

## 5.4. Sagedusjuhtimisega ajamid

**Asünkroon- ja sünkroonmootori kiiruse reguleerimine** on tekitanud palju probleeme. Sobivate lahenduste otsingud on keetsid peaaegu terve sajandi. Vaatamata tuntud tõsiasi, et ainus mõistlik viis nii lühisrootoriga asünkroonmootori kui ka sünkroonmootori kiiruse sujuvaks reguleerimiseks on aga nende toitepinge sageduse reguleerimine, ei suudetud pikka aega leida lihtsat ja odavat viisi sageduse reguleerimiseks. Selle asemel kasutati kiiruse astmelist reguleerimist staatorimähiste ümberlülitamise ja masina poolusepaaride arvu muutmisega. Osaliselt rahaldas reguleerimisvajadusi kontaktrõngastega ja faasirootoriga asünkroonmootor, mille rootori libistus ja järelkult ka pöörlemiskiirus sõltusid ligikaudu pöördvõrdeliselt rootoriahela takistusest. Seega sai takistuse lisamisel rootoriahelasse muuta ka masina pöörlemiskiirust. Samas tekkisid kiiruse reguleerimisel suured kaod reostaadis.

Tänapäeval on vahelduvvoolumasinate kiiruse **sagedusreguleerimine** muutunud valdavaks reguleerimisviisiks ning sagedusmuundurid nende ajamite põhikomponendiks. Traditsiooniliselt oli sagedusmuundur ette nähtud vaid mootori toitepinge ja sageduse sujuvaks reguleerimiseks. Tänapäeva sagedusmuunduritel on palju enam funktsioone. Sisuliselt kujutab **sagedusmuundur koos mootoriga** endast **komplektelektriamit**. Ta sisaldab nii toitemuundurit, andureid kui ka juhtseadet ja võimaldab ohjata nii elektriajami kui ka sellega käitatava töömasina või tehnoloogiaprotsessi keerukat automaattalitlust. Muunduri võrguliidese abil saab ajamit rakendada keerukates hierarhilistes või hajusjuhtimisega automaatikasüsteemides. Muunduril on ka ajami talitlusjärelvalvet võimaldav kasutajaliides.

**Sagedusmuunduri** kasutuselevõtt elektriajamites oli päevakorral juba varsti pärast asünkroonmootori leiutamist. Eialgu kasutati sel otstarbel mitmesuguseid masinmuundureid, mis kujutasid endast reguleeritava kiirusega alalisvoolumootorist ja sünkroongeneraatorist koosnevat ühise võlliga agregaat. Reguleeritava kiirusega ajami toiteallikana oli selline muundur kallis ja majandusliku tasuvuse mõttes küsitava väärtusega. Pärast türistori leiutamist (1956) kerkis tõsiselt päevakorda staatiliste, s. t. pöörlevate masinateta, sagedusmuundurite loomise idee. Juba 60-ndate aastate algul ehitati esimesed türistor-sagedusmuundurid. Võib lisada, et veel samal aastakümnel valmis türistor-sagedusmuunduri katsemudel ka TTÜ elektriajami ja jõuelektroonika instituudi laboratooriumis. Sagedusmuundurite praktiline rakendamine tööstuslikes ajamites edenes aga kaua aega väga visalt. Põhjuseks oli nii muunduri kõrge hind kui ka väike töökindlus. Märkigem, et muunduri ehituse muutsid keerukaks türistoride sundkommutatsiooni ahelad, mille väike töökindlus põhjustas omakorda muundurite ootamatuid lühiseid. Alles võimsate jõutransistoride, täpsemalt isoleeritud baasiga bipolaarsete ehk **IGBT transistoride**, ilmumine muutis järsult olukorda sagedusmuundurite valmistamisel ja kasutamisel. Tänapäeval on sagedusjuhtimisega vahelduvvooluajam leidnud kasutusel peaaegu kõikjal, kus varem rakendati vaid alalisvooluajamit. Sagedusmuundurite turg on järsult kasvanud ning tõenäoliselt kasvab edaspidi veelgi.

**Sagedusjuhtimine** on traditsiooniliselt ette nähtud mootori momendi, kiiruse või võlli pöördnurga (asendi) juhtimiseks avatud või suletud juhtimisahelaga süsteemides tingimusel, et väljundsuurust reguleeritakse suhteliselt aeglaselt ning mootor töötab peamiselt püsitalitluses. Suletud juhtimisahelaga süsteemid võimaldavad võrreldes avatud süsteemidega suurendada oluliselt väljundsuuruste reguleerimise täpsust ning parandada mõnevõrra ajami dünaamilisi näitajaid, nõnda et ajamit saab kasutada ka toitepinge märgatavate fluktuatsioonide ning muutliku koormuse korral. Sageduse muutumise kiirus ehk **kiirendus- ja aeglustusrampide kestus** on tavalise sagedusjuhtimise puhul aga rangelt piiratud.

Asünkroonmootori ülekoormatavus tavalisel sagedusjuhtimisel on suhteliselt väike (u. 2...2,5 korda). Järsk koormuse muutus võib kergesti põhjustada **mootori vääratumise**, s.t. tööpunkti nihkumise üle vääratuspunkti. Selle tulemusena mootor seiskub või jääb pöörlema väikesel nn *roomekiirusel*. Ühtlasi suurenevad kaod masinas ja mähiste temperatuur hakkab järsult tõusma. Nendel põhjustel kasutatakse tavalist sagedusjuhtimist peamiselt püsikiirusel töötavate või väikese toimekiirusega reguleerimist nõudvate masinate nagu pumpade, ventilaatorite ja kompressorite, käitamiseks.

Suure toimekiirusega elektriagamite juhtimiseks kasutatakse tänapäevalt **vahelduvvoolumasinade vektorjuhtimist** (*vector control*). Nimetus vektorjuhtimine tuleneb sellest, et juhtimiseks vajalikku informatsiooni mootori oleku kohta saadakse tema mudeli järgi leitud vahelduvvoolu, -pinge ja magnetvoo hetkväärtuste põhjal, mida mitmefaasilises süsteemis kirjeldavad vastavad pöörlevad vektorid. Seepärast tähendab nimetus vektorjuhtimine eelkõige juhtimist magnetvälja pöörleva suunavektori järgi. Siit tuleneb ka mõiste – juhtimine väljasuunistuse järgi (*field orientation control*). Võrdluseks võib tavalist sagedusjuhtimist nimetada ka skalaarjuhtimiseks (*scalar control*), sest sel juhul toimub juhtimine sageduse ja pinge efektiivväärtuse järgi, mis mõlemad on ajas mõõdetavad keskmised suurused. Vektorjuhtimine on ühtlasi juhtimine mootori dünaamikamudeli järgi (*model based control*).

Asünkroonmootorite vektorjuhtimiseks kasutatakse samuti sagedusmuundureid, kuid nende muundurite juhtimisalgoritm erineb oluliselt tavalise sagedusjuhtimise algoritmist. Mudelite keerukuse ja vektorjuhtimiseks vajaliku suure toimekiiruse tõttu kasutatakse vastavates muundurites suure jõudlusega mikrokontrollereid. Vektorjuhtimine võimaldab luua asünkroonajami jaoks niisuguse juhtimisalgoritmi, mis muudab selle tehniliste näitajate poolest võrreldavaks kõige suurema toimekiirusega alalisvooluajamitega. Seepärast saab vektorjuhtimisega asünkroonajameid kasutada elekterveokite, liftide, tööpinkide, robotite jt. dünaamilise koormusega ja pidevalt muutuva kiirusega masinate käitamiseks.

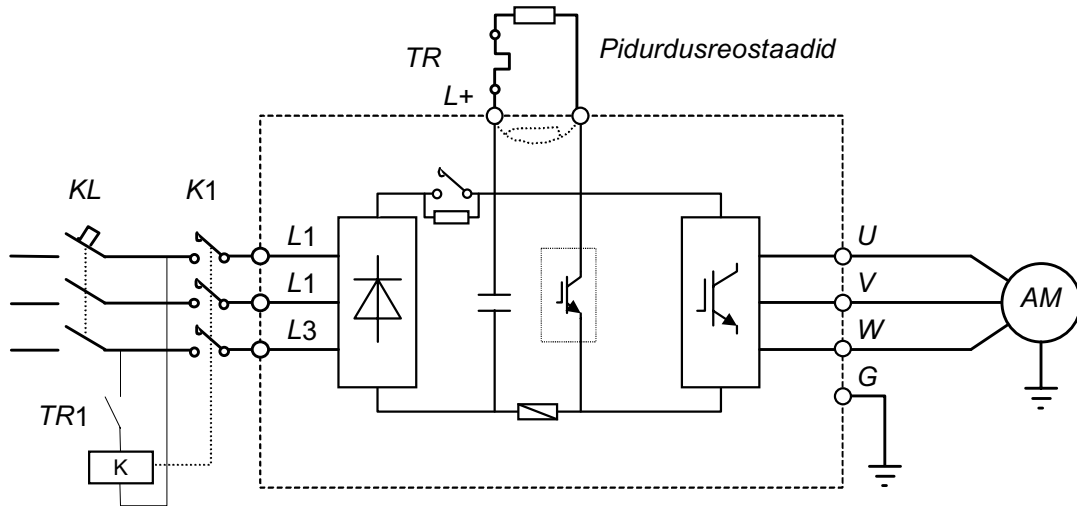
**Sagedusmuunduri jõuahelad** on näidatud joonisel 5.5. ja **juhtimisahelate** ühendusskeem joonisel 5.6. Sagedusmuundurit juhitakse programmjuhtimise põhimõttel, kusjuures kasutatakse nii koht- (*local control*) kui ka kaugjuhtimist (*remote control*). Muunduri standardtarkvara koosneb teatud hulgast tüüpsetest makroprogrammide, mille valikuga ning parameetrite sätimisega määratakse ära ajami talitus. **Sagedusmuunduri sätteparameetrid** jaotatakse tavaliselt mitmesse rühma. Enamasti võib sõltuvalt parameetrite muutmise sagedusest eristada kolme rühma parameetreid:

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

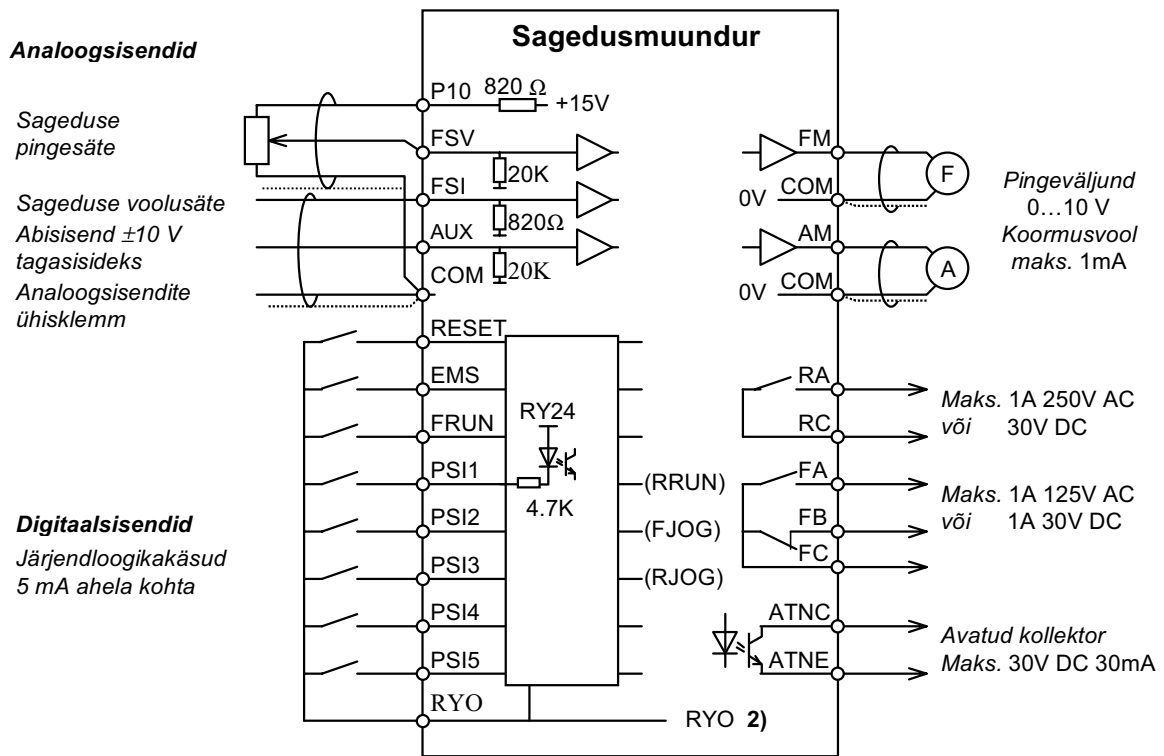
Neist esimese kahe rühma parameetreid saab sättida muunduri kasutaja. Kolmanda rühma parameetrid võivad olla küll kasutajale tarkvaraliselt ligipääsetavad, kui vajalik informatsioon nende sätimiseks kasutajal tavaliselt puudub. Seepärast võib nimetatud parameetrite sätimine muuta muunduri kasutuskõlbmatuks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

Sagedusmuunduri parameetrid sätitakse digitaalselt. Sagedamini muudetavate parameetrite hulka kuuluvad sagedussäte (*frequency setting*), roomsageduse (*frequency setting for jogging*), kiirendus- ja aeglustusrambi kestuse (*acceleration/deceleration time*), mootori momendikompensatsiooni (*torque boost*), dünaamilise pidurduse (*DC brake setting*) ja vahel ka sisendsignaali valikusätted.

**Sagedussäte.** Juhtpuldilt kohttalitluses sisestatav sagedussäte mõjutab vahetult ajami töökiirust. Sageduse valik toimub enamasti vastavate suurendamis- (*increment*) ja vähendamis- (*decrement*)klahvidega ▲ ja ▼. Sagedussätet saab kohtjuhtimisel ette anda ka muunduriga ühendatud potentsiomeetrit, alalispinge või -vooluallikast (joonis 5.6) ning kaugjuhtimismooduses (*remote operation mode*) juhtraali vahendusel.



Joonis 5.5. Sagedusmuunduri jõuahelate põhimõtteskeem



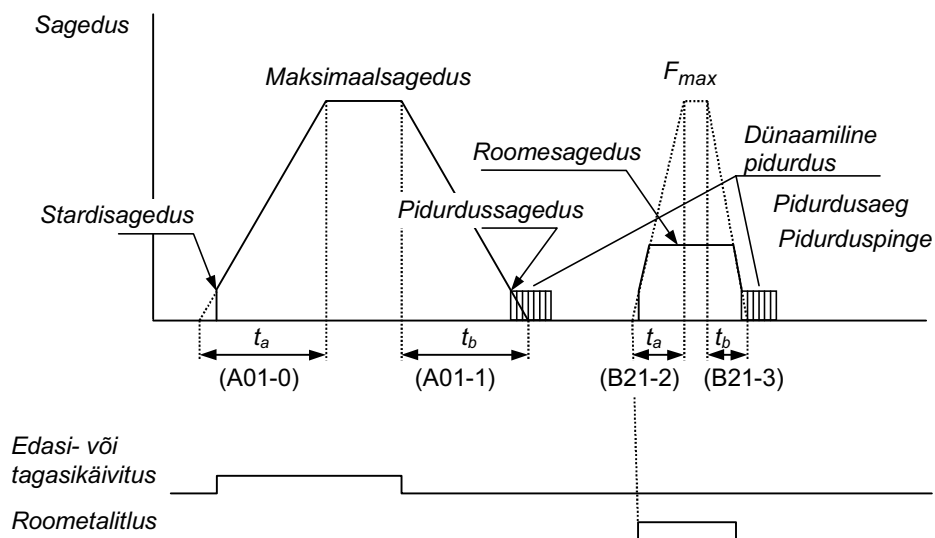
Joonis 5.6. Muunduri (General Electric) väliste juhtimisahelate ühendusskeem

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

**Kiirendus- ja aeglustusrampide kestused** töökiirusele käivitamisel ja pidurdamisel on sätestatavad laias vahemikus (0,1...6000 s). Mõnikord, nt. programmi liikumise puhul, on sätteid dubleeritud ja eri sätteid valitakse järjendloogikakäskudega. Joonisel 5.7 on näha ka **käivitus- ja pidurdustalitluse sätteid**. Käivituse alghetkel rakendatavat sageduse väärtust nimetatakse *stardi- ehk käivitussageduseks*. *Pidurdussageduseks* loetakse sagedust, millest allpool rakendatakse mootori dünaamilist pidurdust. Pidurduseks kasutatava alalispinge väärtus sõltub muunduri võimsusest ja on sätitav vahemikus 0,1...20 % (vaikeväärtus 5 %), kusjuures suurema võimsuse puhul valitakse väiksem pinget. Dünaamilise pidurduse kestus määratakse vastava parameetriga vahemikus 0...20 s (vaikeväärtus 2 s).

**Sammtalitluse ehk roomesageduse säte** valitakse (programmeeritakse) mootori seisu ajal enne käivitust. Roomesagedus on ette nähtud mootori aeglase kiirusega lühiajaliseks tööks, nt selleks, et positsioonida töömasinat. Käivitus edasi- või tagasisuuna roomekiirusele toimub käskudega F JOG või R JOG\* (*forward jogging või reverse jogging*) ning kiirendus ja aeglustusrampi kestused sätitakse vastavate parameetritega (B21-2 ja B21-3) (joonis 5.7).

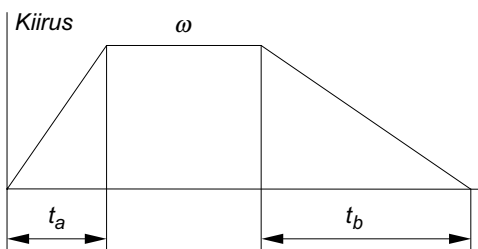
\*) Siin ja edaspidi on näitena kasutatud firma *General Electric (GE)* sagedusmuundurite sätteid. Sarnaseid, kuid teistsuguste tähistega sätteid kasutatakse enamasti ka muu päritolu sagedusmuundurite puhul.



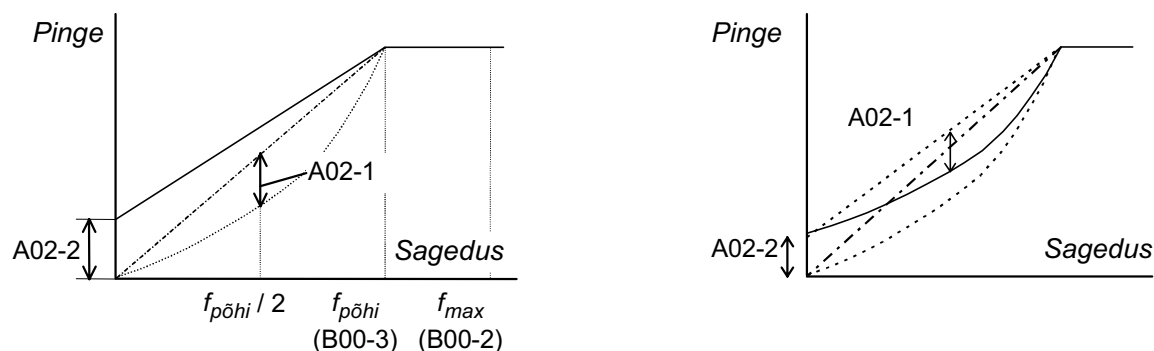
Joonis 5.7. Programmeeritavad kiirendus- ja aeglustusrampide kestused

Kiirendus- ja aeglustusrampide sätitavad kestused peavad sobima ajami tegelike parameetritega. Suure inertsimomendiga ajami puhul ei saa valida väga lühikese kestusega kiirendus- või aeglustusrampi, sest see eeldaks ka väga suurt pöördemomenti ja ajami suurt võimsust. Reaalse ajami puhul põhjustab liiga lühikese kestusega käivitus või pidurdusrampi valik ajami sisseehitatud kaitsesüsteemi rakendumise, muunduri väljalülitumise ja mootori seiskumise. Seepärast arvutatakse käivitus- ja pidurdusrampi kestused ja vastavate sätete väärtused tabelis 5.1 esitatud valemite järgi.

Tabel 5.1

 $t_a = \frac{J \cdot \omega}{(T_{MA} - T_L)};$ $t_b = \frac{J \cdot \omega}{(T_{MB} + T_L)}$	$T_{MA} = \frac{P}{\omega};$ $T_{MB} = T_{MA} \frac{\text{dünaamiline pidurdusvõimsus}}{\text{mootori võimsus}} \cdot \frac{1}{0,8}$ <p><b>230 V süsteemi korral</b></p> $\text{Dünaamiline pidurdusvõimsus} = \frac{148,2}{\text{pidurdustakistus}} [kW]$ <p><b>400 V süsteemi korral</b></p> $\text{Dünaamiline pidurdusvõimsus} = \frac{593}{\text{pidurdustakistus}} [kW]$
--	--

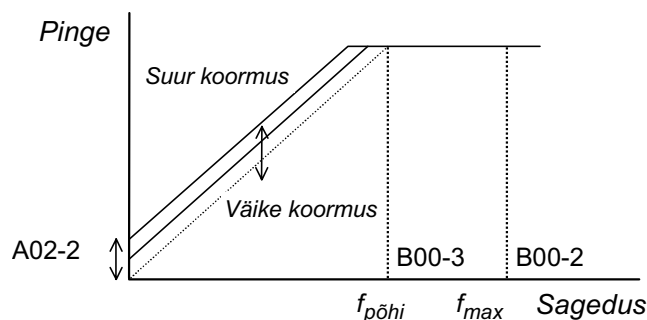
**Mootori momendikompensatsiooniks** kasutatakse pingesagedussõltuvuse  $U = f(f)$  sätteid (joonis 5.8). Enne parameetrite sättimist tuleb määratleda mootori koormuse iseloom: nt. koormusmoment ei sõltu kiirusest ( $T = const$ ) või koormusmoment muutub võrdeliselt kiiruse ruuduga (ventilaatorid, pumbad). Märkimine, et mittelineaarne pingesagedussõltuvus (A02-1) valitakse mootori pöörlemiskiiruse ruuduga võrdelise koormusmomendi (nn. ventilaatorikoormuse) puhul. Lineaarne pingesagedussõltuvus 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, sätitakse see enne ajami töö algust vastava parameetriga (B00-3).



Joonis 5.8. Mootori momendikompensatsiooni pingesagedus-tunnusjoone sätted

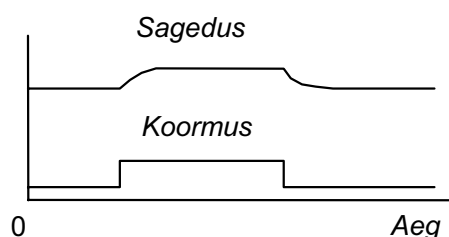
Mootori pöördemomendi **automaatkompensatsiooni** (joonis 5.9) puhul vähendab sagedusmuundur mootori koormuse vähenemisel automaatselt tema toitepinget. Kompensatsiooni parameeter (A02-2) sätitakse nimivoolu juures vahemikus 0...20 % nimipingest (tavaliselt 3...5 %). Parameetri A02-2 liiga suure väärtuse puhul võib ajam minna mittestabiilseks ja rakenduda liigvoolukaitse. Pingesagedus-tunnusjoone kuju saab määrata ka tükati lineaarse

funktsiooniga, mille sirglõikude alg- ja lõpp-punkte iseloomustavad vastavad sätitavad parameetrid.



Joonis 5.9. Mootori pöördemomendi automaatkompensatsioon

**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.



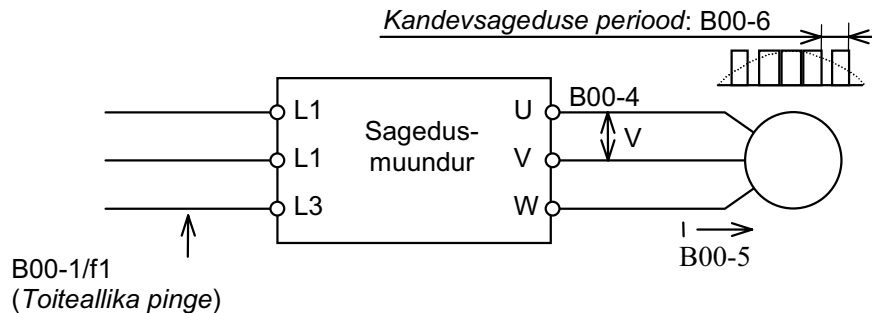
Joonis 5.10. Mootori libistuse kompenseerimine

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. Alalispinge automaatreguleerimine on vajalik sisendpinge fluktuatsioonidest põhjustatud väljundpinge kõikumiste vähendamiseks. Samas võib pinge stabiliseerimissüsteem põhjustada ise väärast seadistuse korral pinge võnkumisi ja ajami mittestabiilsust. **Maksimaalsageduse**  $f_{max}$  parameetri (B00-2) sättimisel tuleb jälgida, et säte ei ületaks mootori või töomasina nimiandmetes toodud väärtust.

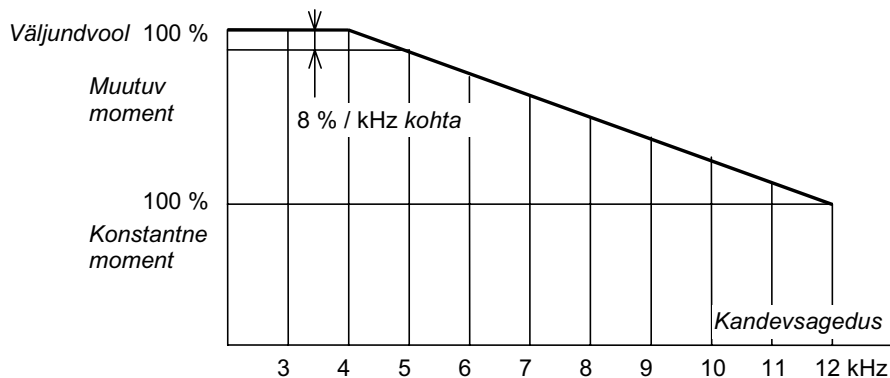
Muunduri põhisagedus, väljundpinge ja mootori nimivool tuleb sättida vastavalt mootori nimiandmetele. Väljundpingeks ei saa sätestada sisendi nimipingest suuremat väärtust. **Mootori nimivoolu**  $I_n$  parameetriga (B00-5) ei saa sätestada muunduri nimivoolust suuremat või teiselt poolt ka liiga väikest väärtust, nt alla 30 % muunduri nimivoolust, s.t.  $I_{mn} > I_n > 0,3 I_{mn}$  (kus  $I_{mn}$  on muunduri nimivool).

Sagedusmuunduri poolt tekitatavat elektromagnetilist müra saab vähendada pulsilaiusmodulatsiooni **kandevsageduse** sätte vähendamisega. Mõnikord vähendatakse kandevsagedust koormuse suurenemisel automaatselt (joonis 5.11). Selle põhjuseks on asjaolu, et väiksema kandevsageduse korral on ka muunduri jõupooljuhtide kommutatsioonikaod väiksemad ning muunduri koormatavus suureneb. Muunduri suhteline lubatud väljundvool

sõltuvalt kandevsagedusest on näidatud joonisel 5.12. Näiteks muutuva momendiga (*VT, variable torque*) koormusel, kui muunduri jahutusradiatori temperatuur on tõusnud üle 70 °C ja väljundvool on 90 % muunduri nimivoolust, vähendatakse kandevsagedust automaatselt kuni 4 kHz.



Joonis 5.11. Kandevsageduse ning väljundpinge ja -voolu sätted



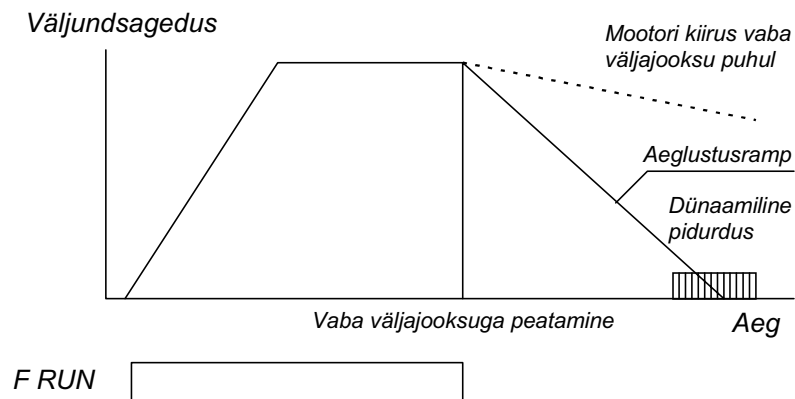
Joonis 5.12. Suhteline väljundvool sõltuvalt kandevsagedusest

**Käivitus- ja peatamiseetodi** valikuga määratakse ajami juhtimiseks kasutatavate lülitite tüüp ja otstarve. **Ajami peatumine** võib toimuda kas **vaba väljajooksu** või **aeglustusrambiga** Aeglustusrambi puhul aeglustatakse mootori kiirust sageduse vähendamisega kuni pidurdussageduseni ja rakendatakse seejärel dünaamilist pidurdust.

Mootori taaskäivitamiseks pärast vaba väljajooksu tuleb jälgida, et mootor oleks peatunud. Väljalülitatud, kuid veel pöörleva mootori taaskäivituseks kasutatakse **lendstarti** (*start with pick-up*), mille korral muundur sünkroniseerib automaatselt toitepinge sageduse mootori kiirusega. Kui käivitatakse pöörlevat mootorit ilma lendstardita võib rakenduda muunduri kaitse.

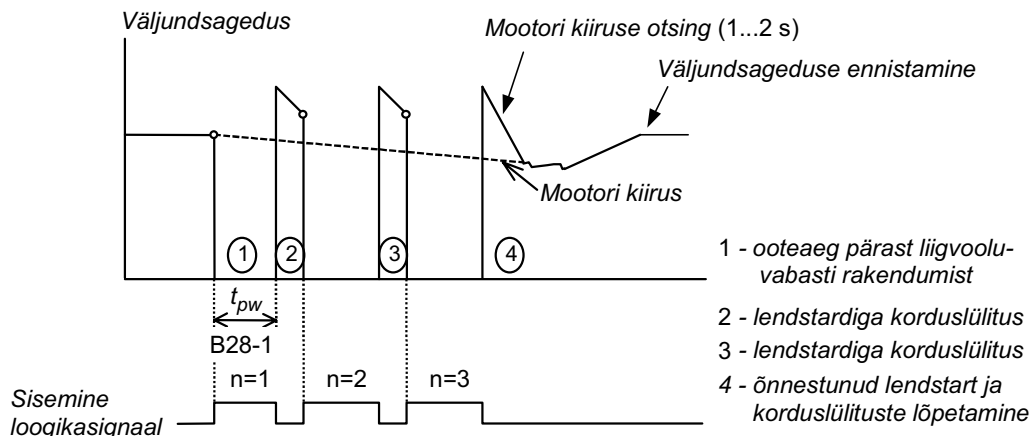
Muunduri parameetrite sättemisel määratakse ka **automaatkäivituse (auto start) tingimused**. Kui vastav parameeter on olekus 1 = *OFF*, siis automaatkäivitust ei toimu ning ajam käivitub käivituskäsuga *RUN = ON* pärast muunduri alalispingeahela kondensaatori eellaadimist. Kui parameeter on olekus 2, siis toimub pärast toitepinge (*power supply*) sisselülitamist **lendstardita automaatkäivitus (ON without pick up)** tingimusel, et eelnevalt on antud *RUN* käsk ning muunduri eellaadimine on lõppenud. Kui parameeter on olekus 3, siis toimub **lendstardiga automaatkäivitus (ON with pick up)**. Viimast automaatkäivituse moodust

kasutatakse töö jätkamiseks pärast ajami seiskumist muunduri toitepinge häirete tõttu. Ajam käivitub automaatselt kohe pärast pinge taastumist.



Joonis 5.13. Ajami peatumismetodid

**Korduslülitusi** ja lendstarti (*pick-up*) kasutatakse ajami taaskäivituseks pärast ootamatut väljalülitust ja eriti niisuguste ajamite puhul, mis peavad tehnoloogiliste vajaduste tõttu pidevalt töötama, nt. pärast lühiajalist pingekatkestust, kui mootori kiirus inerts tõttu pole veel oluliselt vähenenud (joonis 5.14). Samuti kasutatakse neid funktsioone ka pärast rikkesignaali või mittenormalsest talitlusest tingitud väljalülitust kui on tõenäoline, et rikkesignaal võib olla ajutise iseloomuga, s.t. tegemist oli ajutise tõrkega. Vastavate parameetritega sätestatakse korduslülituste arv ja korduslülituse ooteaeg (*retry wait time*). Kui ajami lendstart ei õnnestu väljastab muundur rikkekoodi (*retry time out*).

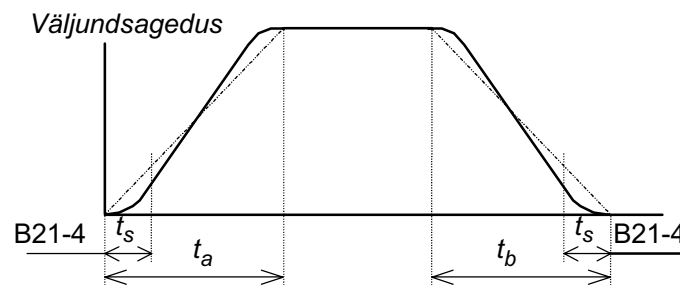


Joonis 5.14. Korduslülitused ja lendstart

Muunduril on ka **hädaseiskamisfunktsioon** (*emergency stop*), mis võimaldab valida sobiva **hädaseiskamise meetodi**, s.t. kas peatumine toimub vaba väljajooksuga või aeglustusrambiga, kas ilma rikketeateta või rikketeate väljastamisega.



Sujuvaks (tõuketa) käivituseks ja pidurduseks kasutatakse nn. **S-kujulisi kiirendus- ja aeglustusrampe** (joonis 5.15). Rambi kuju sätestatakse parameetriga B21-4, mis määrab kiirenduse sujuva muutumise ajavahemiku  $t_s$ , kusjuures kiirendus- ja aeglustusrambi kestused  $t_a$  ja  $t_b$  tervikuna ei muutu. Eri muundurite puhul on S-kujuliste rampide sätestamiseks mitmeid võimalusi sh. ka tüüprampide valik. Kiirenduse sujuv juhtimine on oluline inimeste veoga seotud ajamite (nt. rongide, trammide, trollibusside, liftide jms. ajamite) puhul, sest inimene on tundlik kiirenduse muutumisele ehk tõukele. Sama kehtib ka kõigi muude kehade puhul, mille massikeskme asukoht liikumisel võib muutuda (vedelikud, mitme liikuvusastmega mehhanismid).



Joonis 5.15. S-kujulised kiirendus- ja aeglustusrambid

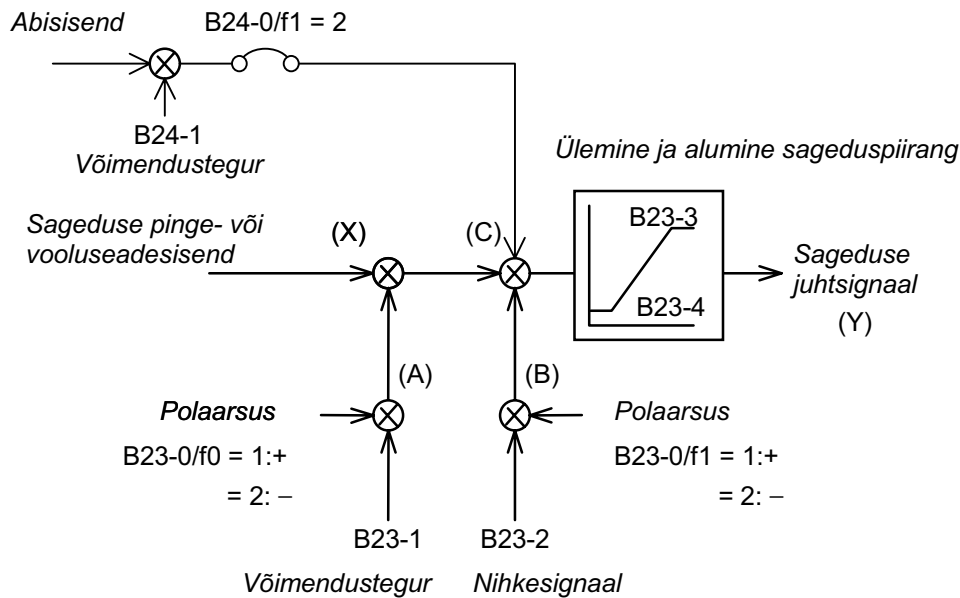
**Keelusageduste sätted** on ette nähtud selleks, et vältida ajami või töömasina töötamist mehaanilise resonantsi sagedustel. Selleks määratletakse mootori sagedusreguleerimise alas vajadusel mõned üksteisest sõltumatud keelusagedusribad laiusel 0...10 Hz, kus sageduse pidev reguleerimine on välistatud. Keelusagedusribade sätestamiseks tuleb eelnevalt tunda õppida ajami ja töömasina mehaanilisi omadusi.

**Juhtsignaalide suhtesätted ja piirangud** võimaldavad sobitada muunduri sisendisse antavaid sagedussätte analoogsignaale süsteemi reguleerimisomadustega, s.t. valida süsteemi võimendusteguri A mooduli ja märgi (polaarsuse), nihkesignaali B mooduli ja märgi ning kehtestada sageduse juhtsignaali piiranguid (alumine ja ülemine piirang). Signaalide sobitamist iseloomustav plokk skeem on näidatud joonisel 5.16. Väljundsignaal arvutatakse valemiga  $Y = AX + B + C$ . Abisisendit kasutatakse seejuures nihkesignaalina C. Juhtsignaalide suhtesätteid kasutatakse peamiselt suletud juhtimissüsteemiga ajamites; näiteks pumba-ajami puhul, milles rakendatakse juhtimist vedeliku rõhusignaali järgi.

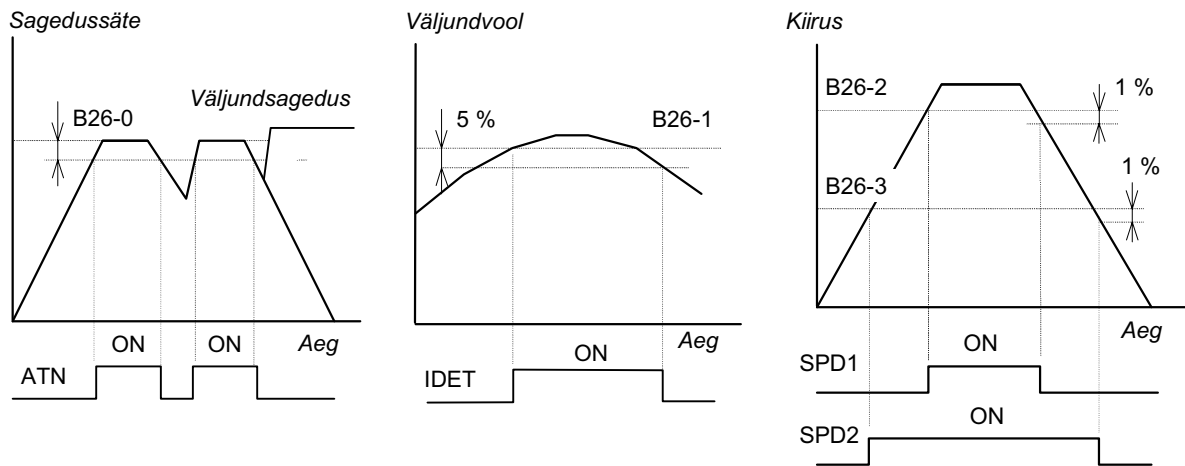
**Signaalide tuvastuslavad** sätestatakse selleks, et kontrollida ajami väljundsuurusi (sagedust, voolu ja kiirust) ning saada väljundis binaarseid loogikasignaale, mille olek vastab sellele, kas pidevsignaali on sätitud läviväärtuse ületanud või mitte. Sätitud tuvastuslände ületamisel väljastab muunduri juhtplokk binaarsignaali, mida saab soovi korral kasutada väljundrelee kontaktide juhtimiseks.

**Väljundsageduse, -voolu ja kiiruse tuvastamine** on näidatud joonisel 5.17. Väljundsageduse tuvastuslände valitakse sättega B26-0  $F_{max}$  suhtes 1...20 % sellest allpool. Vastavalt sagedusele moodustatav juhtsignaal (*ATN, attained output*) lülitub olekusse ON, kui väljundsagedus jõuab sagedussätte lähedale ehk tuvastuslände fikseeritud sagedusalasse. **Väljundvoolu tuvastamisel** valitakse tuvastuslände sättega B26-1 nimivoolu suhtes 5...300 %. Juhtsignaal (*IDET, current detect level*) lülitub olekusse ON või OFF 5 % hüstereesiga.

**Kiiruse tuvastamisel** valitakse tuvastuslaved SPD1 või SPD2 vastavalt sättega B26-2 või B26-3 maksimaalsageduse  $f_{max}$  suhtes vahemikus 1...105 %. Tavaliselt võrreldakse kiiruse asemel väljundsagedust. Juhtsignaal (*SPD, speed detect level*) lülitub olekusse ON või OFF 1 % hüstereesiga.



Joonis 5.16. Juhtsignaalide sobitamist iseloomustav plokk skeem ja signaalide suhtesätted



Joonis 5.17. Väljundsageduse, -voolu ja kiiruse tuvastamine

Mootori voolu piiratakse sageduse (kiiruse) vähendamisega nii, et väljundvool ei ületaks parameetriga B29-0 sätestatud väärtust nii käivitamisel kui ka püsikiirustalitusel. Sätte puhul loetakse mootori nimivool 100 % vooluks. **Liigvoolupiirangu** (*over-current limit*) säte peab olema suurem kui mootori tühijooksvool.

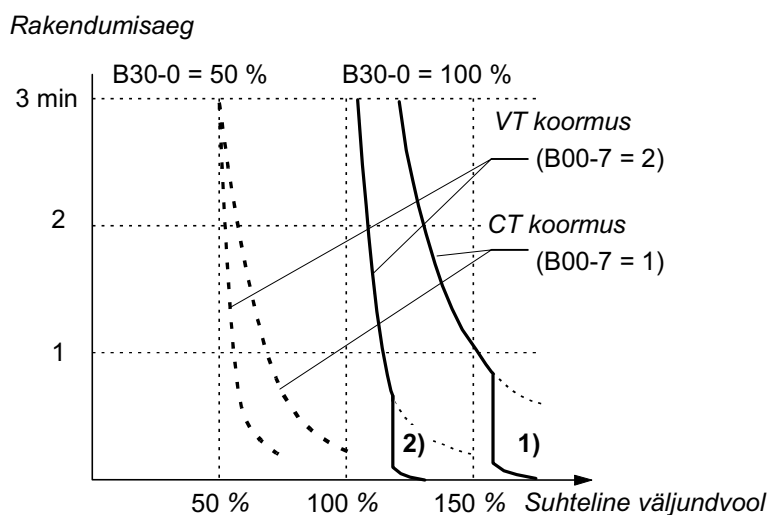
Ajami pidurdamisel või koormuse poolt püsikiirusel tekitatav regeneratiivmoment on piiratud. Regeneratiivmomendi piirang on nt. 10 % (parameeter B29-1), kui dünaamilist pidurdust ei

kasutada. Dünaamilise pidurduse kasutamisel arvutatakse **regeneratiivmomendi piirang** järgmise valemiga

$$T_{LIM.RM} = \left[ \left( \frac{V2}{Pidurdustakistus, \Omega} \right) / Mootori võimsus, kW \right] \cdot 100 \%,$$

kus koefitsient V2 valitakse 230 V toitepinge korral 148,2 ja 400 V toitepinge puhul 593.

Mootori soojenemise kiirus (temperatuuri kasvamine) sõltub kaoenergiast (peamiselt mähiste voolust), soojuslikust ajakonstandist ning jahtumistingimustest. Viimased omakorda sõltuvad mootori pöörlemiskiirusest. Seepärast toimub mootori kaitse rakendumine vastavalt aja-voolu tunnusjoontele, mille kuju sõltub mootori tegelikest talitusoludest. **Mootori liigkoormussätted** antakse ette aja-voolu-tunnusjoone parameetriga (B30-0), samuti mitmesuguste liigkoormussätetega eri sagedustel. Sõltuvalt parameetri B30-0 sättest muutub liigkoormuskaitse aja-voolutunnusjoone kuju (joonis 5.18). Tunnusjoonte kuju sõltub ka sellest, kas mootor töötab konstantse momendiga (*constant torque, CT*) või muutuva momendiga (*variable torque, VT*). Suhteline vool leitakse mootori nimivoolu (100 %) põhjal. Muunduri nimivoolust suuremaid sätteid ei tohi kasutada.

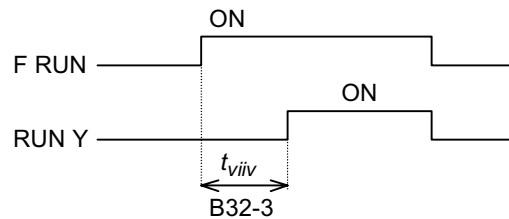


Joonis 5.18. Ajami liigkoormuskaitse aja-voolu-tunnusjooned

Edasi- ja tagasisuuna käivituskäskude F RUN ja R RUN jaoks saab sätestada lisatingimused. **Käivitus- ja peatumissageduse alumine piirang** määrab sagedusläve, mida sagedussäte peab ületama, et mootor käivituks, või millest sagedussäte peab olema väiksem, et mootor peatuks. Sagedussätte 0 puhul on minimaalsagedus tegelikult 0,1 Hz ja mootor ei peatu täielikult. Sättega B32-0 saab mootori täielikult peatada. **Käivitussageduse ülemist piirangut** kasutatakse juhul kui tööohutuse seisukohalt tuleb mootorit käivitada väikesele kiirusele. Mootor ei käivitu kui sagedussäte on piirangust  $f = 0 \dots 20$  Hz suurem, kuigi RUN käsk on olekus ON. Käivitus- ja peatumissageduste **hüsterees** (laiusega 0...20 Hz) välistab ajami oleku värelemise käivitus- ja peatumissageduse lävel.

**Käivitusviivitust** kasutatakse mitme ajami koostöö puhul seadmete sünkroonseks tööks, nt. mehaanilise piduri puhul. Käivitusviivituse taimer (parameeter B32-3) toimib vastavalt

joonisel 5.19 näidatud ajadiagrammile ja moodustab pärast käivituskäsku F RUN saabumist programmeeritud kestusega viivituse  $t_{viiv}$ .

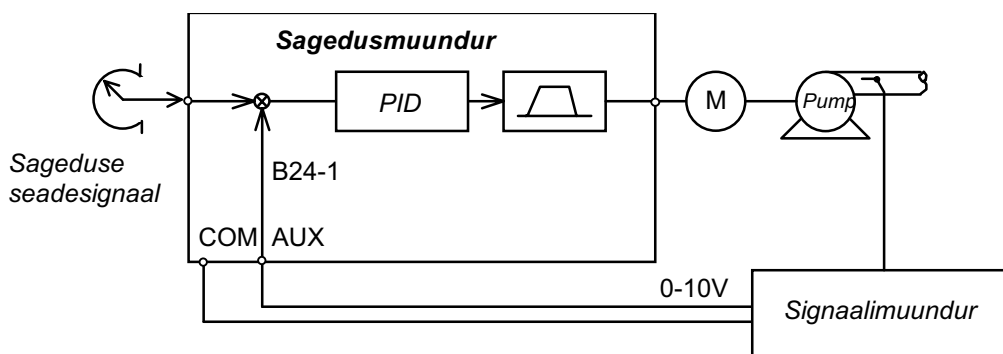


Joonis 5.19. Käivitusviivitus

Sagedusmuunduri makroprogrammiga määratud korduva (tsüklilise) tüüptalitluse sagedus, pöörlemissuund ja talitusajad võivad muutuda ka automaatselt. Vastavad **tüüptalitluse programmilised sagedussätted** võimaldavad ajami tsüklilist talitlust eri kiirustel ja programmeeritud sagedustel. Programmi sammude numbrid valitakse järjendloogika sisendsignaalidega või vastavate programmeeritavate parameetritega.

**PID-juhtimisel** kasutatakse tagasisidesignaali, mis antakse abisisendisse AUX. Juhtimisüsteemi plokkskeem on joonisel 5.20. PID regulaatori ülekandetegurid (ajakonstandid) ja piirangud sätestatakse vastavate parameetritega.

Eelnevalt kirjeldatud sagedusmuunduri sätteparameetrid annavad vaid teatud ülevaate nüüdisaegsete muundurite kasutusvõimalustest. Kuna firmade vahel toimib tihe konkurents, siis püüavad kõik muundurite tootjad oma muundureid pidevalt täiustada. Selle tulemusena sisaldab uusimate sagedusmuundurite tarkvara enamkasutatavate ajamite kõiki olulisi juhtimisfunktsioone ning muunduri olemasolu korral võib muudest juhtseadmetest (nt. programmeeritavatest kontrolleritest) loobuda. Viimastel aastatel on väga kiiresti laienenud ka sagedusmuundurite võrgutalitlusfunktsioonid. Tänu sellele saab sagedusmuunduritega ajameid rakendada suurtes hierarhilistes või hajusjuhtimisega automaatikasisüsteemides.



Joonis 5.20. Tagasisidega PID-juhtimine

Eelöeldu põhjal võib väita, et **tänapäeva sagedusmuundur pole pelgalt sageduse ja pinge muundur vaid pigem ajami automaatjuhtimisüsteem** koos kõigi vajalike riist- ja tarkvarakomponentidega.