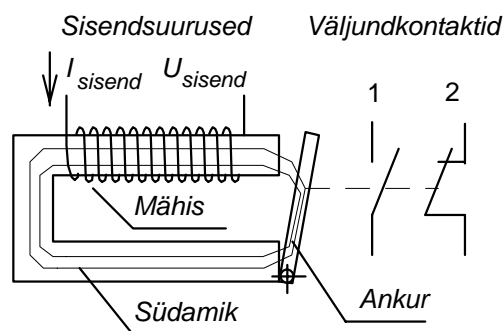


6 TÄTURID

6.1. Elektromagnetilised releetäiturid

Diskreetse toimega ehk releetajuriteks on mitmesugused releelemendid, mis pideva sisendsuuruse toimel muudavad hüppeliselt (diskreetselt) oma väljundit. Tavaliselt on väljundil kaks võimalikku olekut, s. o. olek "0" ja olek "1". Seepärast on tegemist ühebitiliste ehk binaarsete tajuritega. Releedega seostatakse neid seepärast, et tajuri väljundiks on enamikel juhtudel releedele omased elektrilised kontaktid, kuigi binaarse väljundiga on ka mitmed pooljuhtelemendid.

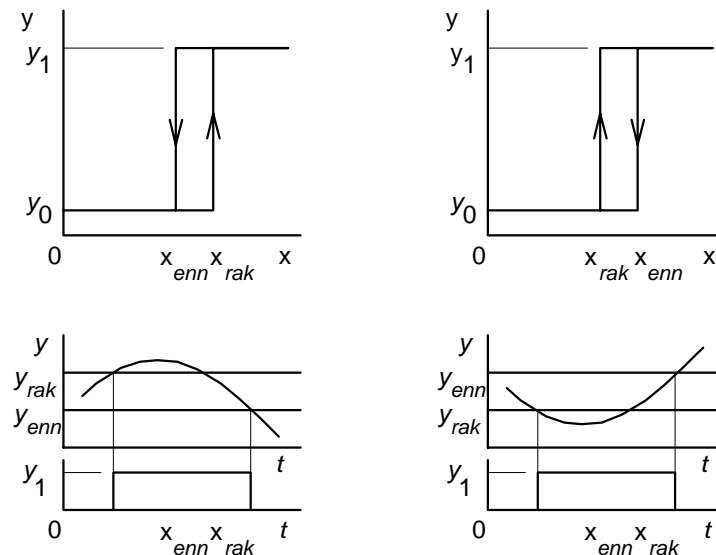
Elektromagnetiliseks releetajuriks nimetatakse mõõtetarveks ettenähtud elektromagnetit, mille rakendumisel lülitatakse ümber väljundahela kontaktid. Sõltuvalt sellest, kas kasutatakse sulguvaid või lahutuvaid kontakte, elektromagnetit rakendumisel kontaktid sulguvad või lahutuvad. Elektromagnetit ennistumisel on kontaktide töö vastupidine - sulguvad kontaktid lahutuvad ning lahutuvad kontaktid sulguvad (joonis 6.1). Sisendsuuruse väärtused elektromagnetit rakendumisel ja ennistumisel on erinevad, s. t. elektromagnetit tunnusjoonel on hüsterees (joonis 6.2). Sõltuvalt sellest kas releetajur on ettenähtud maksimaalse või minimaalse piirsuuruse ületamise tuvastamiseks, liigitatakse neid maksimaal- ja minimaalreleedeks. **Maksimaalreleede** korral $x_{rak} > x_{enn}$, **minimaalreleede** puhul aga vastupidi $x_{rak} < x_{enn}$. Suuruste x_{enn} ja x_{rak} suhet $k_{enn} = x_{enn} / x_{rak}$ nimetatakse rele **ennistusteguriks**. Seega on masimaalreleede ennistustegur $k_{enn} < 1$, minimaalreleede ennistustegur aga $k_{enn} > 1$. Anturite releetajurite korral on oluline, et ennistusteguri väärtus oleks võimalikult lähedane ühele, sest sel juhul on mõõtetäpsus suurim. Releetajurid, millel on laia hüstereesiga tunnusjooned, pole rakendatavad täpset reguleerimist nõudvates automaatikasüsteemides.



Joonis 6.1. Elektromagnetiline releetajur - elektromagnetrelee

Releetajuri toimekiirust iseloomustavad tema rakendumis- ja ennistumisaegad. **Rakendumisaega** mõõdetakse maksimaalreleede korral alates hetkest, mil sisendsuurus ületab rakendumisläve, kuni hetkeni mil väljundsuurus muudab hüppeliselt oma väärtust. Maksimaalreleede **ennistumisaega** mõõdetakse alates hetkest, mil sisendsuurus langeb alla ennistumisläve, kuni hetkeni, mil väljundsuurus muudab hüppeliselt oma väärtust. Releede toimekiirust iseloomustavad ajatunnusjooned. Kui sisendsuuruseks on mõõdetav vool,

nimetatakse neid **sekund-amper tunnusjoonteks**. Ajatunnusjoonte kuju järgi eristatakse sõltumatu ning sõltuva viivitusega rakenduvaid releesid. **Sõltumatu viivitusega** releede korral on rakendumisaeg määratud relee konstruktsiooniga ning ei sõltu sisendsuuruse väärtusest. **Sõltuva viivitusega** releede puhul on rakendumisaeg sisendsuuruse funktsioon (joonis 3.26).



Joonis 6.2. Minimaal- ja maksimaalreleede tunnusjooned

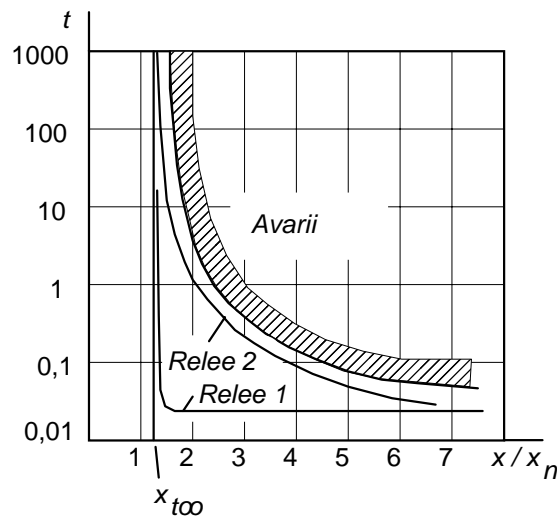
Sõltuva viivitusega releesid kasutatakse elektriabelate ning inimeste kaitseks. Relee nimisisendiks loetakse seejuures sisendi maksimaalset väärtust, mis sõltumata toimeajast pole inimestele ega elektriabelatele ohtlik ning järelikult ei tohi põhjustada relee rakendumist. Sisendsuuruse minimaalset väärtust, mille puhul relee rakendub, nimetatakse rakendumisläveks ja seda tähistatakse $x_{t\infty}$. Tavaliselt $x_{t\infty} = 1,1 \dots 1,2 x_n$. Kuna sisendsuuruse kahjulik toime elektriseadmetele sõltub, toime suurusest, nt. suurem vool põhjustab ahela kiirema liigkuumenemise, siis peab ahela kaitseks kasutatav relee andma avariiteate enne kui ahel pöördumatult kahjustub, s. t. enne kui tekib avarii. Teisalt pole alati otstarbekas ahela viivitamatu väljalülitamine iga lühiajalise sisendsuuruse liigtoime puhul, mis pole inimestele ega ahelale ohtlik (relee 1 joonisel 6.3). Seepärast on kaitse seisukohalt optimaalne kasutada releesid, mille ajatunnusjoonete kuju on lähedane kaitstava objekti ajatunnusjoonte kujule, kuid mis kõigis olukordades rakenduvad enne, kui sisendsuurus jõuab objekti pöördumatult kahjustada. Selle tingimuse täitmisel asuvad kaitse ajatunnusjooned allpool kaitstava objekti vastavat tunnusjoont, kuid viimasele küllalt lähedal (vt. relee 2 joonisel 6.3).

Elektromagnetreele ennistusteguri saab arvutada rakendumisele ja ennistumisele vastavate jõudude kaudu.

$$F_a - F_b = \Delta F, \quad (6.1.)$$

kus $F_a = k_1 I_{rak}^2$ ja $F_b = k_1 I_{enn}^2$, millest

$$k_{enn} = \frac{I_{enn}}{I_{rak}} = \sqrt{\frac{F_b}{F_a}} = \sqrt{1 - \frac{\Delta F}{F_a}} \quad (6.2)$$



Joonis 6.3. Kaitstava objekti ja releede ajatunnusjooned

Mõõtereleede seisukohalt peab ennistustegur olema võimalikult lähedal ühele, seega tuleb rakendada meetmeid vähendamaks tõmbejõu erinevust relee rakendumisel ja ennistumisel.

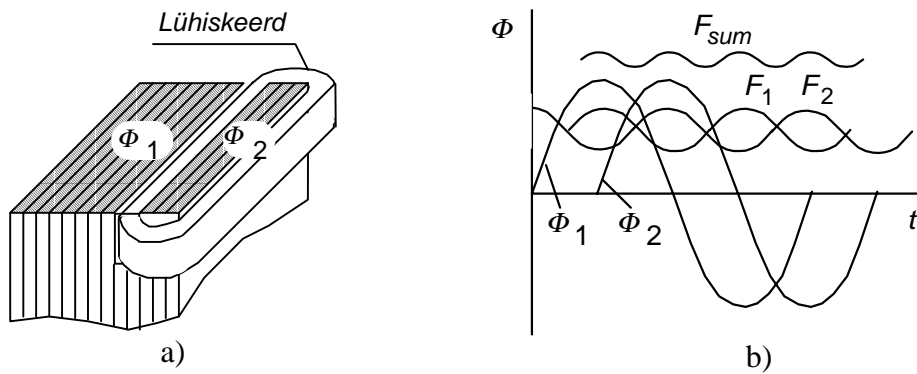
Nendeks meetmeteks võivad olla:

- õhupilu tööpiirkonna vähendamine,
- ennistusvedru jäikuse suurendamine,
- relee ankru erikonstruktsioonide, nt. pöördankru kasutamine,
- relee tundlikkuse suurendamine diferentsiaallülituse rakendamisega.

Vahelduvvoolu elektromagnetite korral on suureks probleemiks tõmbejõu pulsatsiooni vähendamine, sest erimeetmeid rakendamata on tõmbejõu hetväärtus

$$F = F_{max} \sin^2 \omega t. \quad (6.4)$$

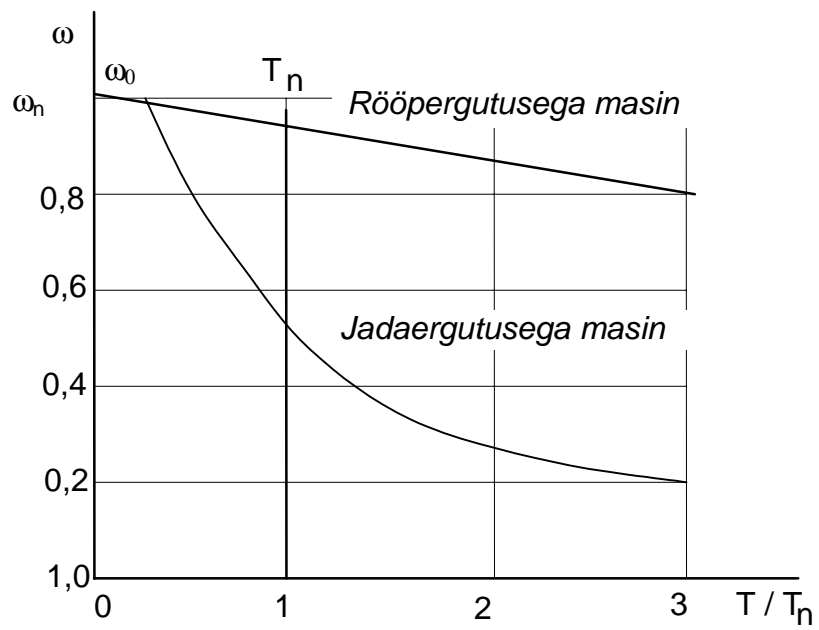
Tõmbejõu pulsatsiooni vähendamise laialt levinud vahendiks on lühiskeeru kasutamine südamikul (joonis 6.4). Lühiskeerd jagab südamiku magnetvoo kahte ossa. Osa magnetvoogu kulgeb otse, teine osa läbib lühiskeeru. Magnetvoog indutseerib lühiskeerus elektromotoorjõu, mis tekitab lühiskeerus voolu. Lühiskeeru vool põhjustab omakorda sekundaarse magnetvoo tekke, mis toimib primaarvoo suhtes lahtimagneetivalt. Kahe voo koosmõju tulemusena tekib lühiskeerdu läbiva magnetvoo ajaline hilistumine võrreldes magnetvoo osaga, mis lühiskeerdu ei läbi. Kaks ajaliselt nihutatud magnetvoogu tekitavad summaarse tõmbejõu, mille pulsatsioon on väiksem kui ühe magnetvoo poolt tekitatud tõmbejõu pulsatsioon.



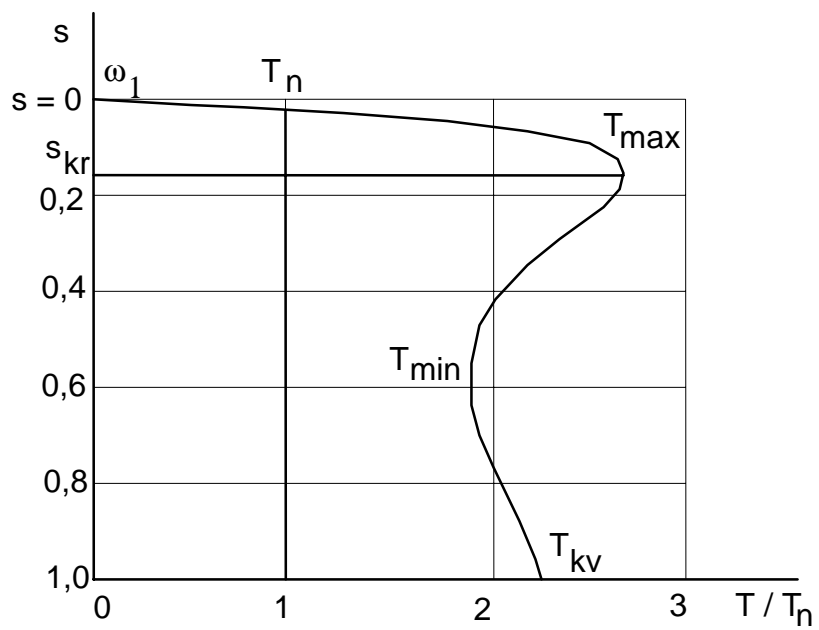
Joonis 6.4. Lühiskeeru kasutamine elektromagneti tõmbejõu pulsatsiooni vähendamiseks
a) lühiskeeru paigutus südamikul; b) magnetvoo ja jõu pulsatsioon

6.2. Elektrimootorid ja -ajamid

Mehaanilise liikumisega seotud automaatikasüsteemides on põhilisteks täituriteks mitmesugused elektrimootorid ja -ajamid. Elektrimootoreid jaotatakse traditsiooniliselt alalis- ja vahelduvvoolumootoriteks. Alalisvoolumootoreid jaotatakse omakorda sõltuvalt ergutusviisist püsi- ja elektromagnetergutusega masinateks. Elektromagnetergutuse korral võib ergutusmähist lülitada ankrumähisega kas rööbiti või jadamisi. Vastavalt sellele nimetatakse alalisvoolumasinaid kas rööpergutusega või jadaergutusega masinateks. Vahelduvvoolumasinaid jaotatakse traditsiooniliselt asünkroon- ja sünkroonmasinateks. Sünkroonmasinate pöörlemiskiirus on täpselt määratud võrgupinge sagedusega, s. t. mootori rootor pöörleb sünkroonselt võrgupinge sagedusega. Asünkroonmasinate puhul sõltub mootori kiirus nii toitepinge sagedusest kui ka mootori omadustest ning võllile rakendatud koormusmomendist. Pöörlemiskiirus erineb alati võrgupingega määratud staatori elektromagnetvälja pöörlemiskiirusest. Kõikide mootorite puhul on kasutaja seisukohalt olulised nende mehaanilised tunnusjooned, s. o. kiiruse sõltuvus koormusmomendist. Püsimagnetergutusega või rööpergutusega alalisvoolumasinate puhul on mootori mehaaniline tunnusjoon sirge. (joonis 6.5). Asünkroonmootori mehaaniline tunnusjoon on keeruka kujuga (joonis 6.6). Enamik asünkroonmootoreid tootvaid firmasid annab kataloogides mootori momendi suuruse nimimomendi suhtes kolmes punktis, s. o. maksimaalse momendi T_{max}/T_n , minimaalse momendi T_{min}/T_n ning nullkiirusel arendatava käivitusmomendi T_{kv}/T_n . Lisaks sellele on karakteristikul nimilibistusel s_n arendatav nimimoment T_n ja sünkroonkiirus ω_I , kus moment võrdub nulliga ($T = 0$).



Joonis 6.5. Alalisvoolumootorite mehaanilised tunnusjooned



Joonis 6.6. Lühisrootoriga asünkroonmootori mehaaniline karakteristik

Sagedusmuunduritega ajamid

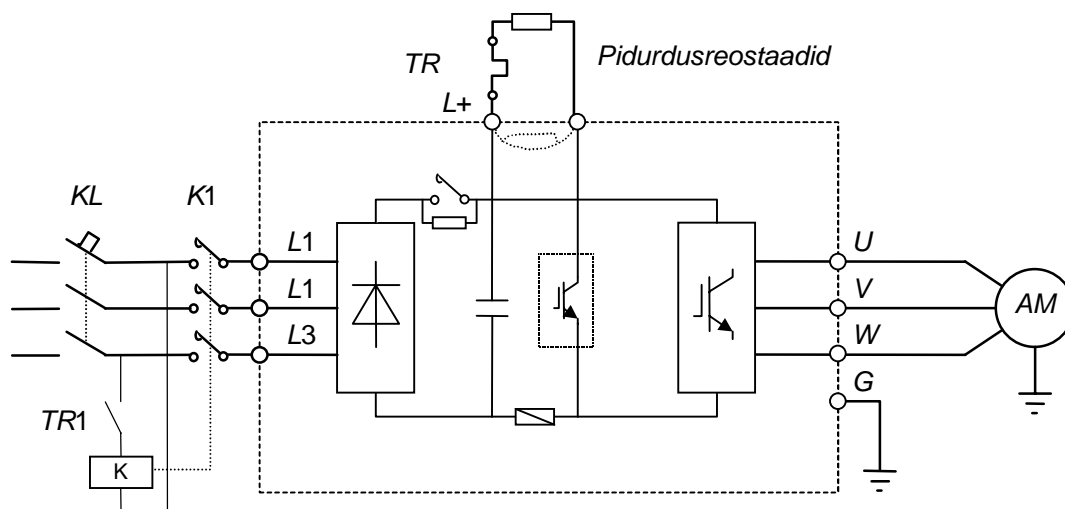
Põhilisteks tööstuslikeks ajamiteks on tänapäeval sagedusmuunduritega juhitud ajamid. Sagedusmuundur on kujunenud ajami universaalseks juhtseadmeks, mille tarkvara võimaldab realiseerida enamikku tööstusajamitelt nõutavatest funktsioonidest.

Sagedusmuunduri sätteparameetrid jaotatakse tavaliselt mitmesse rühma. Enamasti võib sõltuvalt parameetrite muutmise sagedusest eristada kolme rühma (nt. A, B ja C rühma) parameetreid:

- sagedasti sätitavad parameetrid
- harva sätitavad parameetrid
- tootja poolt sätitavad parameetrid.

Neist esimese kahe rühma parameetreid saab sättida muunduri kasutaja. Kolmanda rühma parameetrid võivad olla küll kasutajale tarkvaraliselt ligipääsetavad, kui vajalik informatsioon nende sättimiseks kasutajal tavaliselt puudub. Seepärast võib nimetatud parameetrite sättimine muuta muunduri kasutuskõlbmatuks või tingida vajaduse muunduri häälestamiseks tehase oludes. Alljärgnevalt on kirjeldatud ainult kasutaja poolt sätitavaid parameetreid.

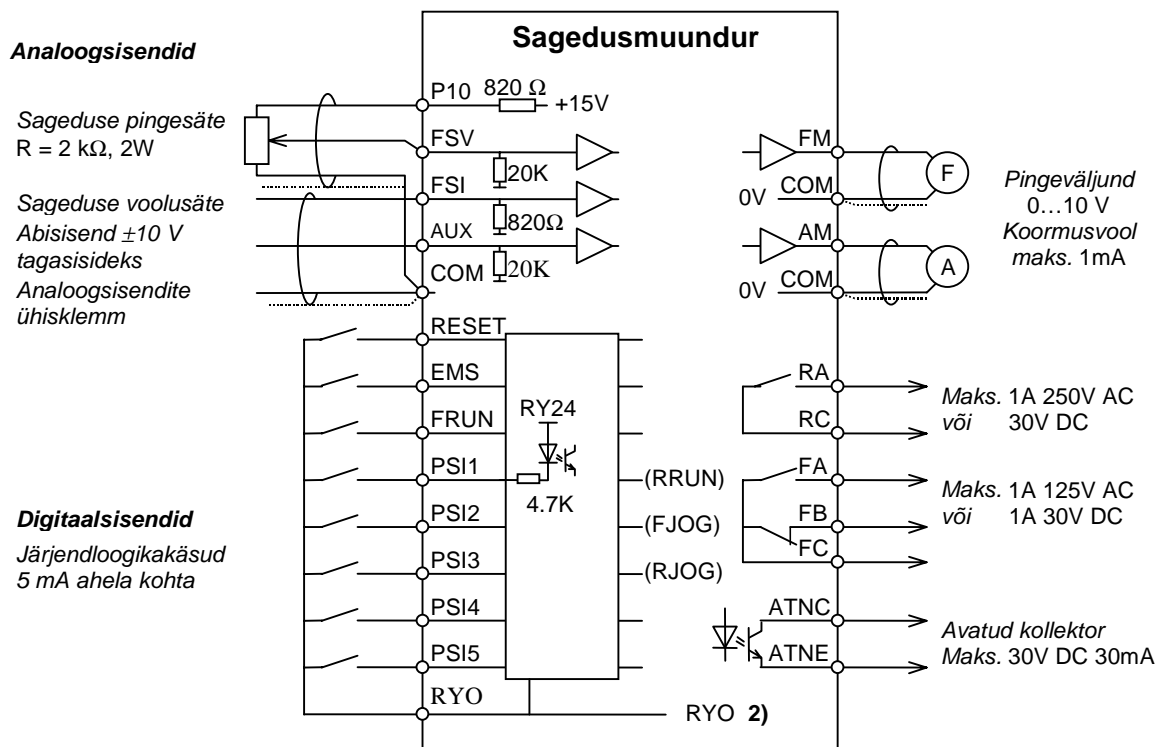
Sagedusmuunduri parameetrid sätitakse digitaalselt. Sagedamini muudetavate (A-rühma) parameetrite hulka kuuluvad, sagedussäte (*frequency setting*), roomamissageduse (*frequency setting for jogging*), kiirendus- ja aeglustusrambi kestuse (*acceleration/deceleration time*), mootori momendikompensatsiooni (*torque boost*), dünaamilise pidurduse (*DC brake setting*) ja vahel ka sisendsignaali otstarve. Sätteparameetrite olemuse paremaks mõistmiseks on joonistel 6.7 ja 6.8 näidatud muunduri jõu- ja juhtahelate välised ühendused.



Joonis 6.7. Muunduri jõuahelate põhimõtteskeem

Sagedussäte A00-0* antakse juhtpuldilt kohtlaltluses. Juhtpuldilt sisestatav sagedussäte mõjutab vahetult ajami tööd. Sageduse valik toimub enamasti inkrement ja dekrement klahvidega \blacktriangle ja \blacktriangledown . Sagedussätet saab ette anda ka muunduriga ühendatud potentsiomeetrilt, alalispinge või -vooluallikast (joonis 6.8) ning kaugjuhtimismuuduses (*remote operation mode*) juhtraali vahendusel.

‘) Siin ja edaspidi on näitena kasutatud firma *General Electric (GE)* sagedusmuundurite sätteid. Sarnaseid, kuid teistsuguste tähistega sätteid kasutatakse enamasti ka muu päritolu sagedusmuundurite puhul.



Joonis 6.8. Muunduri välise juhtimisahelate ühendusskeem

Sageduse digitaalsätteid sisaldavad tavaliselt ka **jäme- ja peensätet**. Jämesätte korral toimub sageduse valik nt. 1 Hz sammuga, peensätte puhul aga 0,01 Hz sammuga.

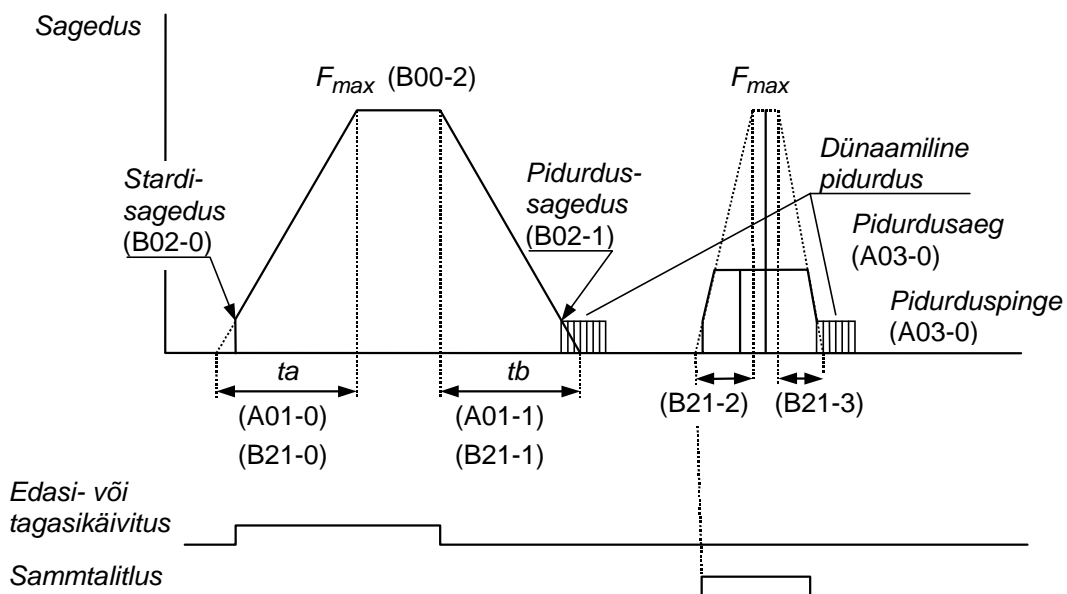
Sammtaliluse ehk roomamissageduse säte (A00-1) valitakse (programmeeritakse) mootori seisu ajal enne käivitust. Roomamissagedus on ette nähtud mootori aeglase kiirusega lühiajaliseks tööks, nt selleks, et positsioonida töomasinat. Käivitus edasi- või tagasisuuna roomamiskiirusele toimub käskudega F. JOG või R. JOG ning kiirendus ja aeglustusrambi kestused sätitakse vastavate parameetritega (B21-2 ja B21-3) (joonis 6.9).

Kiirendus- ja aeglustusrampide kestused töökiirusele käivitamisel ja pidurdamisel (A01-0...A01-1) on sätestatavad laias vahemikus (0,1...6000 s). Mõnikord, nt. programmi liikumise puhul, on sätteid dubleeritud (B21-0 ja B21-1) ja eri sätteid valitakse

järjendloogikakäskudega. Samal joonisel 6.9 on näha ka **käivitus- ja pidurdustalitluse sätted**. Käivituse alghetkel rakendatavat sageduse väärtust nimetatakse *stardi- ehk käivitussageduseks* (B02-0). *Pidurdussageduseks* (B02-1) loetakse sagedust, millest allpool rakendatakse mootori dünaamilist pidurdust. Pidurduseks kasutatava alalispinge (A03-0) vaikeväärtus sõltub muunduri võimsusest ja on sätitav vahemikus 0,1...20 % (vaikeväärtus 5 %), kusjuures suurema võimsuse puhul valitakse väiksem pinge. Dünaamilise pidurduse kestus määratakse parameetriga A03-1 vahemikus 0...20 s (vaikeväärtus 2 s).

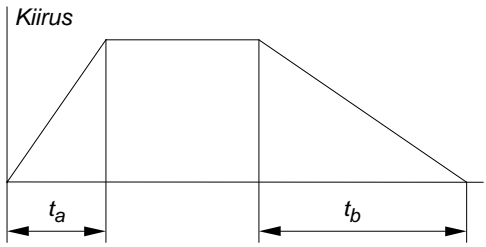
Mootori momendikompensatsiooniks kasutatakse pinge-sagedussõltuvuse $U = f(f)$ sätteid (joonis 6.10). Enne parameetrite sättimist tuleb määratleda mootori koormuse iseloom: nt. 1) koormusmoment ei sõltu kiirusest ($T = \text{const.}$), 2) koormusmoment muutub võrdeliselt kiiruse ruuduga (ventilaatorid, pumbad). Märkigem, et mittelineaarne pinge-sagedussõltuvus (A02-1) valitakse mootori pöörlemiskiiruse ruuduga võrdelise koormusmomendi (nn. ventilaatorikoormuse) puhul. Lineaarne pinge-sagedussõltuvus sobib konstantse või kiirusest sõltumatu koormusmomendi puhul. Mõlemal juhul tuleb väikestel sagedustel kompenseerida mootori pöördemomendi vähenemine toitepinge suurendamisega (A02-0). **Põhisageduse** $F_{põhi}$ vaikeväärtus on 50 Hz. Kui põhisagedus, mis määrab ära sageduse reguleerimispiirkonna, erineb vaikeväärtusest, sätestatakse see enne ajami töö algust (B00-3).

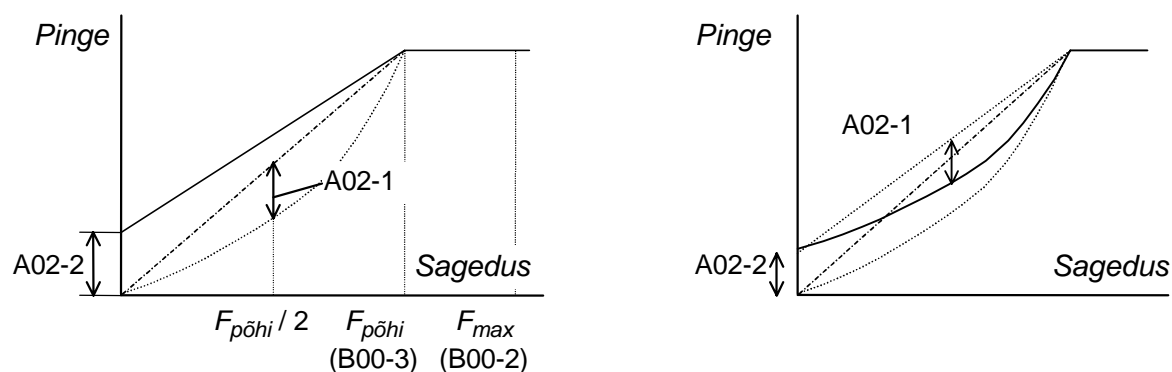
Kiirendus- ja aeglustusrampide sätitavad kestused peavad sobima ajami tegelike parameetritega. Seepärast arvutatakse nende väärtused tabeli 6.1 valemite järgi.



Joonis 6.9. Programmeeritavad kiirendus- ja aeglustusrampide kestused

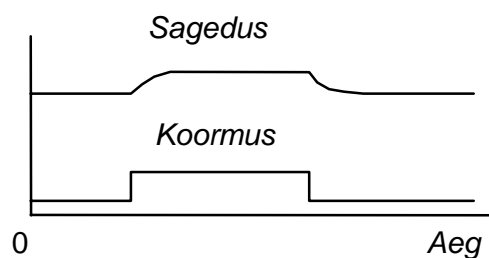
Tabel 6.1

 $t_a = \frac{J \cdot n}{9,56 \cdot (T_{MA} - T_L)};$ $t_b = \frac{J \cdot n}{9,56 \cdot (T_{MB} + T_L)}$	$T_{MA} = \frac{P}{0,1047 \cdot n};$ $T_{MB} = T_{MA} \frac{\text{dünaamiline pidurdusvõimsus}}{\text{mootori võimsus}} \cdot \frac{1}{0,8}$ <p>200 V süsteemi korral</p> $\text{Dünaamiline pidurdusvõimsus} = \frac{148,2}{\text{pidurdustakistus}} [\text{kW}]$ <p>400 V süsteemi korral</p> $\text{Dünaamiline pidurdusvõimsus} = \frac{593}{\text{pidurdustakistus}} [\text{kW}]$
--	--



Joonis 6.10. Mootori momendikompensatsiooni ping-sagedus-tunnusjoone sätted

Mootori libistuse kompensatsiooni kasutatakse selleks, et hoida mootori kiirus koormuse suurenemisel tema toitepinge sageduse suurendamisega konstantne (joonis 5.10). Sätte suurus võrdub mootori libistusega nimikoormusel ja on valitav vahemikus 0...5%. Ülekompenseerimise korral tekib oht, et mootori töö muutub mittestabiilseks.

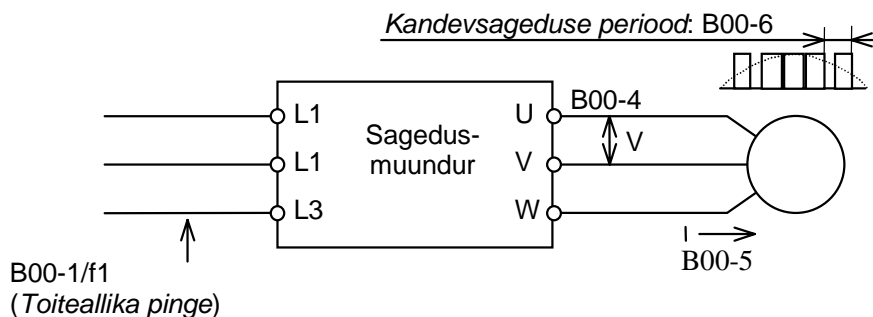


Joonis 6.11. Mootori libistuse kompenseerimine

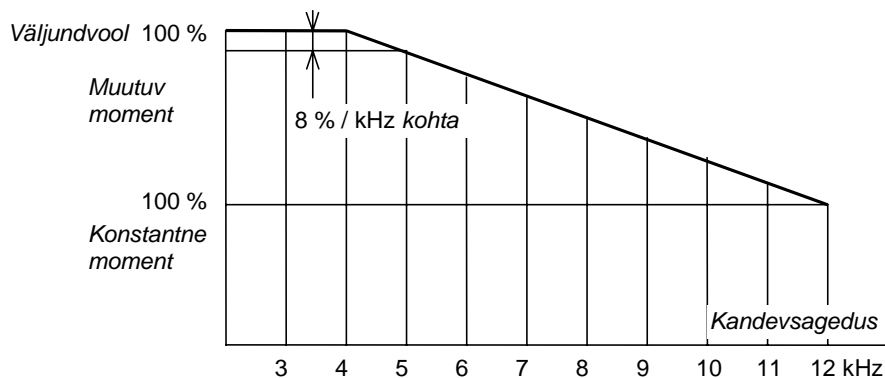
Mootori väljundpinge iseloom sõltub ka sellest kas muunduri alalispinge automaatreguleerimine toimib või ei toimi ($B00-4 = 0$), ja kas väljundpinge on põhisagedusel $F_{põhi}$ võrdne sisendpingega (joonis 5.11). Alalispinge automaatreguleerimine on vajalik sisendpinge fluktuatsioonidest põhjustatud väljundpingekõikumiste vähendamiseks, kuid teatud olukorras võib pinge stabiliseerimissüsteem põhjustada võnkumisi ja ajami mittestabiilsust. **Maksimaalsageduse** F_{max} parameetri ($B00-2$) sättimisel tuleb jälgida, et säte ei ületaks mootori või töomasina nimiaandmetes toodud väärtust.

Muunduri põhisagedus, väljundpinge ja mootori nimivool tuleb sättida vastavalt mootori nimiaandmetele. Väljundpingeks ei saa sätestada sisendi nimipingest suuremat väärtust. **Mootori nimivoolu** parameetriga ($B00-5$) ei saa sätestada muunduri nimivoolust suuremat või teiselt poolt üle 30 % muunduri nimivoolust väiksemat väärtust, s. t. $I_r > I_n > 0,3 I_r$ (I_r on muunduri nimivool).

Sagedusmuunduri poolt tekitatavat elektromagnetilist müra saab vähendada **kandevsageduse** sätte vähendamisega. Mõnikord vähendatakse kandevsagedust koormuse suurenemisel automaatselt, nt. kui kandevsageduses säte on üle 4 kHz, siis väheneb väljundvoolu säte automaatselt 8 %/kHz (joonis 5.12). Muutuva momendiga (*VT, variable torque*) koormusel, kui muunduri jahutusradiaatori temperatuur on üle 70 °C ja väljundvool on 90 % muunduri nimivoolust, siis lülitatakse kandevsagedus automaatselt ümber 4 kHz.



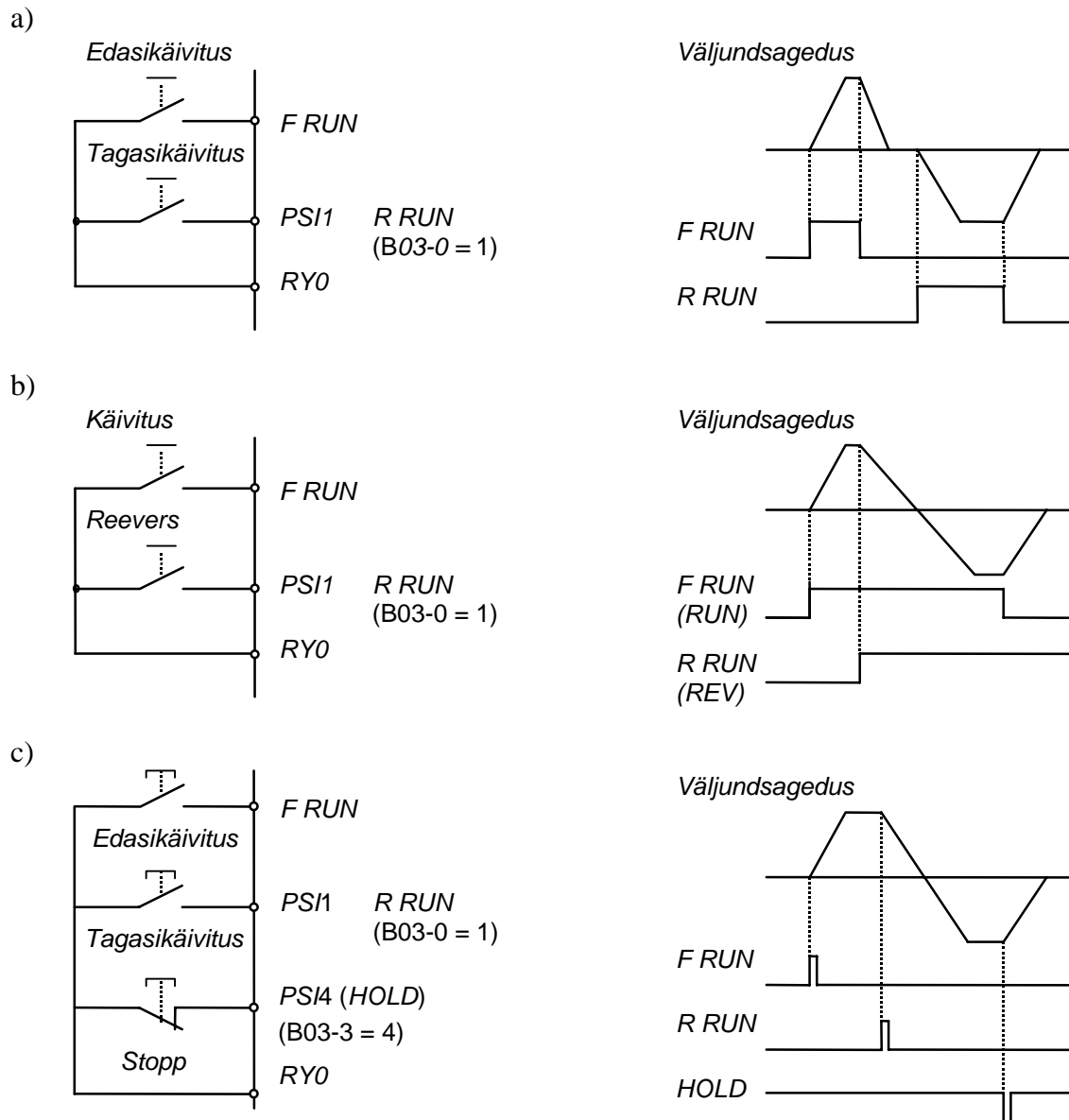
Joonis 6.12. Kandevsageduse ja väljundpinge sätted



Joonis 6.13. Suhteline väljundvool sõltuvalt kandevsagedusest

Käivitus- ehk juhtimismeetodi valikuga määratakse juhtimiseks kasutatavate juhtlülite tüüp ja otstarve. Juhtlülite parameetril (B01-0) on nt. kolm valikut, millele vastavad kolm joonisel 6.14 näidatud juhtimisülitust ja sageduse muutumise ajadiagrammi.

Ajami peatumine võib toimuda kas **vaba väljajooksu** või **aeglustusrambiga** (joonis 6.15). Aeglustusrambi puhul aeglustatakse mootori kiirust sageduse vähendamisega kuni pidurdussageduseni ja rakendatakse seejärel dünaamilist pidurdust.

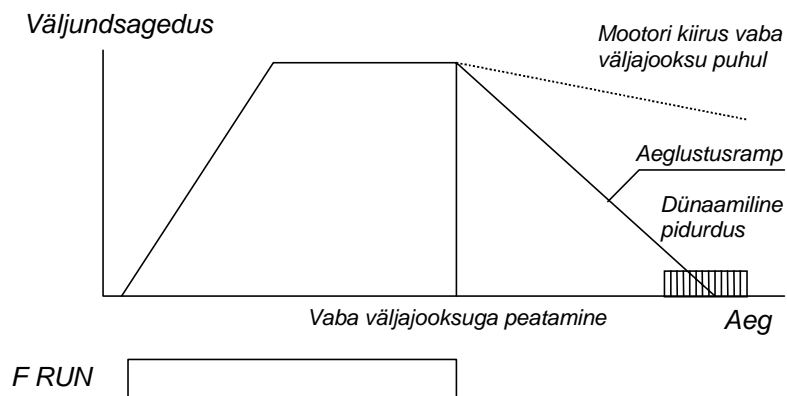


Joonis 6.15. Ajami juhtimismeetodid: a) edasi- ja tagasisuuna valik talitusajaks sulguvate kontaktidega, b) käivituse ja reeversivalik talitusajaks sulguvate kontaktidega, c) edasi- ja tagasisuuna ning peatumise valik nupplülite impulsskontaktidega

Käivitusmeetodi valikuga määratakse juhtimiseks kasutatavate juhtlülite tüüp ja otstarve. Juhtlülite parameetril (B01-0) on nt. kolm valikut, millele vastavad kolm joonisel 6.15

näidatud ajami käivitusmeetodit: a) edasi- ja tagasisuuna valik talitlusajaks sulguvate kontaktidega, b) käivituse ja reeversi valik talitlusajaks sulguvate kontaktidega ja c) edasi- ja tagasisuuna ning peatumise valik nupplülite impulsskontaktidega.

Ajami peatumine võib toimuda kas **vaba väljajooksu** või **aeglustusrambiga** (joonis 6.16). Aeglustusrambi puhul vähendatakse mootori kiirust sageduse vähendamisega kuni pidurdussageduseni ja rakendatakse seejärel dünaamilist pidurdust. Mootori taaskäivitamiseks pärast vaba väljajooksu tuleb jälgida, et mootor oleks peatunud. Kui käivitatakse pöörlevat mootorit ilma aktiivse lendstardi funktsioonita, võib muunduri kaitse rakenduda.



Joonis 6.16. Ajami peatumismeetodid