

Егер трансформация коэффициенті  $k > 1$ , яғни  $N_2 > N_1$  екінші шарғыдағы орама саны бірінші шарғыдағы орама санынан үлкен болса, мұндай трансформаторлар жоғарылатқыш трансформаторлар болып табылады.

### Бақылау сұрақтары

1. Тербелмелі электр контурда гармоникалық тербеліс кезінде қандай процестер өтеді?
2. Еркін тербелістің дифференциалдық теңдеуін қорытып жаз.
3. Өшетін электр тербелістің дифференциалдық теңдеуін қорытып жаз.
4. Еріксіз тербелістің дифференциалдық теңдеуін қорытып жаз.
5. Резонанс құбылысын түсіндір.
6. Индуктивті катушка және конденсатор арқылы өтетін айнымалы ток пен кернеудің фазалар айырымын түсіндір?
7. Векторлық диаграммаларды алу тәсілін баянда.
8. Айнымалы ток тізбегінің қуатының өрнегін қорытып жаз.
9. Трансформатордың жұмыс істеу принципін түсіндір.

### Лекция № 12. Электромагниттік толқындар.

12.1 Электромагниттік толқындар. Электромагниттік толқындарды шығару және тарату. Герц вибраторы.

12.2 Электромагниттік толқын энергиясы. Умов-Пойтинг векторы.

12.3 Электромагниттік толқындарды байланыс құралы мақсатында қолдану. Радио байланыс және теледидарласу принципі.

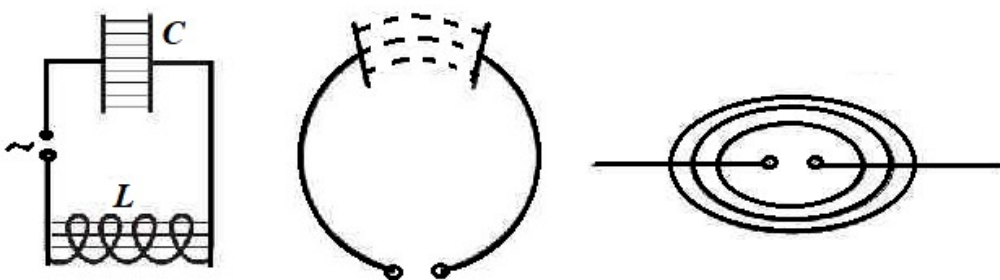
12.1 *Электромагниттік толқындар. Электромагниттік толқындарды шығару және тарату. Герц вибраторы.* Максвелл электромагниттік өрістің біртұтас теориясын жасай келе «Электромагниттік өріс кеңістікте электромагниттік толқын түрінде тарай алады» деген теориялық болжам жасаған болатын.

*Электромагниттік толқын деп электромагниттік өрістің кеңістікте таралуы кезінде электр және магнит өрістер кернеулігінің белгілі бір периодты заңдылық бойынша өзгеруін айтады.*

Электромагниттік толқынның көзі болып кез келген электрлік тербелмелі контур немесе бойынан айнымалы ток жүретін кез келген жай қарапайым өткізгіш бола алады. Электромагниттік толқындар көзінің сәулелену қабілеттілігі оның пішіні мен өлшемдеріне, электромагниттік тербеліс жиілігіне тәуелді болады.

Максвелдің электромагниттік толқынның болуы туралы болжамының дұрыстығын 1888 жылы Герц эксперимент арқылы дәлелдеді.

Жабық тербелмелі контурдағы айнымалы электр өрісі конденсатор астарларының арасында, ал айнымалы магнит өрісі шарғының ішінде шоғырланғандықтан электромагниттік тербеліс кеңістікте тарай алмайды. Герц электромагниттік тербелісті кеңістікке таратып, электромагниттік толқын алу үшін шарғыдағы орам санын азайтып, конденсатор астарларының ауданын кішірейтеді де, олардың арақашықтығын алшақтатып, жабық тербелмелі контурды ұшқындық аралықпен бөлінген екі стерженнен тұратын ашық тербелмелі контурға айналдырды. Бұл қондырғы Герц вибраторы деп аталады (12.1-сурет).

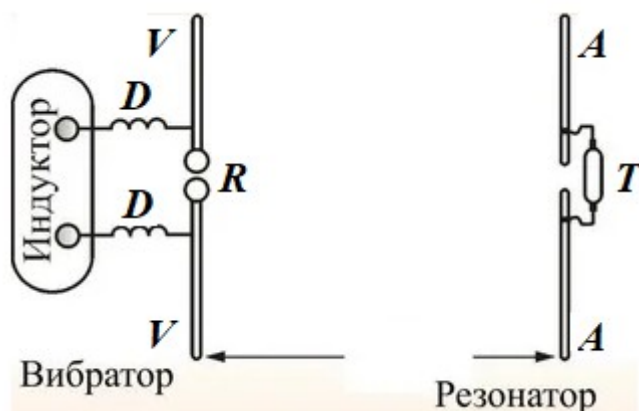


12.1-сурет

Конденсатордың сыйымдылығы оның астарларының арақашықтығына кері пропорционал, ал астарлары ауданының шамасына тура пропорционал болғандықтан конденсатор астарларының ауданын кішірейтіп, оларды бір-бірінен алшақтатқанда сыйымдылығы кемиді. Сол сияқты индуктивтік шарғының орам санын кеміткенде оның индуктивтілігі кемиді, салдарынан тербелмелі контурдағы электромагниттік тербелістің меншікті тербеліс жиілігі Томсон формуласына сәйкес артады. Тербелмелі контурды ашық түрге

келтірген сайын электромагниттік өріс кеңістіктің кеңірек аймағын қамти бастайды.

Электромагниттік толқынды қоздыру үшін В Герц вибраторын индукторға қосады (12.2-сурет).



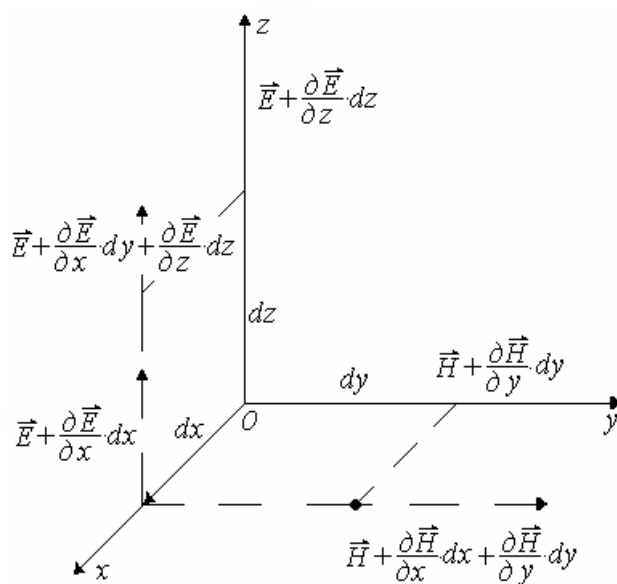
12.2-сурет

Ұшқындық аралықтағы кернеу тесілу мәніне жеткен кезде вибратордың екі ұшын қысқа тұйықтайтын ұшқын пайда болады да, вибраторда еркін өшетін тербеліс туады. Одан кейін индуктор конденсаторды қайта зарядтайды, вибраторда ұшқын пайда болады да тағыда тербеліс байқалады және т.с.с.. Электромагниттік толқынды тіркеу үшін Герц резонатор деп аталатын жиілігі сәуле шығаратын вибратордың меншікті жиілігіндей екінші вибраторды пайдаланады. Электромагниттік толқын резонаторға жеткен кезде оның саңылауында ұшқын пайда болады.

Енді Максвелдің теңдеулерін пайдалана отырып, жазық электромагниттік толқындардың теңдеуін шығарып алайық:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \oint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}, \quad \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \oint_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S} \quad (12.1)$$

Мұндай контурлы интегралдарды есептеу үшін  $\vec{D}$  және  $\vec{E}$  векторларының бағыты бұранда ережесінің оң бағытымен сәйкес келуі керек.



12.3-сурет

Есептеулерді жеңілдету мақсатында электромагниттік өрістің қозу нүктесінде  $\vec{E}$  векторы барлық уақытта  $OZ$  осіне, ал  $\vec{H}$  векторы  $OY$  осіне параллель болатындай етіп таңдап алайық (12.3-сурет).

(12.1)-теңдеуді пайдалана отырып және суреттегі қатынастарды ескеріп, түрлендірсек, мынадай қатынастарды аламыз;

$$\frac{\partial H}{\partial x} = \frac{\partial D}{\partial t} = \epsilon \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}, \quad (12.2)$$

$$\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{\partial B}{\partial t} = \mu \mu_0 \frac{\partial H}{\partial t}. \quad (12.3)$$

Егер (12.2)-теңдеуді уақыт бойынша және (12.3)-өрнектен координата бойынша туынды алып, сонымен қатар  $\epsilon$  және  $\mu$  тұрақты шамалар деп өрнектердің мынадай дербес туындыларын алайық:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x \partial t} = \epsilon \epsilon_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}, \quad \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \mu \mu_0 \frac{\partial^2 H}{\partial x \partial t}.$$

Осы теңеулерден мынаны табамыз:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = \frac{1}{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0} \frac{\partial^2 E}{\partial x^2}. \quad (4)$$

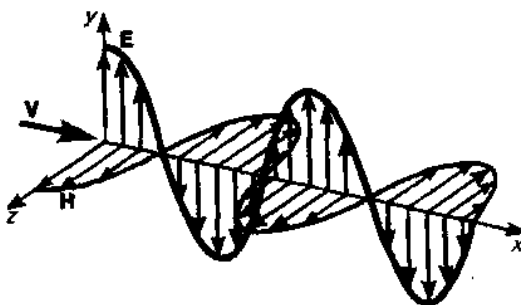
Осы табылған өрнек жазық электромагниттік толқынның дифференциалдық теңдеуі деп аталады. Осы теңдеудің шешуі

$$E = E_0 \sin \omega \left( t - \frac{x}{v} \right). \quad (5)$$

бұл өрнек толқынның синусоида заңдылығы бойынша таралатындығын көрсетеді. Таралу жылдамдығы  $v$  мынаған тең:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}} \quad (6)$$

мұндағы  $c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$ .



4-сурет

Сөйтіп,  $\vec{E}$  және  $\vec{H}$  векторлары толқынның таралу бағытына және бір-біріне перпендикуляр болады. Мұндай электромагниттік толқындарды көлденең толқындар деп атайды (4-сурет. Жазық электромагниттік толқын кескіні).

### **Электромагниттік өрістің энергиясы. Умов-Пойтинг векторы.**

Электромагниттік толқынның таралуы электромагниттік өрісті сипаттап оған қоса энергияның тасымалдану мүмкіндігін көрсетеді. Толқын мен энергияны тасымалдау үшін, энергия ағынының тығыздығы деген векторлық шама ендірейік. Ол сан жағынан энергия берілетін бағытқа перпендикуляр болатын бірлік аудан арқылы бірлік уақыт ішінде тасымалданатын энергия мөлшеріне тең. Сөйтіп, энергия ағынының тығыздығы векторының бағыты энергияның тасымалданған бағытымен дәл келеді. Сөйтіп, электр өрісі энергиясының тығыздығы мына формула арқылы анықталады:

$$\omega_{\text{Э}} = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2,$$

ал магнит өрісі энергиясының тығыздығы

$$\omega_{\text{М}} = \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2.$$

Сонымен, электромагниттік өріс энергиясының тығыздығы  $\omega$  электр мен магнит өрістері энергиясының тығыздықтарының қосындысынан тұрады:

$$\omega = \omega_{\text{Э}} + \omega_{\text{М}} = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2.$$

Электр және магнит өрістері энергиясының тығыздықтары уақыттың бір мезетінде бірдей бола алады, яғни  $\omega_{\text{Э}} \sim \omega_{\text{М}}$ , сондықтан

$$\omega = 2 \omega_{\text{Э}} = \varepsilon \varepsilon_0 E^2 = \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} \sqrt{\varepsilon \mu} E H$$

Электромагниттік толқындар энергиясының тығыздығын олардың ортадағы таралу жылдамдығына көбейтіп энергия ағынының тығыздығын анықтаймыз:

$$S = \omega \cdot \vartheta = E H. \quad (7)$$

$\vec{E}$  мен  $\vec{H}$  векторлары өзара перпендикуляр және толқынның таралу бағытымен оң бұранда жүйесін түзеді, онда  $[\vec{E} \vec{H}]$  векторының бағыты энергияның тасымалдану бағытымен сәйкес келеді, ал бұл вектордың модулі  $E H$ -қа тең. **Электромагниттік энергия ағынының тығыздығы Умов-Пойтинг векторы деп аталады:**

$$\vec{S} = [\vec{E} \vec{H}]. \quad (8)$$

Бұл вектор электромагниттік толқындардың бірлік уақыт ішінде бірлік аудан арқылы тасымалдайтын энергиясына тең болады.

#### Электромагниттік толқынның шкаласы.

Электромагниттік толқындар вакуумде тербеліс жиілігіне байланыссыз, жарық жылдамдығына тең жылдамдықпен таралады. Электромагниттік толқындар, жиіліктің (толқын ұзындығының) кең диапозонына ие бола отырып, генерациялану мен тіркелу қабілетіне және өзінің қасиетіне байланысты ажыратылады. 1-кестеде электромагниттік толқындардың әртүрлі түрлері көрсетіліп, ол түрлердің арасындағы шекаралар шартты түрде берілген.

**Электромагниттік толқындарды байланыс құралы мақсатында қолдану. Радио байланыс және теледидарласу принципі.** Бірінші рет электромагниттік толқындарды 1895 жылы 7 майда орыс ғалымы А.С. Попов (1859—1906) орыстың физика-химиялық қоғамының мәжілісінде сымсыз байланыс жасау үшін қолдануға болатындығын айтты.

Электромагниттік толқындардың сантиметрлік және миллиметрлік диапазонды түрлері таралу кезінде әр түрлі тосқауылдардан шағылысады. Толқындардың осындай құбылысы радиолокацияда қолданылады. Мысалы, өте алыс қашықтықта кейбір денелерді, яғни самолет, корабльдерді т. б. табу және олардың орындарын дәл анықтау үшін қолданылады.

1-кесте

Сәулелену түрлері	Толқын ұзындығы, м.	Толқын жиілігі, Гц.	Шығарғыш көзі.
Радиотолқындар	$10^3 - 10^4$	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^{12}$	Тербелмелі контур. Герц вибриоры. Лампалы генератор
Жарық толқындары: инфрақызыл шығару (сәулелену) көрінетін жарық ультракүлгін сәулелену	$5 \cdot 10^{-4} - 8 \cdot 10^{-7}$ $8 \cdot 10^{-4} - 4 \cdot 10^{-7}$ $4 \cdot 10^{-7} - 10^{-9}$	$6 \cdot 10^{11} - 3,75 \cdot 10^{14}$ $3,75 \cdot 10^{14} - 7,5 \cdot 10^{14}$ $7,5 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{17}$	Электр шамдар Лазерлер
Рентген сәулелену	$2 \cdot 10^{-9} - 6 \cdot 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{17} - 5 \cdot 10^{19}$	Рентген түтікшесі
$\gamma$ - сәулелену	$> 6 \cdot 10^{-12}$	$> 5 \cdot 10^{19}$	Радиоактивті ыдырау, ядролық процесстер космостық процесстер

2-кесте.

Толқындар аттары	Жиілік диапазоны (Гц)	Толқындар ұзындығының диапазоны (м)
Аса ұзын	$< 3 \cdot 10^4$	$> 10000$
Ұзын	$3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$	$10000 - 1000$
Орташа	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$	$1000 - 100$
Қысқа	$3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^7$	$100 - 10$
Ультра- метрлік қысқа	$3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^8$	$10 - 1$
дециметрлік	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^9$	$1 - 0,1$
сантиметрлік	$3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{10}$	$0,1 - 0,01$
миллиметрлік	$3 \cdot 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	$0,01 - 0,001$

Сол сияқты, электромагниттік толқындардың қазіргі кезде ғылым мен техниканың барлық салаларында қолданбайтын жері жоқ десек қателеспеген болар еді.

Радиобайланыс принциптері келесі түрде жүзеге асырылады: таратушы антенна айналасында пайда болған жоғары жиілікті электромагниттік өріс толқын түрінде таралады және ол қабылдағыш антеннаға жеткен соң ол жерде станция жиілігіне тең жиілікті ток пайда болады.

### Бақылау сұрақтары

1. Электромагниттік толқын дегеніміз не?
2. Электромагниттік толқындарды не шығарып таратады?
3. Герц өзінің тәжірибелерінде не үшін ашық тербелмелі контурды қолданды?
4. Айнымалы электр өрісінің  $\vec{E}$  мен  $\vec{H}$  векторлары үшін толқындық теңдеу жазыңдар.
5. Электромагниттік толқын энергиясының өрнегін жазыңдар.
6. Умов-Пойтинг векторының физикалық мағынасы неде?.
7. Радиотолқынның қандай түрлері бар?