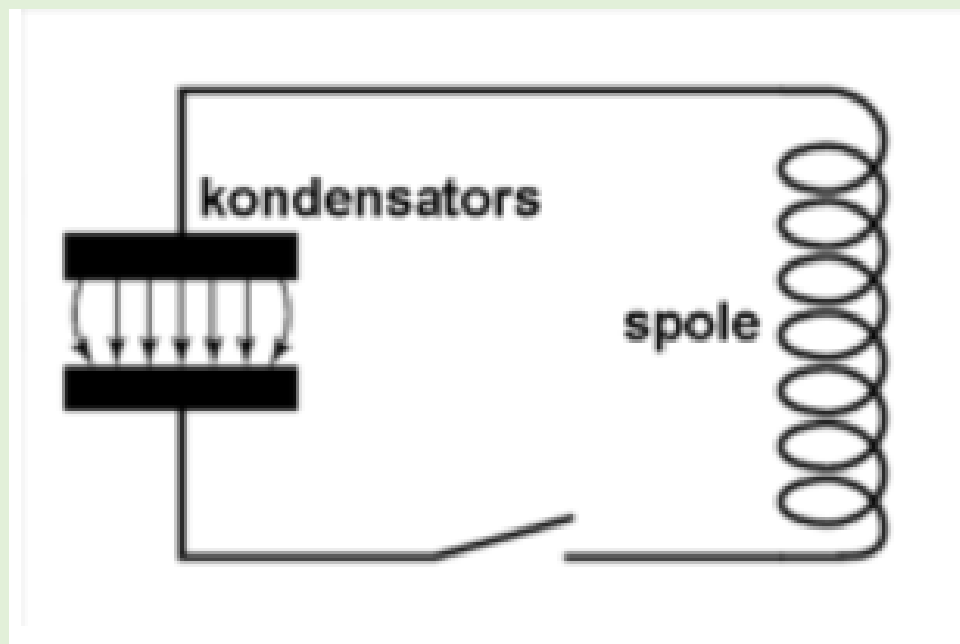


Elektromagnētiskās svārstības

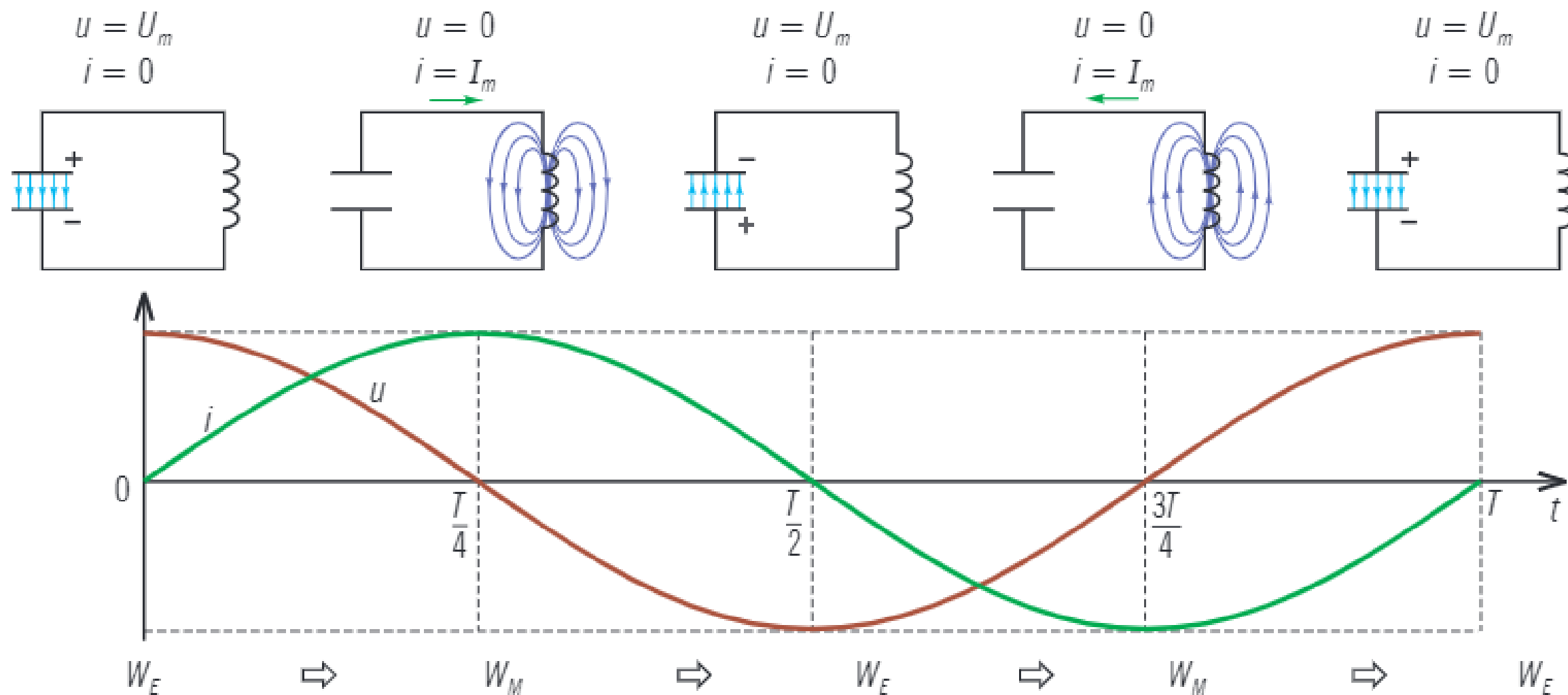
Nr.	Fizikālais lielums		Mērvienība	
	Lieluma nosaukums	Lieluma apzīmējums	Mērvienības nosaukums	Mērvienības apzīmējums
1.	Elektromagnētisko viļņu ātrums vakuumā (gaismas ātrums)	c	metri sekundē	m/s
2.	Elektromagnētiskā viļņa garums	λ	metri	m
3.	Svārstību frekvence	ν	Herci	Hz
4.	Svārstību periods	T	sekundes	s
5.	Izplatīšanās attālums	R	metri	m
6.	Kondensatora kapacitāte	C	Faradi	F
7.	Spoles induktivitāte	L	Henriji	H
8.	Elektriskā lauka enerģija	E_E vai W_E	Džouli	J
9.	Magnētiskā lauka enerģija	E_M vai W_M	Džouli	J
10.	Relatīvā dielektriskā caurlaidība	ϵ	mērvienības nav	
11.	Elektromagnētisko viļņu ātrums vielā	v	metri sekundē	m/s
12.	Gaismas laušanas koeficients	n	mērvienības nav	

Vienkāršākais veids, kā iegūt brīvas elektromagnētiskās svārstības ir svārstību kontūrs, kas sastāv no spoles un kondensatora.



Elektromagnētiskās svārstības norisinās svārstību kontūrā, kur periodiski mainās **elektriskā** un **magnētiskā** lauka raksturojošie lielumi.

Lādiņi pārvietojas svārstību kontūrā un rada mainīgu elektrisko un magnētisko lauku. **Elektriskais lauks veidojas kondensatorā** un **magnētiskais lauks veidojas spolē**. Pastāvīgi mainoties elektriskajam un magnētiskajam laukam, veidojas elektromagnētiskās svārstības, kas izplatās kā elektromagnētiskie viļņi.



2.8. att. Elektrisko svārstību cikls ideālā elektromagnētiskajā svārstību kontūrā. Attēloti momentānaais spriegums u uz kondensatora klājumam un momentānā strāva i , kas plūst caur spoli viena svārstību perioda laikā.

1. Uzlādētā kondensatorā ir uzkrāta elektriskā lauka enerģija.
2. Kondensators pakāpeniski izlādējas un caur spoli, kā rezultātā samazinās uzkrātais lādiņš kondensatorā un elektriskā lauka enerģija. Plūstošās izlādes strāvas stiprums spolē pakāpeniski pieaug, kā rezultātā spolē pieaug arī magnētiskais lauks. Tā tas turpinās līdz brīdim, kad kondensators ir izlādējies, bet strāva spolē ir sasniegusi maksimālo vērtību.
3. Kondensators ir pilnībā izlādējies, bet strāva spolē ir sasniegusi maksimālo vērtību. Sākotnējā kondensatora elektriskā lauka enerģija ir pilnībā pārveidojusies par spoles magnētiskā lauka enerģiju. Magnētiskais lauks inducē spolē pašindukcijas elektrodzinējspēku, kā rezultātā lādiņi neapstājas, kaut arī spriegums kondensatorā ir nulle.
4. Spoles pašindukcijas elektrodzinējspēka dēļ lādiņi turpina kustēties un pakāpeniski uzlādējas kondensators. Rezultātā palielinās kondensatora elektriskais lauks. Kondensatora elektriskais lauks darbojas pretī spoles pašindukcijas elektrodzinējspēkam un to pakāpeniski samazina līdz nullei. Rezultātā samazinās spoles magnētiskais lauks.
5. Kondensators ir pilnībā uzlādējies, bet spolē esošās strāvas vērtība ir nulle. Spoles magnētiskā lauka enerģija ir pilnībā pārveidojusies atpakaļ par kondensatora elektriskā lauka enerģiju. Tā kā kondensators ir uzlādējies pretējā virzienā, tad uzkrātā elektriskā lauka virziens ir pretējs sākotnējam.

Uzreiz pēc 5. punkta sākas kondensatora izlāde no jauna un process atkal atkārtojas tikai pretējā virzienā.

Ja spoles vada pretestība būtu vienāda ar nulli, tad svārstības kontūrā turpinātos bezgalīgi ilgi un to varētu saukt par ideālu svārstību kontūru. Bet tā kā spoles vadam ir pretestība, tas silst un katrā svārstību periodā daļa elektriskā lauka un magnētiskā lauka enerģijas pārvēršas siltumā un strāvas svārstību amplitūda samazinās.

Tāpēc, lai elektriskās svārstības uzturētu nerimstošas, kontūrā pastāvīgi ir jādarbojas “uzspiedējspēkam”.
Proti, ir jābūt ārējam enerģijas avotam, kas to nodrošina.

Jo lielāks ir svārstību kontūra kapacitātes C un induktivitātes L reizinājums, jo lielāks ir elektromagnētisko svārstību periods T .

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

T - periods, s

L - induktivitāte, H

C - kapacitāte, F

π - matemātiskā konstante 3,14

Ja ir zināms svārstību kontūra elektromagnētisko svārstību periods un viena no svārstību kontūra sastāvdaļām, tad var aprēķināta otru pārveidojot pamata formulu

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \Rightarrow L = \frac{T^2}{(2\pi)^2 C} \text{ un } C = \frac{T^2}{(2\pi)^2 L}$$

Frekvence ν ir apgriezti proporcionāla kapacitātes un induktivitātes reizinājuma saknei.

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow C = \frac{1}{(2\nu\pi)^2 L} \text{ un } L = \frac{1}{(2\nu\pi)^2 C}$$

Palielinot kondensatora kapacitāti 4 reizes, svārstību frekvence samazinās 2 reizes.

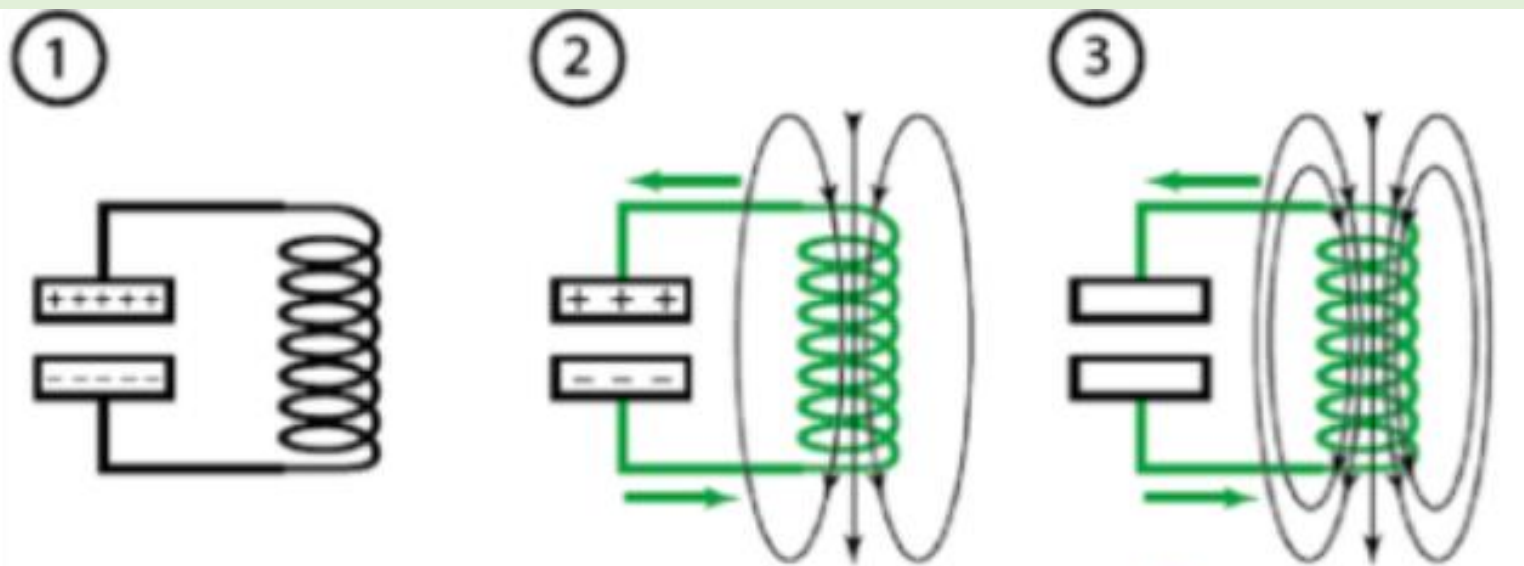
Notiekot elektromagnētiskām svārstībām elektriskā un magnētiskā lauka enerģija nepārtraukti pāriet no viena veida otrā, bet abu lauku enerģijas summa vienmēr ir nemainīga.

Elektriskā lauka enerģija koncentrējas kondensatorā. Tā ir atkarīga no kondensatora kapacitātes C un sprieguma U kvadrāta.

$$W_E = \frac{C \cdot U^2}{2}$$

Magnētiskā lauka enerģija koncentrējas spolē. Tā ir atkarīga no spoles induktivitātes L un strāvas stipruma I kvadrāta.

$$W_M = \frac{L \cdot I^2}{2}$$



**2. Elektriskā lauka enerģija samazinās.
Magnētiskā lauka enerģija palielinās**

1. Elektriskā lauka enerģija ir maksimālā, jo visa enerģija ir uzkrāta Uz kondensatora ir lādiņi, bet spolē neplūst strāva

3. Magnētiskā lauka enerģija ir maksimālā, jo visa enerģija ir uzkrāta spolē. Caur spoli plūst strāva, bet un uz kondensatora nav lādiņu.

Elektromagnētiskie viļņi ir viļņi, kuri rodas mainoties elektriskajam laukam noteiktā telpas punktā. Elektriskā lauka izmaiņas rodas, kad elektriskie lādiņi kustas telpā un rada vienmērīgas elektriskā un magnētiskā lauka izmaiņas, kuras izplatās telpā kā elektromagnētiskie viļņi.

Vispārīgā gadījumā elektromagnētiskie viļņi rodas, ja uzlādētas daļiņas (elektroni, protoni, joni, u. c.) telpā pārvietojas nevienmērīgi.

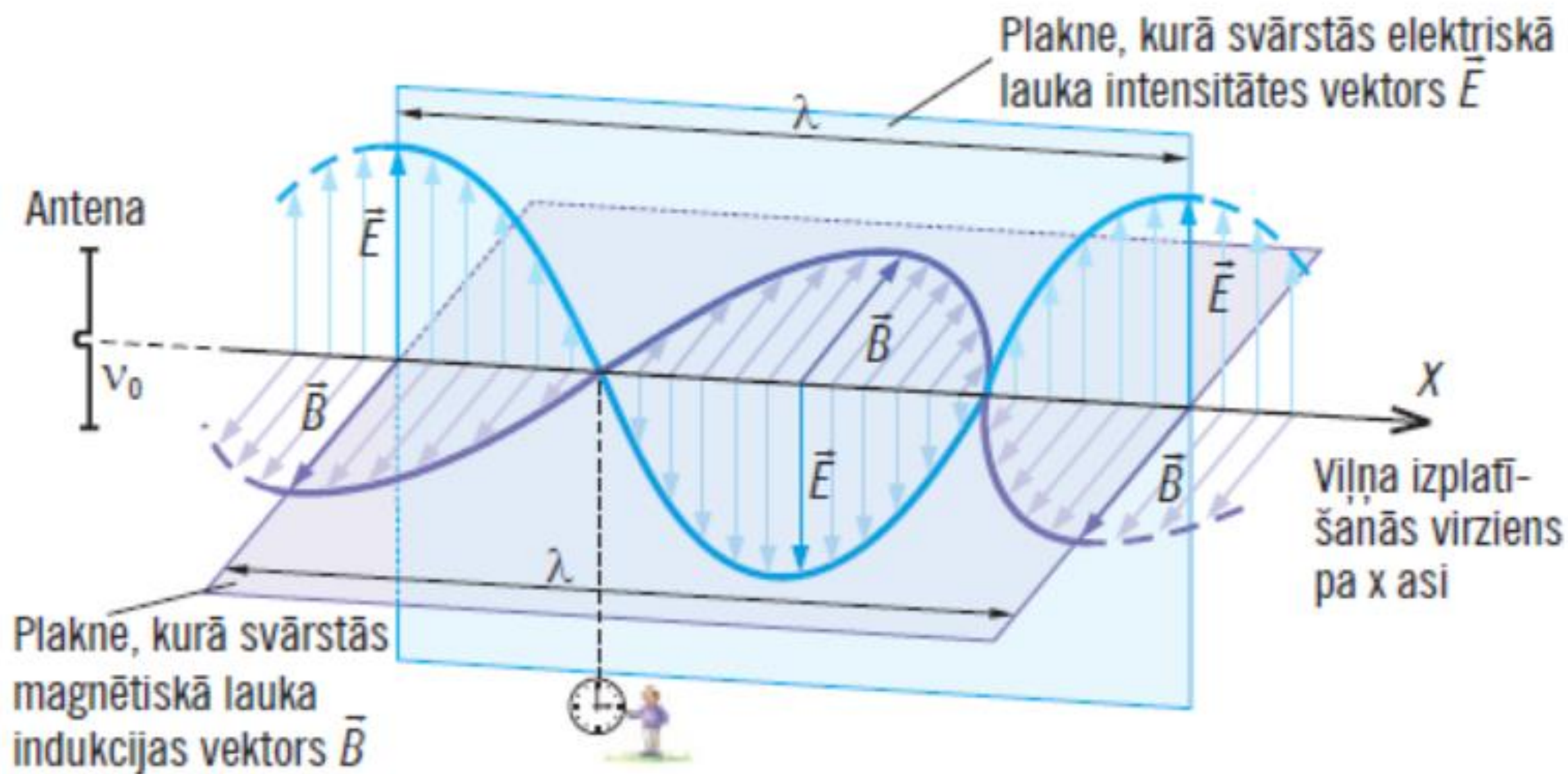
Atšķirībā no mums viegli sajūtamiem viļņiem piemēram, ūdens viļņiem un skaņas viļņiem, elektromagnētiskie viļņi spēj izplatīties arī vakuumā. Elektromagnētisko viļņu ātrums vakuumā ir aptuveni $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Elektromagnētiskā viļņa garums ir apgriezti proporcionāls svārstību frekvencei.

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

λ - elektromagnētiskā viļņa garums, m
 c - gaismas ātrums, $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
 ν - viļņa svārstību frekvence, Hz

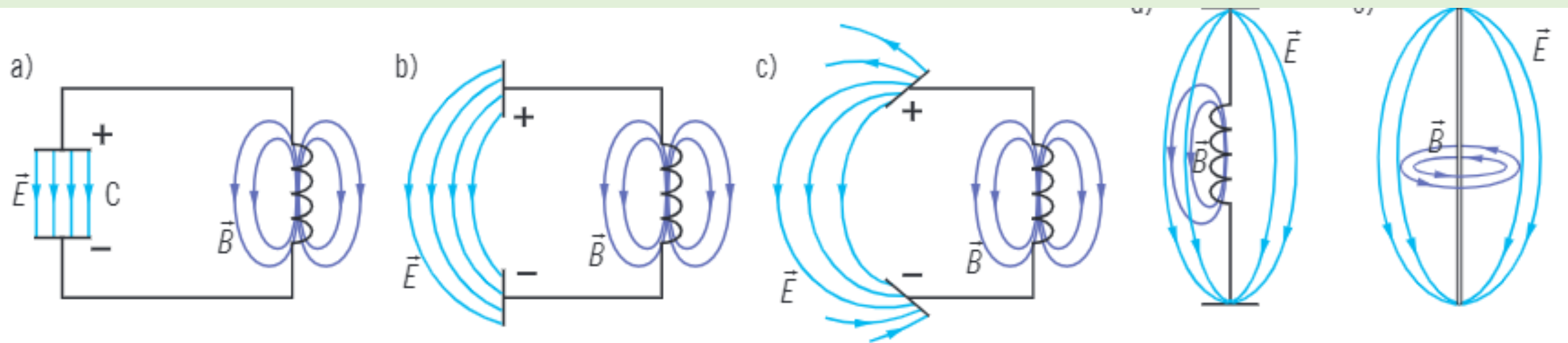
Ja vadītājā plūst maiņstrāva, tad ap to izplatās elektromagnētiskie viļņi. Elektromagnētiskajiem viļņiem izplatoties, katrā telpas punktā periodiski atkārtojas elektriskā lauka un magnētiskā lauka izmaiņas. Šie abi lauki rada laikā mainīgu elektromagnētisko lauku, kuru var attēlot ar elektriskā lauka intensitātes vektoru \vec{E} un magnētiskās indukcijas vektoru \vec{B} . To virzieni ir savstarpēji perpendikulāri.



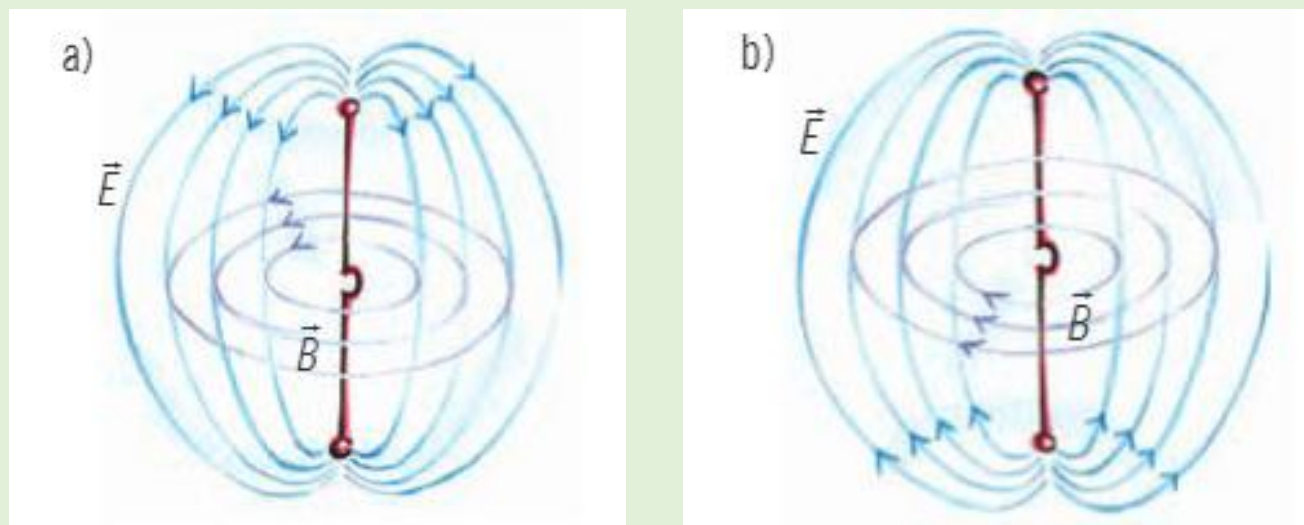
Elektromagnētiskajā vilnī tie lielumi, kuru vērtības svārstās, ir elektriskā lauka intensitāte E un magnētiskā lauka indukcija B . Šie abi vektori vienmēr svārstās viļņu frontes plaknē, paliekot perpendikulāri viļņa izplatīšanās virzienam. Elektromagnētiskais vilnis ir šķērsvilnis. Elektromagnētiskajā vilnī elektriskā lauka intensitātes vektors E un magnētiskā lauka indukcijas vektors B ir vērsti perpendikulāri viļņa izplatīšanās virzienam. Turklāt abu vektoru moduļu maiņa notiek takts taktī — tie svārstās vienādās fāzēs

Lai laikā mainīgie lauki varētu izplatīties apkārtējā telpā, noslēgtais svārstību kontūrs ir jāatver — tas jāpārvērš par elektromagnētisko viļņu antenu. Iedomāsimies, ka svārstību kontūra kondensatora klājumus atver līdzīgi kā rieksta čaumalas, pavēršot pretējos virzienos. Tad kontūrs kļūst vaļējs — no pozitīvā klājuma izejošās un negatīvajā klājumā ieejošās elektriskā lauka intensitātes līnijas aptver vaļējo kontūru un izplatās telpā. Kontūrā ir arī spoļe, kuras iekšienē koncentrējas magnētiskais lauks. Izstiepsim spoļes vadu taisni! Kas tad notiek ar spoļes magnētisko lauku? Tagad magnētiskā lauka indukcijas līnijas aptver vadu un, līdzīgi kā elektriskā lauka līnijas, izklīst apkārtējā telpā

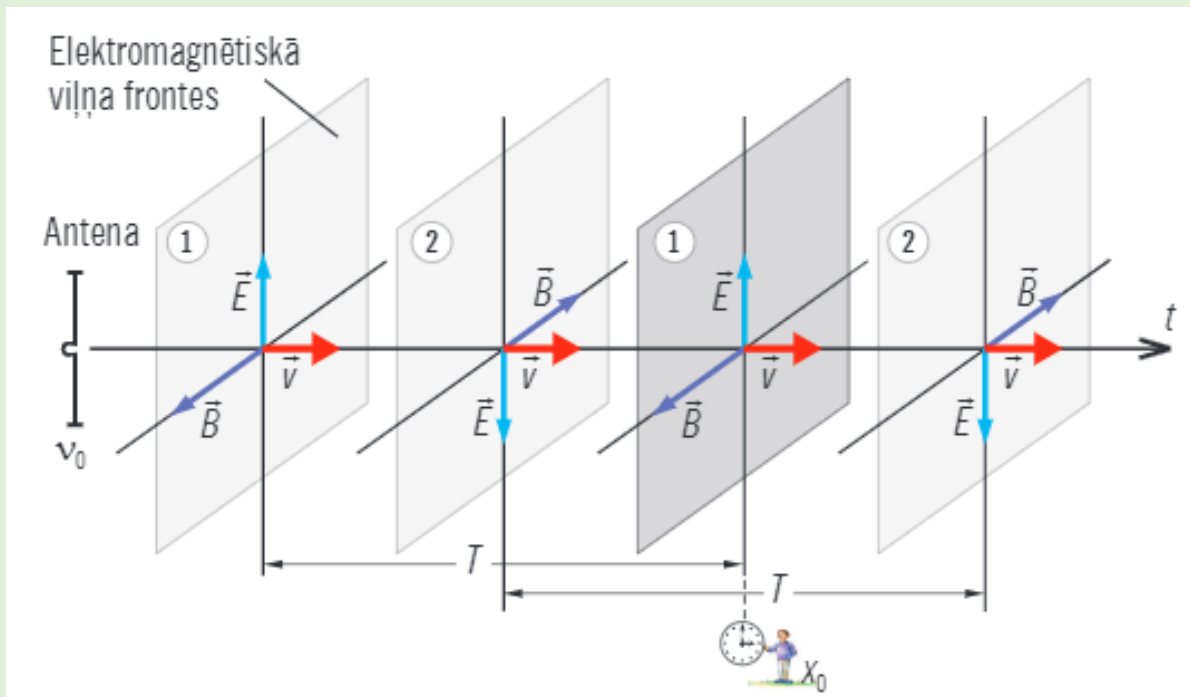
Teiktais, protams, ir iedomāta procedūra. Taču tā mēs varam iztēloties izveidotu vaļēju kontūru — antenu, kas telpā izstaro laikā mainīgu elektrisko un magnētisko lauku. Šāda antena būtībā ir vadītāja “stienītis”, kura galos, līdzīgi kā uz kondensatora klājumiem, elektriskais lādiņš periodiski maina zīmi. Vienlaikus pa antenas stienīti šurpu–turpu plūst mainīga elektriskā strāva. Atceroties, ka divus pēc lieluma vienādus, bet pretēju zīmju elektriskos lādiņus, ja tie atrodas kādā attālumā viens no otra, sauc par elektrisko dipolu, mūsu antena arī veido šādu dipolu. Tikai antenas dipols periodiski maina polaritāti.



2.11. att. Ilustrācija tam, kā pakāpeniski “atverot” svārstību kontūru, rodas elektromagnētisko viļņu antena.



2.12. att. Elektromagnētisko viļņu antena — laikā mainīgs elektriskais dipols. Ap to veidojas savstarpēji saistīti elektriskais un magnētiskais lauki, kas izplatās telpā. Attēlos a) un b) parādīts, kā ik pēc pusperioda mainās antenas lādiņu un tajā plūstošās strāvas polaritāte.



2.15. att. Stāvēt kādā punktā x_0 , viļņa ceļā var “ieraudzīt” garām skrejoša elektromagnētiskā viļņa secīgas frontes. Laiks, pēc kura atkārtojas vektoru \vec{E} un \vec{B} virziens un moduli, ir viļņa periods T . Var teikt arī, ka perioda laikā viļņa fronte noiet attālumu, kas vienāds ar viļņa garumu $\lambda = vT$.

Elektromagnētiskie viļņi izplatās gan vielās, gan arī tukšumā. Tā ir viena no galvenajām atšķirībām starp mehāniskajiem un elektromagnētiskajiem viļņiem. Mehāniskie viļņi ir vielas daļiņu kopējas, saskaņotas svārstības. Tukšumā, kur nav vielas, nepastāv arī mehāniskie viļņi. Skaņa, piemēram, vakuumā neizplatās. Elektriskais un magnētiskais lauks pastāv arī vakuumā. Tāpēc vakuumā izplatās arī elektromagnētiskie viļņi — Zeme

saņem Saules siltumstarojumu, Kosmosā var pārraidīt radio-siņālus, mēs redzam zvaigžņoto debesi. Tādu piemēru ir daudz. Vakuumā elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ātrums ir lielākais no iespējamajiem ķermeņu kustības vai viļņu izplatīšanās ātrumiem dabā. Tā kā redzamā gaisma arī izplatās kā elektromagnētiskais vilnis, tad var teikt, ka ātrāk par gaismu tukšā telpā nepārvietojas nekas. Gaismu, kas izplatās tukšumā, neviens nevar ne apsteigt, ne no tās aizbēgt.

Elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ātrums vakuumā ir viena no vissvarīgākajām fizikas konstantēm.

$$c = 299\,579\,278 \text{ m/s jeb } c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Kad elektromagnētiskais vilnis izplatās kādā nepārtrauktā vidē, piemēram, Zemi aptverošajā atmosfēras gaisā, tā izplatīšanās ātrums kļūst mazāks nekā vakuumā. Ne visās vielās elektromagnētiskie viļņi izplatās vienlīdz labi. Vielas, kas ir labi elektrības vadītāji, elektromagnētiskos viļņus vairāk absorbē nekā laiž cauri.

Elektromagnētiskajiem viļņiem caurspīdīgas vielas parasti ir labi dielektriķi, kuru elektriskās īpašības raksturo relatīvā dielektriskā caurlaidība ϵ . Tieši šīs konstantes lielums ietekmē elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ātrumu

Tāpēc šādās vielās elektromagnētisko viļņu ātrumu nosaka pēc formulas

Elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ātrums vidē $v = \frac{c}{n}$ ir mazāks nekā vakuumā $n = \sqrt{\epsilon}$ reizes, kur ϵ — vielas relatīvā dielektriskā caurlaidība.

Elektromagnētisko viļņu ātruma samazināšanās dielektriskā vidē var izrādīties pavisam neliela. Piemēram, sausa gaisa relatīvā dielektriskā caurlaidība ļoti maz atšķiras no viena ($\epsilon \approx 1,0006$). Tāpēc ar lielu precizitāti var pieņemt, ka elektromagnētisko viļņu ātrums gaisā neatšķiras no ātruma vakuumā, ko tā arī darām daudzu uzdevumu risināšanā.

Ir tā, ka vielas relatīvā dielektriskā caurlaidība nav gluži nemainīga. Tā mainās atkarībā no elektromagnētiskā viļņa garuma λ (jeb viļņa svārstību frekvences n). Tāpēc arī dažāda viļņu garuma elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ātrumi v izrādās atšķirīgi. Sevišķi būtiski tas kļūst augstas frekvences elektromagnētiskiem viļņiem, piemēram, gaismai. Šo parādību dēvē par viļņu dispersiju, kas ir daudzu optisko parādību cēlonis.

Elektromagnētisko viļņu frekvence ir atkarīga no tā, kāda antena viļņus izstaro. Ļoti zemas frekvences viļņiem, ko apkārtējā vidē izstaro rūpnieciskās maiņstrāvas līnijas, svārstību frekvence ir tikai 50 Hz. Ar tādu frekvenci, kā zināms, līnijās svārstās maiņstrāvas spriegums un strāvas stiprums. Izmantojot GSM mobilos telefonus, sarunas tiek pārraidītas ar elektromagnētiskajiem viļņiem, kuru frekvence ir 900 MHz un 1800 MHz. Bet radioaktīvo atomu kodolu emitētajā gamma starojumā, kas arī ir elektromagnētiskie viļņi, svārstību frekvence sasniedz 10 (divdesmitajā pakāpē) Hz un vairāk. Tik atšķirīgu frekvenču svārstībām ir arī tikpat atšķirīgas īpašības. Šīs īpašības izpaužas gan elektromagnētisko viļņu mijiedarbībā ar vielu, gan viļņu uztveršanas iespējās un izmantošanā.

Svārstību frekvence ir tikai viens no lielumiem, pēc kura “sakārtot” elektromagnētiskos viļņus. Otrs lielums, kas tāpat raksturo vilni, ir viļņa garums .

Piemēram, maiņstrāvas līnijas izstaroto elektromagnētisko viļņu garums aptuveni ir 6000 km. Šādā vilnī elektriskā lauka intensitātes E un magnētiskā lauka indukcijas B vērtību atkārtējos ik pēc viļņa garuma varētu konstatēt tikai tad, kad vilnis būtu šķērsojis teju vai visu Eiropas kontinentu.

Viļņiem, ko novērojam uz ūdens virsmas, viļņa garums ir mērāms metros un centimetros. Elektromagnētiskos viļņus ar tādu viļņa garumu izstaro TV un radoraidītāju antenas. Piemēram, mobilā telefona raidītāja (900 MHz, 1800 MHz) izstarotā viļņa garums ir aptuveni 30 cm vai 15 cm.

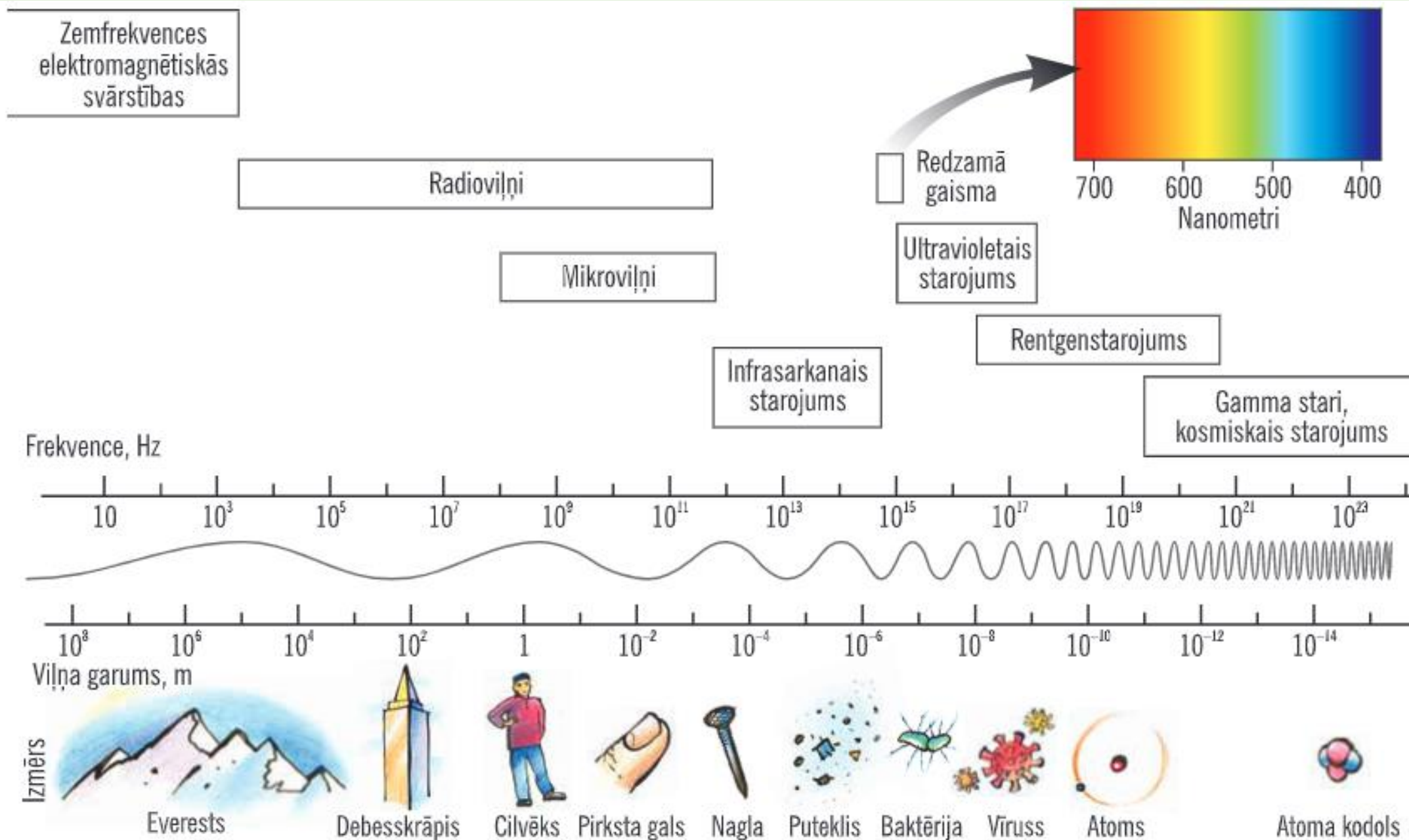
Raugoties uz visu šo elektromagnētisko viļņu lielo dažādību, lietderīgi tos sakārtot **diapazonos**, dodot diapazoniem atpazīstamus nosaukumus. Lai gan uzreiz saprotams, ka šāds sakārtojums ir visai nosacīts, bez krasi izteiktām diapazonu robežām.

Liels frekvenču apgabals, kam atbilstošie viļņa garumi mērāmi sākot no kilometriem (10^3 m) līdz pat milimetriem (10^{-4} m), bieži tiek saukts vienā kopējā vārdā par **radioviļņiem**. Uz Zemes šo viļņu ģeneratori ir dažādas radiotehniskās un elektroniskās ierīces. Viena no nozīmīgākajām šo viļņu izmantošanas sfērām ir sakaru uzturēšanas un informācijas apmaiņas tehnoloģijas (radio, TV, mobilie un kosmiskie sakari, navigācija).

Frekvencei palielinoties un viļņa garumam atbilstoši samazinoties, uz skalas aiz radioviļņiem iezīmējas diapazons, ko dēvē par **gaismas viļņiem**. Šajā diapazonā atrodas mums ļoti nozīmīgs elektromagnētisko viļņu veids — redzamā gaisma, kuru spēj uztvert mūsu acis.

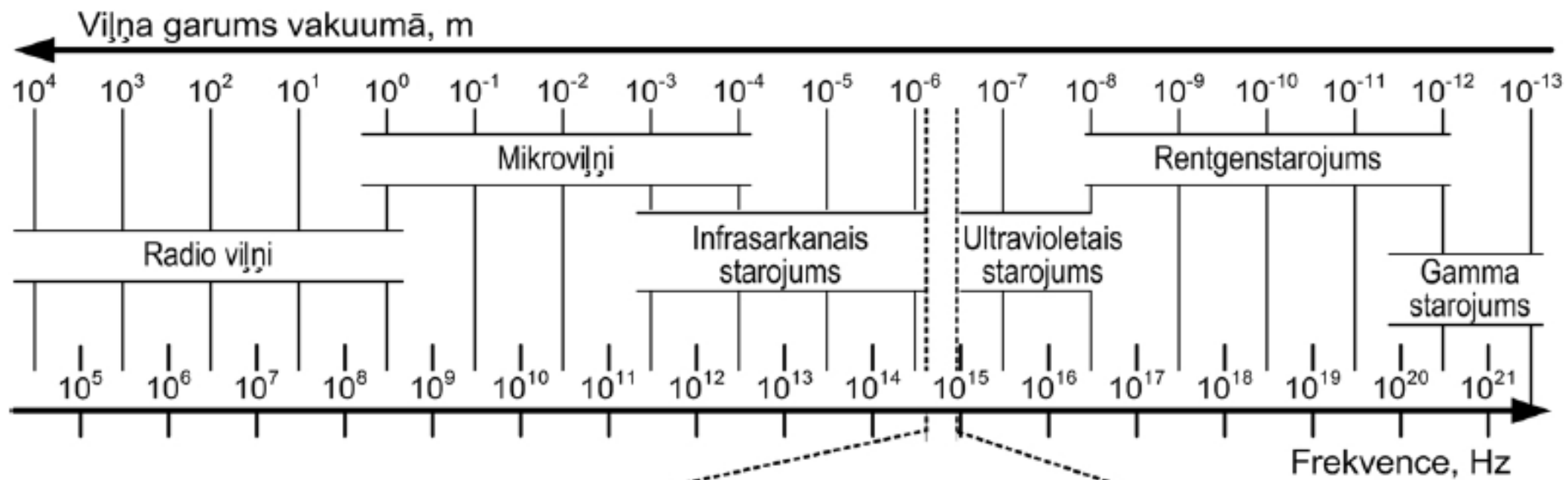
Gaismas viļņus, kuru viļņa garums ir lielāks nekā redzamajai gaismai, sauc par **infrasarkano starojumu** (IS) jeb siltuma stariem. Savukārt, viļņa garumam kļūstot mazākam, redzamā gaisma pāriet **ultravioletajā starojumā**.

Noslēdzošais elektromagnētisko viļņu skalas apgabals sākas ar rentgenstarojumu jeb **rentgenstariem**, ko izstaro gan vielas atomi, gan atomu kodoli. Tas, savukārt, pāriet **gamma starojumā**, ko emitē atomu kodoli. Jāpiebilst, ka gan rentgenstarojumam, gan vēl jo vairāk gamma starojumam, to superaugstās frekvences dēļ piemīt liela enerģija. Dabiskie rentgenstarojuma un gamma starojuma avoti uz Zemes veido radioaktīvā starojuma fonu, pie kura dzīvā daba savā evolūcijā ir pielāgojusies. Turpretī šo starojumu izraisošās iekārtas, piemēram, medicīnā lietotās rentgena iekārtas un enerģētikā izmantotie kodolreaktori, prasa rūpīgu aizsardzību.



2.18. att. Elektromagnētisko viļņu skala.

Elektromagnētisko viļņu skala



Redzamais starojuma diapazons

