

Füüsika ei ole keeruline,
ta on lihtsalt veider.

Vincent Icke „The Force of symmetry“ 1994

Elektrotehnika, see on imelihtne!

Kaido.Kiil@tptlive.ee

Vabakava

Esitlus/ettekanne/plakat/teatrietendus/väitlus/video teemal: Elektrotehnika

Õpilane või väike rühm õpilasi valib endale meelepärase teema elektrotehnikast ning teeb selle kohta pealkirjas toodu. Teema valiku kriteerium on, et see peab olema elektrotehnikast.

Teema läheb lukku peale selle õpetaja juures registreerimist ning leppides kokku tähtaja, millal õpilane või väike rühm õpilasi seda esitleb/kannab ette.

Kõik enne tööd ja/või töö käigus tekkivad küsimused tuleb õpetajale esitada enne töö tähtaega – kas klassis või e-mailiga.

Teema registreerimise tähtaeg 30.09.2025

Hinde kaal: Kontrolltöö

Mahutavus vs Mahtuvus

Mahutavus vs Mahtuvus

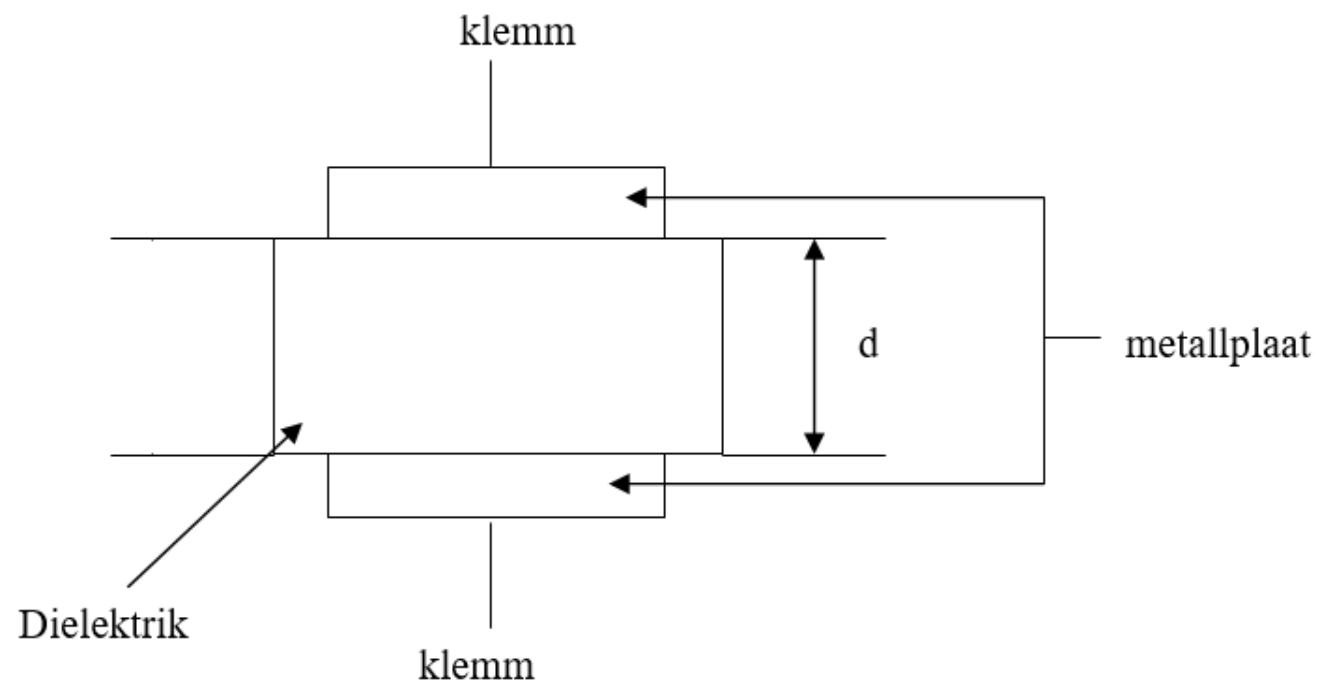
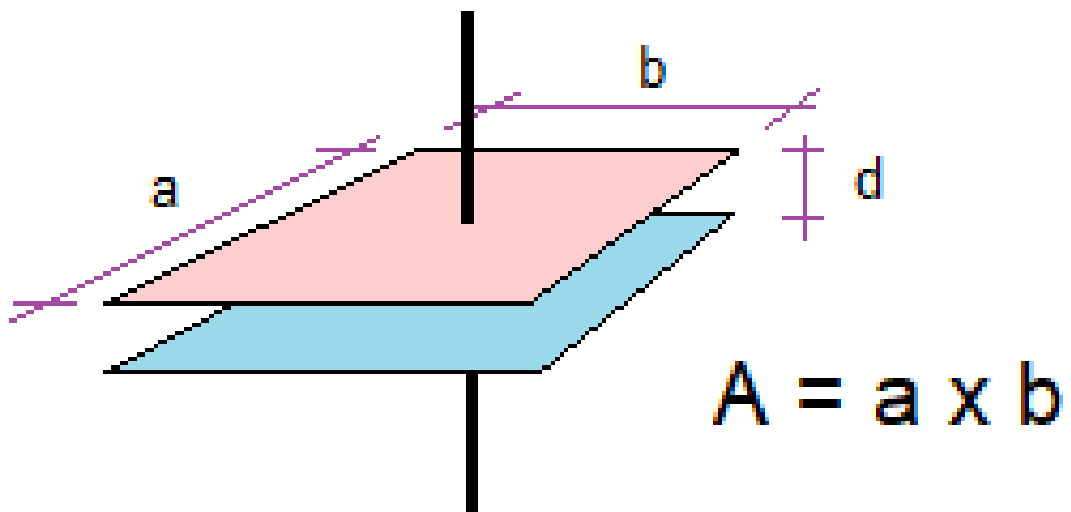
Mahutavus ehk elektrimahutavus on füüsikaline suurus, mis näitab, kui suure elektri hulga keemiline vooluallikas nimipingel mahutab.

Mahtuvus ehk elektrimahtuvus on füüsikaline suurus, mis iseloomustab elektrit juhtiva keha või kondensaatori võimet salvestada elektrilaengut.

Mis on kondensaator?

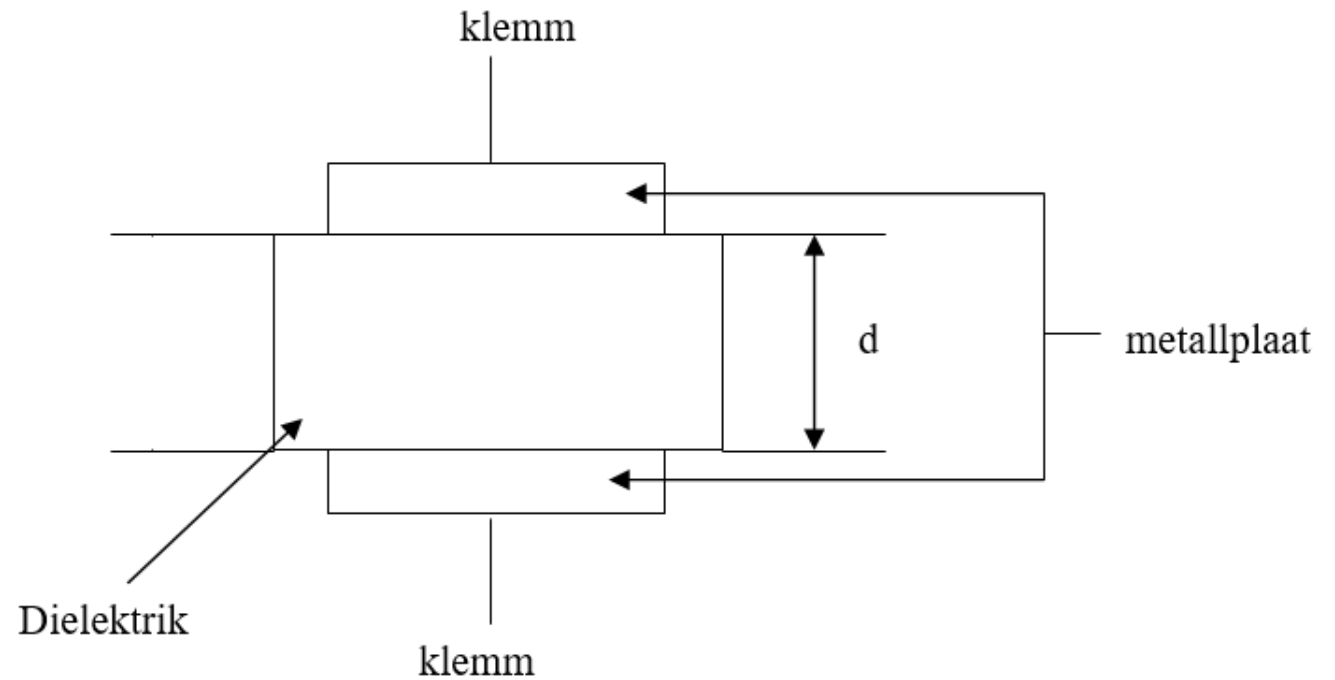
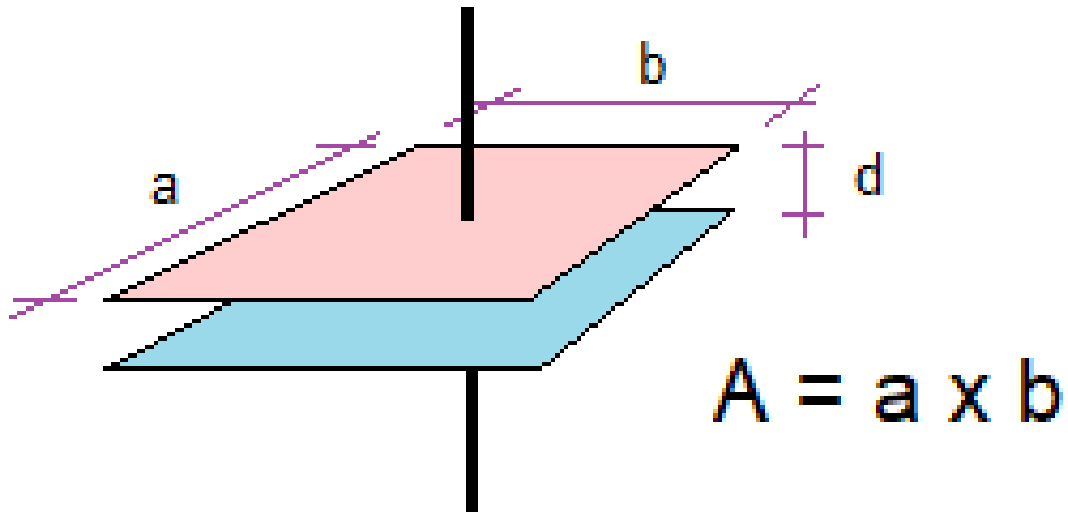
Kondensaator on elektriahela element, mis salvestab elektrienergiat elektrivälja kujul. Ta ei muuda elektrienergiat soojuseks ega mehaaniliseks energiaks, vaid kogub ja vabastab laengut vastavalt sellele, kuidas teda ahelas kasutatakse.

Kui aku on nagu veehoidla, kuhu kogutakse palju vett pikaks ajaks, siis kondensaator on nagu väike veeboiler, mis kiiresti soojeneb ja jahtub – ta hoiab energiat lühiajaliselt ja annab selle kiiresti välja.



Kondensaator koosneb **kolmest põhiosast**:

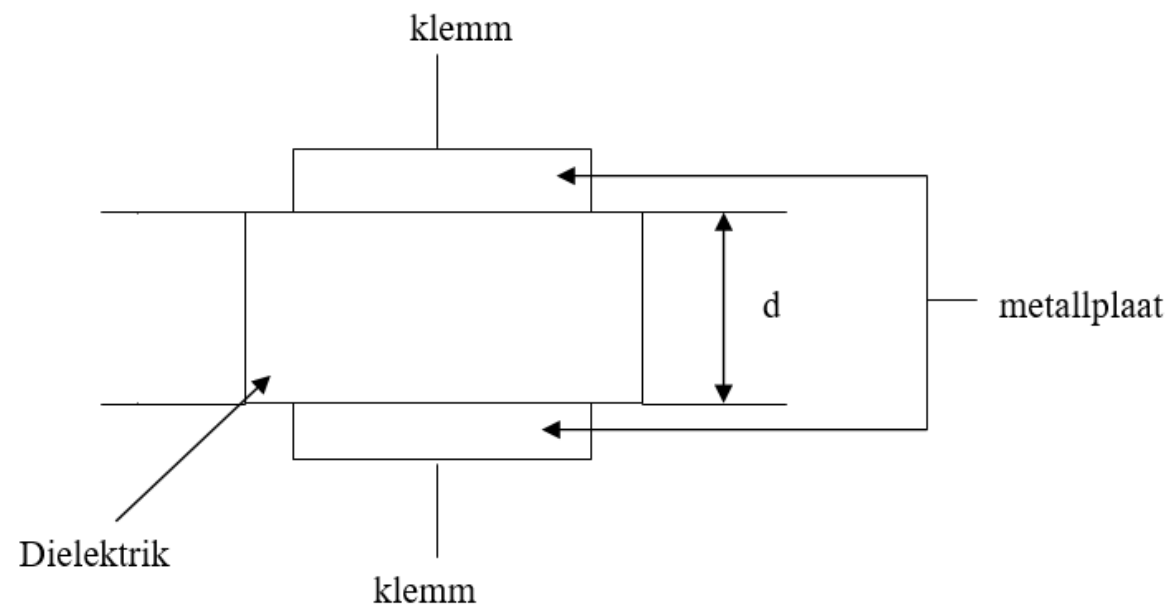
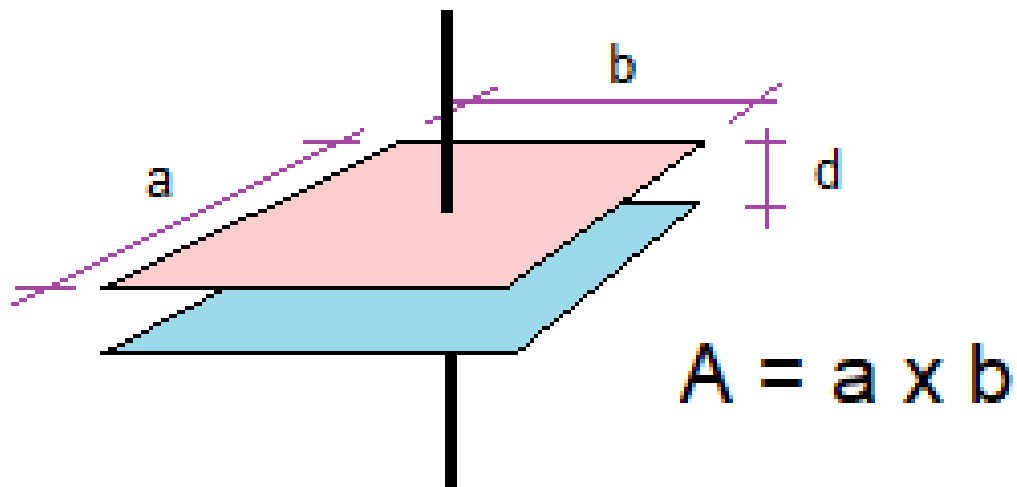
- 1** kaks metallplaati (elektroodi)
- 2** dielektrik nende vahel
- 3** klemmid, millega see ühendatakse elektriahelasse



Metallplaadid ehk elektroodid

- Need on **juhtivad pinnad**, millele kogunevad elektrilaengud.
- Kui kondensaatorit ühendatakse pingega:
 - ühele plaadile koguneb **positiivne laeng (+Q)**
 - teisele plaadile **negatiivne laeng (-Q)**
- Plaadid on tavaliselt valmistatud **alumiiniumist, vasest või messingist**.
- Suure pindalaga plaadid → **suurem mahtuvus**, sest rohkem laengut mahub samale pingele.

Mida suurem plaat, seda suurem energiahoidla.



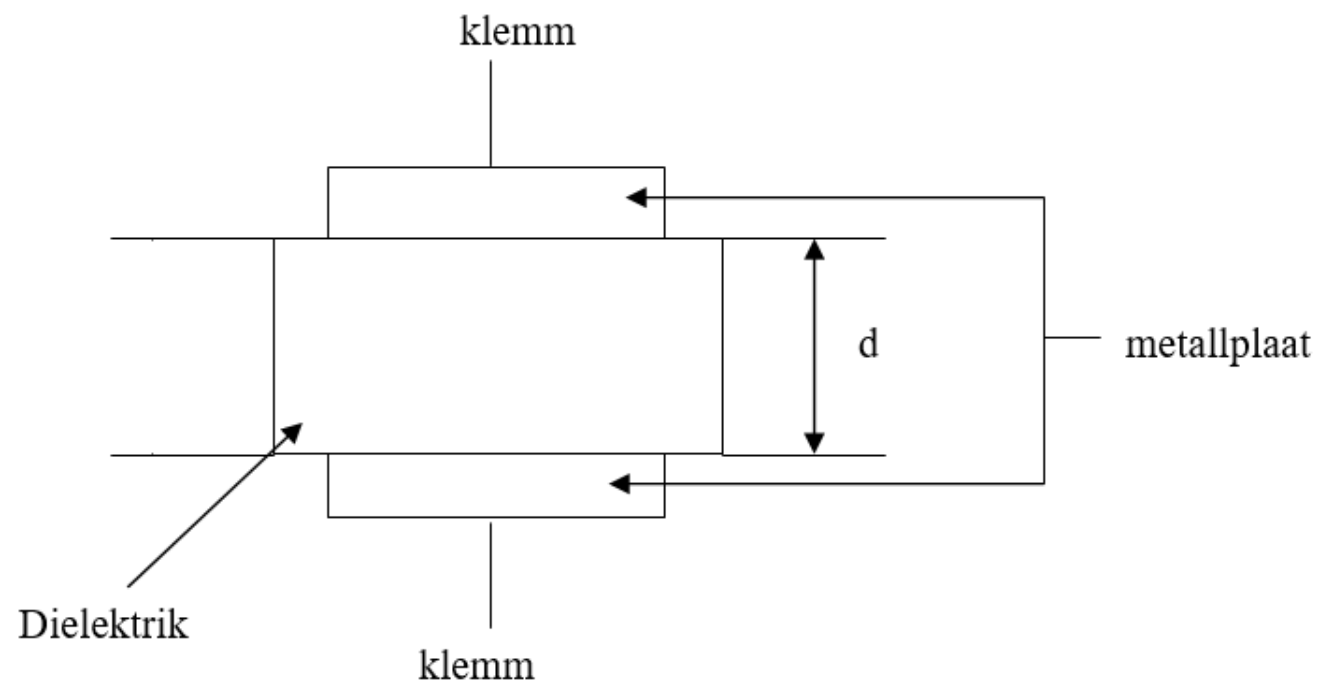
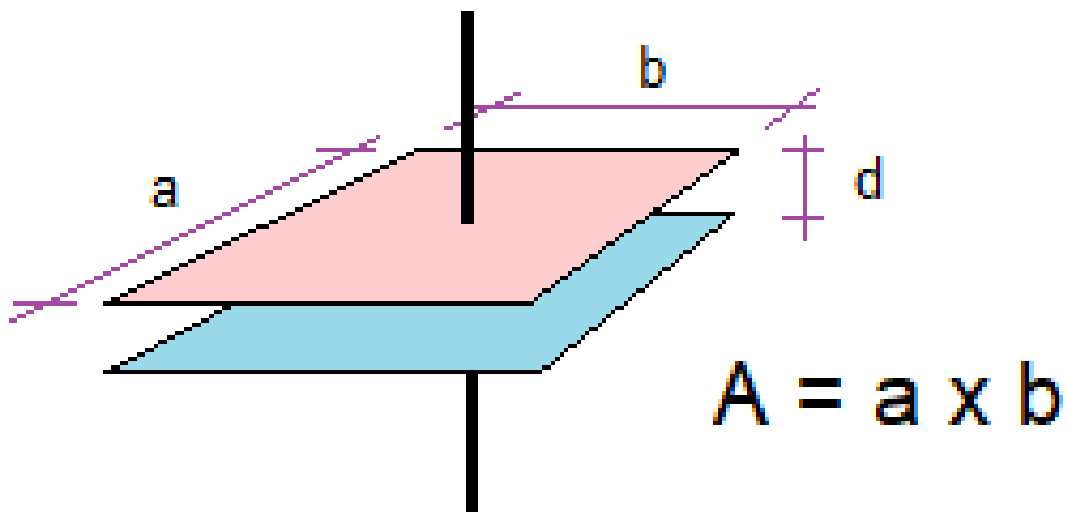
Dielektrik ehk isolaator

Asub **plaatide vahel** ja **ei juhi voolu**, kuid **laseb tekkida elektriväljal**.

Dielektrikuks võib olla:

- **õhk** (lihtsaim)
- **paber** (vanemates kondensaatorites)
- **plast** (mülar, polüpropüleen, teflon)
- **keraamika** (väikestes kondensaatorites)
- **elektrolüüt** (elektrolüüt-kondensaatorites)

Igal materjalil on oma **dielektriline läbitavus (ϵ)** — see näitab, kui hästi ta suudab elektrivälja “hoida”. *Mida parem dielektrik (suurem ϵ), seda suurem mahtuvus sama mõõdu juures.*



Klemmid on ühenduspunktid, mille kaudu kondensaator ühendatakse vooluringi. Klemmid on ühendatud plaatidega.

Väikestes kondensaatorites on need traadid, suuremates metallümbrisega kondensaatorites on need keermega postid või pistikud.



Kondensaator võib välja näha:

- Lamedate plaatidena (õhukondensaatorid),
- Rullina (paber- ja kilekondensaatorid),
- Silindrina (elektrolüüt-kondensaatorid),
- Ketta või toruna (keraamilised kondensaatorid).

Püsikondensaator on selline kondensaator, mille mahtuvus on kindel ega muutu kasutamise ajal. Tema mahtuvus on määratud juba valmistamisel ja seda ei saa käsitsi muuta.

Koosneb kahest metallplaadist ja dielektrikust nende vahel. Plaatide pindala ja vahekaugus on püsivad → mahtuvus ei muutu. Valmistatakse paljudes erinevates mahtuvustes: pF, nF, μ F.

Keraamilised kondensaatorid, Kilekondensaatorid, Paberkondensaatorid, Elektrolüütkondensaatorid

Kasutus:

- Toiteplokkides (pingesilumiseks)
- Signaaliahelates (filtrid, ajakonstandid)
- Mootorite käivitamiseks

Muutkondensaator on kondensaator, mille mahtuvust saab muuta käsitsi või automaatselt. See saavutatakse plaatide omavahelise kattumise või vahekauguse muutmisega. Pööratavad muutkondensaatorid (käsitsi keeratavad plaadid); Trimmerkondensaatorid (kruvikeerajaga reguleeritavad väikesed variandid)

Üks plaadikogum on statsionaarne, teine liigub pööratavalt.

Kui plaadid kattuvad rohkem, suureneb mahtuvus ($C \uparrow$).

Kui plaadid kattuvad vähem, väheneb mahtuvus ($C \downarrow$).

Dielektrikuks on tavaliselt õhk või plastik.

Raadioseadmete häälestuskondensaatorid (jaamade valimiseks)

Reguleeritavad võnkeahelad ja filtrid

Trimmerkondensaatorid (väikesed reguleeritavad kondensaatorid trükkplaadil)

Omadus	Püsikondensaator	Muutkondensaator
Mahtuvus	Püsiv	Muudetav
Ehitus	Plaadid ja dielektrik fikseeritud	Üks plaat või plaatide kattumine muudetav
Dielektrik	Keraamika, kile, paber, elektrolüüt	Tavaliselt õhk või plast
Suurus	Väike kuni keskmine	Suurem, mehaanilise liigutusega
Kasutus	Toiteplokkides, filtrites, ajakonstantides	Raadio häälestus, võnkeahelad

Tunnussuurus	Tähis	Ühik	Selgitus
Mahtuvus	C	farad (F)	Näitab, kui palju elektrilaengut kondensaator suudab salvestada ühe voldi pingelangul. Valem: $C = Q / U$
Pinge (lubatud pinge)	U või U_{max}	volt (V)	Maksimaalne pinge, mida kondensaator talub ilma et dielektrik läbistuks. Selle ületamisel kondensaator võib hävida.
Laeng	Q	kulon (C)	Näitab, kui palju elektrilaengut on kondensaatoris salvestatud. Valem: $Q = C \cdot U$
Energia	E	džaul (J)	Kondensaatorisse salvestatud energia elektriväljas. Valem: $E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$
Takistus vahelduvvoolule (reaktiivne takistus)	X_c	oom (Ω)	Näitab, kui palju kondensaator „takistab” vahelduvvoolu läbimist. Valem: $X_c = 1 / (2\pi f C)$
Sagedus (kui kasutatakse vahelduvvoolus)	f	herts (Hz)	Kui sagedus suureneb, siis kondensaatori takistus väheneb (läbib kergemini kõrgsageduslik vool).

Tunnussuurus	Tähis	Ühik	Selgitus
Dielektriline läbitavus	ϵ (epsilon)	–	Näitab, kui hästi dielektrik võimaldab elektrivälja tekkimist. Suurem $\epsilon \rightarrow$ suurem mahtuvus.
Plaadi pindala	S	m^2	Mida suurem plaatide pindala, seda rohkem laengut saab salvestada.
Plaatide vahekaugus	d	m	Mida väiksem kaugus plaatide vahel, seda suurem mahtuvus.
Lekkevool	I_{lekk}	amper (A)	Väga väike vool, mis lekib läbi dielektriku (ideaalis null, reaalselt mitte).
Tolerants	$\pm\%$	–	Näitab, kui palju tegelik mahtuvus võib erineda nimiväärtusest (nt $\pm 10\%$).
Temperatuuritegur	$\alpha_{(C)}$	$\%/^{\circ}\text{C}$	Näitab, kuidas mahtuvus muutub temperatuuri mõjul.

Märgistus kondensaatoril

Märgistus	Näide	Selgitus
Mahtuvus	100 μ F, 4n7, 470 pF	Näitab mahtuvuse suurust. Väikesed tähised võivad olla ühikuga või numbrikoodiga.
Pinge (maksimaalne)	16 V, 50 V, 400 V	Näitab suurimat pinget, mida kondensaator talub.
Tolerants	$\pm 10\%$, J, K, M	Näitab täpsust. Näiteks: J = $\pm 5\%$, K = $\pm 10\%$, M = $\pm 20\%$.
Temperatuurivahemik	-40...+85 °C	Töötamise temperatuuriala.
Tootja või seeria	(logo, lühend)	Abistav info hoolduse ja asenduse jaoks.

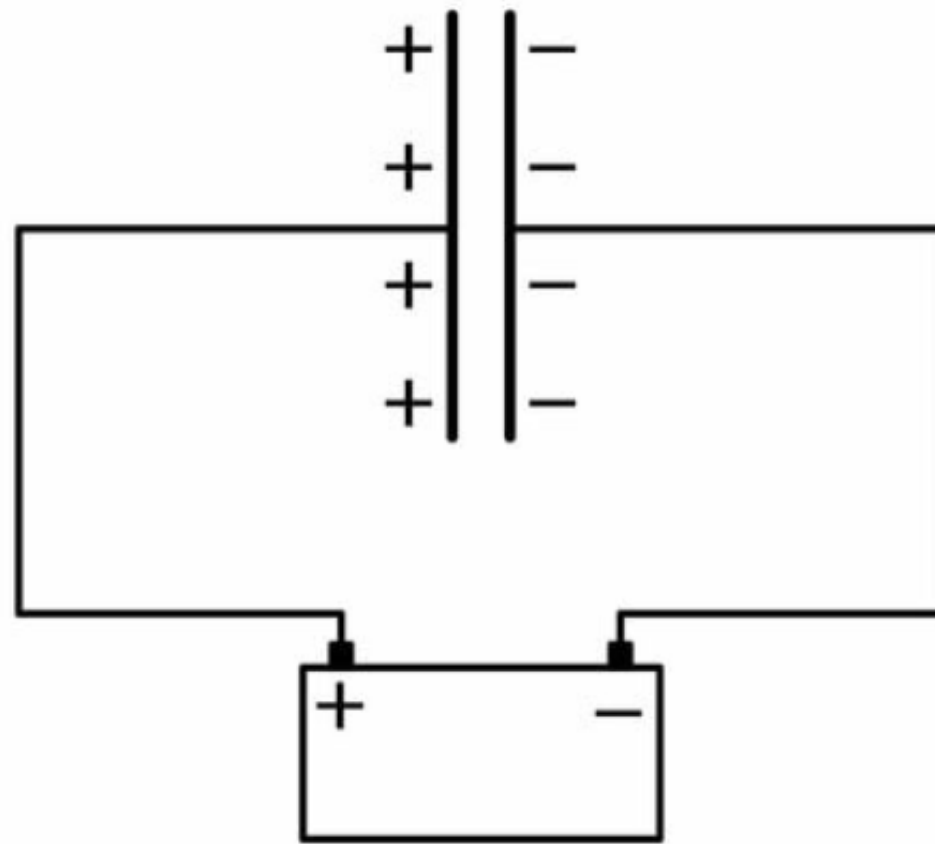
Kood	Baasväärtus	Nullide arv	Arvutus	Tulemus
101	10	1	10×10^1	100 pF
102	10	2	10×10^2	1000 pF = 1 nF
223	22	3	22×10^3	22000 pF = 22 nF
474	47	4	47×10^4	470000 pF = 470 nF = 0,47 μ F

Kui ruumi pole palju (nt keraamilistel või kilekondensaatoritel), kasutatakse kolmekohalist koodi, nagu takistitel:

- Esimesed kaks numbrit = baasväärtus (Baasväärtus on see algarv, millele kolmas number ütleb, *mitu nulli tuleb taha panna.*)
- Kolmas number = nullide arv (pF ühikus)

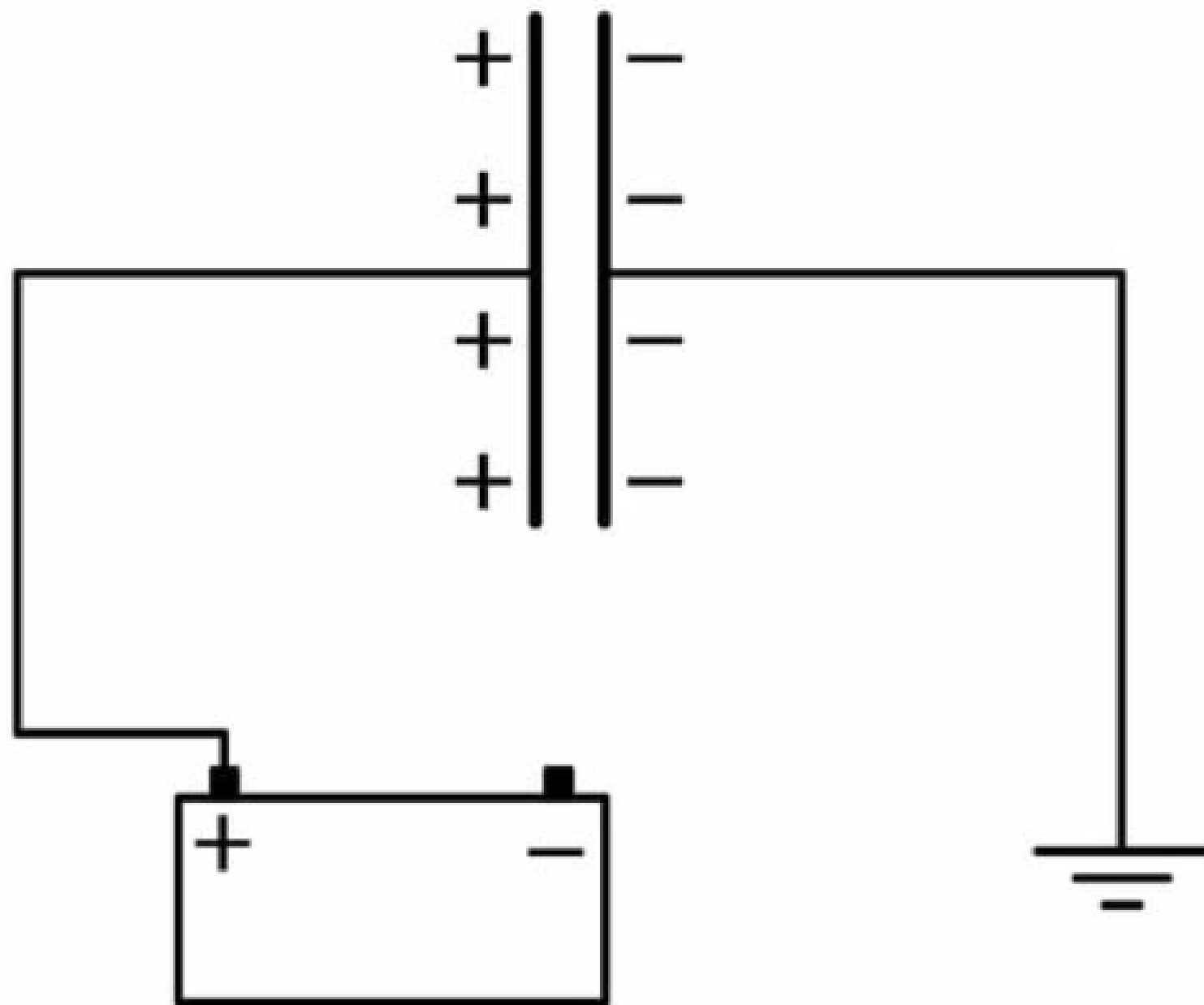
Mahtuvuste teisendamine

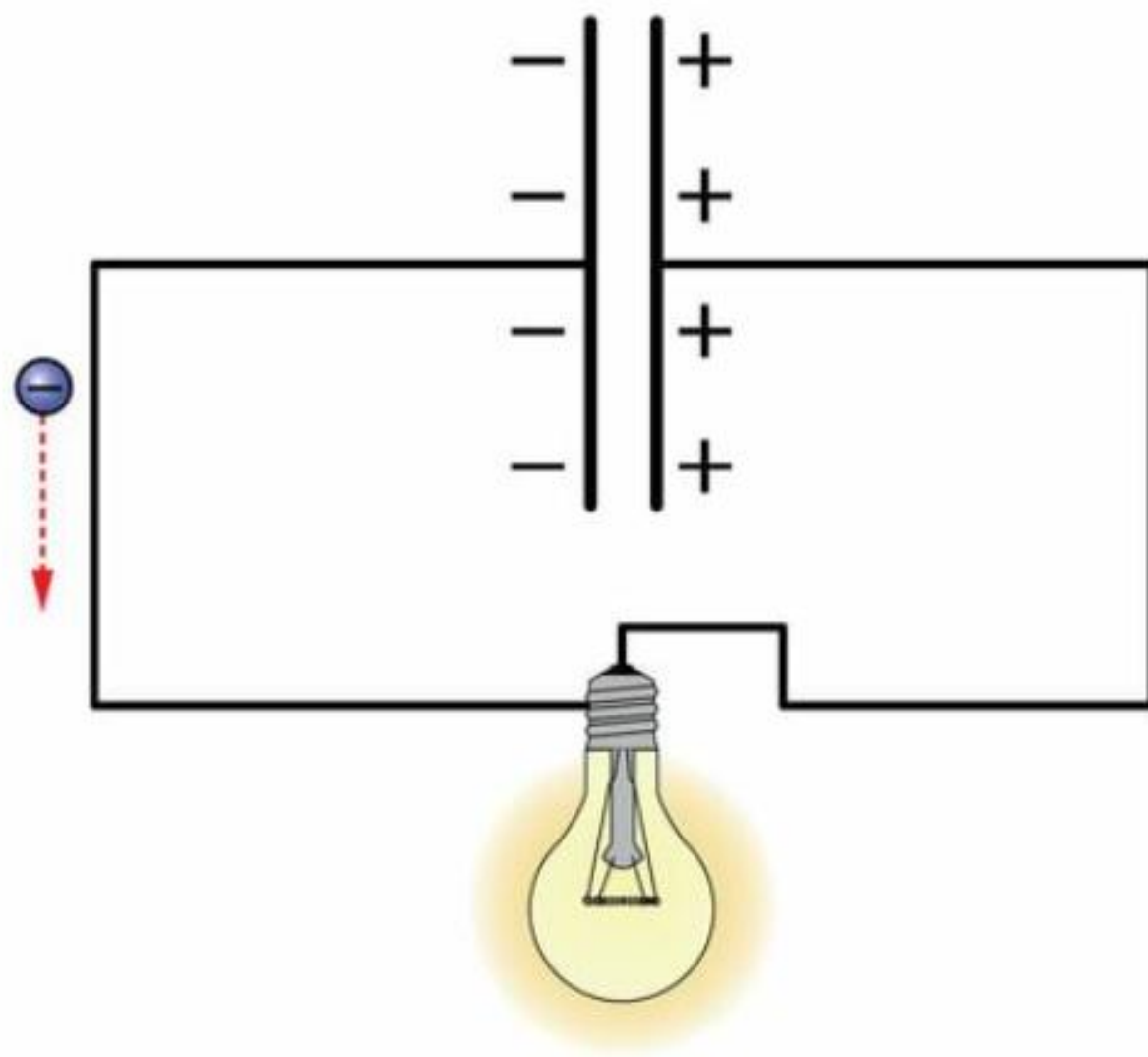
pF	nF	μ F	μ F	F
1	0,001	0,0000001	1	0,0000001
10	0,01	0,000001	10	0,000001
100	0,1	0,00001	100	0,00001
1000	1	0,001	1000	0,001
10000	10	0,01	10000	0,01
100000	100	0,1	100000	0,1
1000000	1000	1	1000000	1



Kui ühendada plaadid elektrijuhtmete abil vooluallika poolustega, siis plaadid laaduvad. Alguses toimub laadumine väga kiirelt, aga plaatidele kogunenud laengu tõukejõud hakkab seda järjest tugevamalt takistama.

Laadimine lõpeb, kui kondensaatori plaatide vaheline pinge saab võrdseks pingega vooluallika klemmidel.





Kui eemaldada vooluallikas ja ühendada kondensaator tarvitiga, hakkab kondensaator tühjenema, tekitades vooluringis elektrivoolu. Seega võime öelda, et kondensaator salvestab energiat ja kondensaatorit saab kasutada vooluallikana.

Omadus	Alalispinge (DC)	Vahelduvpinge (AC)
Pinge iseloom	Pinge on püsiv (nt +12 V)	Pinge muutub perioodiliselt polaarsust ja suurust (nt 230 V, 50 Hz)
Laadimine	Kondensaator laeb end toitepingeni (kuni $U = U_{\text{toide}}$)	Kondensaator laeb ja tühjeneb pidevalt iga poolperioodi jooksul
Laengu püsimine	Laeng jääb kondensaatorisse (seni kuni tühjendus toimub tarbija või takisti kaudu)	Laeng ei püsi – kuna polaarsus vaheldub, toimub pidev ümberlaadimine
Voolu liikumine	Vool voolab ainult laadimise hetkel (hetkeline)	Vool vaheldub pidevalt edasi-tagasi, kuna kondensaator „läbib” vahelduvvoolu vahelduva laadimise kaudu
Keskmine vool	Lõpuks 0 A (laetud)	Keskmine vool 0 A, kuid hetkeline vool pidevalt muutub
Tarbija toide	Võimalik ajutiselt, kuni kondensaator tühjeneb	Tarbija ei saa püsivat energiat, vaid vahelduvat impulssi iga poolperioodi jooksul

Ajakonstant τ (loetakse “tau”)

Ajakonstant τ näitab kui kiiresti kondensaator laeb või tühjeneb RC ahelas. R – takistuse suurus; C – kondensaatori mahtuvus

Kui ühendad kondensaatori ja takisti alalispingele, siis kondensaator ei lae kohe täis. Selleks kulub aega, sest vool väheneb järk-järgult.

Ajakonstant τ näitab aega, mille jooksul:

- Kondensaatori pinge tõuseb umbes 63,2% toitepingest (laadimisel);
- Või langeb umbes 36,8% algpingest (tühjenemisel).

Oletame:

- $R = 10 \text{ k}\Omega = 10\,000 \Omega$
- $C = 100 \mu F = 0.0001 F$

$$\tau = R \cdot C = 10\,000 \times 0.0001 = 1 \text{ s}$$

1 sekundiga kondensaator laeb umbes 63% toitepingest.
Umbes $5\tau = 5 \text{ s}$ järel on ta praktiliselt täielikult laetud (üle 99%).

Aeg	Laadimine (% täitunud)	Tühjenemine (% järele jäänud)
1τ	63%	37%
2τ	86%	13%
3τ	95%	5%
4τ	98%	2%
5τ	$\approx 100\%$	$\approx 0\%$

Toiteplokkide silumiskondensaator

Eesmärk: Muundab vahelduvpingest alalispinge ja silub võrgupulsatsioonid pärast alaldi.

Kuidas töötab: Kui alaldi dioodid lasevad läbi pinge poollaineid, tekib “laineline” DC (pulsatsioonidega). Kondensaator laadub tippude ajal ja annab energiat välja madaliku ajal, tasandades pinget.

Kasutus:

Telefoni, arvuti ja TV toiteplokid;

Kõik seadmed, kus on alaldi (bridge rectifier).

Tüüpiline väärtus: 10 μF – 4700 μF (olenevalt voolust ja pingest)

Energiavaruna (reservkondensaator)

Eesmärk: Salvestab energiat, et katta lühiajalisi pingelangusid või voolutippe.

Kuidas töötab: Kui koormus võtab äkki suure voolu (nt mootor käivitub või võimendi lööb bassihetke), siis toide võib hetkeks langeda. Kondensaator annab oma energia kiiresti välja, pinge jääb stabiilseks.

Kasutus:

Võimendites (audio, subwoofer);

Elektroonikaseadmete toitelülitustes;

Mikroprotsessorite toitel (stabiliseerimine).

Viite- ja ajaseadmetes

Eesmärk: Kondensaatori laadimis- ja tühjenemisaeg määrab viite või impulse kestuse.

Kuidas töötab: RC ahel – ajakonstant $\tau = R \cdot C$
Kasutatakse ajageneraatorites ja taimerites.

Kasutus:

555 – taimerid (monostabiilne või astaabiline režiim)

LED – vilkurid

Digitaallülituste viiteahelad

Monostabiilne režiim

Seade on tavaliselt ühes stabiilses olekus, aga kui talle antakse käivitusimpulss, läheb ta ajutiselt teise olekusse ja naaseb tagasi, kui kondensaator on laetud.

Kondensaator hakkab laduma läbi takisti. Kui pinge jõuab teatud tasemeni, seade lülitub tagasi algasendisse. Kondensaatori ja takisti väärtused määravad impulse kestuse.

Vajutad nuppu – LED süttib 3 sekundiks – kustub ise.

Astabiilne režiim

Seade ei ole kunagi stabiilses olekus – ta muudkui vahetab seisundit ise. See tähendab, et tekivad pidevad impulsid (vilkumine, helisagedus jne).

Kondensaator laadub ja tühjeneb vaheldumisi läbi takistite. Iga kord, kui pinge ületab teatud piiri, väljund muutub vastupidiseks.

LED vilgub pidevalt (nt 2 korda sekundis).

Signaali filtreerimine (madalpääs, kõrgepääs)

Eesmärk: DC-ahelas saab kondensaatoriga filtreerida häireid või stabiliseerida mõõteahelaid.

Madalpääsfilter: laseb läbi aeglased muutused, summutab kiireid häireid.

Kõrgepääsfilter: laseb läbi vaid kiire muutuse (impulss), blokeerib püsipinget.

Kasutus:

Andurite väljundis (müravähendus);

Toitepinge filtrites;

Elektroonika signaaliahelates.

Mälu- ja varutoiteallikad

Eesmärk: Kondensaator hoiab väikest pinget lühiajaliselt alles pärast toite kadumist, et andmed ei kaoks.

Kasutus:

Kellamälud, BIOS-mälu, mikrokontrolleri RTC;
Superkondensaatorid tagavaratoiteks väikesele koormusele.

Energiavarud ja impulsitoide

Eesmärk: Kogub energiat ja annab selle korraga välja väga suure vooluna (impulsina).

Kuidas töötab: Kondensaator laetakse aeglaselt ja tühjeneb kiiresti. Suur hetkeline vool.

Kasutus:

Välklambid (kaamera flash);

Laseri impulsitoide;

Superkondensaatorid elektrisõidukites (kiiralaadimine).

Mootorite ja releede lülituskaitse

Eesmärk: Neelab ülepinget või induktiivset tagasilööki, mis tekib, kui vool katkestatakse.

Kuidas töötab: Kui rele või solenoid lülitatakse välja, tekib induktiivsusest pingeimpulss – kondensaator “neelab” selle.

Kasutus:

Relee kaitse;

Mootorite juhtimisahelad;

DC-mootorite pöördemomendi stabiliseerimine.

Superkondensaatorid (energia salvestamine)

Eesmärk: Salvestavad suure koguse elektrienergiat ja annavad seda välja kiiresti (kuid madala pingega).

Kasutus:

UPS-süsteemid (varutoide hetkeks);

Elektrisõidukid (kiirlaadimine, pidurdusenergia salvestus);

Päikesepaneelide vahetoide.

Sidestuskondensaator

Eesmärk: Läbi lasta vahelduvvool (signaal) ja blokeerida alalispinge (DC).

Kasutus:

Helivõimendites ja raadiotes, et ühendada astmeid omavahel.

Elektroonikas, et viia signal ühelt lülitusahelalt teisele ilma alalispinge mõjuta.

Näide: Kui üks võimendietapp töötab 6V alalispingel ja järgmine 9V alalispingel, siis kondensaator laseb signaali läbi, kuid ei lase neid pingeid omavahel segada. Vahelduvsignaal AC ehk tegelik helisignaal saab edasi minna.

Kui ühendada kaks astest otse juhtmega. Esimese astme 6 V alalispingel ja teise astme 9 V alalispingel liituksid omavahel. See tekitaks pingete segunemise – vool hakkaks liikuma ühelt poolelt teisele, kuni mõlemal on sama pinge.

Silumiskondensaator

Eesmärk: Silub vahelduvkomponente (võnkumisi) pärast alalti (DC toiteahelas).

Kasutus:

Toiteplokkides pärast alaldit, et muuta pinget sujuvaks.

Stabilisaatori ees, et vähendada võnkumisi.

Kuigi töö toimub alalispingel, peab kondensaator taluma alalispinge peale jäävat jääkvaheldust, seega on oluline õige pingetaluvus.

Reaktiivne (võimsusteguri) kompenseerimine

Eesmärk: Vähendada reaktiivvõimsust ja parandada võimsustegurit.

Kasutus:

Elektrivõrkudes ja tööstusseadmetes, kus kasutatakse induktiivseid koormusi (nt mootorid, trafod).

Kondensaator annab voolu, mis on vastassuunas induktiivse koormuse voolule tasakaalustades süsteemi.

Tulemus: Voolutugevus väheneb, kaod vähenevad ja süsteem töötab efektiivsemalt.

Käivitus- ja töökondensaatorid elektrimootorites

Eesmärk: Luua faasinihe ühefaasilises mootoris, et tekiks pöörlev magnetväli.

Kasutus: Ühefaasilistes asünkroonmootorites (nt ventilaatorid, kompressorid, pumbad).

Tüübid:

Käivitus-kondensaator – lülitatakse ajutiselt sisse mootori käivitamisel.

Töö-kondensaator – jääb pidevalt tööle, tagab stabiilse pöörlemise.

Vahelduvpingel filtride ja resonantsahelad

Eesmärk: Määrata signaali sagedust, mille korral vool läbib või ei läbi ahelat.

Kasutus:

Raadio, TV ja helitehnikas.

LC-ahelad (induktiivsus + mahtuvus) – moodustavad resonantssageduse.

Raadiovastuvõtja häälestamine teatud sagedusele toimub LC-resonantsahela abil.

Kaitseahelad ja häirefiltrid

Eesmärk:

Summutada müra ja häiringuid (nt elektromagnetiline müra).
Kaitsta komponente pingetippude eest.

Kasutus:

Elektriseadmete sisendfiltrid (toitepistikus).
Mootorite ja releede kõrval pingetippude summutamiseks.

AC puhul ei tohi kasutada tavalisi elektrolüütkondensaatoreid, sest need:

On polaarsed (ainult ühepoolse pingega).

Võivad plahvatada või kuumeneda vahelduvpingel.

Selle asemel kasutatakse:

Mittepolaarseid elektrolüüte (NP-type).

Polüpropüleen-, polüester-, paber- või õlikondensaatoreid.

Märgistus X1, X2, Y1, Y2 kondensaatoreid (võrgufiltrites ja kaitseahelates).

Klass	Asukoht skeemis	Pinge (AC)	Kaitse-eesmärk	Ohutusstandard
X-kondensaatorid	faas ↔ null (liinide vahel)	Tavaliselt 275 V AC (või rohkem)	Summutab müra ja häiringuid liinide vahel	IEC 60384-14
Y-kondensaatorid	faas ↔ maandus ja null ↔ maandus	Tavaliselt 250 V AC	Summutab müra maasse , kuid peab olema väga ohutu , et rikke korral ei lööks läbi	IEC 60384-14

Tunnused

Märgistusel on alati klass (X1/X2/Y1/Y2) ja AC pinge väärtus.

Need on sageli sinist või kollast värvi plastkondensaatorid.

Materjal: polüpropüleen või polüester, isetaastuv metalliseeritud kile.

Dielektriline läbitavus

Dielektriline läbitavus on aine omadus, mis näitab, kui hästi see aine reageerib elektriväljale. Kui dielektrik (isolaator) asetada elektrivälja, siis selle sees olevad osakesed (positiivsed ja negatiivsed laengud) nihkuvad veidi vastassuundadesse.

Seda nähtust nimetatakse polarisatsiooniks. Polariseerimise tagajärjel tekivad dielektriku pindadele väikesed seotud laengud, mis mõjutavad elektrivälja tugevust. Tänu sellele muutub väli dielektrikus nõrgemaks kui õhus või vaakumis.

Kondensaatori mahtuvus sõltub sellest, milline aine on tema plaatide vahel. Kui dielektrikul on suur dielektriline läbitavus, siis kondensaator mahutab rohkem elektrienergiat.

Ainete dielektrilised läbitavused

Aine või materjali nimi	Ingliskeelne nimetus	Dielektriline läbitavus
Vaakum	Vacuum	1
Õhk	Air	1,0006
Kvarts	Quartz	3,7
Keedusool/naatriumkloriid	Common salt/table salt/sodium chloride	5,3
Klaas	Glass	5 ... 10
Naturaalne kummi	Natural rubber	2,9
Räni	Silicon	12
Vesi	Water	81
Etanool/piiritus	Ethanol/alcohol	27
Polüetüleen/polüeteen	Polyethylene/polythene	2,3
Puit	Timber/lumber	3 ... 5

Sümbol	Nimi	Ühik	Selgitus
ϵ	<i>Absoluutne dielektriline läbitavus</i>	F/m (farad meetri kohta)	Näitab, kui hästi konkreetne aine võimaldab elektriväljal tekkida.
ϵ_0	<i>Tühiku ehk vaakumi dielektriline läbitavus</i>	F/m	Looduskonstant
$\epsilon_0=8,85 \times 10^{-12}$ F/m			
ϵ_r	<i>Dielektriline läbitavus</i>	– (ühikuta)	Näitab, mitu korda parem on konkreetne aine võrreldes vaakumiga elektrivälja “hoidmisel”.

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

Kui materjaliks on õhk

- Suhteline dielektriline läbitavus: $\epsilon_r = 1,0$
- Arvutus:

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r = 8,85 \times 10^{-12} \times 1 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

- See tähendab, et **õhk peaaegu ei mõjuta elektrivälja tugevust** – kondensaatoris on see sama, mis tühjuses.

Mahtuvus on **väike**.

Kui materjaliks on paber

- Suhteline dielektriline läbitavus: $\epsilon_r = 3$
- Arvutus:

$$\epsilon = 8,85 \times 10^{-12} \times 3 = 2,66 \times 10^{-11} \text{ F/m}$$

- See tähendab, et paber laseb elektriväljal tekkida kolm korda paremini kui õhk. Kondensaatori mahtuvus on umbes 3 korda suurem kui sama suurusega õhukondensaatoril.

Kui materjaliks on plast

- Suhteline dielektriline läbitavus: $\epsilon_r = 2,2$
- Arvutus:

$$\epsilon = 8,85 \times 10^{-12} \times 2,2 = 1,95 \times 10^{-11} \text{ F/m}$$

- See tähendab, et **plast on veidi parem dielektrik kui õhk**,
kuid mitte nii hea kui paber või klaas.

Seda kasutatakse **kilekondensaatorites**, mis on stabiilsed ja vastupidavad.

Kui materjaliks on klaas

- Suhteline dielektriline läbitavus: $\epsilon_r = 5$
- Arvutus:

$$\epsilon = 8,85 \times 10^{-12} \times 5 = 4,43 \times 10^{-11} \text{ F/m}$$

- See tähendab, et klaas võimaldab elektriväljal tekkida 5 korda paremini kui õhk ja seetõttu saab sama suuruse juures salvestada 5 korda rohkem energiat.

Kui materjaliks on vesi

- Suhteline dielektriline läbitavus: $\epsilon_r = 80$
- Arvutus:

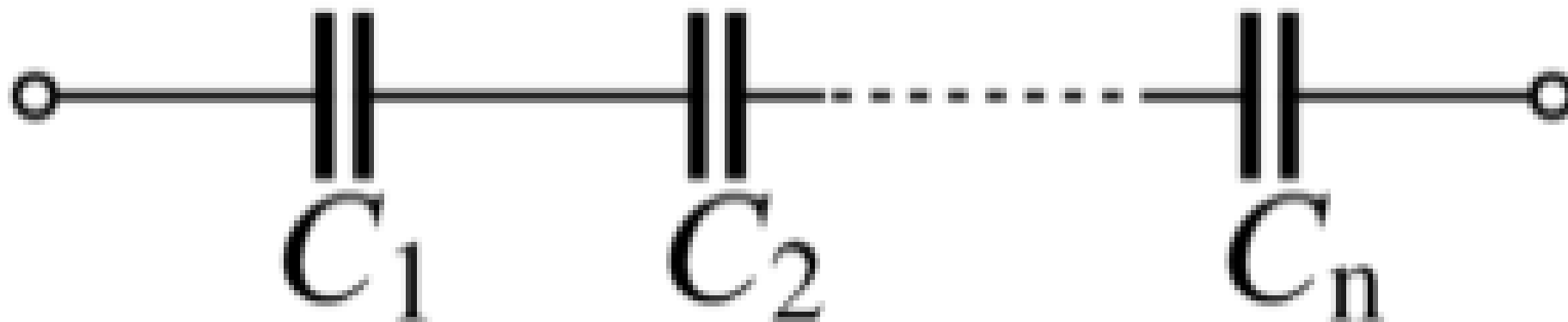
$$\epsilon = 8,85 \times 10^{-12} \times 80 = 7,08 \times 10^{-10} \text{ F/m}$$

- See tähendab, et **vesi on väga hea dielektrik** – ta "nõrgestab" elektrivälja 80 korda võrreldes õhuga

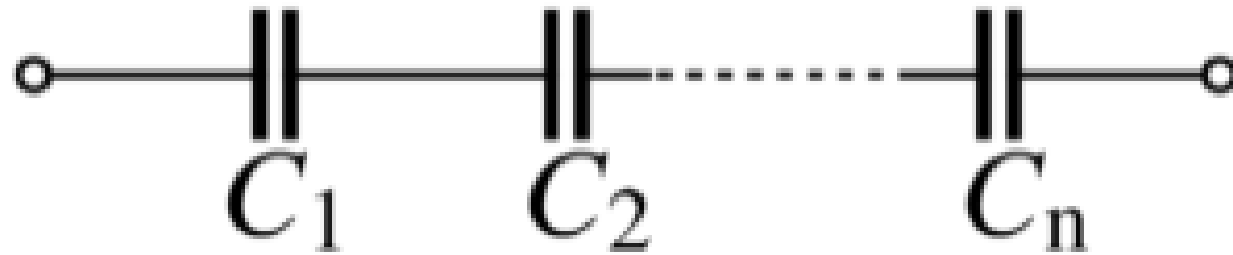
ja kondensaator oleks teoreetiliselt **väga suure mahtuvusega**.

Praktikas aga vett ei kasutata, sest see juhib natuke elektrit ja laad lekib välja.

Kondensaatorite jadaühendus

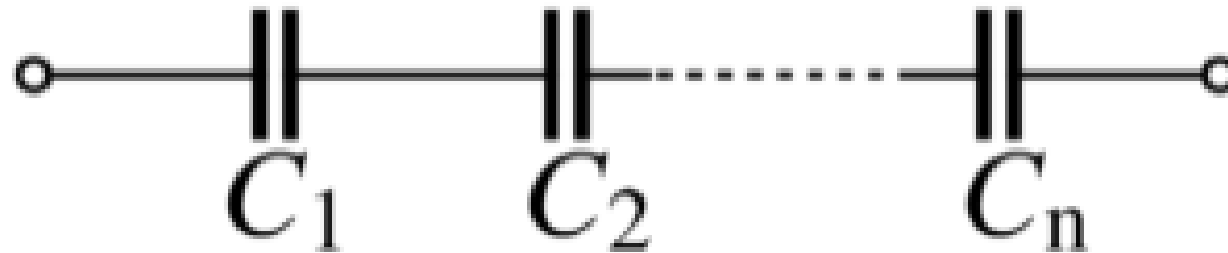


Kondensaatorite jadaühendus - mahtuvus



$$\frac{1}{C_{\text{jada}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

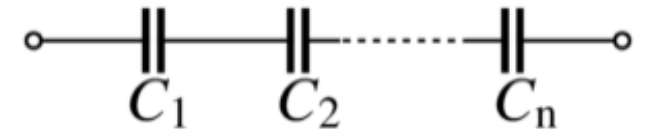
Kondensaatorite jadaühendus - laeng



Jadaühenduses on laeng kõigis kondensaatorites sama:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$$

Kondensaatorite jadaühendus - pinge



Kogu pinge jaotub kondensaatorite vahel:

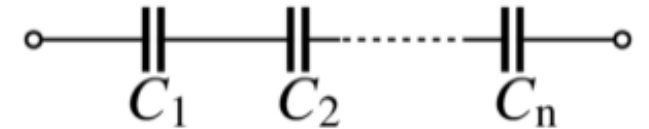
$$U_{\text{kogu}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

Iga kondensaatori pinge on seotud laengu ja mahtuvusega:

$$U_i = \frac{Q}{C_i}$$

Seega väiksema mahtuvusega kondensaatoril on suurem pinge.

Kondensaatorite jadaühendus - vool



Vool tekib ainult kondensaatori laadimise ja tühjenemise ajal. Kui kondensaatorid on täielikult laetud, vool enam ei liigu. Seetõttu tehakse jadaühenduse arvutused täislaetud kondensaatoritega, kus $I=0$

Õlesannetes arvutatakse mahtuvused, pinged ja laengud, mitte voolu.

Kaks kondensaatorit on jadas:

$$C_1 = 6 \mu\text{F}, C_2 = 3 \mu\text{F}.$$

Ahela klemmipinge on $U = 12 \text{ V}$.

Leia:

1. kogumahtuvus C_{kogu}
2. laeng Q igas kondensaatoris
3. pinge U_1 ja U_2 iga kondensaatori peal

Kolm kondensaatorit on jadas:

$$C_1 = 2 \mu\text{F}, C_2 = 4 \mu\text{F}, C_3 = 8 \mu\text{F}.$$

Klemmipinge $U = 24 \text{ V}$.

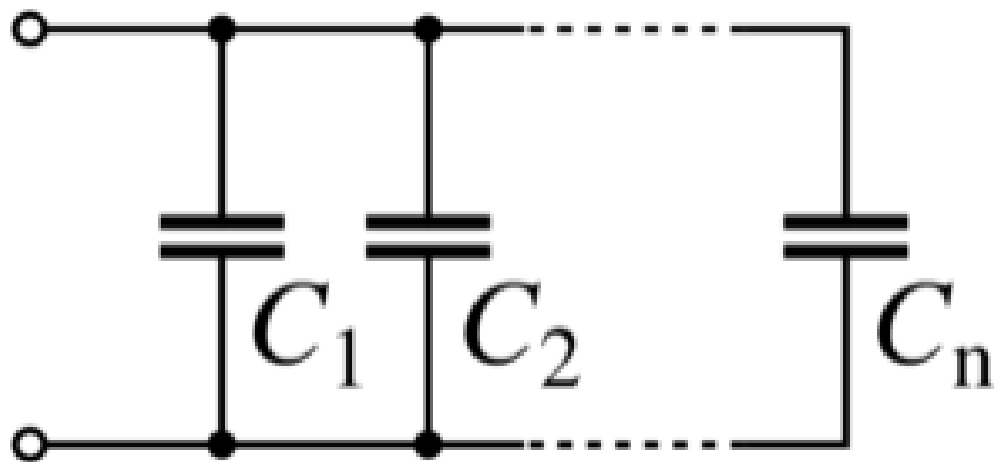
Leia:

1. C_{kogu}
2. laeng Q igas kondensaatoris
3. pinged U_1, U_2, U_3

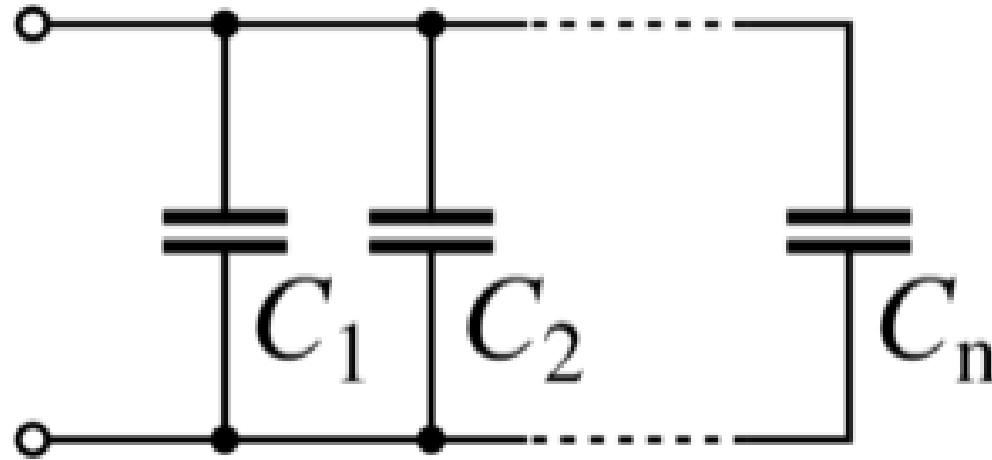
$C_1 = 10 \mu\text{F}$, $C_2 = 20 \mu\text{F}$, $C_3 = 30 \mu\text{F}$ – kõik
jadamisi; toitepinge $U = 12 \text{ V}$.

Leia: C , laeng Q , pinged U_1 , U_2 , U_3 ,

Kondensaatorite rööpühendus

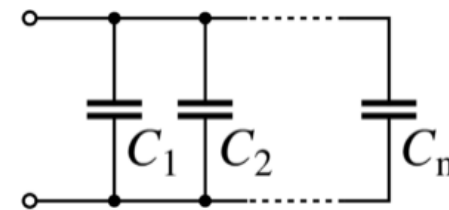


Kondensaatorite rööpühendus - mahtuvus



$$C_{\text{rööp}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Kondensaatorite rööpühendus - laeng



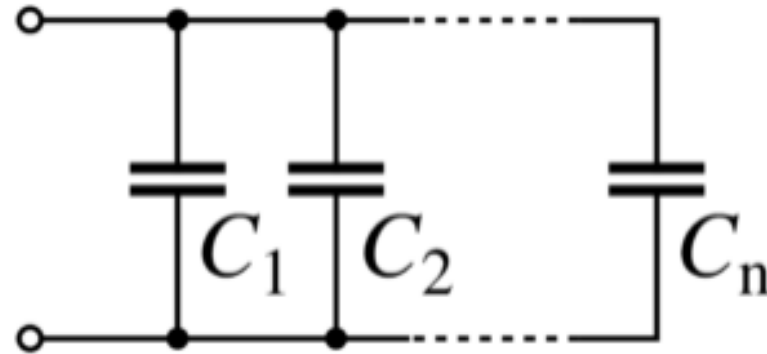
Iga kondensaatori laeng sõltub tema mahtuvusest:

$$Q_i = C_i \cdot U$$

Kogulaeng on **kõigi laengute summa**:

$$Q_{\text{kogu}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = (C_1 + C_2 + C_3) \cdot U$$

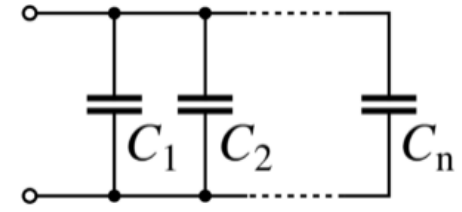
Kondensaatorite rööpühendus - pinge



Kõigi kondensaatorite peal on üks ja sama pinge:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_{\text{kogu}}$$

Kondensaatorite rööpühendus - vool



Vool tekib ainult kondensaatori laadimise ja tühjenemise ajal.
Kui kondensaatorid on täielikult laetud, vool enam ei liigu.
Seetõttu tehakse jadaühenduse arvutused täislaetud kondensaatoritega, kus $I=0$

Õlesannetes arvutatakse mahtuvused, pinged ja laengud, mitte voolu.

Antud:

- $C_1 = 4 \mu F$
- $C_2 = 6 \mu F$
- $U = 12 V$

Leia:

1. C_{kogu}
2. Laengud $Q_1, Q_2, Q_{\text{kogu}}$

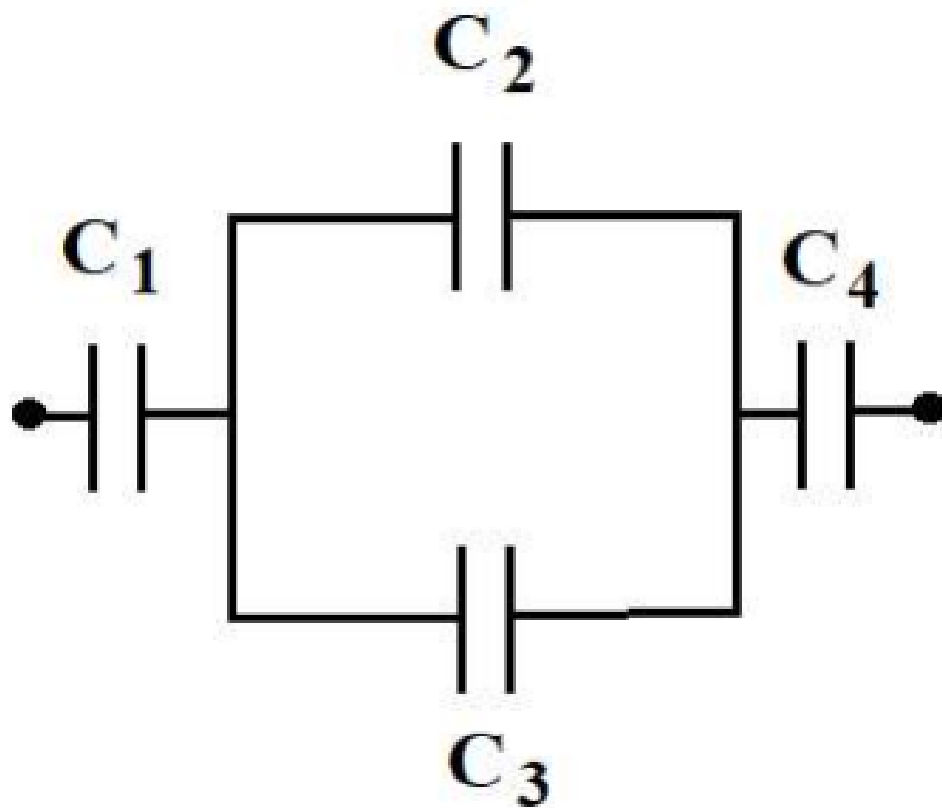
Antud:

- $C_1 = 2 \mu F$
- $C_2 = 3 \mu F$
- $C_3 = 5 \mu F$
- $U = 15 V$

Leia:

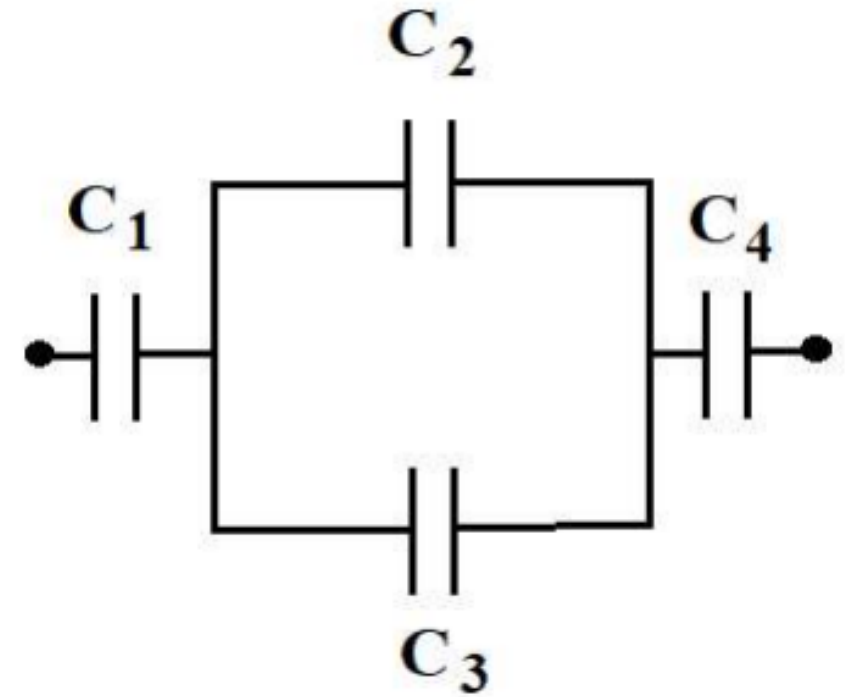
1. C_{kogu}
2. Laengud $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{kogu}}$

Kondensaatorite segaühendus



Antud on:

- $C_1 = 2 \mu\text{F}$
- $C_2 = 4 \mu\text{F}$
- $C_3 = 6 \mu\text{F}$
- $C_4 = 3 \mu\text{F}$
- klemmipinge $U = 24 \text{ V}$



Leia:

1. kogumahtuvus C_{kogu}
2. laengud ja pinged igal kondensaatoril $(Q_1, U_1), (Q_2, U_2), (Q_3, U_3), (Q_4, U_4)$
3. kontrolli, et pinged summeeruvad ja laengud klapivad

Kondensaatori mahtuvus

Valem:

$$C = \epsilon \cdot \frac{S}{d}$$

kus

- C – mahtuvus (F, farad),
- ϵ – keskkonna dielektriline läbitavus (F/m),
- S – plaatide pindala (m²),
- d – plaatide vahe (m).

Kui materjaliks on õhk

- Suhteline dielektriline läbitavus: $\epsilon_r = 1,0$
- Arvutus:

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r = 8,85 \times 10^{-12} \times 1 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

- See tähendab, et **õhk peaaegu ei mõjuta elektrivälja tugevust** – kondensaatoris on see sama, mis tühjuses.

Mahtuvus on **väike**.

Kondensaatori mahtuvus kui dielektrik on õhk

Antud on:

- $\epsilon = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
- $S = 0,01 \text{ m}^2$
- $d = 1,0 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$

Kondensaatori mahtuvus kui dielektrik on klaas

Antud on:

- $\epsilon = 4,425 \times 10^{-11} \text{ F/m}$
(arvutatud: $\epsilon = 8,85 \times 10^{-12} \times 5$)
- $S = 0,01 \text{ m}^2$
- $d = 1,0 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$

Kondensaatorisse salvestatud energia

Kui kondensaatorit laetakse, koguneb ühe plaadi peale positiivne ja teise plaadi peale negatiivne laeng. Nende laengute vahel tekib elektriväli, mis hoiab endas energiat.

See energia on elektrivälja energia, mis on seotud pingega (U) ja kondensaatori mahtuvusega (C). Mida suurem on kondensaatori mahtuvus ja pinge, seda rohkem energiat ta suudab salvestada.

$$W = \frac{1}{2}CU^2$$

W – energia (J, džaulides),

C – kondensaatori mahtuvus (F),

U – pinge kondensaatori klemmidel (V).

Kasutame eelmise näite andmeid klaasist dielektrikuga:

- $C = 4,425 \times 10^{-10} \text{ F}$
- $U = 12 \text{ V}$

Elektrivälja tugevus kondensaatori plaatide vahel

Kui kondensaator on laetud, siis tema kahe plaadi vahel tekib elektriväli. Seda väljatugevust (ehk elektrivälja tugevust) tähistatakse tähega E .

$$E = \frac{U}{d}$$

kus

- E – elektrivälja tugevus (V/m),
- U – pinge plaatide vahel (V),
- d – plaatide vaheline kaugus (m).

Antud:

- $U = 12 \text{ V}$
- $d = 0,001 \text{ m}$

Ülesanne

Skeletoni toodetud superkondensaatorite moodulile on märgitud 51V ja 177F. Arvutame, a) kui suur on sellesse kondensaatorisse salvestatud energia, b) kui suurt laengut superkondensaator mahutab ja c) kui suur on voolutugevus kondensaatori tühjenemisel 10 minuti jooksul.

Keskmise voolu valem

Keskmise voolu valem on:

$$I_{\text{keskmine}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

kus

- ΔQ – laengu muutus ajavahemikul (kui palju laengut vabaneb või lisandub)
- Δt – ajavahemik, mille jooksul see muutus toimub.

Kui kondnesaator täielikult tühjeneb

Alglaeng:

$$Q_{\text{algne}} = C \cdot U_{\text{algne}}$$

Lõppolekus $U_{\text{lõplik}} = 0$, seega:

$$Q_{\text{lõplik}} = C \cdot U_{\text{lõplik}} = 0$$

Laengu muutus:

$$\Delta Q = Q_{\text{algne}} - Q_{\text{lõplik}} = C \cdot (U_{\text{algne}} - 0) = C \cdot U$$

Seega võib kirjutada:

$$I_{\text{keskmine}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{Q}{t}$$

sest täielikul tühjenemisel $\Delta Q = Q$.

Kui kondensaator ei tühjene täielikult

Siis tuleb kindlasti kirjutada:

$$\Delta Q = C \cdot (U_{\text{algne}} - U_{\text{lõplik}})$$

ja mitte kasutada ainult $Q = C \cdot U_{\text{algne}}$.

Täielikul tühjenemisel $U_{lõplik} = 0 \Rightarrow \Delta Q = Q$

Osalisel tühjenemisel $\Rightarrow \Delta Q \neq Q$, tuleb kasutada täisvormi $\Delta Q = C \cdot (U_{algne} - U_{lõplik})$

Kui kondensaator laetakse tühjast täis

Alguses kondensaatoris pole laengut:

$$Q_{\text{algne}} = 0$$

Lõpuks on pinge tõusnud väärtuseni $U_{\text{lõplik}}$ ja kondensaatori laeng:

$$Q_{\text{lõplik}} = C \cdot U_{\text{lõplik}}$$

Seega laengu muutus on:

$$\Delta Q = Q_{\text{lõplik}} - Q_{\text{algne}} = C \cdot (U_{\text{lõplik}} - 0) = C \cdot U$$

Ja nüüd saab keskmise voolu kirjutada:

$$I_{\text{keskmine}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{C \cdot U}{t}$$

Kui kondensaator on juba natuke laetud, ning siis laetakse edasi

Siis tuleb arvestada, et algpinge ei ole null.

$$\Delta Q = C \cdot (U_{\text{lõplik}} - U_{\text{algne}})$$

Seega:

$$I_{\text{keskmine}} = \frac{C \cdot (U_{\text{lõplik}} - U_{\text{algne}})}{t}$$

Protsess	Laeng muutub	Valem (üldkujul)	Suund
Laadimine	suureneb	$\Delta Q = C \cdot (U_{\text{lõplik}} - U_{\text{algne}})$	vool sisse kondensaatorisse
Tühjenemine	väheneb	$\Delta Q = C \cdot (U_{\text{algne}} - U_{\text{lõplik}})$	vool välja kondensaatorist