

Електромагнітні коливання

Б.11.2.1 Вільні електромагнітні коливання в контурі

1. Одночасні періодичні зміни пов'язаних між собою електричного і магнітного полів мають назву електромагнітних коливань.

2. Найпростіше коло для утворення електромагнітних коливань має складатися з конденсатора та котушки. Таке коло називають коливальним контуром.

3. Якщо конденсатору коливального контуру надати заряд і тим вивести систему зі стану рівноваги, то в коливальному контурі виникнуть вільні коливання.

4. Частоту вільних коливань називають власною частотою коливального контуру.

5. Вільні коливання є затухаючими: амплітуда їх з часом зменшується. Причиною затухання є те, що енергія струму перетворюється у внутрішню енергію проводів і йде на випромінювання електромагнітних хвиль.

6. Під час електромагнітних коливань у коливальному контурі відбувається перетворення енергії електричного поля в енергію магнітного поля і навпаки.

Якщо зарядити конденсатор до різниці потенціалів U_m , то при відсутності струму в колі, енергія електричного поля, що зосереджене між обкладками конденсатора, дорівнює

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_m^2.$$

Під час розрядки конденсатора в колі виникає струм і енергія електричного поля поступово перетворюється в енергію магнітного поля котушки.

В момент, коли заряд конденсатора стає рівним нулю, струм у колі максимальний і енергія магнітного поля котушки стає рівною

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_m^2.$$

Після цього, внаслідок явища самоіндукції, струм продовжує йти у тому самому напрямі, конденсатор перезаряджається. Енергія магнітного поля поступово перетворюється в енергію електричного поля конденсатора.

В момент, коли струм в полі припиняється, енергія електричного поля стає знову рівною

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_m^2.$$

Після цього процес відбувається в зворотному напрямі.

Б.11.2.2 Рівняння гармонічних коливань у контурі

1. В коливальному контурі, опір якого дорівнює нулю, відбуваються гармонічні електромагнітні коливання.

2. Під час гармонічних електромагнітних коливань заряд конденсатора змінюється за законом:

$$Q = Q_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi),$$

де Q_m – амплітуда коливань заряду конденсатора з циклічною частотою, що визначається за формулою:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}.$$

3. Усі величини і закономірності, встановлені для гармонічних коливань у механіці, зберігають свій зміст і в електромагнітних коливаннях. Зокрема, період коливань пов'язаний з циклічною частотою залежністю:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}.$$

Ця формула для періоду вільних електромагнітних коливань в ідеальному коливальному контурі названа формулою Томсона.

4. Аргумент косинуса в формулі, що відображає закон зміни заряду конденсатора, називається фазою.

Знання фази дає можливість обчислювати миттєве значення заряду конденсатора і визначає стан коливального процесу.

5. Під час гармонічних електромагнітних коливань в коливальному контурі сила струму та напруга на конденсаторі змінюються за законами:

$$i = I_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi + \frac{1}{2}\pi), \text{ де } I_m = \omega \cdot Q_m;$$

$$u = U_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi), \text{ де } U_m = \frac{Q_m}{C}.$$

Коливання сили струму випереджають за фазою коливання заряду і напруги на $\frac{1}{2}\pi$, тобто коли сила струму досягає максимального значення I_m , заряд Q і напруга U перетворюються на нуль і навпаки.

Б.11.2.3 Автоколивання

1. Електромагнітні автоколивання – незатухаючі коливання, які підтримуються в коливальній системі не за рахунок періодичного зовнішнього впливу, а в результаті здатності коливальної системи самій регулювати надходження енергії від постійного

зовнішнього джерела.

2. Автоколивання виникають самодовільно під дією випадкових малих впливів, які виводять систему з рівноваги. Частота, амплітуда тощо автоколивань визначаються властивостями самої системи і не залежать від початкових умов.

3. Електрична автоколивальна система містить коливальний контур, підсилювач коливань і джерело електричної енергії. Між коливальним контуром і підсилювачем має існувати зворотний зв'язок – коливання з контуру надходять у підсилювач, підсилюються за рахунок джерела енергії і повертаються назад у коливальний контур. Дуже важливо, щоб коливання, які надходять від підсилювача в контур, збігалися за фазою з коливаннями у самому контурі.

Б.11.2.4 Вимушені електромагнітні коливання. Змінний струм

1. Коливання, що виникають під дією зовнішньої ЕРС, яка періодично змінюється, називаються вимушеними електромагнітними коливаннями.

2. Під час вимушених коливань енергія підводиться до контуру безперервно, внаслідок чого ці коливання будуть незатухаючими. Вимушені коливання відбуваються з частотою, що дорівнює частоті зміни ЕРС джерела.

3. Прикладом вимушених електромагнітних коливань є змінний струм. Змінний струм – це по суті вимушені коливання електричних зарядів у провіднику під дією прикладеної змінної ЕРС.

4. Коли в однорідному магнітному полі рівномірно обертається провідний контур, то в ньому збуджується ЕРС, яка змінюється за законом:

$$\xi = \xi_m \cdot \sin \omega \cdot t .$$

Під час замикання цього контуру на зовнішнє коло, в колі йтиме синусоїдальний змінний струм:

$$i = \frac{\xi}{R} = \frac{\xi_m}{R} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) .$$

5. Змінний струм є гармонічним коливанням. Тому його характеристики мають назви: ξ_m – амплітуда електрорушійної сили; I_m – амплітуда сили струму; ω – циклічна частота; ωt – фаза струму.

Змінний струм характеризується також періодом T і частотою ν , причому

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu .$$

Б.11.2.5 Діючі значення напруги і сили струму

1. В колі змінного синусоїдального струму напруга і сила струму весь час змінюються. Характеристиками такого струму є діючі значення сили струму і напруги.

2. Середня за період потужність змінного струму дорівнює відношенню сумарної енергії, яка надійшла в коло за період, до тривалості періоду.

Середня потужність за період дорівнює:

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \cdot I_m \cdot U_m.$$

3. Змінний струм характеризується не амплітудними значеннями, а значеннями в $\sqrt{2}$ раз меншими, тобто:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \text{і} \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \quad \text{то} \quad \bar{P} = I \cdot U.$$

Значення I і U дістали назву діючих значень сили струму і напруги відповідно.

4. Шкали вимірювальних приладів змінного струму (амперметри і вольтметри) градуйовані саме в цих значеннях.

Б.11.2.6 Електричний резонанс

1. Явище різкого зростання амплітуди вимушених коливань сили струму в коливальному контурі з малим активним опором, якщо збігається частота зовнішньої змінної напруги з власною частотою коливального контуру, називається електричним резонансом.

2. Резонансні явища в електричних колах виражені тим чіткіше й сильніше, чим менший активний опір кола.

3. В електричному колі настає резонанс, якщо виконується умова, – індуктивний опір стає рівним ємнісному опорів кола:

$$\omega_0 \cdot L = \frac{1}{\omega_0 \cdot C}.$$

Звідси для резонансної частоти дістанемо:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}.$$

4. При резонансі зсув фаз між струмом і напругою стає рівним нулю.

Б.11.2.7 Трансформатор

1. Перетворення змінного струму певної частоти, при якому напруга підвищується або зменшується в кілька разів практично без втрат потужності, здійснюється за допомогою трансформаторів.

2. У найпростішому випадку трансформатор складається з двох котушок (обмоток), надітих на замкнуте залізне осердя.

Одна з обмоток – первинна – вмикається до джерела змінної напруги.

3. Принцип дії трансформатора: під час проходження первинною обмоткою змінного струму в осерді виникає змінний магнітний потік; оскільки магнітний потік існує практично лише всередині осердя й однаковий у всіх перерізах, то в кожному витку вторинної обмотки виникає ЕРС індукції.

4. Якщо первинна обмотка має n_1 витків, а вторинна n_2 , то ЕРС індукції в обмотках прямо пропорційна кількості витків в них:

$$\frac{\xi_1}{\xi_2} = \frac{n_1}{n_2} = k$$

5. Коефіцієнтом трансформації k трансформатора називається відношення напруги на затискачах первинної обмотки до напруги на затискачах його вторинної обмотки при холостому ході (при розімкнутому колі вторинної обмотки).

6. У підвищувальному трансформаторі $k < 1$, у знижувальному – $k > 1$.

7. При постійному навантаженні вторинної обмотки

$$\frac{I_2}{I_1} \approx \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\xi_1}{\xi_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{k}.$$