

3. ELEKTRILISED KONTAKTID

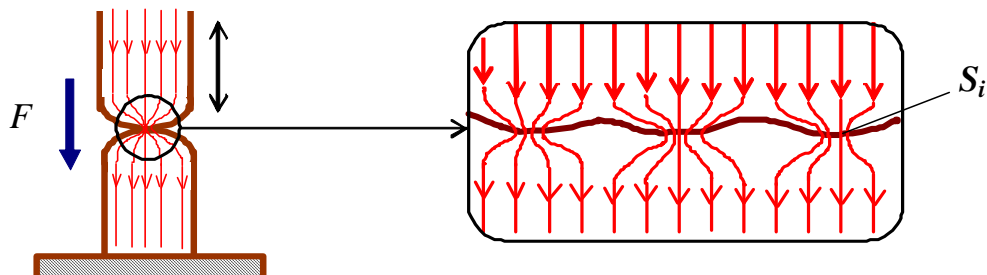
3.1. ELEKTRILISE KONTAKTI MÕISTE JA KLASSIFIKATSIOON

Elektriaparaadid koosnevad mitmetest voolujuhtidest, mis on omavahel elektriliselt ühendatud.

Elektriliseks kontaktiks nimetataksegi vähemalt kahe voolujuhi ühendust, mis võimaldab nendevahelist voolu üleminekut.

Detaile, mille kaudu toimub elektriline kontakt, nimetatakse *kontakt-detailideks* või lihtsalt *kontaktideks*.

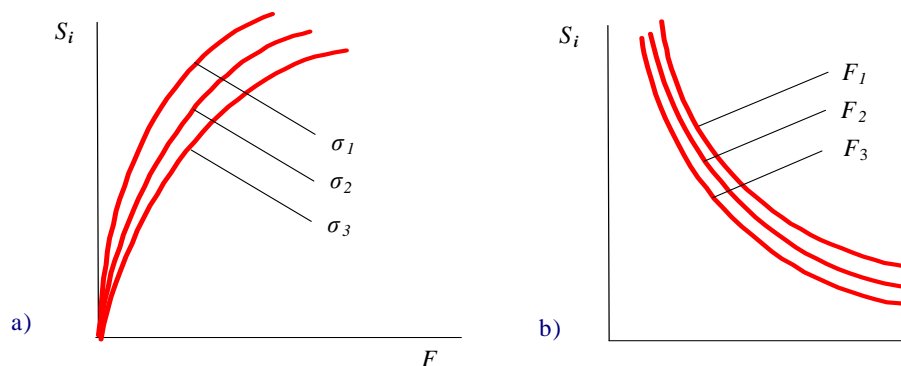
Ideaalse kontakti saamiseks peaksid kontaktpinnad olema absoluutselt siledad. Tegelikult on sellise sileduse saavutamine võimatu ja seetõttu kujutab kontaktüleminek endast tervet hulka elementaarkontakte (joonis 3.1).



Joonis 3.1. Kontaktülemineakupind

Elementaarkontaktpinna suurus S_i on võrdeline kontaktide survejõuga F ja pöördvõrdeline kontaktmaterjali survetugevusega σ (joonis 3.2)

$$S_i = \frac{F}{\sigma}.$$

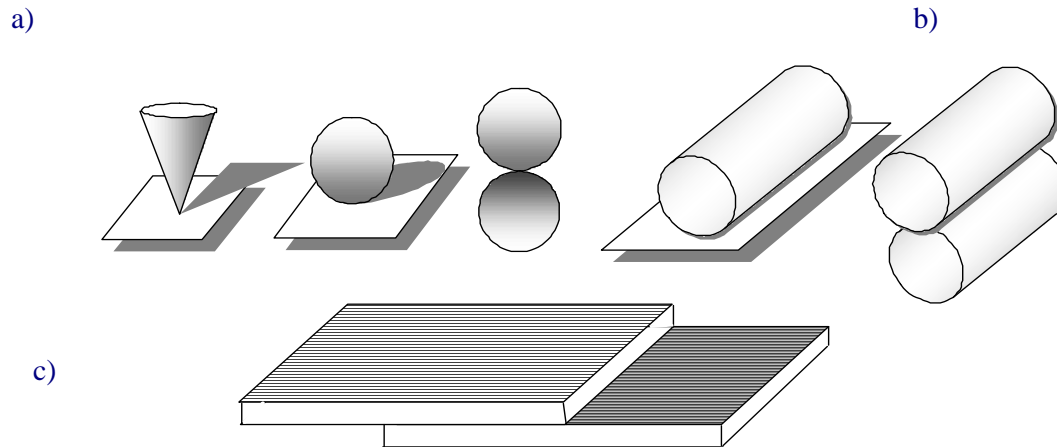


Joonis 3.2. Elementaarkontaktpinna suuruse S_i sõltuvus kontaktide survejõust F (a) ja kontaktmaterjali survetugevusest σ (b)

Kogu kontaktpind S_k kujuneb üksikute elementaarkontaktpindade summana

$$S_k = \sum_{i=1}^m S_i. \quad (3.1)$$

Kontaktpindade kuju järgi jagunevad kontaktid *punkt-, joon- ja pindkontaktideks* (joonis 3.3).



Joonis 3.3. Kontaktpindade kujud
 a) punktkontakt, b) joonkontakt, c) pindkontakt

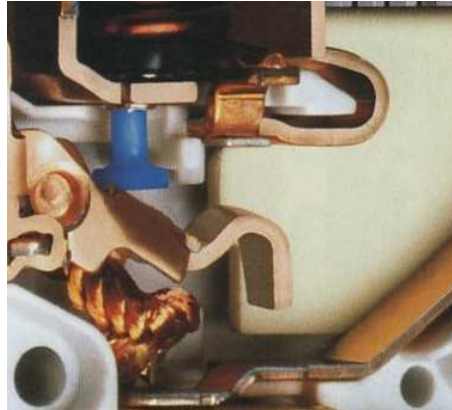
Sõltuvalt kontaktsade omavahelisest liikumisest jagunevad elektrilised kontaktid **kolme suurde gruppi**.

1. **Lahtivõetavad kontaktid**, mis töö käigus omavahel ei nihku, vaid jäävad kindlalt fikseerituiks (näiteks polt- ja klemmühendused).



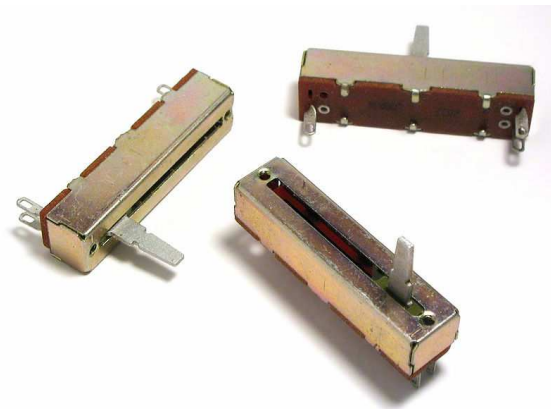
Joonis 3.4. Poltühendus

2. **Kommutatsioonikontaktid**, millega toimub vooluahelate kommuteerimine (näiteks kontaktorite, lülitite, releede jms. kontaktid).



**Joonis 3.5. Kaitselüliti
kommutatsioonikontaktid**

3. **Liugkontaktid**, milles üks kontaktidetail libiseb teise suhtes, kusjuures elektriline kontakt säilib (näiteks reostaatide kontaktid, elektrimasinate kommutaatorite harikontaktid).



**Joonis 3.6. Reostaatide
liugkontaktid**

3.2. KONTAKTÜLEMINEKUTAKISTUS

Voolu üleminekul ühest kontaktidetailist teise leiab aset suhteliselt suur elektriline takistus, mida nimetatakse *kontakti üleminekutakistuseks*. Selle põhjuseks on eespool joonisel 3.1 toodud kontaktülemineku tegeliku pinna erinevus ideaalüleminekupinnast, mille tõttu voolu läbilaskev pind on oluliselt väikem geomeetrisest pinnast.

Kontaktüleminekutakistuse võib arvutada valemiga

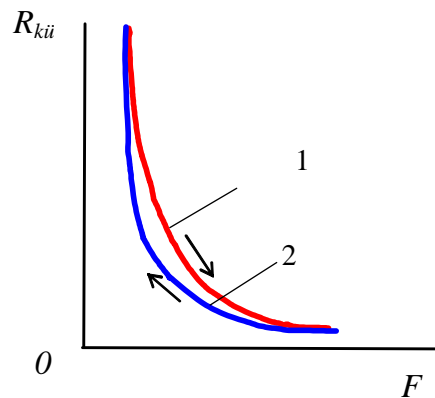
$$R_{kii} = \frac{\varepsilon}{F^n}, \quad (3.2)$$

- kus ε - kontakti materjali, kuju, töötlemisviisi ja seisukorda iseloomustav suurus,
 F - kontaktide survejõud,
 n - astmetegur, mis iseloomustab kontaktpunktide arvu.

Suuruse ε väärus sõltub suurel määral kontaktpindade seisukorrast, eriti oksüdeerumise astmest. Astmeteguri n mõningad väärtused: ühepunktiline kontakt $n = 0,5$, joonkontakt $n = 0,7 - 0,8$, pindkontakt $n = 1$.

Kontaktüleminekutakistust mõjutavad tegurid.

Kontaktsurvejõud mõjutab kontaktüleminekutakistust vastavalt valemile (3.2), mida illustreerib joonis 3.7.

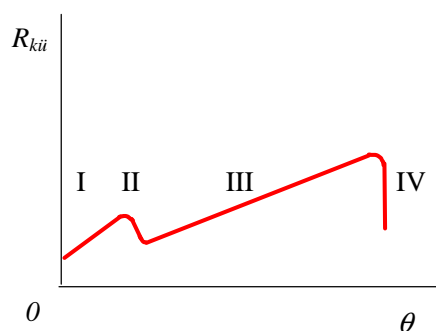


Joonis 3.7. Kontaktüleminekutakistuse sõltuvus kontaktsurvejõust
1- kontaktsurve kasvab, 2 – kontaktsurve väheneb

Tegelikud kontaktüleminekutakistused R_{kii} erinevad ühe ja sama kontaktpaari ning võrdse kontaktsurve F puhul iga sulgumise korral omavahel oluliselt, kusjuures väiksemate F puhul on erinevus suurem ja suuremate F puhul väiksem. See on tingitud kontakteerumisel tekkivate kontaktpinnakeste erinevast arvust ja pindalast.

Temperatuur θ mõjutab kontaktüleminekutakistust R_{kii} üldjoontes samuti nagu tavalise metalljuhi takistust.

$$R_{kii} = R_{kii.a} \lg (1 + \alpha\Theta). \tag{3.3}$$



Joonis 3.8. Kontaktüleminekutakistuse sõltuvus temperatuurist

Erinevus on aga selles, et temperatuuri tõustes muutub kontaktülemineku ebatasasuste ja elementaarkontaktipindade struktuur materjali survetugevuse vähenemise tõttu. Kõige selle tulemusena on kontaktüleminekutakistuse temperatuuritegur α väiksem kui puhtal metallil, vasel näiteks 2/3 puhta vase omast.

Temperatuuri tõustes kontaktüleminekutakistus algul kasvab (tsoon I joonisel 3.8). Seejärel teatud temperatuuril (vase ja hõbeda puhul 200–300 °C juures) toimub materjali mehaaniliste omaduste halvenemine. Seetõttu kontaktpind suureneb ja kontaktüleminekutakistus väheneb järsult (tsoon II).

Temperatuuri jätkuval kasvul, näiteks lühise korral, kontaktüleminekutakistus jätkuvalt kasvab (tsoon III) kuni materjali sulamistemperatuurini, mil kontaktid kokku keevituvad (tsoon IV). Hõbekontaktide puhul on täheldatud kontaktüleminekutakistuse vähenemist pikaajalisel kuumenemisel tsoonis I

Kontaktülemineku **ületemperatuuri** võib ligikaudu arvutada valemiga

$$\tau_{kii} = \frac{U_{kii}^2}{8\lambda\rho}, \quad (3.5)$$

kus U_{kii} – pingelang kontaktüleminekul,
 λ – kontaktmaterjali soojusjuhtivus,
 ρ – kontaktmaterjali eritakistus.

Kontaktpinna seisukord mõjutab olulisel määral kontaktüleminekutakistuse väärtust.

Kontaktpindade mehaaniline töötlemine peenlihvimisega vähendab R_{kii} väärtust vähem võrreldes jämetöötlemisega.

Kontaktpindade oksüdeerumine võib mõnede kontaktmaterjalide puhul oluliselt tõsta kontaktüleminekutakistust.

Näiteks lahtiste **vaskkontaktide oksüdeerumise** tagajärjel võib nende üleminekutakistus aja jooksul kasvada tuhandeid kordi. Ka suletud kontaktidel tekivad pikaajalise vooluläbimise tagajärjel halva elektrijuhtivusega kiled, mis võivad kontaktid rivist välja viia. Kontaktsurve tõstmine aga takistab oksüüdkiude teket kontaktpindadele ja pikendab seetõttu oluliselt nende eluiga.

Hõbeoksiidide elektrijuhtivus on väga lähedane puhta hõbeda elektrijuhtivusele. Temperatuuri tõustes hõbeoksiidid lagunevad. Eeltoodu tõttu hõbekontaktide üleminekutakistus aja jooksul praktiliselt ei muutu.

Lahtivõetavate kontaktühenduste tööpinnad kaetakse korrosioonivastaste katetega – hõbeda, kaadmiumi, nikli või tsingiga. Kasutatakse ka pindade katmist neutraalsete määrettega. Pärast kontaktühenduse montaaži kõik ülemineked hermetiseeritakse.

Pideva voolu all töötavad kommutatsioonikontaktid valmistatakse hõbedast või hõbeda baasil valmistatud metallokeeramikast.

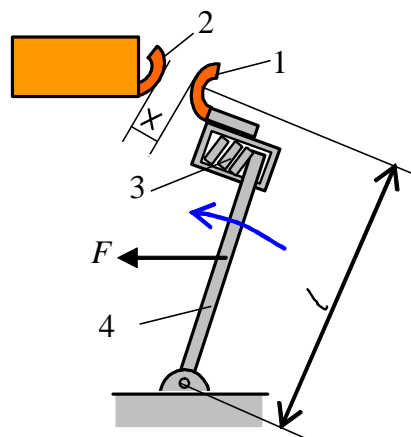
Samasuguses talituses töötavaid vaskkontakte soovitatakse pärast 8 – 12 tundi tööd voolu all 2 – 3 korda välja ja sisse lülitada. Kontaktide lahutamisel tekkiv elektrikaar põletab vaskkõksüüdi kontaktpindadelt maha ja R_{ki} väheneb oluliselt.

Mõnedes tugevooluparaatides (kaitselülitid, kontaktorid) kasutatakse vajaduse korral sellist kinemaatilist skeemi, mis tagab kontaktide sulgumisel nende omavahelise libisemise. Seejuures tekkiv hõõrdumine kõrvaldab tekkinud oksüüdikile.

3.3. KONTAKTIDE TALITLUSOLUD

Kontaktide sulgumine.

Elektriaparaadi sisselülitamisel võivad ta kontaktisüsteemides aset leida kontaktide *vibratsioon* ja *erosioon* elektrilahengu tekkest kontaktide vahel.



Joonis 3.9. Kontaktori kontaktisüsteem

1 – liikuv kontakt, 2 – liikumatu kontakt, 3 – kontakti survevedru, 4 – hoob, F – elektromagneti tõmbejõud, x - kontaktivahemik

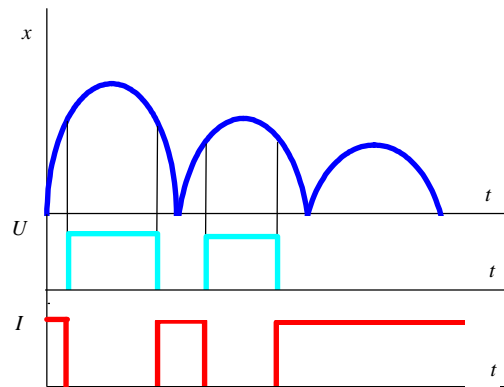
Vaatleme kontaktori kontaktisüsteemi (joonis 3.9). Liikuv kontakt 1 on kontaktvedru 3 kaudu seotud kangüsteemiga 4. Liikumatu kontakt 2 on kinnitatud jäigalt aluse külge.

Kontaktori sisselülitamisel rakendub kangile jõud F , põhjustades kontaktide vahekauguse x kiire vähenemise. Kontaktide kokkupuutehetkel toimub tugev mehaaniline löök. Selle tulemusena hüppab kontakt 1 elastse deformatsiooni tõttu kontaktist 2 eemale.

Nende vahele tekib vahemik, milles süttib elektrikaar. Kontaktvedru deformeerub ja temas salvestub potentsiaalne energia. Vahemik suureneb seni, kuni kontaktisüsteemi 1 kinetiline

energia muutub võrdseks kontaktvedrus 3 salvestunud potentsiaalse energiaga. Kontaktide vahekaugus saavutab oma suurima väärtuse, mis võib ulatuda 1 millimeetrit, ja hakkab jälle vähenema. Järgneb uus löök ja uus kontaktide lahtumine jne.

Protsess kordub mitu korda sumbuva amplituudiga. See ongi kontaktide **vibratsioon**.

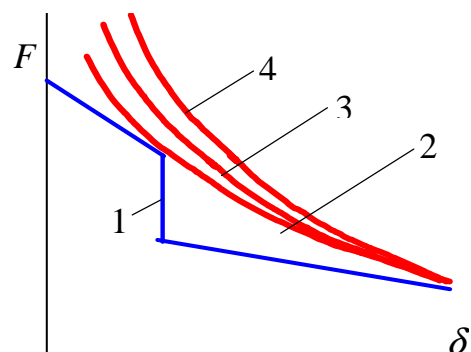


Joonis 3.10. Sulguvate kontaktide vibratsioon

Joonise 3.10 illustreerib sulguvate kontaktide vibratsiooni. Kontaktide lahtumisest on kontakte läbiv vool katkendlik. Igakordse kontaktide lahtumisega tekib nende vahel elektrikaar, mis põhjustab kontaktide kiiret kulumist.

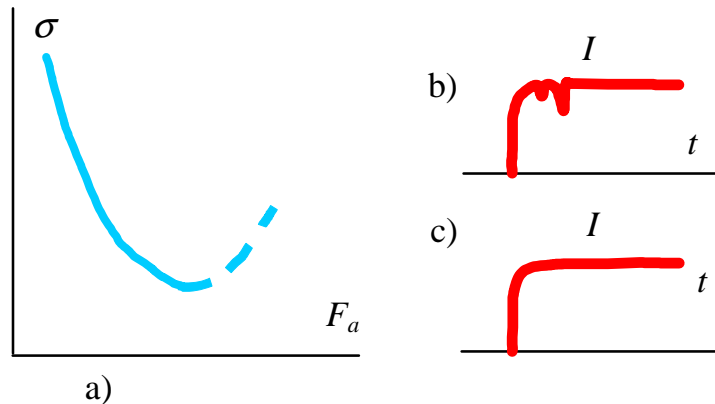
Kontaktide kulumisega väheneb nende omavaheline surve suletud asendis, see omakorda põhjustab kontaktüleminekutakistuse kasvu ja kontaktide liigset kuumenemist.

Kontaktide vibratsiooni vähendamiseks ei tohi kontaktori elektromagneti tõmbetunnusjoon paikneda liialt palju kõrgemal liikuvate osade mehaanilisest tunnusjoonest ega ka sellele liiga lähedal (joonis 3.11).



Joonis 3.11. Kontaktori tõmbe- ja mehaanilised tunnusjooned
 1 – mehaaniline tunnusjoon, 2, 3, 4 - tõmbetunnusjooned

Kontaktide vibratsiooni ja kulumist σ aitab vähendada ka kontaktvedru algsurvejõu F_a suurendamine ehk eelpingestamine (joonis 3.12).



Joonis 3.12. Kontaktide kulumise sõltuvus kontaktvedru algsurvest

Aparaadi **lülitamisel lühisele** suurendab kontaktide vibratsiooni vooluahela sulgumisel tekkinud kontaktide üksteisest eemale tõukav elektrodünaamiline jõud. Selle vältimiseks peab kontaktvedru eelpinge olema piisavalt suur, et vältida kontaktüleminekutakistuse liigset suurenemist. Väga suurte voolude ja elektrodünaamiliste jõudude korral on soovitatav kasutada elektrodünaamilise jõudude kompensatsiooni põhimõtet.

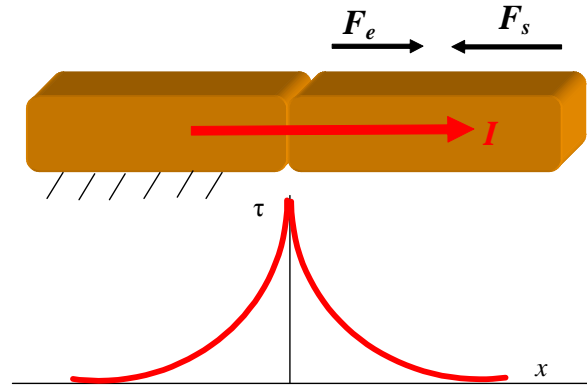
Töö suletud kontaktidega.

Sel puhul on vaja vahet teha kahe juhtumi vahel:

- a) normaaltalitus, mil kontakte läbib nimivool,
- b) avariitalitus, halvemal juhul lühis, mil kontakte läbib lühisvool.

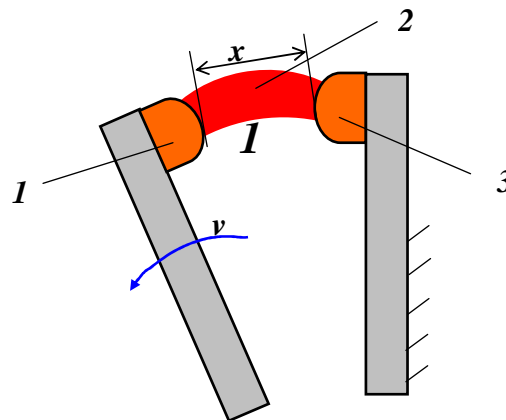
Normaaltalituse korral soojenevad kontaktid neid läbiva nimivoolu mõjul. Puhaste kontaktide ja töökorras sisselülitismehhanismi puhul ei ületa temperatuuri tõus lubatud väärtust.

Rikke- või avariitalitusest tingitud liigvooluga kaasneb kontaktide kiire kuumenemine. Kui vabastid ei lahuta kontakte õigeaegselt, keevituvad kontaktid kokku, aurustuvad ja aparaat muutub töökõlmatuks. Protsessi kiirendavad sel juhul liigvooludest tingitud suured elektrodünaamilised jõud, mis võivad saada saatuslikuks aparaadi konstruktsioonile.



Joonis 3.13. Suletud kontaktide kuumenemine

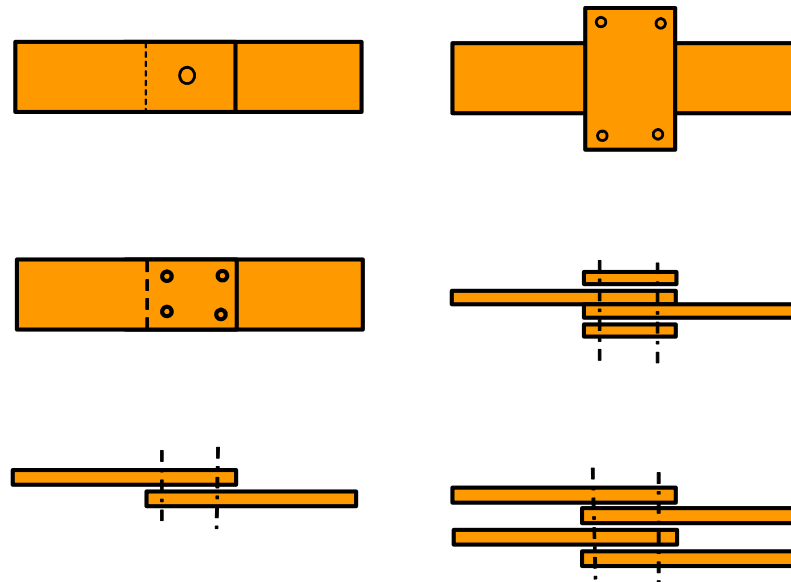
Kontaktide lahutumine on kommutatsiooniprotsessi raskeim faas, seda eriti rikke- või avariitalitluse korral. Suurtest vooludest tingitud kontaktide kuumenemisele ja tugevatele elektrodünaamilistele jõududele lisanduvad elektrikaar ja liigpinged. **Elektrikaar** kulutab kiiresti kontakte, seepärast varustatakse kaitselülitid elektrikaare kiireks katkestamiseks **kaarekustutus-seadmetega**.



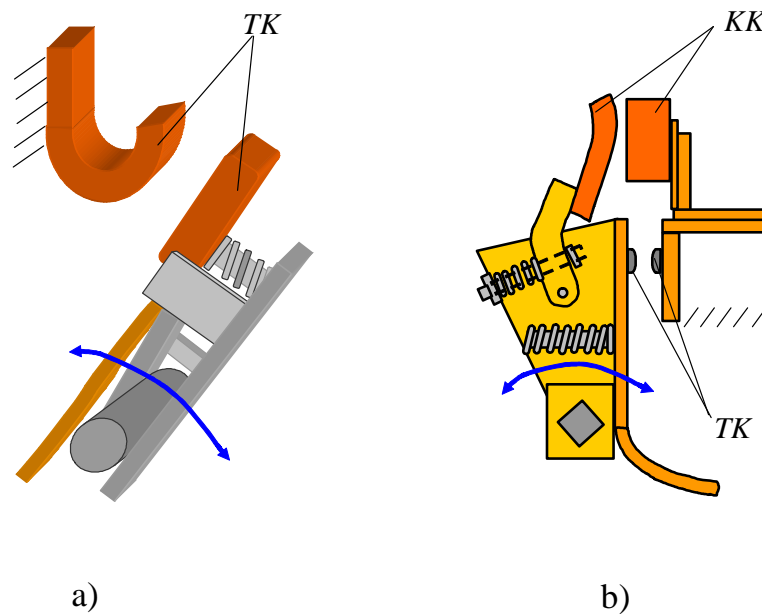
Joonis 3.14 Elektrikaar lahutuvate kontaktide vahel
1 – liikuv kontakt, 2 – elektrikaar, 3 – liikumatu kontakt

Liigpinged kontaktide vahel tekivad, kui vool katkestatakse **induktiivses** ahelas. See omakorda takistab elektrikaare kustutamist ja võib ohustada elektriaparaadi isolatsiooni. Kommutatsiooniprotsess **loetakse lõppenuks**, kui vool elektriahelas on täielikult katkenud, pinge siirdeprotsess lõppenud ja lüliti kontaktide vahe saavutanud suurima püsipiirväärtuse.

3.4. KONTAKTÜHENDUSTE PÕHIKONSTRUKTSIOONID



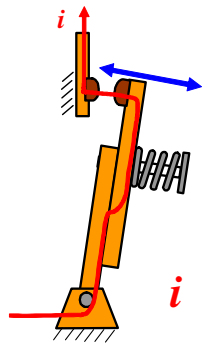
Joonis 3.15. Lahtivõetavad kontaktid



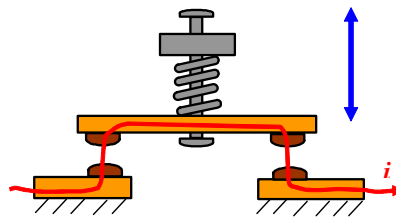
a)

b)

Joonis 3.16. Kommutatsioonikontaktid
 a – üheastmelised, b – kaheastmelised
 KK – kaarekustutuskontaktid, TK - töökontaktid

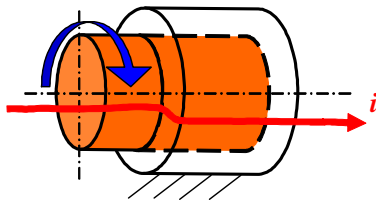


Kangmehhanism

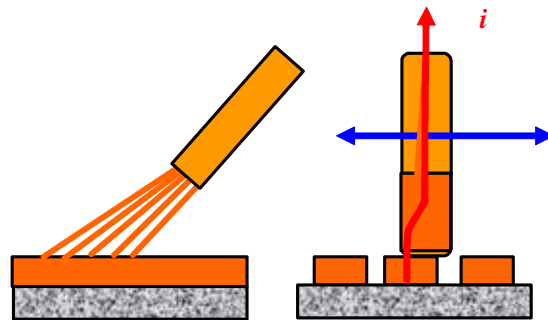


Sildmehhanism

Joonis 3.17. Kommutatsioonimehhanismide lahendusid

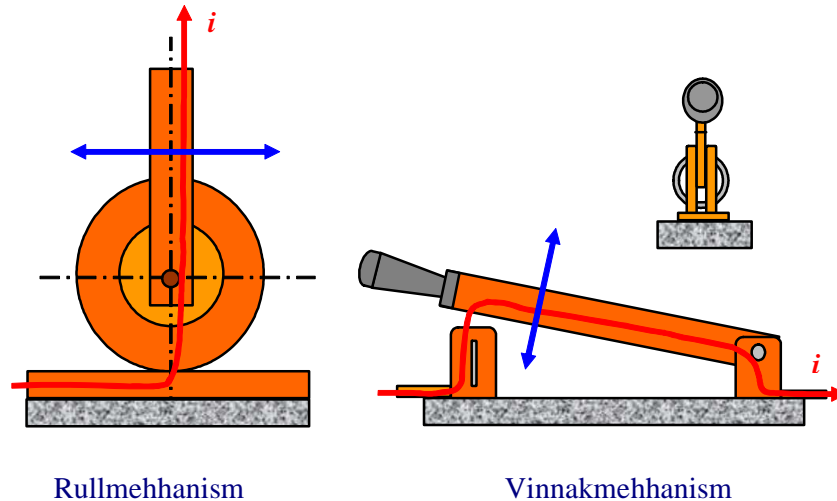


Rõngasmehhanism



Liugmehhanism

Joonis 3.17. järg. Kommutatsioonimehhanismide lahendusid



Joonis 3.17. järg. Kommutatsioonimehhanismide lahendusi

3.5. KONTAKTMATERJALID

Põhinõuded kontaktmaterjalidele

- ❑ hea elektri- ja soojusjuhtivus,
- ❑ oküdeerumiskindlus,
- ❑ kuumuskindlus,
- ❑ mehaaniline tugevus,
- ❑ hea mehaaniline töödeldavus,
- ❑ mõõdukas hind.

Vask

Kõige levinum kontaktmaterjal. Puudus: **oküdeerumine**, mille tagajärjel tekib materjali pinnale madala elektri juhtivusega kile. Kasutatakse nii lahtivõetavates kui ka kommutatsioonikontaktides.

Ei soovitata kasutada kommutatsioonikontaktides püsitalituse puhul!

Hõbe

Samuti väga hea kontaktmaterjal. Puudus: **väike kuumuskindlus** suurte voolude puhul. Oksüüd omab sama head elektri juhtivust nagu hõbe ise. Kasutatakse nii suurte kui ka väikeste voolude korral. Kuna hõbe on kallis, siis kasutatakse tihti kontaktide pindkatmist hõbedaga.

Alumiinium

Eelmistest halvemate omadustega: suhteliselt **madal elektri juhtivus ja mehaaniline tugevus**. Sarnaselt vasega oküdeerub kergesti. Kasutatakse eelkõige lahtivõetavates kontaktides. Hea kontaktülemineku saamiseks on soovitatav pinda kaitsta oküdeerumise eest. Kommutatsioonikontaktideks alumiinium ei kõlba!

Plaatina, kuld, molübdeen.

Kallid materjalid. Kasutatakse väikeste voolude ja madalate kontaktsurve puhul vastutusrikastes lahendustes.

Volfram ja volframi sulamid

Hea kuumus- ja kulumiskindlus. Kasutatakse kaarekustutuskontaktide ja suure lülitussagedusega kommutatsioonikontaktide valmistamiseks.

Metallokeraamika (pulbermetallurgia) - mehaaniline segu hea elektrijuhtivusega ning kõrge mehaanilise tugevuse ja kuumuskidlusega materjalist. Kasutatakse kaarekustutuskontaktide valmistamisel.