальної антени та резонуючого коливального контуру);

5) зняти з прийнятого високочастотного сигналу звукову та оптичну інформацію (за допомогою детектора та фільтра).

**Контрольні запитання**

1. Чому для передавання радіосигналів потрібно використовувати високочастотні електромагнітні коливання?
2. Як створюють незатухаючі високочастотні електромагнітні коливання?
3. Чому закритий коливальний контур практично не випромінює електромагнітні хвилі?
4. Що таке антена?
5. Як одержати радіосигнал, який був би високочастотним і ніс звукову інформацію?
6. Назвіть основні частини радіоприймача та їхнє призначення.
7. Поясніть механізм демодуляції.
8. У чому подібність і відмінність передавання й приймання телевізійного та радіотелефонного сигналів?

**Вправа № 28**

1. Чому висока частота коливань, що використовується в радіозв'язку, називається носієм?
2. Чому дорівнює довжина хвилі, яку випромінює радіостанція, що працює на частоті 4,5 МГц?

3. Відкритий коливальний контур випромінює електромагнітні хвилі довжиною 150 м. Яку ємність має конденсатор контуру, якщо індуктивність котушки 1,0 мГн? Активним опором контуру знехтувати.
4. У якому діапазоні довжин хвиль працює радіопередавач, якщо ємність конденсатора його коливального контуру може змінюватися від 60 до 240 пФ, а індуктивність котушки дорівнює 50 мкГн?