

ISC0100

KÜBERELEKTROONIKA

Kevad 2025

Vahelduvvooluteemad 1

Martin Jaanus

NRG-308

martin.jaanus@ttu.ee 56 91 31 93

Õppetöö : <http://isc.ttu.ee>

Õppematerjalid : <http://isc.ttu.ee/martin>

Teemad

Alalis- ja vahelduvpinge (-vool)

- Väärtused, signaalid, võimsus

Reaktiivsed komponendid

- Kondensaator, Induktor

Pinge

Pinge ehk elektriline pinge (tähis V , U) on füüsikas ja elektrotehnikas kasutatav füüsikaline suurus, mis iseloomustab kahe punkti vahelist elektrivälja tugevuse erinevust ning määrab ära kui palju tööd tuleb teha laengu ümberpaigutamiseks ühest punktist teise.

Pinge ühikuks SI-süsteemis on volt (V) . Üks volt on selline pinge, mille puhul 1 kuloni suuruse laengu ümberpaigutamisel teeb elektriväli tööd 1 džaul.

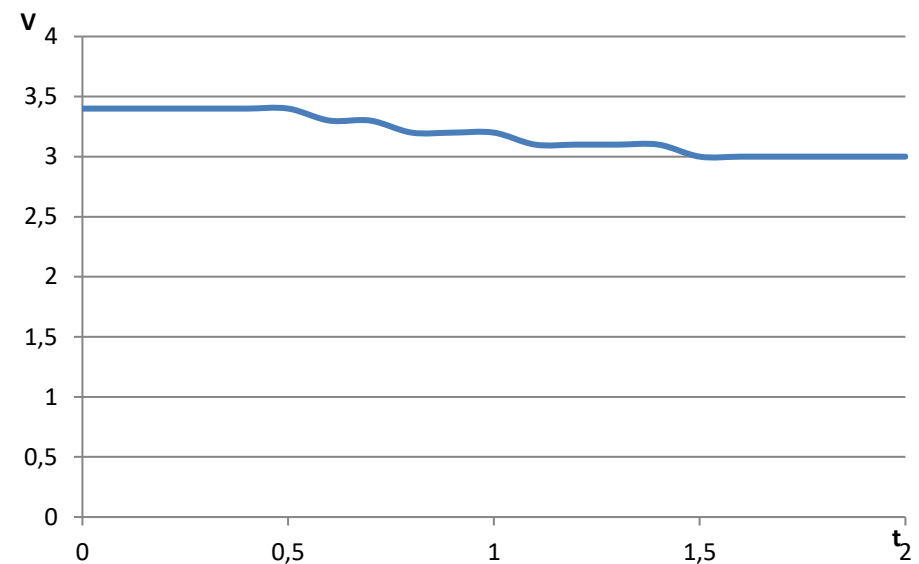
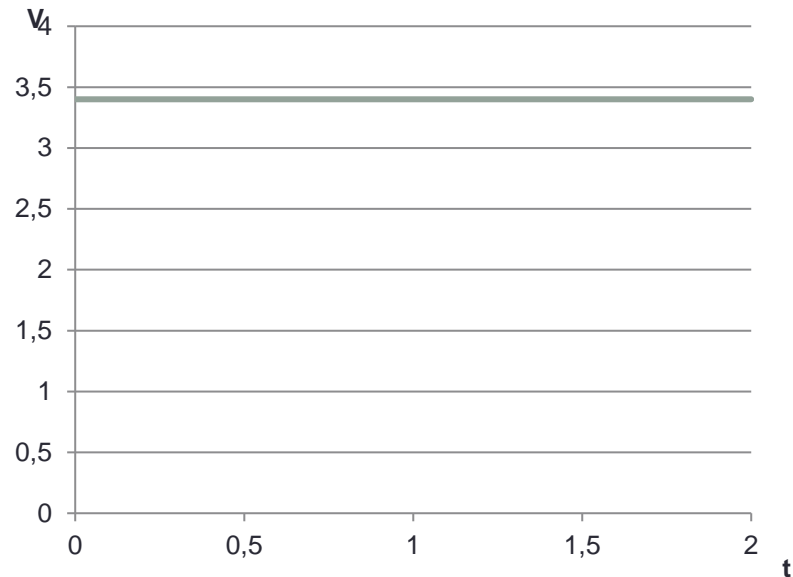
Vool

Vool ehk elektrivool (tähis I) on füüsikas ja elektrotehnikas kasutatav füüsikaline suurus, mis iseloomustab laengukandjate liikumist elektrijuhis.

Voolu ühikuks SI-süsteemis on amper (A). Amper on konstantne selline elektrivool, mis põhjustaks kahes paralleelse lõpmatu pikkusega ja tühise ristlõike pindalaga elektrijuhi vahel jõu 2×10^{-7} njuutonit meetri kohta, kui need juhid asuvad teineteisest 1 meetri kaugusel vaakumis.

Alalisvool (ja – pinge)

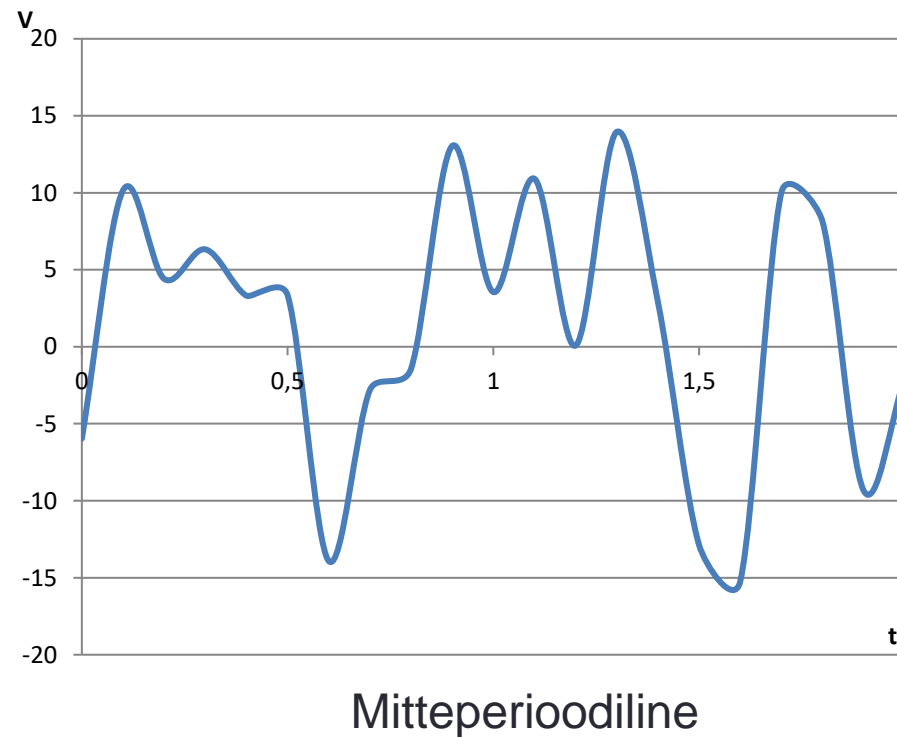
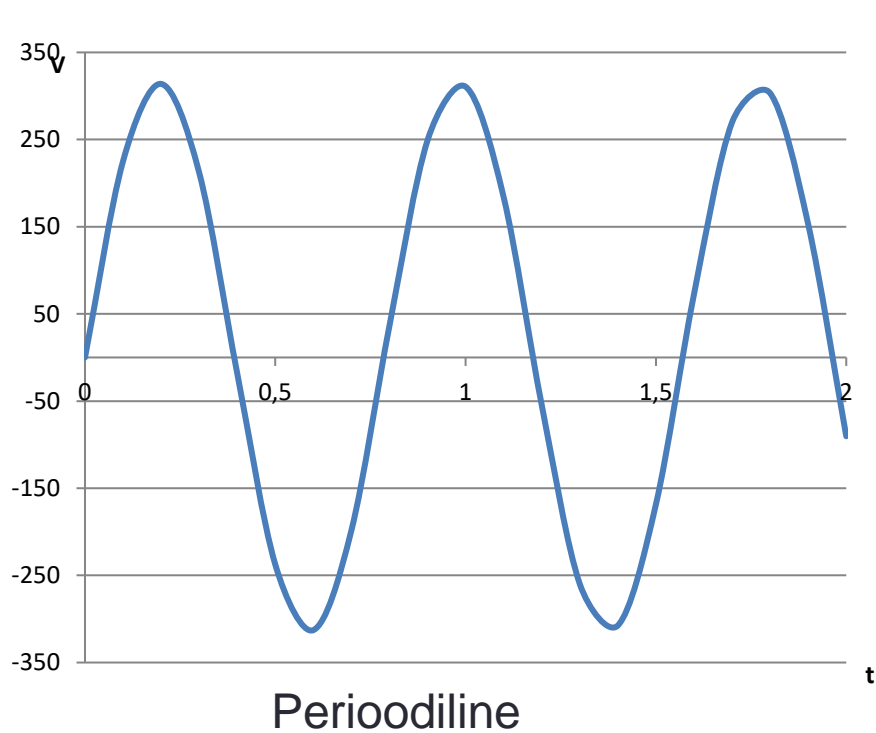
Alalissignaali (DC, Direct current), (vool või pinge) – Märgiga suurus.
Signaali mõõtmise ajahetkel ei muutu. Staatiline olek.



Alalisvool ja – pinge on kokkuleppelised. Ei ole olemas konstantse pinge või vooluga elektriahelat, mis toimiks igavesti. Kõik muutused on juba “vahelduv”. Ka seinakontaktis on “alalispinge” – nende jaoks, kes tegelevad raadiosagedustega.

Vahelduvvool (ja – pinge)

Vahelduvsignaal (AC, Alternative current), (vool või pinge) – Vaadeldava aja jooksul muutuv signaal. Võib muutuda pinge/voolu suund (aga ei pruugi). Erinevad väärtused.



Reaalseid signaale jagatakse sageli vahelduv+alaliskomponent.
Vahelduvkomponent omakorda baassignaamide (sin või cos) summa.

VEIDI MATEMAATIKAT

Signaalitöötluste ja elektrotehnika vaatenurgast.

NB ! Järgnevaid slaidide ei pea nui-neljaks pähe õppima, see on lihtsalt üks võimalikke seletusi – miks on nii !

Valemeid...

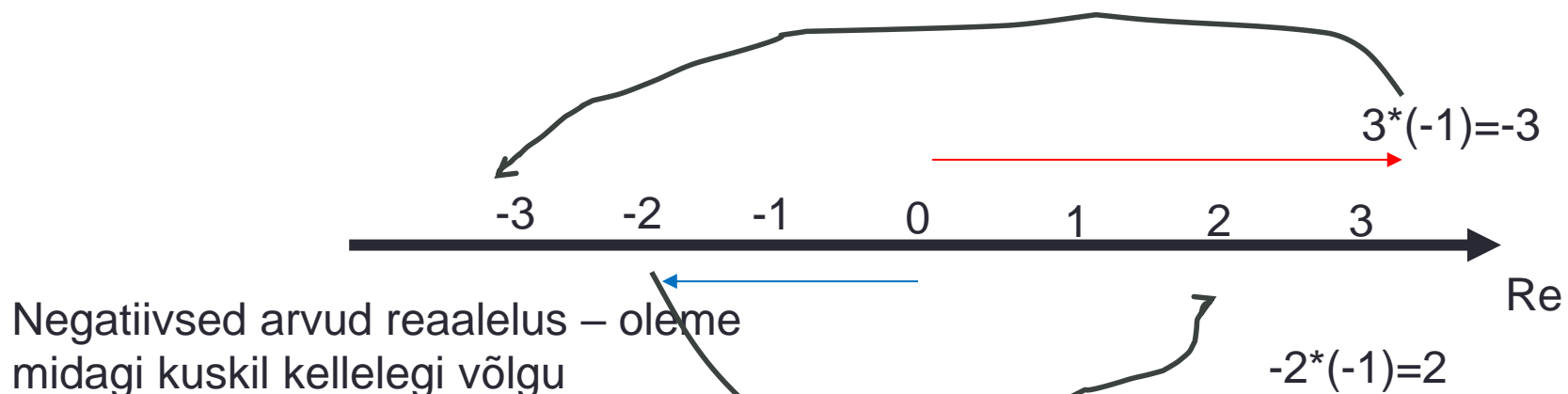
- *Enamik valemeid igapäevaelus on kujul : $A = B * C$ või siis $C = \frac{A}{B}$, võib olla juurde liidetud/korrutatud veel mõni konstant*
- A võib olla näiteks teepikkus, B võib olla aeg, C võib olla kiirus, aga
- A võib olla pinge , B takistus ja C vool....jne
- Kui muutus on **võrdeline** , läheb muutuja **lugejasse** !
- Kui muutus on **pöördvõrdeline** , läheb muutuja **nimetajasse** !
- Enamik valemeid, mis on seotud energiaga : $A = \frac{B * C^2}{2}$, kus A on energia, B on enegiasalvesti ja C, mille tõttu enegia tekib.
- Kui miski sõltub iseendast (tagasiside) , tuleb nimetajasse üldjuhul 1+midagi
- **Kui midagi kuskil pöörleb, tuleb valemisse $2\pi r$, kus r on asi, mis pöörleb.**
- Jäävusseadused : $A + B + C + \dots = 0$

Kompleksarvud

- Imaginaarühik :Matemaatikud defineerivad kui ruutvõrrandi $x^2 + 1 = 0$, lahend $x = \sqrt{-1} = i$
- Elektrivaldkonnas on selle asemel kasutusel $j \rightarrow j^2 = -1$

Aga mida see tähendab ?

- Annab **kahemõõtelise** arvumaailma, mis osutub äärmiselt mugavaks elektrimaailmas. (nt signaal ja hilistumine , vool ja pinge...jne)
- Saab kujutada tasapinnalisi vektoreid (elektrisignaalide vektoritena kujutamine on mugav).
- Vektorid tasandil on samaväärsed kompleksarvudega.
- Reaalarvu puhul korrutamine miinus ühega : - muudame vektori suunda 180^0



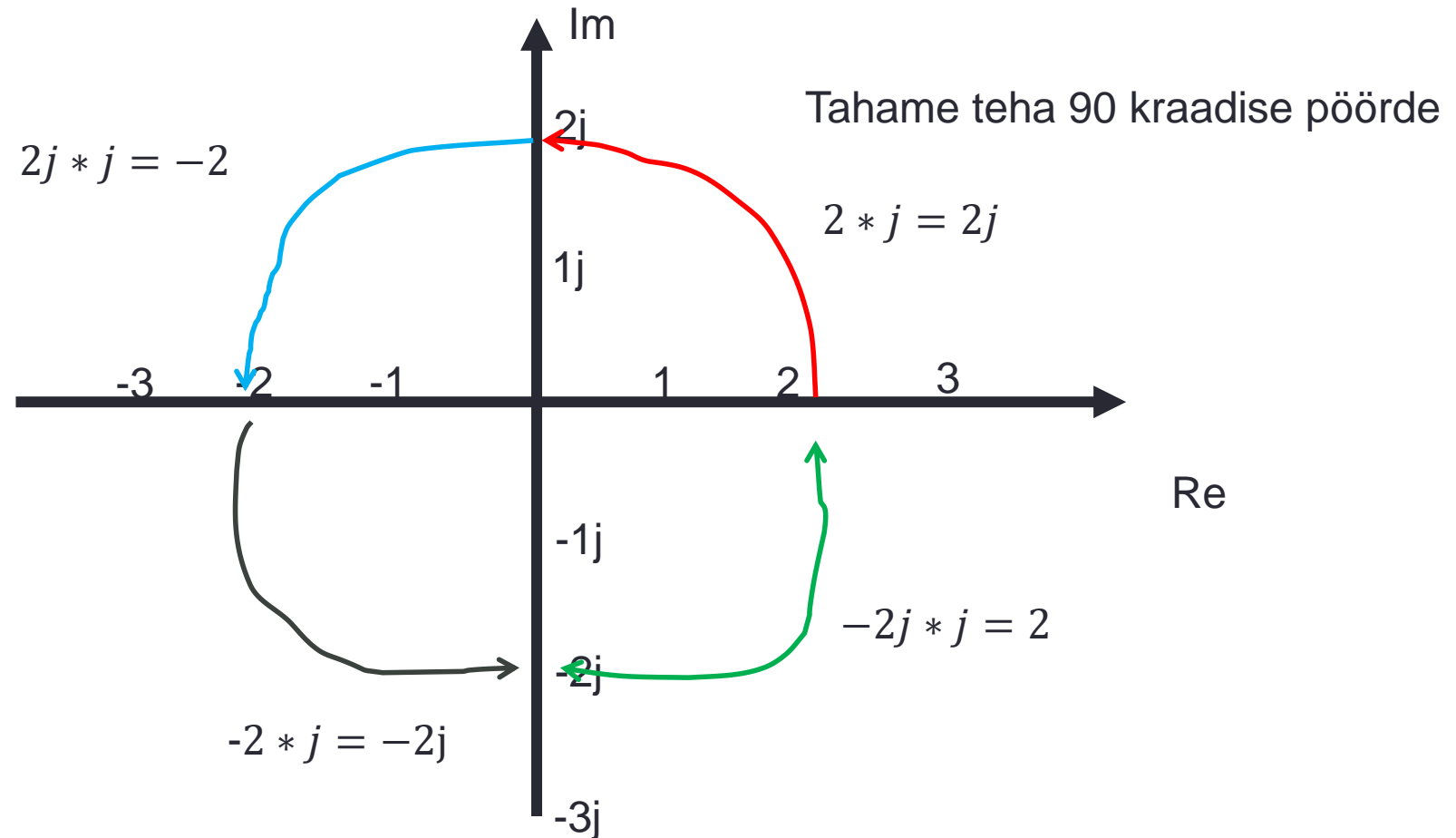
Ei saa pöörata nt 30 kraadi

Ühe dimensiooniga rohkem ei saa

Kahemõõtmeline arvumaailm

Imaginaarühikuga korrutamine ei ole mitte midagi muud, kui pööre 90 kraadi.

$$j^2 = -1$$

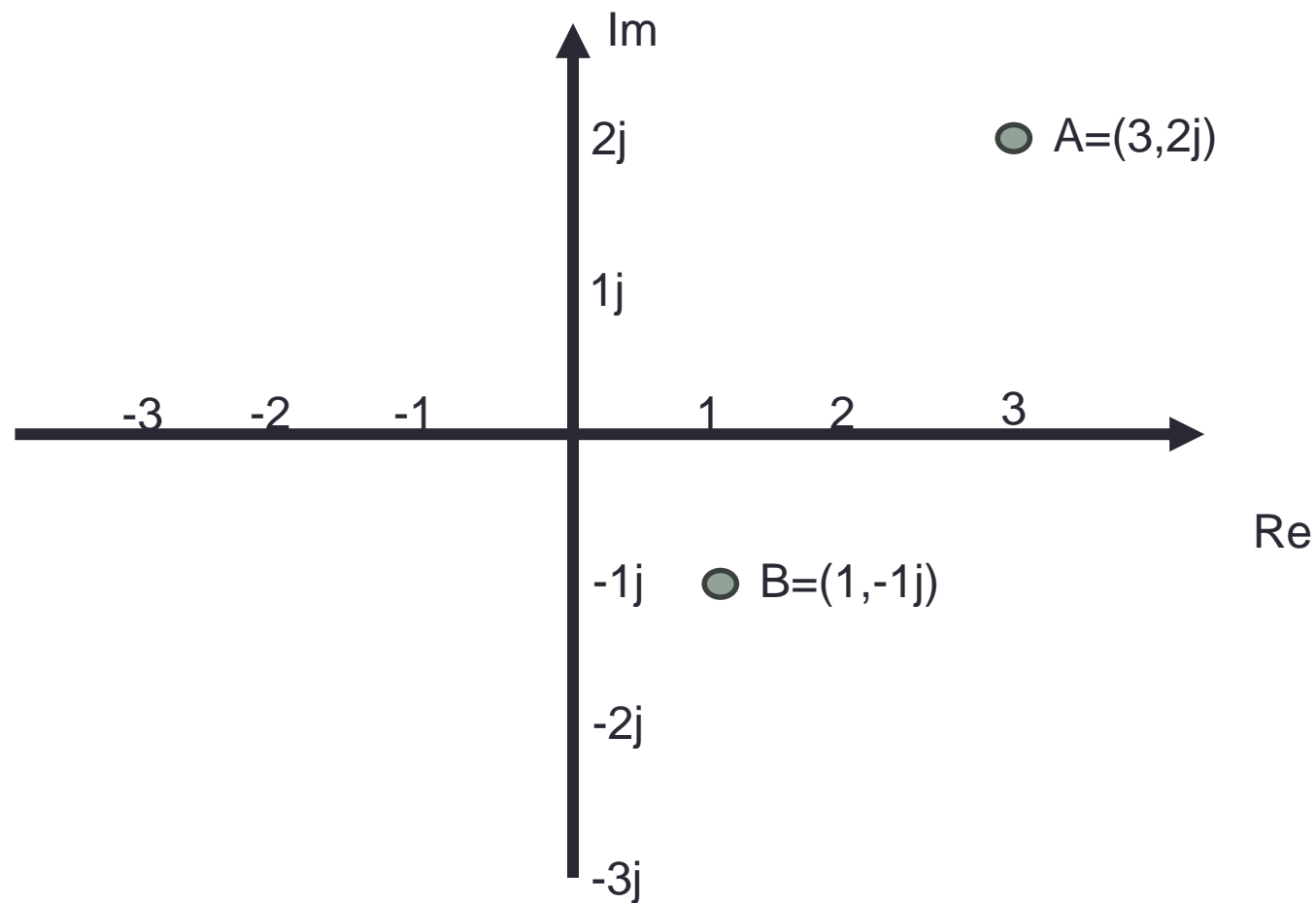


Aga, kui me tahame pöörata näiteks 28 kraadi ?

Kahemõõtmeline arvumaailm

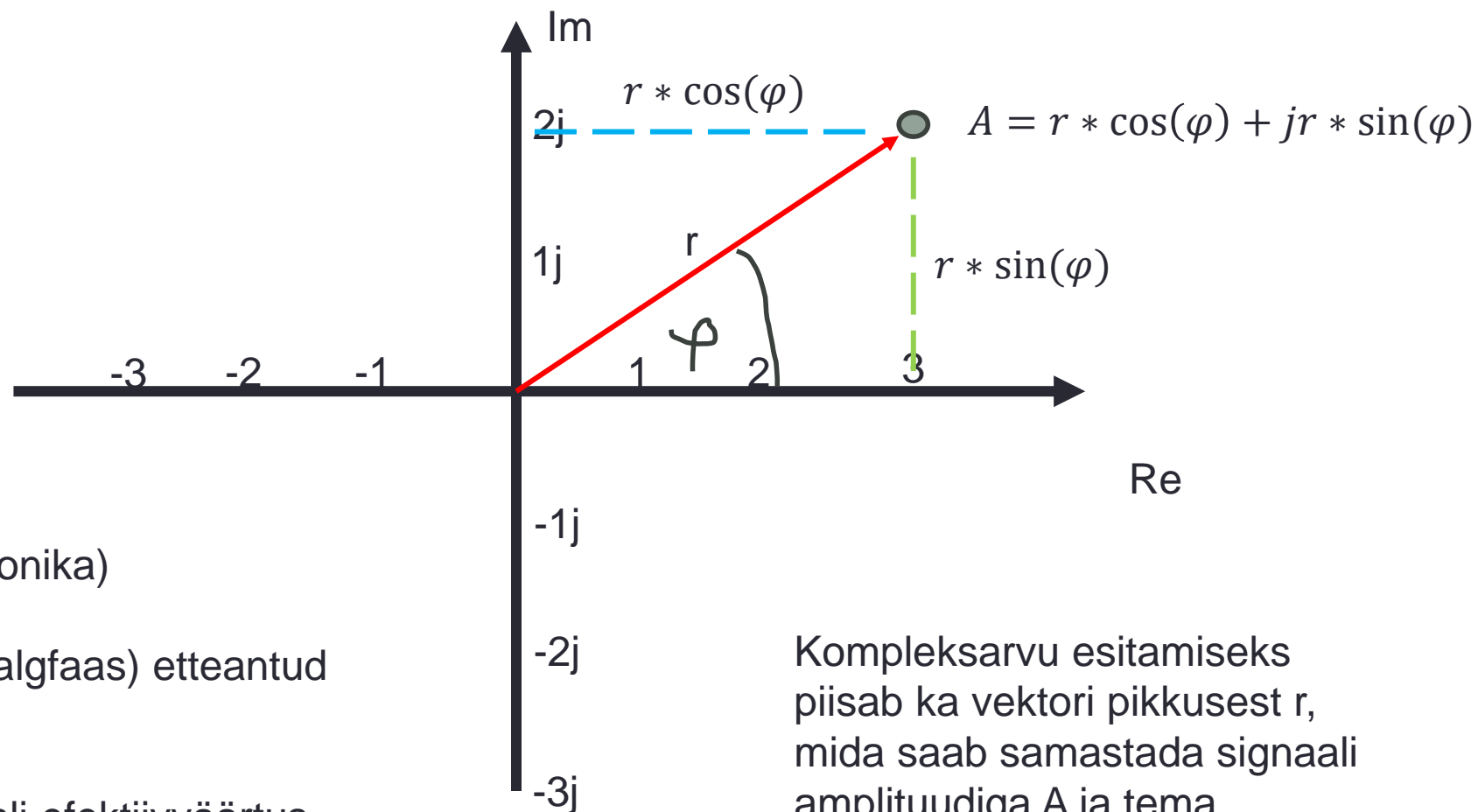
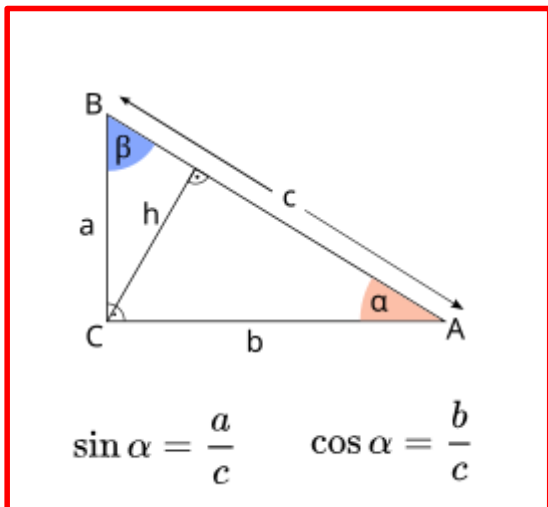
Saab kujutada ka suvalisi punkte

$$j^2 = -1$$



Kahemõõtmeline arvumaailm

Saab kujutada ka suvalisi punkte



Signaalitöötleses (side, elektroonika)

eelistatakse sellist kuju :

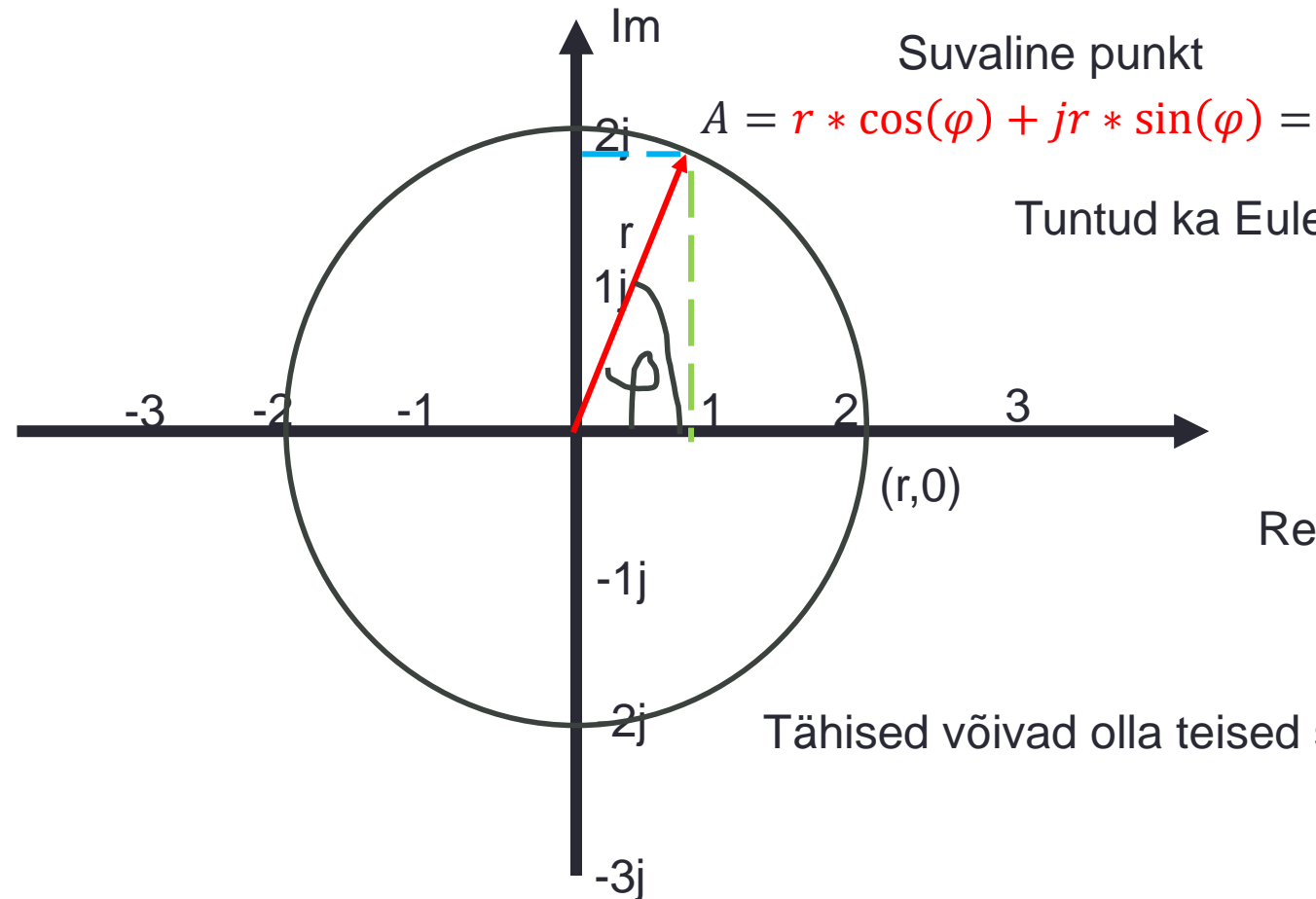
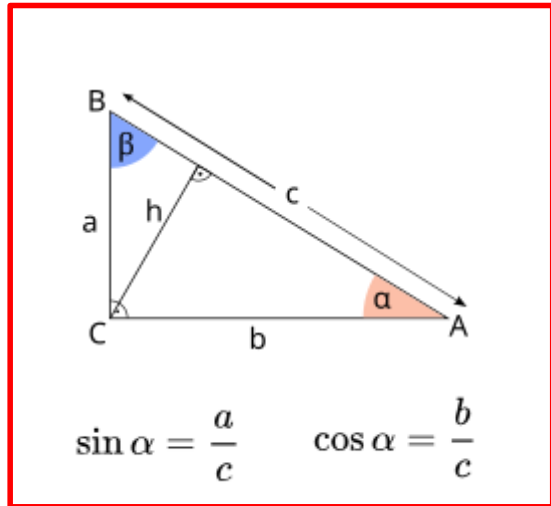
Amplituud ja selle hilistumine (algfaas) etteantud signaalist .

Elektrotehnikas enamalt signaali efektiivväärtus.

Kompleksarvu esitamiseks piisab ka vektori pikkusest r , mida saab samastada signaali amplituudiga A ja tema algfaasist φ

Kahemõõtmeline arvumaailm

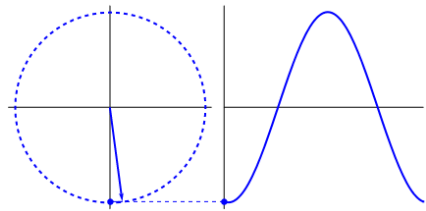
Saab kujutada ka suvalisi punkte



Tähised võivad olla teised siin r – on ringi raadius.

Kui mingis valemis on sees 2π , tähendab see seda, et midagi liigub kuskil mööda ringjoont või vastupidi !

Harmoniline vahelduvsignaal



Näiteks: $u(t) = A \cdot \sin(2\pi t + \varphi)$

Faas

Aeg

Algfaas

Ringsagedus (nurksagedus ω)

Harmoniline funktsioon (võib olla ka cos)

Amplituud (koos ühikuga, ei pea olema elektriline ühik)

Signaalil on mitu väärtust

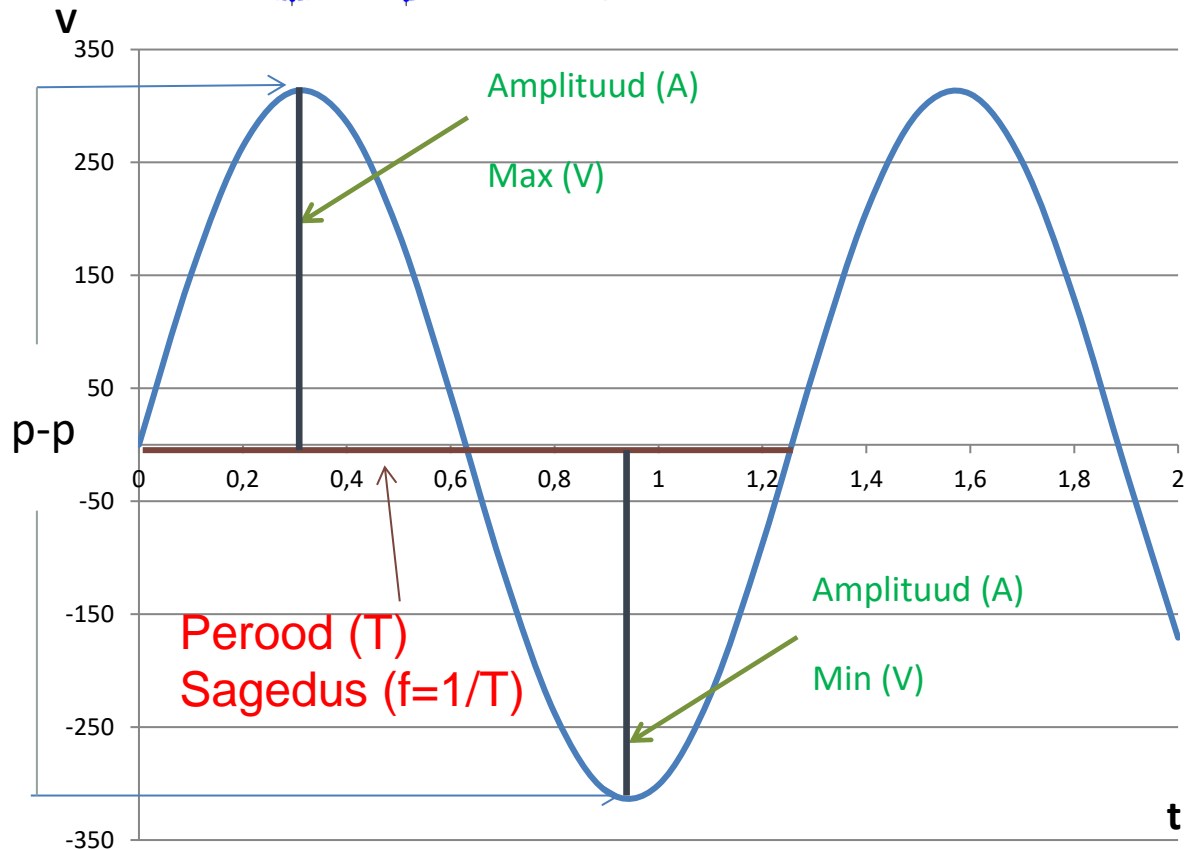
- Amplituudväärtus
- Tippväärtus (max, min)
- Keskväärtus:
- Mooduli keskväärtus
- Efektiivväärtus (rms, (root mean square))

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

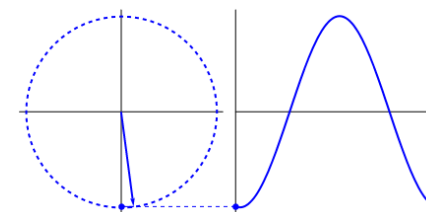
$$U_{mk} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt$$

$$U_{mk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

Peak to peak – tipust tippu = 2A

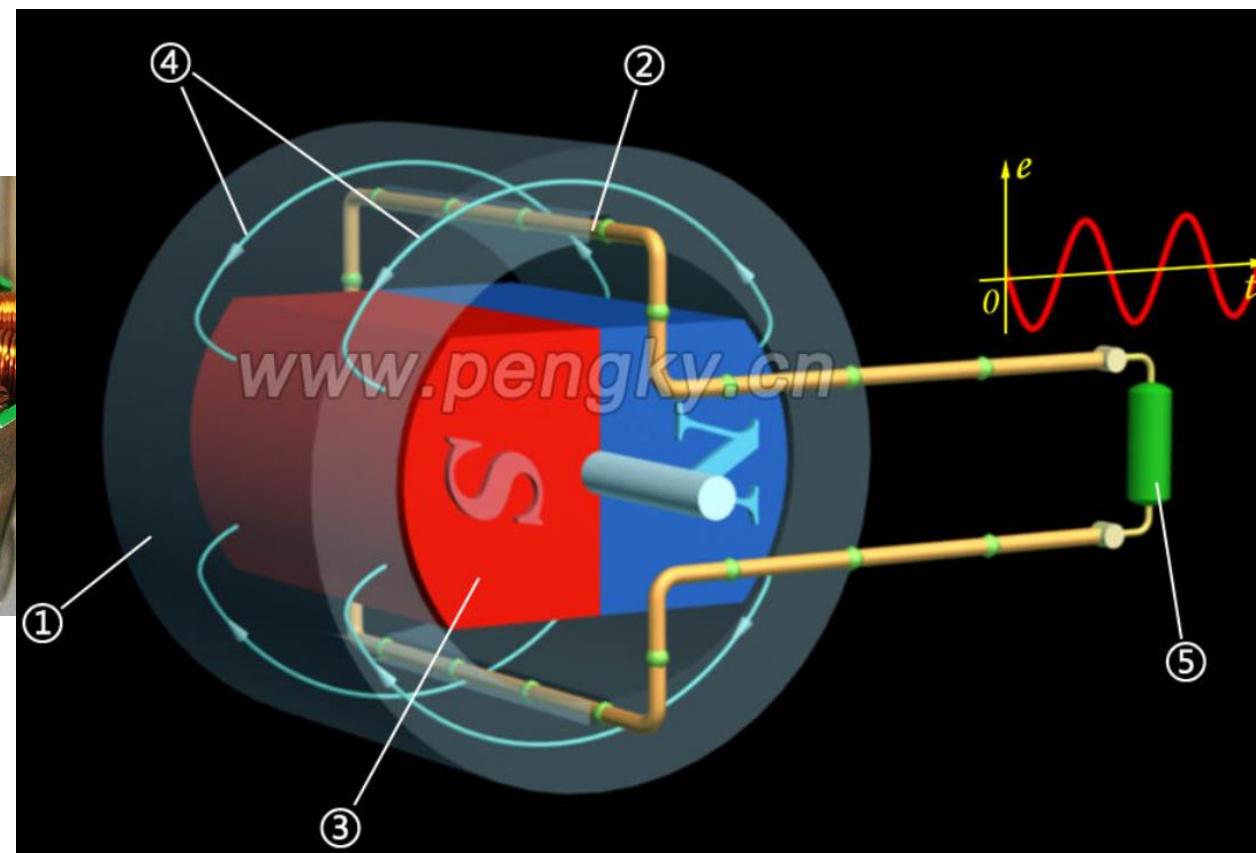


Kuidas vahelduvpinget saadakse



- Elektotehnika : pannakse (elektro) magnet pöörlema (või vastupidi elektrijuht magnetväljas) - elektromagnetism

- 1 – kest (staator)
- 2 – juhtmekeerud(mähis)
- 3 – pöörlev magnet (rootor)
- 4 – magnetvälja jõujooned
- 5 – koormus



- t – aeg
- e – elektromotoorjõud (pinge)
- Efekt on pööratav (mootor)

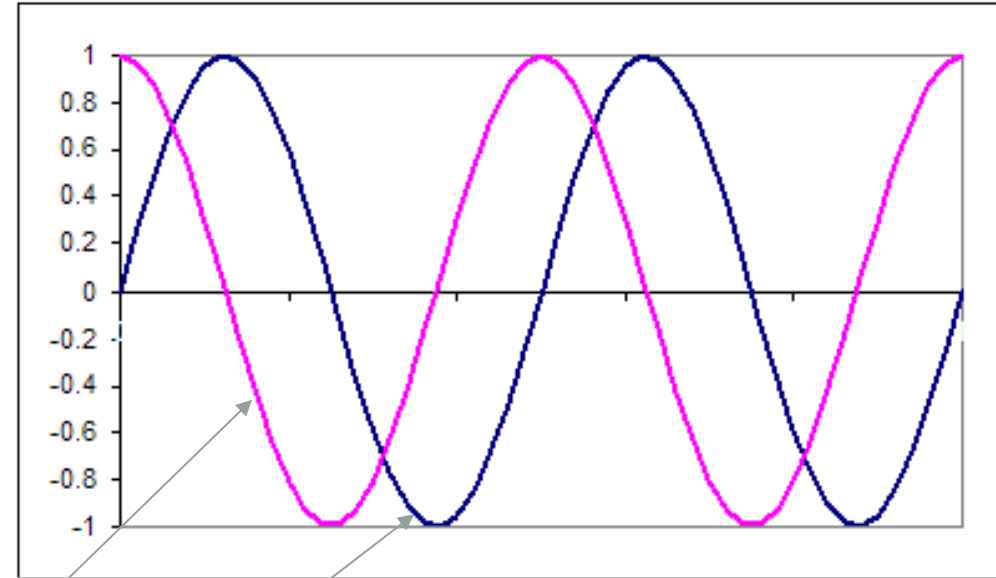
• Pilt – www.pengiky.cn

• <https://www.youtube.com/watch?v=4oRT7PoXSS0>

Miks harmoonilised signaalid?

Kasutatakse baassignaalidena kõikjal elektrivallas.

- Sama sagedusega siinuste summa on sama sagedusega siinus.
- Siinuse tuletis ja integraal on sama sagedusega siinused. (koosinus on ka siinus, 90 kraadi faasinihkega)
- Lineaarse süsteemi reaktsioon harmoonilisele signaalile on sama sagedusega harmooniline signal.
- **Kui sagedus on kindel, siis vajame harmoonilise signaali esitamiseks vaid amplituudi ja algfaasi.**



Signaal on signaalist $\pi/2$ võrra ees ($3\pi/2$ võrra taga)

$$\sin(90^\circ - \alpha) = \cos \alpha$$

$$\cos(90^\circ - \alpha) = \sin \alpha$$

Faas

- Harmoonilise funktsiooni argument on faas $\psi = \omega t + \varphi$ $v(t) = A \cos \psi$

- Aeg on suhteline suurus, seetõttu ka faas on määramata; algpunkt peab olema kuidagi fikseeritud. Aja algpunkti muutmine on samaväärne algfaasi muutmisega.
- Harmooniline signaal on perioodiline (faasi periood 2π):
- Elektroenergeetikas reeglina pole suuremad fasid kui 2π olulised, saab lahutada $n \cdot 2\pi$ maha. Infoedastuses võib olla see aga tähtis.

$$v(t) = A \cos(\psi + 2\pi) = A \cos(\psi) = A \cos(\psi + n \cdot 2\pi)$$

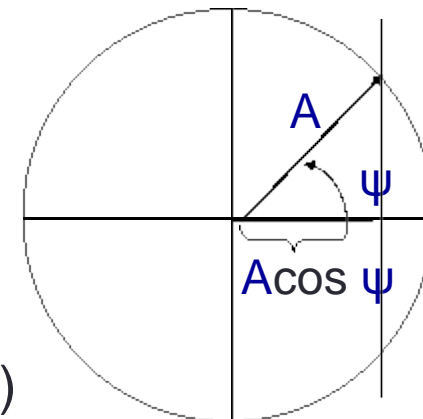
$$v(t + T) = A \cos(\omega(t + T) + \varphi) = A \cos(\omega t + \omega T + \varphi)$$

- Ajas on periood T :

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

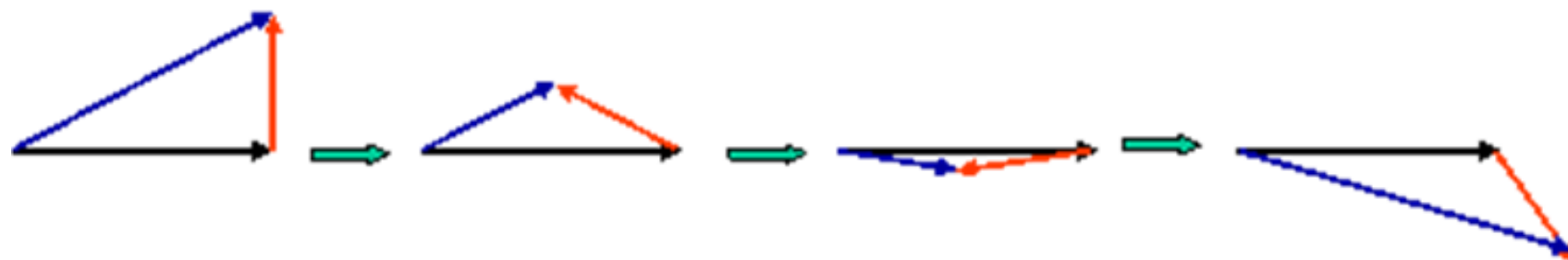
Faasor

- Harmoonilist signaali saame pöörleva vektori projektsioonina
- Kuna vektorite liitmisel liituvad ka projektsioonid, võime kasutada vektoreid amplituudi ja faasi ühendamiseks
- Vektor- (faasor-) diagramm võimaldab kujutada harmooniliste signaalide vahelisi vahekordi graafiliselt.
- **Harmooniliste signaalide liitmisel amplituudid ei liitu!** (liituvad projektsioonid)
- NB! Faasordiagrammil võib kujutada ka erineva sagedusega signaale. Erinevus selles, et kui sama sageduse korral on pilt püsiv, siis erinevate korral muutub faas erineva kiirusega (vektorid pöörlevad).



$$v_1(t) = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) = A_1 \cos \psi_1 \quad v_2(t) = A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2) = A_2 \cos \psi_2$$

$$\psi_2 - \psi_1 = (\omega_2 - \omega_1)t + \varphi_2 - \varphi_1 = (\omega_2 - \omega_1)t + \varphi$$

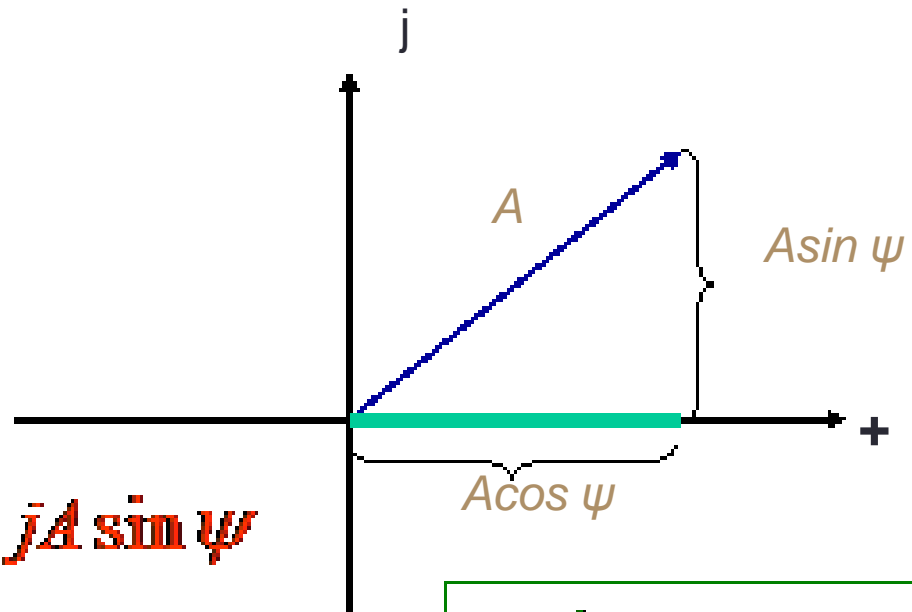


Summa ei ole siinus aga vektorid on liidetavad)

Kompleksne signaal

- Vektorid tasapinnal on samaväärsed kompleksarvudega. Seepärast võib harmoonilisi signaale kujutada komplekskujul ning projektsiooni asendab reaalosa võtmine.

$$v(t) = A \cos \psi$$
$$v(t) = \operatorname{Re} [A e^{j\psi}]$$



$$A e^{j\psi} = A \cos \psi + j A \sin \psi$$

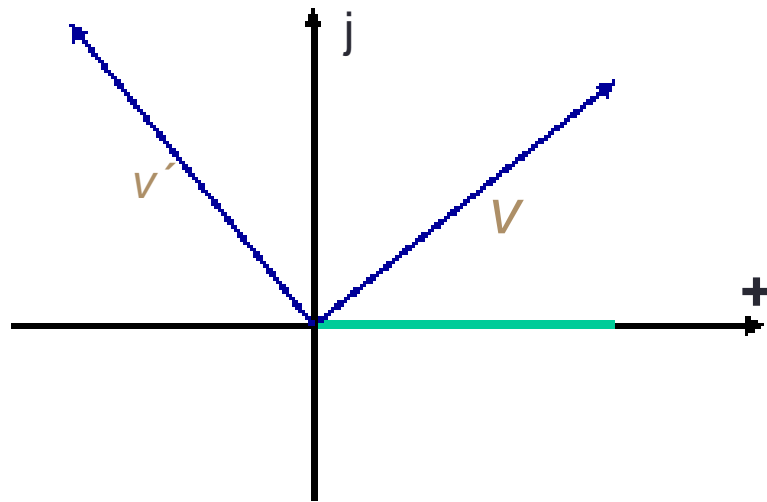
$$V = A e^{j\psi} = A e^{j(\sigma t + \psi)} = A e^{j\sigma t} e^{j\psi}$$

$e^{j\sigma t}$ pöörleb

Harmonilise signaali tuletis

- Harmonilise signaali tuletis on signaalist 90° võrra ees ja integraal 90° taga.
- Tuletis – funktsiooni väärtuse muutumise **kiirus** selle argumendi muutumisel

$$\begin{aligned} Ae^{j\varphi} &\Rightarrow A\omega e^{j\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right)} = \\ &= \omega e^{j\frac{\pi}{2}} Ae^{j\varphi} = j\omega \cdot Ae^{j\varphi} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} [A \cos(\omega t + \varphi)] &= -A\omega \sin(\omega t + \varphi) = \\ &= \omega A [-\sin(\omega t + \varphi)] = \omega A \cos\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned}$$

Tuletist ja integraali signaalist võtavad kondensaatorid ja induktorid (mõne slaidi pärast)

Efektivväärtus

Vastab **samele soojuslikele toimele** mis sama väärtusega alalisvoolu puhul.
Efektivväärtus iseloomustab signaali võimsust.
Võimsus on võrdeline signaali ruuduga.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

(*rms* - root mean square)

Signaali ruut on tema võimsus

(i^2R on voolu võimsus resistoris)

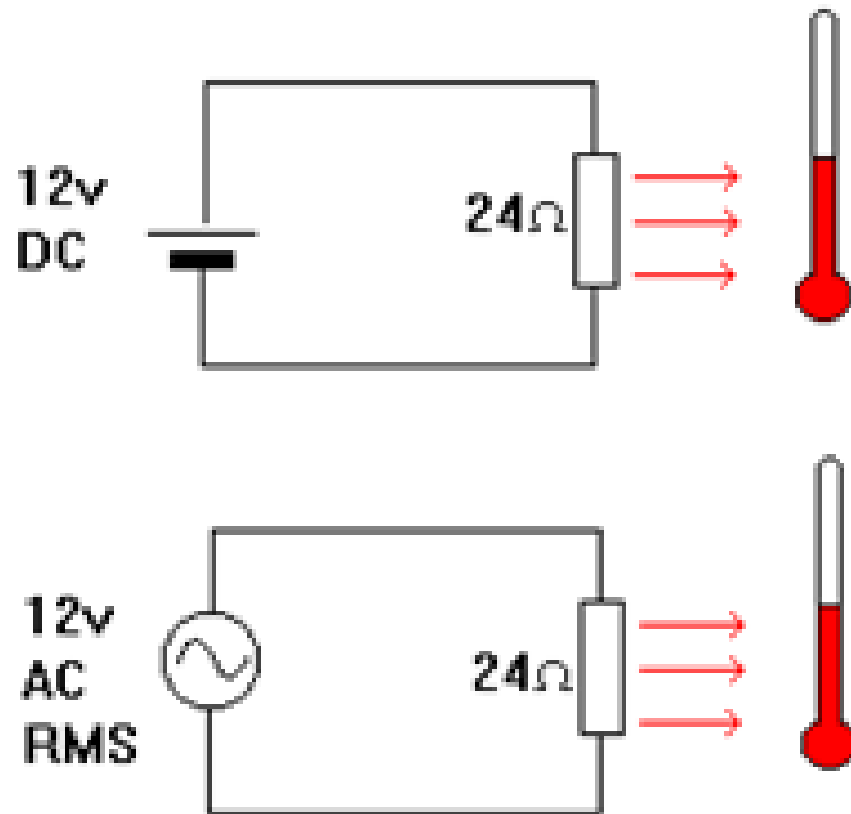
Signaali keskmine võimsus on seega

$$\overline{s^2(t)}$$

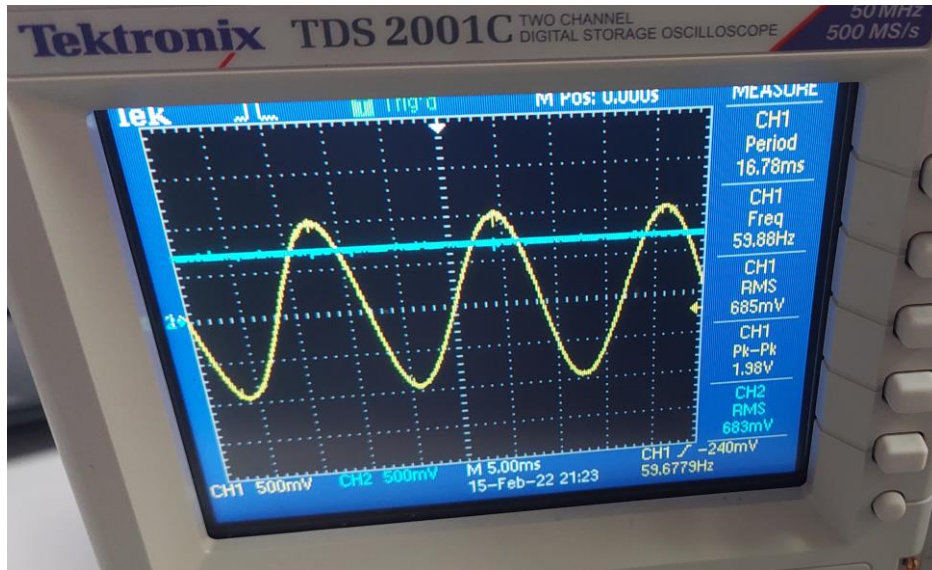
Alalissignaali, millel on selline võimsus, omab suurust

$$\sqrt{\overline{s^2(t)}}$$

See ongi signaali *efektivväärtus*



Efektiivväärtus - harmooniline signaal



Harmoonilise signaali puhul

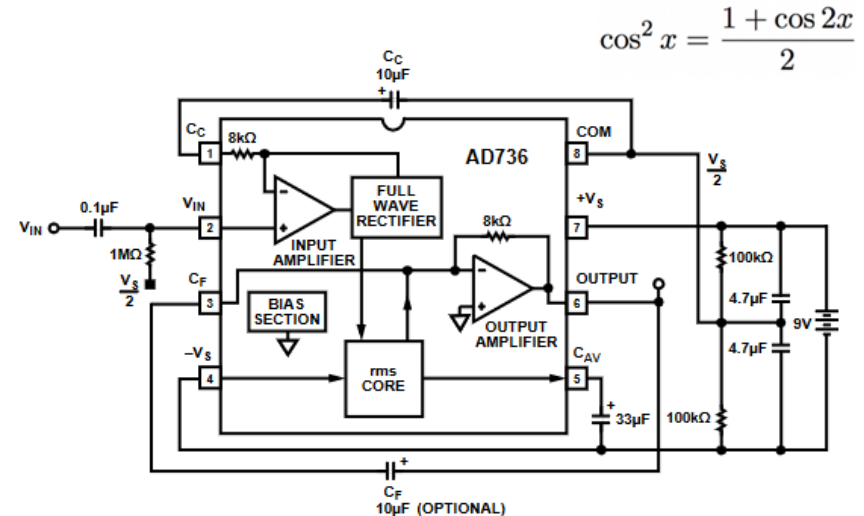
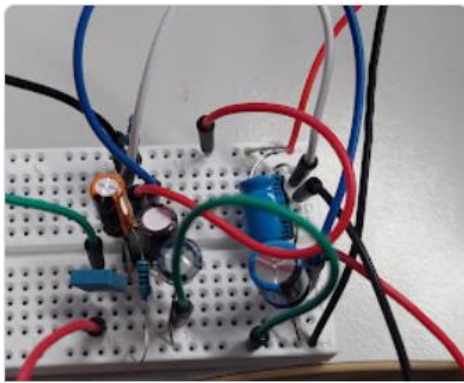
$$\overline{\cos^2 t} = \frac{1}{2} (1 + \cos 2t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2t = \frac{1}{2}$$

ning efektiivväärtus on

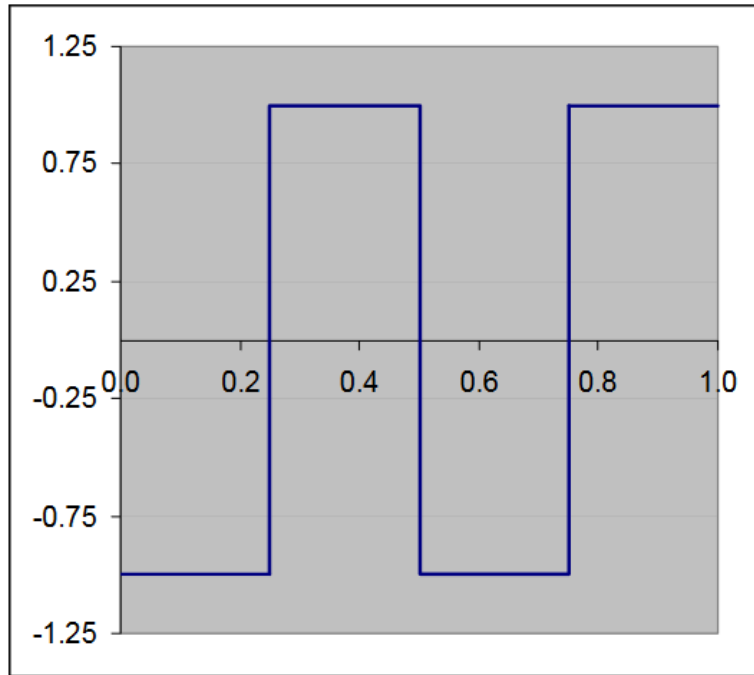
$$\sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.7071 \quad (-3dB!)$$

Harmoonilise signaali efektiivväärtus on 71% amplituudist

Kollane – sisendsignaal
Sinine – signaal pärast
ruutkesväärtusalaldit AD736

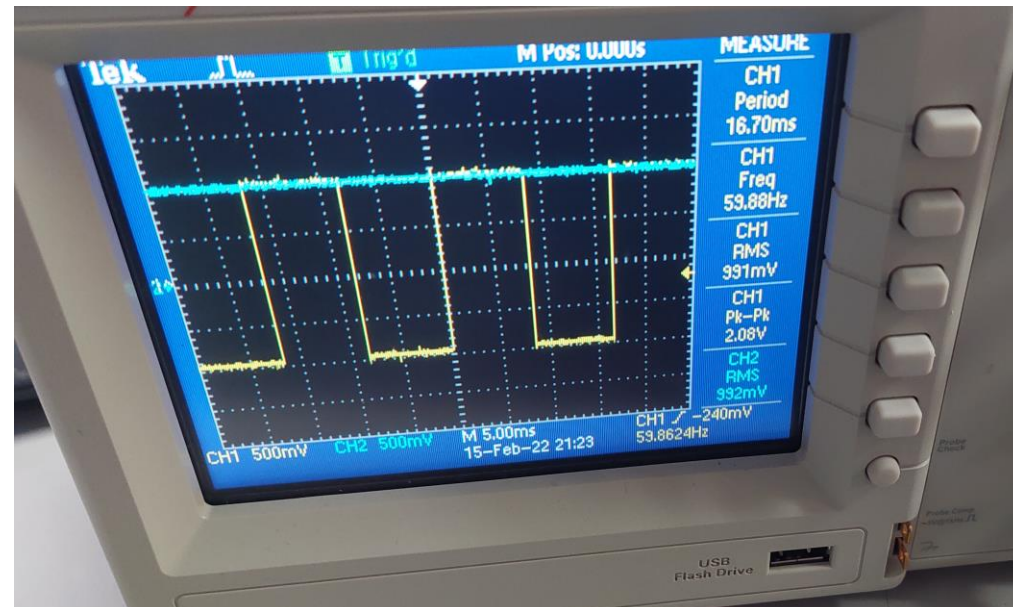


Efektiiiväärtus - nelinurksignaali

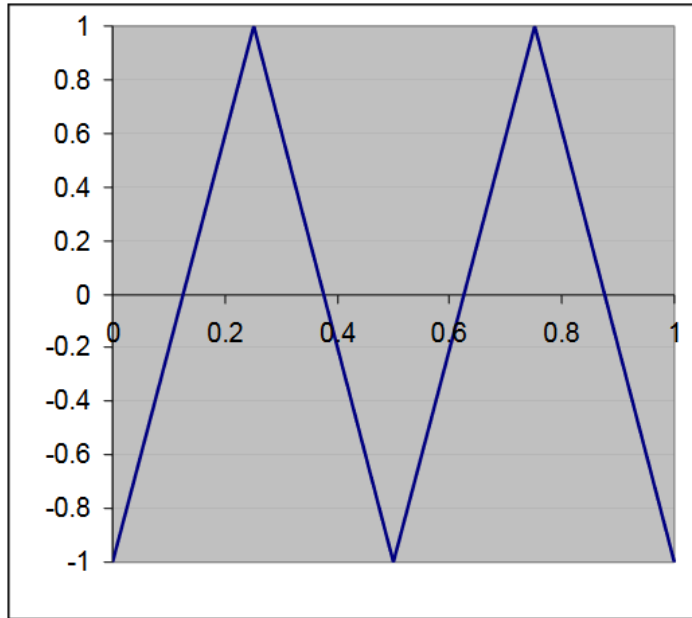


$$v^2(t) = \text{const} = 1.0$$

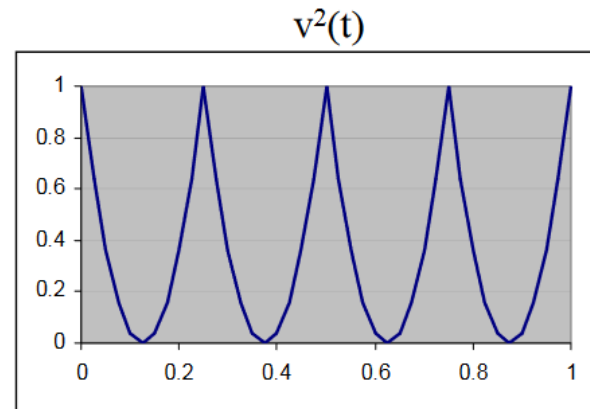
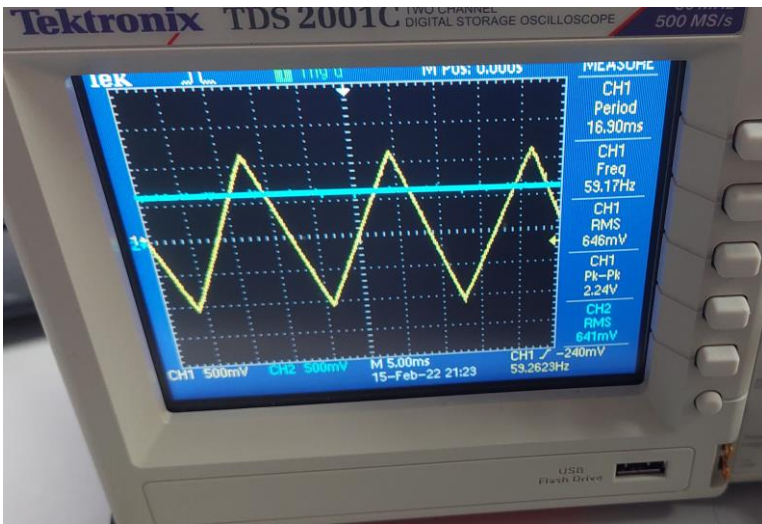
$$V_{rms} = V_{amp}$$



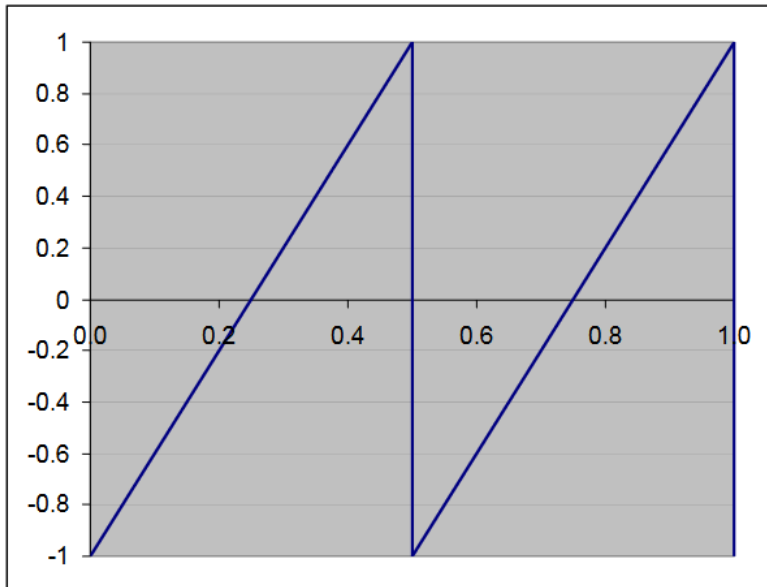
Efektiiivväärtus - kolmnurksignaali



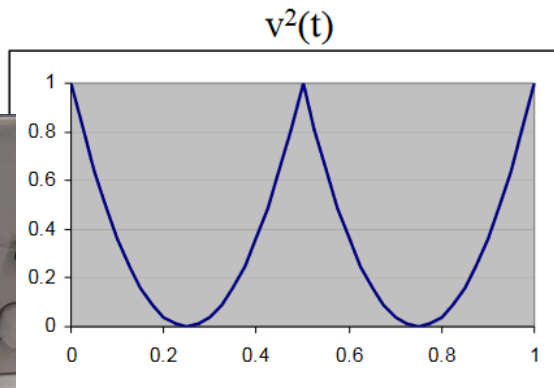
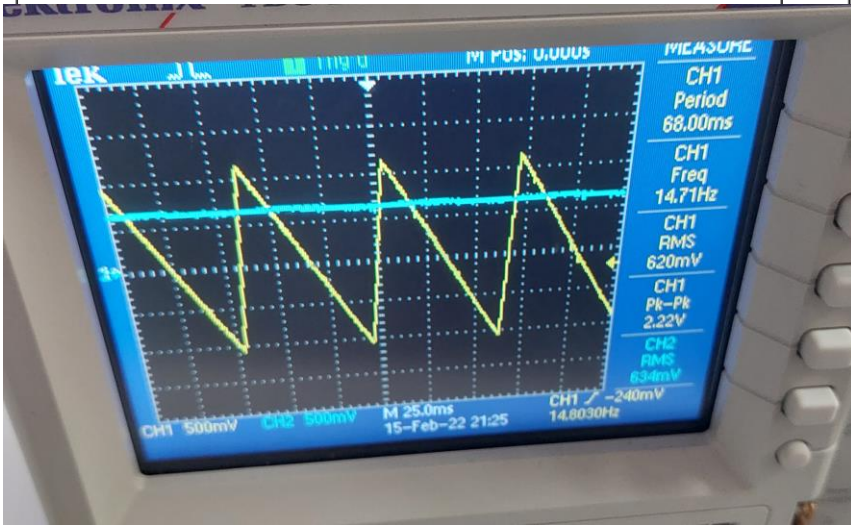
$$V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{3}} V_{amp} \approx 0.5773 V_{amp}$$



Efektiiiväärtus - saehammasignaali



$$V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{3}} V_{amp} \approx 0.5773 V_{amp}$$



Keskväärtused

- Sümmeetrilise ,perioodilise (mistahes kujuga) signaali keskväärtus on 0 !
- Moodulikeskväärtused sõltuvad signaali kujust :

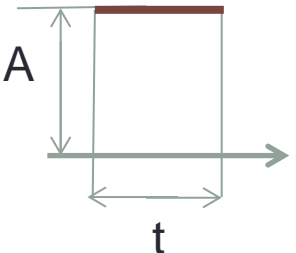
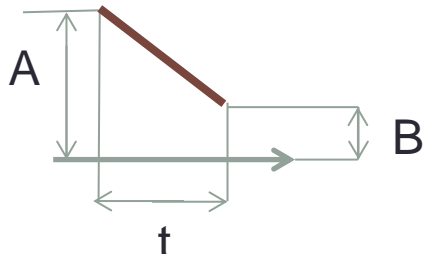
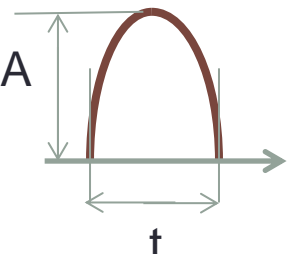
- Siinus/kosinus $V_{avg} = \frac{2}{\pi} V_{amp}$

- Nelinurk $V_{avg} = V_{amp}$

- Kolmnurk ja saehammas $V_{avg} = \frac{1}{2} V_{amp}$

Vahelduvvool (ja – pinge)

Väärtuste arvutamise lihtsustamine

Signaali osa	Keskväärtus	Efektiivväärtus
	$A * t$	$A^2 * t$
	$\frac{A + B}{2} * t$	$\frac{A^2 + AB + B^2}{3} * t$
	$A \frac{2}{\pi} * t$	$\frac{A^2}{2} * t$

Keskväärtus

$$X_k = \frac{X_1 + X_2 + X_{\dots}}{t_1 + t_2 + t_{\dots}}$$

Efektiivväärtus

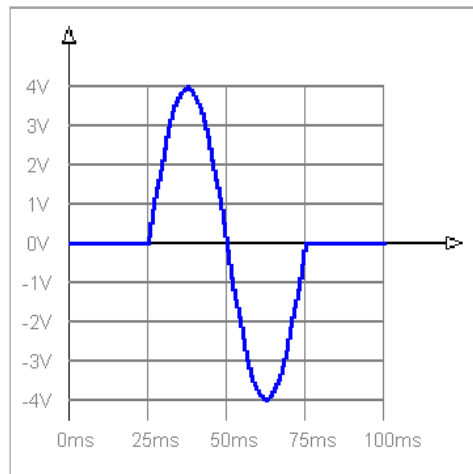
$$X_{rms} = \sqrt{\frac{X_1^2 + X_2^2 + X_{\dots}^2}{t_1 + t_2 + t_{\dots}}}$$

Vahelduvvool (ja – pinge)

Näide :

GIVEN

(Signaali periood on 100 ms)



PROBLEM

Arvutada signaali

-keskväärtus

-efektiivväärtus.

Täpsus: 2 murdosa kümnendkohta nt 0.71 või

1.25

Signaali keskväärtus (AVG)	<input type="text"/>	V
Efektiivväärtus (RMS)	<input type="text"/>	V

vastan

RMS

$$V = \sqrt{\frac{25 \cdot 0^2 + 25 \cdot \frac{4^2}{2} + 25 \cdot \frac{(-4)^2}{2} + 25 \cdot 0^2}{100}} = \sqrt{\frac{0^2 + \frac{4^2}{2} + \frac{(-4)^2}{2} + 0^2}{4}} = 2 \text{ V}$$

AVG

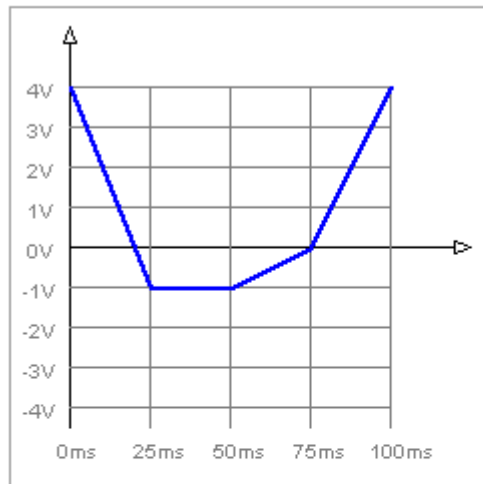
$$V = \frac{25 \cdot 0 + 25 \cdot 4 \cdot \frac{2}{\pi} + 25 \cdot (-4) \cdot \frac{2}{\pi} + 25 \cdot 0}{100} = \frac{0 + 4 \cdot \frac{2}{\pi} + (-4) \cdot \frac{2}{\pi} + 0}{4} = 0 \text{ V}$$

Vahelduvvool (ja – pinge)

Näide :

GIVEN

(Signaali periood on 100 ms)



RMS

$$V = \sqrt{\frac{25 \cdot \frac{4^2 + 4 \cdot (-1) + (-1)^2}{3} + 25 \cdot (-1)^2 + 25 \cdot \frac{(-1)^2 + (-1) \cdot 0 + (0)^2}{3} + 25 \cdot \frac{0^2 + 0 \cdot 4 + 4^2}{3}}{100}} = 1.66 \text{ V}$$

AVG

$$V = \frac{25 \cdot \frac{4 + (-1)}{2} + 25 \cdot (-1) + 25 \cdot \frac{(-1) + 0}{2} + 25 \cdot \frac{0 + 4}{2}}{100} = 0.5 \text{ V}$$

PROBLEM

Arvutada signaali

-keskväärtus

-efektiivväärtus.

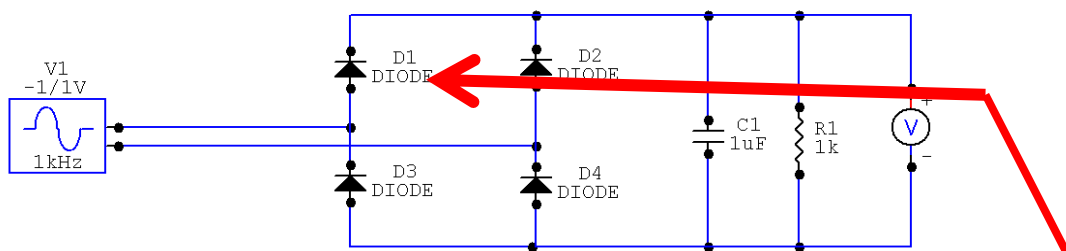
Täpsus: 2 mürdosa kümnendkohta nt 0.71 või 1.25

Signaali keskväärtus (AVG)	<input type="text"/>	V
Efektiiivväärtus (RMS)	<input type="text"/>	V

vastan

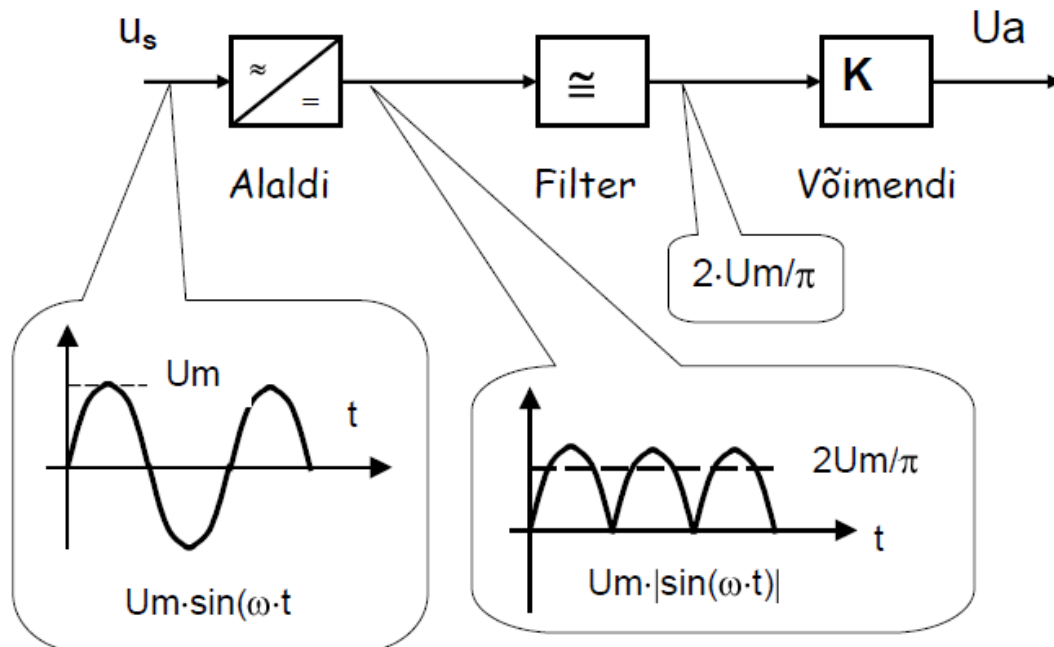
Vahelduvvool (ja – pinge)

Alldav keskväärtusega voltmeeter

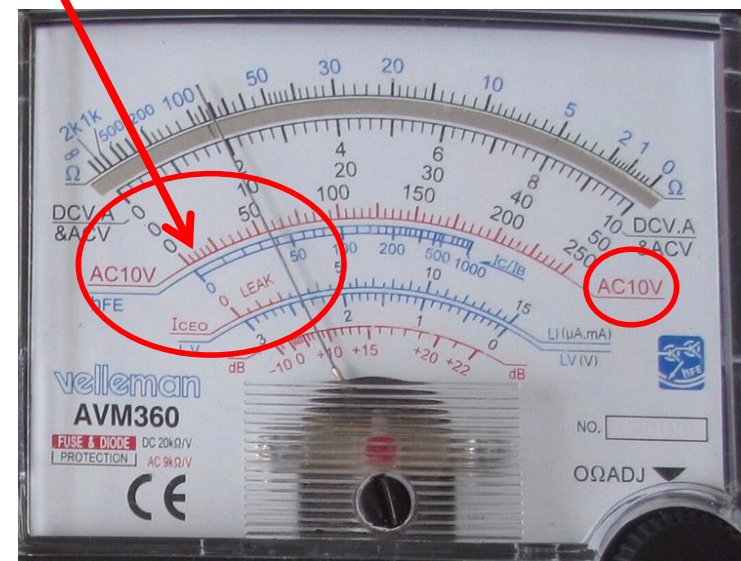


$$V_{mk} = \frac{1}{T} \int_0^T |v(t)| dt$$

Skaala gradueeritakse efektiivväärtuse järgi. Reaalne vahe on 1,11 korda Näitab õigesti vaid harmoonilise signaali korral !



Skaala alla 1V mittelineaarne !



Vahelduvvool (ja – pinge)

Efektiivvoltageer (True RMS)

Efektiivväärtus - alalissignaali millel on sama võimsus kui sisendsignaali



$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

Analoogtehnikas kallis realiseerida (signaali ruutu võtmine).

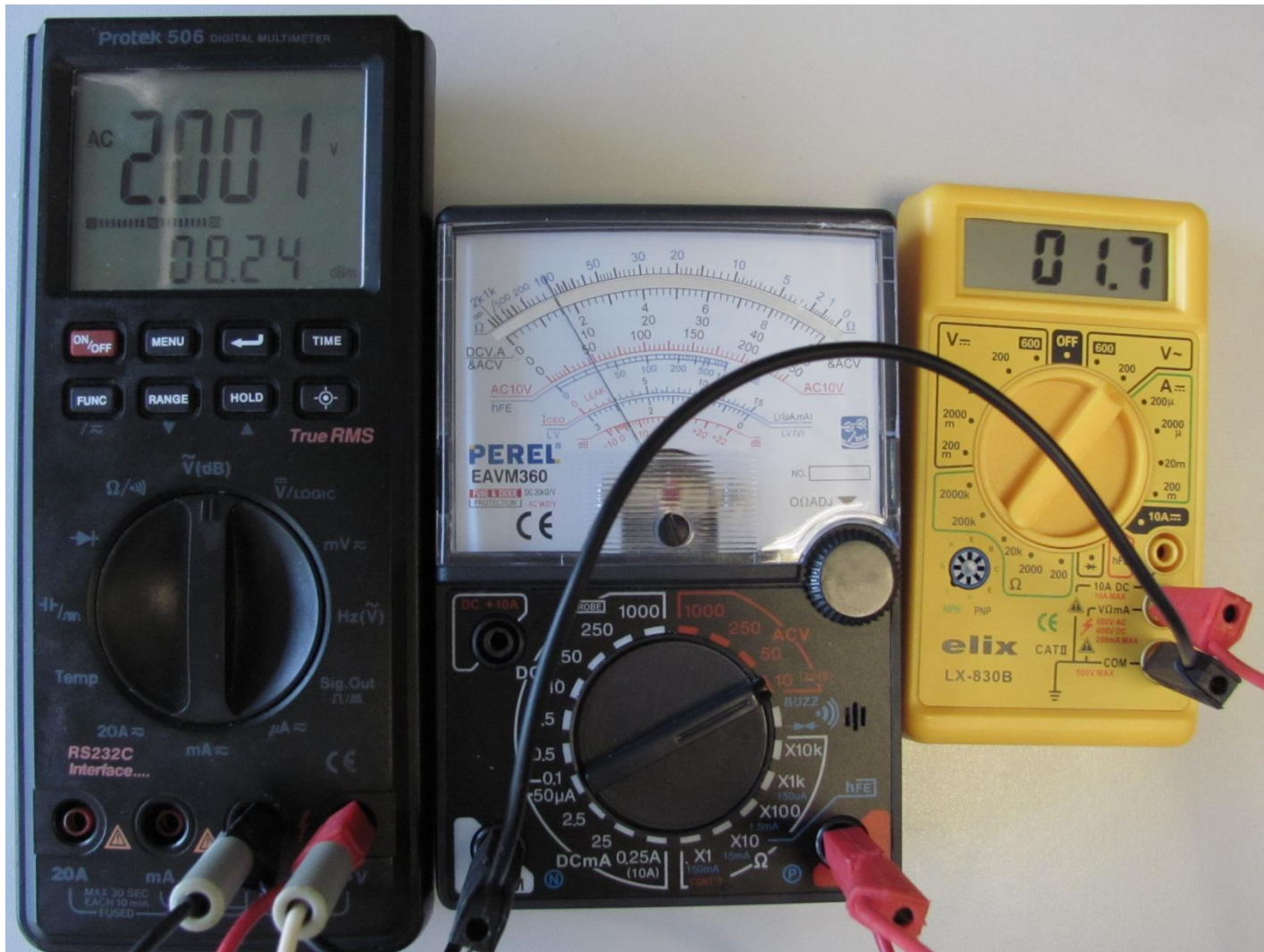
Kasutatakse termomuundureid, elektromagneetilisi osutmõõteriistu.
Digitehnikas eeldab signaali reaajas sãmplimist.

Kõik vaheduvsignaali mõõteseadmed **nãitavad** efektiivvããrtust.
Paljud seadmed mõõdavad tegelikult **mooduli keskvããrtust** !!!!



Vahelduvvool (ja – pinge)

Sisend: 2 V siinussignaal



Vahelduvvool (ja – pinge)

Sisend: 6 V siinussignaal



Vahelduvvool (ja – pinge)

Sisend: 6 V siinussignaali

???



Keskväärtus on 0

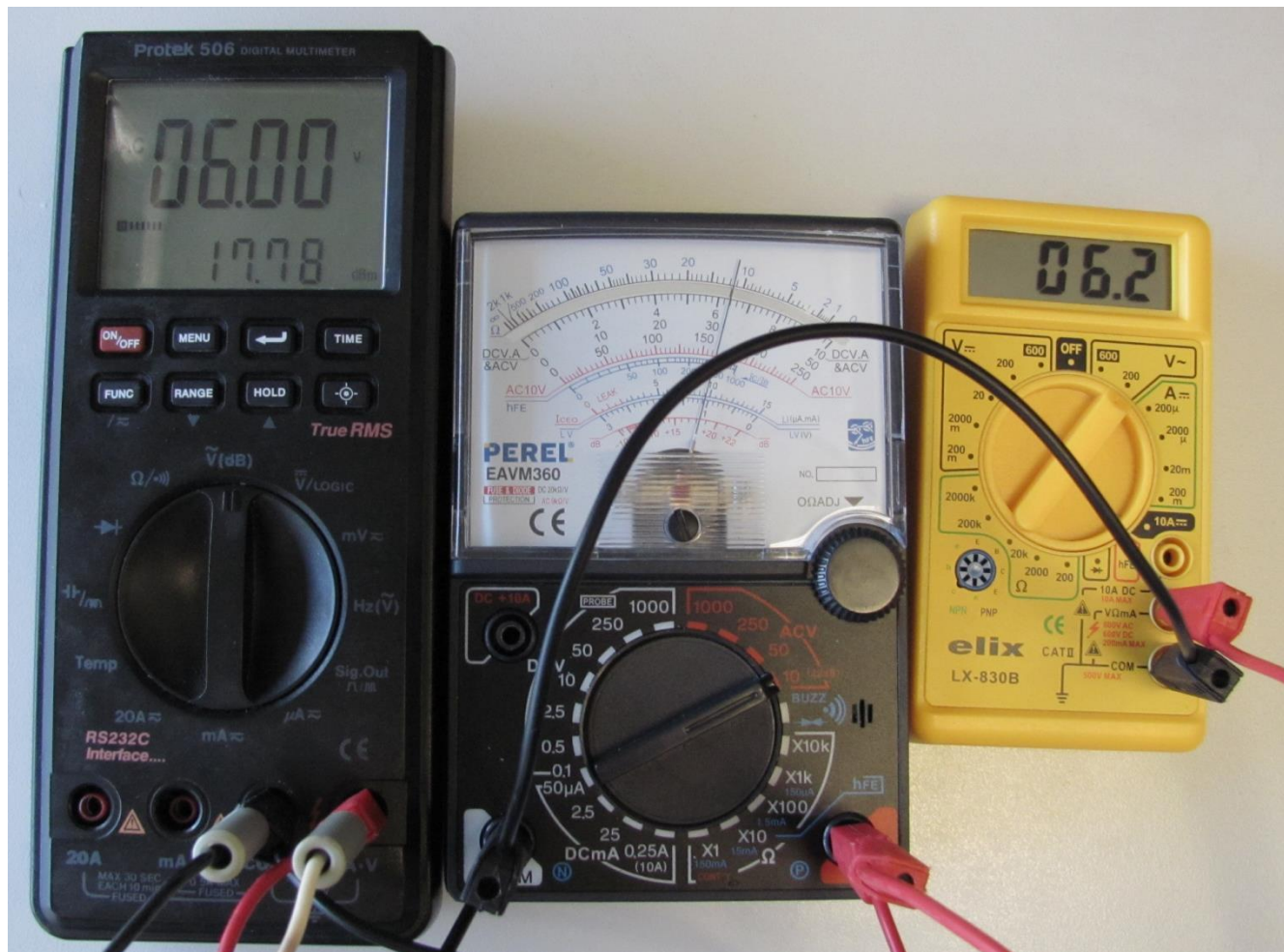
Vahelduvvool (ja – pinge)

Sisend: 6 V kolmnurksignaalaal



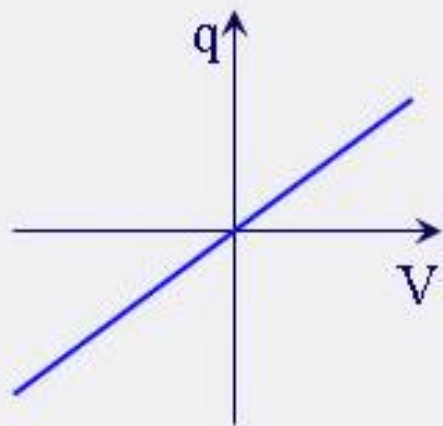
Vahelduvvool (ja – pinge)

Sisend: 6 V nelinurksignaali



Kondensaator

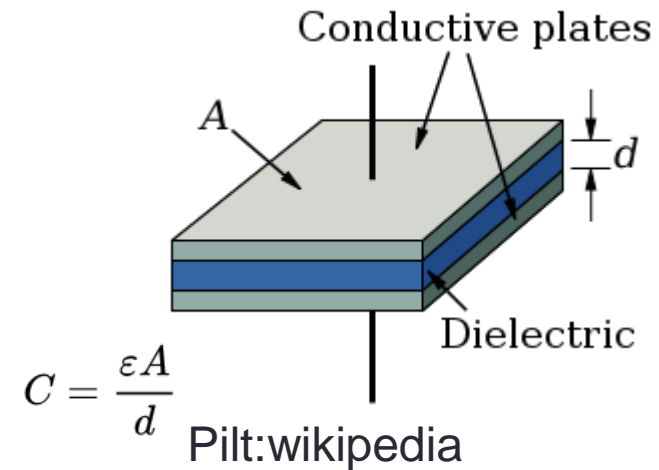
Kondensaator  Füüsikaline suurus - mahtuvus C , ühik farad (F)



Laeng
Mahtuvus
 $q = CV$
Pinge

[F] - farad

$$[\mathbf{F}] = \left[\frac{\mathbf{C}}{\mathbf{V}} \right] = \left[\frac{\mathbf{As}}{\mathbf{V}} \right] = [\mathbf{Ss}]$$



$$v(t) = v(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau$$

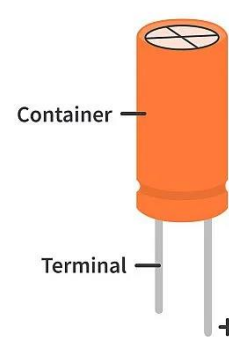
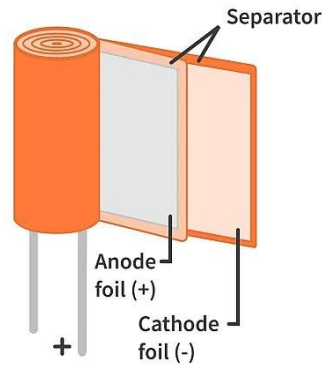
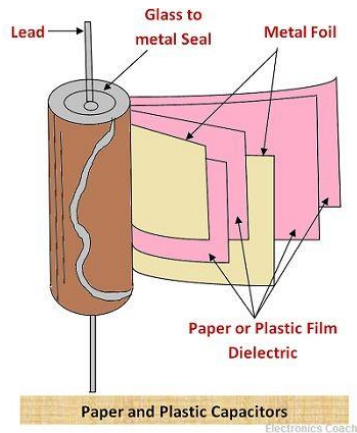
kui $C = \text{const!}$
 $q(t) = Cv(t)$

Kondensaatorid

- Lisaks mahtuvusele tuleb arvestada ka kasutusotstarvet
- Maksimaalne tööpinge, mõõtmed, parasiitparameetrid



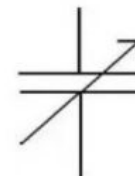
Kondensaatori ehitus



Läbiviigukondensaatorid



Pindmontaažikondensaatorid



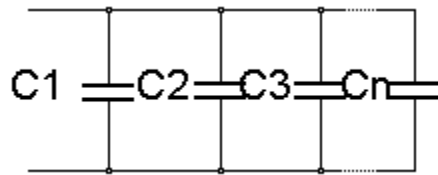
Püsikondensaator , elektrolüüt-kondensaator, muutkondensaator

Kondensaator

- Mahtuvus näitab elektrilist inertsi , diferentsiaalvõrrandit saab võrrelda Newtoni seadusega

$$i_c = C \frac{dv_c}{dt} \quad \vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

- Kondensaatori pinge on pidev (ei saa muutuda hetkeliselt !)
- Integreerib voolu, pinge jääb voolust veerand perioodi maha.
- Juhtivus** on reaktiivne $Y_c = j\omega C$ $Z_c = \frac{1}{j\omega C}$ $\omega = 2\pi f$ ω –nurksagedus (rad/s)
- Juhtivus on võrdeline sagedusega.
- Kondensaatorite jada ja paralleelühendusel kasutada juhtivusi !**



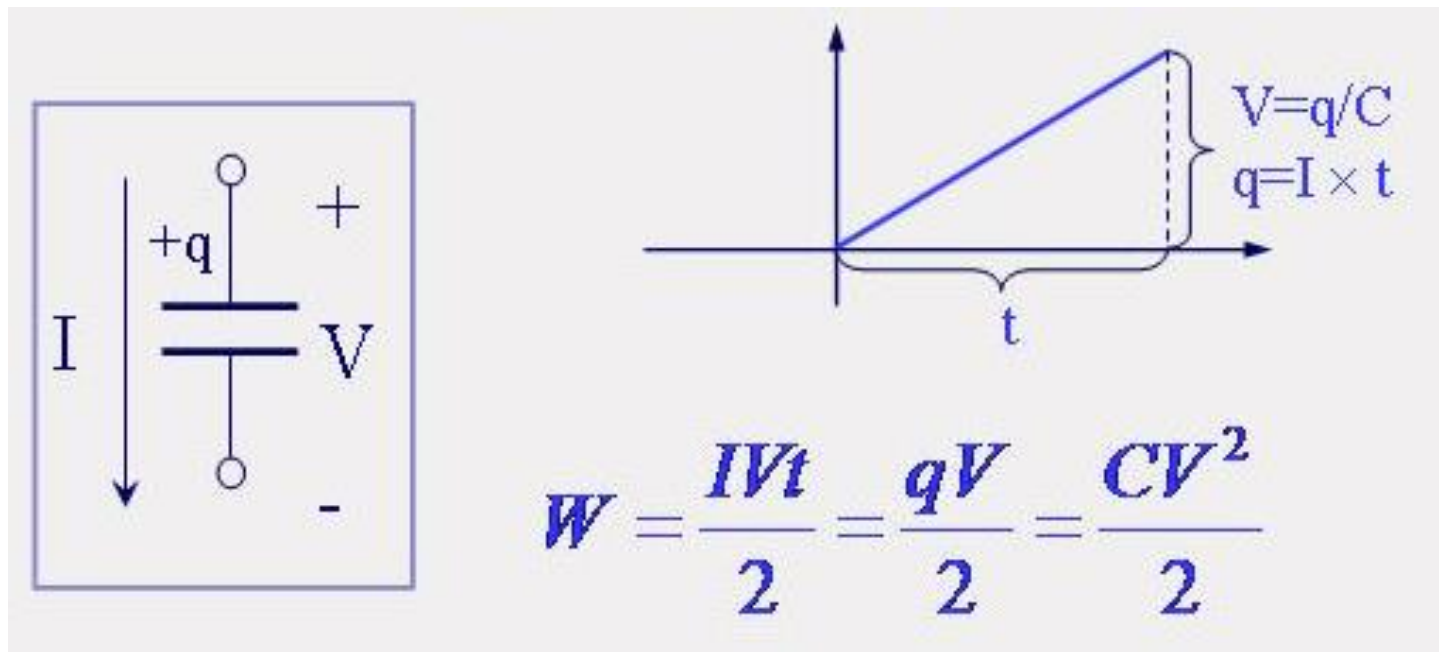
$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$



$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_n$$

Kondensaatori energia

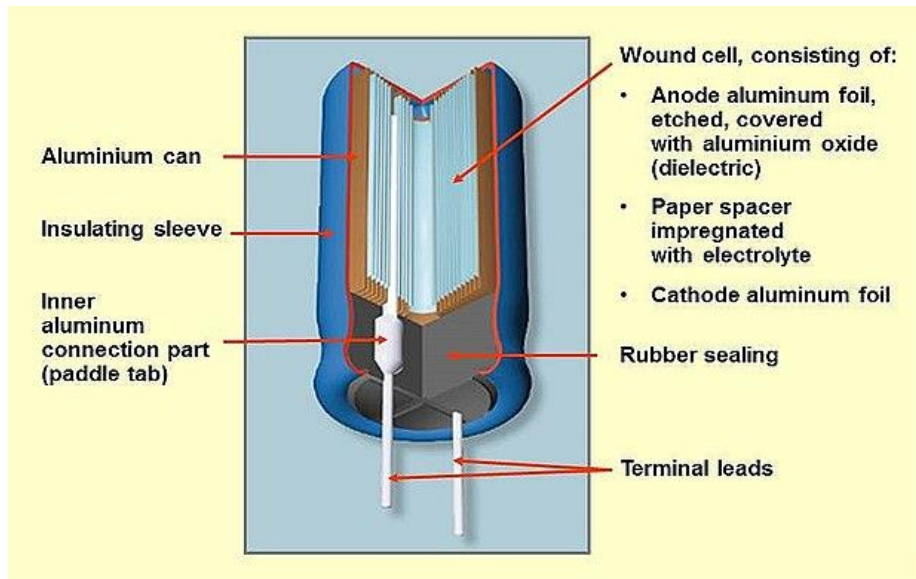
- Kondensaator on energiasalvesti !
- Laadides kondensaatorit konstantse vooluga I , kasvab selle pinge ja (ka laeng) lineaarselt:



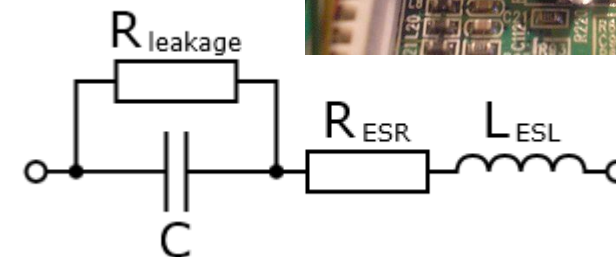
Energia on võrdeline pinge ruuduga !

Kondensaatorid (kasulik info)

- (Elektrolüüt)kondensaatoritel võib tänu valmistustehnoloogiale olla küllaltki suur parasiitakistus ja –induktiivsus, selle kompenseerimiseks ühendatakse väiksema mahtuvusega kondensaator rööbiti.
- Elektrolüüt-kondensaatoritel on oluline polaarsus ning tööpinge.



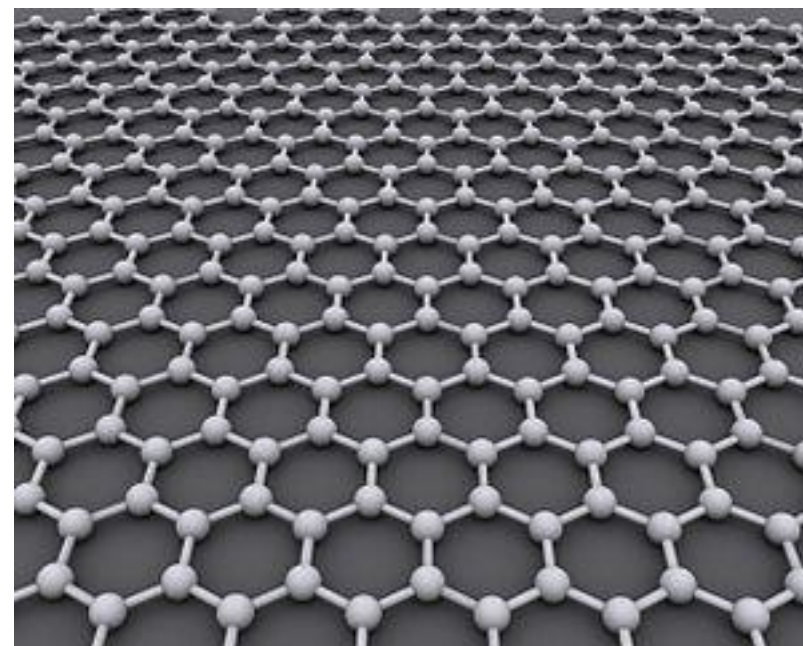
Pildid:wikipedia



Elektrolüüt-kondensaatori aseskeem

Superkondensaatorid

- Väga suure mahtuvusega (kuni mitu tuhat faradit)
- Nanotehnoloogia
- Piiratud tööpinge
- Suur lekkevool
- Suur parameetrite hajuvus
- Kasutusel ajutise energiasalvestisena

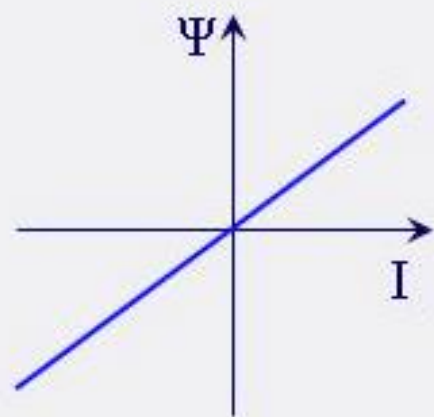


Grafeen (wikipedia)

Induktor (induktiivpool)

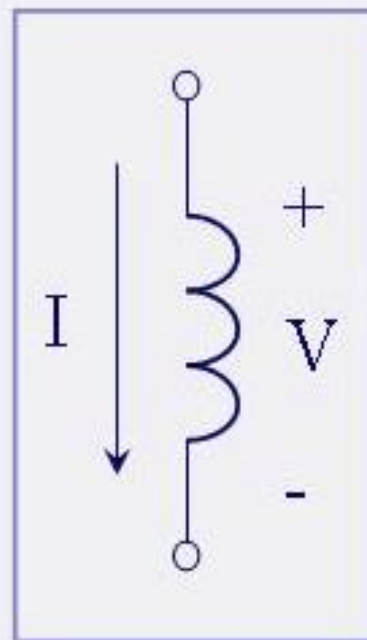


Induktor , füüsikaline suurus induktiivsus L, ühik henri H.



Magnetvoog
Induktiivsus
 $\Psi = LI$
Vool

[H] - henri



$$[\mathbf{H}] = \left[\frac{\mathbf{Wb}}{\mathbf{A}} \right] = \left[\frac{\mathbf{Vs}}{\mathbf{A}} \right] = [\mathbf{\Omega s}]$$

Mitmekeerulise pooli induktiivsus :

$$L = \frac{\mu_0 * N^2 * S}{l}, \text{ kus}$$

L – induktiivsus

μ_0 – südamiku magnetiline läbitavus

N – mähise keerdude arv

S – mähise ristlõike pindala

l – pooli pikkus

$$i(t) = i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v(\tau) d\tau$$

kui L=const!

$$\Psi(t) = Li(t)$$

Induktorid

- Lisaks induktiivsusele olulised ka mõõtmed, **aktiivtakistus**, parasiitparameetrid
- Südamik põhjustab **mittelineaarsust** , (suure voolu korral ettevaatust) !
- Eriliigid sõltuvalt kasutusotstarbest.
- Kui mitut mähist läbib sama magnetvoog, saame trafo (transformaatori)





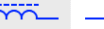













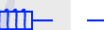



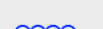







Muudetava induktiivsusega kõrgsageduspoolid (raadio – ja sidetehnika)



Ferriit –rõngassüdamikuga poolid

Inductor Symbols
www.electricaltechnology.org

 Inductor Generic US	 FeSi Core inductor	 Iron Core Inductor	 Iron Core Inductor	 Ferrite core inductor	 Inductor with Polarity	 Analog Delay Line
 Variable Ferrite Core inductor	 Preset Ferrite Core inductor	 Continuous variation Inductor	 Variable Ferrite Core inductor	 Variable Inductor	 Stepwise Variable Inductor	 Stepwise Variable Inductor
 Inductance	 Inductor International	 Inductance with power points	 Shielded inductor	 Electromagnet Solenoid	 Electromagnet Solenoid	 Electromagnetic deflection coil
 Bifilar Inductor	 Inductor with Fixed connections	 Variometer	 Saturable core inductor	 Electromagnet	 Preset Ferrite Core inductor	 Electric motor inductors

Induktor

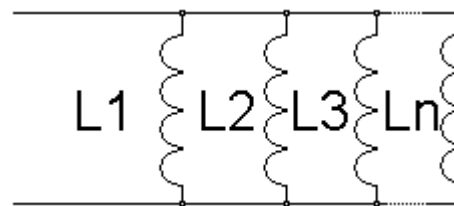
- Induktor näitab elektrilist inertsi , diferentsiaalvõrrand:

$$v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

- Induktori vool on pidev (ei saa muutuda hetkeliselt !)
- Integreerib pinget, vool jääb pingest veerand perioodi maha.
- Takistus** on reaktiivne $Z_L = j\omega L$ $Y_L = \frac{1}{j\omega L}$ $\omega = 2\pi f$ ω nurksagedus (rad/s)
- Takistus on võrdeline sagedusega.
- Induktorite jada ja paralleelühendusel kasutada takistusi !**



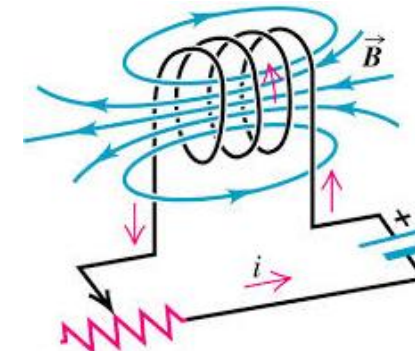
$$L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$



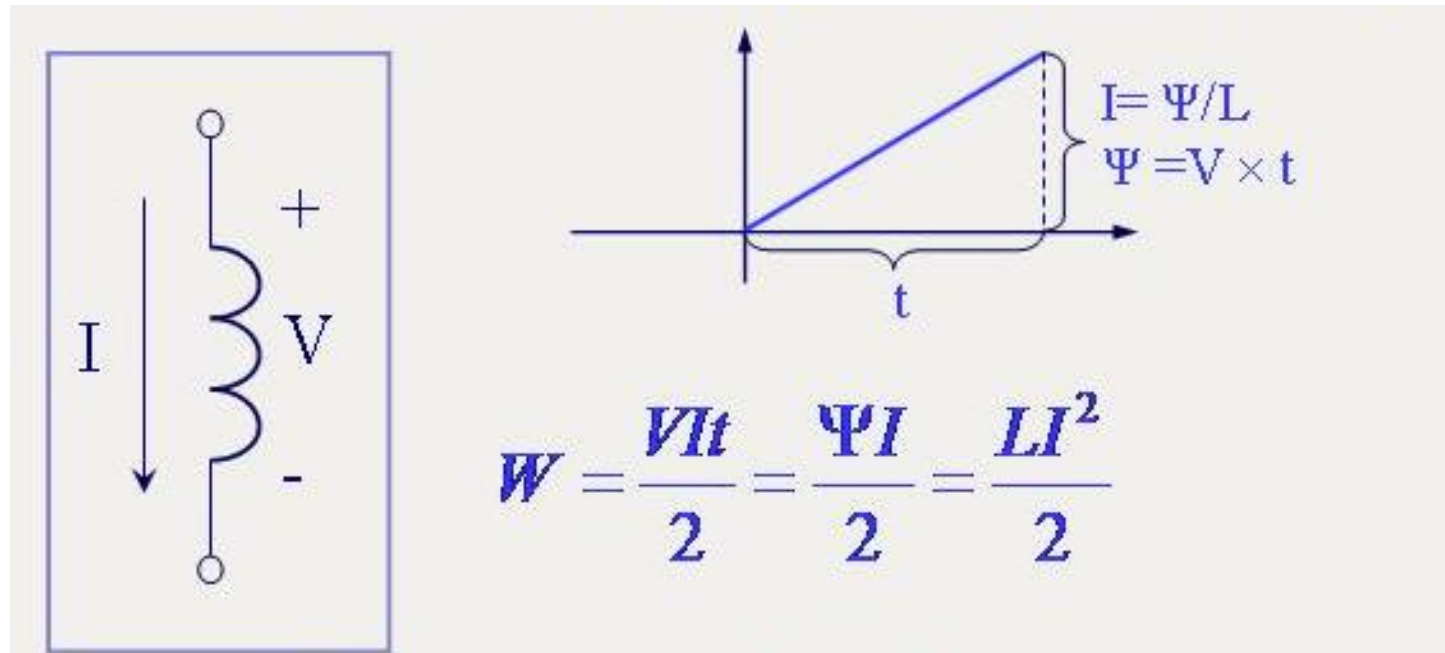
$$1/L = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_n$$

Induktori energia

- Induktor on energiasalvesti !
- Laadides induktorit konstantse pingega V , kasvab selle vool ja (ka magnetvoog) lineaarselt:



Pilt:wikipedia



Energia on võrdeline voolu ruuduga !

Kondensaator ja induktor

- Energia, mis on sinna salvestatud, **saame igal juhul kätte** !
- Skeemide disainimisel tuleb sellega arvestada !



Lülitit ei tohi vahetult ühendada

- Induktoriga jadamisi !
- Kondensaatoriga rööbiti !

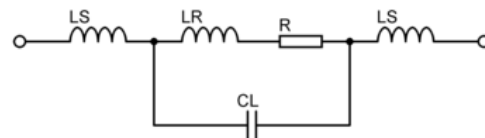
Kui see on möödapääsmatu, tuleb kasutada erilahendusi !

Kondenssaatorid ja induktorid

-on olemas ka siis kui me neid ei taha !
- Nagu ka takistus .

Parasiitkomponendid

- Mida kõrgem on sagedus, seda rohkem annavad endast märku L Ja C !
- **Seadmete disainil tuleb sellega arvestada !**
- Ostate poest selle:

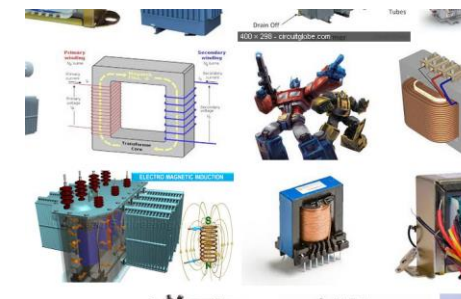
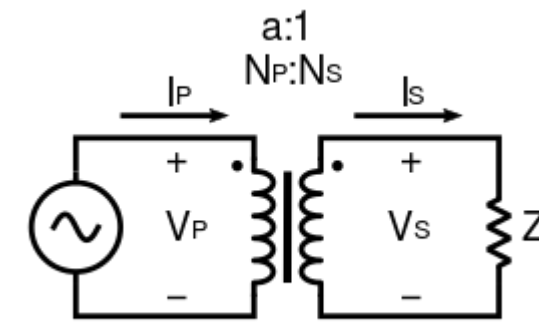


- Aga saate selle :
- Sobib suvalise reaalse R,C või L aseskeemiks !

Transformaator (trafo)

- Samas magnetväljas paiknevad induktorid.
- Energia ülekanne kasutades elektromagnetilist induktsiooni.
- **Kaksport** (või ka hulkport – rohkem kui kaks mähist).
- Mähist võib vaadelda kui **kaksklemmi**, induktorit.
- Toimib ainult vahelduvsignaaliga.
- Ideaalsel juhul:

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S} = \sqrt{\frac{L_P}{L_S}} = a$$



Google otsing : Transformer

- Disainimise põhimure – leida optimaalne keerdude arv mõlema mähise jaoks. Südamiku magneetumuse arvutus.