

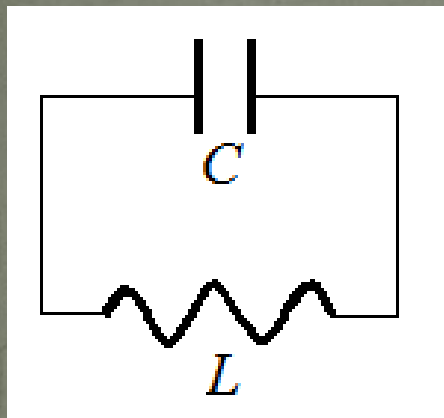
ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ТРЕПТЕНИЯ И ВЪЛНИ

Лектор: проф. д-р Т. Йовчева

Електромагнитни трептения

- *Трептения* – повтарящите се движения или изменения на състоянието на системата около едно равновесно състояние.
- *Хармонични трептения* – трептящата величина се изменя по синусоидален (или косинусоидален) закон.
- *Електромагнитни трептения* – периодични изменения, при които трептящата величина има електромагнитна физична природа. Такива са периодичните изменения на тока в електрическа верига, на заряда в кондензатор, на електричните и магнитните полета и др.

Свободни електромагнитни трептения



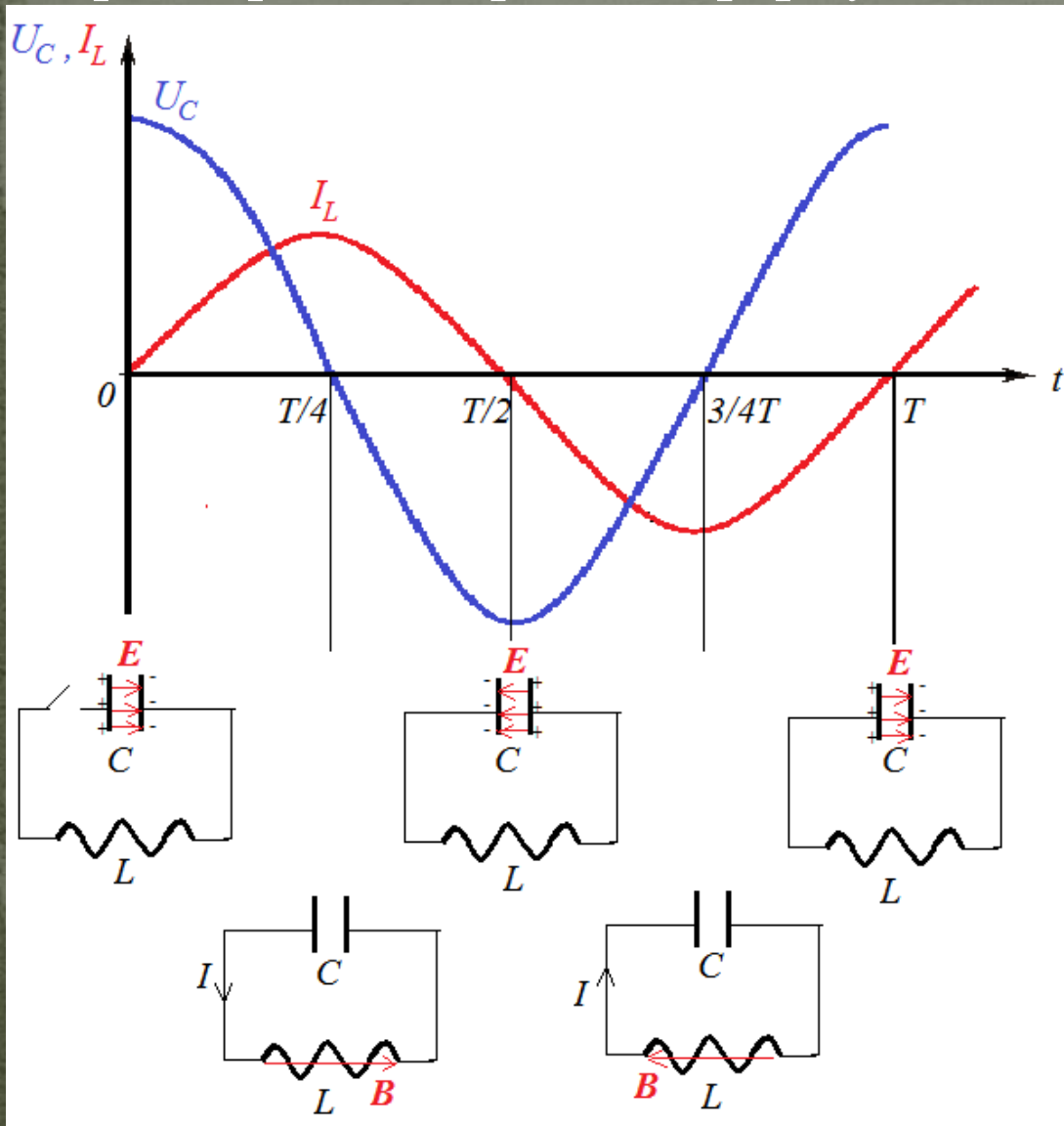
Свободни електромагнитни трептения възникват в *идеален затворен трептящ кръг* – затворена верига с пренебрежимо малко омово съпротивление, състояща се от кондензатор с капацитет C и намотка с индуктивност L .

- Еднократното внасяне на енергия в кръга чрез зареждане на кондензатора или чрез индуциране на ток в намотката води до появата на незатихващи трептения.
- Зарядът и напрежението на кондензатора, както и токът през намотката се изменят периодично с времето по синусоидален закон.
- В такава система *възникват свободни или собствени електромагнитните трептения.*
- Електромагнитните трептения в идеален затворен трептящ кръг ($R = 0$) са незатихващи.

Свободни електромагнитни трептения

Собствената честота на трептенията се определя от параметрите на кръга по формулата:

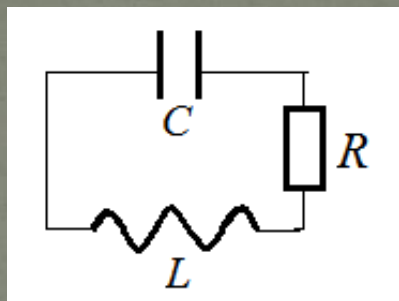
$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



В трептящия кръг става периодично преобразуване на енергията на електричното поле в кондензатора E_C в енергия на магнитното поле в намотката E_L и обратно:

$$E_C = \frac{q^2}{2C} \Leftrightarrow E_L = \frac{LI^2}{2}$$

Затихващи електромагнитни трептения



Всеки реален трептящ кръг има и омово съпротивление – например съпротивлението на намотката R .

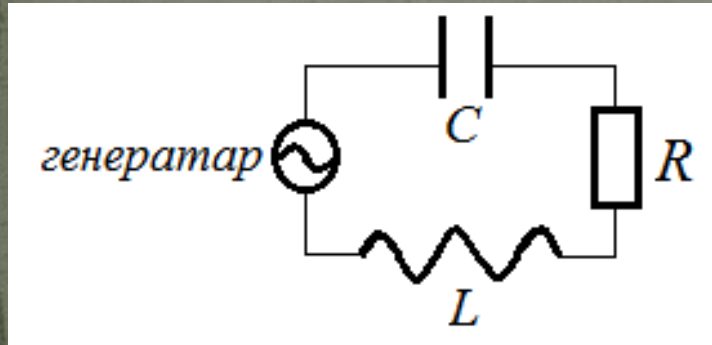
- При протичане на ток в такава верига се отделя топлина, пропорционална на R .
- Така част от електромагнитната енергия на трептящия кръг се превръща във вътрешна енергия на проводника и околната среда.
- Затова след един период кондензаторът не се презарежда до началното напрежение, а токът през намотката не достига първоначалната максимална стойност.
- Така амплитудите на тока и напрежението намаляват и трептенията са затихващи.

Загубите се характеризират с Q- фактора:

$$Q = 2\pi \frac{E}{\Delta E}$$

където E е енергията на трептящия кръг в даден момент време t , а ΔE е енергията, която се губи за един период време от t до $t + T$.

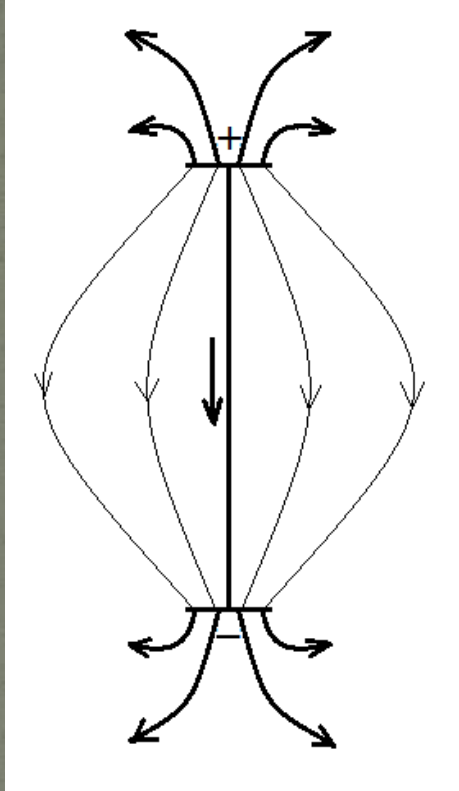
Принудени електромагнитни трептения



В трептящия кръг има незатихващи принудени електромагнитни трептения, ако периодично се внася енергия, например ако във веригата се включи генератор или източник на променливо ЕДН.

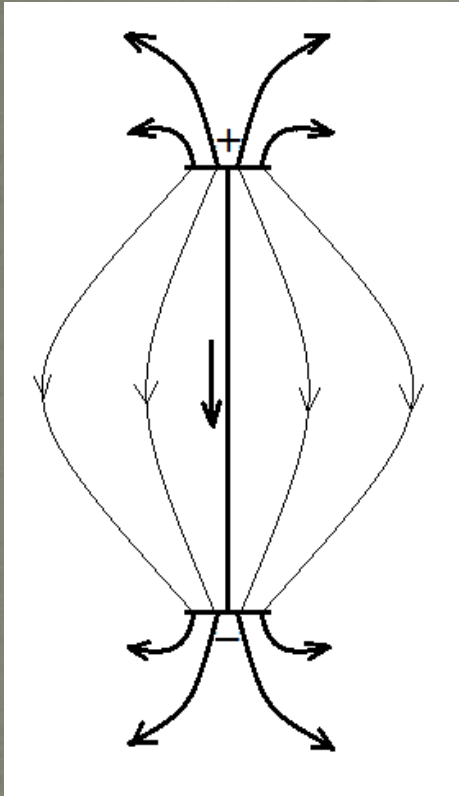
- Честотата на принудените електромагнитни трептения ν е равна на честотата, с която се изменя ЕДН на генератора.
- Електричните величини във веригата се изменят с тази честота ν .
- Трептенията са незатихващи, защото от генератора се черпи електрична енергия, която компенсира топлинните загуби при протичането на електричен ток във веригата.
- Амплитудата на тока в трептящия кръг зависи от честотата ν на генератора и тя е максимална, когато тази честота е равна на собствената честота на трептящия кръг ν_0 - *резонанс*.

Отворен трептящ кръг



- Електромагнитни трептения могат да се възбудят и в отворен трептящ кръг.
- Когато електродите на кондензатора са раздалечени и намотката е разтегната се получава отворен трептящ кръг или *излъчвателна антена*.
- Трептенията възникват, защото всеки проводник притежава определена индуктивност, а в отделните му части могат да се напрупват заряди.

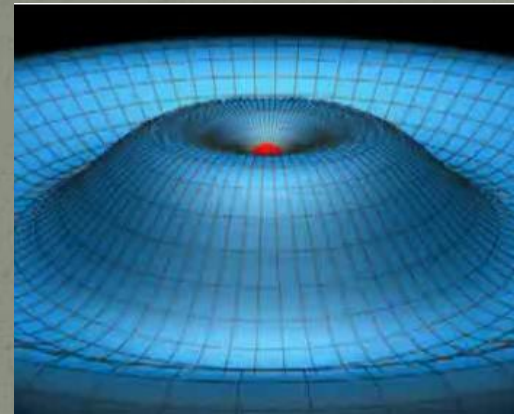
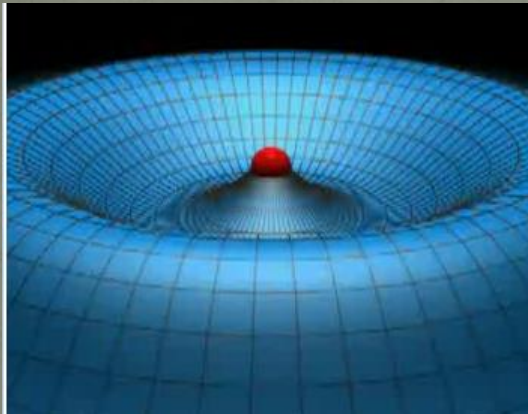
Отворен трептящ кръг



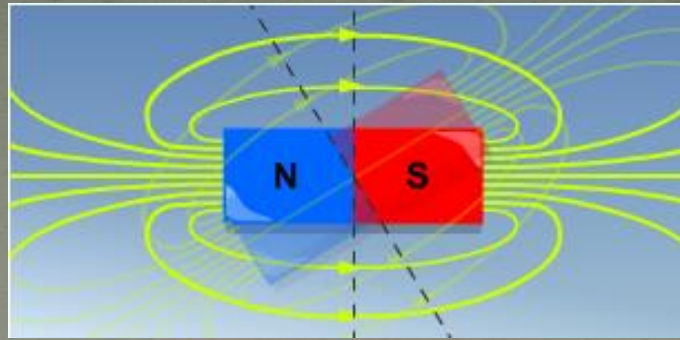
- Ако в началния момент кондензаторът е зареден, в пространството съществува само електрично поле.
- Когато кондензаторът започне да се разрежда, по проводника протича ток, който създава магнитно поле.
- Токът и магнитното поле се променят.
- Така променливото магнитно поле поражда променливо електрично поле и променливото електрично поле поражда променливо магнитно поле.
- Така електромагнитните трептения в антената пораждат в пространството електромагнитно поле.

Електромагнитни вълни

Разпространяващите се в пространството промени на електромагнитното поле се наричат *електромагнитни вълни*.

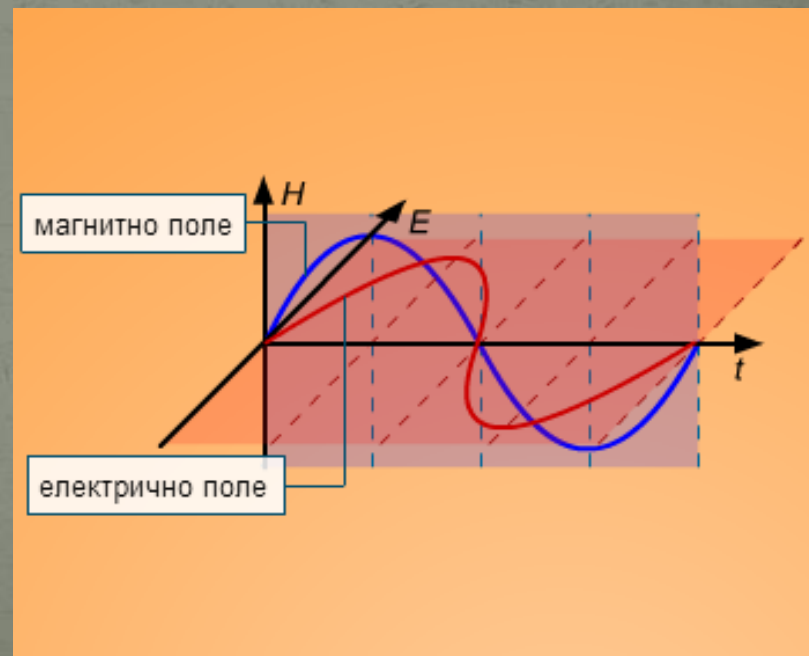
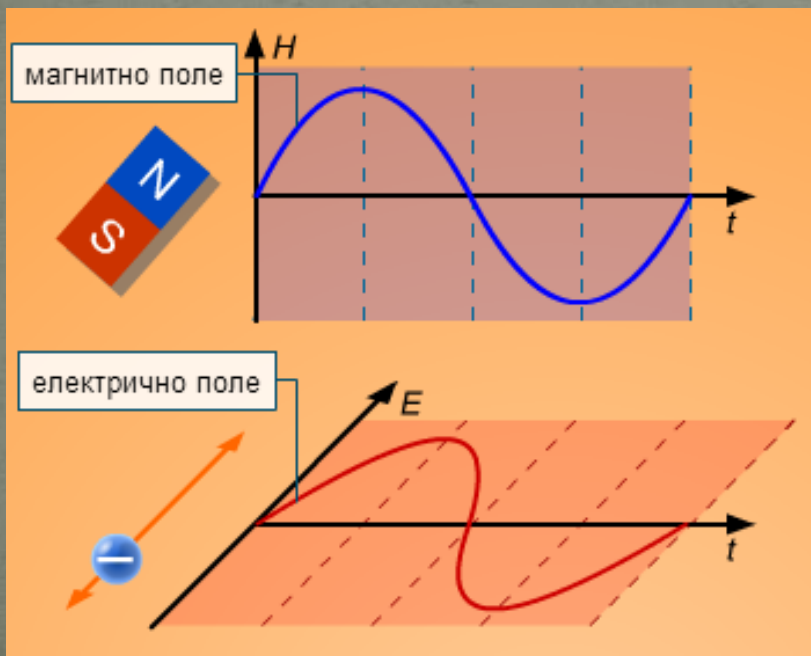


- Движението на един заряд предизвиква промяна в собственото му електрично поле.
- Тази промяната след това се разпространява в пространството, носейки информация за промяната в мястото на заряда.
- Трептящият заряд е източник на *електрична вълна*, която се разпространява в пространството с определена скорост.



- Движещият се електричен заряд създава и променливо магнитно поле, което се разпространява в пространството като *магнитна вълна*.
- Такова променливо магнитно поле е аналогично на магнитното поле, създадено от движещ се постоянен магнит.
- Тази промяна не настъпва едновременно в цялото пространство – от движещия се заряд или магнит.
- Тази скорост е равна на скоростта на разпространение на промените в електричното поле.

- Променливото електрично поле генерира променливо магнитно поле.
- Следователно всякакви промени в електричното поле водят до промени в магнитното поле.
- Не е възможно да разделим електричната от магнитната вълна, т.к. те винаги се появяват едновременно.
- Следователно ние ги разглеждаме като едно явление — *електромагнитна вълна*.



- Източници на електромагнитните вълни са трептящите или движещите се с ускорение електрични заряди, които създават променливо електромагнитно поле.
- Трептенията на електричните заряди могат да стават по различен начин.
- Трептения с относително ниски честоти ($\nu = 10^6$ Hz) могат да станат в електрическите трептящи кръгове и електромагнитни вълни се излъчват от отворен трептящ кръг – предавателна антена.
- Електромагнитни вълни с много високи честоти (видима светлина - $\nu = 10^{15}$ Hz) могат да се излъчат от трептящите електрони на атомите и молекулите.

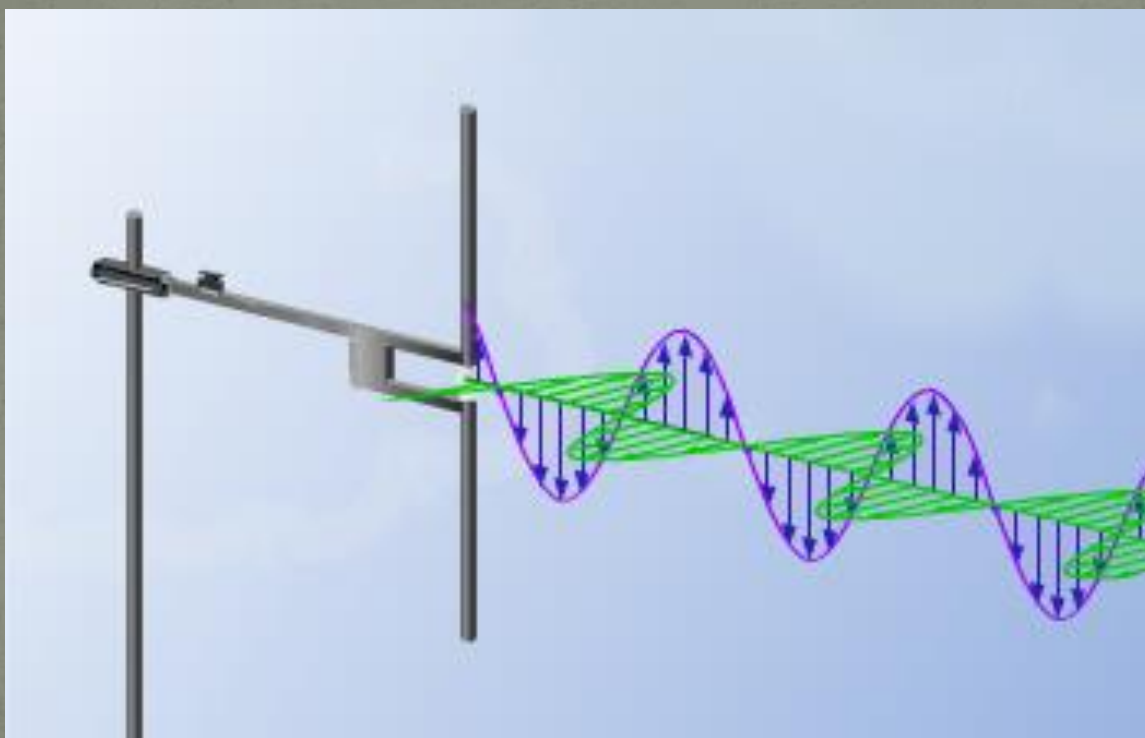
- Промените на електричното и на магнитното поле не се разпространяват мигновено в пространството, а с крайна скорост, наречена скорост на електромагнитната вълна, която зависи от средата.
- Скоростта на електромагнитната вълна във въздух или вакуум, измерена за пръв път от Хайнрих Херц, е:

$$c_0 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

- Т.к. c_0 е и скоростта на светлината във вакуум, Максвел предположил, че светлината е електромагнитна вълна.
- В други среди с диелектрична проницаемост ϵ и магнитна проницаемост μ скоростта е по малка и е:

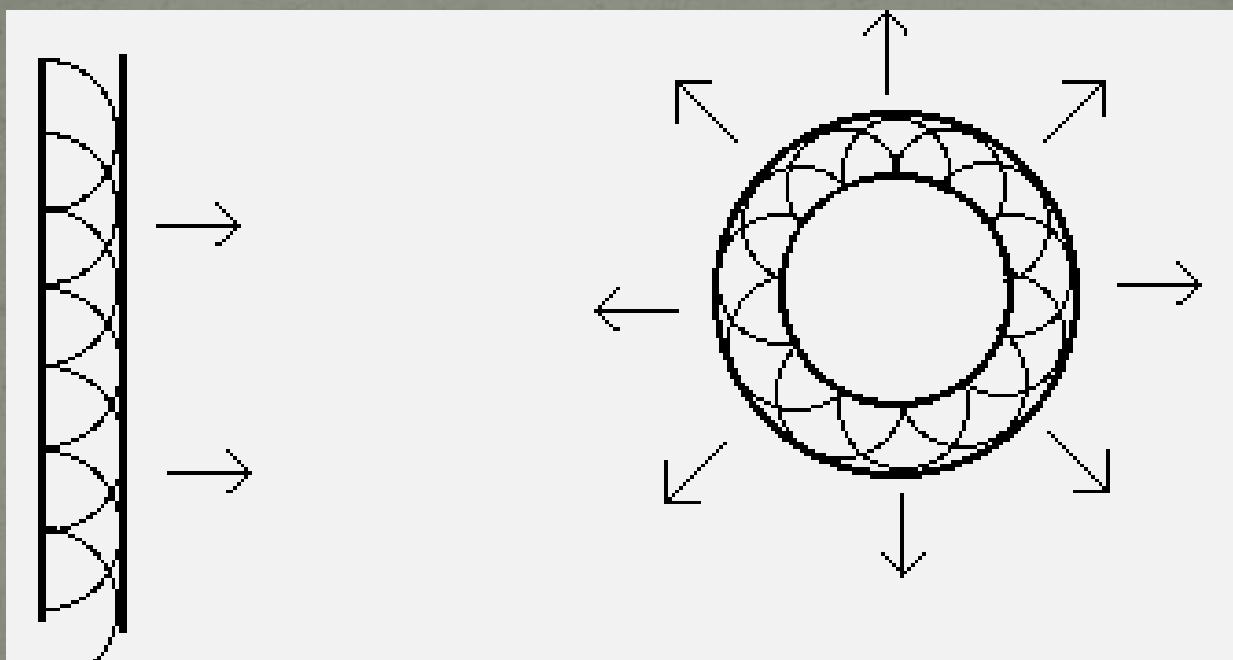
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$$

За разлика от механичните вълни електромагнитните вълни се разпространяват и във вакуум.



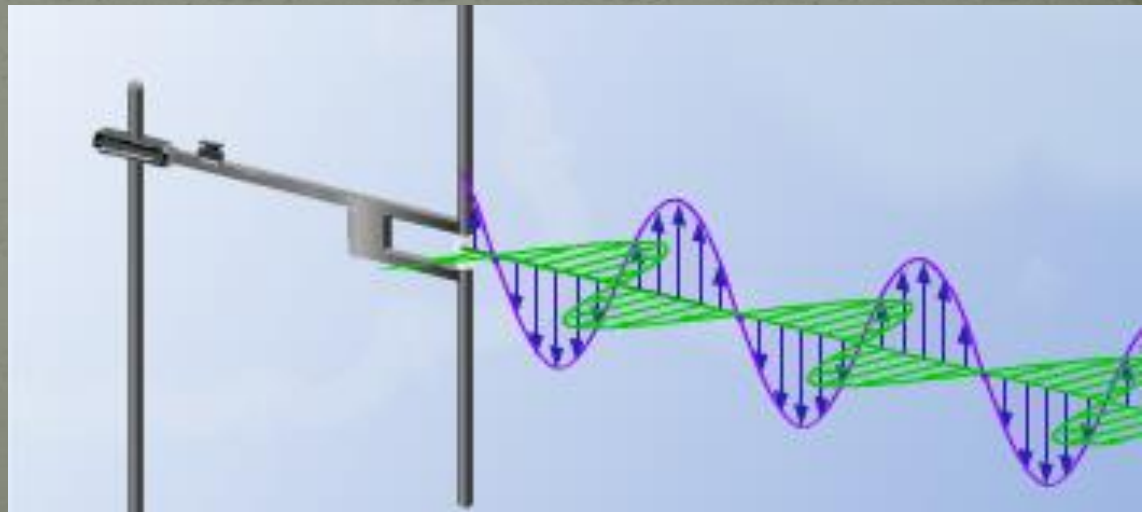
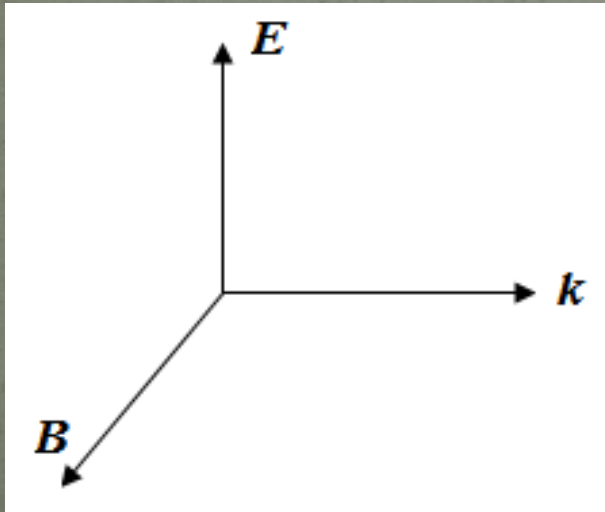
- Електромагнитната вълна е *бягаща вълна*, която с отдалечаване от своя източник пренася енергия.
- Колкото по-далече от източника се разпространява вълната, толкова върху по-голяма площ се разпределя енергията и електричното поле отслабва.
- Излъчването на енергия е толкова по-ефективно, колкото по-голяма е честотата на електромагнитните трептения.

Бягащата електромагнитната вълна може да е плоска или сферична в зависимост от вида на повърхността, разделяща възбудената от не възбудената част на пространството, т. нар. *вълнов фронт*.



Електромагнитната вълна е *напречна вълна*.

- Всяка точка от променливото електромагнитно поле се характеризира с вектора на интензитета на електричното поле \vec{E} и с вектора на индукция на магнитното поле \vec{B} .
- Тези два вектора са винаги взаимно перпендикулярни и са перпендикулярни на посоката на разпространение на вълната \vec{k} .



- Когато вълновият фронт е плоска равнина и трептенията на електричните заряди стават с точно определена честота, електромагнитната вълна се нарича *плоска монохроматична вълна*.

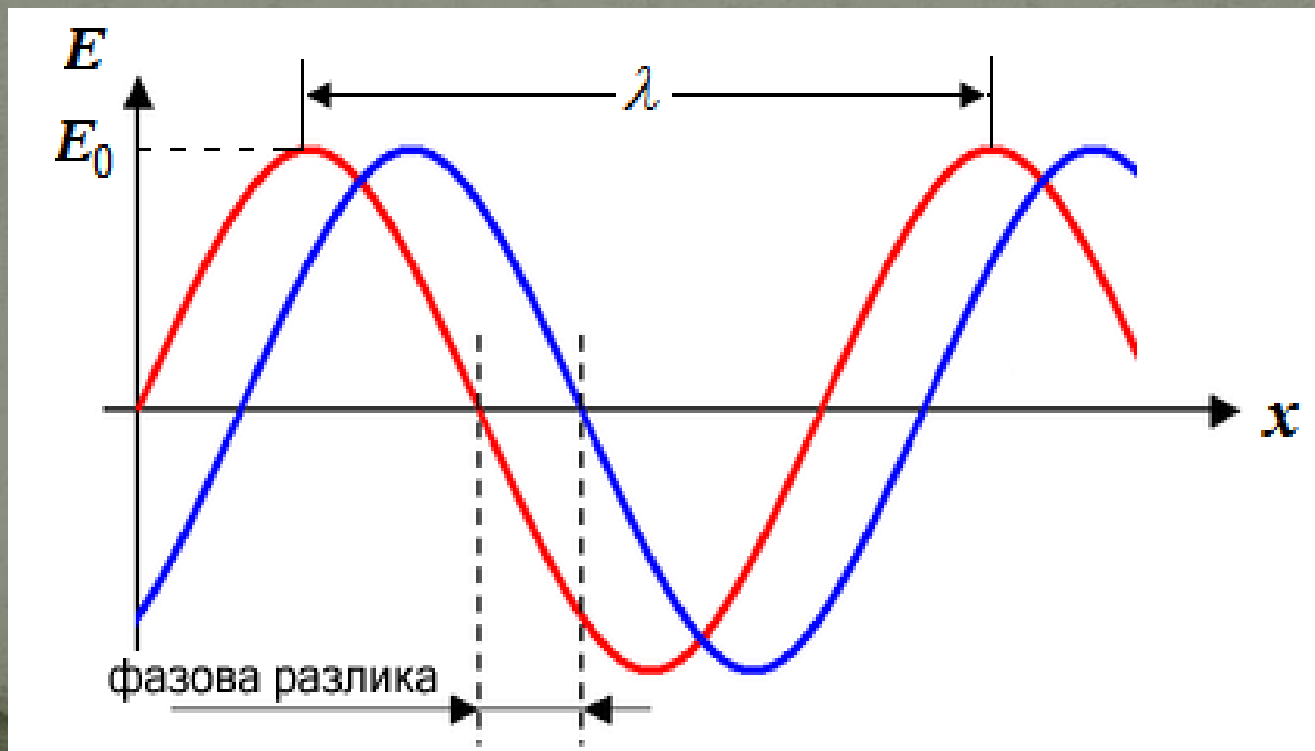
- Интензитетът на електричното поле и индукцията на магнитното поле се изменят по синусов или косинусов закон.

- За интензитета може да се запише:

$$E = E_0 \cdot \cos(\varphi)$$

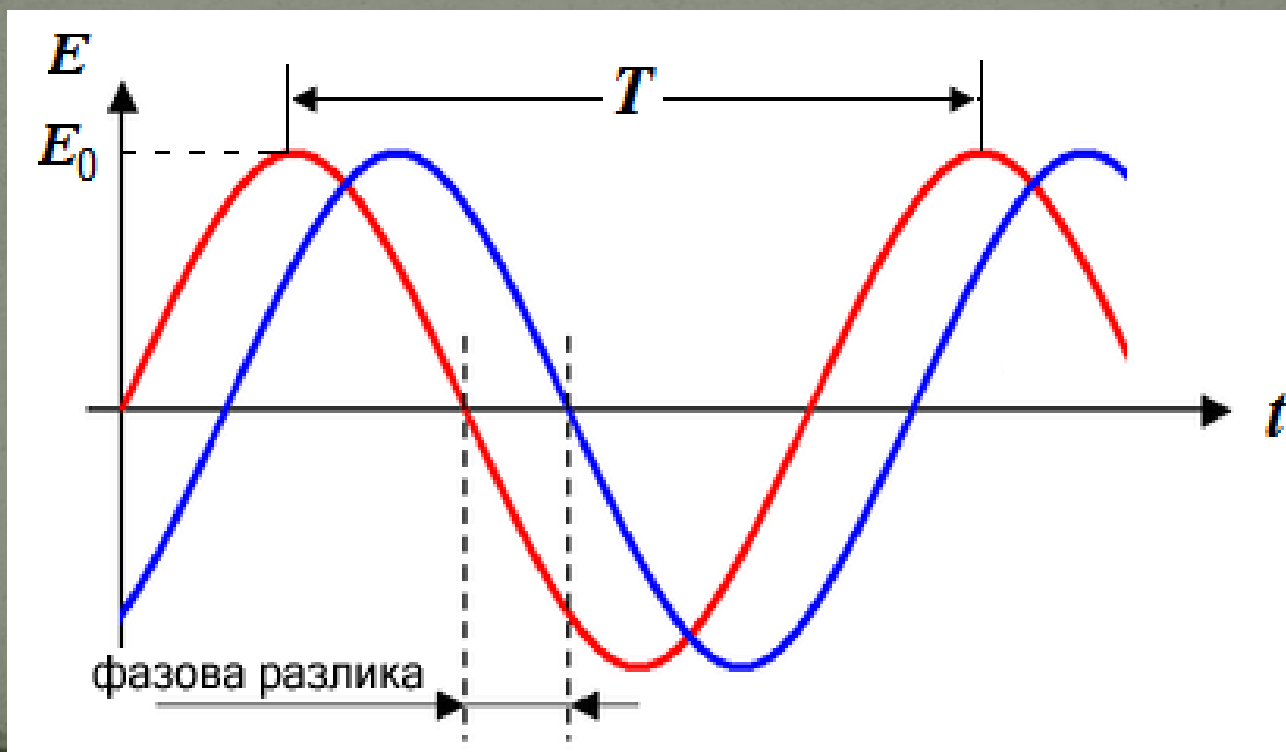
- *Основните параметри*, описващи електромагнитната вълна, са амплитуда (E_0), дължина на вълната (λ), честота на вълната (ν) и фаза на вълната (φ).

- *Амплитудата* е максималната стойност на E , а *фазата на вълната* е аргументът на \cos .
- Синята и червената вълни са с еднакви честоти, но имат фазово отместване.
- *Дължината на вълната* (λ) - разстоянието между две най-близки (съседни) точки по оста x , за които интензитетът E в даден момент време ($t = \text{const}$) е максимален.



- *Период на вълната* (T) – времето, за което вълната изминава това разстояние λ .
- *Честота на вълната* (ν) – дефинира се като реципрочната стойност на периода T :

$$T = 1/\nu$$



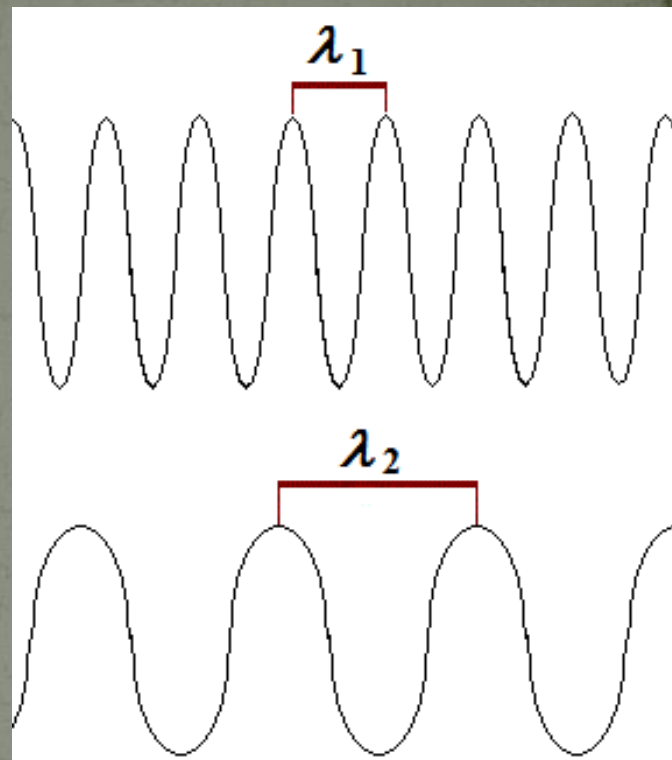
- Зависимостта между честотата ν , дължината на вълната λ и скоростта c на електромагнитната вълна се дефинира като:

$$c = \nu \cdot \lambda$$

- Следователно, колкото е по-висока честотата на вълната, толкова е по-малка дължината ѝ.

- Дългите вълни имат ниска честота, а късите вълни имат висока честота.

- Ако $\lambda_1 < \lambda_2$, то $\nu_1 > \nu_2$.



Спектър на електромагнитните вълни

Поради разликите в честотите, метода на формиране и приложенията електромагнитните вълни са разделени на няколко диапазона. Всички диапазони заедно формират т.нар. спектър на електромагнитните вълни.

