

**«Radiomateriallar we radiokomponentler» dersinden**

**1-nji we 2-nji temalar üçin gollanma**

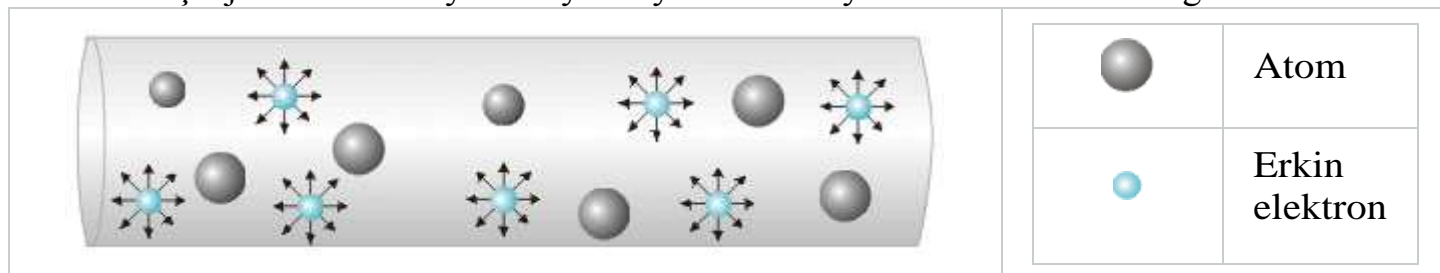
## GEÇİRİJILER, IZOLÝATORLAR WE ÝARYMGEÇİRİJILER

Materialyň geçirijiligi onuň boş elektronlarynyň sanyna göniden göni bagly bolýar. Adaty geçirijiler, izolýatorlar we ýarymgeçirijiler bolýar.

### Geçirijiler

Elektrik togy diňe zaryad göterijileriň (erkin elektronlaryň) üsti bilen geçirilip bilinýär, olar maddada aňsat hereket edýärler. Uly bolmadyk garşylykly hereket edýän, köpsanly boş elektronly materiallara elektrik togyny geçirijiler diýilýär.

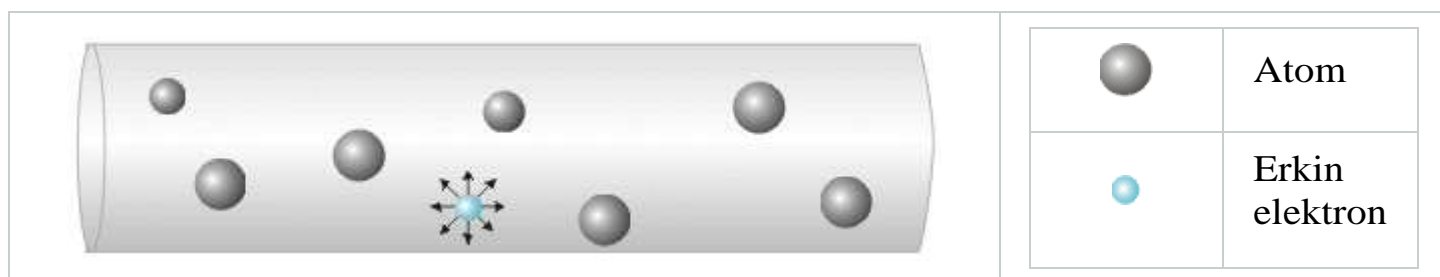
Geçirijilerde atomlaryň arasyndaky elektronlaryň hereketi bu suratda görkezilendir.



Altyn, kümüş, mis, alýumin, demir metallary- gaty görnüşindäki geçirijiler bolýarlar. Ýeke-täk metal bolmadyk gaty geçiriji – grafitdir. Metalliki simap ýa-da haýsydyr bir eredilen metal, duzlaryň suw erginleri, aşgarlaryň turşysy (kislotalary) hem elektrik togyny geçirip bilýärler.

### Izolýatorlar

Az mukdardaky erkin elektronlary saklaýan materiallara –geçiriji däl ýa-da izolýatorlar diýilýär. Olar nola ýakyn togy geçirýärler. Bu aşakda suratda görkezilendir.



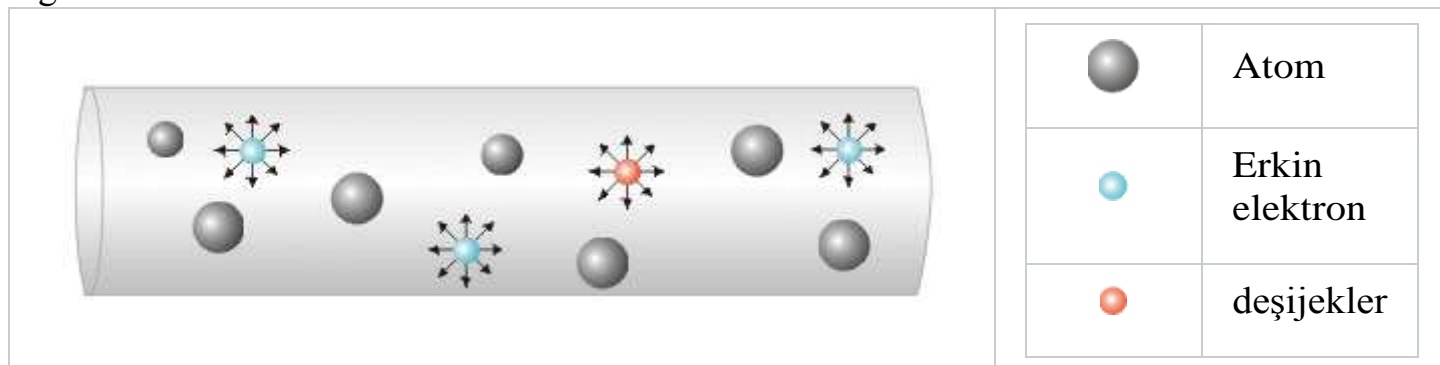
Gaty materiallardan geçiriji dällere aýna, farfor, ýantar, rezin, kagyz, pamyk we plastika degişlidirler. Şonuň üçin olary geçirijileri bir-birinden izolirlmek üçin ulanýarlar. Ýöne bu maddalaryň hem örän kiçi geçirijiligi bardyr. Şeýlelikde, ideal izolýatorlaryň ýokdygyny aýdyp bolar. Şonuň üçin geçirijileriň we izolýatorlaryň arasynda anyk araçäk ýokdyr. Onuň ýerine geçirijiligiň üznüksiz zona spektory goýulandyr.

### Ýarymgeçirijiler

Ýarymgeçirijiler kategoriýasyna degişli materiallar geçirijileriň we izolýatorlaryň aralygynda esasy orny eýeleýärler. Olar elektron komponentleriniň: diodlar, tranzistorlar, integrirlenen zynjyrlar we ş.m. önümçiliginde örän uly roly oýnaýarlar. Ýarymgeçiriji häsiýetli materiallara ilki bilen kremniý (Si), germaniý (Ge) we galliý arsenidi (GaAs) degişlidirler. Bu materiallaryň geçirijiligi **dopirlemek** esasynda üýtgäp biler. Dopirlemekde madda garyndylar goşylýar, ol hem erkin elektronlaryň artmagyna ýa-da doly ýitmegine getirýär. Atom gözeneginde elektronlaryň ýetmezçiligi deşijekleriň emele gelmegine

getirýär. Kāwagt deşijekleri erkin elektronlar doldyrýarlar, bu ýagdaýda hem başga ýerde boşlyk emele gelýär we deşijekler maddaň içinde başga ýere süýşýär. Bu deşijekleriň süýşme prinsipi erkin elektronlaryň zarýad geçirmesini ýatladýar. Şeýlelikde elektronlar bilen geçirilýän otrisatel zarýadlardan tapawutlylykda deşijeklere polozitel zarýadlary geçirijiler hökminde seretmek bolar.

Aşakda suratda ýarymgeçirijilerde zarýadlary geçirijileriň iki usuly hem görkezilendir.



Materialdaky erkin elektronlaryň (ýarymgeçirijilerde – elektronlaryň we deşijekleriň) sany, onuň atomyň strukturasyna baglydyr. Bu prinsipe aýdyň düşünmek üçin atomyň ýönekeý modeliniň gurluşyny ýatlamagymyz gerekdir.

### Atomyň modeli

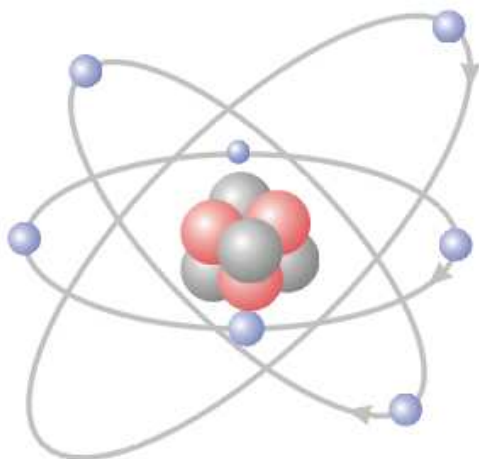
Dünýäädäki hemme elektrik prosesler we olaryň ýagdaýy elektron diýip atlandyrylýan elementar bölejik bilen baglanyşyklydyr.




*Elektron mümkin bolan iň kiçi zarýady äkidijidir (götrejidir) we şol bir wagtda hem elementar bölejik bolup durýär.*

Elektronlar atomyň düzümlük bölegidir we hlihimiki elementler elektronlardan durýandyr. Köp wagtlap atom maddanyň bölünmeýän struktur bölejigidir diýip hasaplanypdyr (grek dilinden terjime edileninde atomos – bölünmeýän diýen manyny berýär). Bu gün bolsa atomyň elementar bölejiklerden durýandygyny Biz bilýäris. Hakykatda atomyň gurluşy örän çylşyrymly struktura eýedir. Biz ony atomyň modeli bilen düşündirjek (täzeden döretjek) bolarys. Atomyň hemme modelleriniň içinde Nils Boryň teklipe eden modeli has öňe saýlanýar. Bu modele laýyklykda atomyň strukturasyny gün sistemasynyň strukturasyna meňzeşdir. Edil günün öz sistemasynyň merkezinde ýerleşiji ýaly, merkezde atomyň ýadrosy ýerleşýär. Elektronlar hem edil planetalar ýaly öz orbitasynyň daşyndan aýlanýarlar. Dürli maddalaryň atomlary ýadronyň ölçegi we daşyndaky elektronlarynyň sany bilen biri-birinden tapawutlanýarlar. Elektronlaryň orbitasy ellips görnüşinde hem, tegelek görnüşde hem bolup bilýär. Olar hem diametri we düzümindäki derejeleriň sany bilen biri-birinden tapawutlanýarlar. Olar atomyň gabyjagyny (perdesini, örtügini) emele getirýärler. Atomyň ýadrosynyň diametri atomyň öz diametrinden takmynan 10,000 esse kiçidir.

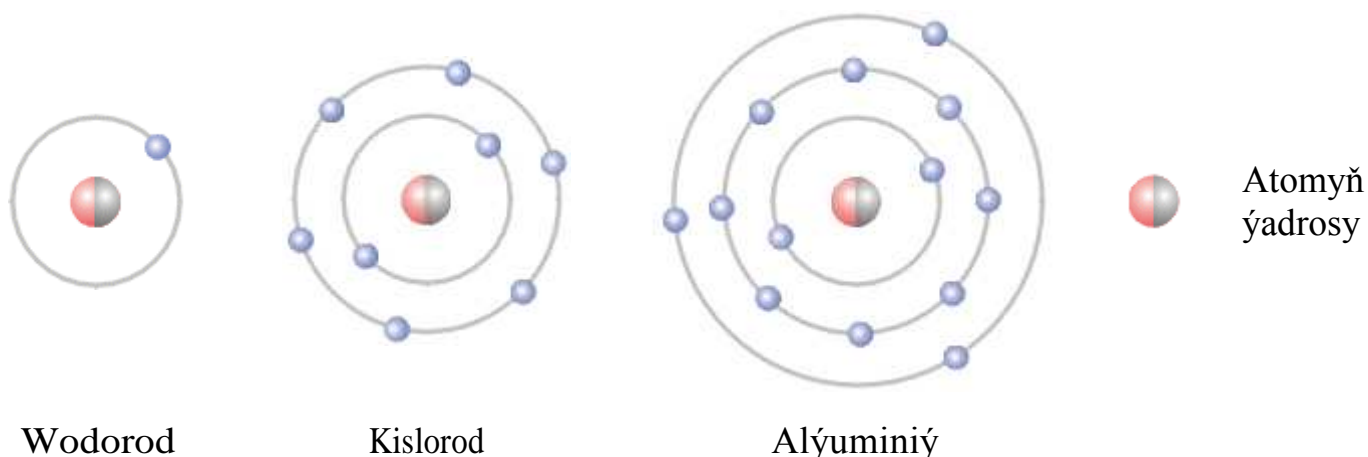
*Atom ýadrodan we elektron gabyjakdan (perdeden, örtükden) durandyr.*

Atom zarýadlanmadyk neýtronlardan we položitel zarýadlanan protonlardan düzülen hem bolsa, elektronlaryň otrisatel zarýady bardyr. Şeýlelik bilen ýadronyň umumy zarýady položiteldir. Şonuň üçin, atomyň zarýadynyň elektrik neýtral bolmagy üçin atomda elektronlar bilen protonlaryň sanynyň deň bolmagy hökmandyr. Aşakdaky şekilde atom bitewi bir sistema görnüşinde görkezilendir.



	Proton
	Neýtron
	Elektron

Iň ýönekeý atom – wodorodyň, ýagny iň ýeňil himiki elementiň atomy. Onuň daşynda (orbitasynda) diňe bir elektron aýlanýar, onda neýtron ýok. Kislorodyň atomy sekiz elektron saklaýar, - ikisi içki we altysy daşky orbita örtüğünde ýerleşýär. Alýumininiň atomy dürli diametrli üç orbital örtüklerde 13 elektron saklaýar. Tebigatda bar bolan belli atomlaryň iň agyry – uranyň atomy, ýedi sany dürli orbital örtüklerde 92 elektron saklaýar. Aşakdaky şekillendirmede wodorodyň, kislorodyň we alýumininiň atomlarynyň ýönekeýleşdirilen modeli görkezilen. Aýdyňlygynyň gowy bolmagy üçin orbita töwerek görnüşde we bir derejede görkezilen. Ýadrony düzümi hem görkezilmedik.



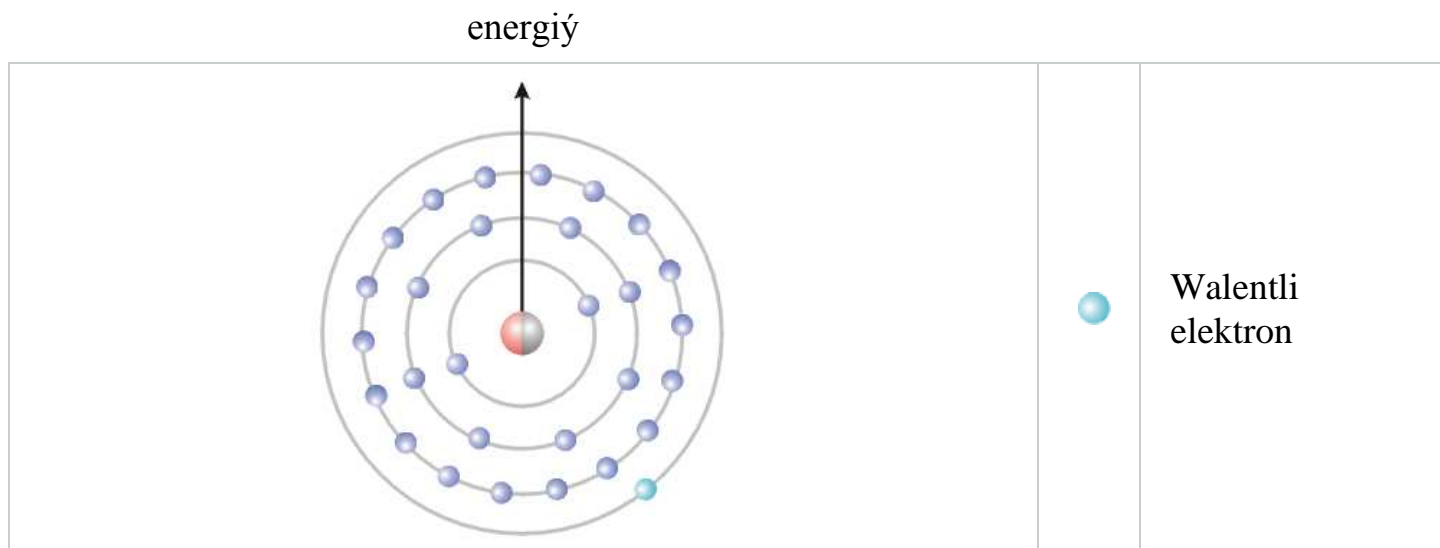
Her bir elektronyň orbitasynda belli bir san bilen çäklendirilen elektronlar ýerleşip bilýärler. Iň içki (çuň) gabyjak (perde, örtük) özünde iki elektrona çenli saklap bilýär, ikinji derejede 8-e çenli, üçünjide 18-e çenli elektronlar bolup bilýär.

### Erkin elektronlar

Elektronlar biri-birinden aýrylan we ýadrodan dürli aralyklarda daşlaşan orbital traýektoriya boýunça atomyň gabyjagynda (perdede, örtükde) hereket edýärler. Bu traýektoriyalaryň her biri belli bir energiýasy bolan elektronly gabyjak (perde, örtük) görnüşindedir. Orbital traýektoriýanyň radiusy näçe uly bolsa energiýasy hem şonça köpdür. Şeýlelik bilen daşky gabyjakda (perdede, örtükde) ýerleşen elektronlar içki gabyjakda (perdede, örtükde) ýerleşen elektronlara garanyňda iň ýokary energiýa eýedirler we atom bilen iň pes derejede baglydyrlar. Bu elektronlar walentli elektronlar diýip atlandyrylýar. Maddanyň atom gözeneginiň gurluşy bu elektronlaryň özara çalşyp bilmek ukybyna baglydyr. Elementiň atomlarynyň biri-biri bilen baglanmagy walentli elektronlaryň nähili ýagdaýda jübütleşýändigine baglydyr. Atomlaryň biri-biri bilen

baglanmagy bolsa elementiň häsiýetlendiriji alamatlaryny kesgitleýär we bu alamatlar atom gözenekdäki aýratyn alnan atomlaryň elektronlarynyň walentliligine baglydyr.

Aşakdaky suratda misiň atomynyň ýönekeýleşdirilen modeli şekillendirilendir. Ol özüniň iň içki gabyjagynda (perdesinde, örtüginde) 2 elektron, ikinjisinde 8 elektron, üçünjisinde 18 elektron we daşky gabyjakda (perdede, örtükde) bolsa bir walentli elektron saklaýar.



Walentli elektronlaryň atomyň ýadrosy bilen gowşak baglanandygy sebäpli, belli bir mukdarda berlen energiýa olary öz orbitasyny taşlamaga mejbur edýär. Bu bolsa olaryň atomyň düzüm bölegi bolmagyny bes edýändigini aňladýar. Şeýlelik bilen erkin elektronlaryň emele gelmegi bolup geçýär. Olar maddanyň atom gözeneginiň çäginde bir atomdan beýleki atoma tarap erkin hereket edip bilýärler. Erkin elektronlaryň bolmagy hem materiallaryň geçirijiligine aýgytly täsir edýär.

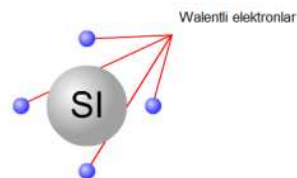
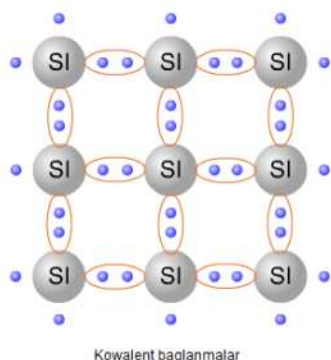
## KREMNINIŇ KRISTALLIKI GÖZENEGI

Ýarymgeçirijiniň kristalikigözeneginiň gurluşyny bir elementiň mysalynda düşündirip bolar- mysal üçin, ýarymgeçiriji kremniý elementi.

Mendeleyewiň periodiki tablisasynda kremniý-14-nji elementdir. Kremniniň atomy 14 proton, 14 neýtron we 14 elektron –dan durýar. Boryň atom modeline laýyklykda iki içki gurşawy elektronlardan doly (2+8). Bu bolsa atomyň daşky gurşawynda 4 **walentli elektronyň** bardygyny aňladýar. Olar geçirijilige jogap berýärler. Shemada, içki gurşawda ýerleşen elektronlar görkezilmedikdir.

Atomlar doly dolýan ýagdaýyna çenli özüniň daşky gurşawyndaky elektronlarynyň sanyny üýtgetmeklik häsiýetine eýedirler. Kremniýiň atomy goňşy atmlardan 4 walently elektrony alyp ýada 4 elektrony berip bilýär. Kristalyň

ýokary derejedäki arassalygy atomlaryň başga goşulan atomlar bilen aragatnaşyk saklap bilmeýänligine getirýär. Şonuň üçin walent elektronlary goňşy atmlara geçip atomlaryň aragatnaşygyny emele getirýärler, bu ýagdaýda hem käbir atomlaryň daşky gurşawy wagtlaýyn doly bolýar. Bu proses **kowalent baglanyşyk** diýen ady aldy.



Düzülen ýarymgeçirijiler hem özlerini şoňa meňzeş alyp barýarlar, ýöne çylşyrymly gurluşda bolýarlar. Olar öz topardaş elementlerine görä at alýarlar. Galliý arsenidi we indiý antimonidi (**antimonid**- Surma Sb elementiniň metallar bilen himiki birleşmeleridir) III-V topara degişli ýarymgeçirijilere mysaldyr, sink sulfidi we kadmiý selenidi II-VI topara degişlidirler.

### ÝARYMGEÇIRIJILERIŇ ELEKTRIK GARŞYLYGY

Şeýlelikde ýarymgeçirijileriň geçirijiligi erkin zaryad göterijileriň (elektronlar we deşijekler) sanyna baglydyr. Materialyň geçirijiligi onuň garşylygyna ters proporsionaldyr. Ýarymgeçirijileriň elektrik garşylygynyň bahasy metal görnüşli geçirijileriň we geçiriji dälleriň (izolýatorlaryň) garşylyk bahasynyň aralygynda üýtgeýär. Aşakdaky tablisada materiallaryň geçirijilere, ýarymgeçirijilere we izolýatorlara bölünmesi görkezilendir. Onda elektrotehnikada giňden ulanylýan materiallar görkezilýär.

Görnişi	Garşylygy $P(\Omega \text{ sm})$	Geçirijiligi $K(1/(\Omega \text{ sm}))$	Material
Izolýatorlar	$10^{20}$	$10^{-20}$	Ýantar
	$10^{18}$	$10^{-18}$	Gaty parafin
	$10^{16}$	$10^{-16}$	Polisterol
	$10^{14}$	$10^{-14}$	Kömür
	$10^{12}$	$10^{-12}$	Gaty farfor
	$10^{10}$	$10^{-10}$	PWH
	$10^8$	$10^{-8}$	Mermer, aýna
Ýarymgeçirijiler	$10^6$	$10^{-6}$	Selen
	$10^4$	$10^{-4}$	Arassa kremniý
	$10^0$	$10^0$	Arassa germaniý
	$10^{-2}$	$10^2$	Indiý arsenidi, galliý arsenidi
Geçirijiler	$10^{-6}$	$10^6$	Mis
	$10^{-8}$	$10^8$	Kümüş

Şu günki günde selenden we germaniýden yasalan elementler duş gelýän bolsa-da, iň giňden ýaýran ýarymgeçiriji material kremniýdir. Soňky döwürde döredilen ýarymgeçirijileriň we organiki ýarymgeçirijileriň orny beýgeldi, olar galliý arsenidi, sink sulfidi we pentasendir. Olar esasan optoelektronikada ulanylýar.

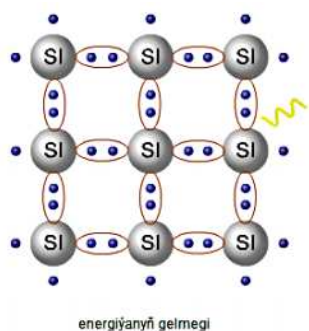
Arassa ýarymgeçirijiniň arassalyk derejesi  $10^{10}$  deňdir. Bu bolsa geçirijiniň  $10^{10}$  atomyna diňe bir garyndyly atom düşýändigini aňladýar.

### GEÇIRIJILIK WE TEMPERATURA BAGLYLYK

Energiýanyň täsiri aýratyn elektronlaryň arasyndaky baglanşygyň üznüksiz dargamagyna getirýär. Bu elektronlar özünden soň otrisatel zaryad ýetmeýän atomy - elektron deşijegi galdyrýarlar. Kwazielektron diýip atlandyrylýan bu deşijek polozitel



zarýady döredýär. Erkin elektron kristalyň içinde deşijegi tapýança maksatsyz hereket edýär, soň ony eýeläp atoma geçýär. Bu prosessa atomlaryň rekombinasiýasy diýilýär.



Rekombinasiýanyň netijesinde hususy udel geçirijilik peýda bolýar. Onuň peýda bolmagynyň ýene-de bir faktory kristaliki gözenegiň gyrasynda duran atomyň elektronlarydyr, sebäbi olar kowalent baglanşykda bolmaýarlar. Üçinji faktor bolsa galan goşundylaryň atomydyr.

Hususy udel geçirijilik zarýad geçirijileriň konsentrasiýasy bilen kesgitlenýär, ýagny erkin elektronlaryň sanynyň berlen maddanyň göwrimine bolan gatnaşygydyr .

### Temperatura bolan baglylyk

Temperaturanyň ýokarlanmagy, ýagny energiýanyň ulgama berilmegi, kristaliki düzüminiň uly yrgyldysynyň döremegine getirýär, netijede bolsa köp sanly baglanşyklar üzülýär. Onuň netijesinde kristalda köp sanly erkin elektronlar peýda bolýar. Şeýlelikde ýarymgeçirijilerde zarýad geçirijileriň konsentrasiýasy temperatura baglydyr. Temperatura näçe ýokary bolsa, şonça hem erkin zarýad geçirijiler köpdür, ýagny geçirijilik ýokarlanýar, garşylyk bolsa kiçelýär. Egerde temperatura kiçelse, onda erkin elektronlaryň sany hem azalýar, deňşililikde geçirijilik kiçelýär, garşylyk bolsa ýokarlanýar. Şeýlelikde yarymgeçirijide zarýad geçirijileriň konsentrasiýasy anyk berlen temperatura bilen kesgitlenýär. Şol sebäpden ýarymgeçirijileriň iş häsiýetnamasy hemişe anyk görkezilen howa temperaturasynda (düzgin boýunça 25°C)berilýär. Aşakdaky tablisada käbir geçirijilerde zarýad geçirijileriň konsentrasiýasy 300° Kelwinde(Selside 27°C golaý) görkezilendir:

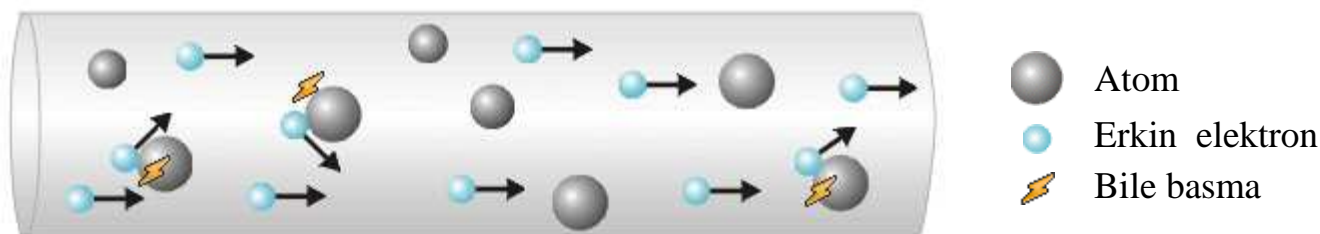
Madda	Zarýad geçirijileriň konsentarsiyasy $n_i$
Metallar	$2 * 10^{22} \text{ cm}^{-3}$
Germaniý	$2.33 * 10^{13} \text{ cm}^{-3}$
Silikon	$1.02 * 10^{10} \text{ cm}^{-3}$
Galliý	$2.0 * 10^6 \text{ cm}^{-3}$

Arassa ýarymgeçirijiniň 0° Kelwinde (absolýut nol temperaturada) hususy udel geçirijiligi ýokdur. Öz häsiýeti sebäpli ýarymgeçirijiniň otrisatel temperatura koeffisienti bar.

*Kelwin boýunça 300° temperatura adaty ýarymgeçiriji materiallaryň iş häsiýetnamalarynda berilýär. Komponentleriň dokumentlerinde bolsa Selsiý boýunça temperaturanyň san bahasy 25° getirilýär*

## ELEKTRIK GARŞYLYK

Haçanda elektrik togy geçirijiden akyp geçende, zaryadyň erkin göterijileri (erkin elektronlar) atom gözeneginiň atomlarynyň arasynda hereket edýär. Şunda köplenç degip geçmeler bolup geçip, onuň netijesinde erkin elektronlaryň hereketinde gyşarmalar we peselme ýüze çykýar. Şeýlelik bilen, geçiriji elektrik toguna *garşylyk* görkezýär, ol garşylygyň hötdesinden bolsa ýüklenme arkaly gelinmeli. Indiki illýustrasiýada elektronlaryň geçirijidäki hereketi görkezilýär.



Indiki animasiýa bu prosesi goşmaça illýustrirleýär.

Pes garşylykly geçiriji elektrik toguny has gowy geçirýär, ýokary garşylykly geçiriji bolsa togyň geçirilmegi üçin amatly däl. Elektrik garşylygyň ölçeg birliginiň ady nemes fiziki *Georg Simon Omuň* hormatyna dakylpdyr. Şu babatda aşakdakylar dogry bolup durýar:

***Elektrik garşylyk (R harpy bilen aňladylýar) Omlarda ölçenilýär (aňladylyşy: Om, Ω)***

Garşylyga ters ululyga ***geçirijilik*** diýilýär:

***Elektrik geçirijilik (G harpy bilen aňladylýar) Simenslerde ölçenilýär (aňladylyşy: Sm, S).***

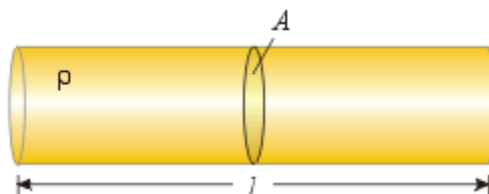
Aşakdaka dogry diýmek bolar:

$$G = \frac{1}{R}$$

Geçirijiligiň birliginiň ady nemes inženeri Werner fon Simensiň hormatyna dakylpdyr. Pes garşylykly maddanyň ýokary geçirijiligi bar we tersine. Geçiriji dälleriň we izolýatorlaryň adatdan daşary ýokary garşylygy bar.

Islendik geçirijiniň we islendik ýükleýişiniň elektrik garşylygy bar. Adatça çatylyan geçirijileriň garşylyklary islenilmeýär. Geçirijiniň garşylygy onuň ýasalan materialyna, onuň uzynlygyna we onuň kese kesigine (A meýdanyna) bagly bolup durýar. Şu deňleme ulanarlyklydyr:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$



Hemişelik  $\rho$  geçiriji materialyň udel garşylygyny kesgitleýär we  $\text{Om mm}^2/\text{m}$  – de ölçenilýär,  $l$  – geçirijiniň metrdäki uzynlygy we  $A$  geçirijiniň kwadrat millimetrdäki kese kesigi.

*Meselem, kümşüň udel garşylygy  $0.0167 \text{ Om mm}^2/\text{m}$ ,  
misiňki bolsa –  $0.0178 \text{ Om mm}^2/\text{m}$  deň.*

Ýokary getirilen deňlemäniň esasynda şu hil netijelerine gelmek bolýar:



Geçirijiniň udel garşylygy ýokary boldugyça onuň garşylygy hem şonça ýokary bolýar. Mundan başga-da bu görkeziji geçirijiniň uzynlygyna proporsional we onuň kese kesigine ters proporsional bolup durýar.

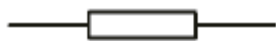
Üstesine-de, geçirijiniň garşylygy *temperatura* hem bagly.

### Rezistorlaryň dürli görnüşleri

*Garşylyk* sözünüň iki manysy bar:

- ◆ Umumy manyda ol elektrik geçirijisiniň elektron akymyna päsgel berme häsiýetini aňladýar we, aslynda, geçirijiniň elektrik garşylygy babatynda ulanylýar.
- ◆ Geçirijiniň bu häsiýeti belli bir elektrotehniki *elementlerde* ulanylýar. Bu elementler rezistorlar ady bilen mälim, ýagny dolulygyna kesgitlenen garşylykly elementler.

Indiki suratlarda rezistorlaryň dürli görnüşleriniň elektrik shemadaky şertli aňlatmalary görkezilýär.



Hemişelik rezistor



Üýtgeýän rezistor



Typýan kontaktly rezistor  
(potensiometr)

Dürli-dürli konstruksiýaly rezistorlar öndürilýär:

- ◆ *Plenka görnüşli rezistorlar* ýüzünde uglerodyň, metalyň oksidiniň ýa-da metalyň ýuka gatlagy bolan keramiki turbajykdan ybarat. Geçiriji plenkany izolýasiýa maksatly lak örtügi goraýar. Garşylygyň ululygy reňkli guşaklar bilen belgilenýär (has jikme-jik maglumat soňra beriler).
- ◆ Garşylygyň pes ululyklary üçin (meselem,  $0.1 \Omega$  üçin) we has ýokary toklar üçin *biz simli rezistorlary* ulanýarys. Olar geçirmeýän korpusdan ybarat bolup, onuň içinde ýokary garşylykly simden ýasalan rezistiw element ýerleşýär.
- ◆ *Üýtgeýän rezistorlaryň* (potensiometrler, gapdal rezistorlary) typýan kontakty bolup, onuň kömegi bilen zynjyra çatylan rezistiw elementiň (meselem, simiň ýa-da elektrodyň) uzynlygyny üýtgedip bolýar. Şeýlelik bilen, ýüklenmäniň ýa-da toguň islenilýän derejesini takyk sazlamak bolýar.











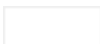
### Rezistorlaryň reňkli markirowkasy

Plenka görnüşli rezistorlaryň garşylyk ululygy kodlanan bolup, olar rezistorlaryň korpusynda reňkli birnäçe - adatynda standaryň seriýasyna baglylykda dört ýa-da bäş guşaklar görnüşinde aňladylýar (indiki baba ser.). Uglerodly plenka görnüşli rezistorlar adatynda dört guşak bilen markirlenýär. Ilkinji üç guşak (çepden başlap) garşylygyň nominal ululygyny aňladýarlar. Ilkinji iki guşak onluk sanyň ilkinji iki sifrasyny kesgitleýär, üçünjisi bolsa onluk sany köpeltmek üçin köpeldijini görkezýär; bu köpeldiji birlikden uly ýa-da kiçi bolup biler. Ahyrynda, birmeme gapdala süýşürilen dördünji guşak (iň sag gyradaky) garşylygyň ululygynyň takyklygyny (normadan çykmasyny) aňladýar. Indiki siratda şeýle markirowkanyň mysaly görkezilýär.



1- 2- Köpeldiji Takyklyk  
nji sifra nji sifra









Aşakdaky tablisada garşylyk ululyklarynyň reňkli kodirowkasy görkezilýär:

Reňk	1-nji sifra	2-nji sifra	Köpeldiji
	----	----	$10^{-2}$
	----	----	$10^{-1}$
	----	0	1
	1	1	10
	2	2	$10^2$
	3	3	$10^3$
	4	4	$10^4$
	5	5	$10^5$
	6	6	$10^6$
	7	7	$10^7$
	8	8	$10^8$
	9	9	$10^9$

Ýokarda görkezilen rezistorda ilkinji iki guşak (goňur we gara) 10-y aňladýar, üçünji guşak (narynç) bolsa  $10^3$  koeffisientine köpeldilmegi aňladýar, netijede şu garşylyk ululygyny alýarys.

$$R = 10 \cdot 10^3 \Omega = 10000 \Omega = 10 \text{ k} \Omega$$

Aşakdaky tablisada takyklygyň reňkli indikasiýasy berilýär:

Reňk	Takykly
	Guşak ýok $\pm 20\%$
	Kümüşsow $\pm 10\%$
	Altynsow $\pm 5\%$
	Goňur $\pm 1\%$
	Gyzyl $\pm 2\%$
	Ýaşyl $\pm 0.5\%$
	Mawy $\pm 0.25\%$
	Benewşe $\pm 0.1\%$

Ýokarda görkezilen rezistorda iň sagdaky guşagyň reňkli altynsow; rezistoryň takyklyk derejesi  $\pm 5\%$  deň.

Plenka görnüşli metalik rezistorlar adatça baş guşak bilen markirirlenýär, şunda, dört guşakly markirowkadan tapawutlylykda, ilkinji üç guşak üç belgili onluk sany, dördünjisi – köpeldijini, başinjisi bolsa – takyklygy aňladýar.

Garşylygyň we takyklygyň nominallaryny aňladýan reňkli guşaklardan başga-da, plenka görnüşli metalik rezistorlaryň takyklyk guşagyň sagynda goşmaça (altynjy) reňkli guşagy bolup bilýär; Ol beýlekilerden birneme giňräk bolup, temperatura koeffisientini aňladýar.

### Standart hatarlar

Rezistorlar (ýa-da, meselem, kondensatorlar) ýaly elektrotehnikada ulanylýan elementleri gradasiýalaryň tutuş yzygiderliginde öndürmek mümkin däl, senagat tarapyndan belli bir, ýagny standart hataryň ululyklary bolan elementler çykarylýarlar. E6, E12, E24, E48 we E96 ýaly dürli standart hatarlar kabul edilen. Harpdan soňky san her onluk interwaldaky nominal ululyklaryň sanyny görkezýär (meselem, 1 .... 9, 10 .... 99, 100 ... 999 we ş.m. aralyklary).

Standart hatara takyklyk goşulýar. Meselem, bu ýerde E6 hatarynyň  $\pm 20\%$  takyklygy, E12 hatarynyň  $\pm 10\%$  takyklygy bar we ş.m. standart hataryň takyklygynyň ululygy näçe ýokary bolsa, onda garşylygyň nominal ululyklary şonçada az. Aýry-aýry nominallaryň arasyndaky tapawutlylyklar hem takyklyga bagly. Olar bir nominalyň takyklygynyň položitel ululygy indiki nominalyň takyklygynyň otrisatel ululygyndan birneme az bolar ýaly edilip ýerleşdirilýär.

Mysal:  $10 \text{ W} + 10\% = 11 \text{ W}$

$12 \text{ W} - 10\% = 10.8 \text{ W}$

Tablisada has möhüm bolanlaryň, ýagny E6, E12 we E24 standart hatarlarynyň nominallary getirilýär. Görkezilen onluk ululyklar hemişe rezistordaky ilkinji iki reňkli guşaklara gabat gelýär.

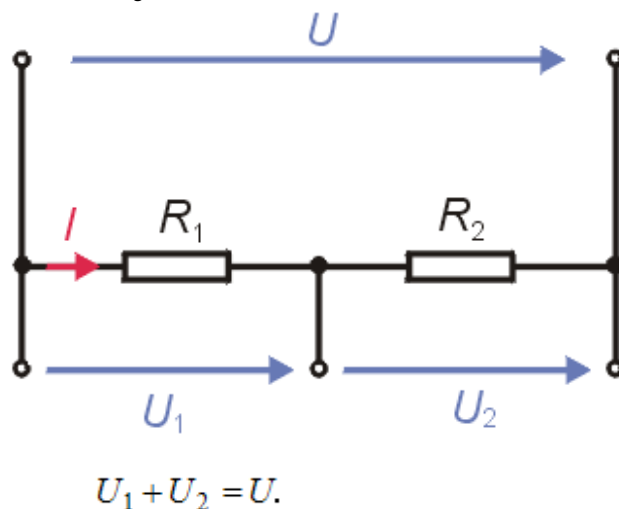
E6	E12	E24
$\pm 20\%$	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$
10	10	10
		11
	12	12
		13
15	15	15
		16
	18	18
		20
22	22	22
		24
	27	27
		30
33	33	33
		36
	39	39
		43
47	47	47
		51
	56	56
		62
68	68	68
		75
	82	82
		91

Görüşünüz ýaly, E12 hatary E24 hataryna degişli edilen diňe her ikinji nominaldan ybarat, E6 hatary bolsa E12 hataryna degişli edilen diňe her ikinji nominaldan ybarat. Şeýlelik bilen, mysal üçin,  $150\ \Omega$  nominally rezistor ähli hatarlarda bar (ýagny ähli takyklyklar bilen),  $5.6\ k\Omega$  nominally rezistor bolsa diňe E12 we E24 hatarlarda bar.

### Ýükleýişsiz ýüklenme bölüjisi

Ölçeg maksatlary üçin köplenç başky ýüklenmäniň diňe bir bölegini aýyrmak gerek bolýar. Bu bolsa *ýüklenmäni bölüjiniň* kömegi bilen amala aýrylýar. Aşakdaky illýustrasiýalarda iki sany yzygider birleşdirilen  $R_1$  we  $R_2$  rezistorlardan ybarat ýüklenme bölüjisi görkezilýär.

$U$  energiýa çeşmesiniň ýüklenmesi daşky zažimlere berilýär we soňra iki bölege  $U_1$  we  $U_2$  ýüklenmelere bölünýär. Ýüklenmäniň bölüniş kanunyna laýyklykda,



Omuň kanunyna laýyklykda, bölüjidäki ýüklenme aşakdaky ýaly bolar:

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

Iki sany rezistorlardaky ýüklenme paýlanylyşy şunuň ýaly bolar:

$$U_1 = I \cdot R_1$$

$$U_2 = I \cdot R_2$$

Eger tok üçin ýokardaky aňlatma bu iki deňlemde ýerine goýulsa, onda iki sany bölekleyin ýüklenme üçin aşakdaky aňlatmany alarys:

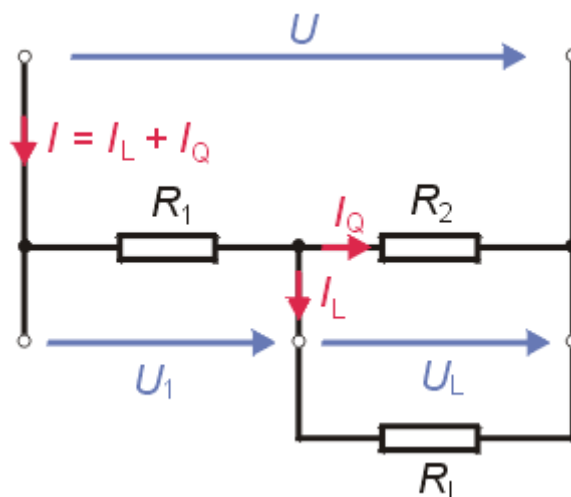
$$\begin{aligned} U_1 &= U \frac{R_1}{R_1 + R_2} \\ U_2 &= U \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned}$$

Bu deňlemeler haçanda tok ýüklenme bölüjiden sowulmaýan ýagdaýlarynda, ýagny boş işlediş režiminde ulanarlykly bolýar.

### Ýükleýişli ýüklenme bölüjisi

Ýüklenme bölüjisini ýükleýişe çatmak bilen ony ýüklemek bolýar (aşakdaky suratdaky  $R_L$  rezistory). Bu ýükleýişli garşylyk ýükleýişin  $I_L$  toguny geçirýär, şol bir wagtda  $R_2$  rezistory parallel  $I_Q$  toguny geçirýär.  $R_1$  Rezistory bu iki toklaryň jemini geçirýär. Parallel  $I_Q$  togy  $R_2$  rezistorynda ýylylygyň ýitmegine getirýär.

Ýükleýişsiz ýüklenme bölüjisi üçin  $R_2$  daki ýüklenme  $R_2$  niň we doly  $R_1 + R_2$  garşylygyň arasyndaky gatnaşyga proporsional bolup durýar. Munuň tersine ýükleýişli ýüklenme bölüjisiniň çyzykly däl häsiýetnamasy bolup, onuň ýükleýişsiz režimi üçin çyzykly häsiýetnamadan gyşarmasy ýükleýişli garşylygynyň we doly  $R_1 + R_2$  garşylygyň arasyndaky gatnaşyga ters



proporsional, ýagny ýükleýişdäki ýüklenme bölüjiniň üsti bilen ýükleýişiniň togunyň we parallel toguň arasyndaky gatnaşyga göni proporsional bolup durýar. Bu ýagdaý ýükleýişli ýüklenme bölüjisiniň düzüminde  $R_1$  iň hem-de  $R_2$  we  $R_L$  parallel birleşdirmäniň arasynda yzygiderli birleşdirme barlygy bilen düşündirilýär.  $R_2$  ekwiwalent garşylyk aşakdaky görnüşde hasaplanýar:

$$\frac{1}{R_2^*} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_L} = \frac{R_2 + R_L}{R_2 \cdot R_L} \Rightarrow R_2^* = \frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L}$$

Değişlilikde  $U_L$  ýüklenmesini bölüjiniň ýükleýişiniň ýüklenmesi bu parallel zynjyra deň

$$U_L = U \frac{R_2^*}{R_1 + R_2^*} = U \frac{\frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L}}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L}}.$$

Ýükleýişsiz ýagdaý üçin ululyk diňe ýükleýişli  $R_L$  garşylygy soňsuzlyga ymtylmany şerti bilen çykarylýar. Bu ýagdaýda  $R_2$  garşylyk  $R_L$  bilen deňleşdireniňde iki maýdalawjyda hem ujypsyz:

$$R_L \rightarrow \infty \Rightarrow R_2 + R_L \approx R_L$$

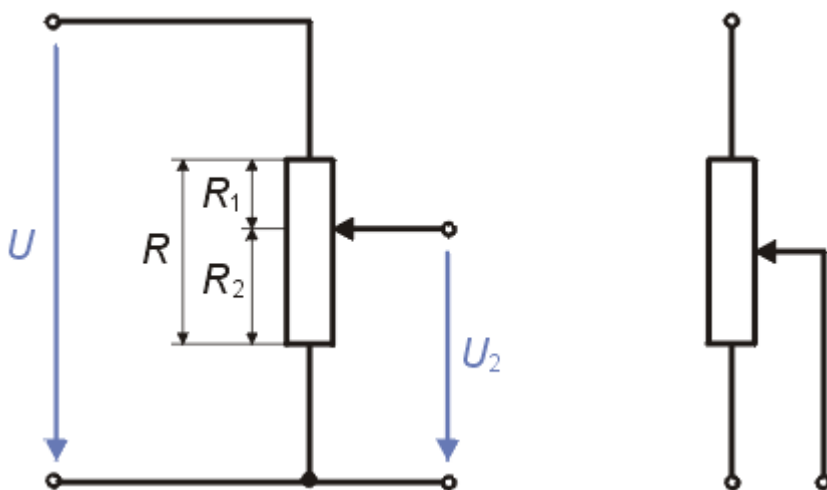
Şondan soň, mundan öňki bapda kesgitleniş ýaly, ýükleýişsiz ýüklenme bölüjiniň deňlemesini almak üçin  $R_L$  kiçeldilip bilinýär. Şeýlelik bilen, ýüklenme bölüjiniň ýükleýişli ýagdaýyndaky ýükleýişiniň ýüklenmesi elmydama ýükleýişsiz (boş işleýiş) ýagdaýyndakysyna görä pesrāk bolýar.

$U_L$  mälum bolanda,  $I_L$  we  $I_Q$  toklaryny Omuň kanunynyň kömegi bilen hasaplamak bolýar, doly  $I$  togy bolsa bu iki toklaryň jemine deň.

Aşakdaky interaktiw animasiýa gyzyly atanakly düwmäniň kömegi bilen  $R_L$  ýükleýişli garşylyga çatyp bolýan ýüklenme bölüjisini görkezýär. Garşylyklaryň ululyklaryny dürliçe üýtgedip, munuň ýükleýişli we ýükleýişsiz ýagdaýlarda ýüklenmä we toga nähili täsir edýändigine gözegçilik ediň. Esasanam,  $U_L$  ýükleýişli ýüklenmesiniň ýükleýişsiz režimldäkisine görä ýükleýişli ýagdaýda nä derejede mese-mälum peselýändigine aýratyn üns beriň.

### Potensiometrli ýüklenme bölüjisi

Iş ýüzünde köp halatlarda potensiometr diýlip atlandyrylýan, üznüksiz sazlanýan ýüklenme bölüjisi ulanylýar. Bu enjamyň üç birleşdirmesi bar, olaryň biri üýtgeýän typýan kontakt bolmak bilen, potensiometriň doly garşylygyny iki sany  $R_1$  we  $R_2$  bölekleyin garşylyklara bölmäge mümkinçilik berýär. Netijede, potensiometriň typýan kontaktyndaky  $U_2$  çykyş ýüklenmesi  $U$  ululygynyň (ýagny potensiometriň daşky zaňimlerine berilýän ululyk) we nulyň arasynda islendik nokatda bölünip bilinýär. Aşakdaky suratlarda potensiometriň iş prinsipi (çepde) we onuň shemadaky alamaty (sagda) görkezilýär.



Potensiometrler dürli, meselem, öwrülýän ýa-da typýan konstruksiýaly bolup bilýärler. Bu iki konstruksiýa aşakda dykgatyňyza ýetirilýär (çepde: öwrülýän potensiometr; sagda: typýan potensiometr).

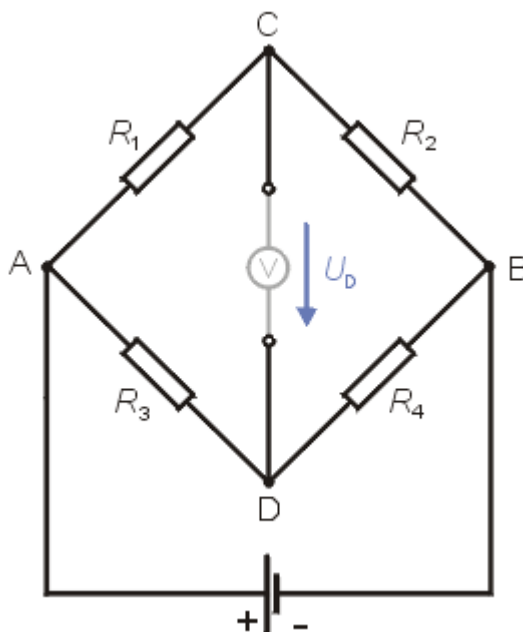


### Köpri shemalary

*Köpri shemasy* aşakdaky suratda görkezilişi ýaly parallel birleşdirilen iki sany ýüklenme bölüjisinden ybarat.

Eger ýokarky ýüklenme bölüjisi (düzümünde  $R_1$  we  $R_2$  rezistorlar bolan) ýüklenmäni aşaky ýüklenme bölüjisiniňki (düzümünde  $R_3$  we  $R_4$  rezistorlar bolan) ýaly koeffisient bilen bölýän bolsa, onda C we D nokatlaryň arasyndaky potensial nula deň ( $U_D = 0$ ). Şeýle ýagdaýda, köpri balansirlenen diýlip aýdylýar. Balansyň şerti aşakydan ybarat:

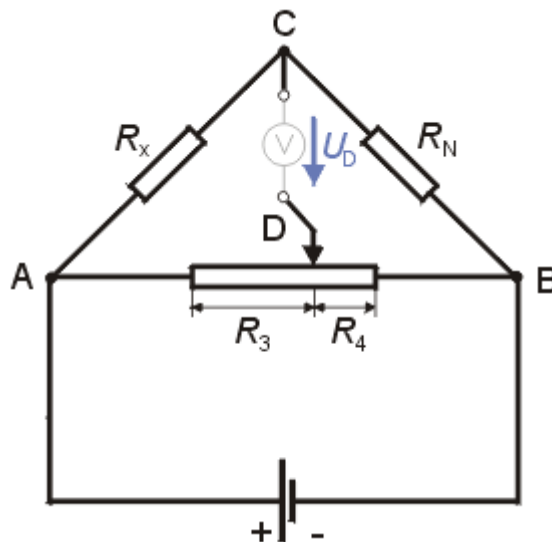
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}.$$



Eger  $R_3$  we  $R_4$  rezistorlar sazlanýan rezistorlar bilen çalşyrylsa, onda köpri shemasy garşylyklary ölçemek üçin ulanylyp bilinýär; berlen shema görnüşine iňlis fizikiniň hormatyna Uiststonyň köprüsi diýilýär.

$R_x$  - näbelli garşylyk,  $R_N$  - (adatça geçirilýän) deňeşdirme üçin standart garşylyk. Ölçemek üçin ilki bilen köprini deňagramlaşdyrýarlar ( $U_D = 0$ ) we  $R_x$  i şu gatnaşykdan kesgitleýärler:

$$R_x = R_N \frac{R_3}{R_4}.$$

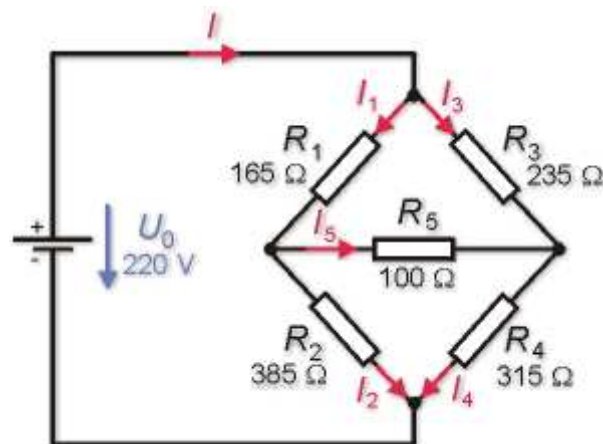




## Zynjyryň üzülmesi

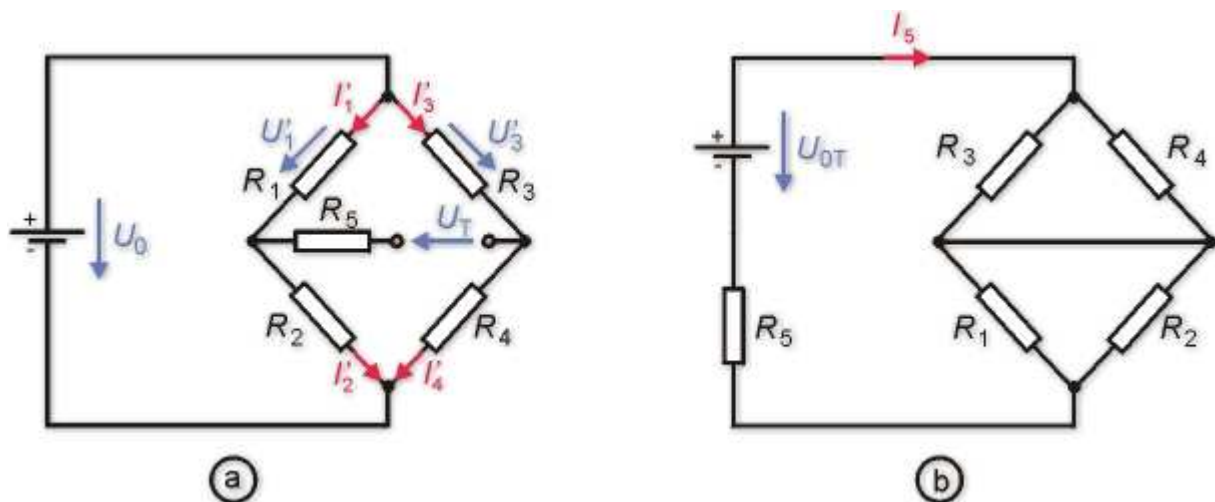
Shemalary barlamagy ýönekeýleşdirmegiň superpozisiýa prinsipinden başga-da aranyň ýolunmagyny ýa-da üzülmegini göz öňüne getirmek usuly hem bar. Egerde üzülme netijesinde döreýän  $U_T$  effektiv naprýaženýany hasaplap, bu üzülmäni  $U_T$  çykyşdaky naprýaženiýa çesmesine çatylan hökmünde kabul etsek, onda bu üzük ýeriň bir tarapdan tok bolmaz ýaly edip çatylany bilen ekwiwalent bolar. Berlen nokatdan hakyky akyp geýýän togy tapmak üçin biz superpozisiýa prinsipini ulanarys we şu işleri amala aşyrarsy: sistema çesmäni garaşsyz edýän naprýaženýanyň başga çesmesini girizýäris we üzülen diýip göz öňünde getirýäris. Bu naprýaženýanyň hem  $U_T$  ululygy bolup, ol üzülme naprýaženýasyna garşy hereket edýär.

Geliň mysal üçin  $I_5$  —ň ululygyny kesgitlemek gerek bolan, aşakdaky köprüli shema seredeliň.



Barlanylan köpri şekilli shema

Indi biz aşakdaky suratda görkezilişi ýaly, köpriniň merkezi şahasy üzük diýip hasap edeliň (a surat).



Utgaşdyrylmaly shemalar

Indi biz şahalardaky toklary aşakdaky ýaly edip hasaplaýarys:

$$I'_1 = I'_2 = \frac{U_0}{R_1 + R_2} = \frac{220 \text{ V}}{165 \Omega + 385 \Omega} = 0.4 \text{ A}$$

$$I'_3 = I'_4 = \frac{U_0}{R_3 + R_4} = \frac{220 \text{ V}}{235 \Omega + 315 \Omega} = 0.4 \text{ A}$$

Netijede napraženýalaryň komponentleri aşakdaka deňdir:

$$U'_1 = R_1 \cdot I'_1 = 165 \Omega \cdot 0.4 \text{ A} = 66 \text{ V}$$

$$U'_3 = R_3 \cdot I'_3 = 235 \Omega \cdot 0.4 \text{ A} = 94 \text{ V}$$

$$U_T = U'_1 - U'_3 = -28 \text{ V}$$

Indi üzük ýerdäki  $U_T$  napraženýany (b) suratda görkezilşi ýaly, ol  $U_{OT}$  napraženýa çeşmesinden alynýan ýaly edip, göz öňüne getirmeli (ýöne onuň alamaty ters bolmaly). Indi  $R_5$  bilen yzygiderli çatylan  $R_3$  we  $R_4$  ýa-da  $R_1$  we  $R_2$  parallel kombinasiýalary hakyky real effekti berýärler. Bu zynjyrdaky  $R_t$  umumy garşylygy aşakdaky usul boýunça ýeňillik bilen alyp bileris

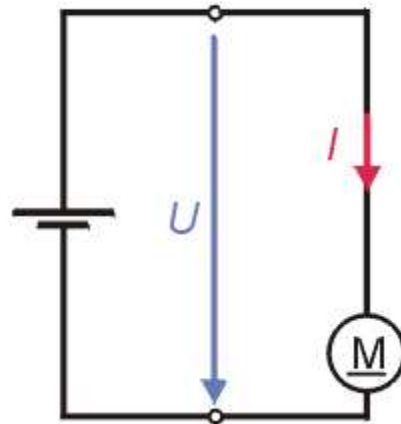
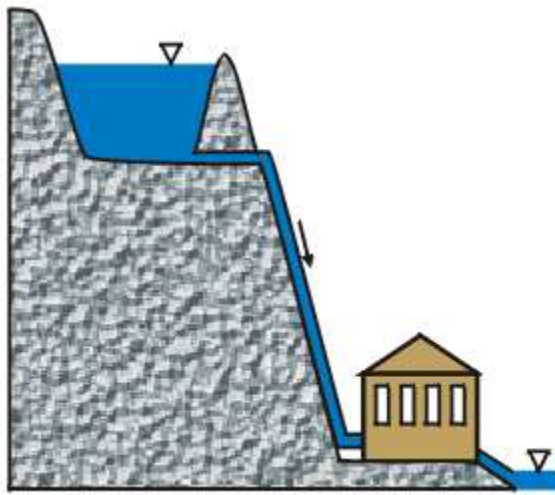
$$R_t = R_5 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 100 \Omega + \frac{235 \Omega \cdot 315 \Omega}{235 \Omega + 315 \Omega} + \frac{165 \Omega \cdot 385 \Omega}{165 \Omega + 385 \Omega} = 350 \Omega$$

Munuň kömegi bilen biz gözleýän ululygymyzyň  $I_5$  bahasyny alyp bileris

$$I_5 = \frac{U_{OT}}{R_t} = \frac{+28 \text{ V}}{350 \Omega} = 0.08 \text{ A}$$

### Elektrik kuwwatlylyk

Gidroelektrostansiýadaky turbina (çepdäki suratda) tarapyndan generirlenýän kuwwatlylyk ýokardan aşak gaçýan bir kilogram suwda saklanýan energiýanyň möçberine (ýagny, suwuň gaçýan beýikligi) we turbinadan bir sekuntda geçýän suwuň möçberine bagly. Suwuň 1 kilogramynda saklanýan energiýa elektrik energiýasyny sarp ediji nukdaý nazaryndan (mysal üçin, aşakdaky prinsipial shemadaky  $M$  hereketlendirijisi üçin) bir zarýadda saklanýan energiýa, ýagny elektrik potensiala meňzeş. Şeýlelikde, suwuň akymy elektrik toguna meňzeş.



P elektrik kuwwatlylyk ýüklenmäniň we toguň ululyklaryna proporsional bolup, ol aşakdaky deňleme bilen kesgitlenýär:

$$P = U \cdot I.$$

Elektrik kuwwatlylygyň ölçeg birligi bolup watt (aňladylyşy: Wt, W) hyzmat edip, bu at inlis oýlap tapyjysynyň hormatyna dakylpdyr. 1 Wt bu 1 V hemişelik ýüklenmede 1 A togy tarapyndan generirlenýän kuwwatlylyk. Degişlilikde, gural tarapyndan sarp edilýän kuwwatlylyk woltmetriň we ampermetriň kömegi bilen gytaklaýyn ölçenilip bilinýär. Kuwwatlylygy gönüden-göni wattmetriň kömegi bilen ölçemek mümkin bolup, onda toguň we ýüklenmäniň hersi üçin iki-ikiden çykyşy, ýagny jemi dört çykyşy bar. Wattmetriň berilýän ýüklenmäni ölçeyän bölegine - ýüklenme zynjyry, ölçenilýän toguň akyp geçýän bölegine bolsa tok zynjyry diýilýär.

Hasap ýa-da nominal kuwwatlylyk köplenç gyzdıryş lampalary ýa-da motorlar ýaly elektrik gurallar üçin görkezilýär. Bu ululyk komponentiň adaty şertlerde sarp edip biljek kuwwatlylygyny aňladýar.

Omuň kanunyna laýyklykda,  $I \propto R$  ny kuwwatlylyk üçin ýokarky deňlemedäki  $U$ -nyň ýerine goýmak arkaly, aşakdaky garnaşygy alarys:

$$P = I^2 \cdot R.$$

Ýa-da  $I$  togunyň ýerine  $U/R$  gatnaşygyny goýmak arkaly şu deňlemäni alyp bileris:

$$P = \frac{U^2}{R}.$$

Mysal 1: Gyzdıryjy 220 W-ly, 15 A-lyk togy sarp edýär. Ol tarapyndan sarp edilýän kuwwatlylyk

$P = U \cdot I = 220 \text{ W} \cdot 15 \text{ A} = 3300 \text{ Wt} = 3.3 \text{ kWt}$  - deň.

Mysal 2: Simli garşylygyň nomial kuwwatlylygy 10 Wt, 4 kWt.  $P = I^2 \cdot R$  deňlemesine laýyklykda, ondan geçip bilýän aňryçäk tok 0.05 A  $\propto$  a deň,  $P = U^2 / R$  deňlemesine laýyklykda, aňryçäk ýol bererlikli ýüklenme bolsa 200 W ybarat.

## Temperatura bagly NTC rezistorlary

NTC rezistorlary (Negative Temperature Coefficient otrisatel temperatura koeffisienti) polikristaldan, garyşyk oksid keramikasyndan öndürilýän ýarym geçirijiler bolup, olar esasan temperaturany ölçemekde ulanylýar. Olar ýylylyga täsir edýändigini sebäpli, olary we položitel temperatura koeffisientli rezistorlary (biz olara biraz soňra seredip geçeriş) adatça termistorlar diýip atlandyryýarlar. Olar şu görnüşde işleýärler: ýarymgeçirijide erkin zaryad göterijileriň sany temperatura bilen bilelikde artýar, bu bolsa elektrik garşylygyň peselmegine sebäp bolýar. Otrisatel temperatura koeffisienti adalgasy hem şu ýerden gelip çykýar. Adaty otag temperaturasynda bu ululyk her gradusa -3-den -5%-e çenli aralykdan ybarat. -60 °C-dan +200 °C-a çenli bolan häsiýetli (tipiki) temperatura diapazony aşakdaky deňleme arkaly beýan edilýär:

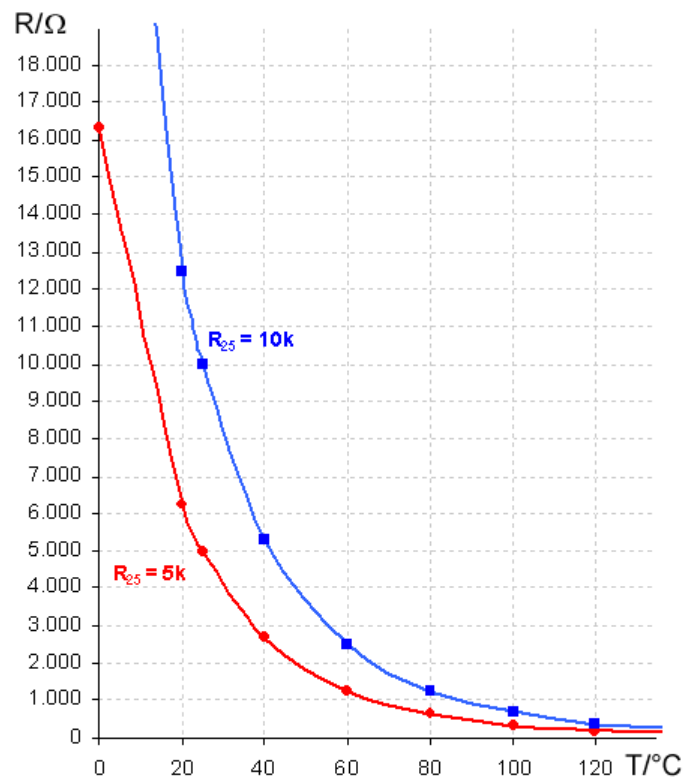
$$R(T) = R(T_0) \cdot e^{B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

$T$  : K-däki temperatura

$T_0$  : Binýatlaýyn temperatura

$B$  : Materialyň udel hemişeligi

Binýatlaýyn temperatura we materialyň  $B$  udel hemişeligi elementleriň aýratynlyklarynda görkezilýärler. Temperatura Kelwiniň graduslarynda (K) aňladylmaly (absolýut nua görä temperatura). Kelwiniň şkalasyna öwürmek  $T = (J + 273^\circ\text{C})$  deňlemesiniň kömegi bilen amala aşyrylýar. Metal rezistorlardaky termometrlere görä has duýgur bolan NTC rezistorlary temperaturany ölçemegiň ähli görnüşlerine we gözegçilik etmäge laýyk gelýär. Emma olaryň garşylyk häsiýetnamasynyň çyzykly däl-de, eksponensial formasynyň bardygyny köplenç olaryň kemçiligi hasaplanýar. Şeýle ýagdaýda linearizasiýa geçirmek zerurlygy ýüze çykyp biler. Mysal hökmünde aşakdaky tablisada  $T_0 = 25^\circ\text{C}$  binýatlaýyn temperatura we deňişli  $R_{25} = 5 \text{ k}\Omega$  garşylygy üçin NTC rezistorynyň esasy ululyklary getirilýär.



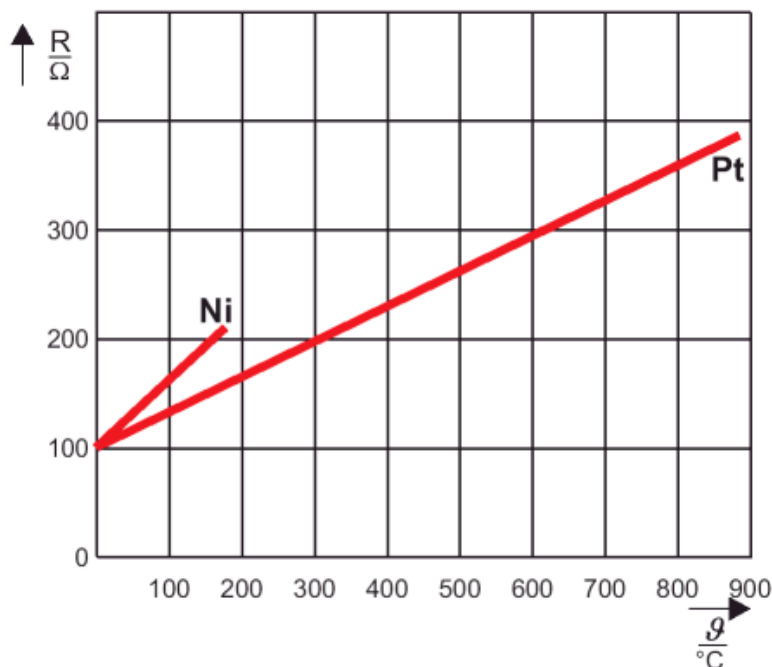
Tablisa 1: NTC rezistorynyň binýatlaýyn ululyklary ( $R_{25} = 5 \text{ k}\Omega$ )

Ölçenilen temperatura, °C	0	20	25	40	60	80	100	120
Garşylygyň binýatlaýyn ululygy, Om	16325	6245	5000	2663	1244	627.5	339	194.7

Indiki grafikada deňişli häsiýetnama (gyzyl çyzyk) we 10 kΩ binýatlaýyn garşylygy bolan şeýle rezistoryň häsiýetnamasy (gök çyzyk) görkezilýär.

## Temperatura bagly PTC-ler

Adatça platinadan ýa-da nikelden ýasalan käbir metal rezistorlarynyň položitel temperatura koeffisienti bar, ýagny olaryň garşylygy temperatura bilen bilelikde artýar. Olaryň temperatura häsiýetnamasy esasan çyzykly bolup durýar. Indiki suratda platinanyň we nikeliň garşylyklary temperaturanyň funksiýasy görnüşinde görkezilen.



Bu häsiýetnama aşakdaky deňleme bilen beýan edilýär:

$$R(t) = R_0 [1 + A(t - t_0) + B(t - t_0)^2]$$

$t$  - °C-däki temperatura,  $R_0$  bolsa  $t_0$  binýatlaýyn  $t_0$  temperaturasyndaky garşylyk.  $A$  we  $B$  materiallaryň hemişeligi.

Platina üçin görkezijiler:

$$A = 3.90802 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

we

$$B = -0.580195 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2}.$$

0°C we 100°C temperatura aralygynda garşylygy aşakdaky takmynanlyk bilen hasaplamak mümkin:

$$R(t) \approx R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]$$

$\alpha$  - ortaça  $\alpha_0$ . 100 temperatura koeffisienti görnüşinde getirililýär. Bu koeffisientiň ululyklary materialyň bagly we aşakdaky tablisa 1-de getirilýär. Garşylygyň platina termometri esasan temperaturanyň tehniki ölçenişinde ulanylýar, onuň ýokary takyklygy bar. Degişli enjamlaryň kömegi bilen geçirilen jikme-jik ölçegler 0.01 K

takyklyga ýetip bilýärler. Hemişelik we gaýtadan döredilýän temperatura koeffisienti platina, nikel we mis rezistorlar üçin kesgitlenip bilinýär. Ony bilmek bilen diňe garşylygyň ölçeglerine esaslanyp temperaturana kesgitlep bolýar.

Tablisa 1-de rezistorlaryň dürli materiallary üçin iş diapazonlary getirilýär. Şeýle hem 0°C we 100°C arasyndaky ortaça  $\alpha_{0.100}$  temperatura koeffisienti görkezilýär.

Material	Iş diapazony	$\alpha_{0.100}$
Platina	- 220 °C ... + 850 °C	$3.85 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
Nikel	- 60 °C ... + 180 °C	$6.17 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
Mis	- 50 °C ... + 150 °C	$4.27 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

Tablisa 1: Dürli materiallaryň iş diapazony we ortaça temperatura koeffisienti.

Adatdan daşary ýokary takyklyga eýe bolansoň, tejribedäki ölçeyişlerde platina rezistorlaryny ulanmak has makul bilinýär. Beýlekilerine görä ýokary temperatura koeffisienti bolan nikel rezistorlarynyň ähmiýeti pes temperaturalary we temperatura tapawutlaryny ölçemekde uly bolup durýar. Mis rezistorlaryny diňe özboluşly (spesifik) ölçeglerde ulanýarlar. Misiň garşylyk häsiýetnamalary, meselem, elektrik maşynlardaky obmotkanyň temperaturasyny ölçemek üçin ulanylýar. Bu ýagdaýda ölçeyiş rezistory hökmünde obmotkanyň özi ulanylýar.

Dünýäde diňe platina rezistorlary giňden ulanylýar. Olar dürli konstruksiýaly bolup, kadalaşdyrylan elektrik ululyklary bar. Garşylyk termometrleri üçin birnäçe binýatlaýyn ululyklar kesgitlenendir. Bu ululyklar temperaturanyň we kadalaşdyrylan garşylyk termometriniň arasyndaky gatnaşygy kesgitleýärler. Bu ýerde DIN 43760 standarty ulanylyp, ol boýunça kalibrlenen rezistoryň 0°C □daky nominal ululygy hökmünde 100 Om kabul edilýär, şunda nominaldan ýol bererlikli gyşarma 0.1 Oma deň. Bu standarta laýyk gelýän kalibrlenen platina rezistoryna gysgaça Pt100 diýilýär.

### Fotorezistor (LDR)

Garşylygy özüniň ýagtyldyşynyň intensiwligine baglylykda üýtgeýän rezistora fotorezistor diýilýär. Passiw optoelektron komponentiň bu görnüşini LDR gysgaltmasy bilen aňladýarlar (Light Dependent Resistor □ ýagtylyga duýgur rezistor). Fotorezistoryň işleýşi içki fotoelektrik effekte esaslanýar. Ýagtylygyň energiýasy (fotonlar) ýarymgeçirijä düşmek bilen onuň kristal gözeneginden walent elektronlary boşadýar. Ýagtylygyň intensiwligi näçe ýokary boldugyça, erkin zaryad göterijileriň sany hem şonça köp bolýar. Degişlilikde, ýagtylygyň intensiwliginiň artmagy bilen elektrik garşylyk peselýär.



*Fotorezistorlar □ bu passiw elektron komponentler bolup, olaryň ýagtylyga duýgurlygy içki fotoelektrik effekte esaslanýar.*



Fotorezistorlary kadmiýiň sulfidiniň (CdS) we gurşunyň sulfidiniň (PbS) esasynda garyşyk kristallardan öndürýärler. Özüne ýagtylyk düşende fotorezistoryň elektrik garşylygy ep-esli peselýändigini sebäpli, fotorezistora aşu uly tokdan zeper ýetmezligi üçin ony goramak zerur. Fotorezistorlaryň meseleleriniň biri olaryň ýagtylyga ters proporsional bolan we adatça birnäçe millisekundan ybarat bolan reaksiýasynyň göräli gijigenligidir. Şonuň üçin fotorezistorly enjamlar diňe takmynan 100 Gs geçiriş tizligine ýetýärler.

Fotorezistoryň esasy tehniki görkezijileri şulary öz içine alýar:

- ◆ Garaňkylykdaky  $R_0$  garşylygy (doly öçürişden bir minut soňky ululygy);  $R$  üçin standary ululyklar:  $10^6 \dots 10^8 \text{ Om}$
- ◆ Световое Ýagtylykdaky  $R_H$  garşylygy (ýagtylygyň  $E = 1000 \text{ lüks}$  intensiwliginde ölçenilen ululygy);  $R$  üçin standart ululyklar:  $10^2 \dots 10^4 \text{ Om}$
- ◆ Jogap beriş wagty (birnäçe millisekunda çenli)
- ◆ Tolkunlaryň aňryçäk duýgurlykdaky uzynlygy
- ◆ Temperatura koeffisienti

Ýagtylygyň çyzykly üýtgeýşini almak üçin, siz LDR-iň ýüzüne düşýän ýagtylygyň möçberini üýtgetmek maksady bilen, fotorezistory giňligi takmynan 1.5 sm bolan zolajyk bilen bölekleyin örtüp we ýagtylyk düşýän meýdany sazlap bilersiňiz.

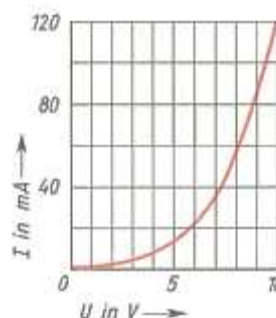
### VDR waristorlary

Belli bir ýarymgeçirijileriň (meselem, kremniýiň karbidiniň) garşylygy berilýän ýüklenmä ep-esli derejede bagly. Şeýle materiallara waristorlar ýa-da VDR (*Voltage Dependent Resistor* □ ýüklenmä bagly rezistorlar) diýilýär.

*VDR - bu garşylygy berilýän ýüklenmäniň artmagy bilen azalýan we ýüklenme tarapyndan ugrukdyrylýan ýarym geçirijiler.*



Her bir waristor üçin kesgitlenen belli bir porog ýüklenmeden ýokary geçilende, onuň garşylygy ep-esli peselýär, ýagny waristoryň geçiriş häsiýetnamasy bu nokatda aýdyň eplenme şekline eýe bolýar. Häsiýetnama ýüklenmä görä simmetrik bolup durýar, ýagny polýarlygyň hiç hili orny bolmaýar. Aşakda waristoryň shemadaky aňladylyşy (çepde) we onuň häsiýetnamasy (sagda) getirilýär.

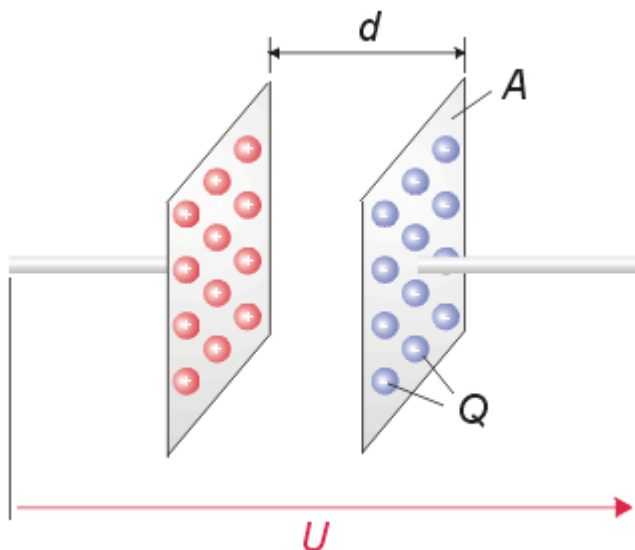


Waristorlary aşıa ýüklenmeden goramak üçin ulanýarlar. Kadaly iş şertlerinde olaryň garşylyklary adatdan daşary ýokary, emma ýüklenme birdenkä ýokary galanda, aşıa ýüklenmede onuň garşylygy şol bada iň pes derejesine çenli düşýär, bu bolsa zarýadyň ugruny sowmaga mümkinçilik berýär. Şonuň üçin VDR-i duýgur elektron shemalaryny, şeýle hem ýokary woltly ulgamlary goramak üçin ulanýarlar.

Häzirki wagtda waristorlary adatça sinkiň oksidinden (ZnO) ýasalan esasyda ýerleşdirýärler. Wismut, hromuň oksidi ýa-da marganesiň oksidi ýaly metallaryň oksidleri bilen birlikde ulanylanda ýarymgeçirijiniň tozy presslenýär we gyzyp gerdejik görnüşine gelýärler. Alnan bu gerdejikler iki tarapyndan hem kümüş ýa-da alýuminiý bilen metallaşdyrylýar we kontaktlar dakylýar.

## Hemişelik tok zynjrlaryndaky kondensatorlar

Kondensatorlar komponentler bolup, olarda statik elektrik zaryadlar saklanýar. Ýönekeý binýatlaýyn konstruksiýasy boýunça kondensator iki sany metal plastinalardan ybarat bolup, olar kondensatoryň elektrodлары hökmünde çykyş edýärler. Zaryadlaryň elektrodларыň arasynda bölünýändigini sebäpli  $U$  elektrik potenciallaryň (ýüklenme) dürlüligi emele gelýär. Indiki suratda  $Q$  zaryadyny göterýän, plastinalaryň arasyndaky aralyk  $d$ -e deň bolan we plastinanyň ýüzüniň meýdany  $A$ -a deň bolan tekiz kondensatoryň mysaly getiriýär. Zaryadlaryň plastinalaryň arasynda bölünmegi arkaly elektrik meýdan emele gelýär (bu suratda görkezilenok).



Adatça plastinalaryň arasynda dielektrik diýip atlandyrylýan izolirleýji material ýerleşdirilýär (bu suratda görkezilenok). Zaryadyň we ýüklenmäniň arasynda aşakdaky aňlatma bilen beýan edilýän çyzykly özara gatnaşyk bar:

$$Q = C \cdot U$$

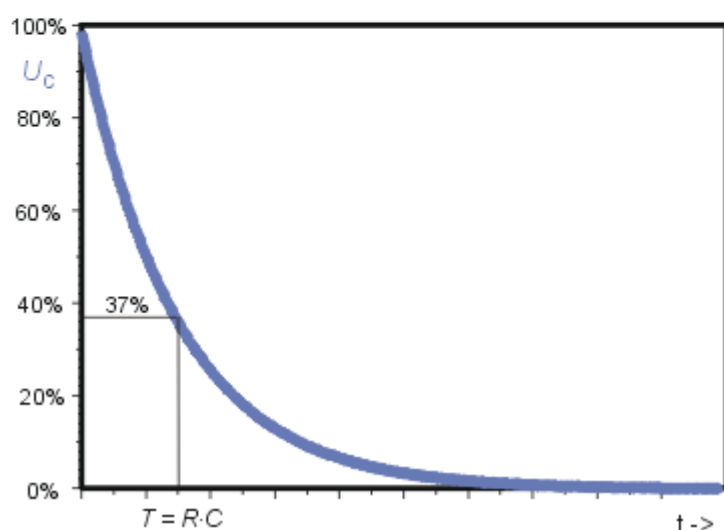
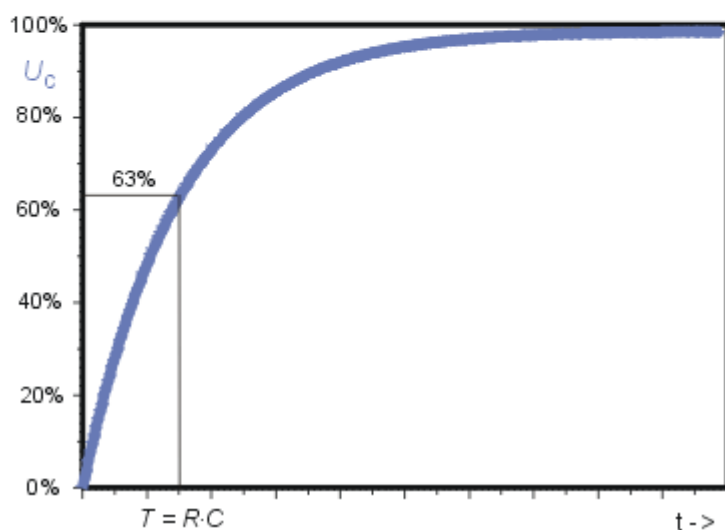
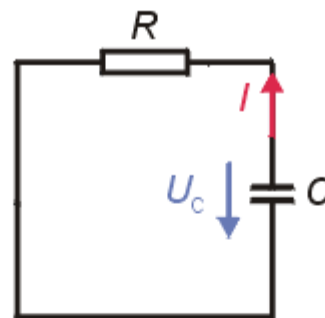
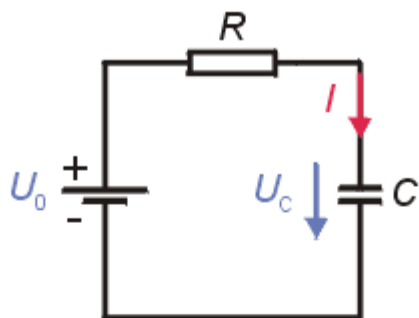
Üýtgeýän  $C$  ululygyna kondensatoryň sygymlylygy diýilýär, ol farada diýlip atlandyrylýan (aňladylyşy: F) birliklerde ölçenýär. Kondensatoryň sygymlylygy näçä ýokary bolsa, onuň elektrodларыnyň arasynda belli bir ýüklenmäniň generirlenmegi üçin şonça köp zaryad talap edilýär. Meňzetme hökmünde siz ýüzülyän howzy göz öňüne getiriň. Onuň sygymlylygy howzuň düýbüniň meýdanyna gabat gelýär, zaryad  $Q$  bu howuzdaky suwuň möçberi we ýüklenme  $U$  suwuň derejesi. Howzuň düýbüniň meýdany (sygymlylyk) näçe ýokary bolsa, suwuň belli bir derejesine (ýüklenmä) ýetmek üçin şonça-da köp suw (zaryad) guýmak gerek bolar.

Kondensatoryň sygymlylygyny hemişelik diýip hasap etmek bolar. Ol konstruksiýanyň geometriýasyna we ulanylýan dielektrik materiala bagly. tekiz kondensatorlar üçin aşakdaky aňlatma dogry bolup durýar:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

Bu ýerde,  $\epsilon_0$  hemişelik elektrik meýdan bolup (wakuумыň dielektrik syzdyryjylygy), onuň ululygy  $8.8542 \cdot 10^{-12}$  AS/Vm-e deň,  $\epsilon_r$  dielektrik hemişelik ululyk ýa-da göräli dielektrik syzdyryjylyk (onuň ölçeg birligi ýok),  $A$  plastinanyň ýüzüniň meýdany we  $d$  plastinalaryň arasyndaky

aralyk. Eger kondensator  $U_0$  hemişelik ýüklenme çeşmesine  $R$  zaryad rezistorynyň üsti bilen birikdirilen bolsa, onda ol görkezilen ýüklenmä çenli zaryadlanýar, şunda kondensatoryň ýüklenmesi eksponensial kanun boýunça 0 W-dan ahyrky  $U_0$  (100%) ululygyna çenli artýar (kondensatoryň zaryadlanma egrisiniň aşadaky çep tarapdaky suratyna seret). Eger soňra kondensator energiýa çeşmesinden aýrylsa we ol gysga wagtlyk utgaşdyrylsa, onda zaryadlanma prosesine ters bolan zaryadсыzlanma prosesi başlanar (aşadaky sag tarapdaky surata seret).



Zaryadlanma we zaryadсыzlanma toklarynyň häsiýetnamalarynyň biri-birine ters ugurlary bar. Kondensatoryň näçe çalt zaryadlanýandygy ýa-da zaryadсыzlanýandygy sygymlylygyna we yzygider birleşdirilen  $R$  garşylygyň ululygyna bagly we wagtyň  $T = R \cdot C$  hemişelik ululygy bilen häsiýetlendirilýär. Bu ululyk kondensatoryň zaryadlanmada özüniň ahyrky ýüklenmesiniň 63%-ne ýetmegi üçin, ýa-da nazaryadсыzlanmada ýüklenmäniň başky ululygyndan 63%-e çenli düşmegi üçin gerek bolan wagtdan ybarat. Kondensator dolulygyna zaryadlananda, onuň üstünden zaryad togy geçmegini we düýbünden hemişelik togy geçirmegini bes edýär.

Eger zaryadlanmadan soň kondensator zynjyryň haýsydyr bir gysga utgaşmasyny etmezden energiýa çeşmesinden aýrylsa, onda kondensator özüniň zaryadlanan ýagdaýyny saklaýar we, degişlilikde, teoretiki taýdan ýüklenmäni soňsuz uzak wagtlaý saklaýar. Iş ýüzünde bolsa, hemişe içerki zaryadсыzlanmanyň belli bir derejesi bar.

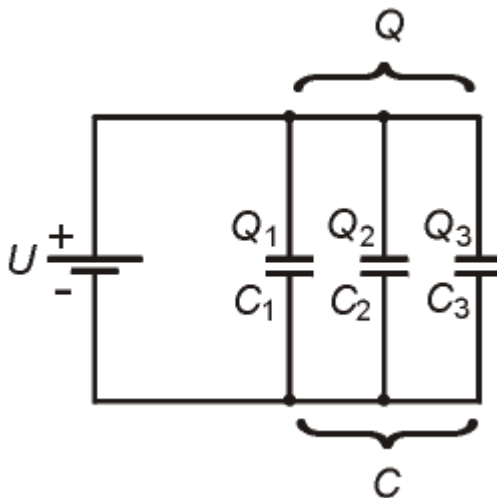
Ulanyşyň dürli-dürli ugurlary üçin dürli konstruksiýaly kondensatorlar öndürülýär. Iň meşhur we iň ulanylýan konstruksiýalaryň arasynda metal-kagyz kondensatorlary, elektrolitik kondensatorlary, tantal kondensatorlary, plastiki plenka görnüşli kondensatorlary we uly bolmadyk keramiki kondensatorlary agzap geçeliň.



## Kondensatorlary yzygiderli we parallel birikdirmek

### Kondensatorlaryň parallel birikdirilmegi

Aşakdaky suratda kondensatorlaryň parallel birikdirilmeginiň çyzgysynyň mysaly görkezilýär. Şu ýagdaýda şol bir  $U$  ýüklenme ähli kondensatorlara berilýär.



Kondensatorlar şu aşakdaky zaryadalary geçirýär:

$$Q_1 = U \cdot C_1, \quad Q_2 = U \cdot C_2, \quad Q_3 = U \cdot C_3.$$

Hemişelik toguň çeşmesinde generirlenýän  $Q$  umumy zaryady aýry-aýry zaryadlaryň jemine deň:

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ &= U \cdot C_1 + U \cdot C_2 + U \cdot C_3 \\ &= U(C_1 + C_2 + C_3) \end{aligned}$$

Ýaýyň içindäki ululyklary goşmak bilen parallel zynjyr üçin  $C$  doly sygymlylygy alarys:

$$C = C_1 + C_2 + C_3.$$

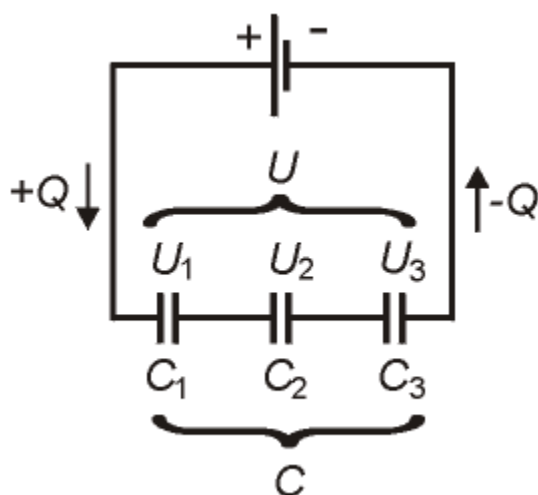
Başgaça aýdanyňda:

Parallel birikdirilen kondensatorlaryň doly sygymlylygy aýry-aýry sygymlyklaryň jemine deň.

Kondensatorlaryň parallel birikdirmesi örtügiň meýdanynyň artmagyna deň.

### Kondesatorlaryň yzygiderli birikdirilmegi

Birnäçe kondensatorlaryň iýmitlendiriş çeşmesine yzygiderli birikdirilmegi aşadaky suratda görnüşi ýaly  $Q$  zaryadyň tutuş zynjyr boýunça hereketlenmegine getirer.



Bu effekt her bir kondensatoryň onda induktirlenen şol bir  $Q$  zaryada eýe bolmalydygynda ýüze çykýar. Şeýlelikde, her bir elementdäki  $U_i$  ýüklenme degişli sygymlylyga bagly bolýar:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}, U_2 = \frac{Q}{C_2}, U_3 = \frac{Q}{C_3}$$

Doly potensial aýry-aýry potensiallaryň jemine deň:

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 + U_3 \\ &= \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} \\ &= Q \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right) = \frac{Q}{C}. \end{aligned}$$

Diýmek, yzygiderli birikdirilen kondensatorlaryň doly sygymlylygy şu aşadaky ýaly beýan edilýär:

$$\boxed{\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}.$$

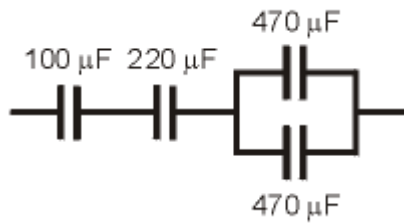
Başgaça aýdanyňda:

Yzygiderli birikdirilen kondensatorlar üçin doly sygymlylyga tersin ululyk aýry-aýry sygymlylyklaryň tersin ululyklarynyň jemine deň.

Şu ýagdaýda doly sygymlylyk aýratyn kondensatoryň iň kiçi sygymlylygyndan kiçi. Kondensatorlaryň yzygiderli birikdirilmegi örtükleriň arasyndaky aralygyň artmagyna deň.

Öz içine dört kondensator alýan aşadaky çyzgy üçin doly  $C$  sygymlylyk nämä deň?



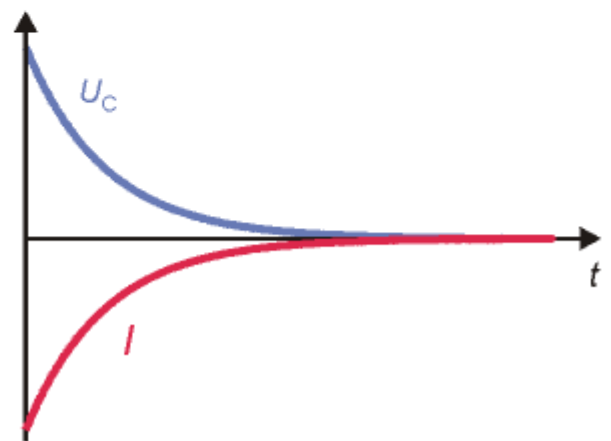
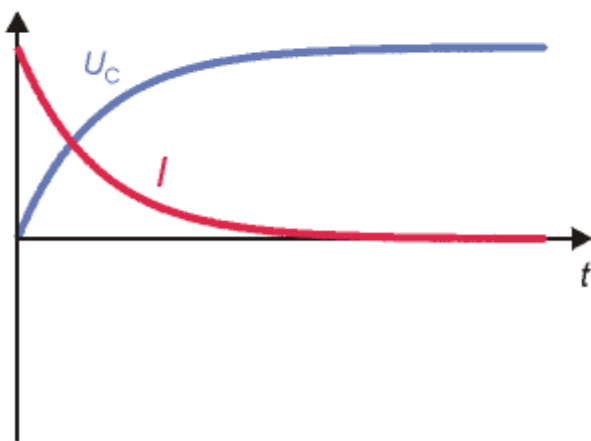
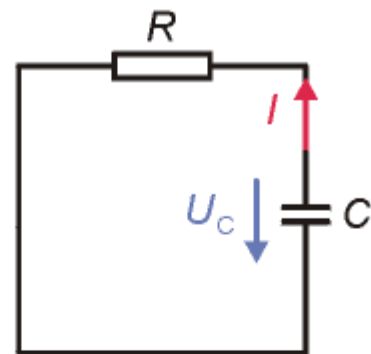
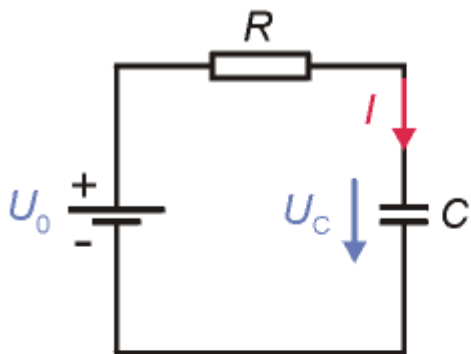


$C = \square \mu F$

Hasaplamalar üçin siz Windows kalkulýatory ulanyp bilersiňiz.

## Kondensatorlary zarýadlandyrmak we zarýadsyzlandyrmak

Kondensatorlary zarýadlandyrmak we zarýadsyzlandyrmak prosesi bilen siz eýýäm hemişelik toguň zynjyrlary kursundan tanyş: kondensatory  $R$  zarýad garşylygy arkaly  $U_0$  hemişelik ýüklenmä birikdirilmegi kondensatoryň bu ýüklenmä çenli zarýadlanmagyna getirer. Ýüklenme  $U_0$  ahyrky ululyga çenli  $0$  W eksponensial artýar. Zarýad togy şeýle hem eksponensial kanun boýunça ilki başy aňrybaş ululykdan nula çenli gaçýar (kondensatoryň zarýadlanmagynyň gyşyklygy aşakdaky çepki suratad görkezilýär). Eger-de kondensatory soňra ýüklenmäniň çeşmesinden aýyrsaň we nädogry birleşdirme etseň, zarýadlanma prosesine garşylyklaýyn bolan zarýadsyzlanma prosesi ýüze çykar (aşakdaky suratda sag tarapda görkezilýär).



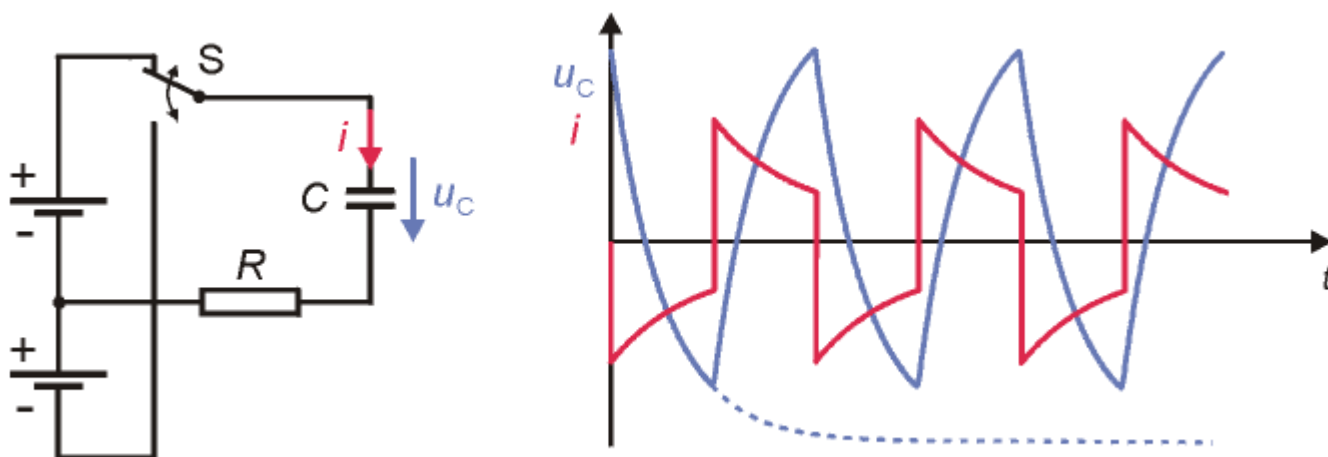
Zarýadlandyрма we zarýadsyzlandyрма toklary garşylyklaýyn ugurlarda akýar. Kondensatoryň zarýadlanmagynyň we zarýadsyzlandyrylmagynyň tizligi onuň sygymlylygyna we onuň ýerleşýän zynjyrynyň şahasyna  $R$  garşylyga bagly bolýar (bu ýerde ol ekwiwalent garşylyk bilen berlen). Ol  $T = R \cdot C$  wagtyň hemişeligi bilen häsiýetlendirilýär. Şu wagtyň içinde zarýadlanma prosesinde kondensator ahyrky ýüklenmäniň 63%-ine ýetýär we zarýadsyzlandyрма prosesinde başlangyç ýüklenmäniň 63%-ni ýitirýär. Kondensator doly zarýadlanan badyna tok akmagyny bes edýär, ýagny kondensator hemişelik togy blokirlýär.

Eger-de zarýadlandyrmadan soň kondensatory ýüklenmäniň çeşmesinden gysgaça zamykaniýesiz aýyrsaň, on ol teoretik taýdan öz zarýadyny we potensialyny tükeniksiz uzak

saklar. Hakykatda, kondensator belli bir derejede öz-özünü zarýadlandyrmak prosesine eýe bolup durýar.

## Kondensator üçin gönüburçly üýtgeýän ýüklenme

Üýtgeýän toguň zynjyrynda kondensatoryň özüni alyp barşyny öwrenmek üçin ilki bilen teoretik ssenariýe garalyň. Aşakdaky suratyň çep böleginde görkezilişi ýaly kondensator  $S$  geçiriji we  $R$  rezistor arkaly dürli polýarlykly hemişelik ýüklenmäniň iki çeşmesine (mysal üçin) çatylan. Geçirijiniň ýagdaýyny üýtgetmek bilen  $RC$  zynjyra döwürleýin üýtgeýän gönüburçly ýüklenmäni bereris. Netijede, kondensatordan üýtgeýän tok akar (suratyň sag bölegi). Ilki bilen kondensator zarýadlanýar, bu proses wagtynda zarýad togy gaççar, kondensatordaky potensial bolsa artýar. Ýüklenmäniň polýarlylygy üýtgände zarýad togy garşylyklaýyn tarapa akyp başlaýar; kondensator zarýadlanýar, onuň potensialy nula çenli gaçýar we soňra täzeden garşylyklaýyn ugurda artýar. Punktir çyzyk bilen geçiriji şol ýagdaýda galan bolsa wolt häsiýetnamasynyň nähili boljakdygy görkezilýär. Emma geçirmede kondensator täzeden zarýadlanýar we şuna meňzeş. Başgaça aýdanyňda kondensator üýtgeýän togy gaýtalanýan zarýadlandyрма arkaly akdyrýan ýaly bolar. Onuň hemişelik toga garşylygy onuň hemişelik toga tükeniksiz garşylygyna tersin tükenikli.



Grafikde görkezilişi ýaly tok kondensatordan heniz plastinalardaky ýüklenme artýan wagtynda akýar we ýüklenme çendenaşa artmagyndan öä öz iň köp ululygyna ýetýär. Kondensatorda ýüklenme has gaçýança zarýadsyzlandyрма togy şunuň ýaly akýar. Şu ýagdaýda toguň we ýüklenmäniň arasyndaky faza süşmesi hakynda gürrüň edýärler. Kondensatorlarda, aýdaly tok we ýüklenme fazada durýan wagtynda rezistiw ýüklenmeden tapawutlykda tok ýüklenmeden oýýar.

Gyşyklyk şeýle hem toguň başda aňrybaşdygyny, soňra onuň birden peselýändigini görkezýär. Geçirmäniň ýygylgy näçe ýokary bolsa, şonça-da toguň orta ululygy ýokary, sebäbi, zarýadlandyрма/zarýadsyzlandyрма togunyň häsiýetnamasy toguň has köp wagt bolýan ýeriniň interwalynda durýar. netijede kondensatoryň effektiv garşylygynyň üýtgeýän toguň ýygylgy artdygyça azalmagyna garaşyp bolar. Şeýle hem sygymlylyk artanda üýtgeýän tok artmagy mümkin, sebäbi, zarýadlandyрма fazasy has uzak dowam eder we tok has uzak wagt aralygynyň dowamynda ýokary bolmagynda galar. Başgaça aýdanyňda üýtgeýän toga garşylyk sygymlylyk artdygyça azalmagyna garaşyp bolar.

## Kondensator üçin sinusoidal üýtgeýän ýüklenme

Eger-de kondensatora şu aşakdaky görnüşdäki sinusoidal üýtgeýän ýüklenme berilýän bolsa

$$u(t) = u_0 \cdot \sin(\omega \cdot t),$$

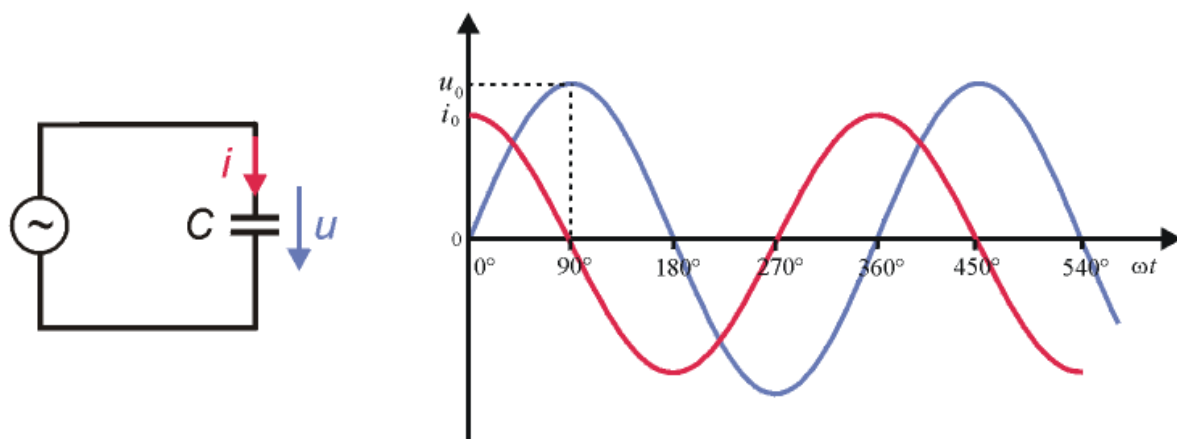
Onda  $i$  kondensatoryň rezultirleýji togy hem sinusoidal bolup durýar we ýüklenmäni şu aşakdaky burça ozýar:

$$\varphi = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$$

Diýmek, tok şu aşakdaky deňleme bilen kesgitlenýär:

$$i(t) = i_0 \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right).$$

Ýüklenmäniň we toguň häsiýetnamalary aşakdaky suratda görkezilýär.

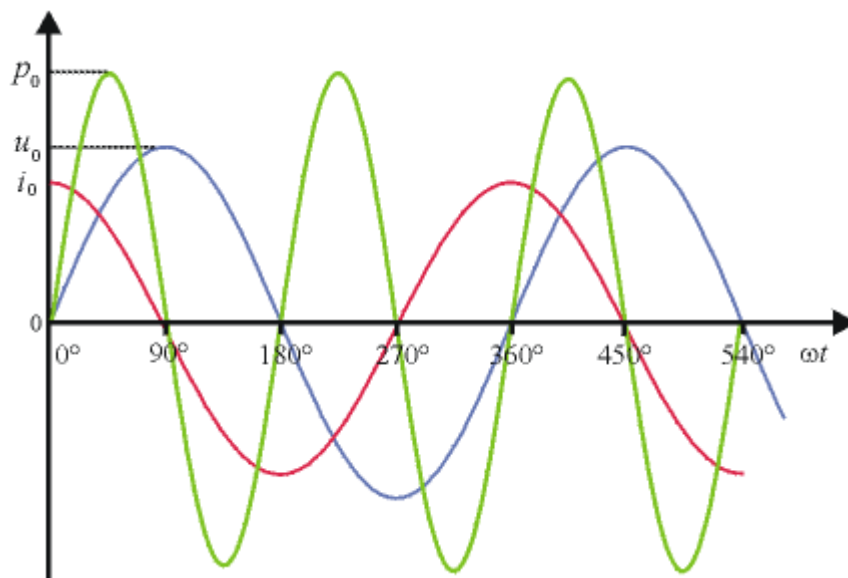


Kondensatordaky ýüklenme aňrybaş ululyga haçan-da tok nula deň bolanda ýetýär we tersine.

Kondensatoryň zynjyrynda tok goşulan ýüklenmäni  $\varphi = 90^\circ$  burça ozýar.

## Kondensatoryň reaktiw garşylygy

Kondensator tarapyndan sarp edilýän  $p(t)$  kuwwatlygyň pursatlaýyn ululygy toguň we ýüklenmäniň pursatlaýyn ululyklarynyň öndürilmegine deň. Emma bu iki üýtgeýänler kondensatorda  $90^\circ$  faza boýunça ýaýradylanlygy sebäpli energiýanyň sarp edilişiniň häsiýetnamasynyň aşakdaky grafikde ýaşyl liniýa bilen görkezilen toguň we ýüklenmäniň özünden iki esse köp ýygylýgy bar. Bu häsiýetnamada ýüklenmäniň we toguň bir ugurda üýtgeýän oblastlary bar, bu kondensatoryň ýükleýiş hökmünde hereket etmegine getirýär, şeýle hem deň uzaklykdaky oblastlar bar, bu ýerde ýüklenme we tok garşylyklaýyn ugurlarda edil kondensator kuwwatlygyň çeşmesi hökmünde hereket edendäki ýaly üýtgeýär (batareýa ýaly).



Grafik energiýanyň sarp edilişini položitel ululyk hökmünde şöhlelendirýär, energiýanyň berilýän oblastlaryny otrisatel ululyk hökmünde şöhlelendirýär. Başga sözler bilen aýdanyňda elektrik energiýasy „kondensator" we „batareýa" reňimleriniň arasynda üýtgeýär. Rezistiw ýükleýiş üçin sarp edilýän kuwwatlyga aktiw kuwwatlyk diýilýär (şu ýagdaýda elektrik energiýa ýöne ýylylyk energiýasyna özgerilýär), kondensator üçin kuwwatlygyň sarp edilişi reaktiw kuwwatlyk adalgasy bilen beýan edilýär. Omiki garşylygyň ýerine kondensatoryň  $X_C$  reaktiw garşylyga eýedigini hakynda gürrüň edilýär, ol  $U$  orta kwadrat ýüklenmäniň  $I$  orta kwadrat toga gatnaşygy hökmünde kesgitleýär:

$$X_C = \frac{U}{I}$$

Reaktiw garşylygyň ölçeg birligi edil omiki garşylygyňky ýaly, ýagny om ((belgi  $\Omega$ )).

Ozal görkezilişi ýaly, kondensatoryň üýtgeýän togy „geçirmek" ukyby ýygyllyk we sygymlylyk artdygyça ýokarlanýar. Sygymlylyk garşylygyň formulasynyň şu aşakdaky görnüşi bar

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

Hil taýdan muny şu aşakdaky ýaly beýan etmek bolar:

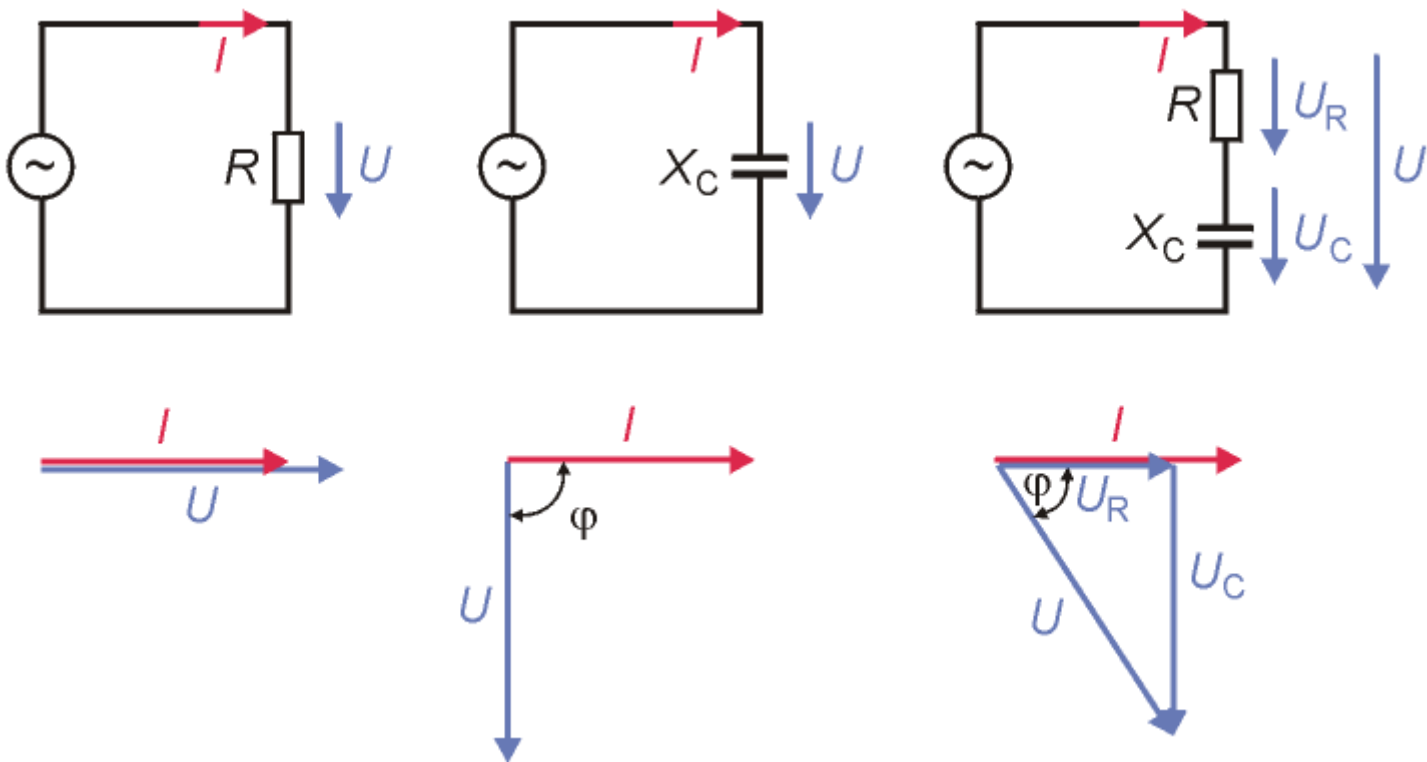
Sygymlylyk garşylygy ýygyllyk we sygymlylyk artdygyça azalýar.

**Mysal:** elektrik iýmitlendiriş ulgamynyň  $f = 50$  Hz ýygyllygynda,  $1 \mu\text{F}$  kondensatoryň reaktiw garşylygy bar

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} \Omega = \frac{10^6}{314} \Omega = 3185 \Omega.$$

## RC elementde faza süýşmesi

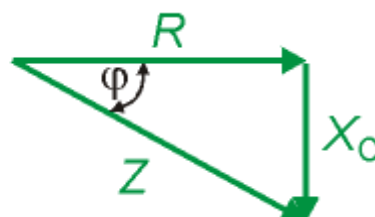
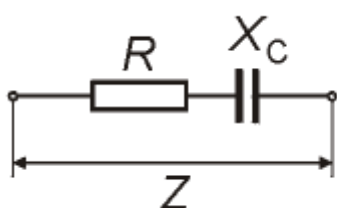
Eger-de sinusoidal ýüklenmäni R omiki ýüklenmä goýsaň, onda onda rezultirleýji tok ýüklenme bilen fazada bolar, ýagny orta kwadrat ululyklaryň degişli  $I$  we  $U$  wektorlary bir ugry görkezzer (aşakdaky çepdäki surat). Kondensator arassa reaktiw  $X_C$  ýüklenme hökmünde hereket edýär, bu ýerde ýüklenme tokdan  $\phi = 90^\circ$  faza burçuna galýar we iki degişli wektorlar göni burçy (aşakdaky ortadaky surat) emele getirýär. Eger-de omiki garşylygy yzygiderli ýagdaýda RC elemeneti emele getirýän kondensator bilen birikdirseň, onda netijede alnan garşylygyň aktiw we reaktiw komponenti bolar. Şu ýagdaýda ýüklenme tok babatda  $\phi$  faza burçuna yza galar, ol ýygylýga, garşylyga we sygymlylyga (aşakdaky sagdaky surat) baglylykda  $0^\circ$  we  $90^\circ$  aralykda ýatýar. Bu ýerde  $U$  ýüklenmesiniň wektory  $U_R$  (tok bilen fazada) we  $U_C$  (tokdan  $90^\circ$  yza galýan) bölekleyin ýüklenmeleri geometric goşmak arkaly emele getirilýär.



Hemişelik toguň zynjyrlaryndaky ýaly bu ýerde toguň we ýüklenmäniň orta kwadrat ululyklary üçin Omuň kanunyny ulanarlykly.

$$I = \frac{U}{Z}$$

$Z$  *impedans*- bu üýtgeýän toguň zynjyrynyň doly mümkin bolan garşylygyny aňlatmak üçin. Ol aktiw we reaktiw garşylykdan ybarat bolup durýar. Bu ululyklary dürli ýüklenmeler ýaly wektorlaýyn goşmaly. Bu indiki surat şekillendirilen, onda RC element üçin garşylyklaryň üçburçlygy görkezilýär.



Z impedansy göni burçy bolan garşylyklaryň üçburçlygy boýunça hasaplamak aňsat, ol netijede şu aşakdaky gatnaşygy berýär:

$$Z^2 = R^2 + X_C^2.$$

Deňlemäniň iki tarapyndan kwadrat köki almak we ozal alnan gatnaşyk bilen  $X_C$  çalyşmak bilen biz şu aşakdaky aňlatmany alýarys:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}.$$

$\phi$  faza burçy hem şu aşakdaky ýaly garşylyklaryň üçburçlygy boýunça kesgitläp bolýar:

$$\tan \varphi = \frac{X_C}{R} \Rightarrow \varphi = \arctan \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R}.$$

$\omega$  ýa-da  $f$ ,  $R$  we  $\phi$  belli ululyklarynda bu deňleme sygymlylygy kesgitlemek üçin ulanylyp bilner. Şu aşakdaky gatnaşygy alýarys:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot R \cdot \tan \varphi}.$$

Alternatiwa hökmünde (aşakdaky synagda beýan edilişi ýaly) kondensatordaky  $U_C$  ýüklenme we  $U$  iýmitlendirişiniň ýüklenme bilen arasynda faza süýşmesi ölçenilip bilner. Onda sygymlylygy şu aşakdaky aňlatmadan almak bolar:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot R} \tan \varphi.$$

**Mysal üçin:**  $C = 10 \mu F$  kondensator bilen yzygiderli birikdirilen  $R = 220 \Omega$  rezistora  $f = 50 \text{ Hz}$  ýygylýkdaky  $U = 220 \text{ V}$  üýtgeýän ýüklenme berilýär. Kondensatoryň reaktiw garşylygyny, impedansy,  $I$  togy,  $U_R$  we  $U_C$  ýüklenmelerini ikisini, şeýle hem  $U$  we  $I$  arasyndaky  $\phi$  faza süýşmesini hasaplaň.

Netije:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ F}} = 318 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(220 \Omega)^2 + (318 \Omega)^2} = 387 \Omega$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220 \text{ V}}{387 \Omega} = 0.568 \text{ A}$$

$$U_C = I \cdot X_C = 0.568 \text{ A} \cdot 318 \Omega = 180.8 \text{ V}$$

$$U_R = I \cdot R = 0.568 \text{ A} \cdot 220 \Omega = 125 \text{ V}$$

$$\varphi = \arctan \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R} = \arctan \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 220 \Omega} = 55.3^\circ$$

# Hemişelik tok zynjrlaryndaky induktiwlik katuşkalary

## Induktoryň induktiwligi

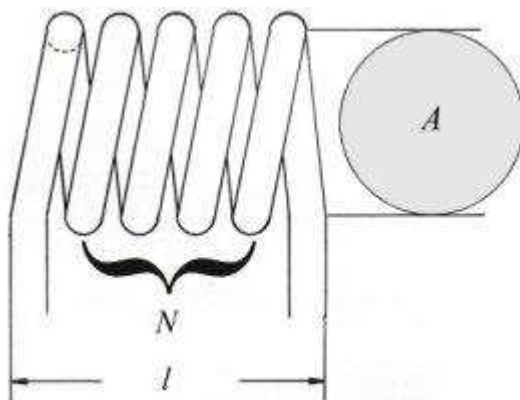
Zaryadlanan kondensatoryň örtgüleriniň arasynda ýüze çykýan elektrik meýdan başga-da, elektrotehnikada magnit meýdany diýlip atlandyrylýan meýdanyň ikinji görnüşini bar. Elektrik meýdan statik zaryadlaryň ýakynlygyndan döreýän täsiriň netijesine ýüze çykýan bolsa, magnit meýdany hereketlenýän zaryadlaryň geçirmesi, ýagny elektrik tok bilen bagly bolup durýar.



Induktor (ýa-da induktiwlik katuşkasy) özlerinden tok geçende magnit meýdanyň çyzyklary içinden geçýän köp sanly geçiriji konturlaryň yzygiderli birleşdirmesine ekwiwalent bolup durýar. Magnit meýdanyň ýüklenmeliligi onuň magnit akymy bilen häsiýetlendirilýär. Eger induktoryň magnit akymy üýtgeýän bolsa (meselem, toguň intensiwligi üýtgände), onda bu ýagdaýda öz-özüňe induksiýanyň EDS-i diýlip atlandyrylýan indusirlenip, onuň ululygy toguň tizligine we katuşkanyň konstruksiýasyna bagly. Katuşkanyň  $L$  induktiwligi induktoryň öz-özüňe induksiýanyň EDS-ini generirlemek ukybynyň ölçegi bolup durýar. Süýri katuşka üçin aşakdaky dogrydyr:

$$L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N^2}{l} \cdot A$$

Bu ýerde  $l_0$  — magnit meýdanynyň hemişelik ululygy,  $l_r$  — katuşkanyň okjagazynyň göräli syzyjylygy,  $N$  — towlam sany,  $l$  — katuşkanyň uzynlygy we  $A$  — onuň kese kesigi (indiki suratlara seret).



Induktiwlighiň ölçeg birligi bolup genri hyzmat edýär (aňladylyşy: Gn, H; 1 Gn = 1 Ws/A). Eger katuşkanyň togy 1 sekuntda 1 A hemişelik üýtgeýän şertlerinde katuşkada öz-özüňe induksiýanyň 1 W EDS-i ýüze çykýan bolsa, onda katuşkanyň induktiwligi 1 Gn-e deň.

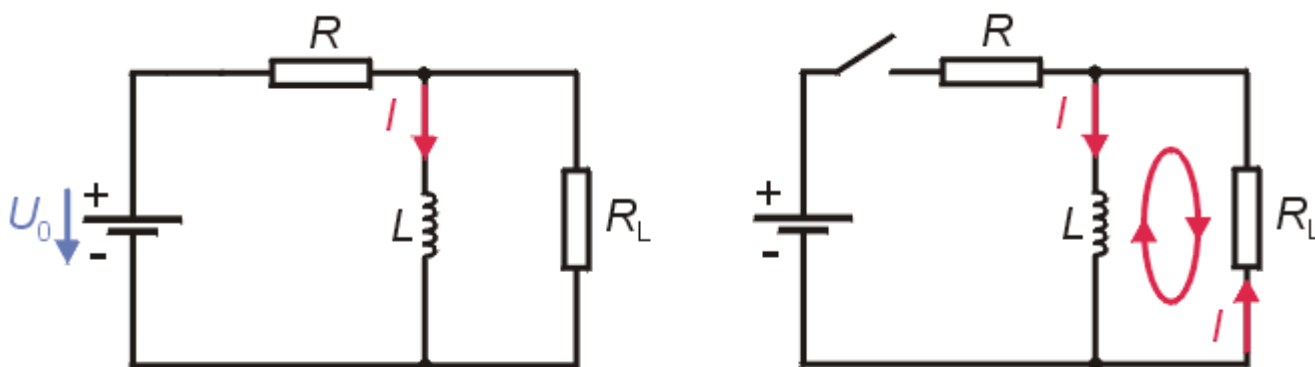
## Induktiwlilik katuşkalarynyň işledilişi we öçürilişi

Eger katuşkalary hemişelik tok zynjyrynda ýerleşýän bolsalar, onda onuň üstinden hemişelik tok geçýär we eger işle işlediş prosesine esewan edilmese, onda öz-özüňe induksiýanyň EDS-i ýüze çykmaýar. Bu ýagdaýda katuşka Om rezistory ýaly hereket edip, onuň garşylygynyň (adatça örän pes bolan) ululygy katuşkanyň materialynyň udel garşylygyny katuşkadaky simiň uzynlygyna we onuň kese kesigine köpeltmegiň hasylyna deň.



Katuška işe başladylanda onuň magnit meýdany ilki generirlenip başlamaly; we öz-özüňe induksiýanyň EDS-i magnit akymynyň wariasiýalary bilen indusirlenmeli. Öz-özüňe induksiýanyň bu ýüklenmesi berilýän ýüklenmä päsgelçilik berýär. Netijede zynjyrdaky tok birdenkä däl-de (rezistor ýükleýişli ýagdaýda bolşy ýaly), belli bir ahyrky ululygyna çenli ýuwaş-ýuwaşdan artýar. Katuška öçürilende muňa ters proses başlanýar: bu gezek öz-özüňe induksiýanyň EDS-i magnit meýdany ýiteninde generirlenýär. Öz-özüňe induksiýanyň bu ýüklenmesiniň öňki berlen ýüklenmäniňky ýaly şol bir ugry bar we güýçli magnit meýdanly katuşkalarda ekstremal ululyklara eýe bolup bilýär. Öz-özüňe induksiýanyň ýüklenmesi ilki togy katuşkanyň üsti bilen goldaýar, şonuň üçin toguň ýitişi birden bolup geçmän, nula çenli ýuwaş-ýuwaşdan gaçýar.

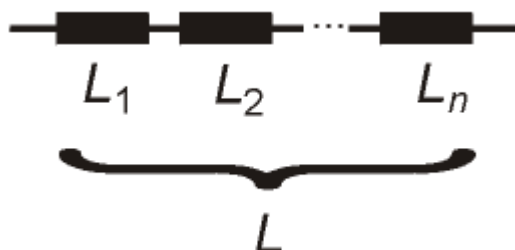
Indiki suratlarda öçüriş wagtynda näme bolup geýýändigini görkezilýär. Iş ýagdaýda (çepdäki surat) I togy L katuşkadan akýar. Eger indi zynjyr üzülse (sagdaky surat), onda şu proses bolup geýer: katuška ilki magnit meýdanyň energiýasynyň hasabyna togy goldar; ýöne soňra tok energiýa çeşmesiniň üstünden akyp bilmeýändigini sebäpli, ol, suratda görkezilişi ýaly, katuška parallel birikdirilen RL rezistorynyň üstünden akýar; şonda magnit meýdanyň energiýasy ýylylyk energiýasyna öwrülýändigini sebäpli, tok çaltlyk bilen dissipirlenýär. Bu dissipasiýa (dagama) prosesi (kondensatoryň ýagdaýynda hem bolşy ýaly) eksponensial kanun boýunça bolup geýýär, şunda wagtyň hemişelik ululygy bu ýagdaýda öz içine induktiwligi we Om garşylygy alýan koeffisient bilen aňladylýar.



Eger zynjyrdaky  $R_L$  rezistor ýok bolsa, onda ýüklenmäniň birdenkä örän ýokary artyşy bolup geýýär, bu bolsa zynjyrdaky dürli duýgur elementlere (meselem, integral shemalara) ýeňillik bilen zeper ýetirip bilýär. Şonuň üçin ýüklenmäniň birdenkä artmagyny basyp ýatyrmak üçin, köplenç, çatylan induktorlara parallel usulda zarýadsyzlandyрма diodlary birleşdirilýär, şeýlelikde induktiwligiň magnit meýdanynyň energiýasynyň katuşkanyň özünde ýylylyk energiýasyna öwürülmegi üpjün edilýär.

## Induktivlik tegekleriniň yzygiderli we parallel birikdirilmegi

Yzygiderli ýa-da parallel birikdirilen induktorlar rezistiw ýükleýiş üçin ulanylýan formulalar boýunça kesgitlenýär. Aşakdaky surat yzygiderli birikdirilen induktorlaryň ýygynyndysyny görkezýär.



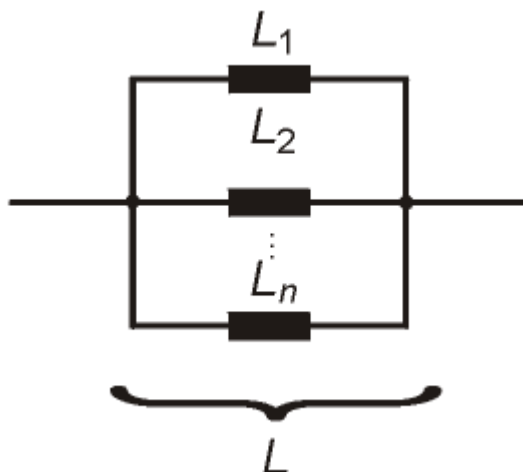
Bu ýerde doly induktiwlik şu aşakdaka deň:

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

Başgaça aýdanyňda:

Eger-de birnäçe induktiwlik tegekleri yzygiderli birikdirilen bolsa, onda doly induktiwlik aýry-aýry induktiwlikleriň jemine deň.

Aşakdaky suratda parallel birikdirilen induktorlaryň ýygyndysy görkezilýär.



Bu ýerde doly induktiwlik şu aşakdaka deň:

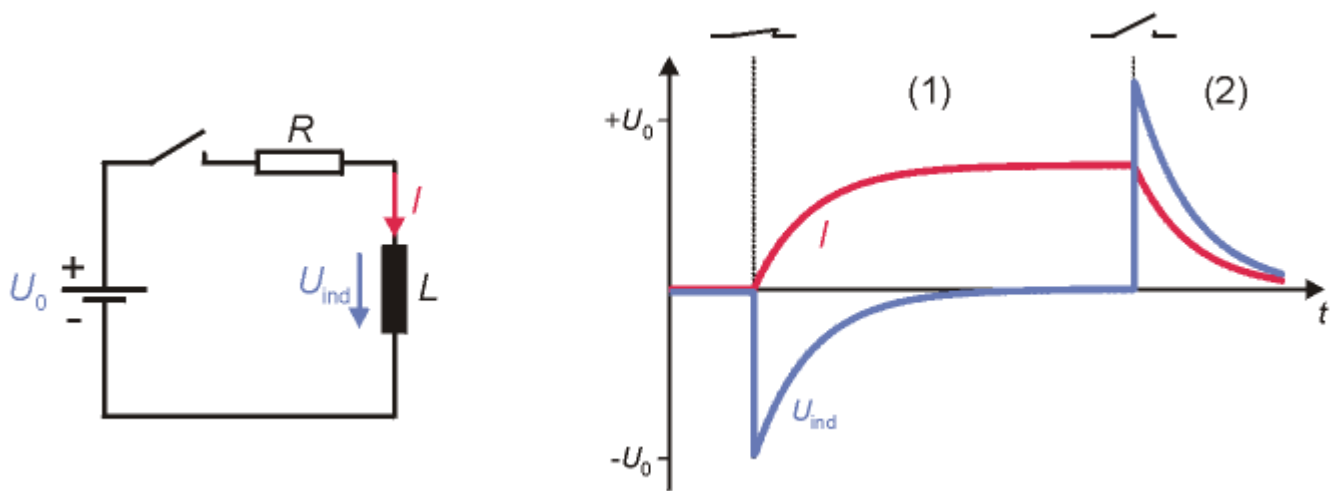
$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

Başgaça aýdanyňda:

Eger-de birnäçe induktiwlik tegekleri parallel birikdirilen bolsa, onda doly induktiwlige tersin ululyk aýry-aýry induktiwlikleriň tersin ululyklarynyň jemine deň.

## Tegegi işletmek we ölçürmek

Tegegi işletmek we ölçürmek prosesi bilen siz eýýäm hemişelik toguň zynjyrlary kursynda tanyşdyňyz. Eger-de tegek aşakdaky suratda görkezilişi ýaly (açar ýapyk) hemişelik ýüklenmäniň çeşmesine çatylan bolsa, onda  $U_{ind}$  ýüklenme haçan-da tok ýüze çykan wagtynda öz-özünden indusirlenip başlaýar. Lensiň kanunyna laýyklykda bu ýüklenmäniň daşarky goşulan  $U_0$  hemişelik ýüklenme babatynda garşylyklaýyn ugrukmasy bar. Netijede, tok tegekde saklanma bilen ösýär, ol  $L$  induktiwlige we  $R$  omiki ýüklenmä (wagt diagrammasyndaky (1) interwal) bagly bolan wagt aralygyndan aňrybaşa ýetip eksponensial funksiýa bilen beýan edilýär.



Daşarky ýüklenmäniň öçürilmegi (açary açmak) tegegiň magnit meýdanyny generirlän energiýanyň ýitmegine we tegegiň eds öz-özünden induksiýasynyň ýüze çykmagyna getirýär, ol magnit meýdanynyň üýtgemeginiň sebäbine garşylykly (ýagny daşky ýüklenmäniň öçürilmegine), ol ilki toguň akmagynyň dowam etmegine getirýär (wagt diagrammasyndaky (2) interwal). Şeýlelikde, indusirlenen ýüklenme tegegiň togunyň azalmasy uzak dowam edýän sebäp bolup durýar.

Aşakdaky animasiýa bu gatnaşyklary illýustrirleýär.

## Induktivlik tegegi üçin sinusoidal üýtgeýän ýüklenme

Tegek zarýadlanýan we zarýadsyzlandyrylýan wagtynda toguň induktordan birneme saklanmak bilen akyp başlaýandygyny görmek bolýar. Arassa induktiwligi (ýagny nul omiki garşylykly tegekleri) şu aşakdaky görnüşdäki sinusoidal üýtgeýän ýüklenmäniň çişmesine birikdirilmegi

$$u(t) = u_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

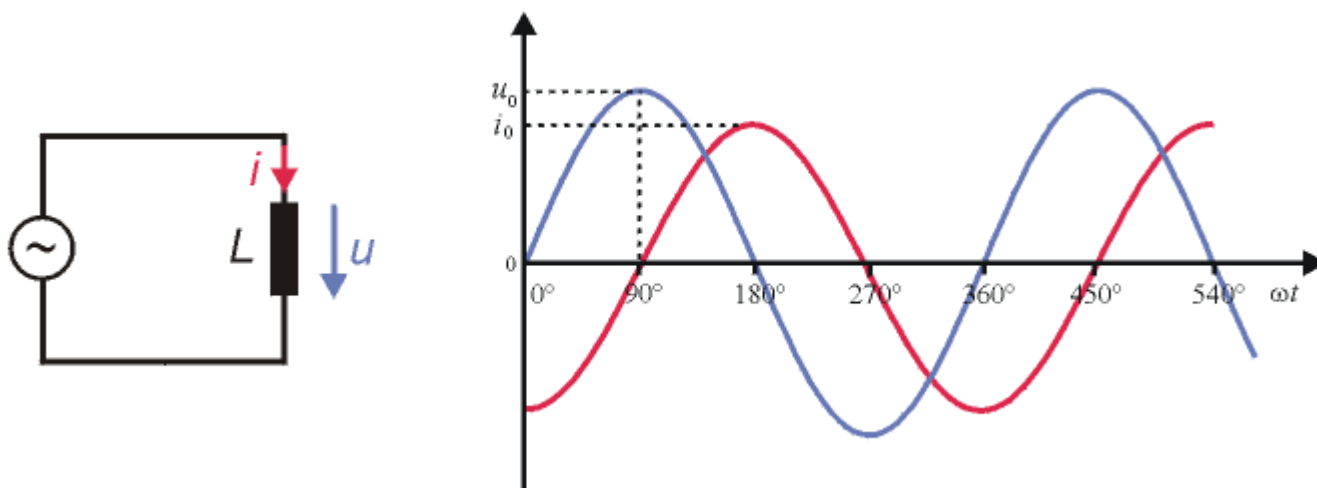
netijede i tegekden sinusoidal tok ýüklenme babatda şu aşakdaky burça yza galmagyna getirer

$$\varphi = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$$

Diýmek, tok şu aşakdaky deňleme bilen beýan edilýär:

$$i(t) = i_0 \cdot \sin\left(\omega \cdot t - \frac{\pi}{2}\right).$$

Aşakdaky suratda degişli häsiýetnama berilýär.



Tegekden tok ýüklenme nula deň bolanda öz aňrybaş ululygyna ýetýär we tersine.

Induktivlik tegeginde geçýän tok goşulýan ýüklenme babatda  $\phi = 90^\circ$  burça yza galýar.

Kondensator ýaly üýtgeýän ýüklenmäni geçirmek ukygyna garamazdan arassa induktivlik tegegiň magnit meýdanyny yzygiderli döredip we bozup,  $90^\circ$  faza süýşmesi sebäpli diňe reaktiv kuwwatlygy sarp edýär. Hakykat-da, emma tegegiň örän kiçi omiki garşylygy bar, bu bolsa faza süýşmesiniň birneme  $90^\circ$  az bolmagyna getirýär we degişlilikde aktiv kuwwatlygyň sarp edilmegine getirýär.

## Tegegiň reaktiv garşylygy

Kondensator bilen ýagdaýdaky ýaly ideal *induktivlik tegegiň* (ýagny aktiv garşylyksyz tegegiň) togy we ýüklenmesi faza boýunça  $90^\circ$  süýşen, bu bolsa netijede diňe reaktiv kuwwatlygy berýär. Tegegiň hemişelik toga garşylygy bilen deňeşdirilende üýtgeýän toga has ýokary reaktiv garşylygy  $X_L$  induktiv garşylyk bilen düşündirilýär. Bu reaktiv garşylyk öz-özünden induksiýanyň gapma-garşylykly ýüklenmesinden ýüze çykýar.

$L$  tegegiň induktivligi näçe ýokary bolsa, şonça-da garşy durýan ýüklenme we netijede ýüze çykýan reaktiv garşylyk ýokary bolýar. Mundan başga-da, toguň üýtgemesi näçe çalyt bolsa, şonça-da ýygylýk ýokary, öz-özünden induksiýanyň ýüklenmesi ýokary. Induktiv garşylygy beýan edýän formula şu aşakdaky ýaly:

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L.$$

Ony gytaklaýyn şu aşakdaky ýaly beýan etmek mümkin:

Ýygylýk we induktivlik näçe ýokary bolsa, şonça-da induktiv garşylyk ýokary bolýar.

**1 mysal:** 50 Gs ýygylýkda 2 Gn induktivlikli tegegiň şu aşakdaky reaktiv garşylygy bar

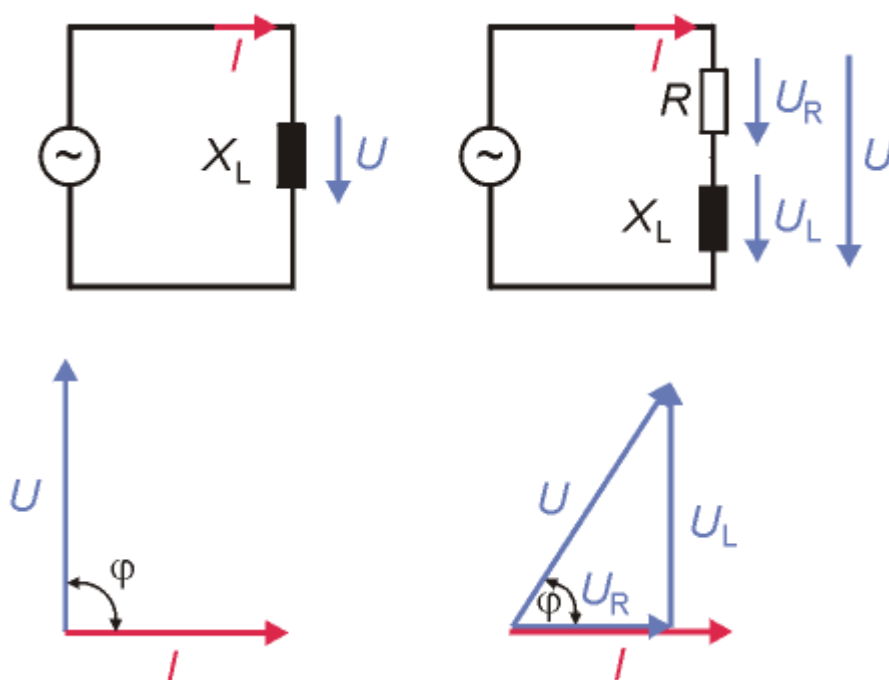
$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 \frac{1}{s} \cdot 2 \Omega \cdot s = 628 \Omega.$$

**2 mysal:** 50 Gs ýygylýkda  $12.5 \, \Omega$  reaktiw garşylykly tegegiň şu aşakdaky induktiwligi bar

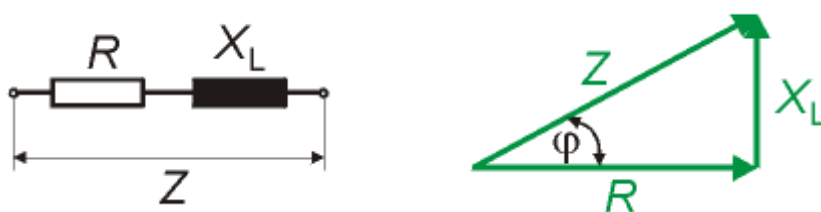
$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{12.5 \, \Omega}{6.28 \cdot 40 \frac{1}{s}} = 0.05 \, \text{H} = 50 \, \text{mH}.$$

## RL elementde faza süýşmesi

Ideal tegegiň reaktiw  $X_L$  ýüklenmesi bar, onda ýüklenme togy  $\phi = 90^\circ$  faza burçuna ozýar, şeýle etmek bilen iki wektorlar göni burçy emele getirýär. Omiki garşylygy we induktiwligi yzygiderli ýagdaýda birikdirmek ozal seredilip geçilen RC elementdäki ýaly RL elementi emele getirýär, doly garşylyk aktiw we reaktiw component bilen emele getirilýär. Şu ýagdaýda ýüklenme togy faza  $\phi$  burçuna ozýar, ol ol ýygylýga, garşylyga we induktiwlige baglylykda  $0^\circ$  we  $90^\circ$  aralykda ýatýar. Bu ýerde  $U$  ýüklenmesiniň wektory  $U_R$  (tok bilen fazada) we  $U_L$  (tokdan  $90^\circ$  yza galýan) bölekleyin ýüklenmeleri wektor goşmak arkaly emele getirilýär.



Şu aşakdaky diagramma RL elementiň garşylyklarynyň üçburçlugyny görkezýär.



Z impedansy göni burçy bolan garşylyklaryň üçburçlygy boýunça hasaplamak aňsat, ol netijede şu aşakdaky gatnaşygy berýär:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}.$$

$X_L$  ozal çykarylan gatnaşyk bilen çalşyp, şu aşakdaky formulany alarys:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}.$$

$\varphi$  faza burçuny hem garşylyklaryň üçburçlugyndan kesgitlemek mümkin:

$$\tan \varphi = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega \cdot L}{R} \Rightarrow \varphi = \arctan\left(\frac{\omega \cdot L}{R}\right).$$

$\omega$  ýa-da  $f$ ,  $R$  we  $\varphi$  ululyklary belli bolsa, onda bu deňlemäni onuň  $L$  babatda çözmek bilen induktiwligi kesgitlemek üçin ulanmak mümkin:

$$L = \frac{R \cdot \tan \varphi}{2\pi \cdot f}.$$

Alternatiwa hökmünde tegekdäki  $U_L$  ýüklenme we  $U$  iýmitlendirişiniň ýüklenme bilen arasynda faza süýşmesi ölçenilip bilner. Onda induktiwlik şu aşakdaky formalu boýunça çykarylýar:

$$L = \frac{R}{2\pi \cdot f \cdot \tan \varphi}.$$