

## 2.3 Модуляція та демодуляція

Канал зв'язку характеризується ефективним діапазоном частот, що визначає той частотний діапазон сигналу, який може передаватися за допомогою даного каналу зв'язку. Часто корисний сигнал лежить за межами цього діапазону (в більшості випадків нижче потрібного діапазону), тому для ефективного передавання використовують модуляцію сигналу.

**Модуляція** (англ. *modulation*) — це процес зміни в часі за заданим законом параметрів якогось з фізичних процесів. В радіотехніці таким фізичним процесом є гармонійне коливання, яке називають частотою носієм (несною частотою, опорною частотою):

$$s(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Де  $A_0$  — амплітуда,  $\omega_0$  — частота,  $\varphi_0$  — початкова фаза,  $t$  — час.

Зміна одного з вищеперерахованих параметрів визначає тип модуляції: амплітудну, частотну чи фазову. Часто частотну та фазову модуляцію поєднують під однією назвою — кутова модуляція.

**Несна частота, частота-носій, опорна частота** — високочастотне коливання, параметри якого змінюються в процесі модуляції.

**Модулювальний сигнал** — сигнал, пропорційно до якого змінюються параметри опорного сигналу (опорної частоти)

**Модульований сигнал** — результат зміни параметрів опорного сигналу пропорційно до модулюючого.

**Демодуляція** — процес виділення модулювального сигналу з модульованого.

### 2.3.1 Амплітудна модуляція

При амплітудній модуляції змінюється амплітуда частоти носія у відповідності до закону зміни модулювального сигналу  $S_M(t)$ , тобто  $A(t) = kS_M(t)$ , де  $k$  — коефіцієнт пропорційності, тоді АМ коливання вираховується за формулою:

$$S_{AM}(t) = A(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Якщо модулювальний сигнал приймає від'ємні значення, то до нього додають постійну складову, щоб уникнути явища перемодуляції:

$$A(t) = A_0 + kS_M(t)$$

У випадку, коли модулювальним сигналом є гармонійне коливання  $S_M(t) = A_s \cos(\omega_s t + \varphi_s)$  обвідна вираховується за формулою:

$$A(t) = A_0 + \Delta A_m \cos(\omega_s t + \varphi_s)$$

де  $\Delta A_m = k \cdot A_s$  — амплітуда зміни обвідної.

Відношення  $M = \frac{\Delta A_m}{A_0}$  називається коефіцієнтом модуляції. В загальному

випадку коефіцієнт модуляції визначається за формулою:

$$M = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}}$$

де  $A_{\max}, A_{\min}$  — відповідно максимальна і мінімальна амплітуда обвідної.

Таким чином, для АМ сигналу з гармонійним модулювальним сигналом можемо записати вираз:

$$S_{AM}(t) = A_0(1 + M \cdot \cos(\omega_s t + \varphi_s)) \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

На рис. 2.5 зображено графіки однотонольної модуляції в часовій та частотній області. Частота модулювального сигналу 500 Гц, частота опорного сигналу — 2000 Гц, а коефіцієнт модуляції рівний 0,5.

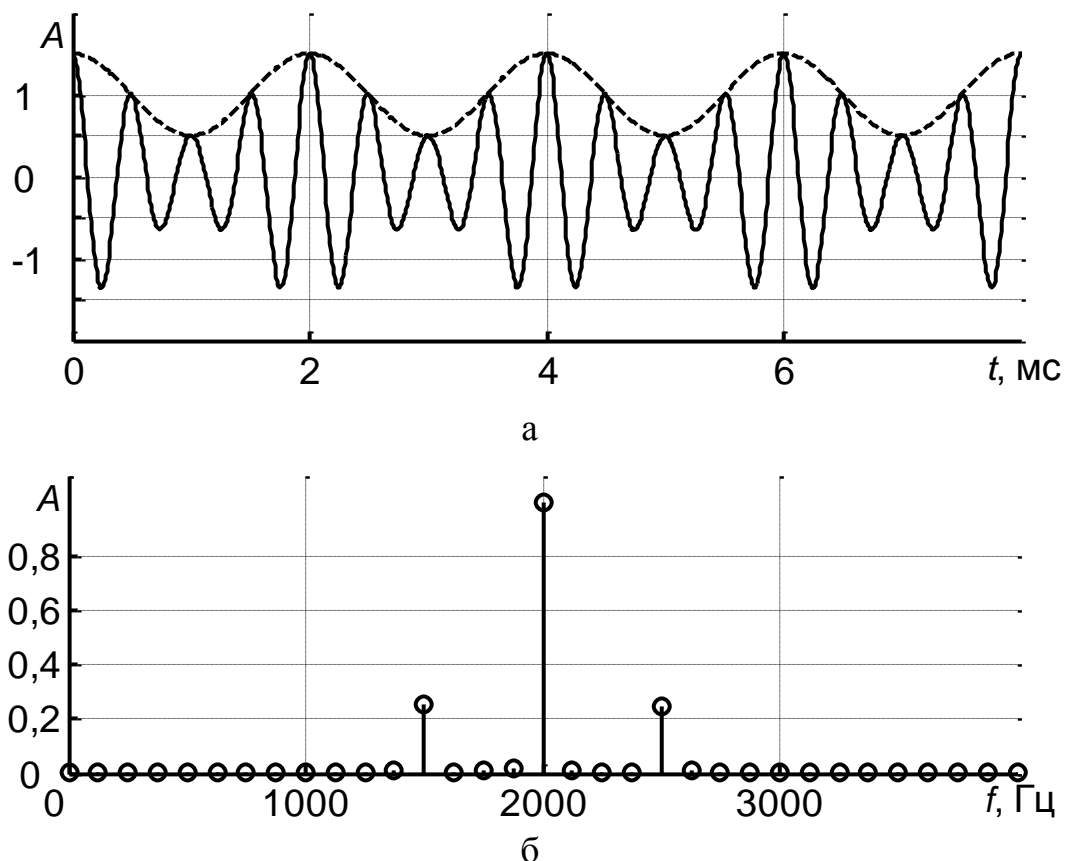


Рисунок 2.5 — Однотонольна модуляція в часовій (а), суцільна лінія модульованій сигнал, пунктирна — модулювальни та частотній області (б).

Коефіцієнт корисної дії АМ-сигналу не перевищує 33% (при коефіцієнті модуляції рівному одиниці). Для підвищення ККД АМ-сигналу використовують модуляцію з придушенням частоти носія та односмугову модуляцію.

Демодуляція АМ-сигналу виконується детектуванням (діод+ФНЧ), проте такий спосіб не дозволяє відновити перемодульований сигнал, або за допомогою синхронного детектування — множення АМ сигналу на сигнал з частотою коливання рівною частоті сигналу-носію. Проте даний спосіб вимагає більш складної конструкції детектора.

### 2.3.2 Кутова модуляція

При кутовій модуляції у відповідності з модулювальним сигналом  $S_M(t)$  змінюється частота (ЧМ, англійською *FM*) або початкова фаза (ФМ, англійською *PM*) опорного сигналу, так при фазовій модуляції:

$$\varphi(t) = kS_M(t)$$

Тоді ФМ-сигнал визначається за формулою:

$$S_{PM}(t) = A \cos(\omega_0 + kS_M(t))$$

Весь аргумент функції  $\cos$  називається повною фазою коливання:

$$\Psi(t) = \omega_0 t + kS_M(t)$$

Миттєва частота сигналу з кутовою модуляцією визначається за формулою:

$$\omega(t) = \frac{d\Psi}{dt}$$

Тобто у випадку фазової модуляції змінюється не лише початкова фаза коливання, а ще й частота. Повну фазу коливання можна визначити за формулою:

$$\Psi(t) = \int \omega(t') dt'$$

При частотній модуляції модулювальний сигнал лінійно пов'язаний з миттєвою частотою коливання:

$$\omega(t) = \omega_0 + kS_M(t)$$

Тоді повна фаза коливання визначається шляхом інтегрування:

$$\Psi(t) = \omega_0 t + k \int S_M(t') dt' + \varphi_0$$

Відповідно ЧМ-сигнал розраховується за формулою:

$$S_{FM}(t) = A \cos(\omega_0 t + k \int S_M(t') dt' + \varphi_0)$$

У випадку гармонійного модулювального сигналу початкова фаза змінюється по гармонійному закону:

$$\varphi(t) = \beta \sin(\omega_s t)$$

Коефіцієнт  $\beta$  називається індексом кутової модуляції. Він визначає інтенсивність коливання початкової фази. Тоді миттєва частота визначається як:

$$\omega(t) = \frac{d\Psi(t)}{dt} = \omega_0 + \beta\omega_s \cos(\omega_s t)$$

З даної формули випливає, що максимальне відхилення миттєвої частоти від середнього значення  $\omega_0$  складає  $\beta\omega_s$ . Ця величина називається девіацією частоти та позначається  $\omega_d$ .

Відповідно індекс кутової модуляції визначається за формулою:

$$\beta = \frac{\omega_d}{\omega_s}$$

Основні переваги ЧМ у порівнянні з АМ:

- вища завадостійкість;
- енергетично більш вигідна, так як пелюстки корисного сигналу більші за амплітудою за частоту носій.

Основні недоліки ЧМ у порівнянні з АМ:

- більш широкий спектр, тому можна використовувати тільки на високих частотах;
- потребує більш складної конструкції модулятора та демодулятора.