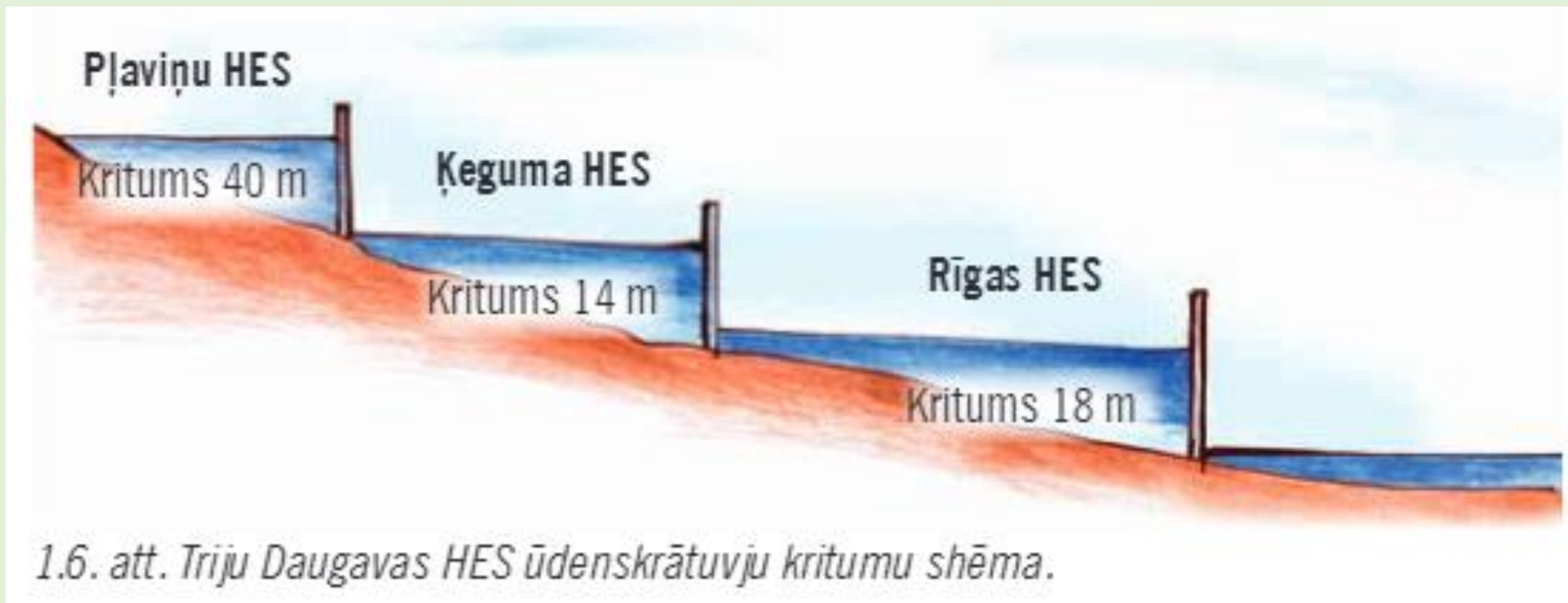
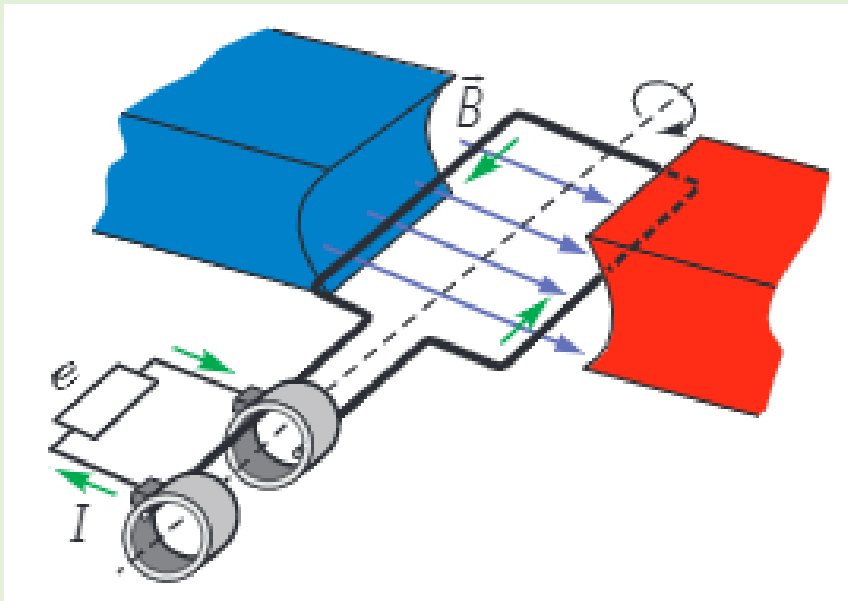


MAIŅSTRĀVA

Ražošanai, lauksaimniecībai, transportam un citām tautsaimniecības jomām nepieciešamo elektroenerģiju ražo maiņstrāvas ģeneratori. Arī sadzīvē izmantojamās ierīces pārsvarā darbina maiņstrāvas ģeneratoru ražotā maiņstrāva.



Mainstrāvas virziens un lielums periodiski mainās laikā **pretējos virzienos**. Lai elektriskajā ķēdē plūstu maiņstrāva, tajā jādarbojas periodiski mainīgam elektrodzinējspēkam. Tad elektriskā lauka intensitāte vadītājā periodiski maina virzienu un tā kustas arī vadītājā esošie un strāvu veidojošie brīvie elektroni. Mainīga virziena elektrodzinējspēku rada maiņstrāvas ģenerators.

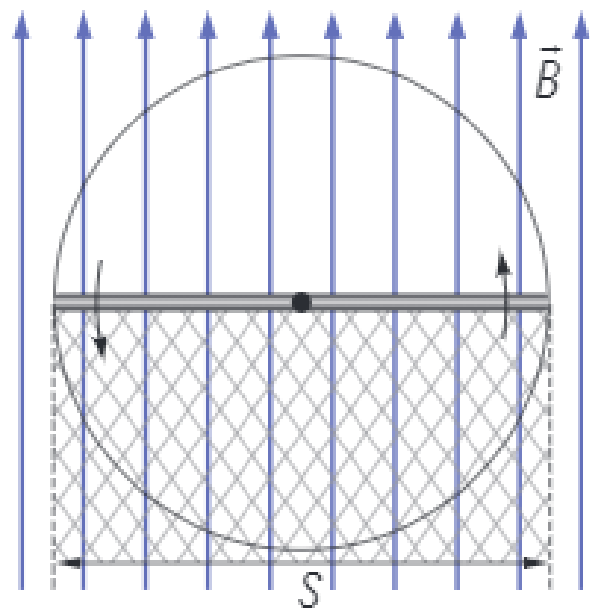


Vienkāršu maiņstrāvas ģeneratoru iegūst, liekot rāmītim vienmērīgi rotēt homogēnā magnētiskajā laukā B . Piemēram, rāmīti ievieto starp magnēta poliem un griež to ap garenasi. Tad rāmīša plakni šķērso laikā periodiski mainīga magnētiskā plūsma Φ . Rāmīša izvadus savieno ar īpašiem kontaktgredzeniem, kas rotē kopā ar rāmīti. Šie kontaktgredzeni kalpo par elektroenerģijas avota poliem. Tos patērētāja elektriskajai ķēdei pievieno arī pašiem elektrodziem, gar kuriem slīd gredzeni.

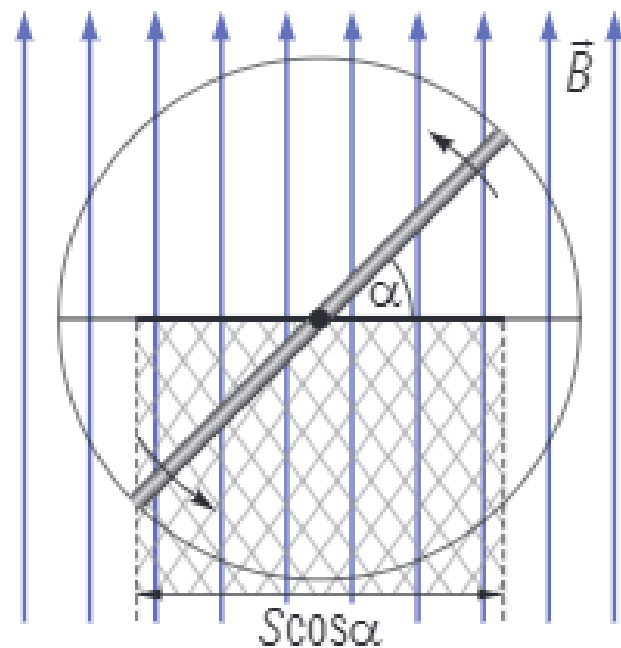
Mainstrāvas ģenerators darbojas pēc elektromagnētiskās indukcijas likuma $\mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Pēc tā var izsekot, kā mainās vada rāmīti caurtverošā magnētiskā plūsma Φ , kontūrā radot pēc virziena un lieluma laikā mainīgu elektrodzinējspēku \mathcal{E} .

Rāmīša rotācijas pirmais ceturtdaļperiods $t = \frac{T}{4}$ beidzas tad, kad rāmīša plakne nostājas paralēli magnētiskā lauka indukcijas līnijām (1.10. att.). Tad leņķis $\alpha = \frac{\pi}{2}$ un šajā mirklī magnētiskā plūsma $\Phi = \Phi_m \cos \frac{\pi}{2} = 0$ caur rāmīša plakni izzūd. Toties magnētiskās plūsmas maiņas ātrums $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ un indukcijas elektrodzinējspēks \mathcal{E} sasniedz maksimālo vērtību $\mathcal{E}_m = \frac{2\pi}{T}BS$.

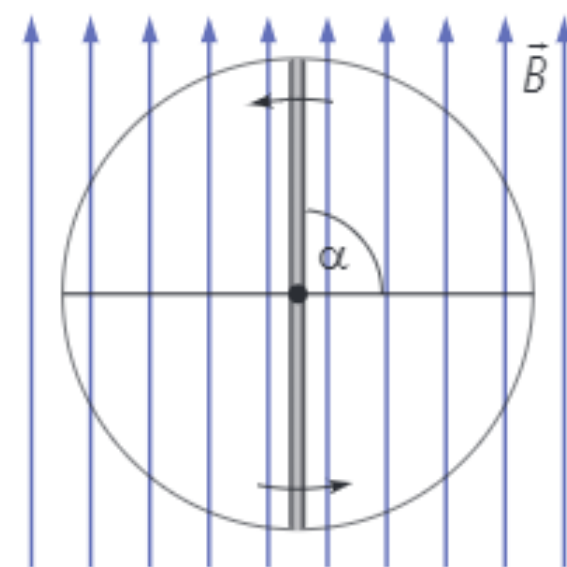
Rāmīša rotācijas perioda otrajā ceturtdaļā magnētiskā plūsma Φ no nulles atkal pieaug līdz maksimālajai vērtībai Φ_m , bet plūsmas maiņas ātrums $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ un elektrodzinējspēks \mathcal{E} samazinās no maksimālās vērtības līdz nullei. Pēc pusperioda, laika momentā $t = \frac{T}{2}$, rāmītis atkal stāv perpendikulāri magnētiskā lauka indukcijas līnijām. Taču tā garenmalas ir mainījušās vietām. Tāpēc otrajā pusperiodā no laika momenta $t = \frac{T}{2}$ līdz $t = T$ mainās elektrodzinējspēka darbības virziens,



1.8. att. Kad rāmīša plakne ir perpendikulāra magnētiskā lauka indukcijas \vec{B} līnijām, magnētiskā lauka plūsma $\Phi_m = BS$ ir maksimālā, bet tās izmaiņas ātrums $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0$. Šajā stāvoklī, laika momentā $t = 0$, rāmītī elektrodzinējspēks nerodas, jo pēc elektromagnētiskās indukcijas likuma $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ iegūst, ka elektrodzinējspēks $\mathcal{E} = 0$.

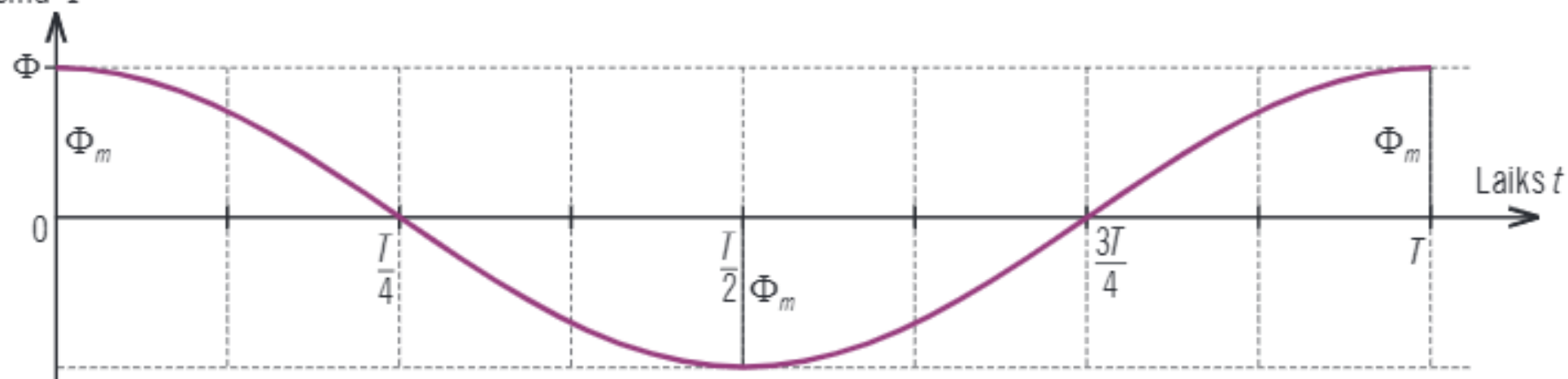


1.9. att. Rāmītī pagriežoties par leņķi α , magnētiskā lauka plūsma caur to kļūst mazāka $\Phi = \Phi_m \cos \alpha$, toties magnētiskās plūsmas izmaiņas ātrums $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ir palielinājies.



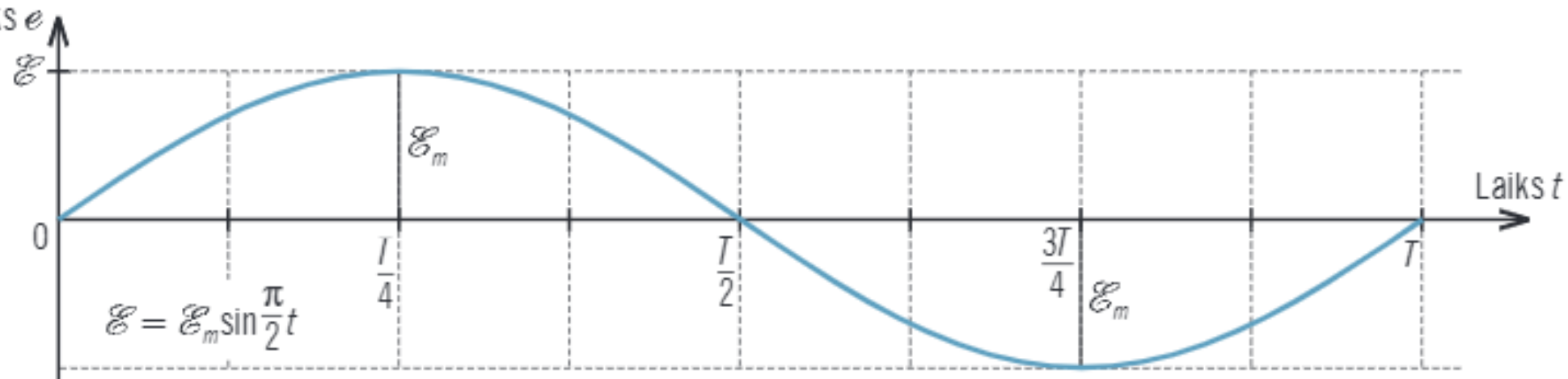
1.10. att. Rāmītī atrodoties paralēli magnētiskā lauka indukcijas \vec{B} līnijām, $\alpha = \frac{\pi}{2}$, magnētiskā lauka plūsma caur to ir $\Phi = 0$, taču šajā momentā $t = \frac{T}{4}$ magnētiskā lauka plūsmas izmaiņas ātrums $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ir vislielākais un indukcijas elektrodzinējspēks \mathcal{E} ir maksimālais.

Magnētiskā plūsma Φ



c)

Elektrodzinājspēks \mathcal{E}



Laika moments t	0	$\frac{T}{8}$	$\frac{T}{4}$	$\frac{3T}{8}$	$\frac{T}{2}$	$\frac{5T}{8}$	$\frac{3T}{4}$	$\frac{7T}{8}$	T
Pagrieziena leņķis α , radiānos	0	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{4}$	π	$\frac{5\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{2}$	$\frac{7\pi}{4}$	2π
Pagrieziena leņķis α , grādos	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	360°
Magnētiskā plūsma Φ	Φ_m	$\frac{\sqrt{2}}{2}\Phi_m$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}\Phi_m$	$-\Phi_m$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}\Phi_m$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2}\Phi_m$	Φ_m
Elektrodzinēj-spēks e	0	$\frac{\sqrt{2}}{2}\mathcal{E}_m$	\mathcal{E}_m	$\frac{\sqrt{2}}{2}\mathcal{E}_m$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}\mathcal{E}_m$	$-\mathcal{E}_m$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}\mathcal{E}_m$	0

1.12. att. Rāmītim rotējot pretēji pulkstenrādītāju virzienam, perioda T laikā tas pagriežas par 2π radiāniem jeb 360° . Attēlos a) un b) redzams, kā perioda laikā mainās magnētiskā lauka plūsma Φ caur rāmīša plakni, bet attēlos c) un d) redzams, kā mainās rāmītī inducētais elektrodzinēj-spēks.

Lai nerastos problēmas visu hidroelektrostaciju, termoelektrostaciju un citu stacionāro ģeneratoru darbības saskaņošanā, to “strāvas rāmīšiem” — rotoriem — jāgriežas sinhroni un ar vienu, norunātu frekvenci ν . Proti, tiem jāražo vienādas frekvences maiņstrāva.

Elektroenerģijas pārvades tīklos plūstošo maiņstrāvu sauc par *rūpniecisko maiņstrāvu*. Eiropas valstīs, tāpat arī Latvijā, rūpnieciskās maiņstrāvas frekvence ir 50 herci ($\nu = 50 \text{ Hz}$). Amerikas Savienotajās Valstīs tā ir 60 Hz.

Protams, maiņstrāvu frekvences var būt visdažādākās, atkarībā no tā, kādam mērķim konkrētais ģenerators kalpo. Frekvence var būt gan kilohercu ($1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$), gan megahercu ($1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$) liela, gan arī daudz lielāka. Rūpniecisko maiņstrāvu dēvē par zemfrekvences maiņstrāvu. Tās periods $T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ sekundes}$ ($T = 0,02 \text{ s}$). Tās nozīmē,

Tas nozīmē, ka vadā, pa kuru plūst rūpnieciskā maiņstrāva, brīvo **elektronu plūsmas virziens 100 reizes sekundē maina virzienu uz pretējo**. Brīvo elektronu pārvietošanās ātrums metālos nav liels — tikai dažus centimetrus sekundē. Tāpēc vadā, pa kuru plūst rūpnieciskā maiņstrāva, elektroni drīzāk svārstās šurpu-turpu, nevis plūst, kā tas mums dažkārt saistās ap priekšstatu par elektrisko strāvu. Rūpnieciskās maiņstrāvas trīs galvenie raksturlielumi ir **momentānais elektrodzinējspēks**, **momentānais spriegums** un **momentānais maiņstrāvas stiprums i** . Šie lielumi laikā t mainās periodiski un tos var izteikt ar sinusa funkciju $\sin \alpha$. Periodiskās sinusa funkcijas argumentu — leņķi α — mēra radiānos. Šī leņķa α atkarību no laika momenta t var izteikt vienā no trijiem veidiem. Ja maiņstrāvas raksturošanai izmanto tās periodu T , tad sinusa funkcijas arguments

$$\alpha = \frac{2\pi}{T}t, \text{ ja izmanto maiņstrāvas frekvenci } \nu = \frac{1}{T}, \text{ tad } \alpha = 2\pi\nu t, \\ \text{bet, ja izmanto ciklisko frekvenci } \omega = 2\pi\nu, \text{ tad } \alpha = \omega t.$$

$$e = \mathcal{E}_m \sin \omega t \\ i = I_m \sin \omega t \\ u = U_m \sin \omega t$$

e, i, u — momentānās vērtības
 \mathcal{E}_m, I_m, U_m — maksimālās jeb
amplitūdas vērtības
 $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ — cikliskā frekvence
 t — laika moments, kurā aplūko
momentāno vērtību

Tādējādi momentānais elektrodzinējspēks, kas rodas ģeneratorā, mainās laikā pēc likuma

Tikpat strauji svārstās maiņstrāvas patērētāju, piemēram, elektromotoru, sildelementu un elektrisko spuldžu saņemtā momentānā jauda. Momentānās jaudas simtreizīga svārstīšanās vienas sekundes laikā nav īpaši pamanāma. Svarīgs ir tikai gala iznākums — pastrādātais darbs vai iegūtais siltuma daudzums kādā ilgākā, kaut vai sekundes laikā. Mēs nemanām, ka elektriskā spuldze mirgo, jo kvēldiegs sekundes simtdaļas laikā nepaspēj atdzist un no jauna uzkarst. Arī daudziem citiem maiņstrāvas patērētājiem ir inerces, un tie “nereagē” uz rūpnieciskās maiņstrāvas pulsēšanu. Tāpēc, lai raksturotu maiņstrāvas “enerģētisko” darbību, izmanto nevis sprieguma un strāvas stipruma momentānās vērtības u un i , bet tā sauktās maiņsprieguma un maiņstrāvas efektīvās vērtības. Tās izraugās, salīdzinot maiņstrāvu un līdzstrāvu pēc to siltumdarbības. Tāpēc arī maiņstrāvas efektīvo vērtību apzīmēšanai izvēlas līdzstrāvas simbolus — efektīvais spriegums ir U , bet efektīvais strāvas stiprums — I .

$$\mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}_m}{\sqrt{2}}$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

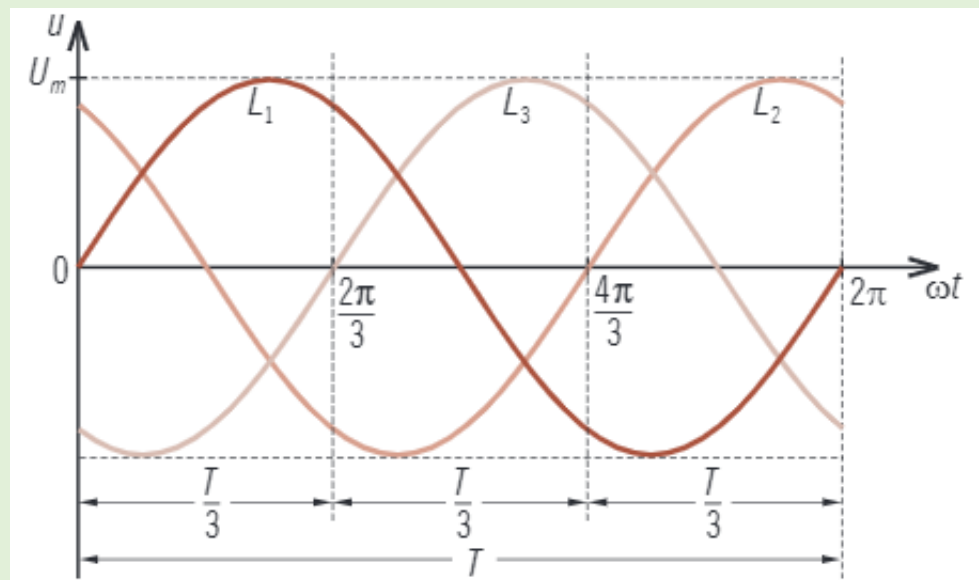
$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

\mathcal{E}, U, I — elektrodzinējspēka,
sprieguma un stipruma
efektīvās vērtības

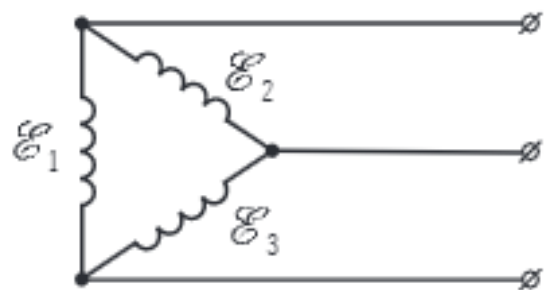
\mathcal{E}_m, U_m, I_m — elektrodzinējspēka,
sprieguma un stipruma
maksimālās jeb
amplitūdas vērtības

Kad saka, ka sadzīves elektriskā tīkla spriegums ir 230 V, ar to saprot maiņstrāvas efektīvo spriegumu. Tātad tīklā maiņsprieguma maksimālā vērtība ir apmēram 1,41 reizes lielāka par 230 V un sasniedz $U_m = \sqrt{2}U \approx 325$ V. Šī vērtība spriegumam piemīt ik pēc katrām 0,01 sekundēm, un ar to lietotājam jārēķinās.

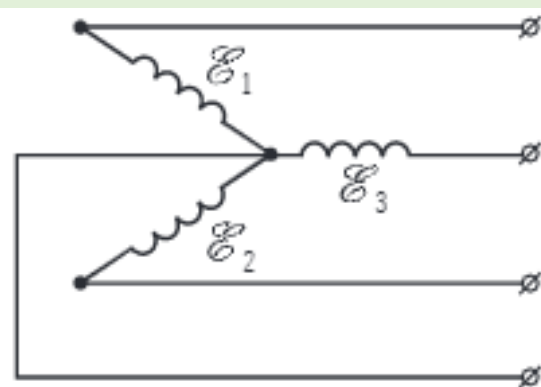
Rūpnieciski ražoto 50 Hz maiņstrāvu elektrostacijās iegūst kā trīsfāzu maiņstrāvu. Trīsfāzu maiņstrāva jau kopš elektroenerģētikas aizsākumiem 19. gadsimta beigās joprojām ir pasaulē izplatītākais elektroenerģijas iegūšanas, pārvadīšanas un patērēšanas paņēmieni. Vienkāršākajā trīsfāzu maiņstrāvas ģeneratora statora korpusā atrodas trīs vienādi tinumi, kuri izvietoti tā, lai rotora magnētiskā lauka ietekmē inducēto elektrodzinējspēku fāzes atšķirtos par 120° . Ja katram no ģeneratora trijiem tinumiem pievieno paterētāju, tad katrā no tiem plūst maiņstrāva, ko sauc par maiņstrāvas fāzi. Fāzes apzīmē ar burtiem L1, L2 un L3.



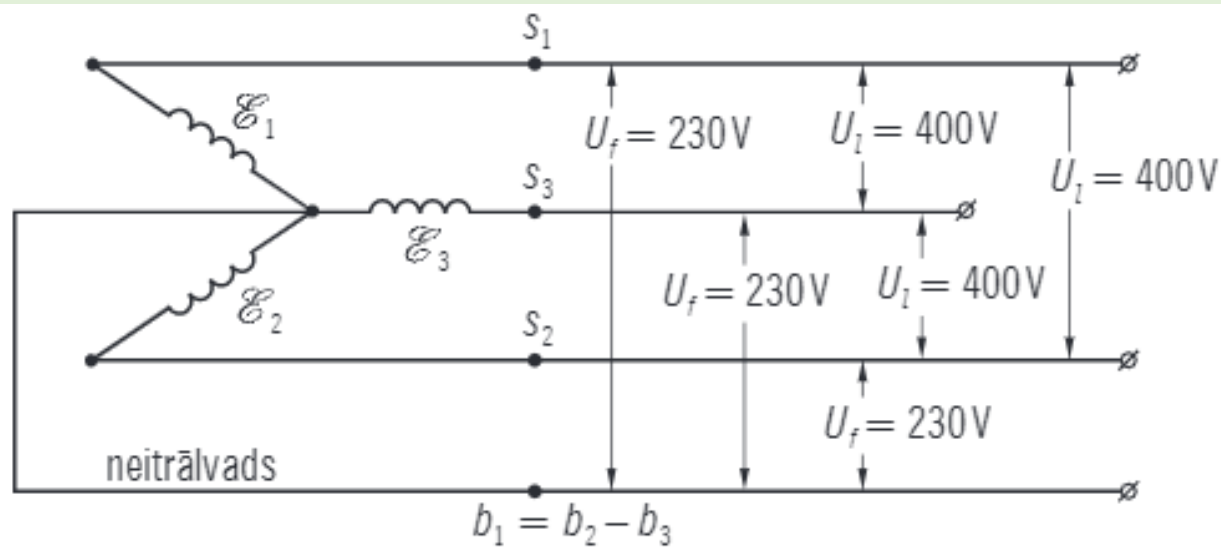
Šeit un turpmāk runāsim tikai par sprieguma un strāvas stipruma efektīvajām vērtībām U un I . Trīsfāzu maiņstrāvas iezīme ir tā, ka jebkurā laika momentā visās trijās fāzēs plūstošo strāvu algebriskā summa ir vienāda ar nulli. Tāda trīsfāzu maiņstrāvas īpašība izrādās ērta elektrisko tīklu būvēšanā. Trīsfāzu maiņstrāvas elektropārvades līnijām pietiek ar trim vai četriem vadiem. Trīsfāzu maiņstrāvas ģeneratoru tinumus var saslēgt divējādi — trīsstūra vai zvaigznes slēgumā. Trīsstūra slēguma shēmā elektroenerģijas pārvades līnijai ir trīs vadi. Zvaigznes slēgumā pārvades līnijai var būt gan trīs, gan četri vadi.



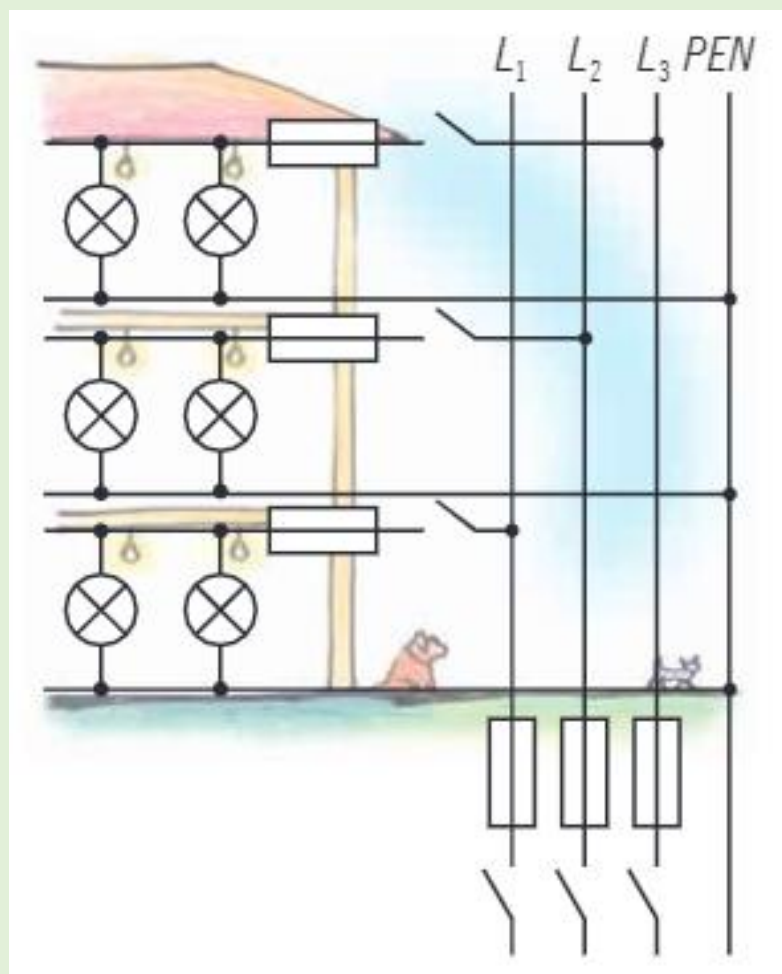
1.49. att. Ģenerators tinumu trīsstūra slēguma shēma.



1.50. att. Ģenerators tinumu zvaigznes slēguma shēma.



Spriegumu starp līnijas vadu un neitrālvadu sauc par **fāzes spriegumu** U_f , bet spriegumu starp diviem līnijas vadiem — par **līnijas spriegumu** U_l . Fāzes un līnijas spriegumus saista sakarība $U_f = \frac{U_l}{\sqrt{3}}$. Fāzes spriegumi ir 230 V, bet līnijas spriegumi ir 400 V.



1.52. att. Trīsstāvu mājas kāpņu telpas apgaismojuma shēma.

PEN (angļu val. protective earth nill) — aizsargneitrālvads, sastāv no diviem vadiem — neitrālvada (N vads) un aizsargvada (PE vads).

Garu elektroenerģijas pārvades līniju galvenais uzdevums ir pārvadīt elektroenerģiju tā, lai būtu iespējami mazāki jaudas zudumi siltuma veidā, ko pēc Džoula Lenca likuma elektroenerģijas pārvades līnija neizbēgami izkliedē apkārtnē. Pastāv divas iespējas, kā šos zudumus samazināt. Var palielināt elektrības vadu šķērsriezuma laukumu S

Cita iespēja ir daudz perspektīvāka — var samazināt pārvades līniju vados plūstošās strāvas stiprumu I . Arī tad strauji samazinās siltuma zudumi

$$Q = I^2 R t$$

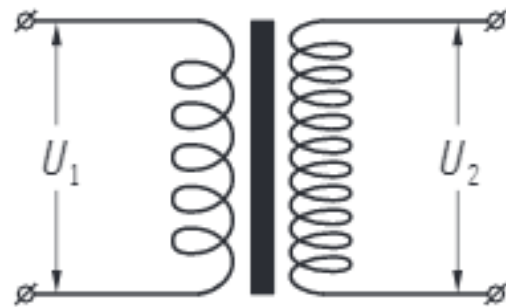
jauda ir proporcionāla strāvas stipruma kvadrātam. Taču, lai nesamazinātu pa līniju pārvadīto jaudu $S = IU$, ir jāpaaugstina spriegums U .

Piemēram, nemainot pa līniju pārvadīto jaudu, bet palielinot spriegumu 10 reizes, strāvas stiprums jau var būt 10 reizes mazāks. Tad jaudas zudumi, ko rada vadu sasilšana, samazinās jau 100 reizes.

Vairumā elektrostaciju trīsfāzu maiņstrāvas ģeneratori ražo maiņstrāvu, kuras spriegums nepārsniedz 25 kilovoltus. Lielāku spriegumu iegūt no ģenerators tehnisku iemeslu dēļ izrādās sarežģīti. Taču, lai atmaksātos elektroenerģijas pārvadīšana lielos attālumos, šāds spriegums izrādās par zemu. Tāpēc pirms elektroenerģiju pārvada pa līniju, maiņstrāvas spriegumu vēl vairākkārt paaugstina. Pēc tam, kad elektroenerģija ir sasniegusi lietotāju, maiņspriegumu nākas vairākkārt pazemināt līdz sadzīves elektroierīcēm vajadzīgajam spriegumam. Maiņsprieguma paaugstināšana un pazemināšana nepieciešama ne tikai elektroenerģijas pārvadei pa elektrolīnijām. Tā nepieciešama gandrīz visās elektroniskajās ierīcēs — radioaparātos, televizoros, gāzizlādes lampās un daudzviet citur. Maiņspriegumu pārveido **transformatori**. Tie darbojas sākot no lielām stacionārām augstsprieguma iekārtām transformatoru apakšstacijās, līdz pat shēmām miniatūrās elektroniskajās ierīcēs.

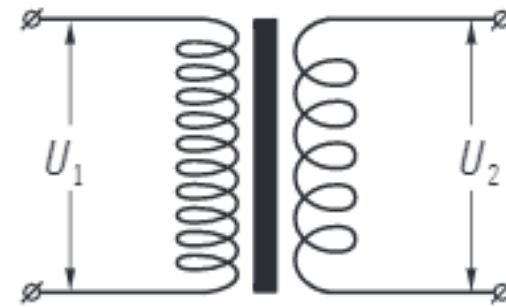
Transformators ir ierīce, kas pārveido maiņspriegumu, nemainot tā frekvenci.

Vienkāršu transformatoru veido uz feromagnētiska materiāla serdes uztīti divi izolētu vadu tinumi. Transformatoru darbību nosaka elektromagnētiskās indukcijas likums. Ja vienā no tinumiem plūst maiņstrāva, tad pa feromagnētisko serdi abus tinumus caurtver laikā mainīga magnētiskā plūsma Φ . Tāpēc otrajā tinumā inducējas laikā mainīgs elektrodzinējspēks ja to pievieno patērētājam, tajā plūst maiņstrāva. To transformatora tinumu, ko pieslēdz elektroenerģijas avotam, sauc par **primāro tinumu**. Otru tinumu, ko pieslēdz patērētājam, sauc par **sekundāro tinumu**. Sekundārie tinumi var būt arī vairāki



$$k = \frac{U_1}{U_2} < 1 \quad k = \frac{N_1}{N_2} < 1$$

1.55. att. Spriegumu paaugstinošs transformators.



$$k = \frac{U_1}{U_2} > 1 \quad k = \frac{N_1}{N_2} > 1$$

1.56. att. Spriegumu pazeminošs transformators.

Noskaidrosim, kā transformators pārveido maiņstrāvas spriegumu! Zināms, ka spolē radušais elektrodzinējspēks ir proporcionāls tās vijumu skaitam.

$$\mathcal{E}_1 = N_1 \mathcal{E}$$

$$k = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2}$$

sauc par **transformācijas koeficientu**.

Ievietojot tajā elektrodzinējspēku izteiksmes, iegūst, ka transformācijas koeficientu nosaka **vijumu skaita attiecība** transformatora **primārajā** un **sekundārajā** tinumos

$$k = \frac{N_1}{N_2}.$$

$$k = \frac{N_1}{N_2}$$

k — transformācijas koeficients

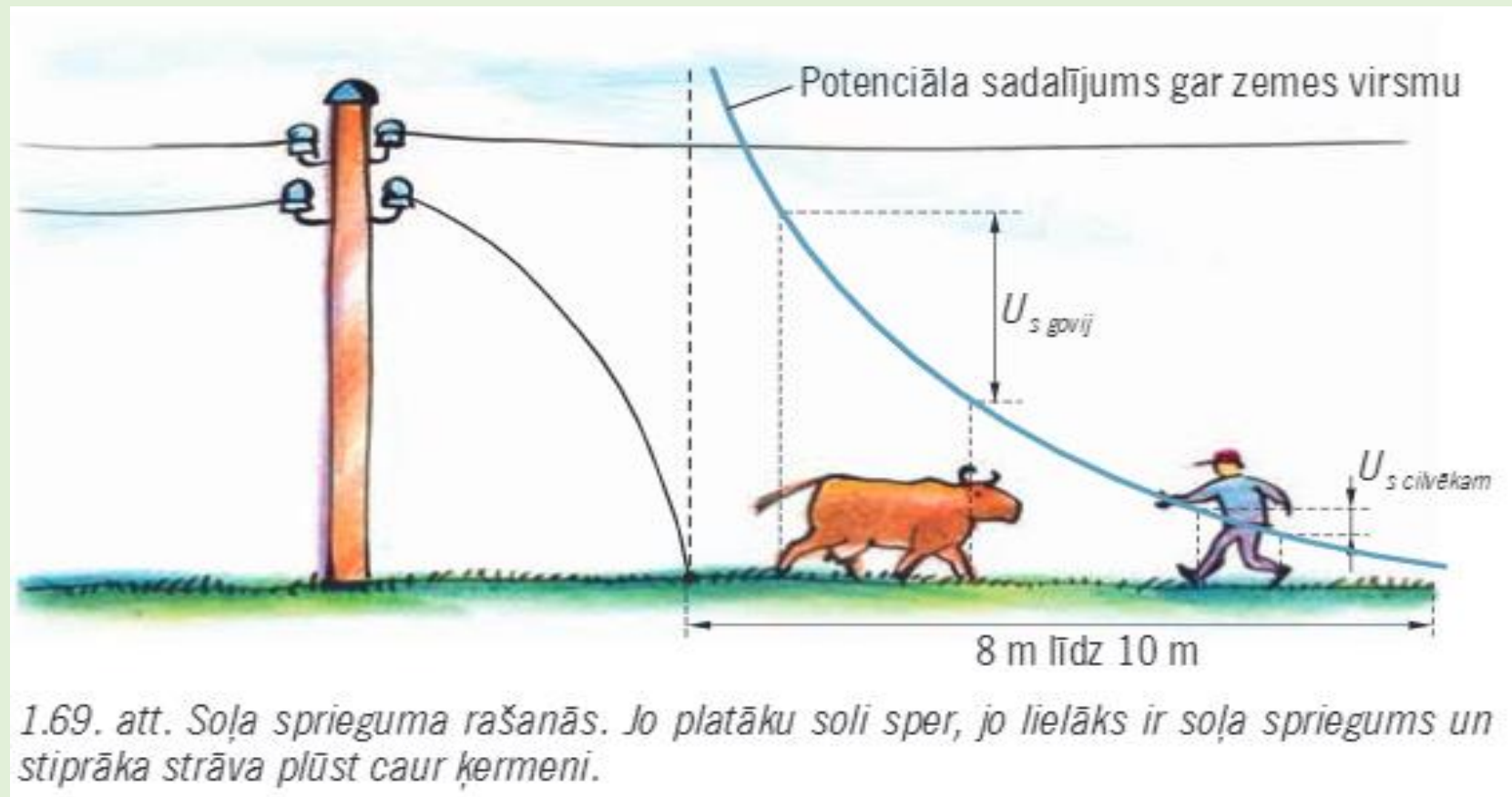
N_1 — vijumu skaits primārajā tinumā

N_2 — vijumu skaits sekundārajā tinumā

Pēc veicamā uzdevuma izšķir **pārvades** un **sadales** elektrotīklus. Elektropārvades tīkla līnijas ir augstsprieguma līnijas, kuru spriegums ir 330 kV vai 110 kV, un tās savieno savā starpā lielos elektroenerģijas ražotājus — hidroelektrostacijas un termoelektrocentrāles. Sadales elektrotīklu līnijas nodrošina elektroenerģijas sadali starp patērētājiem. Šajā tīklā ir gan vidussprieguma 20 kV, 10 kV un 6 kV līnijas, gan zemsprieguma 0,4 kV līnijas. No zemsprieguma līnijām (3 fāzes vadi un 1 neitrālvads) 400 V spriegums nonāk pie lietotājiem. Vienfāzes elektroierīces, kuru darba spriegums ir 230 V, ieslēdz starp līnijas vadu un neitrālvadu.



1.63. att. Caur cilvēka ķermeni sāk plūst elektriskā strāva, ja viņš vienlaicīgi pieskaras fāzes vadam un neitrālvadam (a) vai arī ar vienu roku pieskaras fāzes vadam, bet ar otru — elektrību vadošam priekšmetam, kas ir savienots ar zemi.



Jāatceras, ka, sperot soli, katrai cilvēka kājai būs atšķirīgs elektriskais potenciāls. Jo platāku soli pers cilvēks, jo lielāks būs soļa spriegums un stiprāka strāva plūds caur cilvēka ķermeni. Tāpēc nejauši nonākot šādā elektriskajā laukā, jāatceras, ka ārā no tā var izklūt ejot sīkiem šļūcošiem soliņiem. Nekādā gadījumā nedrīkst spert garus soļus vai lēkt uz vienas kājas!